

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Г.И. БУДКЕРА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

# **ГОДОВОЙ ОТЧЕТ**

**2019**

**НОВОСИБИРСК 2020**



# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Физика элементарных частиц .....</b>	<b>7</b>
Детектор CMS .....	7
Детектор СНД .....	11
Эксперимент Belle .....	15
Криогенные и газовые лавинные детекторы .....	19
Детектор КМД-3 .....	21
Отчет о работе новосибирской группы ЛНСб .....	24
Детектор КЕДР .....	29
<b>Теоретическая физика .....</b>	<b>34</b>
<b>Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез .....</b>	<b>39</b>
Газодинамическая ловушка .....	39
Работа на комплексе ГОЛ-3 .....	44
Работы на установке ЭЛМИ .....	51
Работы на ловушке с геликоидальным полем СМОЛА .....	53
Работы по программе ИТЭР .....	56
Теория плазмы .....	59
Инжекторы пучков быстрых атомов и ионов .....	60
<b>Установки со встречными электрон-позитронными пучками .....</b>	<b>62</b>
Работа комплекса ВЭПП-2000 .....	62
Ускорительный комплекс ВЭПП-4 .....	66
Электронное охлаждение .....	84
Инжекционный комплекс ВЭПП-5 .....	86
Разработка генератора высоковольтных наносекундных прямоугольных импульсов .....	99
<b>Синхронное излучение и лазеры на свободных электронах .....</b>	<b>104</b>
Работа на пучках синхротронного излучения .....	104
Разработка и создание специализированных генераторов СИ .....	129
Улучшение параметров Новосибирского ЛСЭ .....	130
Развитие оптических устройств и методов оптических измерений в ТГц и ИК диапазонах .....	140
Методы исследования поверхностных плазмон-поляритонов .....	145
Модернизация оптических резонаторов НЛСЭ .....	148
Измерение сверхтонкой структуры спектра излучения Новосибирского ЛСЭ .....	150
Спектральная диаграмма излучения объемных волн .....	151
<b>Мощные электронные ускорители .....</b>	<b>154</b>
Ускорители типа ИЛУ .....	154
Ускорители электронов ЭЛВ и их применение .....	164
<b>Физика для медицины .....</b>	<b>167</b>
Детекторы для медицинских и прикладных исследований .....	167
БОР-нейтронозахватная терапия .....	167
<b>Радиофизика и электроника .....</b>	<b>169</b>
Аппаратура для ускорительного комплекса NICA .....	169
Источники питания электростатики ускорительного комплекса ВЭПП-4 .....	173
Источник питания соленоида ЛУЭ-200 .....	173
Источники питания магнита ускорительного комплекса FAIR .....	173

4-Х канальный ЯМР магнитометр для измерения магнитных полей при сверхнизких температурах.....	174
Гидростатическая система мониторинга выставки элементов синхротрона.....	174
Программный комплекс расчета аксиально-симметричных электронно-оптических систем.....	175
Бibliография .....	176
Соглашения о сотрудничестве .....	234
Научное руководство ИЯФ СО РАН.....	237

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) – один из самых крупных академических институтов страны (более 2800 сотрудников). Среди 438 научных сотрудников Института – 6 академиков и 4 членов-корреспондентов РАН, 61 доктор и 179 кандидата наук. Особенностью ИЯФ является наличие крупного экспериментального производства (около 1000 человек) с высоким уровнем технического и технологического оснащения. Институт ведет активную работу по подготовке научных и инженерно-технических кадров высшей квалификации. ИЯФ является базовым Институтом для шести кафедр физического факультета НГУ и физико-технического факультета НГТУ, на которых обучается около 200 студентов. В аспирантуре ИЯФ, НГУ и НГТУ обучается более 60 человек.

ИЯФ является одним из ведущих мировых центров по ряду областей физики высоких энергий и ускорителей, физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза. В Институте ведутся крупномасштабные эксперименты по физике элементарных частиц на электрон-позитронных коллайдерах и уникальном комплексе открытых плазменных ловушек, разрабатываются современные ускорители, интенсивные источники синхротронного излучения и лазеры на свободных электронах. По большинству своих направлений Институт является единственным в России.

Основу исследовательской инфраструктуры Института составляют уникальные научные установки и стенды (УНУ). С использованием УНУ выполняется большинство научных проектов Института, проводится большое количество совместных исследований в рамках научно-технического сотрудничества с ведущими российскими и международными научными организациями, и университетами. Шесть объектов научной инфраструктуры Института индексируются в национальном реестре объектов научной инфраструктуры Российской Федерации (сайт [skr-rg.ru](http://skr-rg.ru)). В ИЯФ СО РАН работает центр коллективного пользования "Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения" (ЦКП СЦСТИ). Базовой основой для деятельности ЦКП СЦСТИ являются: накопители электронов/позитронов ВЭПП-3 и ВЭПП-4М – источники синхротронного излучения, и Новосибирский лазер на свободных электронах – источник терагерцового излучения.

Прикладные работы ИЯФ СО РАН целиком базируются на результатах фундаментальных исследованиях Института и сконцентрированы на следующих основных направлениях:

- Промышленные ускорители электронов высокой мощности, используемые для модификации полимеров, очистки промышленных и бытовых отходов, производства нанопорошков чистых металлов, окиси кремния, оксидов, карбидов и нитридов металлов, радиационной обработки

продуктов питания, стерилизации медицинского оборудования и одноразовых инструментов и одежды, и других технологических применений.

- Малодозные цифровые рентгенографические установки сканирующего типа со сверхнизким уровнем облучения пациента для медицины и систем безопасности.

- Разработка установок ядерной медицины для протонной, ионной и бор-нейтрон-захватной терапии злокачественных образований.

- Установки для электронно-лучевой сварки.

На протяжении последних 30 лет ИЯФ СО РАН активно использовал возможности финансирования фундаментальных и прикладных работ за счет средств, получаемых от хозяйственной деятельности и выполнения контрактных работ. ИЯФ разрабатывает, производит и поставляет потребителям в страны Европы, Азии, Северной и Южной Америки (более 20 стран), а также в Россию широкий спектр наукоемкой и высокотехнологичной продукции на сотни миллионов рублей ежегодно. На полученные таким образом средства был достроен и введен в эксплуатацию ускорительный комплекс ВЭПП-4М с уникальным детектором КЕДР, разработаны и построены новые крупные современные уникальные установки: электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-2000, лазер на свободных электронах, новый инжекционный комплекс для обеспечения работы существующих и будущих установок ИЯФ. В течение всего постсоветского периода за счет этих средств поддерживалась непрерывная работа установок ИЯФ и соответствующей инфраструктуры.

ИЯФ отличается широкое многолетнее международное сотрудничество с большинством крупных зарубежных и международных центров. Ярким примером такого сотрудничества является участие ИЯФ в крупнейшем международном проекте современности – создании Большого Адронного Коллайдера в Европейском Центре Ядерных Исследований (CERN, г. Женева). В рамках этого сотрудничества ИЯФ разработал, изготовил и поставил в ЦЕРН уникальное высокотехнологичное оборудование стоимостью более 100 миллионов швейцарских франков.

ИЯФ работает над рядом крупных проектов, реализуемых в России, в числе которых установки исследовательской инфраструктуры класса «MegaScience»: ускорительный комплекс NICA в ОИЯИ (Дубна), радиографическое оборудование для исследований оборонного значения для ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ" (Снежинск).

Ежегодно сотрудники Института представляют более 250 докладов на международных и российских конференциях, в последние годы публикуется более 800 статей в ведущих российских и зарубежных научных журналах, издаются монографии и учебные пособия.

**Важнейшими достижениями института за 2019 год Учёный Совет ИЯФ признал следующие результаты:**

***В области ядерной физики, физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий:***

- На электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 проведен эксперимент с детектором СНД по поиску редкого процесса прямого рождения псевдовекторной частицы  $f_1(1285)$ .
- Впервые измерено сечение процесса электрон-позитронной аннигиляции в семь пи-мезонов (шесть положительно заряженных пи-мезонов и один нейтральный пи-мезон). Кроме того, было показано, что при рождении семи пи-мезонов наблюдаются омега-мезон и эта-мезон.
- Предложен новый метод идентификации ионов для ускорительной масс-спектрометрии на основе измерения длин пробегов ионов во время-проекционной камере (ВПК) низкого давления. Для демонстрации метода была разработана ВПК низкого давления с зарядовым считыванием на основе толстого газового электронного умножителя.

***В области теоретической физики:***

- Изучено влияние положения поверхности Ферми на процесс рассеяния двух электронов в графене.
- Исследовано влияние лазерного поля на процесс излучения фотонов ультрарелятивистским электроном в атомном поле. Получены угловое распределение и спектр излучаемого фотона.

***В области физики и техники ускорителей заряженных частиц, источников СИ и ЛСЭ:***

- Эффект увеличения плазменного кильватерного поля из-за движения ионов плазмы был обнаружен в численном моделировании. Он проявляется только при постепенной раскатке волны драйвером из многих коротких микросгустков и только на короткое время.
- Оптимизирован алгоритм радиоуглеродного анализа на УНУ «УМС ИЯФ СО РАН» для проведения совместных с пользователями научных исследований.
- Разработаны, изготовлены и прошли полный цикл приёмочных испытаний два сверхпроводящих 54-полюсных вигглера с полем 3.5 Тл и периодом 48 мм, работающих на принципе косвенного охлаждения.
- Комплексное исследование динамики пылевого облака в газовых с редах методами СИ, лазерным комплексом PDV и пьезодатчиками.
- Исследован структурно-фазовый состава сварных соединений на основе Al и Ti
- Впервые продемонстрирована возможность создания загоризонтного локатора, где в качестве передаваемого и принимаемого сигналов используются поверхностные плазмон-поляритоны терагерцового диапазона.

***В области физики плазмы:***

- Измерение величины продольных потерь энергии из открытой ловушки.
- Успешно завершено сооружение высокотехнологичного испытательного стенда для тестирования элементов установки ИТЕР
- Исследовано формирования газовой-плазменной облака при воздействии мощного пучка ЛИУ на мишень
- Разработан ускорительный источник эпитепловых нейтронов для онкологической клиники с целью проведения бор-нейтронозахватной терапии
- Создан инжектор пучка отрицательных ионов с током до 15мА и энергией до 150кэВ для установки бор-нейтронозахватной терапии
- Создана и успешно испытана система генерации предварительной плазмы в установке ГДЛ с помощью инжекции электронного пучка
- Доказана возможность работы внутри вакуумной камеры термоядерного реактора ИТЭР нейтронной защиты из отечественной керамики на основе карбида бора.
- Разработан и введен в строй перезарядный инжектор пучка быстрых атомов водорода (дейтерия) с энергией 40 кэВ, полным током ионов до 14 А, с быстрой модуляцией пучка до 10 кГц.
- Разработаны и реализованы в эксперименте эффективные способы подавления поперечных колебаний пучка при его ускорении и транспортировке в линейном индукционном ускорителе.
- Продемонстрировано формирование стартовой плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-NB
- Определены базовые скейлинги динамического многопробочного удержания в линейных магнитных ловушках.
- Разработан бесконтактный метод исследования остаточных напряжений, возникающих в материале, при воздействии импульсных тепловых нагрузок.
- Продемонстрирован мегаваттный поток суб-ММ излучения из пучково-плазменной системы в условиях сильного градиента плотности плазмы.

В отчетном году в Институте продолжали работу три диссертационных Совета с правом приема докторских (кандидатских) диссертаций. Всего было защищено 3 докторских и 5 кандидатских диссертаций.

Для учащихся, студентов, преподавателей школ и вузов, сотрудников других организаций и гостей Института было проведено около 100 экскурсий по установкам ИЯФ, которые посетило около 2500 человек, проведены выездные лекции в новосибирских школах.

## 1.1. ДЕТЕКТОР CMS

### 1.1.1. Участие в эксперименте CMS на LHC в 2019 году.

Группа сотрудников ИЯФ, является членом коллаборации CMS на Большом Адронном Коллайдере (LHC). Группа ведет анализ по поиску двух хиггсовских бозонов в конечном состоянии  $b\bar{b}\gamma\gamma$ , работы по лазерной калибровке электромагнитного калориметра и R&D новой системы MTD (MIP Timing Detector) в сотрудничестве с группой из Saclay. Группа отвечает за on-line мониторинг прозрачности кристаллов и off-line калибровку электромагнитного калориметра с помощью системы лазерной калибровки, а также ведет подготовку к радиационным тестам с быстрыми нейтронами на установке БНЗТ, которые необходимы для проверки работы системы лазерной калибровки в PhaseII. Группа участвует в R&D backend электроники и разработке DAQ для новой системы MTD.

### 1.1.2. Анализ по поиску рождения двух хиггсовских бозонов в конечном состоянии $b\bar{b}\gamma\gamma$ .

Группа активно участвует в анализе по поиску рождения двух хиггсовских бозонов с их распадом в конечное состояние  $b\bar{b}\gamma\gamma$ . Работа группы была сосредоточена на оптимизации анализа, включающей реконструкцию конечного состояния и стратегию анализа. Анализ проведен с использованием данных, набранных детектором CMS с суммарной энергией протон-протонных столкновений 13 TeV в 2016, 2017 и 2018 годах с интегральной светимостью 35,9; 41,5 и 59,4  $\text{fb}^{-1}$  соответственно. Процесс рождения двух хиггсовских бозонов является процессом, предсказываемым в стандартной модели (рис.1.1.1 (a,b)). Диаграмма (b) пропорциональна связи  $\text{HH}(\lambda)$ , которая является фундаментальным параметром стандартной модели. Параметр  $\lambda$  связан с массой хиггсовского бозона и вакуумным средним хиггсовского поля. Поэтому измерение рождения двух хиггсовских бозонов является важным процессом для проверки стандартной модели и поиска возможных эффектов, предсказываемых вне стандартной модели. Также на рис. 1.1.1(c,d,e) изображены диаграммы, описывающие рождение HH в BSM. Анализ находится в процессе одобрения коллаборацией CMS и группа является одной из основных в этом анализе.

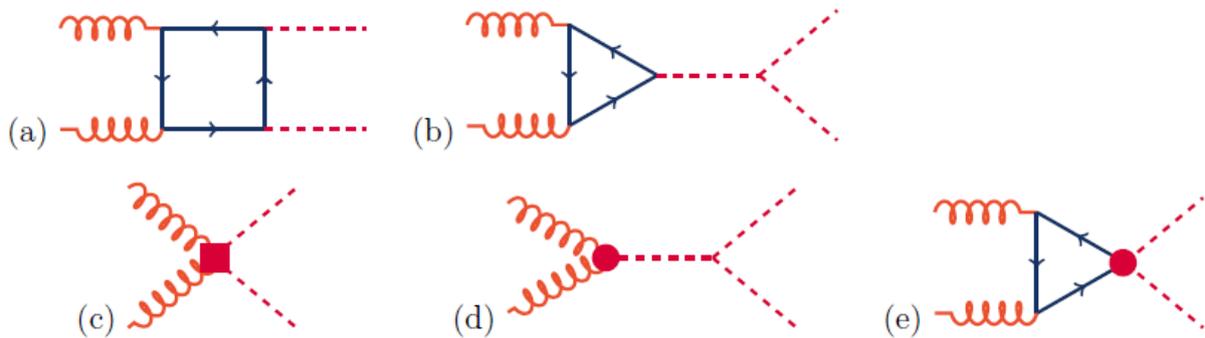


Рис. 1.1.1. Диаграммы Фейнмана, описывающие рождение пары хиггсовских бозонов в глюон-глюонных столкновениях. Диаграммы (a) и (b) соответствуют процессам в стандартной модели. Диаграммы (c), (d) и (e) описывают рождение пары хиггсовских бозонов в BSM.

### 1.1.3. Измерение прозрачности кристаллов электромагнитного калориметра детектора CMS.

Группа активно участвовала в ежедневном мониторинге системы лазерной калибровки электромагнитного калориметра детектора CMS при наборе данных в течение RunII. В конце каждого года информация, записанная системой лазерной калибровки, анализируется заново и производится новая улучшенная калибровка прозрачности кристаллов. В 2019 году был проведен новый анализ данных по измерению прозрачности кристаллов

калориметра в RunII, и данные по измерению прозрачности были подготовлены для использования в реконструкции событий в детекторе CMS.

Электромагнитный калориметр представляет собой герметичный калориметр из кристаллов вольфрамата свинца ( $\text{PbWO}_4$ ), его баррельная часть состоит из 61200 кристаллов, и каждая торцевая часть содержит по 7324 кристалла. Под воздействием радиационного облучения прозрачность кристаллов изменяется во времени и может частично восстанавливается в периоды отсутствия облучения. Для отслеживания изменений прозрачности в непрерывном режиме работает специальная система лазерного контроля.

Измерения проводятся с использованием двух лазеров, один из которых работает в синей области спектра на длине 447нм, а второй – в зеленой области на длине 527нм. В течении набора данных с помощью этой

системы производится онлайн калибровка прозрачности кристаллов. Изменение прозрачности с 2011 года по 2018 год, полученная с использованием синего лазера, приведена на рис.1.1.2.

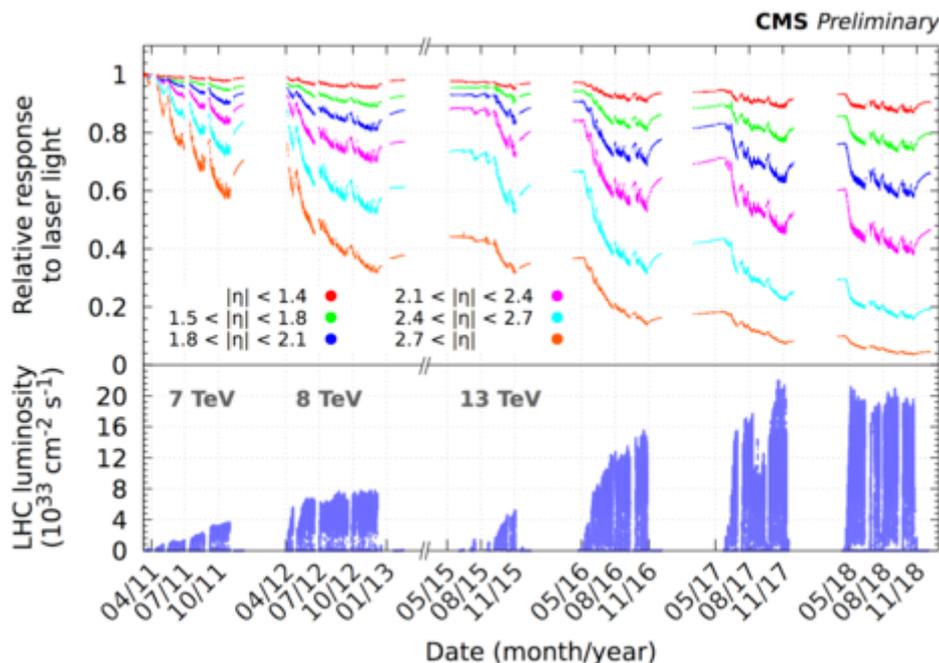


Рис. 1.1.2. Изменение прозрачности, измеренная с использованием синего(447нм) лазера в период с 2011 по 2018 год.

Система лазерной калибровки устроена следующим образом: свет от лазера направляется с помощью оптических волокон к каждому кристаллу. Свет, прошедший через кристалл, измеряется также, как и в случае сцинтилляции, с помощью лавинного фотодиода в баррельной части калориметра и вакуумного фототриода в торцевой части. Величина оптической вспышки независимым образом измеряется с помощью полупроводниковых диодов (PN). Кристаллы в баррельной части калориметра объединены в группы по 100 (200) кристаллов, которые обслуживаются двумя PN диодами. В свою очередь, каждый такой диод измеряет свет для двух разных групп кристаллов. Упрощенная схема показана на рис.1.1.3. В торцевой части калориметра используется аналогичная схема подключения PN диодов.

основе них были сделаны новые калибровки прозрачностей для соответствующих периодов.

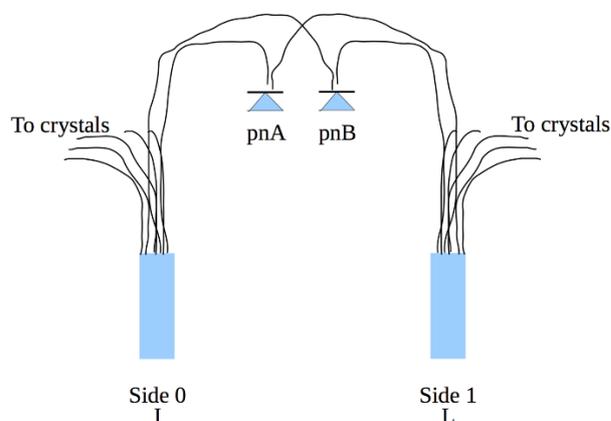


Рис.1.1.3. Упрощенная схема подключения PN диодов для измерения амплитуды вспышек света от лазера.

Под воздействием радиации измерительные свойства PN диодов, а также оптических волокон, по которым к ним поступает свет от лазера, могут меняться. Для осуществления контроля измеряется изменение от времени отношения сигналов с двух диодов (PNA/PNB), полученных для двух групп кристаллов. С использованием подобных отношений, построенных для всех PN диодов калориметра, были определены области, в которых изменения в отношении сигналов являются критическими, т. е. составляют более 1%. В этих областях для измерения прозрачности нужно использовать только один PN диод. Соответствующие карты были получены, и на

Кроме того, для новых калибровок был проведен анализ поведения прозрачности от времени для всех кристаллов калориметра. Это было сделано для выявления нефизических зависимостей и последующего внесения коррекций. Это необходимо в связи с тем, что неправильные значения прозрачностей в калибровке в дальнейшем негативно влияют на восстановление энергии частиц и моделирование калориметра. Использовалось несколько методов для поиска кристаллов с неправильными измерениями прозрачности, основанных на нетипичном поведении

эволюции прозрачности, сравнении с ближайшими кристаллами и сравнении измерений с использованием синего и зеленого лазеров.

Полученные таким образом калибровки для RunII в настоящее время используются для реконструкции электронов и фотонов в электромагнитном калориметре, а также для моделирования сигналов отклика калориметра.

#### 1.1.4. DAQ MTD детектора CMS для Phase II

В планируемых экспериментах в «PhaseII» светимость на LHC ожидается на уровне  $5 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . При такой светимости ожидается до 200 протон-протонных взаимодействий на одно столкновение пучков. Для уменьшения негативных эффектов, связанных с наложением событий из разных вершин и поддержания эффективности реконструкции событий на уровне 80-90%, необходимо использовать так называемую 4D реконструкцию. В этом случае получают не только координатную информацию с детектора, но и время регистрации частиц в детекторных системах. Для обеспечения требуемой эффективности реконструкции событий, время отлета частиц должно быть определено с точностью не хуже 30 пс. В настоящее время разрабатывается более

быстрая электроника для калориметров, а также ведутся работы по созданию специализированной системы для измерения времени отлета минимально-ионизирующих частиц с временным разрешением 30 пс – система MTD (рис.1.1.4).

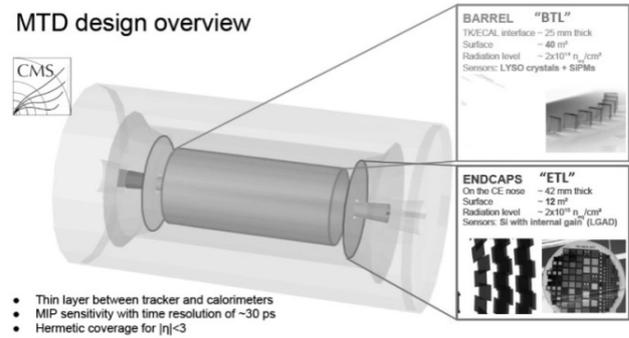


Рис. 1.1.4. Система MTD детектора CMS.

Группа является активным участником работ по разработке DAQ MTD. В 2019 году группа активно участвовала в создании тестового стенда для проверки электроники системы сбора данных для системы MTD (BTL) детектора CMS.

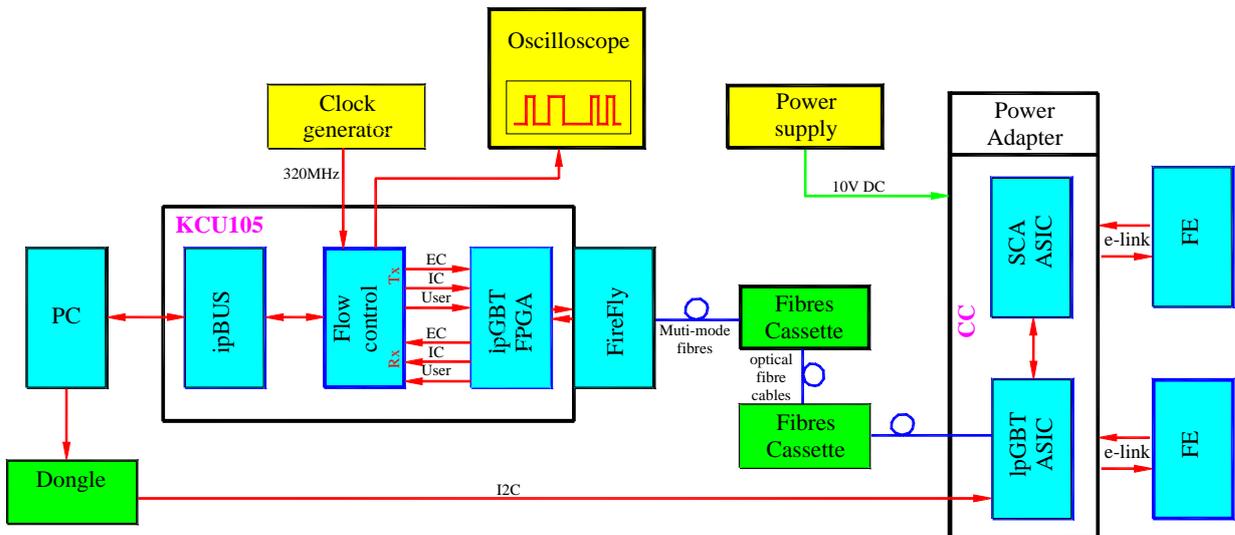


Рис 1.1.5. Стенд для проверки электроники системы BTL.

Стенд для проверки электроники системы BTL состоит из следующих частей (рис. 1.1.5):

- FE (front-end electronics) электроники. Эта электроника выполнена на основе интегральных схем (ИС) специального назначения (ASIC) под названием TOFHIR. Данные ИС предназначены для обработки сигналов. Каждый блок FE электроники состоит из 6 TOFHIR ASIC. Блоки подключаются к плате концентратора (Concentrator Card (CC), рис.5). Информация передаётся по специальным линиям связи

E-link. FE электроника будет располагаться в непосредственной близости от детектора.

- платы концентратора (CC), предназначенной для сбора данных от FE электроники и медленного контроля. Каждая CC плата может обслуживать до 28-ми интерфейсов E-port. Передача данных в считывающую электронику, расположенную в защищенном зале, осуществляется через интерфейс IpGBT. CC плата будет располагаться в непосредственной близости от детектора.

- BE (back-end electronics) электроника, считывающая электроника, находящаяся в защищённом от радиации зале. BE электроника принимает данные от СС платы по оптическим линиям связи IpGBT и передает в ПК. В качестве BE электроники на стенде используется отладочная плата Xilinx KCU105 XCKU040-2FFVA1156.

Для обмена данными с СС платой и взаимодействия с ПК группой был реализован проект для отладочной платы Xilinx KCU105 (Рис.1.1.6).

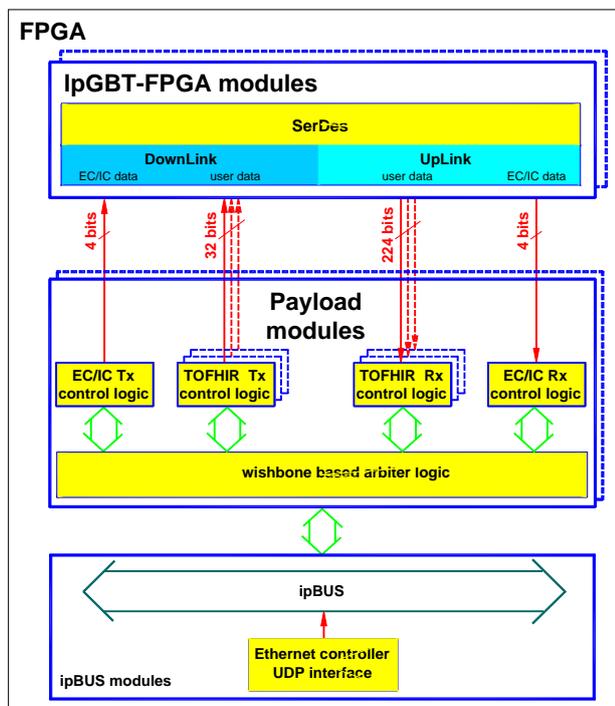


Рис. 1.1.6. Блок-схема проекта для Xilinx KCU105.

Программное обеспечение (firmware) аппаратной части описано в виде изолированных модулей и

контроллеров, ориентированных на конкретные задачи, выполняемые платой. Все модули «нанизываются» на внутреннюю шину проекта - ipBUS. Данная шина имеет 32-ти битную ширину, как для данных, так и для адресов модулей.

Внутренние ресурсы платы доступны для пользователя через контроллер Ethernet, входящий в состав интерфейса ipBUS. Контроллер Ethernet обеспечивает пакетный обмен данными между платой и ПК. В контроллере реализован протокол канального уровня ARP (Address Resolution Protocol) и протокол транспортного уровня UDP (User Datagram Protocol).

Обмен данными с СС платой происходит по двум оптическим линиям передачи (IpGBT интерфейс). Для этого в проекте реализован модуль IpGBT-FPGA, в который входит приёмник данных (Uplink), работающий со скоростью 10,24 Гбит/с, и передатчик данных (Downlink) - 2,56 Гбит/с.

На стенде успешно прошла проверка и настройка связи между платой концентратора и отладочной платой KCU105. В проекте для отладочной платы группой были реализованы протоколы для обмена данными с FE модулями (TOFHIR чипами).

### 1.1.5. Радиационные тесты на источнике нейтронов для PhaseII.

Группа ведет работы по использованию источника нейтронов для проведения в 2020 году радиационных тестов с быстрыми нейтронами, необходимых для проверки работоспособности детектора CMS при наборе данных в «PhaseII» с увеличенной светимостью. Для этой цели совместно с лабораторией БНЗТ ИЯФ СО РАН проводится модернизация установки БНЗТ для работы с дейтронами и создается инфраструктура для проведения радиационных тестов прототипов систем детектора CMS с быстрыми нейтронами (рис. 1.1.7).

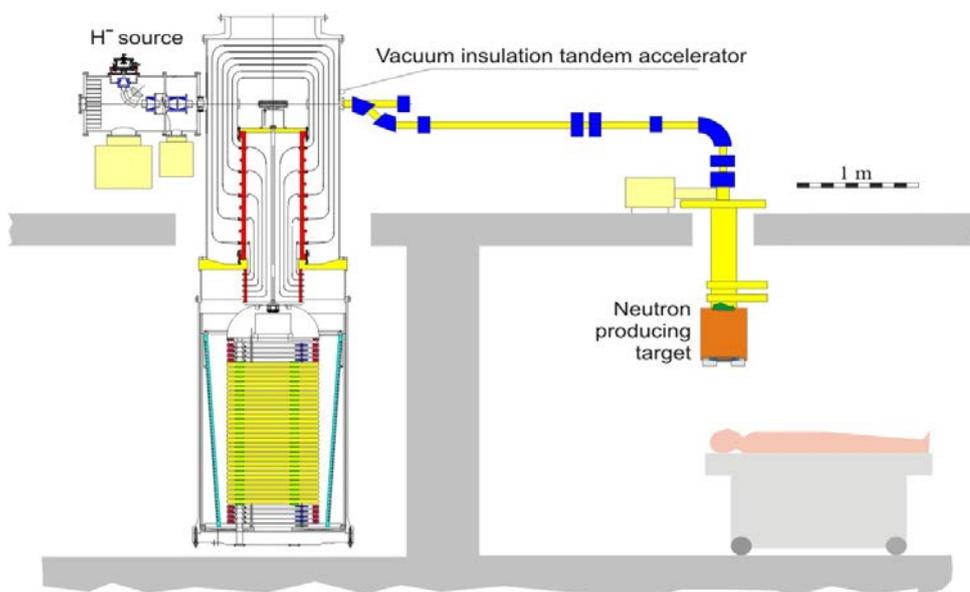


Рис. 1.1.7. Схема установки БНЗТ.

В установке БНЗТ для генерации нейтронов используется протонный пучок и литиевая мишень. Установка предназначена для генерации медленных нейтронов (до 100 кэВ), необходимых для проведения бор-нейтронозахватной терапии.

Для радиационных тестов с быстрыми нейтронами планируется переход с протонов на дейтроны, это позволит генерировать нейтроны с энергией до 15 МэВ. Спектр нейтронов показан на рис.1.1.8. При токе дейтронов  $\sim 1$  мА и энергии  $\sim 1$  МэВ поток нейтронов около мишени составляет  $\sim 5 \cdot 10^8 n_{eq}/cm^2/s$ . Дальнейшее увеличение потока нейтронов возможно при увеличении тока и энергии пучка дейтронов. Для улучшения однородности потока нейтронов для облучения больших образцов будет использован объем из свинца с толщиной стенок 10 см.

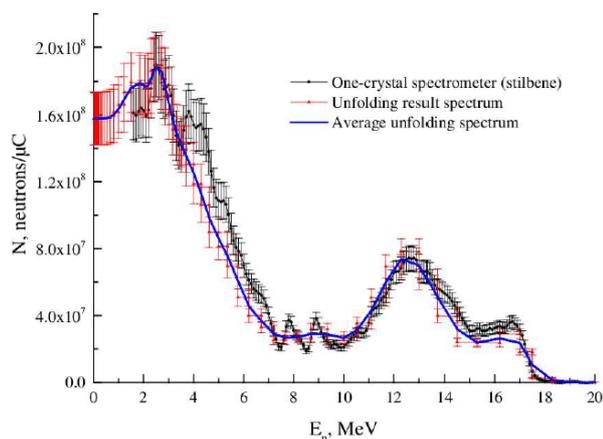


Рис.1.1.8. Наблюдаемый спектрнейтроновреакции  $d+Li \rightarrow n+X$  внаправлении пучка дейтронов и приэнергии пучка 2,9 МэВ. Средняя энергия нейтронов составляет 5,68 МэВ.

## 1.2. ДЕТЕКТОР СНД

### 1.2.1. Основные работы в 2019 году.

В 2019 году продолжались эксперименты с детектором СНД на  $e^+e^-$  коллайдере ВЭПП-2000. Статистика набиралась в двух диапазонах энергии в системе центра масс от 300 до 600 МэВ и от 1,05 до 2,00 ГэВ. Были записаны данные с интегральной светимостью  $70 \text{ pb}^{-1}$ .

Параллельно на СНД продолжались работы по модернизации детектора и системы сбора данных, главной целью которых являлось обеспечение возможности записывать и обрабатывать данные при возрастании светимости ВЭПП-2000 и получение дополнительной информации от подсистем детектора. Одновременно продолжался анализ экспериментальных данных, записанных в 2010-2018 годах на ВЭПП-2000 ( $210 \text{ pb}^{-1}$ ).

### 1.2.2. Модернизация детектора и системы сбора данных.

В 2019 г. набор данных производился с новой электроникой калориметра. Сигналы с 1640 каналов калориметра оцифровывались с помощью АЦП с ПЛИС со встроенным процессором (Xilinx) и чтением через Ethernet. Новый АЦП – это 24-канальный модуль с параллельными АЦП (flash ADC) с периодом оцифровки  $1/3 \times T_{обр} \approx 27 \text{ нс}$ . Всего использовалось 70 таких плат. Новая электроника помимо измерения амплитуды сигнала с отдельного счетчика калориметра позволяет определять время его срабатывания.

С 2019 года аналогичные сетевые платы с периодом оцифровки около 6 нс использовались для сигналов с черенковских счётчиков и сцинтилляционных счётчиков мюонной системы. Был разработан прототип подобной платы для оцифровки сигналов с проволочек дрейфовой камеры.

Для работы с новой электроникой была проведена существенная модернизация программного обеспечения системы сбора данных детектора СНД. Были реализованы промежуточные процессы чтения и упаковки данных (ргоху), которые позволяют во время набора статистики извлекать информацию из временной развертки сигнала, считанной с платы и создана необходимая программная инфраструктура: классы хранения, механизмы чтения и записи, конфигурация электроники для новых типов данных и новых модулей. Для работы с новой электроникой были модифицированы программы для генераторной калибровки каналов калориметра, катодных полосок дрейфовой камеры, сцинтилляционных и черенковских счетчиков. Разработан комплекс программ для калибровки формы сигналов.

Повышена скорость и надежность чтения данных. Система временного хранения переведена на быстрые диски типа SSD (solid-state drives). Улучшен контроль за достоверностью считываемых данных: доработан и реализован новый протокол обмена с сетевыми

платами, в который включена поддержка сессии и проверка на наличие сдвига в массивах данных с плат. Организован быстрый сброс электроники для восстановления набора данных в случае возникновения известных некритичных сбоев. Выявлены и решены проблемы в хранении данных, чтения и коммуникации, вызванные сбоями питания и поломками аппаратуры: остановка набора данных из-за поломок в ЦСУ и ПВВ, сбой БД, потеря связи с электронной пультовой, самопроизвольная перезагрузка сервера набора данных.

Много изменений внесено в интерфейс оператора СНД. Существенно улучшены простота и удобство использования, добавлен конфигурируемый контроль за условиями проведения эксперимента.

Дальнейшее развитие получила система контроля качества заходов (DQM). Добавлена фильтрация по различным критериям, пересмотрены критерии оценки качества захода дежурным, добавлены страницы со сводками о происходящем на прошлой/текущей сменах. Прогресс в работе по DQM отражен в стендовом докладе на международной конференции АСАТ2019.

Начаты работы по использованию новой разработки смежной лаборатории -адаптера USB-SAMAC. Реализована низкоуровневая библиотека на языке С для работы с этими платами. Реализованы программы ручного и автоматического тестирования. Начата работа по интеграции этой библиотеки в ПО СНД.

Информация о времени, поступающая с новой электроники калориметра, была интегрирована в программы реконструкции и моделирования событий. Стало доступно упрощенное, но реалистичное моделирование формы сигнала на выходе измерительного канала. Результаты работ по измерению времени в калориметре доложены на международной конференции.

Все нововведения зафиксированы в новом релизе программного обеспечения СНД и уже используются для проведения анализа процесса  $e^+e^- \rightarrow n \text{ anti-}n$ . По событиям процесса  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  измерено временное разрешение калориметра. Оно составило 0,8 нс. (Рис. 1.2.1.). Измерение времени в калориметре позволило выделять события процесса  $e^+e^- \rightarrow n \text{ anti-}n$  по запаздыванию сигнала от нерелятивистских антинейтронов (Рис. 1.2.2.). Результаты анализа процесса  $e^+e^- \rightarrow n \text{ anti-}n$  были представлены на международной конференции.

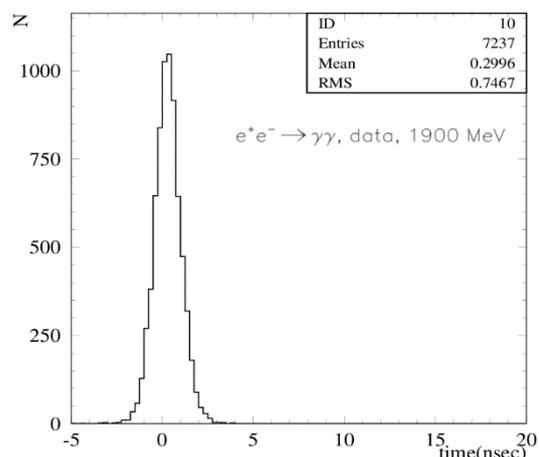


Рис. 1.2.1. Распределение по времени срабатывания калориметра относительно момента столкновения пучков для событий  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ .

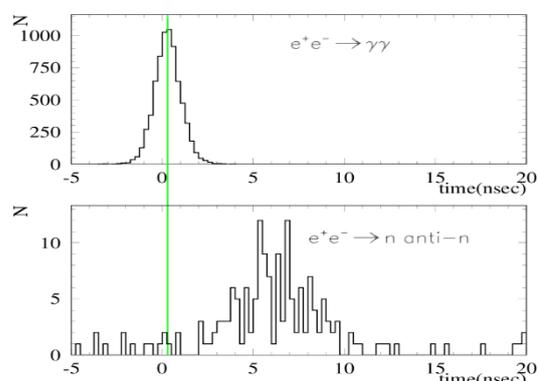


Рис. 1.2.2. Время срабатывания калориметра относительно момента столкновения пучков для событий  $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  и  $n \text{ anti-}n$ . Разброс в распределении для  $n \text{ anti-}n$  определяется разбросом положения точки аннигиляции  $\text{anti-}n$ .

### 1.2.3. Анализ данных СНД.

В 2019 году была опубликована статья по изучению процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  в области энергии  $\sqrt{s} = 1,34\text{--}2$  ГэВ. В анализе использовались данные с интегральной светимостью  $27\text{пб}^{-1}$ , записанные с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000 в 2011-2012 гг. В работе измерены полное сечение процесса и сечения для разных промежуточных состояний, дающих вклад в этот процесс:  $e^+e^- \rightarrow \omega\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow a_0(980)\rho + \text{pгес} \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ , где  $\text{pгес}$  – бесструктурное состояние.

Процесс  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  изучался в моде распада  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ . Отбор искоемых событий проводился на основе кинематическая реконструкция в гипотезе  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta \rightarrow \gamma\gamma$ , в которой требовалось выполнение законов сохранения энергии и импульса и наличие в событии  $\pi^0$  мезона. Число событий эффекта определялось при аппроксимации распределения по инвариантной массе двух фотонов, показанной на рис. 1.2.3, суммой эффекта и фона. На рис. 1.2.4 приведено распределение событий по массе отдачи  $\eta$ -мезона, которое аппроксимировалось суммой моделированных распределений для различных промежуточных состояний.

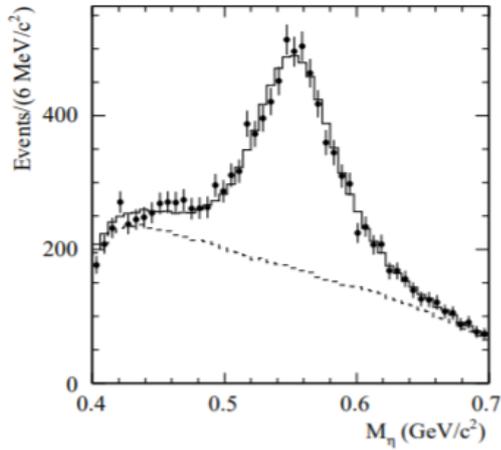


Рис.1.2.3. Распределение событий по инвариантной массе двух фотонов. Сплошная гистограмма – результат аппроксимации суммой распределений для эффекта и фона. Пунктирная кривая показывает вклад фона.

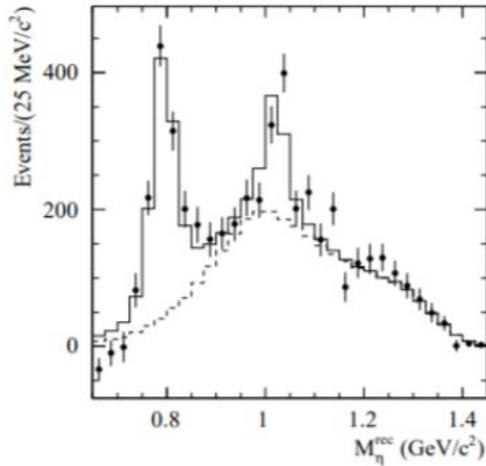


Рис.1.2.4. Распределение событий по массе отдачи η-мезона (точки с ошибками). Гистограмма – аппроксимация суммой распределений подпроцессов реакции  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ .

На рис. 1.2.5 приведены измеренное полное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  и сечения для промежуточных состояний  $\omega\eta$ ,  $\phi\eta$ ,  $a_0(980)\rho + \text{res.} \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  в сравнении с результатами предыдущих экспериментов. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \omega\eta$  согласуется с результатом КМД-3. Оба результата СНД и КМД-3 лежат ниже результатов BABAR. Измерения сечения  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$  СНД и BABAR находятся в согласии. Существенное расхождение наблюдается в измерениях СНД и КМД-3 в сечении процессов  $e^+e^- \rightarrow a_0\rho + \text{res.}$  Полное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  в целом согласуется с результатом КМД-3.

В 2019 году закончен анализ и опубликована работа по поиску процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$  (рис. 1.2.6.). Этот процесс является обратным для распада  $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$ . Поэтому, измеряя сечение  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$ , мы измеряем также и вероятность этого распада.

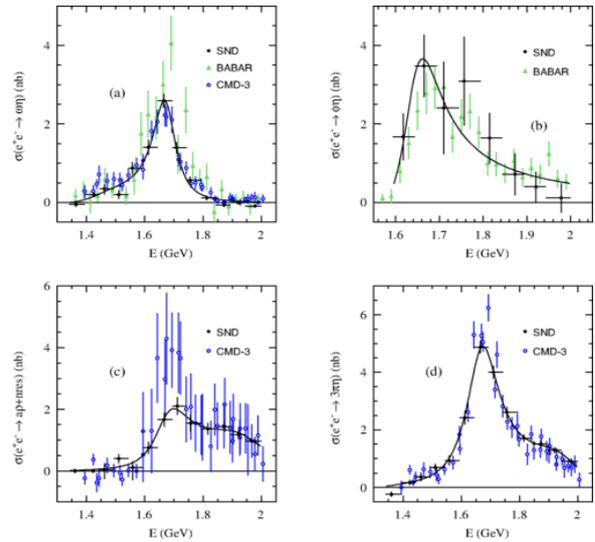


Рис.1.2.5. Сечения процессов  $e^+e^- \rightarrow \omega\eta$  (a),  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$  (b),  $e^+e^- \rightarrow a_0(980)\rho + \text{res.} \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  (c) и полное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  (d), измеренные СНД, в сравнении с результатами предыдущих измерений.

В работе анализировались данные с интегральной светимостью  $15,1 \text{ pb}^{-1}$ , записанные в 2010, 2011, 2012 и 2017 годах при энергии в системе центра масс  $\sqrt{s} = 1,2 - 1,4 \text{ ГэВ}$  в 12 энергетических точках. Набор данных в максимуме резонанса  $\sqrt{s}=1,282 \text{ ГэВ}$  с интегральной светимостью  $3,4 \text{ pb}^{-1}$  был сделан в 2017 году специально для этого эксперимента.

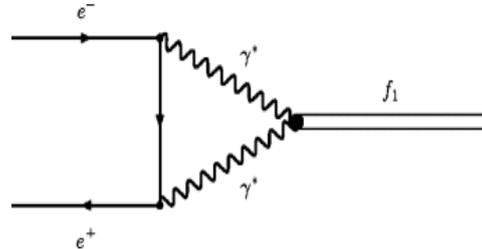


Рис.1.2.6. Диаграмма процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1$ .

Резонанс  $f_1(1285)$  не распадается на два фотона, тем не менее, может быть получен в  $e^+e^-$  аннигиляции через виртуальные фотоны. Теоретически процесс  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$  и распад  $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$  рассматривались в работах в рамках модели векторной доминантности, предполагая, что виртуальные фотоны на рис. 1.2.6 связаны с  $f_1$  через промежуточные  $\rho$  мезоны. Предсказано, что  $\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1(1285)) = (31 \pm 16) \text{ пб}$ , а вероятность распада  $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$  равна  $(3,5 \pm 1,8) \times 10^{-9}$ .

Для поиска процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$  была выбрана мода распада  $f_1(1285) \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ , поскольку это конечное состояние не рождается в однофотонной  $e^+e^-$  аннигиляции. Для других мод распада однофотонный фон на 2 или 3 порядка превышает эффект.

Поиск процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$  выполнялся в шести-фотонном конечном состоянии  $f_1(1285) \rightarrow \eta\pi^0\pi^0 \rightarrow 6\gamma$ . Отбор событий-кандидатов в  $f_1(1285)$  был основан на кинематической реконструкции в гипотезе  $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$  с требованиями закона сохранения энергии-импульса и наличия в событии двух  $\pi^0$ -мезонов и одного η-мезона. После применения ограничения на  $\chi^2$

кинематической реконструкции было отобрано 90 экспериментальных событий. Ожидаемое количество событий эффекта – около 5. Оставшийся фон происходит от процессов  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$ ,  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0\pi^0$  и  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$ .

Основной фон от процесса  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$  подавлялся ограничением на  $\chi^2$  кинематической реконструкции в гипотезе  $e^+e^- \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$ . Применялось также условие на отсутствие в событии кандидата в  $\omega$  мезон. Для подавления фона от реакции  $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$  ограничивалась энергия наиболее энергичного фотона в событии. В результате применения перечисленных выше условий было отобрано два события в максимуме резонанса  $f_1$  и ноль событий вне резонанса. Ожидаемый фон в пике резонанса равен 0,25 события. Значимость сигнала составляет  $2,5\sigma$ , что расценивается как первое указание на наблюдение процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$ .

Измеренное сечение рождения  $f_1(1285)$  в максимуме резонанса равно  $45^{+33}_{-24}$  пб и находится в согласии с теоретическим предсказанием  $31 \pm 16$  пб. Соответствующая вероятность распада  $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$  равна  $5,1^{+3,7}_{-2,7} \times 10^{-9}$ .

#### 1.2.4. Заключение

В 2019 году в эксперименте СНД на коллайдере ВЭПП-2000 в области энергии ниже 890 и выше 1050 МэВ были записаны данные с интегральной светимостью около  $70 \text{ пб}^{-1}$ . Продолжается поэтапная модернизация электроники и системы сбора данных детектора.

Продолжается анализ данных, набранных в 2010–2018 годы. Измерены сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$  и подпроцессов  $e^+e^- \rightarrow \omega\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$  и  $e^+e^- \rightarrow a_0\rho^+\text{ pgs}$ , где pgs – бесструктурное состояние  $\pi^+\pi^-\pi^0\eta$ . Сечение имеет пик вблизи энергии 1650 МэВ. Максимальное значение сечения процесса составляет 5 нб, около 8% полного адронного сечения при этой энергии.

Осуществлен поиск процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$  в моде распада  $f_1(1285) \rightarrow \eta\pi^0\pi^0$ . После применения критериев отбора были найдены два события в максимуме резонанса  $f_1(1285)$  и ни одного вне резонанса. Измеренное сечение в максимуме резонанса составляет  $\sigma(e^+e^- \rightarrow f_1) = 45^{+33}_{-24}$  пб и находится в согласии с предсказанием  $(31 \pm 16)$  пб. Это сечение соответствует  $B(f_1(1285) \rightarrow e^+e^-) = 5,1^{+3,7}_{-2,7} \times 10^{-9}$ . Мы рассматриваем этот результат как первое указание на наблюдение процесса  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$ .

## 1.3. ЭКСПЕРИМЕНТ BELLE

### 1.3.1. Основные результаты

Основным направлением Рабочей группы является сотрудничество в области физики элементарных частиц с Лабораторией Ускорителей высоких энергий (КЕК), Цукуба, Япония, являющейся одной из крупнейших и быстро развивающихся лабораторий мира в области физики высоких энергий. В последние годы руководство КЕК активно расширяет международное сотрудничество с целью сделать КЕК международным центром в этой области физики. Одним из основных экспериментов в физике элементарных частиц в Японии в настоящее время является изучение CP-нарушения в распадах B-мезонов с детектором Belle на электрон-позитронном накопителе с очень высокой светимостью (т.н. В-фабрике).

Сотрудники Института внесли большой вклад в создание электромагнитного калориметра детектора Belle как на этапе проектирования, так и при изготовлении элементов этого самого большого в мире калориметра на основе монокристаллов йодистого цезия, его сборке и наладке.

В 2010 году работа детектора Belle была остановлена для модернизации. Набранная к настоящему моменту интегральная светимость превышает  $10^{40}$  обратных фемтобарн. Сейчас продолжается обработка этих экспериментальных данных. В то же время идет подготовка к эксперименту Belle II: ведется модернизация детектора и ускорителя для увеличения светимости установки и подготовки экспериментов, которые позволят на порядок улучшить точность измерения параметров CP-нарушения и, возможно, наблюдать проявление физических явлений, выходящих за рамки Стандартной Модели.

Сотрудники Института принимают активное участие как в работах по модернизации детектора, так и в обработке набранных экспериментальных данных.

Ниже приведены основные результаты работы за 2019 год.

- В рамках изучения распадов  $\tau$ -лептона в  $h^+h^+h^+h^+h^+h^+$  определены полное число рожденных пар  $\tau^+\tau^-$  и уровень фона от процессов, не связанных с рождением пар  $\tau$ -лептонов. Обнаружен фон от каскадных распадов узких резонансов  $\Upsilon(2S) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$  для данных, набранных в пике  $\Upsilon(2S)$ .
- Для измерения параметров Мишеля в распадах  $\tau$  была разработана процедура определения экспериментальной поправки к эффективности реконструкции трека с использованием четырёхтрековых событий и трёхтрековых событий с потерянным пионом.
- Был проведён цикл работ по изучению возможности измерения параметров Мишеля на  $e^+e^-$  фабриках с поляризованными пучками.
- Изучалась поправка к факторизации в распаде  $B \rightarrow D^* \omega$ .

- Обнаружены процессы  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(1,2S)\eta$  и получены предварительные результаты по измерению их сечений. Также был проведен поиск процесса  $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(1S)\eta'$  и установлен верхний предел на величину его сечения при энергии в системе центра масс 10,866 ГэВ.
- Торцевые калориметры были установлены в детектор Belle II и подключены к системе сбора данных.
- Проведена калибровка калориметра по событиям двухфотонной аннигиляции, событиям упругого  $e^+e^-$  рассеяния и по событиям  $\mu^+\mu^-$ .
- Сделан ремонт неисправных каналов, а также модернизация и разработка системы сбора данных калориметра.
- Модифицированы проекты ПЛИС для коллекторов и усилителей-формирователей.
- Модуль измерения светимости бесперебойно работал и продемонстрировал высокую стабильность.

### 1.3.2. Анализ данных эксперимента Belle

#### Изучение распадов $\tau$ -лептона в $h^+h^+h^+h^+h^+$

Последние результаты экспериментов Belle и BaBar по измерению вероятностей распадов  $\tau \rightarrow h^+h^+h^+h^+h^+$  не согласуются между собой. Особенно большая разница наблюдается для распадов с одним и тремя заряженными каонами. Последний распад имеет максимально большое отличие среди всех распадов  $\tau$  лептона. Ввиду этого коллаборация Belle приняла решение провести новое независимое измерение вероятностей распадов  $\tau$  лептона в три заряженных адрона (пионы и каоны в разных комбинациях) и нейтрино.

Причины отличия в измеренных вероятностях связаны с неправильным учетом идентификации заряженных  $\pi$ -мезонов. Итоговая ошибка, связанная с идентификацией, была занижена в несколько раз в предыдущей работе. Нами были получены новые версии поправочных коэффициентов для моделирования идентификации. Идентификация частиц зависит от наличия низкоэнергетичных кластеров в калориметре вблизи трека. Отбор событий без таких кластеров позволяет уменьшить систематическую ошибку из-за идентификации. Разработаны новые оригинальные способы контроля систематической ошибки, связанной с идентификацией частиц. Это подход гарантирует получение корректного результата и уменьшение итоговой ошибки измерений. К сожалению, для части статистики (около 15%) ошибка из-за идентификации остается высокой (она в разы больше, чем для остальной части), поэтому было решено не включать в эти данные в обработку.

В этом году было определено полное число рожденных пар  $\tau^+\tau^-$  по их лептонным распадам в пары заряженных лептонов разного типа (электроны и мюоны). В итоге, получившиеся значения согласуются с данными по официальной интегральной светимости

с точностью 2%. Полное число рожденных пар  $\tau^+\tau^-$  нужно для нормировки. Кроме того, мы определили уровень фона от процессов, не связанных с рождением пар  $\tau$ -лептонов. Это процессы квантовой электродинамики, двухфотонного рождения адронов и электрон-позитронной аннигиляции в кварки. Были определены поправочные коэффициенты из экспериментальных данных для этих процессов. Обнаружен фон от каскадных распадов узких резонансов  $\Upsilon(2S) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$  для данных, набранных в пике  $\Upsilon(2S)$ . Эти процессы удалось выделить из экспериментальных данных. Также был вычислен весовой коэффициент для моделирования распада  $\tau$ -лептона в три заряженных каона. Этот процесс моделировался с постоянным матричным элементом. Была учтена структура слабого взаимодействия и спин-спиновые корреляции в предположении, что распад идет через промежуточное состояние Кф. Для каждого события вычисляется вес в зависимости от параметров моделированных частиц. Сейчас ведется работа над процедурой пересчета фона от распадов пар  $\tau^+\tau^-$  с учетом результатов последних изменений вероятностей  $\tau$ -лептона.

### Измерение параметров Мишеля в распадах $\tau$

В Стандартной модели переносчиками заряженного слабого взаимодействия являются векторные калибровочные бозоны  $W^\pm$ , которые взаимодействуют с фундаментальными фермионами с левой киральностью (иначе говоря, заряженный слабый ток обладает т.н. V-A структурой относительно преобразований Лоренца). Лептонные распады тау-лептона  $\tau \rightarrow l \text{ anti-}\nu_l \nu_\tau$ , ( $l = e, \mu$ ) позволяют провести прецизионную экспериментальную проверку структуры заряженного слабого тока. Дифференциальная ширина лептонного распада тау зависит от четырёх параметров ( $\rho, \eta, \xi$  и  $\delta$ ), называемых параметрами Мишеля, которые описывают структуру заряженного слабого взаимодействия (в Стандартной Модели  $\rho=0,75, \eta=0, \xi=1, \delta=0,75$ ). В анализе данных, набранных детектором Belle в области  $\Upsilon(4S)$ , используются события реакции  $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ , в которых сигнальный тау-лептон распадается в лептонную моду, а второй тау-лептон распадается в хорошо изученную адронную моду с двумя пионами ( $\tau^\pm \rightarrow l^\pm \nu_l \nu_\tau; \tau^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0 \nu_\tau$ ) (или, кратко, ( $l^\pm \nu_l \nu_\tau; \rho^\pm \nu$ )). Параметры Мишеля определяются из аппроксимации дифференциального сечения рождения ( $l^\pm \nu_l \nu_\tau; \rho^\pm \nu$ ) в полном девятимерном фазовом пространстве реакции.

В 2019 году была разработана процедура определения экспериментальной поправки к эффективности реконструкции трека с использованием четырёхтрековых событий ( $\tau^+ \rightarrow l^+ \nu_l \text{ anti-}\nu_\tau; \tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \text{ anti-}\nu_\tau$ ) и трёхтрековых событий с потерянными пионами ( $\tau^+ \rightarrow l^+ \nu_l \text{ anti-}\nu_\tau; \tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \text{ anti-}\nu_\tau$ ) ( $l=e, \mu$ ). Эта поправка (как функция импульса и полярного угла заряженной частицы) позволяет правильно учесть тот факт, что эффективность реконструкции трека является условной эффективностью, зависящей от типа триггера. Было показано, что поправки к эффективности реконструкции трека в условиях

заряженного и нейтрального триггера значительно отличаются, особенно в области малых импульсов заряженных частиц. Эти поправки необходимо применять к событиям, отобранным в условиях заряженного триггера. Проводится тестирование процедуры.

Также в 2019 году был проведён цикл работ по изучению возможности измерения параметров Мишеля на  $e^+e^-$  фабриках с поляризованными пучками. Для планирующейся в ИЯФ Супер Чарм-Тау фабрики были оценены чувствительности к параметрам Мишеля в зависимости от степени поляризации электронов  $P_e$  в электронном пучке. Было показано, что при  $P_e > 0,5$  чувствительность (на уровне  $10^{-4}$ ) ко всем параметрам Мишеля с проектной статистикой на Супер Чарм-Тау фабрике выше чувствительности, которую можно достичь в эксперименте Belle II (неполяризованный пучок  $e^-$ ) с проектным интегралом светимости  $50 \text{ ab}^{-1}$ . Для разных значений степени поляризации  $P_e > 0,5$  на Супер Чарм-Тау фабрике было также оценено допустимое уменьшение светимости коллайдера, сохраняющее преимущество в чувствительности к параметрам Мишеля, см Рис. 1.3.1.

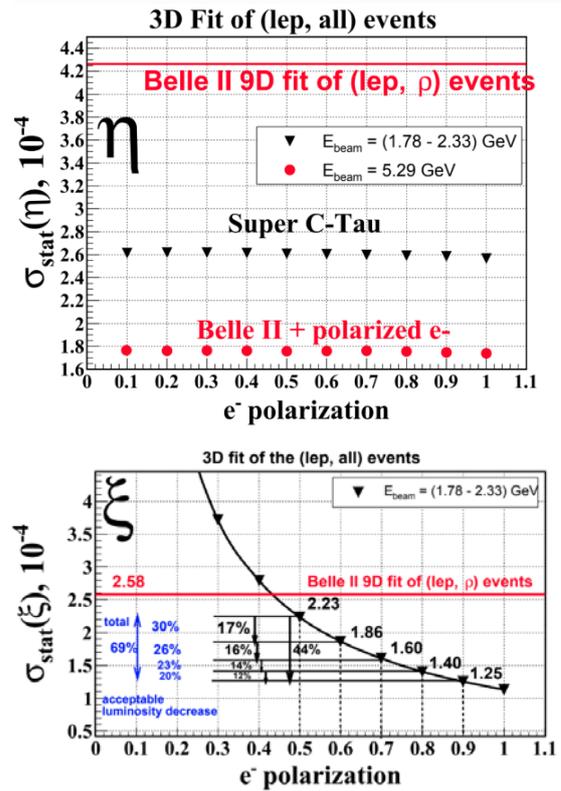


Рис. 1.3.1. Чувствительность (ожидаемая статистическая погрешность) к параметру Мишеля  $\eta$  (сверху) и  $\xi$  (снизу) как функция степени поляризации электронного пучка для Супер Чарм-Тау фабрики (чёрные треугольники) и ожидаемая чувствительность к  $\eta$  в эксперименте Belle II (красная линия).

### Поправка к факторизации в распаде $B \rightarrow D^* \omega \pi$

В данной работе изучалось рождение  $\omega\pi$ -пары в распаде  $B \rightarrow D^* \omega \pi$  с использованием результатов

амплитудного анализа данных с детектора Belle (PRD 92 (2015) 012013). В рамках гипотезы факторизации рождение  $\omega\pi$ -пары в адронных распадах  $B$ -мезонов аналогично рождению в  $\tau$  распадах и  $e^+e^-$  процессах (с учетом гипотезы сохранения векторного тока, CVC) для всех значений инвариантных масс этой пары. Наблюдаемые отклонения в поведении форм-фактора  $\omega\pi$  системы в распадах  $B$ -мезонов относительно  $e^+e^-$  ( $\tau$ ) процессов могут свидетельствовать о наличии поправок к факторизации. Таким образом, из распределения по инвариантной массе  $\omega\pi$  системы можно судить о поправках к факторизации во всей доступной кинематической области.

Поправки к факторизации можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся поправки, возникающие в пертурбативном подходе КХД. Их величина растет со значением  $q^2$  инвариантной массы  $\omega\pi$ . Таким образом, эти поправки приводят к относительному расхождению форм-факторов в  $B$ -распадах и  $e^+e^-$  ( $\tau$ ) процессах с ростом  $q^2$ . Вторая группа поправок не зависит от  $q^2$  и влияет на общую нормировку форм-фактора, уменьшая ее в  $B$ -распадах.

Зависимости  $\omega\pi$  форм-фактора можно проанализировать экспериментально, используя доступные данные  $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ . На Рис. 1.3.2 представлены экспериментальные данные для форм-фактора  $F_{\omega\pi}(q^2)$ , полученные в процессах  $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$  и  $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$ . Также показаны данные коллаборации NA60 (PLB 757 (2016) 437), полученные в конверсионном распаде  $\omega \rightarrow \mu^+\mu^-\pi^0$ . Зеленая полоса демонстрирует форм-фактор из распада  $B \rightarrow D^*\omega\pi$  с учетом неопределенностей модельных параметров. Черная линия показывает результат подгонки к данным SND-2016. К сожалению, ограниченная статистика в распадах  $B$ -мезонов не позволяет сделать прецизионного сравнения. Необходимо существенно увеличить статистику  $B$ -мезонов, которая будет доступна в эксперименте Belle II.

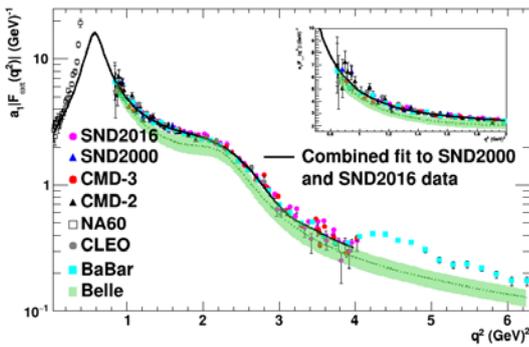


Рис. 1.3.2. Форм-фактор  $\omega\pi$ -системы, полученный из распадов  $B$ -мезонов (зеленая полоса), и  $e^+e^-$  ( $\tau$ ) процессов (экспериментальные точки). Также показаны данные NA60 в низкоэнергетической области.

### Изучение распадов $Y(5S) \rightarrow Y(1,2S)\eta$

Измерение ширины переходов между боттомониями с излучением  $\eta$  или  $\eta'$ -мезонов позволит лучше понять структуру возбужденных состояний боттомония и проверить предсказания феноменологических

моделей. Так, модель мультипольного расширения КХД предсказывает заметное подавление этих переходов по сравнению с переходами с излучением  $\pi^+\pi^-$  системы, однако измеренные ширины переходов не согласуются с этой гипотезой:

- $\Gamma(Y(2S) \rightarrow Y(1S)\eta)$  в два раза меньше ожидаемой;
- $\Gamma(Y(4S) \rightarrow Y(1S)\eta)$  на два порядка выше предсказаний.

Для разрешения данного несоответствия необходима дополнительная экспериментальная информация. Основной сложностью при экспериментальном изучении этих процессов является подавление фоновых событий, вероятность которых на несколько порядков превосходит ожидаемые вероятности изучаемых процессов.

Группой сотрудников ИЯФ ведется поиск подобных переходов с использованием уникальной статистики, набранной с детектором Belle при энергии в системе центра масс вблизи  $Y(5S)$  резонанса. Были разработаны оптимальные критерии отбора, которые позволили существенно подавить фоновые процессы и с высокой эффективностью выделить сигнальные события. Предварительные результаты анализа показаны на Рис.1.3.3. Впервые обнаружены процессы  $e^+e^- \rightarrow Y(1,2S)\eta$  и получены предварительные результаты по измерению их сечений. Также был проведен поиск процесса  $e^+e^- \rightarrow Y(1S)\eta'$  и установлен верхний предел на величину его сечения при энергии в системе центра масс 10,866 ГэВ.

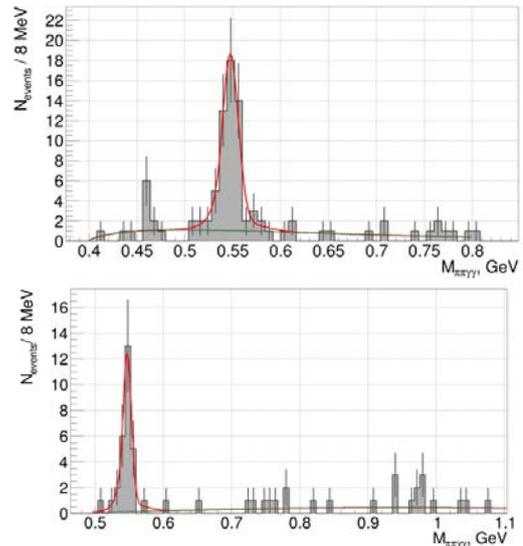


Рис. 1.3.3. Распределение по инвариантной массе системы  $\pi^+\pi^-\pi^0$  для событий  $Y(2S)\eta$  (сверху) и  $Y(1S)\eta$  (снизу). Сигнал  $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  хорошо виден в обоих случаях. Гистограммой показано распределение экспериментальных данных, линией – результаты аппроксимации.

### Подготовка к работе модернизированного калориметра детектора Belle II

В январе-феврале 2019 года после летней остановки торцевые калориметры были установлены в детектор Belle II и подключены к системе сбора данных. Модификация системы заземления торцевых счетчиков позволила улучшить шумы в триггерном и

спектрометрических каналах. В середине апреля 2019 года на коллайдере начались эксперименты со столкновениями пучков  $e^+e^-$ , и была получена светимость. В мае-июле проводился набор данных с детектором Belle II на коллайдере SuperKEKB. В этих заходах записывалась информация с калориметра. В марте была повторно проведена калибровка коэффициентов преобразования амплитуды в энергию и величин задержки временных сигналов счетчиков. Калибровка калориметра проводилась по событиям двухфотонной аннигиляции, событиям упругого  $e^+e^-$  рассеяния и по событиям  $\mu^+\mu^-$ . На Рис. 1.3.4 (сверху) показано распределение отношения калибровочных коэффициентов, полученных по новым данным и по данным предыдущего захода. На Рис. 1.3.4 (снизу) показано распределение отношения измеренного и ожидаемого энерговыделений для событий  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ .

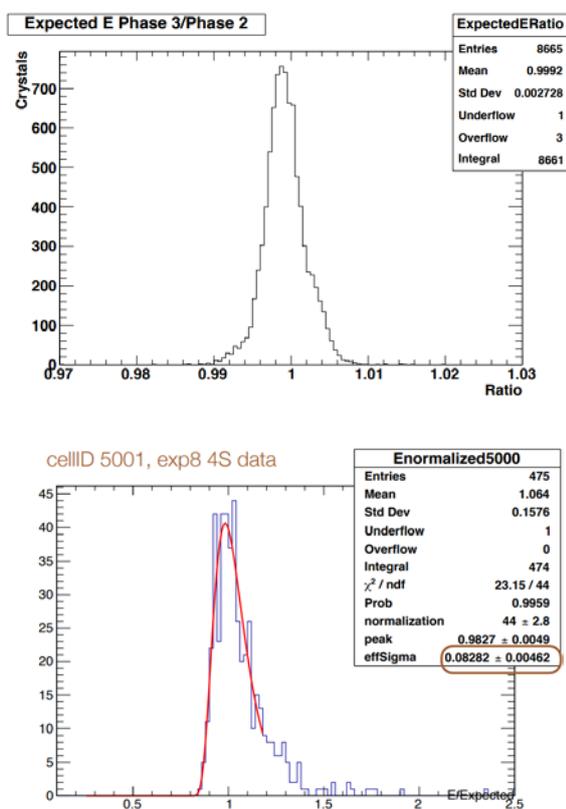


Рис. 1.3.4. Сверху: распределение отношения калибровочных коэффициентов, полученных по новым данным и по данным предыдущего захода. Снизу: распределение отношения измеренного и ожидаемого энерговыделений для событий  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ .

Летом-осенью 2019 года проводился ремонт неисправных каналов, а также модернизация и разработка системы сбора данных калориметра для обеспечения стабильной работы в течение набора данных и быстрой перезагрузки калориметра в момент начала захода. Были модифицированы проекты ПЛИС для коллекторов и усилителей-формирователей. Улучшенные проекты позволяют проводить считывание и запись данных АЦП для запусков случайного триггера, что необходимо для получения файлов с шумовыми срабатываниями, которые будут

использоваться для моделирования. Добавлены новые функции считывания установленных параметров электронных модулей. Введена функция идентификации событий, вызванных нестабильностью пучка, и функция подавления записи сырых данных для таких событий, что позволило существенно улучшить надежность системы, сохраняя высокую эффективность для сигнальных событий. Для контроля работы калориметра в момент набора данных генерируется набор гистограмм, позволяющих оперативно определить неисправность. Калориметр показывает стабильную работу вплоть до загрузок первичного триггера 35 кГц.

С середины октября по середину декабря 2019 года проводился новый набор экспериментальных данных. В течение этого эксперимента интенсивно настраивается оптика коллайдера для увеличения светимости с сохранением умеренной фоновой загрузки. В результате работы была достигнута светимость более  $10^{34} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Система калориметра работает стабильно.

### Модуль измерения светимости в реальном времени

Помимо измерения энерговыделения, производимого частицами, проходящими через вещество калориметра, важной задачей торцевой части электромагнитного калориметра детектора Belle II является оперативное измерение светимости SuperKEKB по событиям упругого  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$  рассеяния. Поскольку светимость должна измеряться непрерывно, вне зависимости от работы системы сбора данных детектора, для ее измерения в ИЯФ СО РАН был разработан отдельный электронный модуль. К началу 2018 года разработка и тестирование модуля было завершено, а сам модуль измерения светимости установлен на детектор Belle II и успешно интегрирован в общую систему сбора данных детектора. Кроме того, была обеспечена передача данных измерения светимости в систему контроля ускорительного комплекса SuperKEKB в режиме онлайн для оперативной настройки и контроля влияния параметров ускорителя на пиковую светимость.

В 2018 – 2019 годах модуль измерения светимости бесперебойно работал в течение всего времени набора данных и продемонстрировал высокую стабильность – изменение калибровочных коэффициентов от времени не превышает 0.5%, как показано на Рис. 1.3.5. По результатам работы эксперимента SuperKEKB/Belle II в сезоне 2019 года была получена пиковая светимость  $1,5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  и набран интеграл светимости около  $6,5 \text{ фб}^{-1}$ .

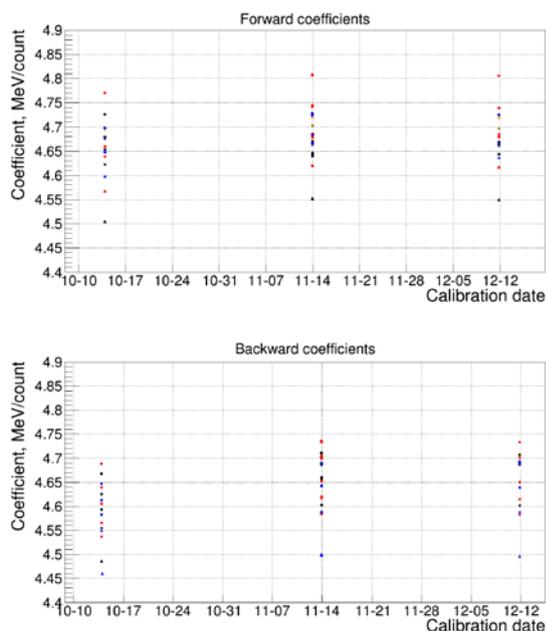


Рис. 1.3.5. Стабильность калибровочных коэффициентов модуля измерения светимости от времени в течение второй половины 2019 года. Показаны зависимости для 16 секторов передней (сверху) и задней (снизу) торцевой части калориметра детектора Belle II.

## 1.4. КРИОГЕННЫЕ И ГАЗОВЫЕ ЛАВИННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Работа по теме криогенных лавинных детекторов и газовых лавинных детекторов проводилась группой сотрудников в нескольких направлениях:

1) Развитие двухфазных криогенных лавинных детекторов (КЛД или CRAD) для низкофонных экспериментов по поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах.

2) Разработка новой методики идентификации ионов - с помощью измерения пробегов и ионизационных потерь ионов во время-проекционной камере (ВПК) низкого давления.

3) Участие в международных коллаборациях DarkSide по поиску темной материи и RD51 по развитию микроструктурных газовых детекторов.

Основной научный задел по этим направлениям сконцентрирован в совместной Лаборатории космологии и физики элементарных частиц (ЛКФЭЧ) Физического факультета НГУ и ИЯФ, созданной в 2011-2015 годах в рамках Мегагранта НГУ. Основной целью экспериментальной части ЛКФЭЧ является развитие новых методов регистрации ядер отдачи для экспериментов по поиску темной материи и регистрации когерентного рассеяния нейтрино на ядрах - с помощью разработки двухфазных КЛД предельной чувствительности на основе жидкого Ar. Оборудование лаборатории территориально находится в ИЯФ в помещениях ЛКФЭЧ, арендуемых НГУ. В 2012-2015 годах были произведены значительные закупки оборудования, в результате чего были полностью укомплектованы криогенно-вакуумные системы разрабатываемого детектора темной материи и частично - системы зарядового и оптического считывания сигналов и считывающей электроники. Кроме того, в рамках гранта ИЯФ-РНФ (N 14-50-00080) была оборудована чистая зона для сборки детекторов.

В основе метода работы КЛД лежит усиление предельно слабых сигналов от ядер отдачи (образованных в криогенной жидкости от рассеяния частиц темной материи) в газовой фазе с помощью электролюминесцентного (ЭЛ) зазора и считывания оптического сигнала с помощью SiPM-матриц - либо напрямую, либо в составе комбинированного умножителя ГЭУ/SiPM-матрица (газовых электронных умножителей (ГЭУ) и кремниевых фотоумножителей (SiPM)).

В 2019 году в полном соответствии с планом работ были продолжены исследования по физике таких детекторов и по их разработке. В частности, на установке, показанной на Рис.1.4.1, были начаты исследования по двум актуальным направлениям: первое - детальное изучение формы ЭЛ сигнала; второе - измерение выходов первичных сцинтилляций в жидком аргоне с добавкой метана.

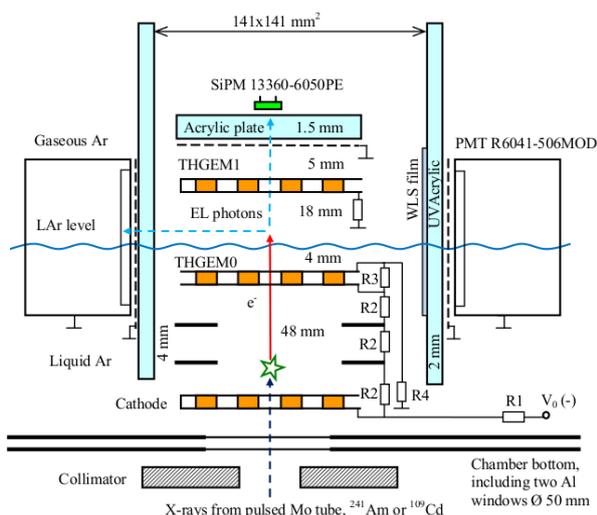


Рис. 1.4.1. Схема экспериментальной установки для исследований пропорциональной ЭЛ в двухфазном аргоне и первичных сцинтилляций в жидком аргоне с добавкой метана.

Ниже описывается мотивация первого направления исследований. Понимание формы импульса ЭЛ сигнала (S2 сигнала) необходимо для правильного анализа и интерпретации данных в двухфазных детекторах темной материи. Это особенно важно при поиске частиц темной материи малой массы с использованием «S2 only» анализа, где сигнал S1 слишком слаб и поэтому учитывается только сигнал S2. В данном направлении исследований формы ЭЛ сигналов в двухфазном аргонном детекторе были впервые систематически изучены в широком диапазоне приведенного электрического поля. Формы сигналов исследовались в различных конфигурациях считывания и спектральных диапазонах: с использованием криогенных ФЭУ и SiPM, со сместителем спектра и без него, в ВУФ и видимом диапазоне.

Ниже описывается мотивация второго направления исследований. Нейтронный вето-детектор на основе жидкого сцинтиллятора, содержащего атомы водорода, является неотъемлемой частью любого подземного эксперимента по поиску темной материи. До сих пор в качестве жидкого сцинтиллятора использовались легковоспламеняющаяся смеси жидких углеводородов. Безопасной альтернативой мог бы быть жидкий сцинтиллятор на основе жидкого аргона с добавкой метана. Однако хорошо известно, что даже небольшое количество примеси  $\text{CH}_4$  гасит первичные сцинтилляции в жидком Ar в вакуумном ультрафиолетовом (ВУФ) диапазоне, т.е. по «стандартному» механизму первичных сцинтилляций. С другой стороны, некоторые авторы наблюдали необычные первичные сцинтилляции в жидком Ar в видимом диапазоне. Мы предположили, что такие первичные сцинтилляции жидкого Ar в не-ВУФ-области могут объясняться тормозным излучением электронов первичной ионизации на нейтральных атомах. Целью данного направления является проверка этой гипотезы.

Результаты этих направлений исследований будут представлены в 2020 году.

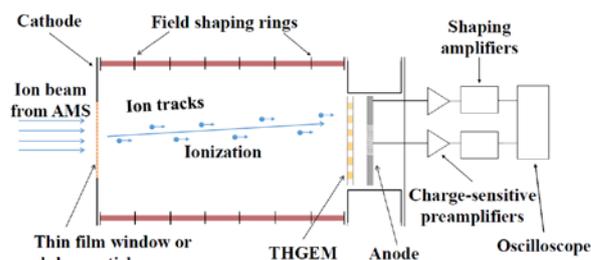


Рис. 1.4.2. Принцип работы и схема ВПК низкого давления на основе толстого ГЭУ для идентификации ионов в УМС методом измерения пробега ионов.

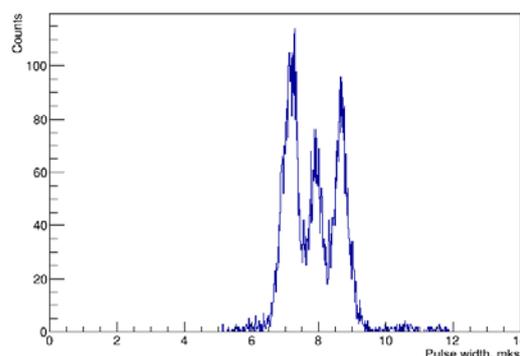


Рис. 1.4.3. Длительность сигналов от альфа-частиц от источников  $^{233}\text{U}$  (4,8 MeV),  $^{239}\text{Pu}$  (5,2 MeV) и  $^{238}\text{Pu}$  (5,5 MeV) в ВПК низкого давления на основе ГЭУ в изобутане при давлении 120 Торр и усилении ГЭУ 40.

В 2019 году были продолжены работы по разработке новой методики идентификации ионов для ускорительной масс-спектрометрии (УМС) - с помощью измерения пробегов ионов во время-проекционной камере (ВПК) низкого давления на основе толстого ГЭУ: см. Рис. 1.4.2. На примере альфа-частиц было продемонстрировано, что с помощью измерения длительности сигнала в ВПК можно с очень хорошей точностью (2%) измерить пробег альфа-частиц: см. Рис. 1.4.3. Моделирование в программе SRIM показало, что такого разрешения будет достаточно для эффективного разделения изобар ионов бора и бериллия. Эта методика будет иметь практическое применение в области ускорительной масс-спектрометрии для датировки геологических образцов на масштабе миллиона лет, в частности в геохронологии кайнозоя.

С 2015 года группа является членом международной коллаборации DarkSide-20k (Гран-Сассо, Италия) по поиску темной материи, - единственному действующему эксперименту по поиску темной материи, где используется жидкий аргон.

Группа является членом международной коллаборации RD51 в CERN по развитию микроструктурных газовых детекторов, образованной в 2008 году.

В 2019 году работы по криогенным лавинным детекторам были поддержаны грантом РФФИ (18-02-00117).

Научные результаты в области криогенных лавинных детекторов за 2019 год отражены в публикациях и были доложены на конференциях.

Работа [4] вошла в список лучших работ ИЯФ за 2019 год.

#### Статьи

[1.] Bondar A., Buzulutskov A., Frolov E., Oleynikov V., Shemyakina E., Sokolov A., Electron transport and electric field simulations in two-phase detectors with THGEM electrodes // Nucl. Instrum. and Methods A. 2019. V. 943. Paper 162431. P. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.162431>

[2.] Bondar A.E., Buzulutskov A.F., Dolgov A.D., Legkodymov A.A., Nosov V.V., Oleynikov V.P., Porosev V.V., Shemyakina E.O., Sokolov A.V., Characterization of a  $^{109}\text{Cd}$  Gamma-Ray Source for the Two-Phase Argon Detector // Instruments and Experimental Techniques. 2019. V. 62. P. 746-749. <https://doi.org/10.1134/S0020441219050142>. Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Долгов А.Д., Легкодымов А.А., Носов В.В., Олейников В.П., Поросев В.В., Соколов А.В., Шемякина Е.О., Калибровка двухфазного детектора в аргоне с помощью источника  $\gamma$ -излучения  $^{109}\text{Cd}$  // Приборы и техника эксперимента. 2019. N. 6. С. 20-23. <https://doi.org/10.1134/S0032816219050173>

[3.] Bondar A., Buzulutskov A., Dolgov A., Frolov E., Nosov V., Oleynikov V., Shemyakina E., Sokolov A., Neutral bremsstrahlung in two-phase argon electroluminescence: further studies and possible applications // Nucl. Instrum. and Methods A. 2020. V. 958. Paper 162432. P. 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.162432>

[4.] Bondar A., Buzulutskov A., Parkhomchuk V., Petrozhitskiy A., Shakirova T., Sokolov A., Low-pressure TPC with THGEM readout for ion identification in Accelerator Mass Spectrometry // Nucl. Instrum. and Methods A. 2020. V. 958. Paper 162780. P. 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.162780>

## 1.5 ДЕТЕКТОР КМД-3

В 2019 году состояние систем детектора КМД-3, который показан на Рис. 1.5.1, было на хорошем рабочем уровне и набор новых экспериментальных данных выполнялся на «крейсерской» скорости. Также продолжался анализ статистики, полученной в сезонах 2011-2018 годов.

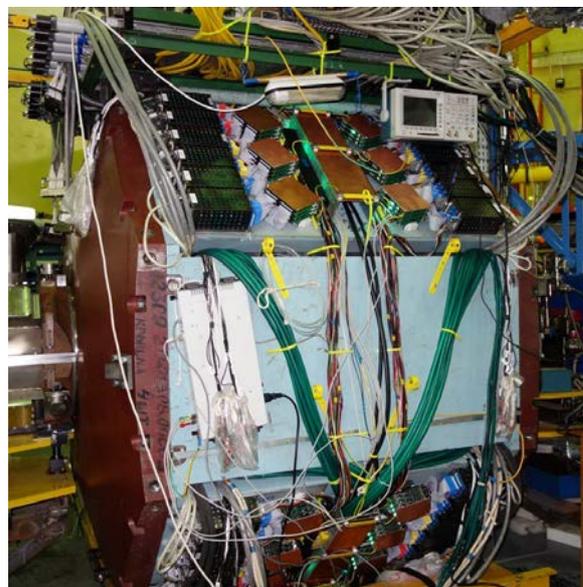


Рис. 1.5.1 Детектор КМД-3 в экспериментальном зале ВЭПП-2000

История набора статистики с детектором КМД-3 в 2011–2019 показана на Рис. 1.5.2. К настоящему моменту всего на детекторе накоплен интеграл около 250 обратных пб. В течение 2019 года произведен набор экспериментальной статистики в области энергий как выше, так и ниже 1 ГэВ в с.д.м.

В январе-июне 2019 года проведено сканирование области энергий от 1,1 ГэВ до 1,975 ГэВ в с.д.м. в 47 точках по энергии с характерным шагом по энергии 25 МэВ. В каждой точке набран интеграл светимости от 1 до 4 обратных пикобарн. Суммарный интеграл составил 68 обратных пикобарн. Это приблизительно удвоило суммарный интеграл светимости, набранный в этой области энергии, и превышает суммарный интеграл, ранее доступный в мире. Набранный интеграл позволит с наилучшей в мире точностью измерить эксклюзивные сечения рождения адронов в электрон-позитронной аннигиляции в этой области энергий.

В октябре-ноябре 2019 года проведено сканирование области энергий от 0,36 ГэВ до 0,60 ГэВ в с.д.м. в 13 точках по энергии с шагом по энергии 20 МэВ. В каждой точке набран интеграл светимости от 50 до 100 обратных нанобарн. Такого интеграла будет достаточно для улучшения статистической точности измерения формфактора пиона в два раза по сравнению с точностью лучших существующих измерений.

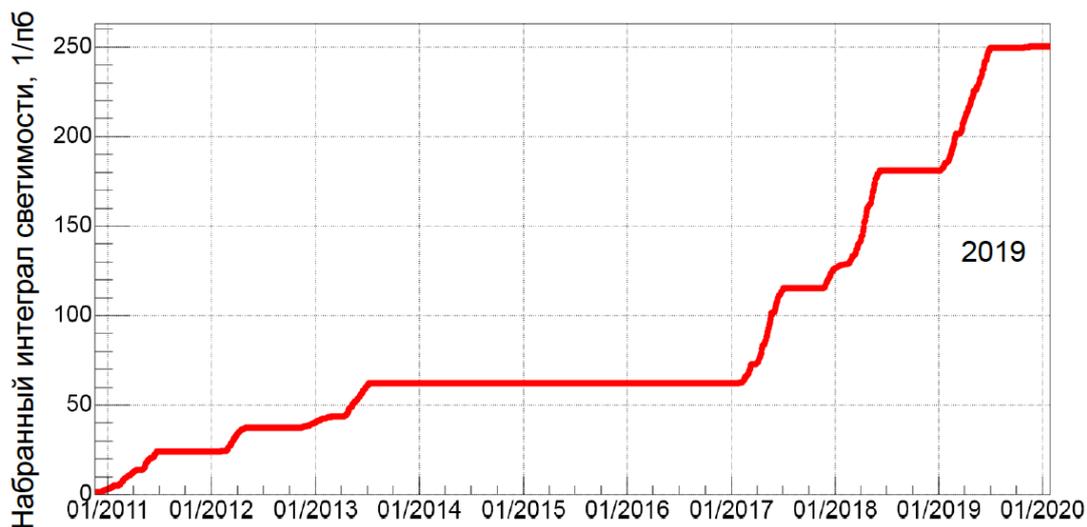


Рис. 1.5.2 История набора статистики с детектором КМД-3 в 2011-2019 гг.

Основная цель экспериментов с детектором КМД-3 — изучение процессов электрон-позитронной аннигиляции в адроны в области энергий от порога рождения до 2 ГэВ в системе центра масс. Для достижения этой цели необходимо измерить эксклюзивные сечения рождения отдельных конечных состояний и изучить динамику их образования. Так, в 2019 году были закончены и опубликованы результаты анализа процесса  $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)\pi^0$ , сечение которого в диапазоне энергий 1,6 – 2,0 ГэВ в системе центра масс было измерено впервые. Зависимость сечения от энергии показано на Рис. 1.5.3 черными точками. Исследование динамики показало, что основной вклад в образование этого конечного состояния дают процессы  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\eta$  и  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\omega$ , зависимости сечений от энергии, которых показаны на Рис. 1.5.3 синим и зеленым цветом соответственно.

На основе данных, набранных с детектором КМД-3 в 2011, 2012 и 2017 годах было с наилучшей точностью измерено сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ . Зависимость сечения этого процесса от энергии показано на Рис. 1.5.4. Проведенный анализ энергетической зависимости сечения  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$  позволил получить параметры резонанса  $\phi(1680)$  с хорошей точностью. Исследование динамики этого процесса показало, что конечное состояние  $K^+K^-\eta$  образуется через промежуточное рождение  $\phi\eta$  и другие промежуточные процессы значимых вкладов в конечное состояние  $K^+K^-\eta$  не дают.

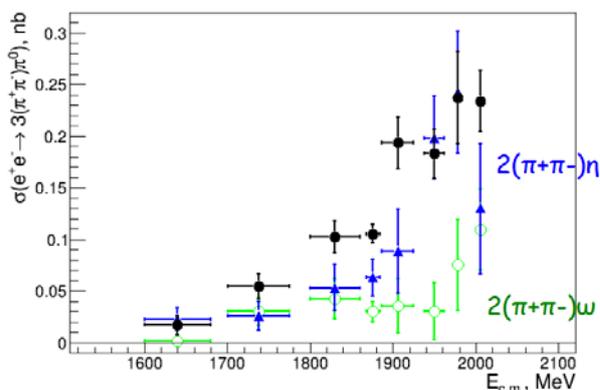


Рис. 1.5.3 Зависимость от энергии сечений процессов  $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)\pi^0$  (черные точки),  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\eta$  (синие треугольники) и  $e^+e^- \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)\omega$  (зеленые открытые точки).

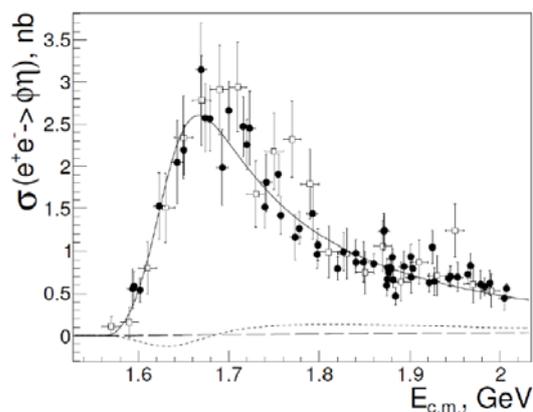


Рис. 1.5.4 Зависимость от энергии сечений процесса  $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ .

Полностью закончен анализ данных на пороге рождения нуклон-антинуклонной пары. Отмечено необычайно резкая зависимость поведения сечений в этой области, не наблюдавшаяся ранее. Аппроксимация порогового поведения рождения пары протон-антипротон, показанная на рисунке 1.5.5, позволила определить, что сечение нарастает на масштабе менее одного МэВ. Этому эффекту нет ясной теоретической интерпретации.

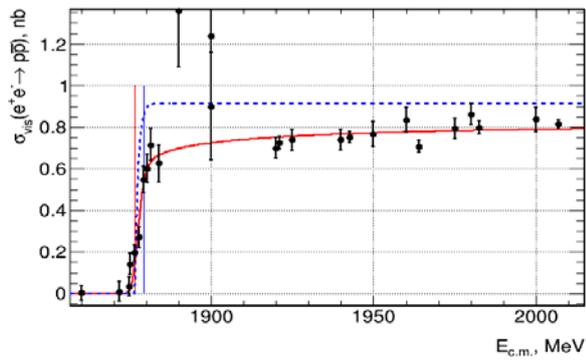


Рис. 1.5.5. Поведение энергетической зависимости сечения рождения протон-антипротонной пары.

## 1.6. ОТЧЕТ О РАБОТЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГРУППЫ ЛНЦБ

### 1.6.1. Измерение сечения рождения $B_s^0$ и $B^+$ мезонов.

Одним из направлений работы группы было измерение сечения рождения  $B_s^0$  и  $B^+$  мезонов при энергии 8 ТэВ, где энергия рассчитана в системе центра масс протонов, сталкивающихся на Большом Адронном Коллайдере – Large Hadron Collider (LHC). Измерения проводились на основе интегральной светимости  $2 \text{ фб}^{-1}$ . Для того чтобы измерить сечения рождения  $B_s^0$  и  $B^+$  мезонов исследовались процессы  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \phi$  ( $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$  и  $\phi \rightarrow K^+ K^-$ ) и  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  (с последующим распадом  $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ).

Измерения сечения рождения  $B$ -мезонов в результате протон-протонных столкновений позволяют осуществлять проверку расчётов квантовой хромодинамики в рамках теории возмущений (пертурбативной КХД) и, в особенности, расчётов, основанных на методе FONLL (Fixed Order and Next-to-Leading Logarithms). Вычисления в рамках метода FONLL содержат существенную неопределённость, причина которой заключается в допустимости разного выбора масштаба перенормировки и факторизации, а также из-за неточности определения массы  $b$ -кварка. Точные измерения полного и дифференциального сечения рождения заряженных и нейтральных  $B$ -мезонов дают возможность ограничить область возможных параметров, оказывающих влияние на расчёты. Особый интерес представляют отношения сечений одних и тех же процессов при различных значениях энергии, так как в этих отношениях сокращаются систематические неопределённости.

Ранее коллаборацией LHCb проводились измерения сечения рождения заряженных  $B$ -мезонов при энергии 7 ТэВ. В результате были измерены интегральное и дифференциальное сечения в диапазоне поперечных импульсов ( $p_T$ ) от 0 до 40 ГэВ/с и в диапазоне быстроты ( $y$ ) от 2,0 до 4,5. При этом использовались экспериментальные данные, соответствующие интегральной светимости  $397 \text{ пб}^{-1}$ . Таким образом, появляется возможность сравнить исследуемые сечения при разных энергиях.

Для отбора событий моделирования Монте-Карло (MC), соответствующих распаду  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  ( $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ), были применены ограничения, представленные в табл. 1.1. После отбора событий проводилось измерение эффективности триггера двумя методами:

1. Метод TIS/TOS:

$$(1/\epsilon_{TIS/TOS}) = 1 + \frac{N_{TIS\&notTOS}}{N_{TIS\&TOS}}$$

2. Метод MCflag (требуется срабатывание для  $B$ ,  $J/\psi$  и  $K$  мезонов одновременно):

$$(1/\epsilon_{MCflag}) = 1 + \frac{N_{MCflag\&notTOS}}{N_{MCflag\&TOS}}$$

В приведённых формулах  $\epsilon$  – это эффективность срабатывания триггера, а индекс соответствует способу расчёта.

Таблица 1.6.1. Общие ограничения, накладываемые на параметры частиц в распаде  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$  ( $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ).

Параметр	Ограничение
Масса $B^+$ мезона	[5200, 5360] МэВ/с <sup>2</sup>
Поперечный импульс ( $p_T$ ) $B^+$ мезона	[0, 40] ГэВ/с
Быстрота ( $y$ ) $B^+$ мезона	[2,0; 2,5]
DTF $B^+$ мезона	[0,0; 5,0]
$\chi^2_{\text{vertex}}/\text{ndf}$ $B^+$ мезона	[0, 20]
ст $B^+$ мезона	[0,1; 2,0] мм
Поперечный импульс $K^+$ мезона	$\geq 500$ МэВ/с
Поперечный импульс заряженных мюонов	$\geq 550$ МэВ/с
Масса $J/\psi$ мезона	[3020, 3135] МэВ/с <sup>2</sup>

Комбинацией TIS – trigger independent on signal – обозначается триггер, который не зависит от сигнального события; TOS – trigger on signal – это триггер, который соответствует сигнальному событию. Идея метода TIS/TOS заключается в том, что вначале отбираются события, для которых сработал TIS. Множество таких событий составляет выборку, внутри которой осуществляется поиск событий со сработавшим TOS, то есть поиск сигнальных событий. Далее эффективность срабатывания триггера вычисляется как отношение количества сигнальных событий к количеству событий в выборке. Метод TIS/TOS применяется в том случае, когда нет возможности точно установить принадлежность частицы к определённому типу, что имеет место в случае анализа реальных экспериментальных данных. Однако в моделировании имеется возможность точно идентифицировать частицы, поэтому для MC также применялся метод определения триггерной эффективности по MC-flag. Эффективность срабатывания триггера вычислялась для комбинаций триггеров разного уровня.

Ограничения, применяемые при определении количества событий, входящих в формулы расчёта эффективности триггера, представлены в таблице 1.6.2. Эффективность триггера рассчитывалась в кинематических бинах по поперечному импульсу и скорости ( $p_T$ ,  $y$ ) заряженного  $B$  мезона, и проводилось

сравнение результатов для двух методов. Применяемые наборы триггерных линий соответствовали трём режимам отбора событий: сильному, среднему и слабому. Уровни триггера включали триггеры низкого и высокого уровня: L0, HLT1 и HLT2.

Сравнение результатов, полученных для двух методов, выполнялось для того, чтобы оценить систематическую неопределённость эффективности срабатывания триггера, которая, в свою очередь, должна быть определена из данных. Систематическая погрешность для каждого кинематического бина определялась следующим образом:

$$\epsilon_{MC} = (\epsilon_{MCtistos} - \epsilon_{MCflag}) / (\epsilon_{MCtistos} + \epsilon_{MCflag})$$

Таблица 1.6.2. Ограничения, применяемые, в дополнение к общим ограничениям, при нахождении параметров для расчёта триггерной эффективности. Обозначения: \*trigger\* - применяемый набор триггерных линий, \*level\* - уровень триггера.

Количество событий	Ограничение
$N_{TIS\&TOS}$	*trigger*_level*tis and *trigger*_level*tos
$N_{TIS\&notTOS}$	*trigger*_level*tis and not (*trigger*_level*tos)
$N_{MCflag\&TOS}$	trueB and trueJ/ $\psi$ and trueK and *trigger*_level*tos
$N_{MCflag\&notTOS}$	trueB and trueJ/ $\psi$ and trueK and not(*trigger*_level*tos)

В качестве примера был взят один бин по быстрой ( $y$ ) от 2,0 до 2,5 и одна комбинация наборов триггерных линий и уровней (tightL0L1L2). При этом были проанализированы подгруппы наборов MC из одной группы для минимизации ошибки за счёт возможного отличия между группами. Результаты анализа систематической погрешности определения триггерной эффективности для различных подгрупп MC представлены в таблице 1.6.3.

Таблица 1.6.3. Систематическая погрешность определения триггерной эффективности в различных подгруппах в рамках одной группы моделирования MC для бина по быстрой  $2,0 < y < 2,5$  в случае комбинации триггерных линий и уровней tightL0L1L2.

Номера подгрупп MC	$\Delta\epsilon_{MC}$ , %	События до общего отбора	События после общего отбора
№0	$5,6 \pm 5,5$	64 263	54 785
№0+№1	$7,6 \pm 4,8$	82 662	70 498
№0+№1+№2	$6,7 \pm 4,3$	103 814	88 427
№0+№1+№2+№3	$7,7 \pm 3,9$	116 513	99 282
№0+№1+№2+№3+№4	$8,9 \pm 3,9$	121 080	103 151

Систематическая погрешность определения эффективности триггера также была вычислена для случая применения процедуры аппроксимации массы В мезона для выбранного кинематического бина  $2,0 < y < 2,5$  для набора MC, состоящего из четырёх подгрупп. Результаты без применения и с применением аппроксимации представлены в таблице 1.6.4 и таблице 1.6.5.

Таблица 1.6.4. Принятые и отброшенные события при расчёте эффективности триггера, а также сами значения эффективности, полученные без применения процедуры аппроксимации и с этой процедурой. К наборам данным применялись веса для корректировки моделирования, поэтому количество событий нецелое. Процедура аппроксимации (fit) применялась только для расчёта количества принятых событий.

	MCflag	MCflag with fit	MCtistos	MCtistos with fit
$N_{\text{приняты}}$	$4074,65 \pm 64,74$	$3997,26 \pm 64,03$	$124,93 \pm 11,20$	$124,92 \pm 9,23$
$N_{\text{отброшены}}$	$8145,52 \pm 92,38$	$8145,52 \pm 92,38$	$188,46 \pm 13,92$	$188,46 \pm 13,92$
$\epsilon_{\text{триггер}}$ , %	$33,34 \pm 0,43$	$32,92 \pm 0,43$	$39,86 \pm 2,78$	$39,86 \pm 2,50$

Таблица 1.6.5. Сравнение систематической погрешности эффективности срабатывания триггера, полученной с применением и без применения процедуры аппроксимации.

$\Delta\epsilon_{MC}$ , %	$\Delta\epsilon_{MC}$ with fit, %
$8,9 \pm 3,9$	$9,5 \pm 3,5$

Аппроксимация распределения массы В мезона при вычислении количества принятых событий для случая расчёта методом MCflag показаны на рис. 1.6.1,

аналогичное распределение для случая применения метода TIS/TOS для отбора событий показано на рис. 1.6.2.

Предварительные результаты по измерению сечения рождения  $B_s^0$  и  $B^+$  мезонов в кинематической области  $0 < p_T < 40$  ГэВ/с и  $2,0 < y < 4,5$  по быстрой ( $y$ ) и поперечному импульсу ( $p_T$ )  $B_s^0$  и  $B^+$  мезонов:

$$\sigma(B_s^0) = 13,86 \pm 0,20 \text{ (стат.)} \pm 1,23 \text{ (сист.) мкб,}$$

$$\sigma(B^+) = 45,58 \pm 0,08 \text{ (стат.)} \pm 1,70 \text{ (сист.) мкб.}$$

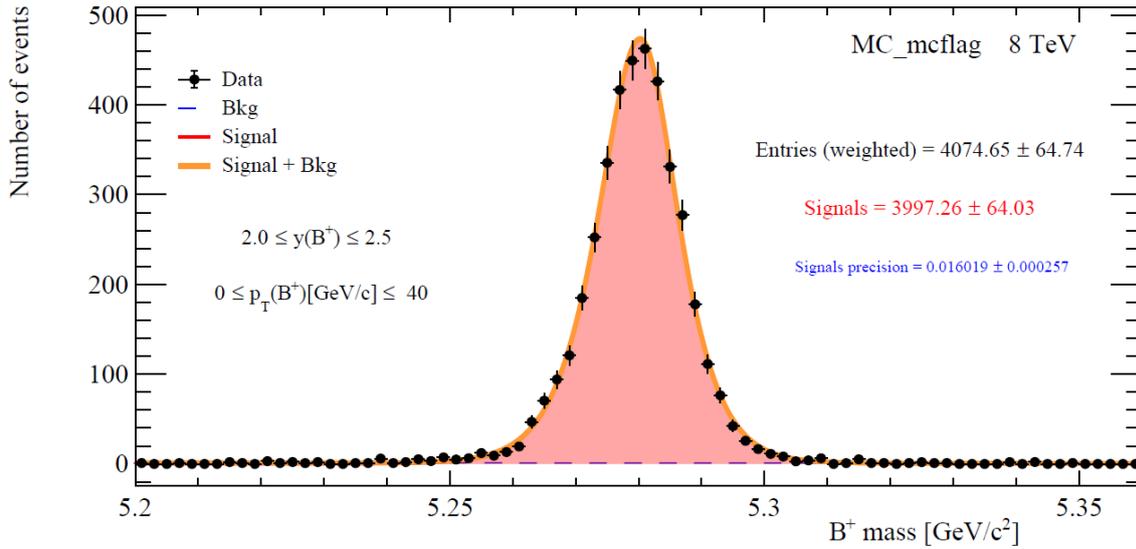


Рис. 1.6.1. Аппроксимация распределения массы В мезона при определении количества событий, прошедших отбор триггера в случае расчёта эффективности триггера методом MCflag.

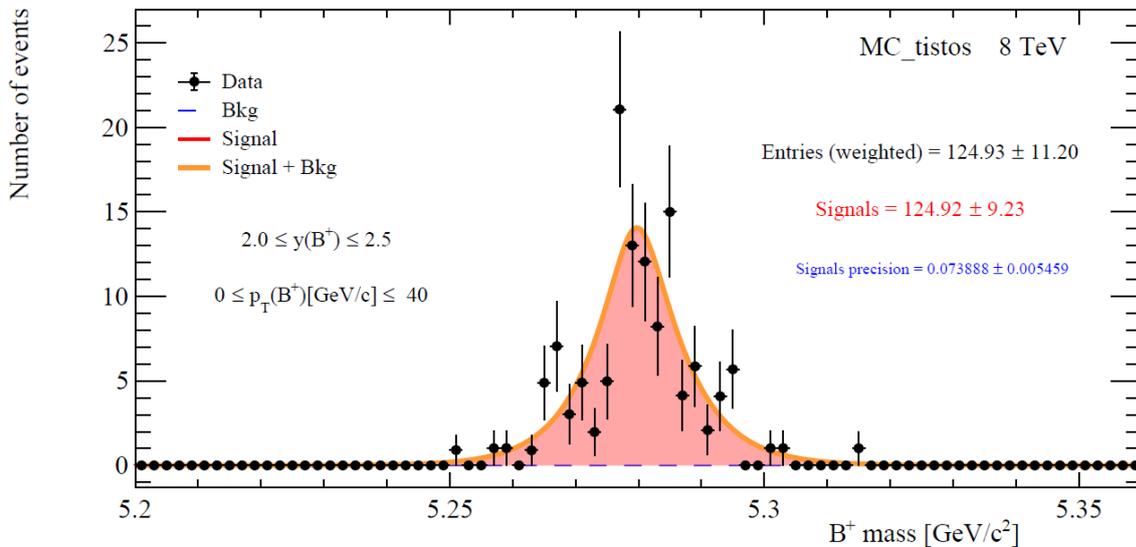
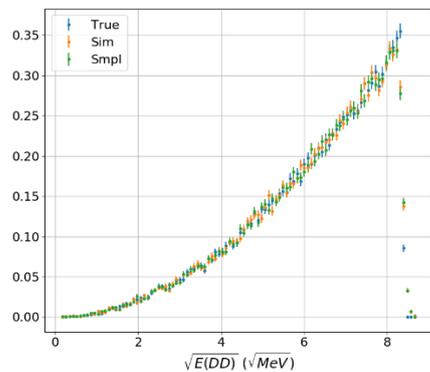
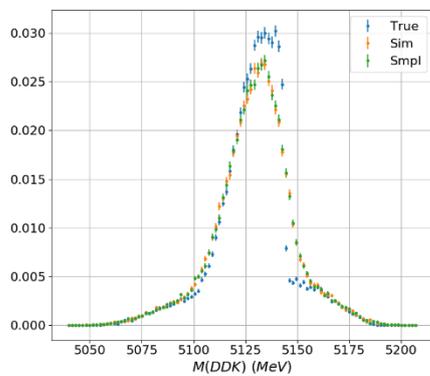


Рис. 1.6.2. Аппроксимация распределения массы В мезона при определении количества событий, прошедших отбор триггера в случае расчёта эффективности триггера методом TIS/TOS.

### 1.6.2. Изучение состояния $X(3872)$ в распадах $B^+ \rightarrow D^0 \text{ anti-}D^{*0} K^+$ .

Продолжается анализ распада  $B^+ \rightarrow D^0 \text{ anti-}D^{*0} K^+$  (без реконструкции  $\pi^0$  или фотона из распада  $D^{*0}$ ). Вблизи порога  $D^0 \text{ anti-}D^0$  распад происходит в основном через резонанс  $X(3872)$ . Форма распределения кинематических параметров в этой области очень чувствительная к параметрам резонанса, обеспечивая мощный экспериментальный инструмент для изучения  $X(3872)$ . Анализ ведется совместно с коллегами из CERN, ИТЭФ и CNRS. Ниже описан вклад в анализ группы ИЯФ.

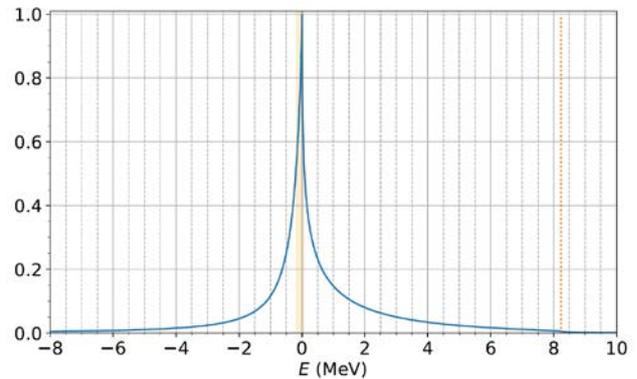
С помощью полного моделирования сигнальных событий была построена детальная модель экспериментального разрешения для основных переменных анализа – импульса  $D^0$  в системе  $D^0 \text{ anti-}D^0$  и инвариантной массы системы  $DDK$ . Модель учитывает корреляции и позволяет быстро имитировать прохождение через детектор, как показано на рисунках:



Возможность быстрого применения экспериментального разрешения к сигнальным событиям необходима ввиду особенностей процедуры анализа, использующей нейронные сети для описания многомерной плотности вероятности и требующей большого количества событий моделирования.

Была построена альтернативная модель перехода состояния  $X(3872)$  в упругие и неупругие каналы. Модель использует формализм  $T$ -матрицы и в явном виде учитывает изосинглетную и изотриплетную длины рассеяния. Эта модель – более общая, чем та, которая используется в основной процедуре анализа, и

в которой есть только одна длина рассеяния. Альтернативная модель позволяет воспроизвести основную модель, например, форму линии  $X(3872)$  в неупругом канале:

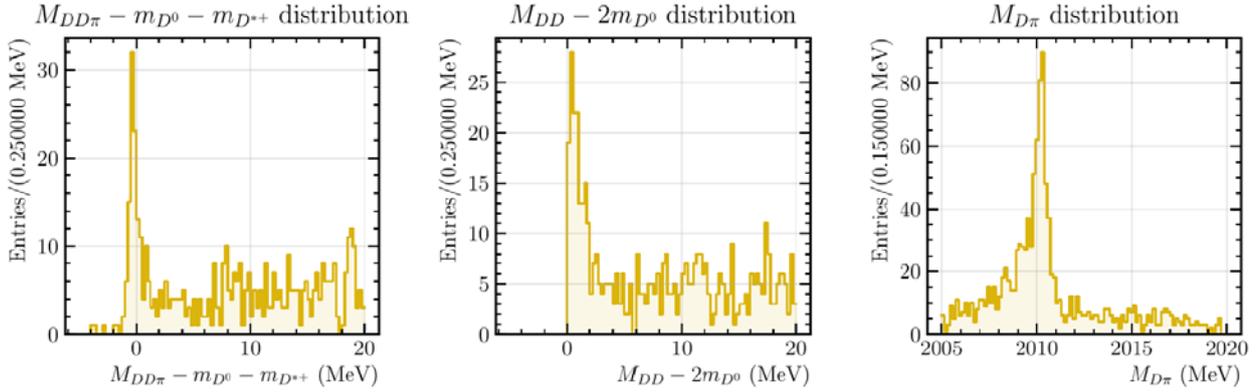


Параметры новой модели, видимо, не могут быть однозначно ограничены определены в анализе распада  $B^+ \rightarrow D^0 \text{ anti-}D^{*0} K^+$ , однако она может быть использована в будущем совместном анализе нескольких каналов (например,  $B^+ \rightarrow D^0 \text{ anti-}D^{*0} K^+$  и  $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^+$ ).

### 1.6.3. Изучение компактного состояния $T_{cc}$ в конечном состоянии $D^0 D^0 \pi^+$ .

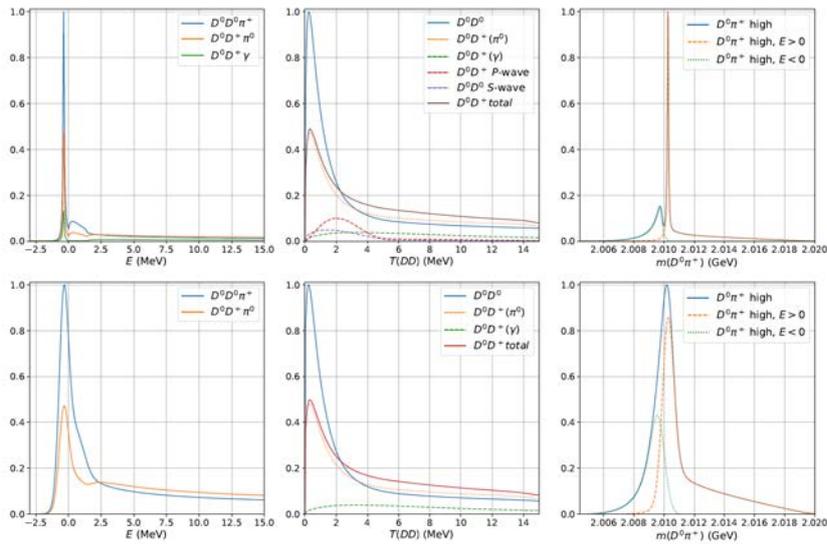
Этот пик может быть ассоциирован с компактным дважды очарованным четырехкварковым состоянием, возможность существования которого обсуждалась в работе Phys. Rev. Lett. 119 (2017) 202001. Это состояние должно иметь нулевой изоспин и обладать квантовыми числами аксиального вектора. Группа ИЯФ работает над моделью связи этого состояния с конечными состояниями  $D^0 D^0 \pi^+$ ,  $D^0 D^+ \pi^0$  и  $D^0 D^+ \gamma$ . Целью данной работы является предложение процедуры анализа данных, которая позволит определить положение полюса этого состояния и получение информации о его природе. На данный момент представляется, что это состояние может быть описано во многом аналогично состоянию  $X(3872)$ , и параметры этих состояний могут быть изучены в рамках единого формализма.

В спектре  $D^0 D^{*+}$  вблизи порога наблюдается узкий пик:



На данный момент предложена модель, позволяющая качественно воспроизвести данные. Модель основана на формализме  $T$ -матрицы и явно учитывает изосинглетную и изотриплетную длины рассеяния. Также построена модель детекторного разрешения. Следующие графики показывают предсказания модели (верхний ряд) и результат свертки с моделью разрешения (нижний ряд):

Следующий шаг, над которым идет работа в настоящий момент, – это предварительное описание данных с помощью модели. Если это описание будет чувствительно к параметрам модели, анализ будет продолжен.



# ДЕТЕКТОР КЕДР

Детектор КЕДР — это универсальный магнитный детектор, эксперименты с которым ведутся на  $e^+e^-$  коллайдере ВЭПП-4М в области энергии от 2 до 11 ГэВ в системе центра масс. Детектор оборудован системой регистрации рассеянных электронов для изучения  $\gamma\gamma$ -физики. Параметры детектора находятся на уровне параметров детекторов, работающих в мире в этой области энергий.

Программа работы детектора КЕДР включает в себя набор статистики для измерения сечения рождения адронов в  $e^+e^-$  аннигиляции (величина  $R$ ) в области энергии  $2E = 4.56 \div 6.96$  ГэВ; набор статистики для измерения масс и лептонных ширин  $\Upsilon$  мезонов в области энергий  $2E = 9.46 \div 10.36$  ГэВ; набор статистики для двухфотонной физики в области энергии  $\Upsilon(1S)$ -мезона.

В 2019 году детектор КЕДР и ускорительный комплекс ВЭПП-4М продолжили работу над экспериментом по измерению величины  $R$  в области энергий  $2E = 4.56 \div 6.96$  ГэВ. Набран интеграл светимости  $4.8 \text{ пб}^{-1}$ .

В 2019 году велась подготовка к работе детектора на энергии  $\Upsilon$  мезона. Был исследован уровень фонов в детекторе КЕДР и оптимизировано положение приёмников синхротронного излучения вблизи детектора. Увеличение светимости ускорителя на этой энергии свыше  $10^{31} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$  требует увеличения пропускной способности системы сбора данных (DAQ). Кроме того, большая энергия, возросшие токи и, как следствие, увеличенные радиационные нагрузки требуют замены дрейфовой камеры. В связи с этим, в 2019 году продолжилась работа над созданием новой DAQ и новой дрейфовой камеры. Для калибровки энергии пучка методом резонансной деполаризации на энергии  $\Upsilon$  мезона будет использоваться лазерный поляриметр, методика измерений энергии коллайдера с которым активно развивается сотрудниками коллаборации КЕДР в настоящее время.

Методические исследования новых перспективных детекторов осуществлялись на установке "Тестовый пучок электронов".

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ $R$

Величина  $R$  определяется как отношение полного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны с учётом радиационных поправок к сечению

рождения мюонной пары в борновском приближении. Прецизионное измерение  $R(s)$  имеет ключевое значение при определении константы сильного взаимодействия  $\alpha_s(s)$  и масс тяжёлых кварков, аномального магнитного момента мюона  $(g-2)_\mu$  и значения электромагнитной постоянной тонкой структуры  $\alpha(M_Z^2)$  в области пика  $Z^0$ . Одной из основных задач экспериментов с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М является измерения величины  $R$  в диапазоне энергий от 1.84 до 3.72 ГэВ и в области высокой энергии от 4.56 до 6.96 ГэВ. Диапазоны энергий выбраны с учётом как технических возможностей коллайдера, так и с необходимостью повысить точность измерений величины  $R$  в указанных областях энергии, поскольку достигнутая точность предыдущих измерений явно недостаточна и даёт значительную погрешность в расчёты по адронной поляризации вакуума.

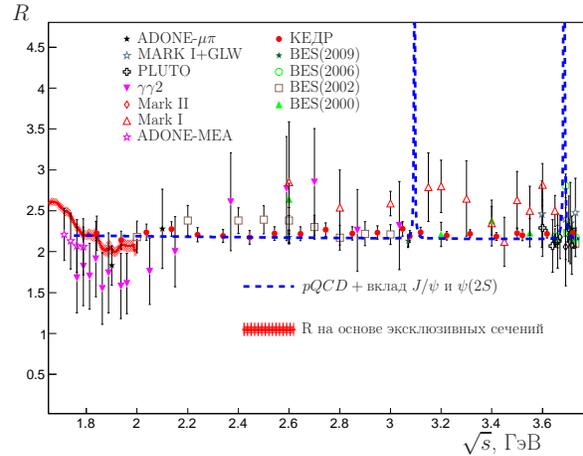


Рис. 1: Результаты экспериментов по измерению величины  $R(s)$  в сравнении с расчётом, выполненным в рамках пертурбативной КХД и учитывающим вклад узких резонансов. Рисунок взят из работы [4].

В 2019 году была опубликована статья [1], завершающая анализ экспериментов с детектором КЕДР, посвящённых измерению величины  $R$  в диапазоне энергий от 1.84 до 3.72 ГэВ. Результатом экспериментов является прецизионное измерение величины  $R$  в двадцати двух точках по энергии в диапазоне энергий от 1.84 до 3.72 ГэВ [1, 2, 3], что соответствует области энергии от порога рождения

пары протон-антипротон до порога рождения  $D\bar{D}$ -пары очарованных мезонов. Измерения величины  $R$  в области энергий от 1.84 до 3.05 ГэВ в большинстве точек выполнено с точностью 3.9% при систематической неопределённости 2.4%, подобный уровень систематической погрешности в указанном диапазоне энергии достигнут впервые. В диапазоне энергии от 3.08 до 3.72 ГэВ измерения величины  $R$  в большинстве точек выполнено с точностью 2.6% при уровне систематической неопределённости 1.9%, что также превосходит точность предыдущих экспериментов. Показано, что результаты измерения величины  $R$  хорошо согласуются с расчётом, выполненным в рамках пертурбативной квантовой хромодинамики. Наглядное сравнение результатов КЕДР с измерениями величины  $R$ , выполненными в предыдущих экспериментах показано на рисунке 1.

В 2019 году в эксперименте КЕДР по измерению величины  $R$  проводилось второе сканирование области высокой энергии от 4.56 до 6.96 ГэВ. Набор статистики проводился в 7 точках по энергии с интервалом между точками 300 МэВ. Была записана статистика с суммарной интегральной светимостью около  $4.8 \text{ пб}^{-1}$ . Ожидаемая статистическая точность измерений величины  $R$  во всём диапазоне сканирования составит примерно 2%.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНОЙ И АДРОННОЙ ШИРИН $J/\psi$ МЕЗОНА

Ранее на детекторе КЕДР были измерены электронная ширина  $J/\psi$  мезона, а также её произведения на вероятности распадов в адроны и электроны [7]. В 2019 году в продолжение анализа велась работа над измерением полной и адронной ширин  $J/\psi$  мезона. Использовался тот же набор данных что и работе [7]: статистика 2005 г., набранная коллайдером ВЭПП-4М с детектором КЕДР при сканировании  $J/\psi$  мезона в 11 точках по энергии с интегральной светимостью  $230 \text{ нб}^{-1}$ . Статистические ошибки величин  $\Gamma(J/\psi)$ ,  $\Gamma_{\text{hadrons}}(J/\psi)$ ,  $\Gamma_{ee}(J/\psi)$ ,  $\Gamma_{ee}(J/\psi) \cdot \mathcal{B}_{ee}(J/\psi)$ ,  $\Gamma_{ee}(J/\psi) \cdot \mathcal{B}_{\text{hadrons}}(J/\psi)$  сильно коррелированы. Для корректного определения ошибок этих величин подгонка экспериментальных данных проводилась отдельно для разных наборов свободных параметров. Для определения полной и адронных ширин  $J/\psi$  были использованы две дополнительные подгонки (в сравнении с предыдущим анализом). Все наборы содержали дополнительные свободные параметры: коэффициент абсолютной калибровки светимости  $R_L$ , массу резонанса  $m(J/\psi)$ , энергетический разброс пучков  $\sigma_W$  и сечение видимого континуума  $\sigma_0$ . Результаты подгонки показаны в таблице 1. Анализ систематических ошибок проводился также, как и в работе [7].

В результате анализа получены следующие значения полной и адронных ширин  $J/\psi$  мезона:

$$\Gamma(J/\psi) = 92.45 \pm 1.40 \pm 1.48 \text{ кэВ},$$

$$\Gamma_{\text{hadrons}}(J/\psi) = 81.37 \pm 1.36 \pm 1.30 \text{ кэВ}.$$

Результат измерения полной ширины основан только на данных детектора КЕДР. Полученное значение хорошо согласуется с величиной полной ширины, полученной в работе [7] с использованием среднемирового значения бранчинга распада в электроны  $\mathcal{B}_{ee}$ , а также с результатами предыдущих экспериментов. Адронная ширина  $J/\psi$  мезона измерена с точностью в четыре выше, чем в предыдущем прямом измерении коллаборации BES [8]. На рис.2 показано сравнение измерения на детекторе КЕДР  $\Gamma(J/\psi)$  и  $\Gamma_{\text{hadrons}}(J/\psi)$  с результатами предыдущих измерений.

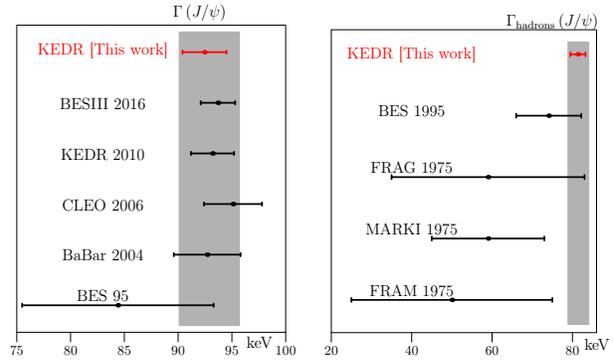


Рис. 2: Сравнение  $\Gamma(J/\psi)$  и  $\Gamma_{\text{hadrons}}(J/\psi)$  измеренными в наиболее точных экспериментах.

По результатам работы подготовлена и направлена в Journal of High Energy Physics статья.

## НОВАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ

В 2019 году продолжалась разработка и развитие электроники и программного обеспечения новой системы сбора данных.

Была разработана обновлённая версия прототипа блока ПВ (Процессор вывода). Блок ПВ предназначен для использования в составе ССД детектора КЕДР в качестве контроллера крейта Клюкwa. На блок возлагаются задачи управления режимами работы информационных и триггерных плат, размещенных в крейте, чтение информации о событиях, взаимодействие с прочими частями ССД. Для этого Блок ПВ оснащен контроллерным интерфейсом шины Клюкwa, расширенным интерфейсом на служебный блок РСК крейта Клюкwa, интерфейсами Ethernet, С-Link и USB. Была отлажена работа основных интерфейсов связи (USB, Ethernet, контроллерный интерфейс шины КЛЮКВА). Доступ

Свободный параметр	Подгонка 1	Подгонка 2	Подгонка 3	Подгонка 4
$\Gamma$ (кэВ)	–	–	–	$92.45 \pm 1.40$
$\Gamma_{\text{hadrons}}$ (кэВ)	–	–	$81.37 \pm 1.36$	–
$\Gamma_{ee}$ (кэВ)	$5.550 \pm 0.056$	–	$5.550 \pm 0.056$	$5.549 \pm 0.056$
$\Gamma_{ee} \cdot \mathcal{B}_{\text{hadrons}}$ (кэВ)	–	$4.884 \pm 0.048$	–	–
$\Gamma_{ee} \cdot \mathcal{B}_{ee}$ (кэВ)	$0.3331 \pm 0.0066$	$0.3331 \pm 0.0066$	–	–
$m$ (МэВ/ $c^2$ )	$3096.902 \pm 0.004$			
$R_L$	$0.973 \pm 0.008$			
$\sigma_W$ (МэВ)	$0.692 \pm 0.004$			
$\sigma_0$ (нб)	$28.70 \pm 1.48$			

Таблица 1: Результаты четырёх различных подгонок, выполненных для определения параметров  $J/\psi$ -мезона. Приведены только статистические ошибки.

Источник	Погрешность, %
Светимость	1.0
Моделирование распадов $J/\psi$	0.7
Отклик детектора	0.8
Эффекты ускорителя	0.4
Теоретические неопределённости	0.4
Итого	1.6

Таблица 2: Основные систематические погрешности измерения  $\Gamma(J/\psi)$  и  $\Gamma_{\text{hadrons}}(J/\psi)$ .

через интерфейсы к внутренним ресурсам ПВ может происходить независимо как друг от друга, так и от операции, выполняемой Блоком в данный момент времени, при этом, аппаратными средствами разрешаются возможные конфликтные ситуации. Был уточнён набор функций, который должна реализовывать электроника ССД, в электронике был реализован определённый ранее протокол взаимодействия между электроникой и ПО ССД, проведено тестирование взаимодействия.

Кроме того, были разработаны управляющие, имитационные и другие служебные блоки электроники новой системы сбора данных, развернут стенд тестирования электроники.

Основные усилия в разработке программного обеспечения были сосредоточены в проектировании и реализации согласованной совместной работы нескольких компьютеров кластера ССД.

Были разработаны алгоритмы и структуры данных для организации распределения поступающих с электроники ССД данных по компьютерам кластера для их обработки. А именно, введено понятие раздела ССД, как набор подсистем детектора набирающих данные совместно, а так же сборочной группы для управления передачей данных между сервисами ССД, создан набор правил для распределения потока событий, разработаны средства командной строки для управления конфигурацион-

ными данными.

Конфигурация сетевого оборудования и топология сетевых соединений стенда разработки программного обеспечения ССД была приведена к финальному виду, который планируется к использованию в реальном наборе данных.

## НОВАЯ ДРЕЙФОВАЯ КАМЕРА

Основой трековой системы детектора является дрейфовая камера. Она служит для измерения импульсов заряженных частиц по кривизне траектории в магнитном поле, а также для измерения ионизационных потерь частиц с целью их идентификации. Потребность в изготовлении новой дрейфовой камеры обусловлена необходимостью иметь более надёжную и стабильно работающую систему. В 2019 году было сделано следующее: Завершена сборка корпуса камеры. Выполнена склейка торцевых фланцев и двух обечаек — внутренней и внешней (рис. 3). Ввиду ограниченности доступа внутрь камеры, а также требования высокого качества и чистоты, в процессе склейки применялась специальная оснастка, в том числе эндоскопы. Клеевой шов, помимо прочности конструкции, обеспечивает герметичность объёма камеры с рабочим газом.



Рис. 3: Вклейка торцевых пластин во внешнюю обечайку (слева) и во внутреннюю (справа).

Изготовлена новая регистрирующая электроника — 50 плат ТАМ, предназначенных для измерения времени дрейфа и амплитуды сигнала. Примерно третья часть от этого количества плат проверена и настроена.

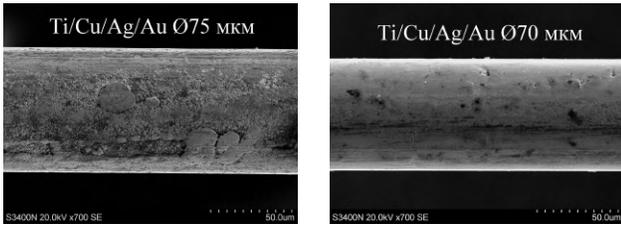


Рис. 4: Проволока Ti/Cu/Ag/Au, два варианта изготовления: первый (слева) и второй (справа)

Достигнут прогресс в отработке технологии изготовления на АО "Денисовский завод" новой проволоки диаметром 70 микрон. Материалы проволоки: основа — титан, подслои — медь и серебро, покрытие — золото. Она будет использоваться для натяжения экранных проволочек, количественная доля которых во всей проволочной структуре дрейфовой камеры составляет около 15%. На образце первого варианта изготовления (рис. 4, слева) присутствуют недопустимые дефекты: наплывы, борозды и задиры. Образец второго варианта изготовления (рис. 4, справа) не имеет этих дефектов, но встречаются дефекты золочения и мелкие трещины на поверхности. В целом результаты испытаний последнего образца позволяют сделать вывод о возможности использования новой проволоки для натяжения экранных слоёв дрейфовой камеры.

## ЛАЗЕРНЫЙ ПОЛЯРИМЕТР

Для измерения масс и лептонных ширин  $\Upsilon$ -мезонов требуется калибровка энергии пучка ВЭПП-4М в области энергий  $E = 5$  ГэВ. На энергии ниже 2 ГэВ для измерения энергии пучка используется метод резонансной деполяризации с тушековским поляриметром. Однако эффективность тушековского поляриметра быстро падает с ростом энергии. Поэтому для измерения поляризации было решено использовать эффект асимметрии обратно рассеянных циркулярно поляризованных фотонов на вертикально поляризованных электронах. Схе-

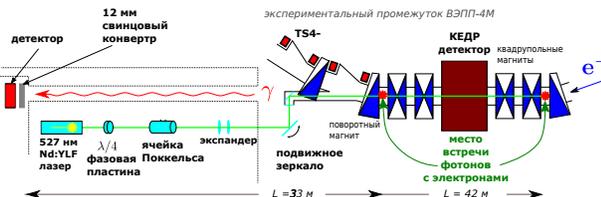


Рис. 5: Схема установки Лазерный поляриметр

ма установки изображена на рис 5.

Лазерный луч формируется при помощи твердотельного импульсного лазера с диодной накачкой на основе кристалла фторида иттрия лития с добав-

ками ниодима (Nd:YLF) Лазер излучает вертикально поляризованный свет с длиной волны 527 нм. Частота выстрелов лазера составляет до 4 кГц. Далее, при помощи  $\lambda/4$  фазовой пластины и КДР ячейки Погкельса формируется циркулярная поляризация. При помощи управляемых с компьютера системы подвижных линз и зеркал лазерный луч фокусируется на электронном пучке. Столкновение происходит внутри вакуумной камеры ускорителя. Рассеявшиеся фотоны с энергией до 800 МэВ на расстоянии около 33 или 42 метров, в зависимости от выбранного места фокусировки, от точки столкновения в 12 мм пластине преобразуются в заряженные частицы, которые регистрируются двухкоординатным детектором на основе газовых электронных умножителей (ГЭУ).

Разница положений пятна рассеянных фотонов в детекторе при разных поляризациях лазерного луча характеризует величину поляризационного эффекта и составляет около 0.1 мм:

$$\Delta y = -\frac{\hbar\omega_0}{2m_e c^2} LP\Delta V \approx 0.1 \text{ мм} \quad (1)$$

где  $m_e$  — масса электрона,  $\omega_0$  — энергия лазерного фотона,  $L$  — расстояние от места рассеяния до места регистрации гамма кванта,  $P$  — степень вертикальной поляризации электронов,  $\Delta V \approx 2$  — разница параметров Стокса для левой и правой поляризации лазерного луча. Размер пятна от рассеянных гамма квантов в детекторе составляет около 8 мм.

Детектор фотонов [6] имеет чувствительную область  $128 \times 40 \text{ мм}^2$  и содержит тройной каскад газовых электронных умножителей (ГЭУ) со считывающей структурой в виде прямоугольных падов. Центральная область размером  $64 \times 40 \text{ мм}^2$  имеет пады размером  $2 \times 1 \text{ мм}^2$  и предназначена для определения величины поляризационного эффекта. Остальная часть имеет пады размером  $4 \times 2 \text{ мм}^2$  и служит для удобства поиска и позиционирования пятна гамма квантов в детекторе.

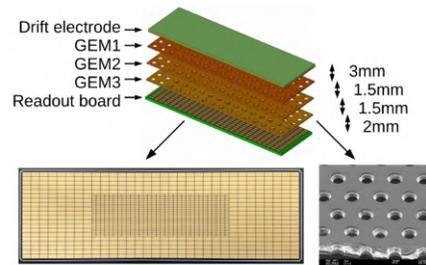


Рис. 6: Чувствительная область детектора

Электроника детектора состоит из 10 плат с ASIC микросхемой DMXG64 [5], разработанной в ИЯФ, платы DE10-Nano с FPGA/SoC для сбора и обмена данными с компьютером, а также низковольтным и высоковольтными источниками питания.

В 2019 году на установке "Тестовый пучок электронов" проведены измерения характеристик детектора. Определены эффективность регистрации  $96 \pm 1\%$  при рабочем напряжении 3.5 кВ, пространственное разрешение 0.44 и 0.25 мм по горизонтали и вертикали соответственно. Детектор позволяет работать на частоте до 4 кГц (максимальная частота вспышек лазера).

В 2019 году проведена серия измерений по калибровке энергии и измерению поляризации на энергиях 4.1 и 4.75 ГэВ. На энергии  $\Upsilon$  мезона степень поляризации составляет около  $10 \div 20\%$  от максимальной, что затрудняет калибровку энергии. Для увеличения степени поляризации требуется оптимизация режима работы ускорителя.

Одной из трудностей при измерении поляризации является, как показали измерения и расчёты, температурная деформация вакуумного зеркала под действием синхротронного излучения, вносящая астигматизм в оптическую систему и не позволяющая добиться высокой интенсивности рассеяния. Для преодоления этого имеющиеся стеклянные зеркала были заменены на медные. В результате интенсивность комптоновского рассеяния была повышена в пять раз до 2 кГц/мА. Для дальнейшего увеличения статистики спроектированы и начато изготовление нового узла ввода лазерного излучения в вакуумную камеру ускорителя ВЭПП-4М с охлаждаемым водой медным зеркалом. По оценкам это позволит ещё на порядок увеличить интенсивность комптоновского рассеяния.

### ТЕСТОВЫЙ ПУЧОК ЭЛЕКТРОНОВ КОМПЛЕКСА ВЭПП-4М

Назначение установки для получения тестового пучка электронов – проведение методических работ по разработке перспективных детекторов в области физики высоких энергий и ядерных исследований. Измерения прототипа детектора с реальными частицами, позволяют экспериментально проверить заложенные при его конструировании принципиальные решения, и, при необходимости, внести необходимые правки в конструкцию.

Установка занимает два помещения, непосредственно примыкающих к экспериментальному промежутку коллайдера ВЭПП-4М, как показано на Рисунке 7. Метод получения тестового пучка электронов заключается в следующем. В гало пучка электронов коллайдера ВЭПП-4М вводится подвижной конвертер (см. Рисунок 8), в котором образуются тормозные гамма-кванты. Обратная конверсия тормозных гамма-квантов в электрон – позитронные пары производится в экспериментальном зале установки на конверсионной мишени. Для отбора электронов с определенным импульсом используется дипольный поворотный магнит.

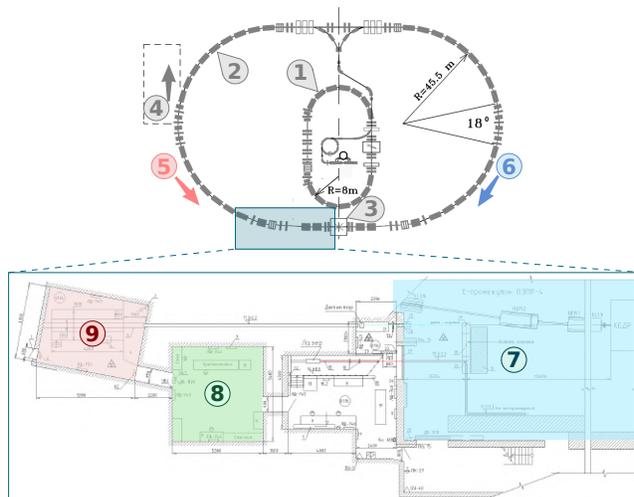


Рис. 7: Расположение помещений установки для получения тестового пучка электронов относительно ускорительного комплекса ВЭПП-4М: 1 – накопитель ВЭПП-3, 2 – коллайдер ВЭПП-4М, 3 – установка детектор КЕДР, 4 – бункер СИ ВЭПП-4М, 5 – направление движения позитронов, 6 – направление движения электронов, 7 – экспериментальный промежуток коллайдера ВЭПП-4М, 8 – пультовая установка (рабочее место оператора), 9 – экспериментальный зал установки (радиационно опасная зона).

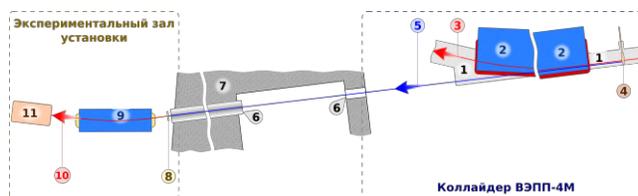


Рис. 8: Схема получения тестового пучка электронов: 1 – вакуумная камера, 2 – дипольные магниты коллайдера ВЭПП-4М, 3 – первичные электроны, 4 – подвижной конвертер, 5 – тормозные гамма-кванты, 6 – каналы, 7 – бетонная стена (радиационная защита), 8 – конверсионная мишень, 9 – поворотный магнит, 10 – тестовые электроны, 11 – прототип детектора.

Тестовый пучок электронов имеет следующие параметры:

- диапазон энергий от 100 МэВ до 3500 МэВ;
- энергетический разброс равен 7.8% для энергии 100 МэВ и 2.6% для энергии 3000 МэВ;
- средняя скорость счета 50 Гц.

Установка оснащена всем необходимым оборудованием для организации триггерного сигнала, измерения координат треков и энергии тестового пучка. Используемая для этого система сбора дан-

ных обеспечивает также регистрацию данных с измеряемых прототипов детекторов. Полученные параметры тестового пучка на комплексе ВЭПП-4М сравнимы с параметрами тестовых пучков в таких международных центрах как Frascati (Италия), ИФЕР Beijing (Китай) и Tohoku (Япония).

Начиная с 2011 года на тестовом пучке электронов проводятся измерения со следующими прототипами детекторов:

- детекторов для регистрации черенковских колец – ФАРИЧ (от англ. FARICH – Focusing Aerogel Ring Image CHerenkov), который является перспективной системой идентификации частиц для проекта Супер Чарм – Тау фабрики (г. Новосибирск), переднего спектрометра детектора PANDA (Германия) и детектора HMPID (High Momentum Particle Identification) для ALICE (Швейцария);
- приборов на основе микроканальных пластин (МКП) для время пролетных систем с предельным временным разрешением, эти приборы планируется использовать для идентификации частиц и подавления наложения событий в калориметрах в условиях большой светимости, например, на большом адронном коллайдере;
- координатных детекторов на основе газовых электронных умножителей (ГЭУ), данные детекторы активно применяются в экспериментах, проводимых в ИЯФ СО РАН.

В 2019 году на тестовом пучке было проведено в общей сложности 27 смен. Распределение по активностям выглядит следующим образом:

- количество технических смен для настройки оборудования, в том числе калибровка калориметра на основе кристаллов NaI, составило 4;
- исследование координатного детектора на основе ГЭУ для лазерного поляриметра – 3 смены;
- исследование отклика чистых кристаллов CsI в рамках работ для прототипа калориметра ScTau-фабрики – 2 смены;
- проведение экспериментов с прототипом системы идентификации ФАРИЧ-3, был исследован ряд экспериментальных образцов многослойных аэрогелевых радиаторов, отработывалась методика совместного чтения разных типов фотонных детекторов, количество смен составило 12;
- эксперименты с кристаллами LYSO с целью измерения временного разрешения и черенковской компоненты в излучении – 6 смен.

## References

- [1] V.V. Anashin et. al. [KEDR collaboration], Precise measurement of Ruds and R between 1.84 and 3.72 GeV at the KEDR detector. Phys. Lett. B 788 (2019) 42. arXiv:1805.06235.
- [2] V.V. Anashin et. al. [KEDR collaboration], Measurement of Ruds and R between 3.12 and 3.72 GeV at the KEDR detector. Phys. Lett. B 753 (2016) 533. arXiv:1510.02667
- [3] V.V. Anashin et. al. [KEDR collaboration], Measurement of R between 1.84 and 3.05 GeV at the KEDR detector. Phys. Lett. B 770 (2017) 174. arXiv:1610.02827.
- [4] К.Ю. Тодышев, Измерение инклюзивного сечения  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны в предасимптотической области энергий. УФН 190 (2020) 995.
- [5] V.M. Aulchenko et al., A 64-channel integrated circuit for signal readout from coordinate detectors, 2017 JINST 12 C0500
- [6] V E Blinov et al, The triple-GEM detector for the Laser Polarimeter facility at VEPP4-Mcollider 2020 J. Phys.: Conf. Ser.1498 012041
- [7] V. V. Anashin, V. M. Aulchenko, E. M. Baldin et al., Measurement of  $\Gamma_{ee}(J/\psi)$  with KEDR detector, J. High Energ. Phys. 2018, 119 (2018).
- [8] J. Z. Bai et al., BES Collaboration, A measurement of  $J/\psi$  decay widths, Phys. Lett. B. 355 (1995) 374.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В.М. Катков

**«Влияние радиационных поправок к массе электрона и позитрона на поляризационный оператор фотона в магнитном поле»**  
arXiv:1911.11369v1 [hep-ph] 26 Nov 2019.

Поляризационный оператор фотона в постоянном и однородном магнитном поле исследуется с учетом ширины и сдвига уровней Ландау как в слабых, так и сильных полях по сравнению с критическим полем Швингера. Получена общая формула для поляризационного оператора фотона, в которой учтены радиационные эффекты. Расходящиеся ранее приполюсовые члены имеют конечную величину. Сформулированы условия, при которых уровни энергии полностью перекрываются, и тем самым становится наиболее адекватным приближение квазиклассического операторного метода к исследуемой проблеме.

А.Г. Грозин

**«Дополнение: Четырехпетлевая аномальная размерность каспа в КЭД»**  
JHEP 01 (2019) 134.

В конформно-инвариантных теориях аномальная размерность каспа при евклидовом угле, стремящемся к  $\pi$ , связана со статическим потенциалом. В КХД это соотношение нарушено конформной аномалией. Мы доказали, что члены  $C_F^{L-1} T_F n_f \alpha_S^L$  в этом аномальном вкладе равны 0 во всех порядках по  $\alpha_s$ .

В.С. Фадин, Р.Е. Герасимов

**«О сокращении радиационных поправок к сечению электрон-протонного рассеяния»**  
Phys. Lett. B, **795** (2019) 172.

Наибольшие радиационные поправки к сечению электрон-протонного рассеяния при высоких энергиях связаны с излучением фотонов, реальных и виртуальных, электроном. Они содержат большие логарифмы от мягких и коллинеарных фотонов. Сокращение вкладов мягких фотонов в виртуальные и реальные поправки хорошо известна. Менее известен тот факт, что вклады фотонов, коллинеарных рассеянным электронам, также сокращаются для большинства экспериментов. Напротив, вклады фотонов, коллинеарных начальным электронам, как правило, не сокращаются. Однако для эксперимента по измерению радиуса протона, предложенного А.А. Воробьевым, показано, что эти вклады сокращаются.

П.А. Крачков, А.И. Мильштейн, О.Л. Резанова,  
А.Г. Шапов

**«Расширение БДК генератора событий»**  
EPJ Web of Conferences 212, 04010 (2019).

Представлено расширение известного  $ee \rightarrow 4l$  генератора Ф.А. Берентса, П.Х. Давервельдта и Р.

Клейсса. Это расширение учитывает рождение узких резонансов и излучение из начального состояния. Кроме того, оно позволяет генерировать рождение  $l^+l^- \pi^+\pi^-$  пар с лептонной и пионной парой в состоянии  $l^-$ .

В.С. Фадин

**«Трех-реджеонные разрезы в амплитудах КХД»**  
EPJ Web of Conferences 222, 03006 (2019).  
The XXIV International Workshop "High Energy Physics and Quantum Field Theory" (QFTHEP 2019).

Одним из замечательных свойств КХД является реджезация глюона. Реджезванный глюон является основным реджеоном в КХД; Померон и Оддерон появляются как составные состояния реджезованных глюонов. Из-за отрицательной сигнатуры реджезованный глюон дает основной вклад в амплитуды КХД высоких энергий в каждом порядке теории возмущений. В главном и следующем за главным логарифмических приближениях эти амплитуды даются вкладами реджевского полюса. В приближении "следующий за следующим за главным" полюсная форма амплитуд нарушается вкладами трехреджеонных разрезов. Обсуждаются эти вклады в упругие амплитуды КХД.

В.С. Фадин

**«Реджевские разрезы и ССГЛП БФКЛ»**  
Ukr. J. Phys. **64** No. 8 (2019) 678-682.

В главном и следующем за ним логарифмических приближениях амплитуды КХД с квантовыми числами глюонов в поперечных каналах и отрицательной сигнатурой имеют полюсную форму, соответствующую реджезованному глюону. Знаменитое уравнение БФКЛ было получено с использованием этой формы. В приближении "следующий за следующим за главным" (ССГЛП) полюсная форма нарушается вкладами реджевских разрезов. В статье обсуждаются эти вклады и их влияние на вывод уравнения БФКЛ в ССГЛП.

В.С. Фадин

**«Уравнение БФКЛ и реджевские разрезы»**  
Phys. Part. Nucl. Lett. **16**, no. 5, (2019) 409-413.

Уравнение BFKL основано на реджезации глюонов. В главном и следующем за ним логарифмическом приближении оно получено с использованием полюсной реджевской формы амплитуд КХД с квантовыми числами глюонов в кросс-каналах и отрицательной сигнатурой. Эта форма нарушается в приближении "следующий за следующим за главным". В двух и трех петлях наблюдаемое нарушение можно объяснить наличием трехреджеонного разреза. Обсуждается вклад этого разреза в амплитуды упругого рассеяния до четырех петель.

И. А. Кооп, А. И. Мильштейн, Н. Н. Николаев,  
А. С. Попов, С. Г. Сальников, П. Ю. Шатунов,  
Ю. М. Шатунов

**«Возможность изучения нарушения чётности в  
столкновениях ядер на ускорительном  
комплексе NICA»**

arXiv: 1911.10701 [hep-ex] 2019.

Обсуждается возможная постановка эксперимента по измерению эффекта нарушения  $P$ -чётности при взаимодействии поляризованных протонных или дейтронных пучков с неполяризованной мишенью. В первом случае предлагается проводить эксперимент по рассеянию поляризованного пучка протонов или дейтронов на толстой внутренней мишени в одном из колец коллайдера NICA. В этой постановке спин циркулирующего пучка частиц переводится в прецессирующую в горизонтальной плоскости моду с помощью ВЧ-флиппера. Эффект нарушения чётности будет изучаться с помощью измерения корреляции сечения взаимодействия частиц и направления их спинов. В альтернативном подходе, флиппер переводит спины частиц в горизонтальную плоскость и производится выпуск пучка в канал в определенной фазе прецессии. В этой более традиционной постановке эксперимента производится измерение полного сечения прохождения частиц сквозь плотную мишень в зависимости от знака спиральности поляризации пучка.

А.Е. Бондарь, А.В. Грабовский, А.В. Резниченко,  
А.С. Руденко, В. С. Воробьев

**«Измерение угла слабого смешивания на Супер  
чарм-тау фабрике с помощью управляемого  
данными мониторинга средней поляризации  
электронного пучка»**

arXiv:1912.09760 [hep-ph]

Предложен метод измерения средней продольной поляризации электронного пучка на электрон-позитронном коллайдере, работающем вблизи резонанса  $J/\psi$ . В методе используется дифференциальное сечение распада  $J/\psi \rightarrow [\Lambda \rightarrow p\pi^-][\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+]$ . Его можно использовать для измерения средней продольной поляризации электронов со статистической точностью лучшей, чем  $\sim 10^{-3}$  на Супер чарм-тау фабрике, работающей при светимости  $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Метод обсуждается в контексте измерения угла слабого смешивания в том же эксперименте.

А.И. Мильштейн, А.С. Руденко

**«Последовательный анализ формфакторов  
 $f_1(1285)$  мезона»**

arXiv:1909.07938 [hep-ph]

Предложена параметризация формфакторов  $f_1(1285)$  мезона. Эта параметризация согласуется с существующими экспериментальными данными о сечениях рождения  $f_1(1285)$  мезона в процессах  $e^+e^- \rightarrow f_1(1285)$  и  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- f_1(1285)$ , а также о ширинах распадов  $f_1(1285) \rightarrow e^+e^-$ ,  $f_1(1285) \rightarrow \rho^0\gamma$ ,

$f_1(1285) \rightarrow \rho^0\pi^+\pi^-$  и  $f_1(1285) \rightarrow 2\pi^+\pi^-$ . Наша параметризация также согласуется с предсказаниями для асимптотического поведения этих формфакторов.

В. М. Хацимовский

**«О дискретных символах Кристоффеля»**

Int. Journ. Mod. Phys. A, Vol. 34, No. 30, 1950186, 2019.

Кусочно-плоское пространство-время снабжено набором длин ребер и координат вершин. Этим определяется кусочно-аффинная система координат и кусочно-аффинная метрика в ней, дискретный аналог единственной свободной от кручения совместимой с метрикой аффинной связности или связности Леви-Чивита (или стандартного выражения символов Кристоффеля в терминах метрики), упоминаемый в литературе, и, подставляя его в форму действия Редже в терминах аффинной связности нашей предыдущей работы, мы получаем форму действия второго порядка. Результат можно разложить по вариациям метрики от симплекса к симплексу. Установлено, что для конкретных периодической симплициальной структуры и координат вершин ведущий порядок по вариациям метрики совпадает с некоторой конечно-разностной формой действия Гильберта-Эйнштейна.

В. М. Хацимовский

**«О дискретной версии решения, описывающего  
чёрную дыру»**

arXiv:1912.12626[gr-qc], 24 pages, 2019.

Рассматривается решение в исчислении Редже типа решения Шварцшильда. Ранее мы рассмотрели механизм полусвободной фиксации длин ребер из-за меры, возникающей в функциональном интеграле в результате интегрирования по связности при использовании представления в терминах связности для действия Редже. Масштаб длины зависит от свободного безразмерного параметра, определяющего результирующую функциональную меру. Для большой величины этого параметра и, соответственно, большого масштаба длины в единицах Планка результирующее эффективное действие близко к действию Редже. Ранее мы рассматривали действие Редже в терминах матриц аффинной связности как функций метрики внутри 4-симплексов и обнаружили, что в ведущем порядке по вариациям метрики между 4-симплексами оно сводится к разностной форме действия Гильберта-Эйнштейна. Теперь используем анзац для (континуальной) задачи Шварцшильда в достаточно общей форме (сферическая симметрия не задана априори), используем разностную форму соответствующих уравнений и получим метрику (по сути, в координатах, похожих на координаты Леметра или Пенлеве-Гуллстранда для метрики Шварцшильда), которая неособенна в начале координат, так же, как ньютоновский гравитационный потенциал, подчиняющийся разностному уравнению Пуассона с точечным источником, обрезается на элементарной длине и конечен в месте расположения источника.

А. Г. Грозин

**«Специальная теория относительности: геометрия пространства-времени»**  
URSS, Москва (2019) (168 стр.)

В книге кратко и доступно излагаются основные положения специальной теории относительности. Автор старался показать, что теория относительности не только не противоречит здравому смыслу, но, наоборот, логически следует из него. Подробно излагается геометрия пространства-времени Минковского. Основная задача книги — научить читателя интуитивно чувствовать эту геометрию; для этого приводится большое количество пространственно-временных картинок. В первых главах используется только элементарный математический аппарат, что делает их доступными для самых неподготовленных читателей. Для обсуждения более нетривиальных вопросов требуются тензоры, которые обсуждаются и используются во второй половине книги. Некоторые рассматриваемые результаты не очень широко известны. Например, не все знают, что, если мимо Вас летит предмет с релятивистской скоростью, то Вы увидите его повернутым, а вовсе не сплюснутым. Или как будут выглядеть созвездия, если смотреть на звездное небо из быстро летящего звездолета. Прецессия Томаса обычно излагается довольно громоздким образом; в этой книге она получается изящным геометрическим построением, таким же, как и решение задачи о маятнике Фуко в нерелятивистской механике.

Р. Брюсер, А.Г. Грозин, Дж. М. Хенн и М. Сталхофен  
**«Зависимость четырёхпетлевой аномальной размерности каспа в КХД от полей материи: от малых углов ко всем углам»**  
JHEP 05 (2019) 186.

Мы вычисляем фермионные вклады в аномальную размерность каспа в КХД в четырёх петлях в виде разложения по малому углу. Попутно мы также получаем соответствующие члены в четырёхпетлевой аномальной размерности поля в HQET. Наши новые результаты дают сильную проверку недавнего предположения о отчной угловой зависимости кварковых вкладов в четырёхпетлевую аномальную размерность каспа. Мы нашли, что это предположение не работает для двух из семи кварковых цветовых структур, но проходит все проверки для остальных. Это даёт сильную поддержку правильности выражений с полной угловой зависимостью, построенных на основе этого предположения. В пределе большого минковского угла мы извлекаем новые аналитические результаты в аномальной размерности светоподобного каспа. Они согласуются с известными численными результатами. Наконец, мы изучаем аномальную размерность каспа в пределе антипараллельных линий. В конформной теории она пропорциональна статическому кварк-антикварковому потенциалу. Мы используем новые четырёхпетлевые результаты для получения частей конформно-аномального члена.

Р.Н. Ли, А.И. Онищенко

**«ε-регуляризация базиса неполилогарифмических многопетлевых интегралов и полное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow 2(Q\bar{Q})$ »**  
arXiv:1909.07710 [hep-ph]

Мы утверждаем, что во многих физических расчетах, в которых задействованы «эллиптические» сектора, можно выразить результаты через повторные интегралы, причем почти все веса являются рациональными. Наш метод основан на существовании регулярного базиса, который сродни конечному базису, определенному в [5]. [hep-ph / 0601165]. Чтобы продемонстрировать нашу технику, мы вычислим фотонный вклад в полное сечение образования двух пар  $Q\bar{Q}$  в электрон-позитронных столкновениях.

Р.Н. Ли, А.И. Онищенко

**«Квантовая спектральная кривая АВЖМ при твисте 1: алгоритмическое пертурбативное решение»**  
arXiv:1905.03116 [hep-th]

Мы представляем алгоритмическое пертурбативное решение квантовой спектральной кривой АВЖМ на повороте 1 в секторе  $sl(2)$  для произвольных значений спина, которое может быть применено, в принципе, к произвольному порядку теории возмущений. Мы определили класс функций - произведения рациональных функций по спектральному параметру на суммы многочленов Бакстера и функции Гурвица, замкнутые относительно элементарных операций, таких как сдвиги и дроби, а также дифференцирования. Оказывается, этого класса функций также достаточно для нахождения решений рассматриваемых неоднородных уравнений Бакстера. Для последней цели мы представляем рекурсивное построение словаря решений уравнений Бакстера для заданных неоднородных частей. В качестве приложения предложенного метода мы представляем вычисление аномальных размерностей операторов твиста 1 в шестиконтурном порядке. Еще есть возможности для улучшения предложенного алгоритма, связанного с упрощением возникающих сумм. Продвинутые методы их сведения к основе обобщенных гармонических сумм будут предметом следующей статьи. Мы ожидаем, что этот метод будет обобщен как на высшие твисты, так и на другие теории, такие как  $N = 4$  SYM.

Р.Н. Ли, А.А. Померанский

**«Дифференциальные уравнения, рекуррентные соотношения и квадратичные ограничения для двухточечных массивных L-петлевых пропагаторов и головастиков»**  
arXiv:1904.12496 [hep-ph]

Мы рассматриваем двухточечный головастик L-образного типа с произвольными массами, регуляризованный как по размерности, так и аналитически. Получены система дифференциальных уравнений и

рекуррентные соотношения (сдвиги размерности и степеней знаменателя). Поскольку интеграл восхода солнца  $L$ -петли соответствует интегралу арбуза  $(L + 1)$  петли с одной линией разреза, наши результаты в равной степени применимы к первому. Полученная дифференциальная система имеет форму Пфаффа, линейна по размерности и параметрам аналитической регуляризации. В общем случае решения этой системы могут быть выражены через функции Лауричеллы  $F(L)$  с параметрами общего положения. Таким образом, в качестве побочного продукта мы получаем, насколько нам известно, впервые систему Пфаффа для  $F(L)$  с для произвольного  $L$ . Полученная система не имеет явных особенностей. Почти нечетная размерность и мощность целого знаменателя система может быть легко преобразована в каноническую форму. Используя свойства симметрии матрицы в правой части дифференциальной системы, мы получаем квадратичные ограничения для разложения решений вблизи целочисленной размерности и степеней знаменателя. В частности, мы получаем квадратичные ограничения для моментов Бесселя, аналогичные тем, которые были обнаружены Бродхерстом и Робертсом.

Р.Н. Ли, К.Т. Мингулов

**«Мастер-интегралы для двухпетлевых  $S$ -нечётных вкладов в  $e^+e^- \rightarrow \ell^+\ell^-$  процессы»**  
arXiv:1901.04441 [hep-ph]

Мы вычисляем двухпетлевые мастер-интегралы для процесса рождения тяжелых лептонных пар в столкновениях  $e^+e^-$ . Мы рассматриваем  $S$ -нечётные диаграммы с тремя фотонами в промежуточном состоянии и оцениваем соответствующие семейства мастер-интегралов в пределе нулевой массы электрона. Наши результаты для мастер-интегралов непосредственно применимы во всей физической области, соответствующей каналу аннигиляции.

Р.Н. Ли, А.В. Смирнов, В.А. Смирнов,  
М. Стейнхаузер

**«Четырёх-петлевые кварковые формфакторы с квадратичным фундаментальным цветовым фактором»**  
arXiv:1901.02898 [hep-ph]

Мы аналитически вычисляем четырехпетлевые поправки КХД для цветовой структуры  $(d_F^{abcd})^2$  к безмассовому не-синглетному кварковому форм-фактору. Вычисление включает нетривиальные неплоские интегральные семейства, которые имеют главные интегралы в верхнем секторе. Мы вычисляем главные интегралы, вводя вторую шкалу масс и решая дифференциальные уравнения относительно отношения двух шкал. Мы представляем детали нашей процедуры расчета. Приведены аналитические результаты для изломов и коллинеарных аномальных размеров и конечной части форм-фактора. Мы также предоставляем аналитические результаты для всех основных интегралов, расширенных до веса восемь.

Р. Буссари, А.В. Грабовский, Л. Шимановский,  
С. Валлон

**«На пути к полному логарифмическому описанию эксклюзивного дифракционного двух струйного электророждения вперёд в HERA: реальные поправки»**  
Phys. Rev. D 100, 074020 (2019).

Мы исследовали дифракционное сечение  $ep \rightarrow ep + 2jets$  с фазовым объёмом ZEUS. Пренебрегая импульсом  $t$ -канала в импакт-факторах борновского и глюонного диполей, мы рассчитали соответствующие вклады в дифференциал сечений в струях  $\beta = Q_2Q_2 + M_2^2$  и в угол  $\phi$  между лептонной и адронной плоскостями. Вклад глюонных диполей был получен в эксклюзивном  $kt$ -алгоритме с исключительным разрезом  $y_{cut} = 0,15$  в приближении малых  $y_{cut}$ . В коллинеарном приближении мы удалили сингулярности между реальным и виртуальным вкладом в конфигурацию диполя  $q/\bar{q}$ , сохранив точную зависимость  $y_{cut}$ . Мы использовали параметризацию Голека-Бирната-Вюстхоффа (GBW) для дипольного матричного элемента и линеаризовали вклады двойных диполей. Результаты дают примерно 12 наблюдаемых сечений при малых  $\beta$  и совпадают с ними при больших  $\beta$ .

Р. Буссари, А.В. Грабовский, Л. Шимановский,  
С. Валлон

**«Эксклюзивные дифракционные процессы, включая эффекты насыщения в следующем порядке»**  
arXiv:1912.12434 [hep-ph]

В рамках ударно-волнового подхода КХД мы рассматриваем наши результаты по описанию дифракционного образования различных конечных состояний (струй, мезон) в порядке, следующем за ведущим. Это относится к эксклюзивному дифракционному двух струйному электророждению в HERA.

А.В. Резниченко, А.И. Черных, С.В. Смирнов,  
И.С. Терехов

**«Логарифмический рост пропускной способности для недисперсного нелинейного волоконно-оптического канала в промежуточном диапазоне мощностей. Расширение модели»**  
Phys. Rev. E 99, 012133 (2019).

В нашей предыдущей статье [Phys. Rev. E 95, 062122 (2017)] мы рассмотрели оптический канал, моделируемый нелинейным уравнением Шредингера с нулевой дисперсией и аддитивным гауссовым шумом. Мы нашли пропускную способность канала  $\gamma$  этой модели. В данной статье мы расширяем модель для каждой выборки, вводя зависимость начального сигнала от времени и процедуру обнаружения выходного сигнала. Предлагаемая модель является более близким приближением к реалистичному каналу связи, чем модель для выборки, в которой отсутствует зависимость начального сигнала от времени. Для

предложенной модели мы нашли корреляторы выходного сигнала как аналитически, так и численно. Используя эти корреляторы, мы построили условную функцию плотности вероятности. Затем мы вычислили энтропию выходного сигнала, условную энтропию и взаимную информацию. Максимизируя взаимную информацию, мы нашли оптимальное распределение входного сигнала, пропускную способность канала? и их зависимость от формы или начального сигнала во временной области для диапазона промежуточной мощности.

А.И. Мильштейн, И. С. Терехов

**«Электрон-электронное взаимодействие в графене при конечной энергии Ферми»**

Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 109, 73 - 77 (2019).

Выведено волновое уравнение, описывающее взаимодействие двух электронов в графене при произвольном значении энергии Ферми. Для решений этого уравнения мы нашли явный вид плотности и тока, которые подчиняются уравнению непрерывности. Мы проследили эволюцию волнового пакета в процессе рассеяния. Показано, что долгоживущий локализованный квазистационарный пик может появиться при  $E_F < 0$ . Затем этот пик распадается на набор волновых пакетов, следующих друг за другом. При  $t \rightarrow \infty$  суммарная норма всех расходящихся волновых пакетов равна норме сходящейся волны. При  $E_F = 0$  локализованное состояние не появляется. При  $E_F < 0$  существует бесконечное множество локализованных решений с конечными нормами.

И.А. Котельников, А.И. Мильштейн

**«Радиационная рекомбинация электрона с водородо-подобным ионом»**

Physica Scripta 94, 055403 (10 pp) (2019).

Мы представляем обзор результатов длительного исследования процесса радиационной рекомбинации. На основе строгой теории нерелятивистской радиационной рекомбинации электронов с водородо-подобным ионом вычислено полное сечение процесса, эффективное излучение, коэффициент скорости рекомбинации и коэффициент излучения в плазме с максвелловским распределением электронов. Точные результаты сравниваются с многочисленными известными асимптотическими и интерполяционными формулами. Предлагаются интерполяционные формулы, обеспечивающие равномерное приближение всех упомянутых величин в широком диапазоне температур плазмы.

П.А. Крачков, А.И. Мильштейн

**«Электророждение при высоких энергиях в атомном поле»**

УФН 189, 359 - 373 (2019)

[Phys. Uspekhi. 62 (4), 340-353 (2019)]

В работе обсуждаются новейшие результаты исследования процесса электророждения в атомном

поле при высоких энергиях. Рассматриваются случаи рождения  $e^+e^-$  пары релятивистским электроном, релятивистским мюоном или лёгким ядром, а также рождение  $\mu^+\mu^-$  пары релятивистским электроном в атомном поле. При этом особое внимание уделяется точному учёту взаимодействия налетающей частицы с атомным полем и взаимодействию родившейся пары с атомным полем (кулоновским поправкам). Показано, что во всех случаях учёт взаимодействия частицы, излучающей виртуальный фотон с атомным полем сильно меняет дифференциальное по конечным импульсам этой частицы сечение процесса, в отличие от общепринятой точки зрения. Однако, интегральное сечение процесса очень слабо меняется от учёта этого взаимодействия. Обсуждаются случаи рождения пары в несвязанном состоянии и в связанном состоянии (позитроний и димюоний).

П.А. Крачков, А. Ди Пицца, А.И. Мильштейн

**«Излучение при высоких энергиях на атоме в лазерном поле»**

Physics Letters B 797, 134814 (2019).

Исследовано влияние лазерного поля на процесс излучения фотонов ультрарелятивистским электроном в атомном поле. Получены угловое распределение и спектр излучаемого фотона. С помощью квазиклассического приближения полученные результаты точны по параметрам лазерного поля и атомного поля. Показано, что влияние лазерного поля существенно даже при достаточно средних значениях параметров лазерного поля, достижимых в настоящее время. Поэтому экспериментальное наблюдение влияния лазерного поля на тормозное излучение в атомном поле является весьма решаемой задачей.

## 4.1. ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ЛОВУШКА

В 2019 году на установке ГДЛ продолжались эксперименты по изучению физики расширителя, исследовалась инжекция электронного пучка в качестве перспективного метода создания предварительной плазмы. Также в течение года велась сборка вакуумной камеры установки КОТ и продолжалась разработка проекта установки следующего поколения — ГДМЛ.

### 4.1.1. Изучение физики расширителя.

На установке ГДЛ продолжается изучение физики продольного удержания, которая определяет основной канал потерь частиц и энергии из открытой ловушки. В 2019 году был подробно рассмотрен один из важных аспектов физики расширителя — вопрос о величине вторичной эмиссии с поверхности приёмника плазмы. Для этого использовался подвижный поглотитель плазмы, ранее разработанный и установленный в расширитель ГДЛ, с вмонтированной в него системой датчиков. Установленная на подвижном поглотителе плазмы группа датчиков включает: болометр, датчик потока ионов и измеритель полного тока плазмы (плоский зонд).

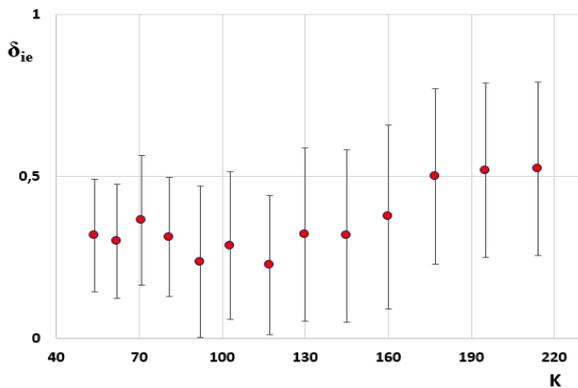


Рис. 4.1.1. Зависимость коэффициента вторичной ионно-электронной эмиссии  $\delta_{ie}$  от коэффициента расширения  $K$ .

Коэффициент вторичной ионно-электронной эмиссии с поверхности торцевой пластины определялся из сравнения плотности тока ионного насыщения на плоском зонде  $j_{flat}$  и плотности ионного тока на детекторе ионного потока  $j_{ion}$ :  $\bar{\delta}_{ie} = j_{flat} / j_{ion} - 1$ . Эта величина измерялась при разных положениях плазмприёмника. Положение металлической стенки в расширителе, на которую опирается плазма, определялась «коэффициентом расширения»  $K$ , равным отношению магнитных полей в пробке и на стенке. Экспериментально измеренная зависимость коэффициента вторичной ионно-электронной эмиссии от коэффициента расширения представлена на рис. 4.1.1. В широком диапазоне значений коэффициента расширения коэффициент ионно-электронной эмиссии не превышает значение  $\delta_{ie} \approx 0,5$ .

Коэффициент вторичной электрон-электронной эмиссии не измерялся в экспериментах, однако его значение известно из литературы. Следует отметить, что в описываемых экспериментах плотность нейтрального газа в расширителе не превышала величины  $5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ . Оценки с использованием сечений элементарных процессов показывают, что при такой плотности увеличение потока электронов, обусловленное процессами ионизации газа, оказывается несущественным. Другими словами, поток тёплых электронов, достигающих плазмприёмника, в основном формируется плазмой, удерживаемой в основной ячейке установки и имеющей электронную температуру около 170 эВ. Основываясь на данных о вторичной электронно-металлической эмиссии при бомбардировке электронами с энергиями около 200 эВ, коэффициент вторичной эмиссии с поверхности торцевой пластины составляет  $\delta_{ee} \approx 0,1-0,5$ .

Таким образом, общий коэффициент эмиссии (среднее число электронов, испускаемых с поверхности торцевой пластины на одну ионно-электронную пару, покидающую ловушку) можно приблизительно оценить, как  $\delta_{tot} = \delta_{ie} + \delta_{ee} \approx 1$ .

При такой величине коэффициента вторичной эмиссии в случае беспрепятственного проникновения холодных вторичных электронов в ловушку следует ожидать аномально высокого уровня продольных потерь энергии из удерживаемой в ловушке плазмы. Однако ряд теоретических работ прежних лет, а также недавние детальные исследования, основанные на численном моделировании физических процессов в расширителе, предсказывают, что в случае, если поглотитель плазмы расположен в области, где  $K \geq (m_i/m_e)^{1/2}$  ( $m_i$ ,  $m_e$  - массы ионов и электронов), проникновение в ловушку холодных электронов оказывается подавленным, а вторичная эмиссия несущественно влияет на продольное удержание, несмотря на высокое значение коэффициента вторичной эмиссии. Для дейтериевой плазмы, удерживаемой в ГДЛ,  $(m_i/m_e)^{1/2} \approx 60$ . В ходе описываемого эксперимента электронная температура и другие ключевые параметры плазмы в ловушке оставались практически неизменными, когда поглотитель плазмы находился в области с  $K > 50$ , несмотря на достаточно высокое значение  $\delta_{tot}$ . Вместе с другими экспериментальными фактами, полученными ранее, это демонстрирует справедливость теоретических предсказаний и дает основание считать, что расширитель при правильно выбранных параметрах является надежным средством ограничения продольной электронной теплопроводности до теоретически предсказанного минимума.

### 4.1.2. Инжекция электронного пучка.

Одним из существенных этапов эксперимента на ГДЛ является создание предварительной плазмы, заполняющей основную ячейку установки. Предварительная плазма должна иметь достаточную плотность, чтобы атомарные пучки, инжекция которых включается на следующем этапе эксперимента,

эффективно захватывались. Ранее на ГДЛ для этого применялись два метода. Первый состоял в размещении дугового генератора плазмы в одном из расширительных баков. При его включении установка заполнялась достаточно плотной и холодной плазмой. Однако, в центральную ячейку установки проникает меньшая часть плазмы, создаваемой генератором. Большая часть, отражаясь от пробки, растекается по расширительному баку, охлаждается и нейтрализуется, приводя к существенной деградации вакуумных условий в этом объёме. В качестве второго метода использовался СВЧ-пробой газа, предварительно напущенного в центральную ячейку ГДЛ. Для этого использовался один из гиротронов системы дополнительного нагрева. Этот метод генерирует плазму с требуемой плотностью только в центральной ячейке и обладает лучшей воспроизводимостью, чем предыдущий. Однако, эффективность поглощения СВЧ волн существенно зависит от профиля магнитного поля установки. Магнитная система ГДЛ создаёт импульсное магнитное поле и состоит из ряда элементов с разными характерными временами. Параметры этих элементов таковы, что изменения магнитного поля между этапом создания предварительной плазмы и основной фазой нагрева оказываются достаточно велики. Таким образом, каждый гиротрон может эффективно применяться только на одном из этих этапов. Фактически, использование одного из двух гиротронов для создания предплазмы, уменьшает мощность дополнительного нагрева плазмы вдвое. Таким образом, поиск альтернативного метода создания предплазмы на установке ГДЛ является актуальной задачей.

В ряде экспериментов, проведённых в 1960-х годах, исследовалась инжекция электронного пучка вдоль магнитного поля через пробку внутрь ловушки, заполненной газом или плазмой. Было показано, что формируется популяция захваченных электронов с энергиями существенно выше, чем в инжектируемом пучке. За времена порядка 0,1 мс диаметр области, занимаемой, захваченными электронами, становится много больше размеров пучка. Ориентируясь на эти работы, на установке ГДЛ была проведена серия экспериментов по инжекции электронного пучка в установку, предварительно заполненную газом, для создания предварительной плазмы.

Электронный пучок генерировался в одном из расширительных баков и вводился в основную ячейку через пробочную катушку (рис. 4.1.2). Энергия и полный ток электронов пучка в экспериментах по созданию предплазмы составляли 30 кэВ и 10 А, длительность пучка была около 2 мс.

В качестве первого шага были проведены эксперименты, направленные на изучение предплазмы, создаваемой электронным пучком, а фаза нагрева плазмы была пропущена. Временная эволюция параметров пучка в этих экспериментах представлена на рис. 4.1.3. Для проверки наличия популяции электронов с энергией, превышающей энергию частиц в пучке, использовался детектор рентгеновского излучения. Он располагался вне вакуумной камеры ГДЛ и регистрировал тормозное излучение электронов

с энергиями более 100 кэВ (примерно втрое больше начальной энергии).

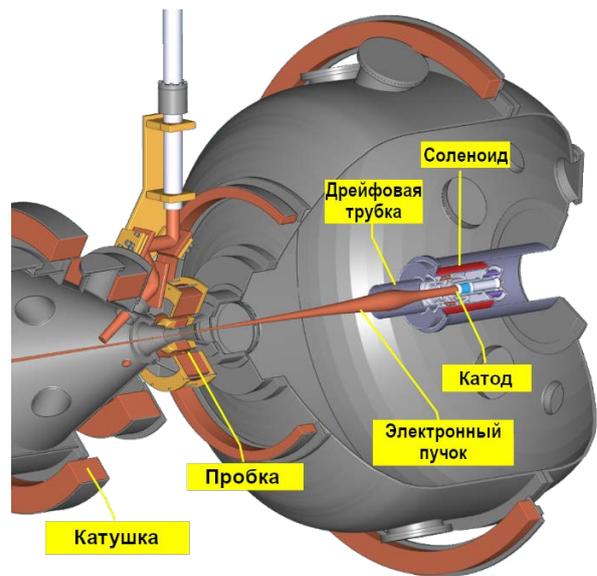


Рис. 4.1.2. Расширительный бак с установленной электронной пушкой.

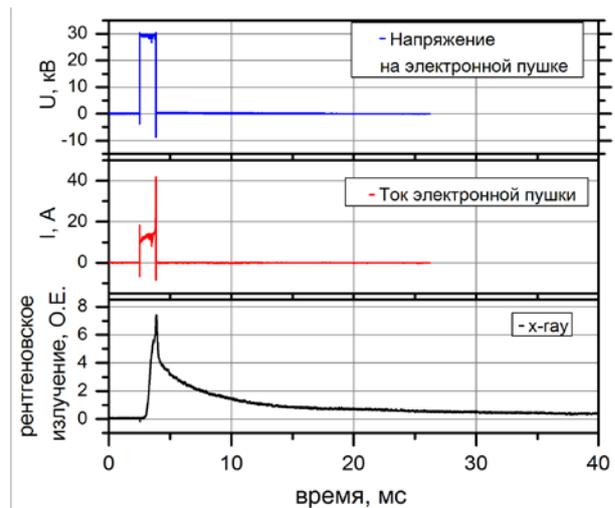


Рис. 4.1.3. Временная эволюция параметров: напряжения (вверху) и тока (по центру) в цепи питания электронной пушки, а также мощности рентгеновского излучения, измеренного вне вакуумной камеры ГДЛ (внизу).

Яркость рентгеновского излучения быстро нарастала в течение инжекции электронного пучка. Время спада излучения существенно превышает время эксперимента на ГДЛ и указывает на хорошее удержание электронов с энергиями более 100 кэВ. Радиальный размер области, занимаемой электронами, захваченными из пучка, определялся камерой, снимающей плазменную колонну в видимом диапазоне (рис. 4.1.4). Как видно из рисунка, область, ограниченная лимитерами, заполнялась примерно

через 0,5 мс после начала инъекции электронного пучка.

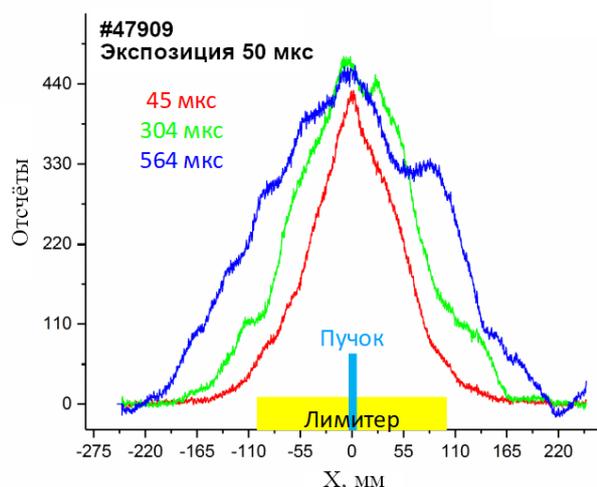


Рис. 4.1.4. Радиальные профили свечения плазмы в видимом диапазоне, снятые через в разные моменты времени (время отсчитывается от начала инъекции электронного пучка).

Такое поведение объясняется следующим образом. Электронный пучок, двигаясь вдоль магнитных силовых линий, достигает максимального сжатия в области магнитной пробки, где его плотность имеет значения порядка  $10^{12} \text{ см}^{-3}$ . При такой плотности ионизируется заметная часть газа, находящегося в области движения плотного пучка. В появившейся плазме под действием пучка развивается сильная ленгмюровская турбулентность, которая рассеивает пучок и формирует популяцию электронов, захваченных в основной ячейке ГДЛ. Захваченные электроны совершают колебания между пробками установки и испытывают радиальную и энергетическую диффузию в областях турбулентной плазмы. Часть электронов ускоряется и генерирует рентгеновское излучение при столкновении с элементами конструкции установки. Другая часть тормозится и начинает эффективно ионизировать газ. Отдельная серия экспериментов была проведена при следующих условиях: напряжённость магнитного поля во «входной» пробке (т. е. в пробочном узле, через который пучок входит в основную часть ГДЛ), оставалась постоянной, а в «выходной» плавно уменьшалась. Данные этой серии позволяют заключить, что область, в которой развивается ленгмюровская турбулентность, находится в пределах 13 см от точки максимального поля во «входном» пробочном узле.

В качестве второго шага были проведены полномасштабные эксперименты, в которых предварительная плазма создавалась с помощью СВЧ-пробоя газа и инъекцией электронного пучка, а остальные условия не изменялись. Показано, что в обоих типах экспериментов параметры плазмы оказались близки (в качестве примера на рис. 4.1.5 приведён диамагнетизм плазмы). Таким образом

показано, что инъекция электронного пучка может быть использована в качестве эффективного метода создания предварительной плазмы в ГДЛ.



Рис. 4.1.5. Зависимость диамагнетизма плазмы от времени в экспериментах с разными методами создания предплазмы.

### 4.1.3. Установка КОТ.



Рис. 4.1.6. Установка КОТ и сотрудники, занимавшиеся монтажом установки.

В 2017 году в ИЯФ начались работы по проектированию и строительству новой экспериментальной установки КОТ (Компактный Осесимметричный Торойд или САТ — Compact Axisymmetric Toroid). Программа исследований ориентирована на изучение удержания горячей плазмы с высоким относительным давлением в осесимметричном пробкотроне малого объема с мощной атомарной инжекцией, демонстрацию диамагнитного удержания и обращения поля. На установке КОТ будет использован достигнутый в ИЯФ существенный прогресс в технологиях нейтральной инжекции, позволяющий получить ранее недостижимую плотность эквивалентного тока нейтральных атомов в пучках.

В течение 2019 года была проведена основная часть работ по монтажу вакуумной камеры установки КОТ (рис. 4.1.6). В январе 2020 года была завершена сборка магнито-вакуумной системы установки, в ее вакуумной камере достигнуто давление  $4 \cdot 10^{-4}$  Па, адекватное планируемым условиям эксперимента. В 2020 году планируется завершить монтаж атомарных инжекторов и систем питания и приступить к первым экспериментам.

### 4.1.4. Проект ГДМЛ.

В основе проекта газодинамической многопробочной ловушки (ГДМЛ) лежит идея создания многофункциональной установки, способной дать экспериментальное обоснование для нескольких перспективных подходов к удержанию плазмы в магнитных ловушках открытого типа с осесимметричной конфигурацией. В рамках обновленной версии проекта, активно развивающейся с 2018 года, планируется использовать последние

достижения в области технологий производства сверхпроводящих магнитов и нагрева плазмы, и значительно улучшить проектные параметры установки: планируется использование катушек с напряженностью магнитного поля более 12 Тл и увеличение длительности нейтральной инжекции (НИ) до 5 с использованием последних разработок в области инжекторов с высокой плотностью мощности, ведущихся в ИЯФ СО РАН. Целевые параметры первой очереди установки (рис. 4.1.7), постройка которой планируется к 2024 году, перечислены в таблице 4.1.1.

Таблица 4.1.1. Параметры ГДМЛ (2019-2020).

Параметр	Значение
Длина, м	14
Длина центральной секции (ЦС), м	6
Диаметр вакуумной камеры, м	1
Поле в пробке, Тл	> 12
Поле в центральной секции, Тл	0,3 – 3
Темп роста поля в ЦС, Тл/с	0,54
Энергия магнитного поля, МДж	80
Энергия НИ, кэВ	30 – 40
Мощность НИ, МВт	10
Длительность НИ, с	2 – 5
Угол НИ, градусы	45
Мощность ЭЦРН, МВт	< 6
Частота ЭЦРН, Гц	120 – 140

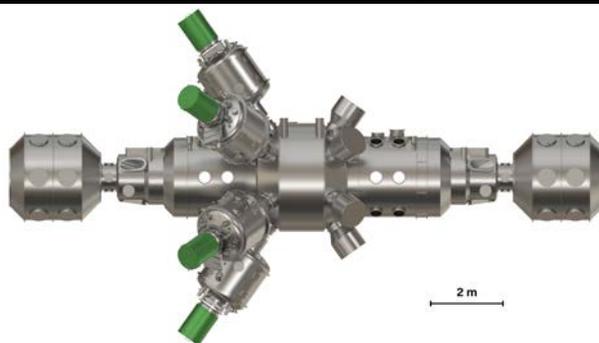


Рис. 4.1.7. Установка ГДМЛ первой очереди.

Ввиду необходимости работать с длинными импульсами (5 с), а также с учётом возможности перехода к стационарному режиму работы (>1000 с), в качестве основы рассматривается сверхпроводящая магнитная система, способная создать и поддерживать требуемую конфигурацию магнитного поля. Среди наиболее существенных требований к магнитной системе следует отметить импульсный режим работы центрального соленоида, который должен обеспечивать подъём магнитного поля центральной секции от 0,3 до 3 Тл за 5 секунд. Режим с «магнитным сжатием» разряда видится как способ перехода от разряда высокого давления в низком поле к наиболее

энергетически эффективному режиму разряда с высоким давлением в высоком вакуумном магнитном поле. Кроме этого, для увеличения времени удержания плазмы во всех режимах работы установки, анализируется возможность создания магнитных пробок с полем, достигающим 20 Тл в апертуре с внутренним диаметром обмотки около 240 мм. Ввиду повышенных требований к величине магнитного поля и скорости его изменения, в 2019 году начата активная проработка проекта на основе высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) второго поколения. Недавний прогресс в развитии данного типа сверхпроводника позволяет рассматривать магниты, работающие со сверхсильным магнитным полем при значительно сниженных требованиях к криогенному охлаждению. В ходе проведенных в 2019 году работ были согласованы параметры магнитной системы на основе ВТСП, подобраны оптимальные типы сверхпроводящих токонесущих элементов, оптимизирована конфигурация обмоток (рис. 4.1.8), а также эскизно проработаны схемы питания магнитной системы.

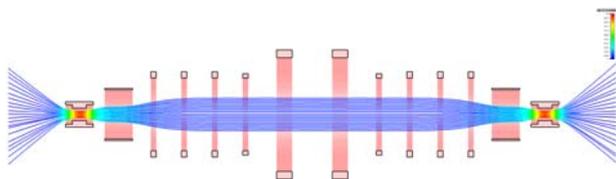


Рис. 4.1.8. Сверхпроводящие обмотки проекта ГДМЛ на основе ВТСП и силовые линии магнитного поля.

В 2019 году проведено предварительное моделирование установки ГДМЛ для одного из режимов работы с помощью кода ДОЛ. Рассмотрен ряд конфигураций магнитных «ям» с плоским «дном»: токи в катушках (рис. 4.1.8) подбирались так, чтобы поле в центральной части установки было близко к заданной величине и быстро нарастало вблизи пробочных узлов. Для каждой конфигурации проведена серия расчётов, в которой строилась зависимость параметров плазмы от величины газового «поддува», определяющего темп подпитки плазмы веществом. Сверху величина эта величина ограничивалась возможностями системы откачки на уровне 4 экв.кА.

Таблица 4.1.2. Параметры расчёта.

Параметр	Значение
Энергия НИ	40 кэВ
Радиус плазмы	22 см
Магнитное поле в центре	0,65 Тл
Темп подпитки веществом	2 экв.кА
Температура электронов	0,37 кэВ
Температура ионов	0,37 кэВ
Относительное давление $\beta$	0,08
Доля пучков НИ, захваченная плазмой	0,5
Максимальная плотность быстрых ионов	$2,3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$
Максимальная плотность тёплых ионов	$2,3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$
$\tau_{kin}/\tau_{gd}$	0,8

В таблице 4.1.2 приведены параметры одного из характерных расчётов. Перечислим некоторые особенности полученных результатов.

Ограничения на величину «поддува» газа оказываются достаточно мягкими, чтобы в любой конфигурации первых двух серий расчётов достичь режима удержания, близкого к газодинамическому с «коэффициентом столкновительности»  $\tau_{kin}/\tau_{gd} \leq 0,2$ . При уменьшении газового «поддува» ионная температура растёт быстрее, чем электронная. Условная граница перехода от газодинамического к кинетическому режиму  $\tau_{kin}/\tau_{gd} = 1$  достигается при равенстве температур в диапазоне  $T = 200-400 \text{ эВ}$ , что соответствует «поддуву» газа  $J_{gas} = 1,5-2 \text{ экв.кА}$ .

Плотность тёплой плазмы изменяется в 2-2,5 раза во всех посчитанных режимах и составляет несколько единиц  $10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Доля захваченного пучка меняется в диапазоне от 40% до 80% и растёт с радиусом плазмы. Минимальные значения плотности тёплой плазмы и доли захваченной мощности достигаются около границы  $\tau_{kin}/\tau_{gd} = 1$ .

Относительное давление растёт при уменьшении магнитного поля в центральном сечении. Максимальное значение на границе  $\tau_{kin}/\tau_{gd} = 1$  лежит в диапазоне от  $\beta=0,005-0,03$  для поля в центре около 3 Т и около  $\beta=1-2$  для поля в центре около 0,3 Т.

Подводя итог описанию расчётов, отметим, что в конфигурациях с магнитной «ямой» с плоским «дном» могут быть достигнуты режимы с существенно различающимися режимами удержания в широком диапазоне относительных давлений. Это в числе прочего позволит экспериментально изучить на установке ГДМЛ пределы развития ряда неустойчивостей.

## 4.2. РАБОТЫ НА КОМПЛЕКСЕ ГОЛ-3

### 4.2.1. Комплекс ГОЛ-3: общее описание.

В данном разделе отчета представлены работы, проводимые на нескольких электрофизических установках, входящих в комплекс ГОЛ-3. Первоначальная программа исследований быстрого коллективного нагрева плазмы сильноточным релятивистским электронным пучком (РЭП) и последующего удержания горячей плазмы в многопробочной магнитной ловушке была выполнена, поэтому, начиная с 2014-2015 гг., при поддержке субсидии Министерства образования и науки была проведена глубокая реконструкция экспериментальной базы с целью расширения тематик научных исследований и повышения эффективности работы.

Уникальные технические возможности установки ГОЛ-3 позволили существенно расширить область исследований по сравнению с первоначальными планами. В 2019 году работы велись по следующим тематикам:

- 1) Физика пучково-плазменного взаимодействия;
- 2) Физика многопробочного удержания плазмы;
- 3) Воздействие мощных потоков электронно-горячей плазмы на материалы первой стенки вплоть до нагрузок, соответствующих большому срыву в токамаках реакторного класса;

- 4) Генерация электромагнитного излучения субтерагерцового диапазона в турбулентной плазме, нагреваемой электронным пучком;

- 5) Развитие технологии генерации мощных электронных пучков микросекундного и субмиллисекундного диапазона длительностей.

### 4.2.2. Новая система создания плазменного столба на установке ГОЛ-ПЭТ и генерация в нём потока субмм-излучения мегаваттной мощности.

Эмиссия в пространство импульсных пучков излучения, содержащих одновременно несколько частот миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, позволяет визуализировать находящиеся в пространстве скрытые объекты с высоким пространственным разрешением и высоким контрастом изображения за счет регистрации отраженного сигнала частотно-селективными матричными приемниками. При этом, для использования матричных приемников излучения требуется обеспечить высокий уровень мощности в узконаправленном пучке излучения. В связи с этим большой практический интерес представляют исследования, направленные на генерацию излучения в указанных диапазонах частот при релаксации сильноточного релятивистского электронного пучка (РЭП) в плазме. В предшествующие годы исследования по генерации мм- и субмм-излучения проводились на установках ГОЛ-3 и ГОЛ-3Т. В соответствии с пунктом программы ФНИ «Тема № 14.1.3 Развитие физики удержания плазмы в

многопробочной ловушке и физики мощных электронных пучков» (№ 0305-2019-0004), в истекшем году были проведены работы следующего содержания:

- 1– Проектирование и изготовление модернизированной плазменной системы, предназначенной для генерации терагерцового излучения.

- 2– Проведение экспериментов по генерации терагерцового излучения с модернизированной плазменной системой.

В результате проведенной модернизации установка, используемая для экспериментальных исследований системы РЭП-плазма, приобрела новые возможности для реализации принципиально новых условий для постановки экспериментов. Исходя из этого, модернизированная установка получила новое название: ГОЛ-ПЭТ (Гофрированная Открытая Ловушка как Плазменный Эмиттер Терагерцового излучения).

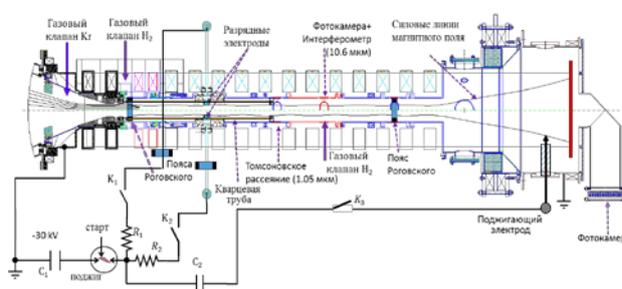


Рис. 4.2.1. Схема модернизированной системы создания плазменного столба на установке ГОЛ-ПЭТ.

На рис. 4.2.1 представлены электрическая схема нового варианта высоковольтного (до 30 кВ) разряда и модифицированная геометрия вакуумной разрядной камеры. Изменения в конструкции вакуумной камеры состоят в следующем. Внутри стальной вакуумной камеры вставлена кварцевая труба с керамическими диафрагмами, что позволяет сконцентрировать разрядный ток с в приосевой области плазменного шнура. В кварцевой камере смонтировано разрезанное пополам графитовое кольцо, половинки которого надежно изолированы друг от друга на высокое напряжение. Таким образом предусмотрена возможность раздельной подачи на эти полукольца (Разрядные электроды) импульсов высокого напряжения. Подавая импульс на одно из полуколец или одновременно на оба, можно варьировать распределение разрядного тока по сечению плазменного столба. Подача импульсного напряжения осуществляется коммутированием конденсатора ёмкостью  $C_1 = 3,2$  мкФ, заряжаемого до напряжения 30 кВ, на эти полукольца с помощью игнитрона. Для надёжного инициирования разрядного тока в конце вакуумной камеры, куда приходит сильноточный РЭП, установлен поджигающий электрод, в котором генерируется плазменная вспышка за счёт высоковольтного пробоя по поверхности диэлектрика. Этот пробой обеспечивается подачей высоковольтного импульса через конденсатор  $C_2 = 0,4$  мкФ, как это показано на схеме.

В начале 2019 года была проведена разработка конструкции модифицированной разрядной камеры для создания плазменного столба и блока генерации импульсного напряжения, и затем осуществлены изготовление и монтаж всех узлов системы создания предварительной к пучку плазмы. На рис. 4.2.2 представлена фотография новой вакуумной камеры, в той части, где осуществлен подвод высокого напряжения на разрядные электроды, имеющие форму полуколец.



Рис. 4.2.2. Фотография вакуумной камеры.

В ходе экспериментов с новой системой создания плазменного столба продемонстрирована возможность получения плазмы с различным распределением плотности по поперечному сечению. Результаты этих экспериментов доложены на конференции.

Предыдущие эксперименты показали, что при плотности плазмы  $n_e < 0,6 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , эмиссия из плазмы при релаксации в ней сильнооточного релятивистского электронного пучка (РЭП) сосредоточена, главным образом, в направлении перпендикулярном к оси плазменного столба. Это относится к области частот излучения как в окрестности частоты верхнегибридных плазменных колебаний, так и удвоенного значения этой плазменной частоты. При увеличении плотности плазмы в область значения  $n_e = (0,8 - 1,0) \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , эмиссия электромагнитного излучения переключается из направления перпендикулярного к оси пучково-плазменной системы в направлении вдоль её оси. В исследованиях прошедшего года регистрация терагерцового излучения на модернизированной установке ГОЛ-ПЭТ проводилась в условиях высокой плотности плазмы, когда поток излучения сконцентрирован вдоль оси плазменного столба. Схема этих экспериментов представлена на рис. 4.2.3.

В проведенной серии экспериментов по инжекции РЭП в плазму с различным распределением плотности в плазменном столбе установлено, что генерация терагерцового излучения принципиально зависит от радиальных градиентов плотности плазмы. В потоке излучения, выходящем вдоль оси плазменного столба при высоком радиальном градиенте плотности плазмы, спектральная плотность излучения в окрестности верхнегибридной плазменной частоты в тридцать раз превышает её величину, когда генерация осуществляется в условиях однородного по сечению

плазменного столба. Полученные в эксперименте результаты измерений позволяют оценивать полную мощность в потоке, выходящем вдоль оси плазменного столба, на уровне 4 МВт, что является рекордной величиной для области частот 150-200 ГГц.

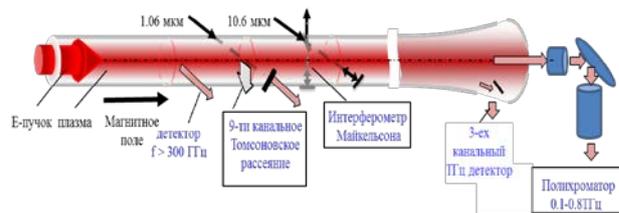


Рис. 4.2.3. Схема экспериментов на установке ГОЛ-ПЭТ по генерации терагерцового излучения при варьировании распределения плотности в плазменном столбе.

Для изучения основных особенностей развития пучковой неустойчивости и генерации ЭМ излучения в сильно неоднородной плазме используется численное моделирование на основе метода частиц в ячейках (PIC). PIC-моделирование проводится для тех значений относительной плотности пучка и пространственного масштаба поперечной неоднородности, которые были реализованы в экспериментах на установке ГОЛ-ПЭТ. В ходе исследования были выполнены расчеты как для случая однородной плазмы, так и для случая с поперечными градиентами плотности плазмы. Из анализа расчетов можно сделать вывод о локализации области развития пучковой неустойчивости в неоднородной плазме вблизи ям плотности на масштабах, сравнимых с длиной волны раскачиваемых пучком колебаний. Описание численной модели, и результаты моделирования опубликованы.

#### 4.2.3. Статус работ по проекту ГОЛ-NB.

На экспериментальной площадке ГОЛ-3 продолжались поэтапные работы по переходу многопробочной ловушки ГОЛ-NB к этапу полноценных физических экспериментов. Схема установки и расчетные профили магнитного поля приведены на рис. 4.2.4. Центральная ловушка установки ГОЛ-NB имеет длину около 2,5 м с магнитной индукцией в центральной плоскости до  $B_0 = 0,6 \text{ Тл}$ , и в пробках до  $B_{\text{max}} = 4,5 \text{ Тл}$ . Базовым режимом работы будут эксперименты с  $B_0 = 0,3 \text{ Тл}$  при пробочном отношении  $R \approx 15$ . Плазма будет нагреваться двумя инжекторами нейтральных пучков с мощностью 0,75 МВт каждый. С двух сторон от центральной ловушки расположены соленоиды с сильным полем длиной около 3 м. В зависимости от задачи эксперимента, эти соленоиды могут переключаться либо в режим однородного магнитного поля с  $B = 4,5 \text{ Тл}$ , либо в режим многопробочной ловушки с  $B_{\text{max}} = 4,5 \text{ Тл}$ ,  $B_{\text{min}} = 3,3 \text{ Тл}$  и периодом гофрировки  $l = 22 \text{ см}$ . После соленоидов размещены

концевые баки, в которых магнитный поток расширяется так, что плазма принимается на плазмодриемники большой площади. В одном из баков располагается дуговой источник, создающий стартовую низкотемпературную плазму. Для стабилизации плазмы предусмотрено использование нескольких известных технологий.

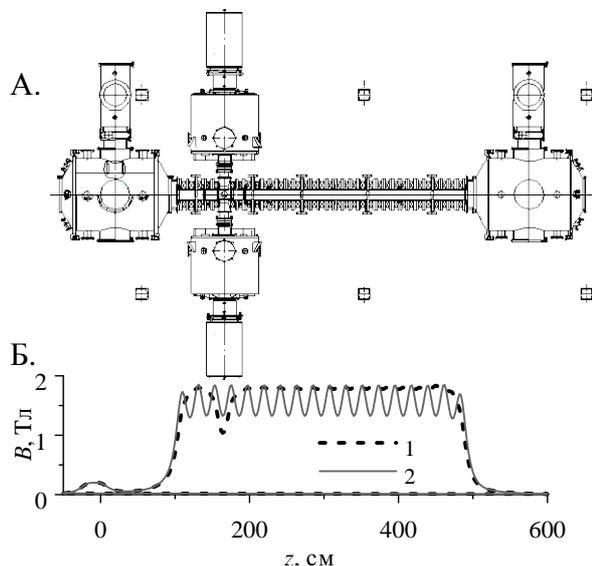


Рис. 4.2.4. Схема магнитовакуумной системы первой очереди установки ГОЛ-NB с двумя инжекторами нейтральных пучков, вид сверху (А) и распределение индукции продольного магнитного поля на оси установки в двух разных конфигурациях: 1 – однородное поле, 2 – многопробочное поле (Б).

В 2019 году проводились предварительные эксперименты, основной целью которых было изучение процесса транспортировки потока низкотемпературной стартовой плазмы сквозь длинную секцию сильного поля. Основной объём информации о локальных параметрах плазменного потока был получен при помощи четырехэлектродных ленгмюровских зондов, имеющих конструкцию, приведённую на рис. 4.2.5. Все электроды смонтированы на керамической трубке диаметром 2 мм, которая имеет четыре внутренних отверстия для проводников. Кольцевой электрод 3 является опорным, он приобретает в плазме плавающий потенциал. Второй кольцевой электрод 4 подключен к высокоомному входу аналого-цифрового преобразователя, он служит для измерения радиального электрического поля. Электроды 1 и 2 имеют длину 1 мм и диаметр 150 мкм. В комбинации с электродом 3 они образуют два ленгмюровских зонда. Электрод 1 имеет постоянное смещение на -30 В, с его помощью измеряется ионный ток насыщения. Напряжение смещения на электрод 2 модулируется, что позволяет измерять электронную температуру по вольт-амперной характеристике (ВАХ) зонда. Конструкция зонда позволяет перемещать его по радиусу от стенки вакуумной камеры на  $r = 75$  мм до  $r = -25$  мм. Питание зондов и регистрация сигналов осуществляются

автономными изолированными модулями с батарейным питанием, имеющими передачу данных по Wi-Fi и оптический запуск. Типичные осциллограммы сигналов и ВАХ зонда также приведены на рис. 4.2.5.

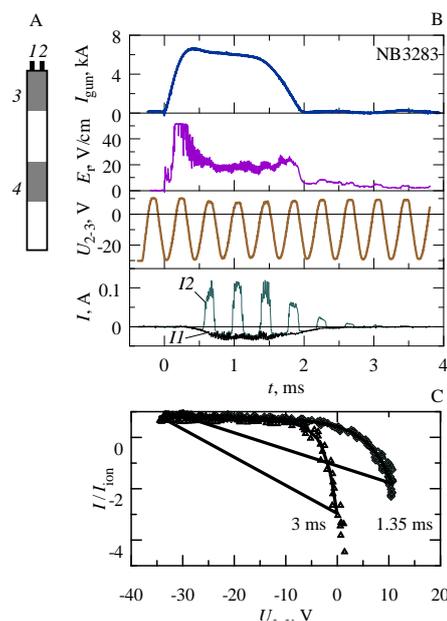


Рис. 4.2.5. Пример работы четырехэлектродного ленгмюровского зонда. А – конструкция зонда (обозначения электродов приведены в тексте). В – типичные сигналы, сверху вниз: ток в плазменной пушке  $I_{gun}$  (сигнал сравнения), радиальное электрическое поле  $E_r$ , напряжение смещения электрода 2  $U_{2-3}$ , токи на электроды 1 и 2 (метки  $I_1$  и  $I_2$ ), отрицательная величина токов соответствует ионной ветви. С – ВАХ зонда, приведённая для моментов  $t = 1,35$  и  $3$  мс. Символы – измерения, линии – фитирование аналитической функцией.

Динамика типичного эксперимента с низкотемпературной плазмой представлена сигналами на рис. 4.2.6. Ток в плазменной пушке поддерживается в течение 2 мс. При этом плотность плазмы в течение основной части разряда меняется несущественно. После начала уменьшения тока разряда, плотность плазмы быстро уменьшается. В то же самое время сигнал монитора изучения плазмы продолжает нарастать в течение некоторого времени.

Наблюдается линейный рост плотности плазмы с увеличением давления водорода в клапане при рабочем разрядном токе 6 кА. При необходимости дальнейшего увеличения плотности, ток разряда может быть увеличен до 15 кА. Оценки электронной температуры в плазменном потоке по зондовым измерениям дают в секции сильного поля  $T_e = 6,1 \pm 0,5$  эВ при  $t = 1,35$  мс в течение основной фазы разряда и  $T_e = 2,3 \pm 0,5$  эВ при  $t = 3$  мс на стадии распада плазмы (для данных, приведенных на рис. 4.2.5).

Плазма в установке является достаточно чистой, в секции сильного поля в видимом спектре излучения (спектральный диапазон 350 – 700 нм) регистрируются только линии водорода. В течение основной фазы

разряда наблюдается только линия  $H_{\alpha}$  – см. рис. 4.2.7, относительная интенсивность остальных линий не превышает  $1,5 \times 10^{-4}$ . На стадии уменьшения тока разряда и распада плазмы давление нейтрального газа в камере увеличивается и начинают наблюдаться несколько других водородных линий.

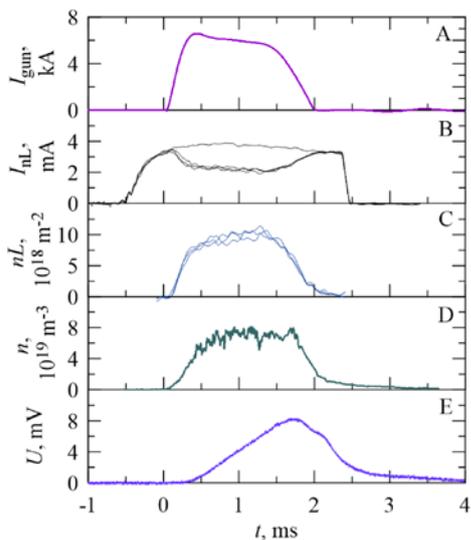


Рис. 4.2.6. Сигналы в типичном эксперименте: А – ток плазменной пушки, В – ток монитора прошедшего нейтрального пучка (показаны три последовательных эксперимента с плазмой и контрольный сигнал без плазмы), С – расчет интеграла плотности по диаметру плазмы из сигнала В, D – динамика ионной плотности на координате  $z = 2,02$  м, E – сигнал мультиспектрального фотодиода.

В ходе экспериментов было впервые проведено прямое сравнение течения низкотемпературной столкновительной плазмы в соленоидальной и в многопробочной конфигурациях. Подтверждено существовавшее предсказание теории о том, что гофрировка магнитного поля будет оказывать слабое влияние на плазменный поток. Радиальные профили плотности в конце участка сильного поля были практически идентичными – см. рис. 4.2.8.

На этом рисунке сплошная кривая *C* одинакова для верхней и нижней половин, она соответствует подгонке симметричного полинома четвертой степени вида

$$n(r) = A + Br^2 + Cr^4$$

к экспериментальным данным в соленоидальной конфигурации. Видно, что есть уменьшение локальной плотности на оси в многопробочной конфигурации на величину масштаба 10%, однако различие в интеграле плотности по сечению плазмы оказывается меньше, чем статистический разброс результатов в серии экспериментов.

Зависимость интеграла плотности плазмы по сечению вакуумной камеры (т. е. количество частиц на единицу длины) от продольной координаты  $z$  в обеих магнитных конфигурациях описывается модельной функцией вида

$$N(z) = N(0) \frac{B(0)}{B(z)} \exp\left(-\frac{z}{z_0}\right),$$

которая соответствует движению несжимаемой жидкости вдоль силовой трубки магнитного поля с переменным диаметром с длиной ослабления  $z_0 = 2,2$  м. Проводится работа по уменьшению потерь плазмы при ее транспортировке сквозь участок сильного поля.

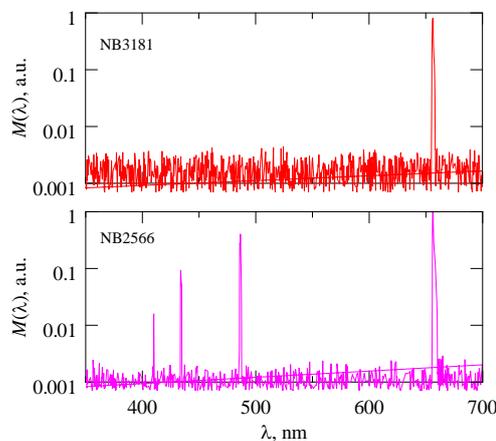


Рис. 4.2.7. Спектры свечения плазмы в видимом диапазоне в течение основной фазы разряда (вверху) и на стадии распада плазмы (внизу). Спектральные линии:  $H_{\delta}$  410,2 нм,  $H_{\gamma}$  434,0 нм,  $H_{\beta}$  486,1 нм и  $H_{\alpha}$  656,3 нм.

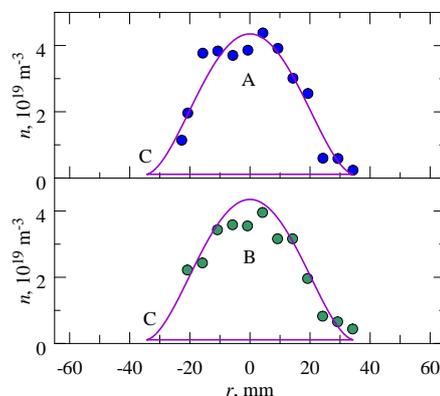


Рис. 4.2.8. Радиальные профили плотности плазмы на координате  $z = 3,56$  м. А – соленоидальная конфигурация магнитного поля, В – многопробочная конфигурация, С – подгонка точек А полиномом (одна и та же кривая на верхней и нижней частях рисунка).

Важным элементом физики удержания плазмы в установке ГОЛ-НВ является радиальное электрическое поле. Одной из технологий обеспечения устойчивости плазмы является создание дифференциального вращения плазмы вокруг магнитной оси благодаря дрейфу в скрещенных электрическом и магнитном полях. Поэтому было проведено изучение того, как электрическое поле из плазменной пушки (на катоде которой во время работы существует потенциал  $U_c = - (200 - 300)$  В) выносится вдоль магнитных

силовых линий. Основная часть потенциала остается внутри плазменной пушки. На рис. 4.2.9 показаны результаты измерений электрического поля в начальной части соленоида, подгонка данных гладкой аналитической функцией и вычисленные профили потенциала и частоты  $E \times B$  вращения. В окрестностях оси, потенциал выносится вдоль силовой линии продольными токами. На периферии плазмы наблюдается уширение радиального профиля относительно расчетной проекции силовой трубки, которое может быть вызвано радиальными токами и конвекцией. Из рисунка видно, что в периферийной плазме низкой плотности она приобретает естественный положительный амбиполярный потенциал, достигающий величины  $\sim 10$  В, т.е. масштаба двух электронных температур в средней части соленоида.

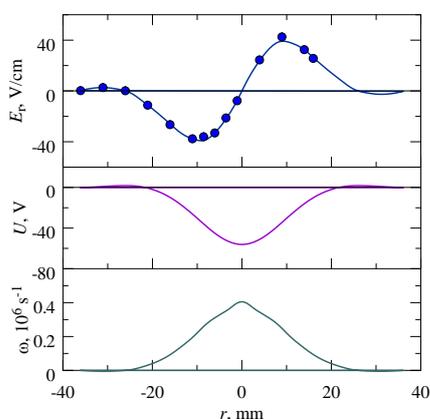


Рис. 4.2.9. Радиальные профили параметров на  $z = 1,25$  м в соленоидальной конфигурации поля: измеренное радиальное электрическое поле (точки) и его подгонка антисимметричной функцией, потенциал плазмы относительно стенки и вычисленная круговая частота  $E \times B$  дрейфа.

В отдельной серии экспериментов изучалось влияние потенциала на выходном плазмоприемнике на параметры стартовой плазмы. При этом кольцевой лимитер, расположенный в баке плазменной пушки перед входной пробкой, был под плавающим потенциалом. На рис. 4.2.10 приведены радиальные профили плотности плазмы на  $z = 3,56$  м для четырех моментов времени, для упрощения рисунка показаны только симметризованные подгоночные кривые. Профили соответствуют основной части разряда ( $t = 1,3$  мс), моментам непосредственно перед и после прекращения тока разряда ( $t = 1,9$  и  $2,1$  мс) и стадии распада плазмы ( $t = 2,6$  мс). Температура плазмы на этом интервале времени изменяется достаточно быстро и не может быть точно определена при помощи существующих диагностик. Поэтому сигналы зонда были пересчитаны в условную плотность  $n^*$  в предположении постоянной температуры. Такое предположение существенно занижает плотность на стадии распада плазмы, однако оно позволяет наглядно

сравнивать параметры плазмы в разных режимах. Видно, что принудительное задание потенциалов на электродах существенно влияет на параметры плазмы.

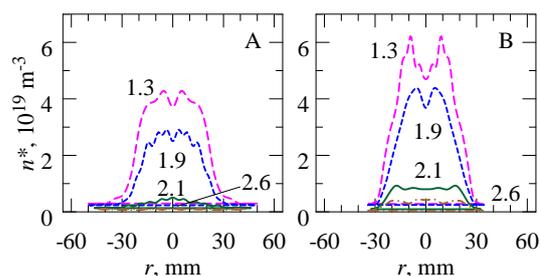


Рис. 4.2.10. Радиальные профили плотности на  $z = 3,56$  м для четырех моментов времени (обозначены цифрами у кривых) в случаях плазмоприемника под плавающим потенциалом (А) и при смещении  $-46$  В (В).

Резюмируя результаты первой плазменной кампании на стартовой конфигурации многопробочной ловушки ГОЛ-NB, можно отметить следующее. Поток низкотемпературной плазмы генерировался дуговой плазменной пушкой, затем был сжат по сечению в нарастающем магнитном поле и транспортирован через секцию сильного поля длиной около 4 м. Параметры прошедшего плазменного потока позволяют начать эксперименты по заполнению плазмой центральной ловушки ГОЛ-NB. Основным научным результатом данной серии экспериментов является первое прямое подтверждение предсказания теории о том, что умеренная гофрировка магнитного поля оказывает слабое влияние на распространение потока сильностолкновительной плазмы. Это подтверждение является важным этапом в физической программе установки ГОЛ-NB, концепция которой основывается на существенно разном влиянии гофрированного поля на течение сильностолкновительной и умеренно-столкновительной плазмы.

#### 4.2.4. Исследование механизмов повреждения поверхности вольфрама термическими ударами, возможными в экспериментальном термоядерном реакторе ИТЭР.

Термоядерная энергетика привлекает человечество новыми источниками безуглеродной электроэнергии, не производящих долгоживущих радиоактивных отходов. Термоядерный синтез может внести положительный вклад в решение проблем доступности ресурсов, сокращения выбросов углерода, а также удаления отходов и безопасности. Наиболее продвинутом проектом экспериментального термоядерного реактора является ИТЭР – международный реактор на основе магнитного удержания плазмы. Одной из ключевых проблем этого проекта считается разрушение материала стенки рабочей камеры под воздействием интенсивных импульсных выбросов плазмы, возникающих

вследствие неконтролируемых неустойчивостей на краю плазмы. Основным разрушающим фактором при этом являются импульсные тепловые нагрузки (термические удары). Подверженные особенно мощным термическим ударам участки стенки реактора покрыты вольфрамовыми пластинами, поэтому важно изучить стойкость поверхности вольфрамовой облицовки к такому воздействию.

Для исследования эрозии вольфрама в мире существуют специальные установки, включающие и экспериментальный стенд БЕТА (Beam of Electrons for materials Test Applications), расположенный в ИЯФ СО РАН. В отличие от большинства ранее выполненных исследований на других установках, стенд БЕТА позволяет изучать процессы на поверхности *in situ* (на месте), в реальном времени – непосредственно во время импульса теплового воздействия и сразу же после него, а не только лишь по анализу поверхности образца, извлеченного из вакуумной камеры уже после полного остывания образца. Эксперименты на стенде БЕТА выполняются объединенным коллективом сотрудников Института ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирского государственного технического университета и студентов Новосибирского государственного университета.

Тепловые нагрузки на установке БЕТА создаются импульсным электронным пучком, а диагностический комплекс состоит из систем изображающих пирометров и активной лазерной диагностики поверхности. Исследования 2019 года посвящены механизмам разрушения поверхности вольфрамовых пластин импульсными тепловыми нагрузками с интенсивностью ниже порога плавления вольфрама. При типичной для токамаков длительности таких термических ударов 0,5 – 1 мс за время одного импульса успевает прогреться тонкий 0,1 – 0,2 мм приповерхностный слой, в то время как вся пластина толщиной несколько миллиметров остаётся практически при начальной температуре. При превышении температурой приповерхностного слоя порога перехода вольфрама в пластичное состояние возникают пластические деформации нагретого слоя. Эти деформации, представляющие собой неоднородное вспучивание в сторону источника нагрева, при остывании не возвращаются в исходное состояние. В результате в приповерхностном слое возникают остаточные механические напряжения, растягивающие приповерхностный слой, которые при превышении предела прочности вольфрама приводят к его растрескиванию. Механические напряжения достаточны для изгиба пластины из вольфрама толщиной 2-4 мм и размером 25x25 мм<sup>2</sup>.

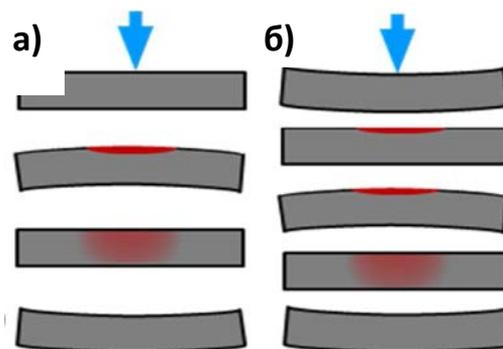


Рис. 4.2.11. Стадии изгиба пластины при нагреве электронным пучком, направление падения и центр которого показаны синей стрелкой. Форма образца в течение первого (а) и второго (б) импульсов нагрева

Схематическое изображение изгиба пластины показано на рис. 4.2.11. Первоначально плоская пластина на стадии нагрева её верхнего приповерхностного слоя и его термического расширения изгибается выпуклой стороной в сторону электронного пучка. При остывании пластины после нагрева она выпрямляется и затем изгибается в противоположную сторону. Анализ данных, полученных с помощью активной лазерной диагностики, подтверждает описанную динамику. При достаточно сильном нагреве интенсивность механических напряжений оказывается достаточной для образования трещин в приповерхностном слое. Неожиданно большие задержки растрескивания были обнаружены нами в прошлом году. Представляет интерес также и пространственная структура образующейся сети трещин.

На рис. 4.2.12 приведена сеть трещин, снятая быстрой камерой с лазерной подсветкой *in situ* и профиль того же участка 4x4 мм<sup>2</sup> поверхности, измеренный с помощью оптического профилометра вне вакуумной камеры. Две картины, полученные разными диагностиками, очень похожи, а сравнение их с сетью трещин, видимых на снимке, полученном на электронном микроскопе, указывает, что вдоль трещин образуется хребты высотой до микрона вследствие подъёма краёв трещин. Подъём краёв трещин вызывается механическими напряжениями, направленными перпендикулярно поверхности образца, как следует из теоретических расчётов, проведённых сотрудниками команды БЕТА.

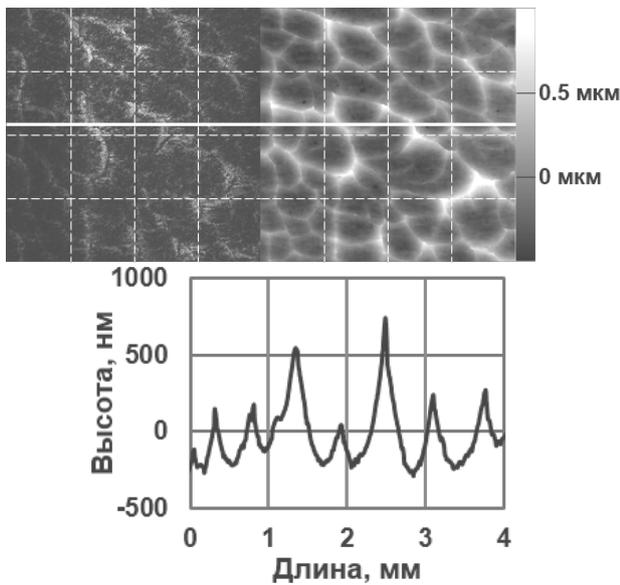


Рис. 4.2.12. Изображение участка поверхности вольфрамовой пластинки в свете рассеянного её поверхностью лазерного излучения (вверху). 2D профиль того же участка 4×4 мм<sup>2</sup> поверхности, полученный с помощью оптического профилометра вне вакуумной камеры (внизу). Показано сечение профиля вдоль толстой белой линии

Расчёты показывают, что ширина хребтов примерно равна глубине трещин, а высота хребтов связана с шириной трещин простым множителем  $\pi$ . Сравнение экспериментального профиля края трещины с теоретическими расчётами на рис. 4.2.13 показывает хорошее согласие теоретической модели с экспериментом. Если напряжения, перпендикулярные поверхности образца, достигают уровня, достаточного для разрыва образца, то образуются ответвления от первоначальных трещин, параллельные поверхности образца.

Такие трещины приводят к ещё большему подъёму краёв трещин, поэтому возрастание высоты хребтов при сохранении ширины перпендикулярных поверхности трещин является указанием на появление трещин, параллельных нагреваемой поверхности образца. Эти трещины существенно снижают теплоотвод от краёв первоначальных трещин, перпендикулярных поверхности, и вызывают их перегрев, усиленную эрозию краёв и образование вольфрамовой пыли.

Быстрое развитие такого явления видно на рис. 4.2.14, когда уже на первом десятке импульсов нагрева видно значительное повышение интенсивности теплового излучения около краёв трещин относительно окружающей поверхности, которое вызвано образованием трещин, параллельных нагреваемой поверхности образца.

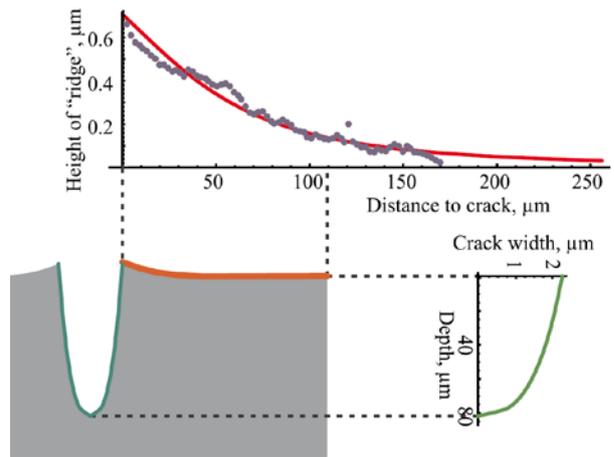


Рис. 4.2.13. Расчетные зависимости ширины трещины от расстояния до поверхности и высоты хребта от расстояния до трещины. Последняя зависимость сравнивается с экспериментальным профилем (точки)

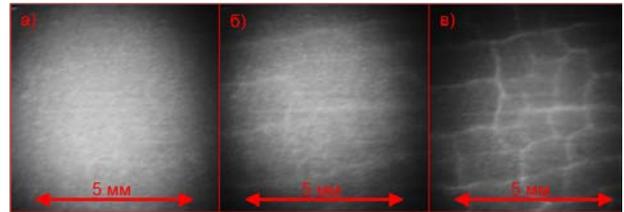


Рис. 4.2.14. Снимки нагретой поверхности вольфрамовой пластинки, снятые с помощью быстрого изображающего пирометра. После первого импульса нагрева (а), после второго импульса (б) и после седьмого импульса нагрева (с). Интенсивность импульсов нагрева оставалась постоянной

#### 4.2.5. Заключение по результатам работ на установках комплекса ГОЛ-3.

В 2019 году на электрофизических установках комплекса ГОЛ-3 продолжались эксперименты, связанные с развитием физики и технологий, необходимых для разработки проекта открытой ловушки следующего поколения с термоядерными параметрами плазмы и ряда других приложений.

В стартовой конфигурации установки ГОЛ-НВ показано, что гофрировка магнитного поля не вносит дополнительных потерь в течение столкновительной (холодной и плотной) стартовой плазмы вдоль магнитного поля, что позволяет формировать плазменный столб в ловушке с расчетными параметрами. Эти результаты являются первым экспериментальным подтверждением соответствующего предсказания теории.

### 4.3. РАБОТЫ НА УСТАНОВКЕ ЭЛМИ

В настоящее время самый высокий уровень мощности ( $\sim 1$  МВт) в ТГц-диапазоне частот достигнут в импульсах излучения, генерируемых в лазерах на свободных электронах (ЛСЭ), в которых релятивистский электронный пучок (РЭП) с энергией 5 – 10 МэВ распространяется в магнитоэлектрическом ондуляторе. Однако генерация такого излучения возможна и в случае умеренно-релятивистских электронных пучков ( $\gamma \sim 3$ ), если для накачки поперечной осцилляторной скорости электронов использовать интенсивную электромагнитную волну с длиной волны существенно меньшей, чем период типичного магнитоэлектрического ондулятора. Повышению частоты генерируемого излучения также способствует встречный характер рассеяния на электронном пучке, что удваивает частоту генерируемого излучения за счет доплеровского преобразования. За счет этих факторов рассеяние волны накачки мм-излучения на электронном пучке с энергией электронов  $\sim 1$  МэВ и током 1 – 3 кА в соответствии с расчетами должно повысить уровень генерируемого ТГц-излучения до нескольких единиц и даже десятков МВт мощности в микросекундном диапазоне длительностей импульсов в зависимости от интенсивности волны накачки. Помимо этого, для повышения интенсивности поля накачки возможно применение внутррезонаторного рассеяния.

В ИЯФ СО РАН на установке «ЭЛМИ» создается мощный генератор ТГц-излучения на основе двухстадийной схемы генерации излучения. Для этого в производстве ИЯФ изготовлены новые элементы этого генератора: коллекторный узел двухстадийного генератора с графитовыми коллекторами и СВЧ-окнами для вывода излучения (рис. 4.3.1), переходной патрубком между анодным фланцем вакуумной камеры ускорителя ЭЛМИ и транспортным каналом ондулятора и резонатором, новый анодный фланец вакуумной камеры ускорителя ЭЛМИ, волновой дефлектор для кольцевого резонатора (рис. 4.3.2).



Рис. 4.3.1. Коллекторный узел генератора

В прошедшем году проводились разработка и реализация проекта двухстадийного лазера на свободных электронах ТГц-диапазона частот на основе двух параллельных ленточных электронных пучков.

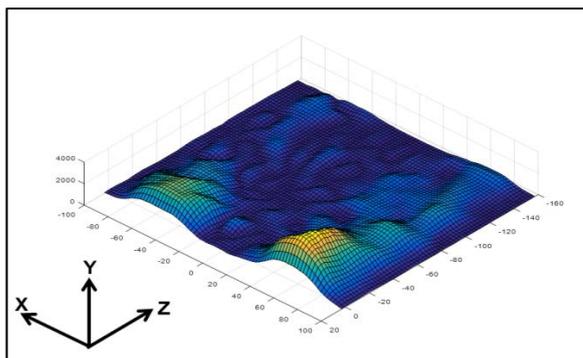


Рис. 4.3.2. Фотография одной пластины волнового дефлектора (вверху) и расчетное распределение модуля плотности потока излучения  $P_z$  в дефлекторе с глубиной гофрировки  $h_{def} = 0,3$  мм (внизу).

Одной из возможных схем реализации этого проекта с применением внутррезонаторного рассеяния является генератор излучения с кольцевым резонатором на основе одномерных брэгговских дефлекторов (рис. 4.3.3). Такие дефлекторы отклоняют падающее на них излучение на угол  $90^\circ$  с высокой эффективностью только в окрестности частоты брэгговского резонанса. Построенная на таком принципе электродинамическая система генератора позволяет, с одной стороны, реализовать режим узкополосной генерации мощной мм-волны накачки на первом ленточном пучке, распространяющемся в условиях статического ондуляторного поля, а с другой стороны, направить эту волну во вторую секцию резонатора для накачки ВЧ-ондулятора. В этой секции волна накачки рассеивается в ТГц-излучение на втором ленточном электронном пучке. В соответствие с результатами расчетов электродинамических свойств такого кольцевого резонатора, он обладает высокой селективностью по продольному индексу мод вследствие узости частотного диапазона, в котором происходит брэгговское отражение.

Помимо этого, благодаря малой глубине гофрировки поверхности брэгговских зеркал и их планарной геометрии, такая электродинамическая систем позволяет с хорошей эффективностью транспортировать электронные потоки с ленточным поперечным сечением. Другим полезным свойством этой схемы является отсутствие попутной пучку волны в поле накачки, что существенно улучшает условия для

генерации рассеянного ТГц-излучения из-за отсутствия низкочастотных осцилляций электронов.

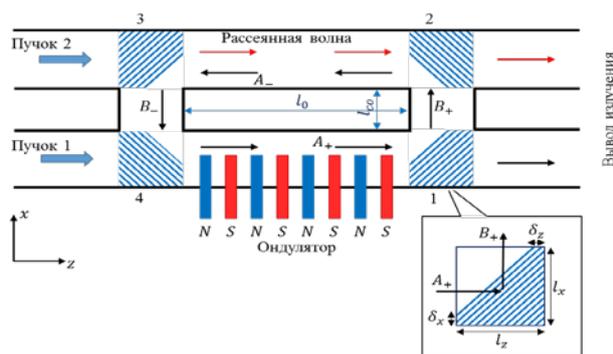


Рис. 4.3.3. Схема двухстадийного планарного ЛСЭ на основе кольцевого брэгговского резонатора (дефлекторы 1 – 4) и двух параллельных ленточных пучков. Более детальная схема одной из возможных форм поверхности брэгговского дефлектора, на которой наносится гофрировка, показана на выноске

Перед проведением экспериментов по генерации излучения с помощью пакета программ “CST Studio Suite” нами было выполнено 3D моделирование генерации двух сильнооточных ленточных пучков в одном магнитно-изолированном диоде и их транспортировки в каналах двухстадийного ТГц-генератора. Полученные в расчетах траектории электронов в диоде и каналах ускорителя ЭЛМИ приведены на рис. 4.3.4.

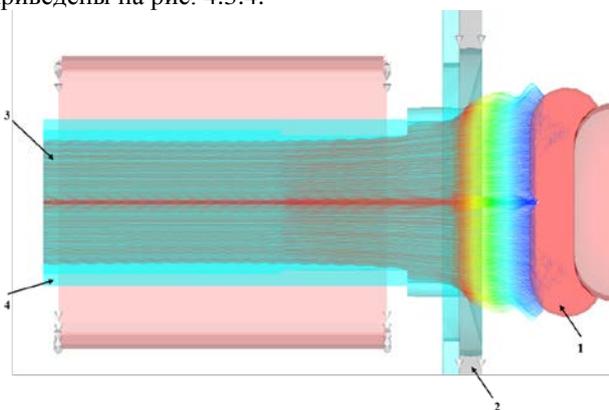


Рис. 4.3.4. Траектории электронов пучка в ускорителе ЭЛМИ, полученные в трехмерном моделировании: 1 – катод, 2 – анод, 3 – электронный пучок, 4 – канал транспортировки

Для проверки эффективности транспортировки ленточных пучков в каналах генератора были проведены предварительные эксперименты на ускорителе ЭЛМИ, в которых два ленточных пучка с энергией электронов 0,8 МэВ и токами до 3 кА генерировались в диоде и транспортировались в плоских каналах с тем же сечением, что и кольцевом резонаторе. Из регистрации отпечатков пучка в различных частях каналов транспортировки следует, что ленточные пучки с токами до 3 кА эффективно транспортируются в плоских щелевых каналах при величине ведущего магнитного поля в каналах более 1 Тл.

## 4.4. РАБОТЫ НА ЛОВУШКЕ С ГЕЛИКОИДАЛЬНЫМ ПОЛЕМ СМОЛА

### 4.4.1. Введение

Для улучшения энергетического времени жизни плазмы и повышения термоядерной эффективности открытых ловушек следующего поколения была предложена концепция подавления продольных потерь из открытой ловушки газодинамического типа за счёт динамического многопробочного удержания винтовыми пробками с управляемым вращением плазмы. Теоретически предсказана экспоненциальная зависимость эффективности подавления потерь от длины участка с винтовым полем, приводящая к существенному повышению эффективного пробочного отношения в открытой ловушке.

Для проверки данной концепции в ИЯФ СО РАН была создана установка СМОЛА, физический запуск которой был выполнен в 2017 году. Схема установки приведена на рис. 4.4.1. Основной частью установки является уединённая винтовая пробка длиной 216 см, содержащая 12 периодов винтового поля. Соотношение винтовой и продольной компонент магнитного поля в винтовой секции может быть произвольно изменено. Вращение плазмы задаётся за счёт создания контролируемого профиля радиального электрического поля. Система создания радиального электрического поля схожа с системой вихревого удержания плазмы в ГДЛ и может быть также использована для стабилизации плазменного шнура. Плазма запирается между указанной «уединённой пробкой» и источником плазмы, расположенном в локальном максимуме поля. Эффективность предложенной концепции может быть определена по изменению параметров плазмы вдоль винтовой секции в различных режимах магнитного и электрического поля. В проект заложены следующие параметры плазмы: плотность  $n_i \sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , ведущее магнитное

поле в винтовой секции  $B_{\text{max}} = 0,1 - 0,3 \text{ Тл}$ , радиальное электрическое поле до  $E_r \sim 100 \text{ В/см}$ , радиус плазмы  $a \sim 5 \text{ см}$ , период винтового поля 18 см, средняя по сечению глубина перепада магнитного поля вдоль силовой линии  $R_{\text{mean}} = 1,5 - 2$ , длительность удержания  $\tau = 0,1 \text{ с}$ .

В 2019 году был изготовлен и смонтирован в полной проектной конфигурации центральный соленоид установки. За счёт этого однородность поля была улучшена до  $\delta B/B \sim 1\%$ , также было снято ограничение на величину магнитного поля. За счёт модернизации источника плазмы и систем управления была достигнута и превышена проектная длительность разряда. Ток разряда и плотность плазмы были повышены в 2,5–3 раза. Ключевые параметры установки на различных стадиях её доработки, а также проектные параметры показаны в табл. 4.4.1.

Таблица 4.4.1. Область параметров установки СМОЛА.

	2017	2018	2019	Проект
$n_i$ [ $10^{19} \text{ м}^{-3}$ ]	0,6 – 0,8	0,5 – 1	0,3 – 2	0,3 – 3
$t$ [с]	0,18	0,6	1,6	0,1 – 1
$B_z$ [мТл]	25	25 – 100	25 – 160	25 – 300
$\delta B/B$ [%]	20	5	1	1
$R_{\text{mean}}$	~2	1 – 1,5	1 – 1,5	1 – 2
$\rho/a$	0,1	0,1	0,1	0,1
$v_z/v_T$	~1	~1	~1	0,3 – 3
$\lambda/l$	~1	~1	~1	0,3 – 12

### 4.4.2. Модернизация источника плазмы

В установке СМОЛА используется источник плазмы с накаливаемым  $\text{LaV}_6$  катодом и кольцевым анодом. В 2019 году была выполнена модификация данного источника, направленная на снижение потоков

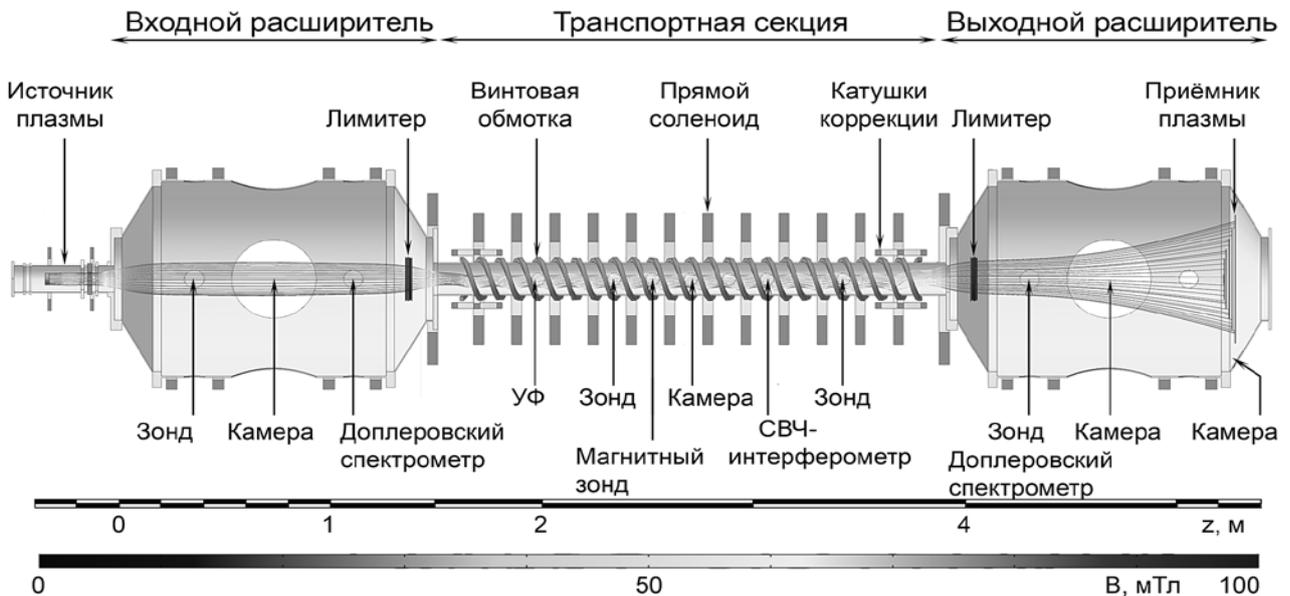


Рис. 4.4.1. Схема установки СМОЛА.

нейтрального газа из области ионизации в основной объём установки. В модифицированной версии источника подача газа осуществляется через кольцевой зазор, расположенный в непосредственной близости от катода; минимальное расстояние, преодолеваемое молекулой газа в области, занятой эмитированными с катода электронами, увеличено до 25 см. Керамические изоляторы, формирующие новую область подачи нейтрального газа, защищены плавающими молибденовыми диафрагмами. Снижение потока неионизированного газа из источника важно не только для снижения нагрузки на вакуумную систему установки при разряде длительностью  $\sim 1$  с и повышении плотности плазмы, но и для снижения эффективного коэффициента диффузии и уменьшения радиального потока момента импульса.

В модифицированном источнике плазмы ток разряда был повышен с 50 – 80 А до 200 – 250 А. Плотность плазмы, измеряемая зондовыми методами, пропорционально увеличилась. Одновременно с этим стационарное давление нейтрального газа при длительном разряде во входном расширителе было снижено с 20 – 30 мПа до 5 – 10 мПа (рис. 4.4.2) За счёт снижения радиальных коэффициентов переноса в плазме плотностью  $n \sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$  было повышено радиальное электрическое поле, что позволило увеличить скорость вращения в указанных режимах с  $\omega \sim (0,3 - 0,4) \times 10^6 \text{ с}^{-1}$  до  $\omega \sim (1,0 - 1,2) \times 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Поток вещества, переносимый в выходной расширитель плазмой, также вырос.

При работе с модифицированным источником плазмы наблюдались импульсные снижения тока разряда длительностью до 50 мкс с характерной относительной амплитудой 0,2 – 0,5 полного тока разряда, повторяющиеся с частотой  $\sim 10$  кГц. Флуктуации были устранены подбором магнитной конфигурации, оптимум соответствует проекции края катода на край заземлённого лимитера, расположенного на входе в транспортную секцию установки.

#### 4.4.3. Скейлинги эффективности удержания.

Проводилось сравнение течения плазмы в различных магнитных конфигурациях: при прямом либо винтовом магнитном поле. Соотношение потока вещества, переносимого плазмой в различных конфигурациях при прочих равных параметрах, определялось из экспериментальных данных и по теоретической модели переноса вещества и импульса в винтовом магнитном поле без учёта диффузии.

Для диагностики параметров плазмы использовались электростатические зонды, спектрометрическое оборудование высокого разрешения, быстрые фото- и видеокамеры оптического диапазона и одноканальный СВЧ-интерферометр на длине волны 6 мм.

Прямое сравнение параметров плазмы на выходе из винтовой пробки в режимах с прямым и винтовым магнитным полем показывает существенное различие в плотности плазмы в квазистационарном режиме при

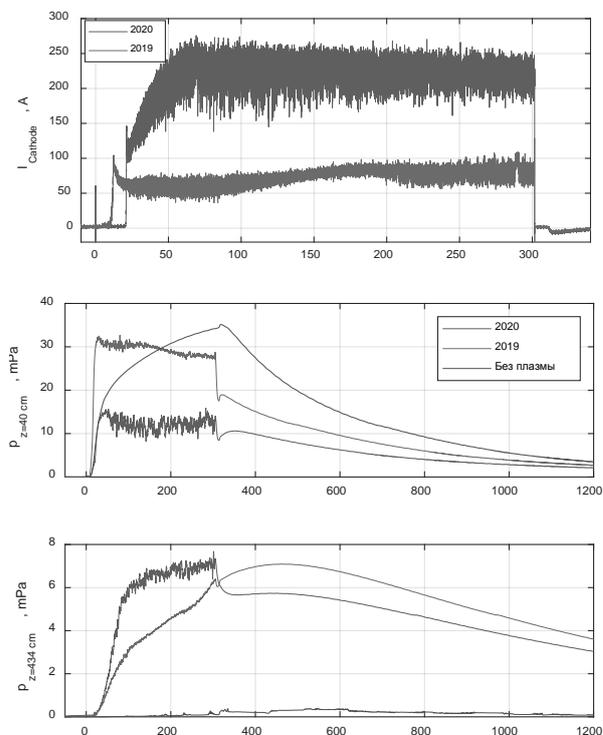


Рис. 4.4.2. а) Ток разряда до и после модификации источника плазмы; б) Давление нейтрального газа во входном расширителе до и после модификации источника плазмы; в) Давление нейтрального газа в выходном расширителе до и после модификации источника плазмы

наличии вращения. Различия в плотности плазмы на оси ниже статистического разброса; статистически значимое снижение плотности наблюдается на краю плазменного шнура.

Были построены экспериментальные и теоретические скейлинги эффективности удержания при варьировании амплитуды соленоидальной компоненты магнитного поля в пределах 0,03 – 0,1 мТл; среднего по сечению пробочного отношения в пределах  $R_{mean} = 1 - 1,5$ ; угловой скорости вращения плазмы  $\omega \sim (0,3 - 1) \times 10^6 \text{ с}^{-1}$ .

Наблюдается рост эффективного пробочного отношения, определяемого по снижению нормированной плотности плазмы на выходе из транспортной секции, при росте скорости вращения плазмы и при повышении средней по сечению степени гофрировки (рис. 4.4.3). При низком магнитном поле и скорости вращения, что отвечает высокой радиальной диффузии, не учитываемой в теоретической модели, наблюдаются существенные расхождения между теоретической и экспериментальной оценкой эффективности винтовой пробки. В остальных областях изученного диапазона параметров экспериментальные результаты близки к теоретической оценке. Зависимость эффективности от скорости вращения и пробочного отношения близка к квадратичной, дальнейшее повышение этих параметров представляет интерес для подтверждения

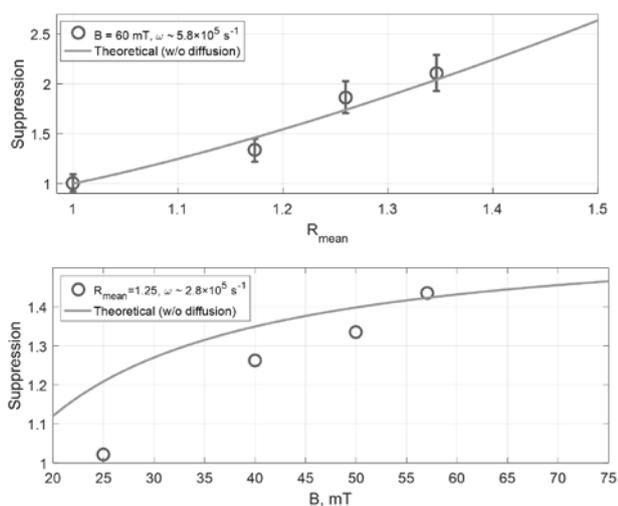


Рис. 4.4.3. Соотношение потоков вещества, переносимых плазмой в выходной расширитель, в прямом и винтовом магнитном поле

полученных оценок и демонстрации высокого подавления потока плазмы.

#### 4.4.4. Заключение

В 2019 году установка СМОЛА доведена до проектной конфигурации магнитной и плазменной системы. Газовая эффективность источника плазмы на установке СМОЛА была существенно повышена. Получен стационарный разряд длительностью до 1,6 с. Скорость вращения плазмы, критически важная для схемы винтового удержания, была увеличена до  $\omega \sim (1,0 - 1,2) \times 10^6 \text{ s}^{-1}$  в режиме с высокой плотностью плазмы. В экспериментальной кампании 2019 года показано соответствие скейлингов эффективности удержания теоретическим моделям течения плазмы в геликоидальном магнитном поле.

Работы выполнялись в рамках проекта РФФ 14-72-10080, темы 14.1.3 Плана научно-исследовательских работ.

## 4.5. РАБОТЫ ПО ПРОГРАММЕ ИТЭР

С 2013 года институт ведет работы в рамках проекта ИТЭР. ИЯФ интегрирует и затем изготовит четыре диагностических порт-плага ИТЭР, разрабатывает и изготовит элементы трех российских диагностических систем для определения параметров плазмы в ИТЭР.

### 4.5.1. Интеграция диагностических порт-плагов и подготовка сборочной площадки.

Институт ведет работы по интеграции четырех диагностических порт-плагов ИТЭР: экваториального порта № 11 (ЭП-11), верхних портов № 02, 08 и 07. Задачей интегратора является разместить многочисленные диагностические системы в портах, обеспечить их функциональность и совместимость, возможность дистанционного обслуживания элементов диагностик и обеспечить конструкционную прочность порт-плагов по отношению к большому количеству различных воздействий – большими тепловыми и нейтронными потоками, а также радиационными, механическими и электромагнитными нагрузками. Разработка портов представляет большую сложность, так как комбинация жестких инженерно-физических требований с суровыми законодательными ограничениями (ИТЭР – ядерный реактор) и недостаточная проработанность при концептуальном проектировании портов оставляют разработчикам очень мало места для маневра. Из-за этого происходит постоянная доработка различных элементов (как по результатам расчетов, так и тестов макетов или технологий), в том числе даже базовых элементов дизайна портов, что приводит к постоянным изменениям. Большую сложность в интегрировании систем добавляет то, что разработчики большинства диагностик не торопятся доводить их до финального состояния (в том числе из-за постоянных изменений), так как находятся в разных странах, зависят от финансирования и графиков работ национальных агентств, которые не очень согласованы между собой.

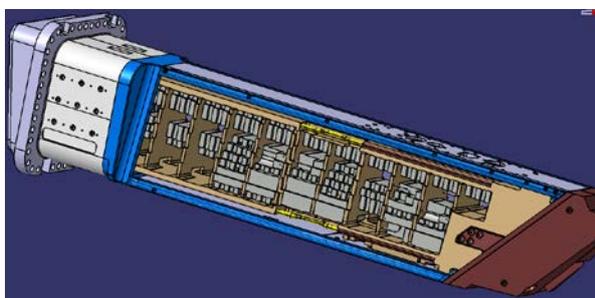


Рис. 4.5.1. Обновленная модель ДЗМ (Диагностического защитного модуля) в порт-плаг Верхнего порта № 08 ИТЭР

В 2019 году в Организации ИТЭР (ОИ) были проведены первые финальные защиты проектов интеграции экваториальных портов: № 12 (май) и 11 (июль), также прошли защиты предварительных

проектов интеграции верхних портов № 04-07 (сентябрь), 02 и 08 (декабрь). Дизайн всех вышеуказанных портов (за половину из которых отвечает Россия в лице ИЯФ) основан на предложенном нашим институтом и поддержанном ОИ «модульном» дизайне. В рамках этого подхода внутри порт-плагов располагаются Диагностические-защитные модули (ДЗМ), которые состоят из охлаждаемых металлического каркаса и вертикальных стенок с кассетами керамики карбида бора для обеспечения нейтронной защиты. Внутри ДЗМ крепятся диагностики плазмы и другие вспомогательные системы, а все свободное пространство вокруг систем заполнено металлическими элементами или керамикой для обеспечения лучшей защиты от радиации как для нормальной работы чувствительных детекторов, так и обслуживающего персонала (при работах после остановки реактора) – см. рис. 4.5.1 и 4.5.2.

В 2019 году в институте были продолжены работы по макетированию элементов ДЗМов порт-плагов ИТЭР и отработке способов производства. Особое внимание уделялось неразрушающему контролю сварных швов, в первую очередь макетов газовых и водяных вводов в вакуум, часть из которых очень сложно (или невозможно) проверить из-за сложности конструкции.



Рис. 4.5.2. Фотография полноразмерного макета защитной кассеты ДЗМ с керамикой карбида бора.

Для подтверждения возможности использования большого количества керамики в портах ИТЭР (ранее не планировавшейся к использованию) были проведены вакуумные тесты согласно ITER Vacuum Handbook с большим количеством спеченной керамики производства ООО Вириал (Санкт-Петербург). Согласно требованиям ИТЭР уровень натекания примесей в вакуумный объем от образцов при температуре 100 °С должен быть не более  $1 \times 10^{-7}$  Па·м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> для водорода и не более  $1 \times 10^{-9}$  Па·м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> для всех остальных примесей.

Для проведения тестов использованы 638 образцов размерами 55×55×5 мм<sup>3</sup>, общей площадью 4,56 м<sup>2</sup> – см. рис. 4.5.3. Это самые достоверные вакуумные тесты в базе ИТЭР. Измерения показали, что у спеченной керамики газоотделение составило  $1,0 \times 10^{-8}$  Па·м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>, т.е. удовлетворяет вакуумным требованиям ITER Vacuum Handbook.

Оценки полного газовыделения из экваториального порта № 11 ( $1,1 \times 10^{-5}$  Па·м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>) показали, что несмотря

то, что в нем будет располагаться около 45 тысяч незапланированных блоков керамики карбида бора размером 46×46×29 мм, удастся уложиться в оценку газового «бюджета» портов, сделанную на этапе концептуального проектирования ИТЭР и на основе которой спроектирована его система откачки.



Рис. 4.5.3. Партия из 638 образцов керамики карбида бора общей площадью 4,56 м<sup>2</sup> лежит на фланце вакуумной печи в процессе подготовки к испытаниям на газоотделение.

На территории института закончена подготовка интеграционной площадки для испытания макетов, прототипов и поставочных образцов диагностического оборудования порт-плавов – см. рис. 4.5.4. Смонтированы следующие подсистемы:

- 1) Фильтровентиляционные системы, оборудованные тремя последовательными фильтрами очистки воздуха, системами охлаждения и нагрева воздуха для поддержания заданных параметров температуры и влажности, управляемые автоматической системой регулировки притока воздуха и скорости нагнетания для создания необходимого перепада давления в чистой зоне интеграционной площадки.
- 2) Система датчиков параметров окружающей среды внутри чистого помещения, включая датчики аэрозольных частиц, датчики температуры и влажности, датчики перепада давления между смежными и наружными помещениями, датчики скорости потока воздуха, объединенные в сеть сбора показаний с выводом на пульт оператора необходимым оснащением и программным обеспечением.
- 3) Смонтировано выделенное чистое помещение.

Согласно проведенной экспертизе помещения чистой зоны соответствуют классу ИСО 7 по ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017, а внешние по отношению к чистой зоне помещения соответствуют классу ИСО 8, что полностью удовлетворяет французским правилам RCC-MR 2007, согласно которым должны проектироваться и изготавливаться компоненты ИТЭР.



Рис. 4.5.4. Фотография чистого помещения в здании 20 для создания условий согласно RCC-MR.

#### 4.5.2. Разработка и подготовка к производству диагностик ИТЭР.

Диверторный монитор нейтронного потока (ДМНП) и вертикальная нейтронная камера (ВНК) являются частью диагностического комплекса ИТЭР и будут измерять термоядерную мощность и полный нейтронный поток реактора. ДМНП состоит из трех модулей (в каждом по две камеры деления), расположенных в разных частях дивертора ИТЭР. ВНК будет состоять из двух частей, в каждой из которых будет располагаться по шесть детекторных узлов, помещённых в герметичные рубашки охлаждения, снабжённые системой водяного охлаждения. Анализатор атомов перезарядки (NPA) позволяет определить спектр и температуру ионов плазмы.

В 2019 году диагностика ДМНП с одной стороны находилась в финальной степени проработки и готовилась к производству, с другой стороны возникла идея переноса диагностики в другое место ИТЭР, что повлекло полный пересмотр концепции ДМНП. Институт продолжал подготовку к производству ДМНП, ожидая окончательного решения по переносу и переделке системы. Были доработаны программы и методики заводских испытаний (FAT) поставочных комплектов модулей ДМНП, в том числе: вакуумных, электрических испытаний, испытания на герметичность, прочность и т.д. Был разработан проект документации по квалификации сварки. Доработан испытательный стенд для проведения механических заводских испытаний.

Для ВНК продолжалась разработка блоков детектирования, электрических коммуникаций, системы контроля герметичности, нейтронной защиты для шкафа с электроникой. Проведен прочностной анализ внутривакуумных элементов конструкции нижней ВНК.

В 2019 году институт занимался разработкой внутривакуумных элементов (коллиматора и стыковочного фланца) системы анализаторов атомов перезарядки (NPA) ИТЭР, документов для проведения финальной защиты элементов NPA, а также

подготовкой к их производству. Полностью разработана конструкторская документация для изготовления коллиматора и стыковочного фланца NRA.

Отдельные элементы работы по диагностикам ИТЭР приведены на рис. 4.5.5 и 4.5.6.



Рис. 4.5.5. Стенд гидравлических испытаний (слева) и макет камеры деления нейтронной диагностики.

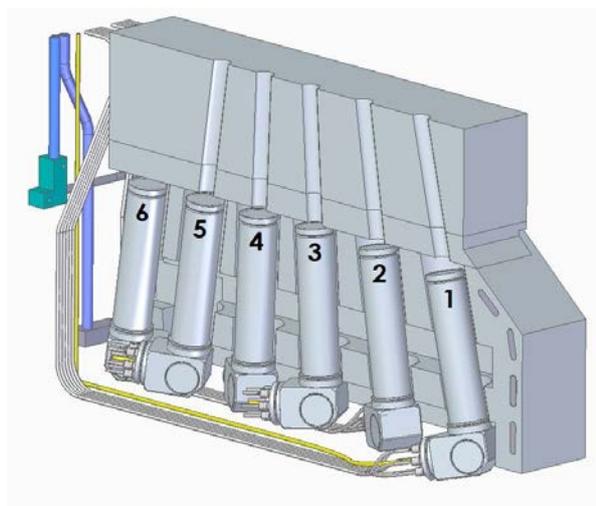


Рис. 4.5.6. Блоки детектирования нижней вертикальной нейтронной камеры ИТЭР.

## 4.6. ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ

### 4.6.1. Электростатические неустойчивости в зеркальной ловушке

Проведена оптимизация параметров термоядерного источника нейтронов на основе газодинамической ловушки в режимах, устойчивых к возбуждению дрейфово-конусной (Drift-Cyclotron Loss-Cone, DCLC) и двухгорбой (Double-Hump, DH) неустойчивостей. Рассматривалась ловушка с прямоугольной магнитной ямой и двухкомпонентной дейтерий-тритиевой плазмой (теплая мишенная плазма и популяция быстрых ионов, создаваемая наклонной атомарной инжекцией). Фиксировалось расстояние между пробками (20 м), пробочное отношение (10) и мощность атомарной инжекции (100 МВт). Варьировалась энергия инжектируемых атомов (от нее зависела средняя энергия быстрых ионов) и мощность поддува газа (существенно влияла на концентрацию мишенной плазмы, температуру электронов и мишенных ионов). Цель оптимизации заключалась в поиске режима с максимальным коэффициентом усиления мощности  $Q$  (отношения мощности реакций синтеза к мощности атомарной инжекции).

Уменьшение мощности поддува приводит к повышению температуры электронов и снижению концентрации мишенных ионов, что увеличивает  $Q$  и способствует стабилизации DH неустойчивости. Однако при повышении температуры мишенных ионов они начинают удерживаться не в газодинамическом, а в кинетическом режиме с опустошенным конусом потерь. Уменьшение доли низкоэнергичных ионов провоцирует возбуждение DCLC неустойчивости в режимах со слишком слабым поддувом газа.

Параметры плазмы в ловушке рассчитывались с использованием кода DOL. Для анализа устойчивости DCLC и DH мод в ходе расчетов численно решалось дисперсионное уравнение, описывающее электростатические колебания в продольно-однородной плазме. Неустойчивые режимы (с параметрами плазмы, при которых дисперсионное соотношение имеет решения с ненулевой мнимой частью частоты) при проведении оптимизации исключались из рассмотрения. Оптимальный режим соответствует энергии инжектируемых атомов примерно 100 кэВ и такой мощности поддува, при которой мишенные ионы удерживаются в режиме, переходном между газодинамическим и кинетическим. Мощность реакций синтеза в оптимальном режиме равна 5,8 МВт. Используемый критерий устойчивости по отношению к электростатическим модам является слишком жестким, поскольку не учитывает стабилизирующее влияние продольной неоднородности и конечного давления плазмы. Учет этих эффектов, по-видимому, позволит найти устойчивые режимы с более высоким  $Q$ .

### 4.6.2. Дивертор для стационарной газодинамической ловушки

Проанализирована возможность использования устройства, топологически эквивалентного непарасиальному МГД-стабилизатору, в качестве дивертора для проектируемого источника термоядерных нейтронов ALIANCE на основе газодинамической ловушки, который должен работать в непрерывном режиме. Побочным эффектом добавления дивертора в линейную ловушку является ожидаемое улучшение МГД-устойчивости плазмы, которое ранее наблюдалось на установках TARA. Для оценки эффекта МГД-стабилизации дивертором в статье указан метод нахождения колец устойчивости и рассчитана степень расширения потока плазмы в диверторе. Анализ показал, что хороший дивертор, который обеспечивает высокую степень расширения, не может быть хорошим МГД-стабилизатором, который обеспечивает большой запас устойчивости. Изучены конфигурации дивертора, состоящие из двух и трех катушек; описаны их преимущества и недостатки. В заключительной части статьи представлены расчеты магнитного поля в концевой ячейке со сверхпроводящим дивертором, разработанным для проекта газодинамической многопробочной ловушки ГДМЛ.

### 4.6.3. Электронная излучательная рекомбинация с водородоподобным ионом

Обсуждаются результаты многолетнего изучения процесса радиационной рекомбинации. Строгая теория нерелятивистской радиационной рекомбинации электрона с водородоподобным ионом используется для расчета полного сечения процесса, эффективного излучения, коэффициента скорости рекомбинации и коэффициента излучения в плазме с максвелловским распределением электронов. Точные результаты сравниваются с многочисленными известными асимптотическими и интерполяционными формулами. Предложены интерполяционные формулы, обеспечивающие равномерное приближение всех указанных величин в широком диапазоне температур плазмы.

### 4.6.4. Терагерцовая генерация волн из жидкого азота

Мы представляем результаты впервые проведенных исследований по генерации терагерцового излучения при воздействии мощных фемтосекундных лазерных импульсов «одного цвета» и «двухцветного излучения» на сжиженный газ – жидкий азот. Наши экспериментальные результаты, подкрепленные тщательной теоретической интерпретацией, ясно показали, что под действием фемтосекундного лазерного излучения жидкость и воздух излучают терагерцевые волны совершенно по-другому. Предполагалось, что подвижность ионов и электронов в жидкости может играть существенную роль, формируя квазистатическое электрическое поле с помощью механизма амбиполярной диффузии.

## 4.7. ИНЖЕКТОРЫ ПУЧКОВ БЫСТРЫХ АТОМОВ И ИОНОВ

### 4.7.1. Инжекторы пучков быстрых атомов

В декабре 2019 г. в компании ТАСЕ (США) запущен диагностический инжектор нейтрального пучка с параметрами: энергия атомов водорода/дейтерия 40 кэВ, ток пучка до 11 А, расходимость 10 мрад, длительность 30 мс. Отличительной особенностью проекта является быстрая модуляция пучка с частотой до 10 кГц. Модуляция пучка в плазме глубиной до 60% осуществляется с помощью быстрого изменения напряжения на вытягивающей сетке на величину 3 кВ, которое задается омическим делителем. Это приводит к уширению пучка при сохранении полного тока. 100% модуляция пучка возможна с помощью модуляции полного напряжения на частотах до 1 кГц.

Запущен на стенде в ИЯФ в нагревной инжектор мощностью 1 МВт с энергией дейтериевого пучка 55 кэВ, длительностью 2 с инжектор для компании Tokamak Energy (Англия). Инжектор успешно прошел испытания с энергией до 40кэВ, которую позволяет выдать имеющийся на стенде высоковольтный источник питания.

### 4.7.2. Разработка мощного инжектора быстрых атомов водорода с длительностью импульса до 100 сек

В 2019 году были завершены изготовление и сборка высоковольтного стенда инжектора нейтралов с ускорением отрицательных ионов. К высоковольтной платформе с источником отрицательных ионов и баком очистки и транспортировки пучка низкой энергии (LEBT) были пристыкованы ускорительная трубка и секция транспортировки пучка ускоренных отрицательных ионов, включающая в себя 2 квадрупольных магнита для фокусировки пучка, поворотный магнит и калориметр для измерения параметров доускоренного пучка (рис.4.7.1).

Были проведены работы по запуску источника на ВВ платформе и транспортировке пучка через LEBT. На выходе из источника был получен пучок с током 0.8 А, энергией 80 кэВ с длительностью импульса 2с, который был проведен через LEBT на вход ускорительной трубки. Профиль пучка на входе в ускорительную трубку показан на Рис. 4.7.2. К ускорительной трубке подведено ВВ питание и начаты первые эксперименты по транспортировке пучка отрицательных ионов через ускорительную трубку.



Рис.4.7.1. Ускорительная трубка стенда 1 МэВ пучка отрицательных ионов, секция транспортировки с квадрупольными магнитами, поворотный магнит и калориметр для исследования доускорения пучка в ускорительной трубке.

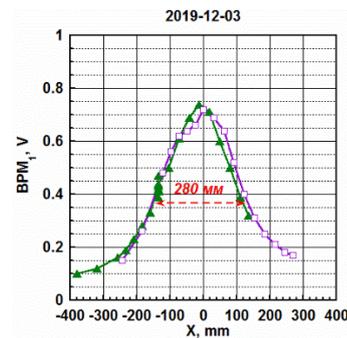


Рис. 4.7.2. Профиль пучка на входе в ускорительную трубку (на расстоянии 3,5 м от источника). Ток пучка 0,8 А, энергия 80 кэВ, длительность 2 с.

### 4.7.3. Высоковольтный инжектор стационарного пучка отрицательных ионов для тандемного ускорителя - исследование транспортировки стационарного пучка H<sup>-</sup> с энергией 33 кэВ.

В 2019 году на стенде инжектора пучка для тандемного ускорителя изучалась транспортировка стационарного пучка отрицательных ионов через секцию низкой энергии (LEBT) и через ускорительную трубку. Непрерывный пучок H<sup>-</sup>, создаваемый поверхностно-поверхностно-плазменным источником с полыми катодами, после сепарации и поворота на 90° в отклоняющем магните транспортировался через камеру длиной 0,8 м, снабженную электрическими и оптическими диагностиками пучка. Для регистрации пучка применялись цилиндр Фарадея (ЦФ) с водяным охлаждением и ПЗС камеры, регистрирующие излучение пучка и остаточного газа при наблюдении сбоку и сзади вдоль направления распространения пучка. Спектрометры высокого разрешения, установленные на боковых сторонах транспортной трубки и в смотровом окне сзади, использовались для измерения основной и доплеровски смещенной линии H $\alpha$  света, излучаемого из области пучка.

Типичные спектры, полученные при наблюдении пучка на Рис.4.7.3. Левый пик спектра 2 рис.4.3.3а обусловлен свечением остаточного водорода. Ширина линии позволяет оценить энергию излучающего атома величиной 2 эВ. Правый пик - это смещенное за счет эффекта Доплера излучение нейтрального компонента, полученного в результате обдирки быстрых отрицательных ионов пучка. Разброс по энергии ускоренных ионов, рассчитанный по ширине смещенной линии, составляет 370-100 эВ, что соответствует флуктуациям ускоряющего напряжения. Красный профиль на рис. 4.3.3а- аппаратная функция спектрометра.

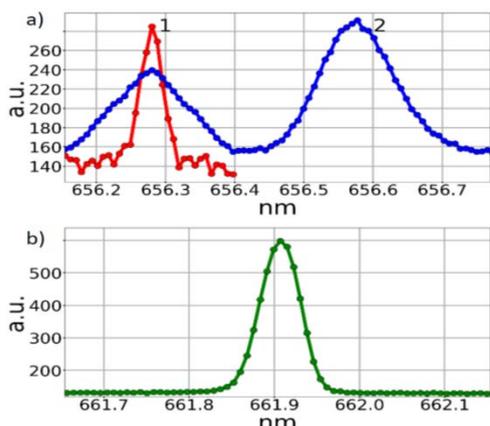


Рис. 4.7.3. Спектры излучения пучка и остаточного газа, полученные при наблюдении сбоку и вдоль движения пучка.

- а) 1 - аппаратная функция спектрометра, 2 - смещенная доплеровская линия Na при наблюдении на пучок сбоку,  
 б) сдвинутая по Доплеру линия Na при наблюдении сзади вдоль распространения пучка.

Были проведены исследования добавления в транспортную камеру различных газов (водорода, аргона и ксенона) на полуширину и ток транспортируемого пучка, как это показано на рис.4.7.4. Сплошные кривые показывают зависимости тока ЦФ, пунктирные кривые показывают ширину пучка по вертикали, точками показана ширина пучка по горизонтали.

Заметное (~ 33%) падение полуширины (FWHM) пучка от 9 до 6 мм было зарегистрировано при небольшом добавлении ксенона  $\Delta P_{Xe} \sim 3 \cdot 10^{-6}$  Торр (от  $2,2 \cdot 10^{-5}$  до  $2,5 \cdot 10^{-5}$  Торр). С увеличением напуска Xe зафиксировано дальнейшее уменьшение размеров пучка до 4,5 мм (50% от первоначального значения). Аналогичное уменьшение размера пучка на ~ 30% было получено при добавлении в 10 раз больше аргона (при давлении  $\Delta P_{Ar} \sim 3 \cdot 10^{-5}$  Торр) и при добавлении в ~ 40 раз больше водорода (при росте давления  $\Delta P_{H_2} \sim 1,3 \cdot 10^{-4}$  Торр). Добавка газа в LEVT вызывает повышенную обдирку пучка H<sup>-</sup> во время транспортировки. Данные Рис. 4.7.4, соответствующие 33%-ному сжатию пучка, приведены в Таблице 4.7.1. Полученные значения коэффициента ослабления тока пучка с добавлением газа в LEVT соответствовали

расчетному интегральному сечению обдирки  $\sigma_{0+}\sigma_{+}$  для 33кэВ H<sup>-</sup>.

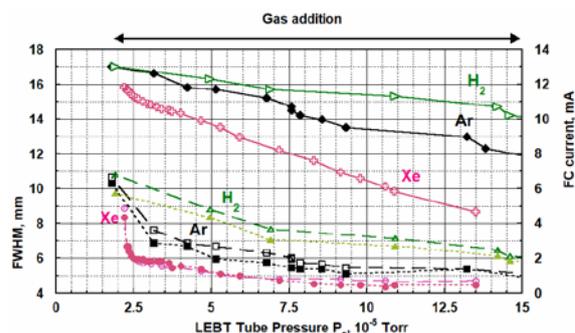


Рис. 4.7.4. Полуширина (FWHM) пучка (левая шкала, точки и пунктирные кривые) и ток ЦФ на выходе LEVT (правая шкала, сплошные кривые), измеренные при добавлении различных газов в транспортную камеру. Зеленый (треугольники) - добавление H<sub>2</sub>, черный (ромбы или квадраты) - добавление аргона, розовый (крестики или кружки) - добавление ксенона. Заполненные маркеры (точки) - горизонтальные FWHM, пустые маркеры (пунктирные линии) - вертикальные FWHM. Начальное давление H<sub>2</sub>  $1,7 \div 2,2 \cdot 10^{-5}$  Торр создается потоком H<sub>2</sub> из источника ионов.

Таблица 4.7.1. Ослабление пучка H<sup>-</sup> (измеренное и рассчитанное) при добавлении H<sub>2</sub>, Ar и Xe в LEVT для пучка 12-13 мА, 33 кэВ.

Газ	$\Delta P, 10^{-5}$ Торр	33% сжатие (FWHM)	Обдирка пучка H <sup>-</sup>	
			измерения	расчёт
Xe	0.3	9 → 6 mm	5%	3.5 %
Ar	2	10.5 → 7 mm	9%	10%
H <sub>2</sub>	7	10.5 → 7 mm	12%	15%

В результате установлено, что добавка ксенона для фокусировки и транспортировки пучка является наиболее эффективной. Пучок H<sup>-</sup> с током 13 мА транспортировался и фокусировался на выходе LEVT при небольшом уровне потерь (<5%).

## 5.1. РАБОТА КОМПЛЕКСА ВЭПП-2000

В 2019 году ВЭПП-2000 работал в области высоких энергий 540–990 МэВ в пучке, а после плановой летней остановки возобновил работу уже на самой низкой своей энергии 180–300 МэВ.

Основные усилия были сосредоточены на настройке комплекса для достижения максимальной светимости заданном диапазоне энергий. Параллельно основной задаче по обеспечению набора данных электрон-позитронной аннигиляции детекторами велись разнообразные прецизионные ускорительные методические эксперименты. Так, изучались токовые зависимости параметров сгустков на обоих накопителях, БЭП и ВЭПП-2000. Производились измерения карты рассеянного поля от импульсного септум-магнита по оригинальной методике, использующей циркулирующий пучок. Изучались свойства соленоидов финального фокуса: их позиционирование и краевые поля, интерференция полей разных катушек. Также продолжается изучение эффектов встречи на круглых пучках. Несколько смен было выделено для экспериментов по газовой десорбции из образцов вакуумных камер с покрытиями на выводе синхротронного излучения из бустера БЭП.

### 5.1.1. Набор интеграла светимости.

В 2019 году набор данных обоими детекторами СНД и КМД-3 производился в двух экспериментальных заходах. Сезон 2018/2019 начался с задержкой ввиду аварийного перегорания токовода одного из соленоидов финального фокуса. Фактический набор данных детекторами начался в январе 2019.

В соответствии с программой эксперимента производилось сканирование по энергии от 537,5 МэВ до 987,5 МэВ в пучке с шагом 12,5 МэВ и набором интеграла светимости  $1 \div 4 \text{ пб}^{-1}$  (Рис. 5.1.1). Значительный объём данных был набран выше порога рождения нуклонных пар, а также на энергии 641 МэВ в пучке для измерения прямого рождения  $f_1(1285)$ , указание на которое было получено в анализе меньшего объёма данных, набранных ранее.

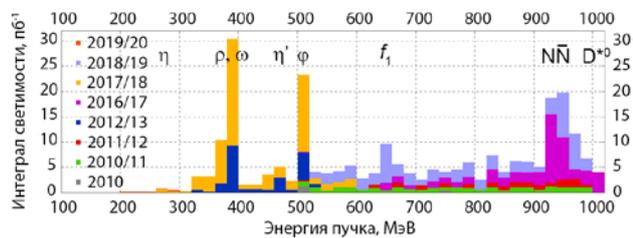


Рис. 5.1.1. Распределение интеграла светимости по энергии, записанной детектором КМД-3 за всю историю работы ВЭПП-2000.

Несмотря на поздний старт, к окончанию сезона был набран рекордный интеграл светимости свыше  $68 \text{ пб}^{-1}$  на детектор (Рис. 5.1.2, Рис. 5.1.3).



Рис. 5.1.2. Интеграл светимости по годам (данные КМД-3).

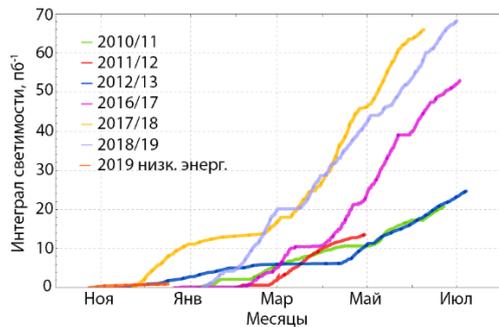


Рис. 5.1.3. Динамика набора данных в разных сезонах.

После плановой летней остановки работа комплекса возобновилась, теперь уже в области самых низких энергий, где целью экспериментов является прецизионное измерение сечения рождения пионов  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ . В диапазоне 180–300 МэВ в пучке был набран интеграл светимости около  $1 \text{ пб}^{-1}$  (Рис. 5.1.4), причём ниже 250 МэВ объём записанных данных пятикратно превышает накопленные прежде. Отметим также, что впервые набор экспериментальных данных на столь низкой энергии сопровождался прецизионным измерением энергии системой обратного комптоновского рассеяния лазерного излучения, благодаря использованию более коротковолнового и мощного волоконного лазера.



Рис. 5.1.4. Распределение интеграла светимости в области низкой энергии.

В этом диапазоне возможно использование специальной оптики с включением только половинок соленоидов финального фокуса, что позволяет дополнительно сократить величину бета-функции в месте встречи. В результате аккуратной настройки линейной оптики, бетатронной связи, хроматизма, удалось достичь рекордной пиковой светимости, а благодаря использованию высокопроизводительного Инжекционного комплекса ИЯФ, обеспечивающего частую инжекцию обоих сортов частиц, и средняя

светимость поддерживалась в 3–5 раз выше, чем в сезоне 2013 года (Рис. 5.1.5). Во втором полугодии достигнута рекордная светимость  $0,6 \times 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$  на энергии 180 МэВ.

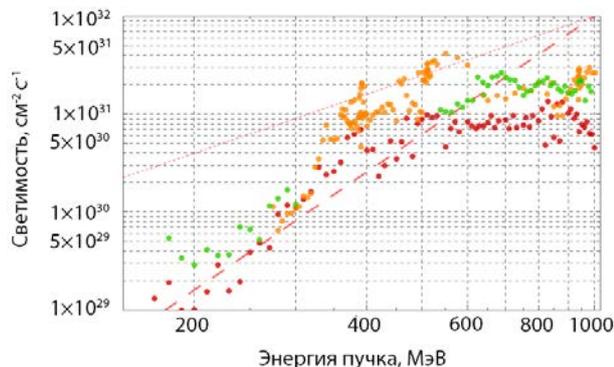


Рис. 5.1.5. Светимость по 10% лучших заходах КМД-3: 2010–2013 (бордовый), 2017–2018 (оранжевый), 2019 (салатный).

В 2020 году, после короткой зимней остановки, будет продолжен набор данных в области энергий 900–1000 МэВ в пучке.

### 5.1.2. Разработка и изготовление вторично-эмиссионных датчиков положения пучка на участок подъёма канала К-500.

Основной пучковой диагностики в длинном 250 м перепускном канале К-500 являются датчики тока изображения. Они измеряют положение центра тяжести сгустка и его интенсивность, однако не дают информации о поперечном распределении. Было принято решение добавить на сложном участке подъёма два дополнительных вторично-эмиссионных датчика (ИПП), аналогичных эксплуатируемым на канале БЭП–ВЭПП.

Датчик представляет собой перекрещивающиеся наборы тонких (28 мкм) проволочек из позолоченного вольфрама, натянутых с интервалом 0,7 мм на керамической рамке. Проходя сквозь проволочку часть электронов высокой энергии выбивает вторичные электроны, за счёт чего на проволочке образуется положительный заряд. Измеряя со значительной задержкой импульс натекающего тока можно судить о плотности частиц пучка.

Чтобы не нарушать график проведения экспериментов, поскольку установка датчиков связана с развакуумированием значительных участков канала, два датчика были установлены в период летней остановки, один перед началом подъёма из туннеля в зал БЭП (Рис. 5.1.6), второй — после подъёма, в медианной плоскости БЭП, перед впускными импульсными магнитами РМ1, РМ2.



Рис. 5.1.6. Датчик ИПП установлен в канале К-500 перед подъёмом в зал БЭП.

Датчики готовятся к интеграции в общую систему пучковой диагностики — подключение к блокам электроники и модификация программного обеспечения.

### 5.1.3. Изучение возможности управления длиной сгустка в ВЭПП-2000.

Ранее было показано, что удлинение встречных сгустков до величины, сравнимой со значением бета-функции в месте встречи, способствует подавлению эффекта флип-флоп, который является наиболее сильным ограничением интенсивности и светимости на ВЭПП-2000. В области высоких энергий удлинение за счёт снижения напряжения ВЧ невозможно ввиду больших потерь на синхротронное излучение, (~60 кэВ/оборот при  $E = 1 \text{ ГэВ}$ ), равновесная длина сталкивающихся сгустков электронов и позитронов слишком мала и требуется найти способ её увеличения с сохранением большого энергетического размера ВЧ-сепаратрисы. Цель — удвоить длину сгустков на максимальной энергии коллайдера (увеличить  $\sigma_s$  с 3,8 см до 8 см).

В настоящее время основное ВЧ настроено на гармонику с номером  $q_1 = 14$  ( $f_1 = 172 \text{ МГц}$ ), а частота обращения пучков равна  $f_0 = 12.2915 \text{ МГц}$ . Ниже приводятся результаты численного моделирования чисто потенциального удлинения сгустков.

Все оценки приведены для максимальной энергии в пучке  $E = 1 \text{ ГэВ}$ . Потери энергии за оборот  $eU_0 = 63,187 \text{ кэВ}$ , коэффициент пространственного уплотнения орбит  $\alpha = 0,036$ , амплитуда основной гармоники ВЧ  $eV_1 = 100 \text{ кэВ}$ , амплитуда второй гармоники ВЧ взята в качестве примера равной  $eV_2 = 24 \text{ кэВ}$ .

График потенциальной энергии показан на Рис. 5.1.7 для несколько избыточного напряжения  $eV_2 = 24 \text{ кэВ}$ . Заметим, что яма становится плоской уже при  $eV_2 = 18,948 \text{ кэВ}$ .

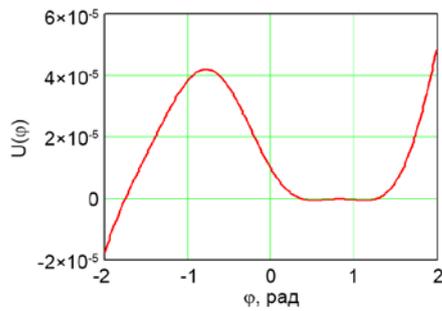


Рис. 5.1.7. Потенциальная яма продольного движения, вычисленная для  $E = 1$  ГэВ,  $q_1 = 14$ ,  $q_2 = 56$ ,  $eV_1 = 100$  кэВ,  $eV_2 = 24$  кэВ,  $eU = 63,2$  кэВ,  $\varphi_{1s} = 0,824$ ,  $d\varphi_2 = 0,05$ .

Высота потенциального барьера равна  $4,204 \cdot 10^{-5}$ , что при  $\alpha = 0,036$  соответствует максимальному отклонению по энергии  $\delta_{\max} = \pm 0,515\%$ .

Методом Монте-Карло разыгрывалась эволюция распределения  $N = 100000$  частиц по фазам и отклонениям по энергии. Для установления динамического равновесия вводилось радиационное затухание, например, с декрементом  $\lambda = 0,005$ , и случайные флуктуации отклонений по энергии  $\varepsilon$ , распределённые с гауссовой шириной  $\sigma_\varepsilon = e^{-0,5\lambda} \sigma_\delta \sqrt{2\lambda} = 6,735 \cdot 10^{-5}$ . Экспонента позволяет более точно учесть роль затухания в приводимом ниже алгоритме.

Графики результирующих распределений 100000 частиц на фазовой плоскости после 1000 оборотов, по продольной координате и относительному энергетическому отклонению показаны на Рис. 5.1.8 и Рис. 5.1.9.

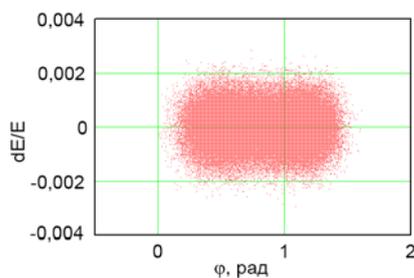


Рис. 5.1.8. Распределение частиц на фазовой плоскости

Равновесная фаза 56-й гармоники  $d\varphi_2 = 0,05$  выбрана таким образом, чтобы двугорбое распределение частиц по продольной координате было симметричным. В такой ситуации 14 гармоника компенсирует не только радиационные потери, но практически покрывает и потери энергии пучком на возбуждение 56-й гармоники резонатора. Баланс напряжений в равновесной фазе выглядит так:  $eV_1 \cos \varphi_{1s} = 67,955$  кэВ,  $eV_2 \sin(-q_2/q_1 d\varphi_2) = -4,768$  кэВ, а сумма этих напряжений равна, потерям на синхротронное излучение:  $eU = 63,187$  кэВ.

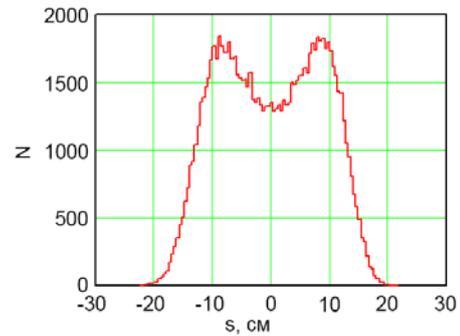


Рис. 5.1.9. Продольное распределение частиц. Среднеквадратичная ширина распределения равна  $\sqrt{(s - \bar{s})^2} = 8,64$  см.

Помимо динамики частиц, были рассмотрены варианты размещения максимально компактного пассивного резонатора в промежутке инжекции, с исключением из кольца узла раскачки, или феррозонда — токового датчика. Следует, однако, отметить, что при работе на высокой энергии, где значение  $\beta^*$  составляет 8–9 см, удлинение сгустка становится нежелательно с точки зрения детектирования продуктов аннигиляции: длина области взаимодействия пучков перестаёт быть малой по сравнению с длиной дрейфовой камеры. Потенциальный выигрыш в светимости за счёт подавления флип-флоп эффекта, по-видимому, будет нивелирован потерей в эффективности регистрации. По этой причине данная работа была остановлена.

#### 5.1.4. Исследование возможности возбуждения эффективного эмиттанта встречных пучков когерентными ударами малой амплитуды для подавления флип-флоп эффекта.

В диапазоне низких энергий ВЭПП-2000 радиационный эмиттанс очень мал. Это позволяет сокращать значение  $\beta^*$  (соответственно, увеличивая значение бета-функции в максимуме) до тех пор, пока сопутствующее сокращение динамической апертуры не начинает ограничивать эффективность инжекции или время жизни сталкивающихся пучков. В случае данных ограничений механическая апертура начинает использоваться не полностью, даже с учётом заметного увеличения эмиттанта вследствие внутрисгусткового рассеяния. Тогда естественным методом повышения светимости является искусственное увеличение эмиттанта: при сохранении параметра встречи, т.е. плотности встречного сгустка, можно наращивать площадь сечения встречных пучков и их интенсивность, при этом линейно с током будет расти и светимость. Этот метод применялся на предшественнике ВЭПП-2000, коллайдере ВЭПП-2М, установкой т.н. «змейки» — вигглера, накачивающего радиационный эмиттанс за счёт квантовых флуктуаций синхротронного излучения.

На ВЭПП-2000 нет места для установки излучающих устройств, поэтому в качестве альтернативы возникло следующее предложение. Если слабым импульсом электромагнитного поля возбудить колебания сгустка, то вследствие сильной нелинейности взаимодействия со встречным пучком происходит быстрое расфазирование колебаний отдельных частиц из-за амплитудной зависимости частоты колебаний. Таким образом, выполняя слабые (с амплитудой, много меньшей размера пучка) удары с периодичностью, много меньшей, чем время радиационного затухания, но большей, чем время раскогеренчивания, можно добиться эффективной раскачки эмиттанса. Для реализации идеи был задействован генератор прямоугольных импульсов, которые после управляемого от ЭВМ усилителя подавались на дополнительные пластины кикеров бегущей волны, неиспользуемые в области низкой энергии. Два канала позволяют воздействовать независимо на пучок электронов или позитронов, хотя их колебания всё равно сильно связаны через эффекты встречи. Характерные параметры: длительность импульсов 300 нс, период повторений 50–200 мкс, амплитуда 20–100 В на пластине. Устройство получило название BeamShaker или просто шейкер.

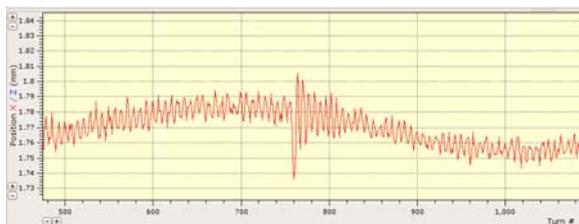


Рис. 5.1.10. Сигнал на пикапе от периодически возбуждаемых колебаний пучка в присутствии встречного сгустка,  $E = 274$  МэВ.

В присутствии встречного пучка (Рис. 5.1.10) сигнал когерентных колебаний исчезает за первые десятки оборотов.

Два других следствия раскачки эффективного эмиттанса — это увеличение времени жизни за счёт ослабления эффекта Тушека; и подавление флип-флоп эффекта. Действительно, флип-флоп эффект заключается в сжатии одного из пучков «сильного» до невозмущённого эффектами встречи малого размера, и очень сильное раздувание «слабого». Использование шейкера не позволяет «сильному» пучку сжаться, из трёх метастабильных состояний наиболее устойчивым становится состояние с равными размерами встречных пучков.

Всё вместе позволило в итоге существенно продвинуться по интенсивности встречающихся сгустков, и, как результат, по светимости (Рис. 5.1.11).

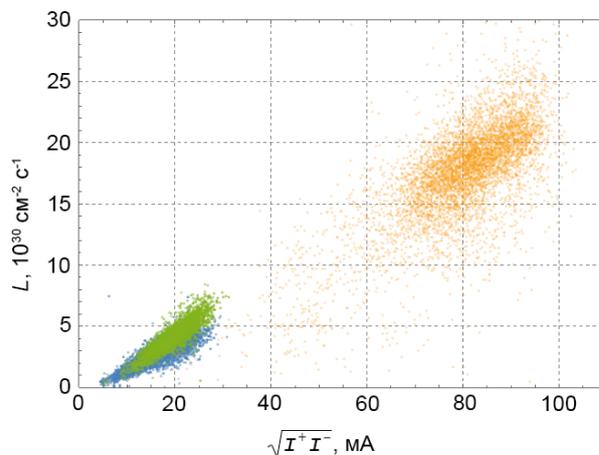


Рис. 5.1.11. Светимость по КМД-3 при наборе данных на 390 МэВ без шейкера (синие, зелёные точки) и с шейкером (оранжевые).

## 5.2. УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ВЭПП-4

### 5.2.1. Введение.

Ускорительный комплекс ВЭПП-4 [1, 2] представляет собой уникальную установку для проведения экспериментов со встречными электрон-позитронными пучками по физике высоких энергий [3], экспериментов с выведенными пучками синхротронного излучения [4, 5] и жестких гамма-квантов [6], экспериментов по ядерной физике [7]. В настоящее время комплекс ВЭПП-4 входит в состав Уникальной научной установки (УНУ) «Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000» [8], в состав которой также входят электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-2000 и Инжекционный комплекс (ИК), предназначенный для производства пучков электронов и позитронов высокой интенсивности [9].

Ускорительный комплекс ВЭПП-4 состоит из элек-

трон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М (с энергией электронов и позитронов до 5 ГэВ), многофункционального накопителя ВЭПП-3 (с энергией частиц до 2 ГэВ), а также канала транспортировки пучка ВЭПП-3 – ВЭПП-4. Схема комплекса ВЭПП-4 приведена на Рис. 5.2.1, где показаны VEPP-3 – накопитель ВЭПП-3, VEPP-4М – коллайдер ВЭПП-4М, а также обозначены основные экспериментальные установки: KEDR – универсальный магнитный детектор КЕДР, предназначенный для проведения экспериментов по физике элементарных частиц, Deuteron – установка Дейтрон для проведения экспериментов по ядерной физике, SR – залы для проведения экспериментов с использованием СИ, ROKK-1М – зал для исследований с использованием пучков гамма квантов обратного комптоновского рассеяния, где также расположен стенд «Выведенный пучок», на котором для экспериментов используется пучок рассеянных жестких гамма-квантов.

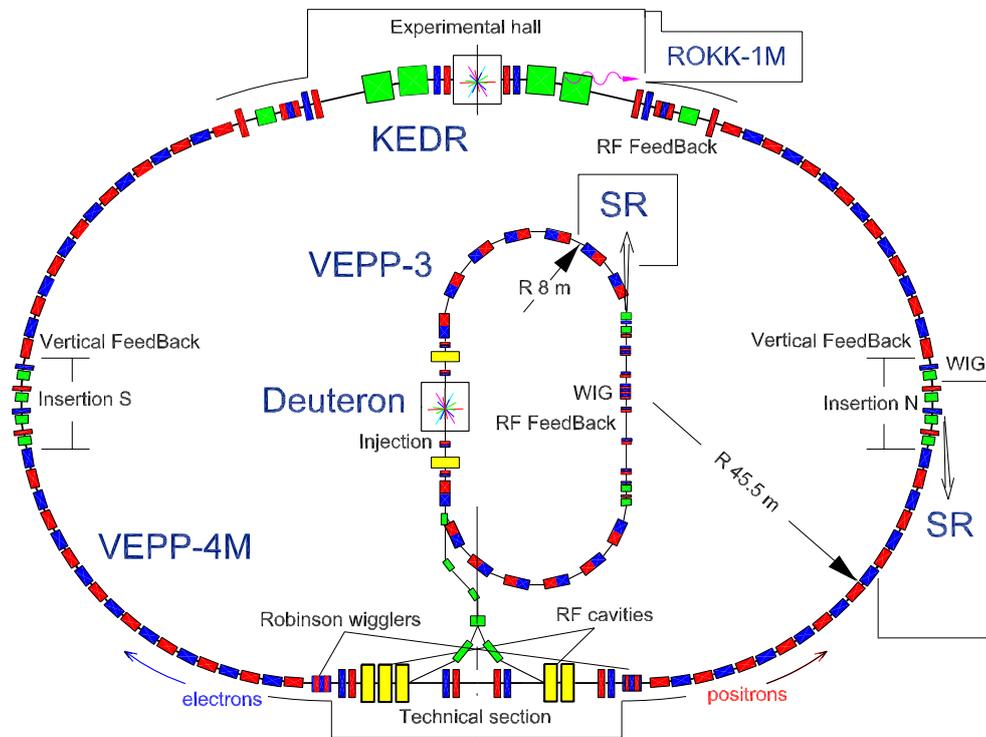


Рис. 5.2.1. Схема комплекса ВЭПП-4.

Уникальной особенностью коллайдера ВЭПП-4М является наличие системы абсолютной калибровки энергии частиц пучка методом резонансной деполяризации [10], что позволяет проводить сверхточные эксперименты по физике высоких энергий, в том числе по измерению масс покоя элементарных частиц. В диапазоне относительно низких энергий частиц (до 2 ГэВ) для фиксации момента деполяризации используется Тушековский поляриметр. Поляризация электронов или позитронов в этом случае осуществляется в накопителе ВЭПП-3, и в коллайдер перепускается уже поляризованный пучок. При энергиях выше 4 ГэВ поляризация частиц происходит непо-

средственно в ВЭПП-4М, а для наблюдения за процессом деполяризации частиц используется лазерный поляриметр [11].

На Рис. 5.2.2 показана диаграмма распределения времени работы комплекса в 2019 году. Работа на комплексе началась 11 января 2019 года после новогодней остановки, которой предшествовали две крупных вакуумных аварии на ВЭПП-3 и на ВЭПП-4М, что потребовало сразу после включения комплекса в новом году провести процедуру обезгаживания обоих накопителей. Кроме того, в первой половине 2019 года было несколько длительных остановок, вызванных поломками источника питания основного

поля накопителя ВЭПП-3, некачественно изготовленного по договору ООО «НЭО» (г. Новосибирск). В результате, в июне 2019 для питания магнитной системы ВЭПП-3 пришлось перейти обратно на мотор-генератор ГПН-1, бывший к тому времени исправным в единственном экземпляре. 3 июля ком-

плекс был остановлен на летнюю остановку, а 11 сентября была продолжена его регулярная работа в режиме: одна неделя для проведения экспериментов с использованием СИ и 3 недели — для экспериментов на КЕДР.

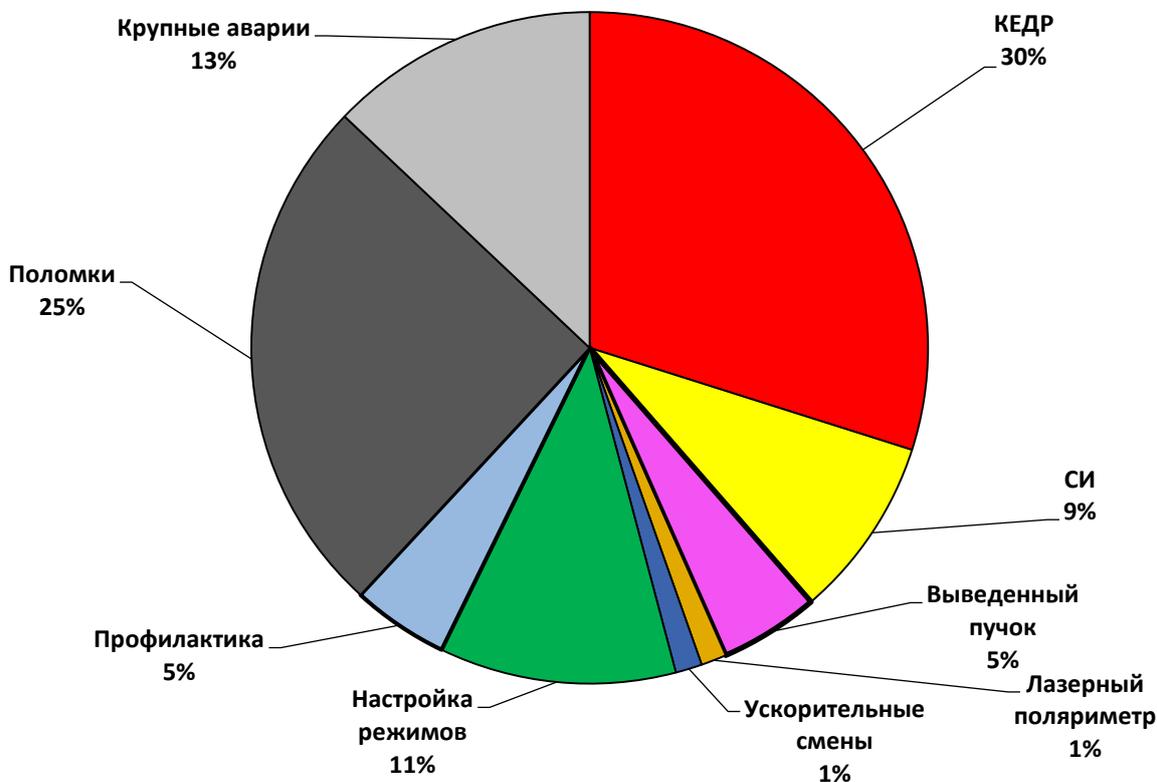


Рис. 5.2.2. Процентное отношение работ по различным программам на комплексе ВЭПП-4 в 2019 году.

### 5.2.2. Статус экспериментальных программ.

#### Физика элементарных частиц.

Эксперименты по физике высоких энергий проводятся на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М с детектором КЕДР [3]. С 2000 по 2017 годы проводились эксперименты в диапазоне низких энергий коллайдера (0,9÷1,9 ГэВ) [12, 13]. С начала 2018 года начат цикл экспериментов выше энергии инжекции в ВЭПП-4М (выше 1,9 ГэВ), что требует ускорения пучков уже в самом коллайдере.

Физическая программа КЕДР в этом диапазоне энергий включает:

1. измерение сечения рождения адронов в диапазоне энергий пучков 2,3÷3,5 ГэВ с интегралом статистики  $\sim 10 \text{ пб}^{-1}$ ,
2. измерение параметров  $\Upsilon$ -мезонов с интегралом статистики  $\sim 50 \text{ пб}^{-1}$ ,
3. набор экспериментальных данных для гамма-гамма физики с интегралом статистики  $\sim 200 \text{ пб}^{-1}$ .

К настоящему времени выполнен первый пункт этой программы. Эксперимент состоял из набора статистики в 17 точках по энергии пучка с шагом  $\sim 50 \text{ МэВ}$ , выполненного за два сканирования (четные и нечетные точки). Набранный интеграл статистики в каждом сканировании составил  $\sim 7 \text{ пб}^{-1}$ . На рис. 5.2.3 показан темп набора интеграла светимости в этом эксперименте. Короткие горизонтальные участки соответствуют интервалам, во время которых проводились эксперименты с использованием СИ, длинные — различным остановкам комплекса.

Набор статистики осуществлялся по схеме: 4 сигнальных захода и 1 фоновый заход (с разведенными пучками). В фоновых заходах интенсивность пучков поддерживалась на таком же уровне, как и в сигнальных заходах. Время одного захода составляло около 3 часов. Для получения пучков в ВЭПП-4М требовалось выполнять по два цикла ускорения в ВЭПП-3: один — для 2-х сгустков электронов, другой — для 2-х сгустков позитронов. После инжекции новых пучков в ВЭПП-4М осуществлялась

коррекция орбиты, при необходимости, оптики. Ускорение пучков до энергии эксперимента сначала осуществлялось с темпом 15 МэВ/с, а затем для подавления сбросов пучка во время ускорения, темп был понижен до 5 МэВ/с, что не сказалось на общем времени захода. После ускорения автоматически запускалась процедура коррекции орбиты электронов к заданной опорной орбите, которая была оптимизирована для получения максимальной светимости, надежной работы монитора светимости, и, главным образом, минимизации фонов детектора.

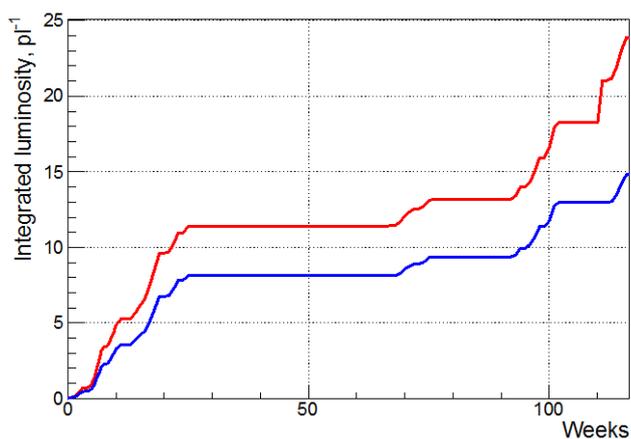


Рис. 5.2.3. Интегралы произведенной светимости (красная линия) и записанной светимости (синяя линия), набранные при проведении эксперимента по измерению сечения рождения адронов 2,3÷3,5 ГэВ.

После сведения пучков осуществлялась ручная подстройка светимости, а затем на детектор выдавалось разрешение на запись сигнального захода, на дрейфовой камере детектора включалось высокое напряжение и начиналась запись захода. При фоновом заходе сведение пучков и подстройка светимости пропускались. Во время записи статистики использовалась программа оптимизации оптики ВЭПП-4М, так называемый «автопилот». Программа, перебирая заданные элементы магнитной системы, подстраивает измеряемую светимость на максимум, что позволяет частично компенсировать вымирание токов пучков со временем. Для подстройки используются сосредоточенные скуль-квадрупольные линзы экспериментального промежутка, позволяющие минимизировать связь бетатронных колебаний; скуль-секступоль технического промежутка, в котором из-за электростатического разведения орбита электронов и позитронов проходят в нижней и верхней половинах магнита, что позволяет регулировать разницу между бетатронными частотами двух пучков; градиентные коррекции линз финального фокуса для оптимизации положения минимума бета-функций в точке столкновений, а также напряжения на пластинах электростатики для точной регулировки сведения пучков в точке столкновений. Управление другими элементами и параметрами коллайдера в автоматической оптимизации не задействовано и осуществляется, при необходимости, непосредственно оператором (регулиру-

ка бетатронных частот, напряжение на ВЧ-резонаторах, т.д.). Кроме того, «автопилот» запускает программу стабилизации орбиты электронов по датчикам положения пучка, что устраняет влияние тепловых изменений геометрии магнитной системы. Использование автоподстройки светимости и стабилизации орбиты позволило поддерживать максимальную светимость в эксперименте. По завершению каждого захода, чтобы не допустить попадания частиц высокой энергии в детектор, пучки выбивались инфлектором, и для перехода в режим инжекции осуществлялся магнитный цикл.

Для подавления внутрисгусткового рассеяния и увеличения жизни пучка, а также для увеличения порогового тока сгустка, ограниченного вертикальной неустойчивостью, на инжекции и во время ускорения в ВЭПП-4М использовалась дипольная змейка (EZM) с полем 1,9 Тл. Включение дипольного вигглера позволяет увеличивать фазовый объем пучка и вводить дополнительное затухание. Набор статистики на эксперименте проводился без дипольного вигглера, т.к. его влияние приводит к увеличению энергетического разброса в пучках и к уменьшению удельной светимости. Для работы с токами выше пороговых (более 7÷8 мА в сгустке) использовалась многосгустковая система подавления вертикальных колебаний, которая выключалась на время инжекции, ускорения и сведения пучков. Использование системы подавления вертикальных колебаний позволяло надежно сводить большие токи пучков при возможных возмущениях оптики и, главным образом, рассогласования системы электростатического разведения. После подстройки светимости, включая нацеливание пучков, система подавления вертикальных колебаний выключалась, т.к. шум ее электроники приводил к увеличению вертикального размера, что, в свою очередь, приводило к уменьшению светимости на 15÷20%. Тем не менее, данная система оказалась эффективным инструментом в расследованиях некоторых проблем на коллайдере. Например, при оптимизации светимости был получен режим с хроматизмом вертикальной бетатронной частоты близким к нулю, при этом пучок после ускорения стабильно существовал, но после сведения возникали когерентные колебания, приводящие к существенному падению светимости и, при некоторых условиях, даже к сбросу тока. Подстройка светимости стандартными «ручками» не давала результата. Система обратной связи подавляла колебания и позволяла достигнуть светимости близкой к ожидаемой. В результате исследования этой многопараметрической задачи удалось определить источник возмущения.

Точность установления заданной энергии частиц в данном эксперименте требовалась лучше, чем 5 МэВ. Энергия определялась по измерению поля с помощью ЯМР [14], который был прокалиброван с помощью абсолютного измерения энергии частиц методом резонансной деполяризации: с помощью тушековского поляриметра [10] на энергии инжекции (1,89 ГэВ) и выше с ускорением в ВЭПП-4М (1,93 ГэВ и 1,98 ГэВ), а также с помощью лазерного поляриметра [11] на энергии 4,06 ГэВ.

На рис. 5.2.4 показана светимость, которая достигалась в разных точках по энергии пучка, и максимальные токи в сгустках. Цветом обозначен набор статистики в разные временные периоды эксперимента: черным – скан I с декабря 2017 по июль 2018, красным – скан II в точках 1, 3, 5 с апреля по июнь 2019, зеленым – скан II в точках 5, 7, 9, 11, 13 с октября по декабрь 2019, синим – скан II в точках 15, 17 с февраля по апрель 2020. Видно, что максимальная светимость росла до энергии 3,15 ГэВ, при этом возрастали токи в сгустках — они были ограничены эффектами встречи, т.е. соответствуют пороговым значениям. Для энергий выше 3,2 ГэВ максимальных токи в сгустках были ограничены темпом накопления и ускорения в ВЭПП-3, а также захватом в ВЭПП-4М и последующим ускорением, поэтому максимальная светимость для этого случая с ростом энергии немного снижалась.

В целях подготовки к выполнению следующих пунктов экспериментальной программы на высокой энергии ВЭПП-4М в мае 2018 года и в ноябре 2019 года были проведены тестовые заходы по получению светимости на энергии пучка 4,75 ГэВ, что соответствует энергии рождения основного состояния  $\Upsilon$ -мезона (см. рис. 5.2.5). На небольших токах (8 на 6 мА в сгустках) была получена светимость  $\sim 5 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ . При получении токов в сгустках  $\sim 20$  мА можно ожидать пиковую светимость  $\sim 5 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ .

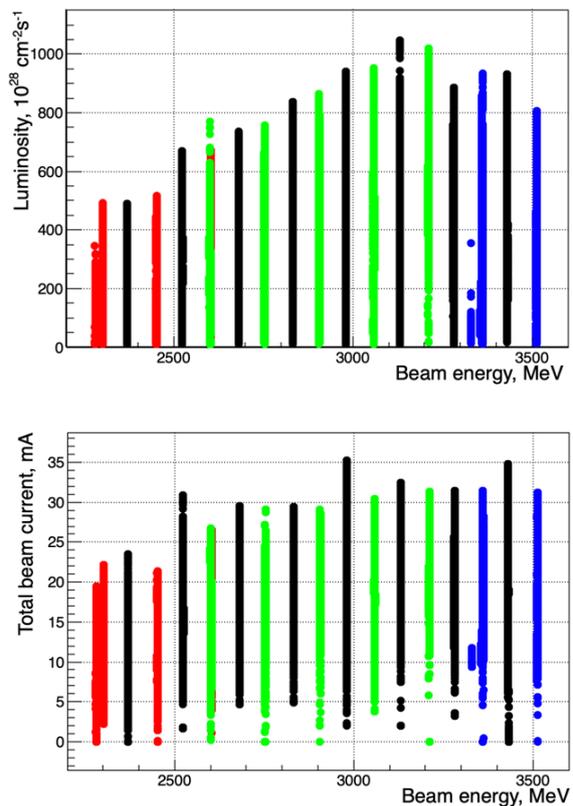


Рис. 5.2.4. Светимость и токи пучков в зависимости от энергии в заходах R-скан.

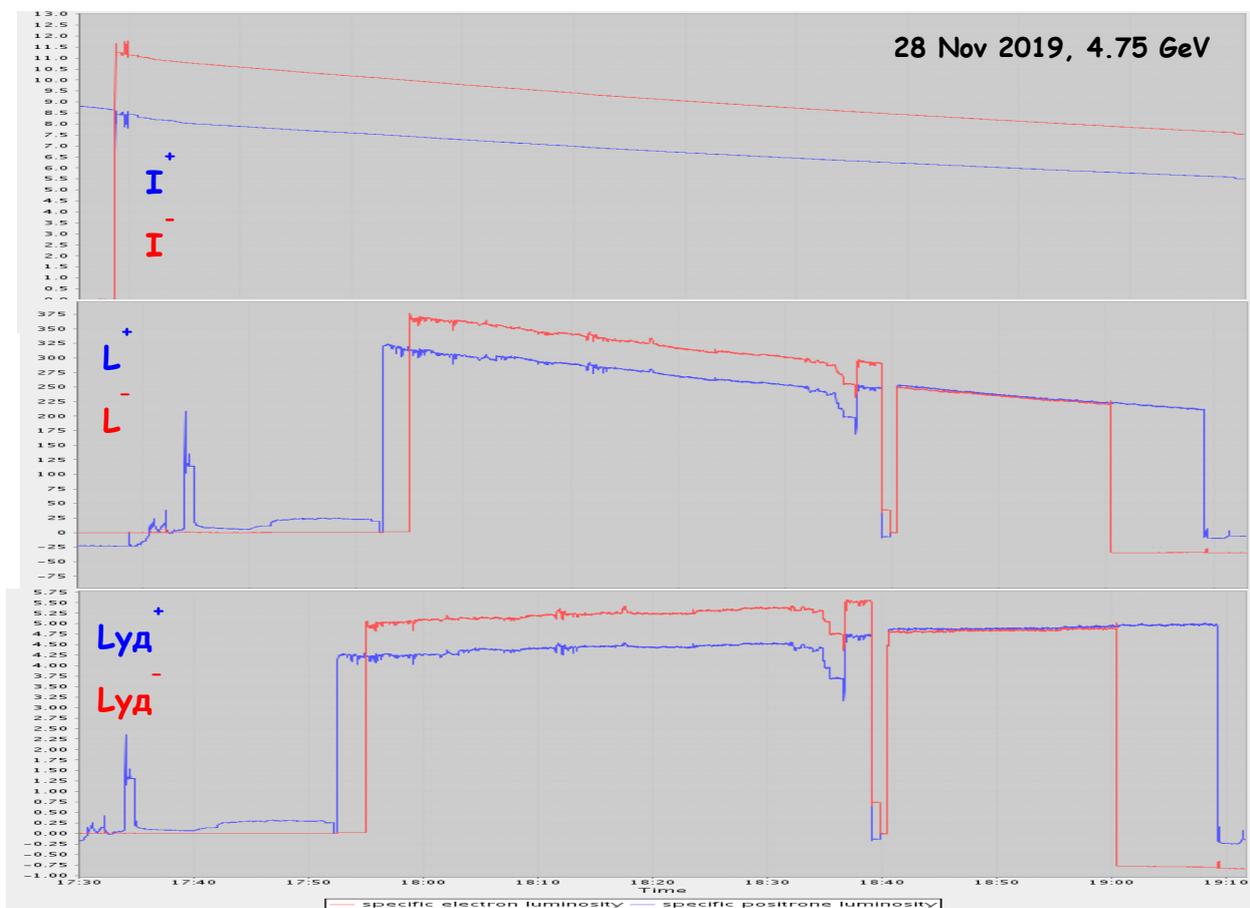


Рис. 5.2.5. Токи сгустков, светимость и удельная светимость на энергии 4,75 ГэВ.

Во время тестового захода также изучалось влияние фона от синхротронного излучения в детекторе КЕДР. Как ожидалось, согласно расчетам выше 3,5 ГэВ в пучке на вакуумную камеру внутри детектора начинает попадать жесткая компонента излучения из последних поворотных магнитов перед местом встречи (NEM и SEM), что увеличивает фоновую загрузку детектора (см. на рис. 5.2.6 черная кривая). Для подавления этого эффекта в конструкции вакуумной камеры внутри квадрупольных линз финального фокуса NEL1 и SEL1, которые размещены по обе стороны детектора, предусмотрены специальные подвижные водоохлаждаемые приёмники излучения (см. рис. 5.2.7). Летом 2018 года при попытке ввода приёмника излучения линзы NEL1 произошла вакуумная авария — из-за образовавшейся трещины в механизме ввода приёмника излучения вся вакуумная камера ВЭПП-4М заполнилась атмосферой. Для устранения последствий аварии потребовалось разобрать дублет квадрупольных линз (снимать верхние половинки линз), трубопровод криогенной системы компенсирующих соленоидов детектора КЕДР, вырезать вакуумную камеру и восстанавливать приёмник излучения. В механизм ввода приёмника излучения было внесено усовершенствование, позволяющее контролировать глубину ввода приёмника излучения внутрь вакуумной камеры. После восстановления вакуума, потребовалось произвести обезгаживание вакуумной камеры ВЭПП-4М пучком синхротронного излучения как на электронах, так и на позитронах.

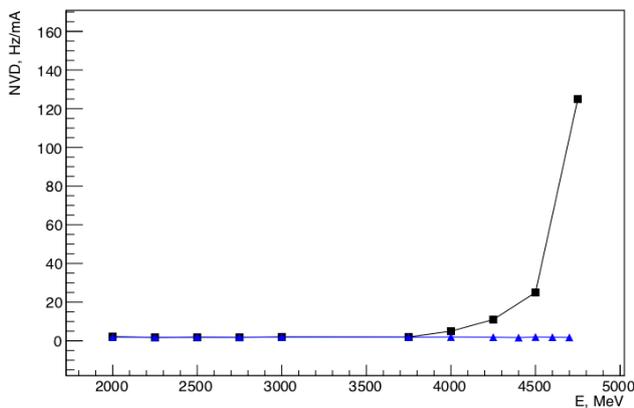


Рис. 5.2.6. Фон детектора КЕДР нормированный на ток пучка от энергии пучка.

Во время тестового захода на 4,75 ГэВ в ноябре 2019 года захода была произведена настройка положения этих приёмников для подавления фона от СИ без уменьшения геометрической апертуры коллайдера. В результате фон от синхротронного излучения был полностью подавлен включая энергию пучка 4,75 ГэВ (см. на рис. 5.2.6 синяя кривая).



Рис. 5.2.7. Вакуумная камера и приёмник излучения внутри квадрупольной линзы NEL1.

### Синхротронное излучение.

Эксперименты с выведенными пучками синхротронного излучения [4, 5] для Сибирского центра терагерцового и синхротронного излучения проводятся на накопителе ВЭПП-3 на энергиях 1,2 ГэВ и 2 ГэВ, а на коллайдере ВЭПП-4М на энергиях 1,9 ГэВ и 4,5 ГэВ. В 2018 году была освоена работа комплекса в любой комбинации этих режимов, в том числе и работа обеих установок на максимальной энергии. На ВЭПП-3 СИ выводится из поворотного магнита и трехполосного вигглера (шифтера), а на ВЭПП-4М — из поворотного магнита и 9-полосного гибридного вигглера с полем 2 Тл [15, 16]. Спектры излучений из ВЭПП-3 и ВЭПП-4М приведены в Годовом отчете ИЯФ СО РАН за 2018 год. Стоит отметить, что спектр синхротронного излучения из 9-полосного гибридного вигглера является самым жестким в России.

В настоящее время на ВЭПП-3 используется 7 каналов вывода СИ, на которых оборудовано 10 станций, и еще 1 канал используется для стабилизации положения точек излучения из поворотного магнита и вигглера. При проведении экспериментов штатным образом функционирует автоматическая система медленной стабилизации положения пучка СИ, описание которой приведено в Годовом отчете ИЯФ за 2017 год. В 2019 году была испытана система быстрой стабилизации пучка СИ. Список экспериментальных станций накопителя ВЭПП-3 приведен в Таблице 5.2.1

На накопителе ВЭПП-4М эксперименты проводятся на 4 станциях, в которых используется излучения из двух каналов вывода СИ. Список станций накопителя ВЭПП-4М приведен в Таблице 5.2.2.

Таблица 5.2.1. Станции СИ накопителя ВЭПП-3.

№	Название
0-А	LIGA-технология и рентгеновская литография
0-Б	Субмикросекундная диагностика
2	Прецизионная дифрактометрия и аномальное рассеяние
3	Локальный и сканирующий рентгенофлуоресцентный элементный анализ
4	Дифрактометрия при высоких давлениях
5-А	Рентгеновская микроскопия и томография
5-Б	Дифракционное «кино»
6-А	Прецизионная дифрактометрия-2
6-Б	Люминесценция с временным разрешением
8	EXAFS-спектроскопия

Станция «КОСМОС» на канале № 10 с излучением из поворотного магнита северной вставки (NIM4) работает с вакуумным ультрафиолетом и для этого используется режим работы ВЭПП-4М на энергии инжекции (1,9 ГэВ). Излучение из 9-полюсного вигглера NIW выводится в канал № 8, на котором оборудовано 3 станции: станция «Экстремальное состояние вещества» для исследования быстро-протекающих процессов, станция «Плазма» для исследований в области материаловедения и станция «Жесткая рентгеноскопия». На последней станции проводятся эксперименты по рентгенокопии, элементному анализу или рентген-флуоресцентному анализу, а также микропучковой терапии с использованием жестких гамма-квантов. Все эксперименты на этих станциях выполняются на энергии 4,5 ГэВ.

Таблица 5.2.2. Станции СИ накопителя ВЭПП-4М.

№	Название
1	Технологическая станция СИ
10	«КОСМОС» – ВУФ и МР метрология
3	Прецизионная дифрактометрия и рефлектометрия
8-А	Жесткая рентгеноскопия
8-Б	Экстремальное состояние вещества
8-В	«Плазма»

В настоящее время на ВЭПП-4М строятся еще 2 станции на двух каналах вывода СИ. На канале № 3 с излучением из поворотного магнита NIM4 создается станция «Прецизионная дифрактометрия и рефлектометрия». В канал № 1 будет вводиться излучение из плоской части магнита (N10F) регулярной части поворотной арки, вне промежутка разведения пучков электронов и позитронов. Это позволит проводить эксперименты с СИ на ВЭПП-4М в режиме работы коллайдера. Предполагается использовать этот канал, в том числе, в образовательных целях. Для стабилизации точек излучения используется автоматизированная система коррекции орбиты электронов по датчикам положения пучка.

Для изучения быстропротекающих процессов на ВЭПП-4М был реализован 22 сгустковый режим (~ 50 нс между сгустками). Для инжекции использовался предудар по уже циркулирующему пучку, где в качестве прединфлектора использовался позитронный инфлектор. На рис. 5.2.8 показано распределение пучка электронов по сепаратрисам в режиме эксперимента на энергии 4,5 ГэВ. Данное измерение выполнено с помощью системы пикапной диагностики. Полный ток пучка составил 33 мА.

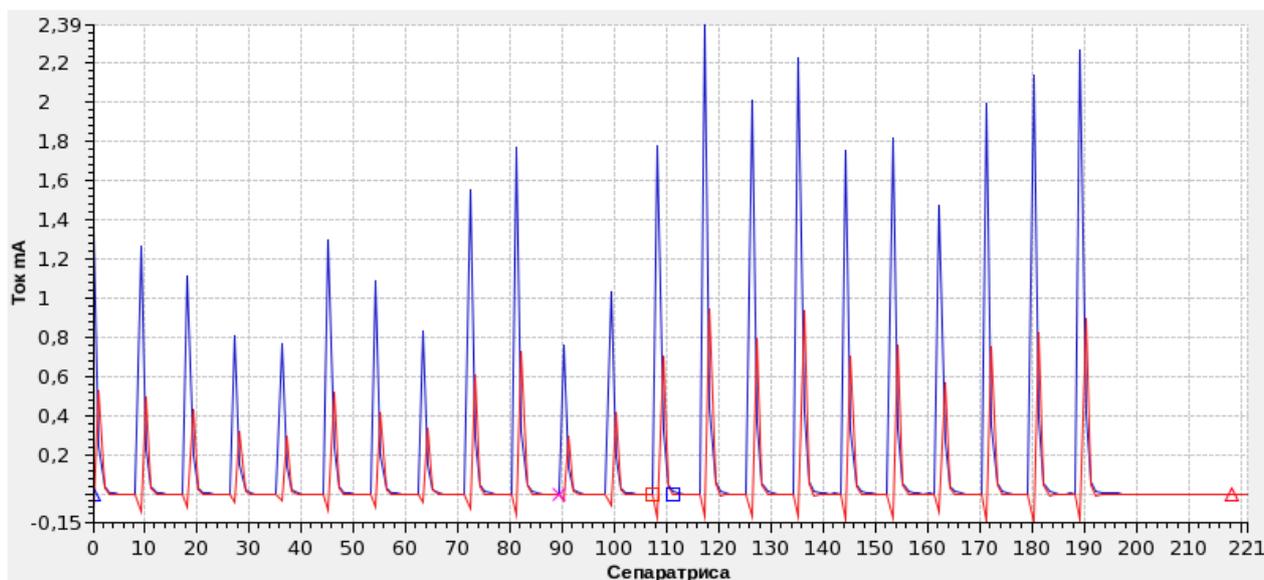


Рис. 5.2.8. 22-х сгустковый режим на ВЭПП-4М на энергии 4,5 ГэВ.

## Установка ДЕЙТРОН.

В 2018 году на установке Дейтрон [7], размещенной во втором прямолинейном промежутке ВЭПП-3, был проведен первый заход набора данных по измерению тензорной асимметрии в реакции фотодезинтеграции дейтрона с использованием системы мечения квази-реальных фотонов. В эксперименте электронный пучок с энергией 800 МэВ пересекал внутреннюю тензорно-поляризованную газовую дейтериевую мишень. При этом диапазон энергии гамма-квантов составил 400÷640 МэВ. Для проведения эксперимента в промежутке ВЭПП-3 была установлена секция с тремя дополнительными дипольными магнитами и двумя квадрупольными линзами. Для эксперимента на 800 МэВ использовалась конфигурация с половиной детектора. Был набран интеграл заряда 15 кКл (из запланированных 30 кКл). Следующий этап эксперимента намечен на 2020 год после сборки детектора в полной конфигурации. Планируется добрать необходимую статистику на энергии электронов 800 МэВ и провести измерения на энергии пучка 1250 МэВ.

## Выведенный пучок.

Создание детекторов частиц для физики высоких энергий требует тестирования на пучках частиц. Для этих целей на накопителе ВЭПП-4М функционирует стенд «Выведенный пучок» [6] (см. рис. 5.2.9). Жесткие гамма-кванты рождаются при взаимодействии

циркулирующего пучка электронов энергии 2÷4 ГэВ с твердой мишенью, которая перемещается внутри вакуумной камеры накопителя вблизи места встречи. Рожденные гамма-кванты выводятся из вакуумной камеры последующего поворотного магнита в экспериментальный зал, где установлена мишень для рождения электрон-позитронных пар, спектрометр на основе поворотного магнита и детектирующая аппаратура. Пучок вторичных электронов имеет следующие параметры: энергия – 100÷3000 МэВ, интенсивность – 100 Гц.

С 2011 года на стенде «Выведенный пучок» проводились исследования по следующим тематикам:

- Разработка прототипа FARICH-детектора (FARICH – Focusing Aerogel Ring Cherenkov) [17]. FARICH-детекторы закладываются в основу системы идентификации детекторов для проектов Super-Charm-Tau-Фабрика в ИЯФ СО РАН [18] и PANDA (FAIR, Германия).
- Калибровка координатных детекторов на основе GEM [19], используемых в ИЯФ СО РАН.
- Измерение временного разрешения и эффективности регистрации детекторов заряженных частиц на основе МКП [20]. Предполагается использование данных детекторов в торцевом калориметре детектора CMS на коллайдере LHC.



Рис. 5.2.9. Схема установки «Выведенный пучок».

### 5.2.3. Эксперименты по пересечению спиновых резонансов поляризованным пучком на ВЭПП-4М.

Для абсолютной калибровки энергии частиц пучка применяется метод резонансной деполяризации (РД) [10]. Метод основан на зависимости частоты спиновой прецессии  $\Omega$  от энергии пучка:

$$\Omega = \omega_0 \left( 1 + \frac{E}{m_e c^2} \frac{\mu'}{\mu} \right),$$

где  $\omega_0$  – частота обращения;  $\mu'$ ,  $\mu_0$  – аномальная и нормальная часть магнитного момента электрона. При воздействии на пучок переменным электромагнитным полем с частотой  $\omega_d$ , удовлетворяющим условию  $\Omega = n\omega_0 \pm \omega_d$  ( $n$  – целое число), происходит разрушение поляризации. Этот момент регистрируется

при помощи подходящего метода измерения степени поляризации пучка. На низких энергиях  $E < 1,9$  ГэВ применяется поляриметр на основе внутрисгусткового рассеяния (Тушековский поляриметр). В этой области энергии был выполнен ряд экспериментов по прецизионному измерению масс  $J/\psi$ ,  $\psi(2S)$ ,  $\psi(3770)$ ,  $D^\pm$ ,  $D^0$  мезонов, а также  $\tau$ -лептона [12]. Калибровка энергии выше 1,9 ГэВ встречает ряд трудностей: отсутствие готового поляризованного пучка, а также снижение эффективности тушековского поляриметра [21].

### Пересечение целого спинового резонанса.

В эксперименте на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М с детектором КЕДР по измерению отношения адронного и мюонного бранчингов (фундаментальное R-отношение) в области энергии пуч-

ков, включающей  $J/\psi$  и  $\psi'$  пики, применялся метод прецизионной калибровки энергии частиц методом резонансной деполяризации (РД) [10]. С точки зрения применения этого метода критическими в этой области являлись две точки: 1763 и 1814 МэВ. Радиационная поляризация электронов происходит в накопительном кольце ВЭПП-3, после чего пучок перепускается в кольцо коллайдера. Обе указанные точки попадают в так называемый «поляризационный провал» шириной около 160 МэВ, в котором получение поляризации на ВЭПП-3 сильно затруднено из-за деполяризующих факторов в магнитной системе бустера. Центр этой области — 1763 МэВ — отвечает целому спиновому резонансу, при котором деполяризационные процессы доминируют, поскольку частота прецессии спина в единицах частоты обращения частиц равна целому числу:  $\nu = \gamma a = 4$ , где  $\gamma$  — релятивистский фактор,  $a = (g-2)/2$  — аномальная часть гиромагнитного отношения электрона. С учетом выбранного положительного направления перемагничивания коллайдера было предложено поляризовать пучок в ВЭПП-3 на так называемой энергии «подскока» — около 1650 МэВ, которая находится ниже «провала». После инжекции в коллайдер поляризованный пучок доускоряется до одной из рабочих точек эксперимента в интервале 1650÷1763 МэВ, исключая небольшую область непосредственно вблизи резонанса  $\nu = 4$ . Возможность использования поляризации при отстройке от этого резонанса не менее 10 МэВ в течение времени порядка 1 часа, доказана ранее в нашем эксперименте по измерению массы тау-лептона [22]. В нем было выбрано отрицательное направление перемагничивания коллайдера. Поэтому поляризация осуществлялась на энергии «подскока» около 1,85 ГэВ, а после перепуска энергия частиц в коллайдере понижалась до порога рождения тау (1777 МэВ). Относительно большое время жизни поляризации  $\tau_p \sim 1$  часа в этих условиях, несмотря на деполяризующий эффект квантовых флуктуаций, усилимый близостью резонанса, объясняется большим временем радиационной релаксации спина в ВЭПП-4М, масштабом которого является время поляризации Соколова-Тернова  $\tau_p \approx 80$  часов. Для сравнения, время поляризации в ВЭПП-3 при той же энергии примерно на два порядка меньше.

Точка 1814 МэВ, как одна из рабочих точек эксперимента по измерению R-отношения, находится на верхнем склоне «поляризационного провала». Поэтому для попадания в эту точку, стартуя с энергии инжекции 1650 МэВ, требовалось пересечь целый спиновый резонанс. Для решения этой задачи в [23] было предложено применить метод «частичной сибирской змейки» (Partial Siberian Snake) [24], используя для этой цели продольное магнитное поле детектора КЕДР [25]. При выключенных анти-соленоидах основное поле детектора 0,6 Тл при эффективной длине 3,3 м на энергии 1763 МэВ поворачивает спин на угол  $\varphi \approx 0,34$  радиан вокруг вектора скорости. Для компенсации появляющейся сильной связи поперечных колебаний использованы две повернутые на угол  $45^\circ$  квадрупольные линзы, расположенные симметрично

относительно детектора КЕДР рядом с линзами финального фокуса [26]. При этом нормальные моды колебаний становятся эллиптически поляризованными только на участке детектора, а на остальной части кольца связь отсутствует. Поворот спина в поле детектора приводит к значительному изменению периодического с азимутом направления поляризации в кольце коллайдера. Это направление теперь не совпадает с направлением ведущего поля, а зависит от энергии. При 1783 МэВ, в частности, оно лежит в медианной плоскости, а в самом детекторе КЕДР параллельно скорости. Кроме того, изменяется частота прецессии спина  $\nu_0$ , которая теперь уже не может принимать в точности целочисленные значения. На резонансной энергии 1763 МэВ она отличается от параметра  $\nu$  на величину  $\nu_0 - \nu \approx 0,05$ . В единицах энергии эта отстройка от резонанса соответствует 22 МэВ.

Несмотря на появляющуюся из-за продольного поля заметную отстройку от целого резонанса, имеются ограничения на скорость его пересечения. С одной стороны, пересечение должно быть достаточно медленным из-за требования адиабатичности. В то же время, из-за сильной спин-орбитальной связи, вносимой соленоидом, резко возрастает скорость деполяризующих процессов под действием квантовых флуктуаций. Поэтому скорость пересечения не должна быть слишком низкой. На рис. 5.2.10 показано теоретическое поведение относительной степени поляризации пучка в процессе ускорения при двух значениях скорости изменения энергии.

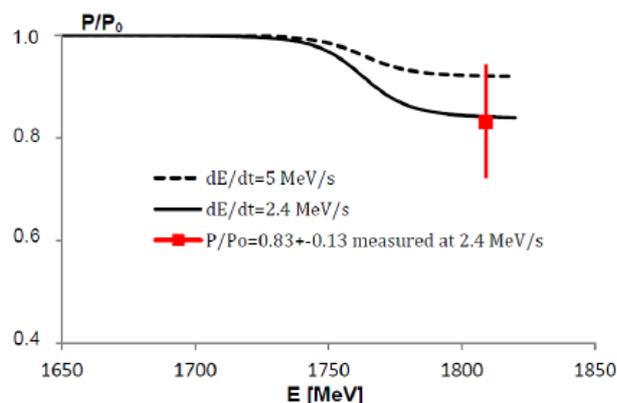
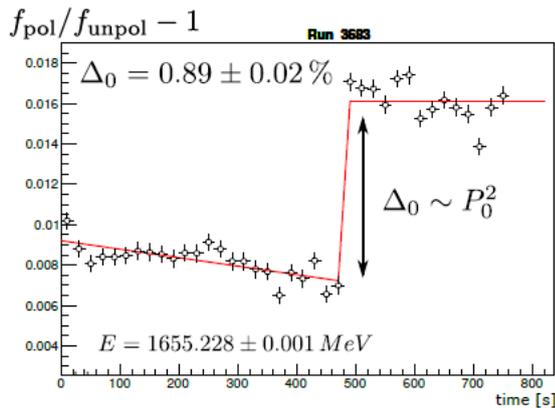


Рис. 5.2.10. Расчетная степень поляризации в единицах начальной в процессе ускорения при полной декомпенсации поля КЕДР при двух значениях скорости изменения энергии. Отдельной точкой с усам показано обобщенное значение конечной степени по результатам измерений, выполненных уже после восстановления поля в анти-соленоидах. Точка нанесена с учетом дополнительной деполяризации на величину немного меньше 10% в течение времени восстановления (385 сек).

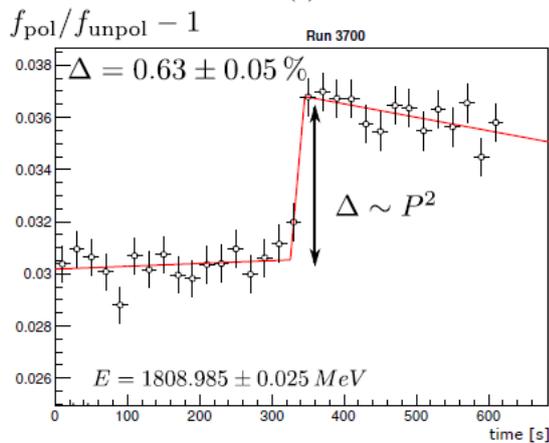
На Рис. 5.2.10 показан также обобщенный результат измерений поляризации после ускорения. Измерения представляли собой процедуру РД с использованием тушековского поляриметра. Поляриметр сравнивает скорости счета электронов, испытавших внутривещное рассеяние, из поляризованного ( $f_{pol}$ ) и

неполяризованного ( $f_{unpol}$ ) сгустков при сканировании частоты деполяризатора, выполненного на основе полосковой линии. Наблюдаемый скачок в относительной скорости счета в момент совпадения этой частоты с частотой спинового резонанса свидетельствует о наличии поляризации в одном из сгустков.

На Рис. 5.2.11 приведены результаты наблюдения деполяризационных скачков на энергии «подскока» и одной из конечных энергий после пересечения резонанса. Данные эксперимента хорошо соответствуют теоретическим расчетам. Сравнительно простой способ пересечения целого спинового резонанса на основе декомпенсации поля детектора позволил выполнить необходимые измерения  $R$  с прецизионной привязкой к энергии встречных пучков.



(a)



(b)

Рис. 5.2.11 Деполяризационный скачок в относительной скорости счета тушековских электронов при сканировании частоты деполяризатора: на энергии «подскока» 1655 МэВ (а), т.е. перед ускорением, и (б) на энергии 1809 МэВ после ускорения с темпом 2,4 МэВ/с. Приведены значения измеренной энергии.

### Пересечение спин-бетатронных резонансов выше инжекции.

Применение метода РД на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М на низких энергиях ограничено, в основном, областью 1,5÷1,9 ГэВ [27]. Поляризация пучка происходит под действием радиационного механизма в накопителе ВЭПП-3 с характерным вре-

менем  $\tau_p$ , обратно пропорциональным пятой степени энергии. Например, на энергии 1,85 ГэВ  $\tau_p \approx 30$  минут, а на энергии 1,5 ГэВ — примерно полтора часа. Для полной поляризации требуется не менее 2,5  $\tau_p$ . Поэтому ниже указанной области энергии получение поляризации обычным путем требует слишком больших временных затрат. В то же время перепуск готового поляризованного пучка с энергией выше 1,9 ГэВ из ВЭПП-3 в ВЭПП-4М невозможен из-за ограниченной полями импульсных элементов канала транспортировки.

Продвижение поляризационной программы за пределы диапазона 1,5÷1,9 ГэВ в принципе осуществимо за счет ускорения/торможения поляризованного пучка в самом коллайдере после инжекции, но встает задача пересечения спиновых резонансов. К настоящему времени на ВЭПП-4М есть положительный опыт пересечения целого спинового резонанса на энергии 1763 МэВ [25] с помощью метода «частичной сибирской змейки» [24], который описан в предыдущем разделе.

Следующим важным этапом является изучение возможности пересечения на ВЭПП-4М спин-бетатронных резонансов типа  $\nu \pm \nu_x = k_x$  и  $\nu \pm \nu_y = k_y$ . Здесь  $\nu = \gamma a$  — частота прецессии спина в единицах частоты обращения частиц,  $\gamma$  — релятивистский фактор,  $a = (g-2)/2$  — аномальная часть гиромагнитного отношения электрона,  $\nu_x$  и  $\nu_y$  — частоты радиальных и вертикальных бетатронных колебаний. Примеры спиновых резонансов с бетатронными частотами  $\nu_x = 7,54$ ,  $\nu_y = 8,58$ , расположенных между энергией инжекции 1887 МэВ и ближайшим целым спиновым резонансом  $\nu = 5$ , приведены в Таблице 5.2.3.

Таблица 5.2.3. Точки по энергии пучка ВЭПП-4М.

1886 МэВ	Инжекция поляризованного пучка
1933 МэВ	Измерение энергии
1948 МэВ	Резонанс $\nu = 13 - \nu_y$
1965 МэВ	Резонанс $\nu = 12 - \nu_x$
1983 МэВ	Измерение энергии
2001 МэВ	Резонанс $\nu = \nu_x - 3$
2018 МэВ	Резонанс $\nu = \nu_y - 4$
2147 МэВ	Измерение энергии
2203 МэВ	Резонанс $\nu = 5$

Оценки показывают, что сдвиг спиновой частоты за счет основного поля детектора КЕДР недостаточно велик для того, чтобы обойти пересечение этих резонансов при энергиях выше 1,9 ГэВ. Сохранение поляризации без применения «частичной сибирской змейки» возможно в режиме «быстрого» пересечения резонанса при выполнении условия  $d\epsilon/dt \gg |w|^2 \omega$  [28, 29]. В левой части неравенства — скорость изменения отстройки от резонанса, определяемая темпом ускорения. В правой части  $w$  — комплексная амплитуда резонансной гармоники возмущений ведущего поля,

$\omega_0$  – круговая частота обращения частиц в кольце ускорителя  $\omega_0 = 2\pi f_0$ , где  $f_0 = 898924$  Гц. В результате такого пересечения степень поляризации уменьшится на величину  $D = \pi |w|^2 \omega_0 / (d\varepsilon/dt) \ll 1$ .

Были проведены эксперименты по «быстрому» пересечению спин-бетатронных резонансов из Таблицы 5.2.1. Поляризованный пучок инжектировался на энергии 1886 МэВ. Пересечение резонансов  $12 - \nu_x$  и  $13 - \nu_y$  выполнено со скоростью 13 МэВ/с. Сначала поляризация была измерена на энергии инжекции, а затем после прохождения резонансов, она была измерена на энергии 1983 МэВ. Измерения представляли собой процедуру РД с использованием тушековского поляриметра [10]. Поляриметр сравнивает скорости счета электронов, испытавших внутрисгустковое рассеяние, из поляризованного  $f_{pol}$  и неполяризованного  $f_{unpol}$  сгустков при сканировании частоты деполаризатора, выполненного на основе полосковой линии. Наблюдаемый скачок в относительной скорости счета в момент совпадения этой частоты с частотой спинового резонанса свидетельствует о наличии поляризации в одном из сгустков. Величина скачка  $\Delta$  пропорциональна квадрату степени поляризации. Нижний график на Рис. 5.2.12 представляет результат наблюдения поляризации на энергии инжекции, а верхний — после пересечения резонансов. Из сравнения деполаризационных скачков  $\Delta$  в первом и втором случаях следует, что уменьшение поляризации составило примерно  $D \approx 1/2$ . Оценка суммарной мощности спиновых резонансов согласно определению  $D$  при скорости изменения энергии 13 МэВ/с на ВЭПП-4М дает величину амплитуды  $|w| \approx 3 \cdot 10^{-5}$ . Ей отвечает критерий «быстроты» пересечения:  $dE/dt = 13$  МэВ/с  $\gg 2$  МэВ/с. При ширине эффективного резонанса порядка  $|w|$  его пересечение занимает по времени в нашем случае около 1 мсек, что много меньше времени радиационного затухания  $\tau_\gamma \sim 10^2$  мсек в рассматриваемой области энергии ВЭПП-4М.

В этой связи отметим, что в стационарных условиях попадание на спиновый резонанс на частоте вертикальных бетатронных колебаний  $\nu_y$  приводит к полной деполаризации за время порядка  $\tau_\gamma$ . В теории это соответствует неограниченному росту фактора спинового отклика [30], который формируется за время  $\tau_\gamma$ , усиливая прямой деполаризирующий эффект различных поперечных возмущений ведущего поля за счет возбуждаемых ими вертикальных колебаний в кольце коллайдера. По-видимому, предпочтительными являются условия, когда эффективная область резонанса, определяемая без учета спинового отклика, пересекается за время много меньшее  $\tau_\gamma$ . В целом, пересечение резонанса  $\nu \pm \nu_y = k_y$  является наиболее критичным по сравнению с другими спин-бетатронными резонансами. Например, такой резонанс не был успешно пересечен в эксперименте [31] на электронном кольцевом ускорителе ELSA в области энергии 1,9 ГэВ, несмотря на очень высокий темп ускорения – до 7 ГэВ/с. Теоретически, в ускорителе с периметром более чем в 2 раза меньшим периметра ВЭПП-4М это могло иметь место из-за невыполнения критерия «быстроты» при довольно большой амплитуде резо-

нансной гармоники  $|w| \sim 10^{-3}$ . Необходимо учесть также в несколько раз меньшее время радиационного затухания в ELSA, что способствует более быстрому накоплению спиновых возмущений в области резонанса.

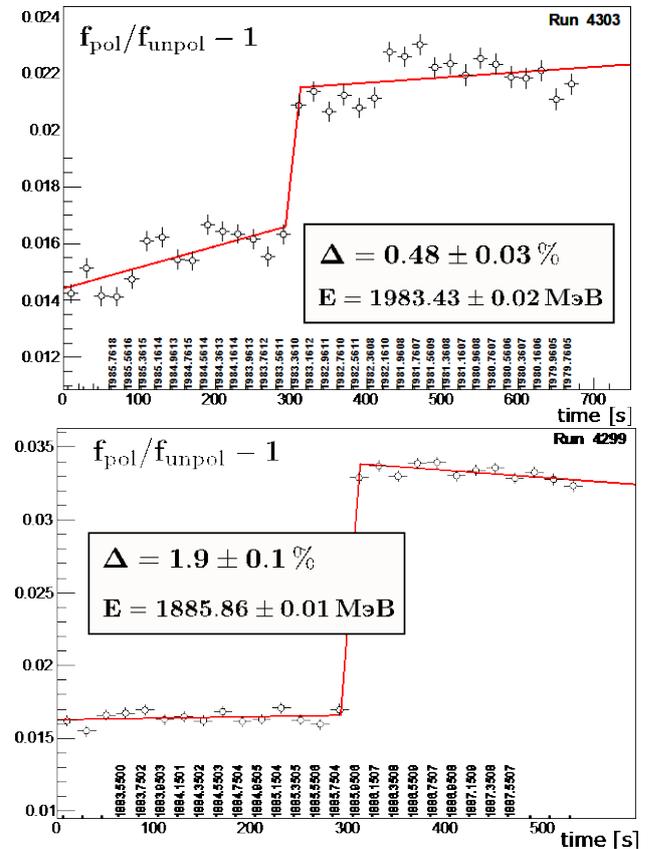


Рис. 5.2.12. Наблюдение поляризации в эксперименте по пересечению резонансов  $12 - \nu_x$  и  $13 - \nu_y$ .

Эксперимент по комплексному пересечению совокупности резонансов  $12 - \nu_x$ ,  $13 - \nu_y$ ,  $\nu_x - 3$  и  $\nu_y - 4$  из Таб. 5.2.1 с проверкой наличия поляризации на энергии 2147 МэВ показал отрицательный результат. Причем, первая пара пересекалась со скоростью 13 МэВ/с, а вторая – 21 МэВ/с. Это может говорить о существенно большей суммарной мощности второй пары резонансов – с амплитудой  $|w| \geq 10^{-4}$ . В этом эксперименте, как и в успешном случае с резонансами  $12 - \nu_x$  и  $13 - \nu_y$ , велось наблюдение за бетатронными частотами в процессе ускорения. Сравнительный анализ результатов этих наблюдений выявил тот факт, что при прохождении области энергии с резонансами  $\nu_x - 3$  и  $\nu_y - 4$  бетатронные частоты заметно сблизились, хотя и вышли на номинальные значения 0,54/0,58 к концу ускорения. Это могло усилить деполаризацию на резонансе  $\nu_y - 4$  из-за увеличения вертикального эмиттанса на линейном разностном резонансе связи поперечных колебаний. Необходимо повторить эксперимент в других условиях. В одном варианте попробовать кратковременно увеличить темп ускорения в момент предполагаемого пересечения резонанса  $\nu_y - 4$ , не допуская значительных измене-

ний в положении рабочей точки по бетатронным частотам. В другом варианте — применить известный метод импульсного изменения вертикальной бетатронной частоты при сохранении общего темпа ускорения.

#### 5.2.4. Исследование искажений замкнутой орбиты ВЭПП-4М вследствие влияния синхронного излучения.

В однокольцевом коллайдере ВЭПП-4М электроны и позитроны циркулируют в одних и тех же магнитах, но по принципиально разным орбитам вследствие эффекта Saw-tooth [32], который обусловлен азимутальной зависимостью потерь энергии на синхротронное излучение. Изучение этого различия важно, так как оно может влиять на точность прецизионных экспериментов. Например, планируемая с учетом накопленного на ВЭПП-4М опыта точность сравнения частот прецессии спина электрона и позитрона с целью проверки СРТ инвариантности составляет  $5 \cdot 10^{-9}$  [33]. Орбиты электронов и позитронов расходятся друг от друга зеркально симметричным образом, если магнитная структура и расположение резонаторов отвечают принципу зеркальной симметрии. В этом случае имеющееся разведение орбит не приводит к относительному сдвигу спиновых частот электронов и позитронов. Нарушение зеркальной симметрии накопителя ведет к отклонению формы Saw-tooth орбит от идеальной орбиты и к появлению систематической ошибки при сравнении спиновых частот, которые зависят от интеграла магнитного поля вдоль орбиты. В этой связи возникают высокие требования к системе измерения положения орбиты пучков.

На ВЭПП-4М был проведен эксперимент [34] по параллельному мониторингу орбит электронного и позитронного пучков. По разности их радиальных орбит измеряется Saw-tooth орбита. Разность орбит не зависит от ошибок задания геометрических «нулей» пикапов, а также нестабильности магнитных возмущений из-за колебаний температуры окружающей среды или тока в источниках питания, поэтому такой способ является наиболее точным. Возможность для проведения этого эксперимента появилась после запуска новой системы измерения поперечного положения пучка, включающей 54 пикап-станции, способных измерять положение для каждого сгустка на каждом обороте [35]. Эксперимент по наблюдению Saw-tooth орбиты был поставлен на сравнительно высокой энергии 4,1 ГэВ, чтобы увеличить соответствующую величину искажений, пропорциональную кубу энергии. Измерение велось в течение 5 часов на двух несменяемых циркулирующих парах сгустков электронов и позитронов (режим 2x2). В каждой одноименной паре сгустки разнесены на половину оборота. Разноименные сгустки в сопряженных парах встречались только

в основном месте встречи IP0 в детекторе KEDR. В паразитных местах встречи (IP1, IP2, IP3) осуществлялось электростатическое разведение орбит электронов и позитронов по вертикали. Разброс ежесекундных показаний был в пределах  $30 \div 40$  мкм, что при усреднении за 1 час давало ошибку в положении орбиты порядка 1 мкм.

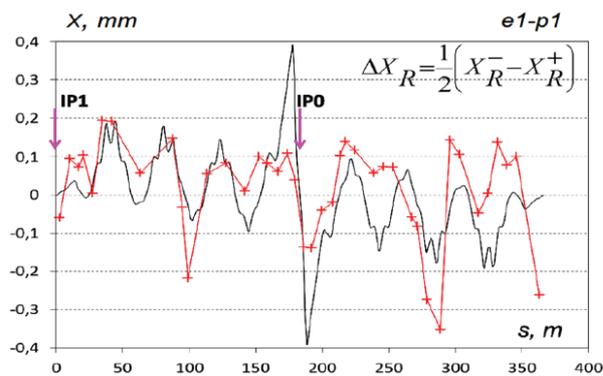


Рис. 5.2.13. Saw-tooth орбита — теоретическая (кривая без точек) и измеренная по разности  $\Delta X_R$  радиальных орбит электронов и позитронов в одной из сопряженных пар (e1-p1). IP0 — основное место встречи в детекторе KEDR, IP1 — место встречи в техническом промежутке.

Азимутальное распределение отклонений Saw-tooth орбиты, измеренное по разности орбит в одной из электрон-позитронных пар, показано на Рис. 5.2.13 в сравнении с теоретическим распределением. Это сравнение, а также сравнение по другим парам показывает, что наблюдаемые возмущения хорошо соответствуют расчетным данным по фазе колебаний. В то же время, несмотря на близость отклонений по величине в целом, имеются участки, где различие становится значительным. Например, это относится к области места встречи IP0. Основные причины: эхосигналы, генерируемые сгустками на неоднородностях вакуумной камеры; «хвост» сигнала от встречного сгустка на пикап станциях вблизи мест встречи — наводка возрастает в сигнале, генерируемом более поздним сгустком; особенность конструкции электродов в отдельных пикапах, делающая их чувствительными к знаку направления движения пучка. Для минимизации эффекта «хвостов» на участках с местами встречи необходимо провести подобный эксперимент в режиме 1x1 в двух дополняющих друг друга случаях: со встречей в IP0 и IP1 и со встречей в IP2 и IP3.

Интересно отметить, что в линзах финального фокуса орбиты электронов и позитронов из-за эффекта Saw-tooth отстоят друг от друга по радиусу на заметное расстояние. Например, на энергии 4,73 ГэВ, соответствующей Y(1S)-резонансу, оно в расчете достигает 1 мм, что эквивалентно углу пересечения встречных пучков  $2,23 \cdot 10^{-4}$  радиан и относительному сдвигу энергии в системе центра масс  $10^{-8}$ .

### 5.2.5. Система быстрой стабилизации пучка СИ на ВЭПП-3.

Для проведения экспериментов с синхротронным излучением требуется стабильность положения пучка СИ вдоль всей станции, что накладывает требования на стабильность орбиты пучка электронов в точках излучения как по координате, так и по углу. Среди нестабильностей, влияющих на положение пучка, следует выделить две группы процессов: во-первых, медленный уход орбиты пучка из-за тепловых изменений магнитной системы, в том числе и после цикла ускорения нового пучка, во-вторых, быстрые колебания пучка, возникающие из-за пульсаций источников питания магнитов накопителя и механических вибраций, также воздействующих на магниты.

Для компенсаций медленных уходов используется две независимых системы. Первая из них — автоматизированная система стабилизации орбиты по датчикам положения пучка. Система корректирует орбиту во всем кольце к заданной опорной орбите. После ускорения пучка до энергии эксперимента система запускается и выполняет несколько итераций коррекции, а затем, по достижению требуемой невязки, переходит в режим стабилизации, при котором измерения орбиты осуществляются с частотой 3 Гц, а коррекция происходит по мере необходимости и, как правило, выполняется раз в несколько минут. Для более прецизионной стабилизации пучка СИ используется система стабилизации, основанной на измерениях непосредственно пучка СИ [36]. Для этого используется отдельный канал СИ (№ 7), который расположен в экспериментальном зале станций СИ ВЭПП-3. Система позволяет стабилизировать излучение из поворотного магнита и трехполосного шифтера как вертикали, так и горизонтали. Коррекции осуществляются раз в 10 секунд. Детальное описание системы дано в Годовом отчете ИЯФ за 2017 год.

Для подавления быстрых колебаний положения пучка СИ на кольце накопителя ВЭПП-3 в зоне экспериментальных станций создана новая система стабилизации пучка СИ [37, 38], включающая детектор СИ и два безжелезных корректора седловидной формы, которые наложены непосредственно на вакуумную камеру накопителя. Расположение элементов системы показано на рис. 5.2.14.

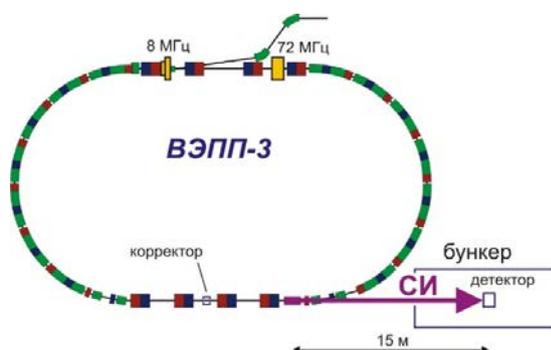


Рис.5.2.14. Расположение элементов системы подавления колебаний на кольце накопителя ВЭПП-3.

Корректоры возбуждаются током, поступающим от усилителя, управляемого от системы обратной связи, обрабатывающей сигнал с детектора. При токе в катушках корректора 1 А пучок СИ, излучаемый из вигглера, поворачивается на 30 мкрад при смещении точки излучения в противоположную сторону на 0,12 мкм. Из-за значительной базы (расстояние от источника до зоны экспериментальных станций около 15 м) смещение пучка на детекторе определяется почти исключительно углом отклонения и составляет при указанном токе 0,45 мм. Экранирующее действие металлической стенки камеры ограничивает сверху полосу рабочих частот корректора 1,3 кГц (по уровню 0,7). Блок-схема системы обратной связи приведена на рис. 5.2.15.

Пара pin-фотодиодов (1), регистрирующих рентгеновское излучение, установлена на вертикальном шаговом актуаторе (2), имеющем величину шага 0,2 мкм. Импульсы тока фотодиодов по коаксиальным кабелям (3) поступают на предусилители (4), к выходам которых подключены каналы обработки (5) и схема синхронизации (6).

В каждом канале обработки сигнал последовательно проходит через фильтр-формирователь, схему двойной коррелированной выборки (ДКВ) и устройство выборки-хранения (УВХ). Фильтр-формирователь ограничивает сверху шумовую полосу и расширяет импульсы, схема ДКВ выделяет их фактическую амплитуду и подавляет как низкочастотные помехи и шумы, так и дрейфы тока утечки фотодиода (в частности, обусловленные радиационными повреждениями), а схема УВХ формирует на выходе канала огибающую амплитуд импульсов.

Схема синхронизации, управляющая схемами ДКВ и УВХ, обеспечивает работу системы как в одногустковом (частота вспышек СИ 4 МГц), так и в двухгустковом (частота вспышек 8 МГц) режимах работы накопителя ВЭПП-3.

Сигналы А и В с выходов двух каналов обработки поступают на сумматор (7) и дифференциальный усилитель (8), и затем – на схему вычисления отношений (9). Поскольку разностной сигнал А-В при малых смещениях пучка пропорционален как величине смещения, так и интенсивности пучка, а суммарный А+В – только интенсивности, то величина сигнала на выходе схемы отношений  $(A-B)/(A+B)$  определяется величиной смещения и почти не зависит от интенсивности излучения. Как следствие, глубина обратной связи по положению пучка оказывается практически постоянной при изменении тока накопителя.

Разностной сигнал А-В также поступает на устройство управления шаговым двигателем актуатора (10), образуя петлю электромеханической обратной связи. Это обеспечивает автоматическую юстировку дифференциального детектора по центру пучка СИ. Для предотвращения частых подстроек введен допуск отклонения  $\pm 1,5$  мкм.

С выхода схемы вычисления отношений сигнал подается на пропорциональное, интегрирующее и дифференцирующее звенья — элементы ПИД-регулятора (11). Суммарный сигнал звеньев через усилитель мощности (12) возбуждает обмотки корректора (13).

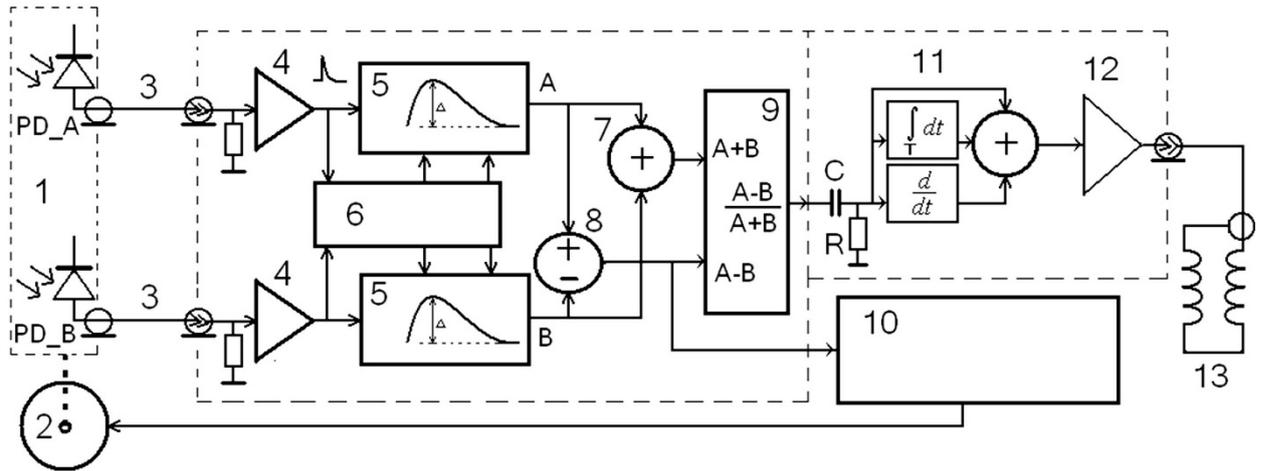


Рис.5.2.15. Блок-схема обратной связи для управления током корректора.

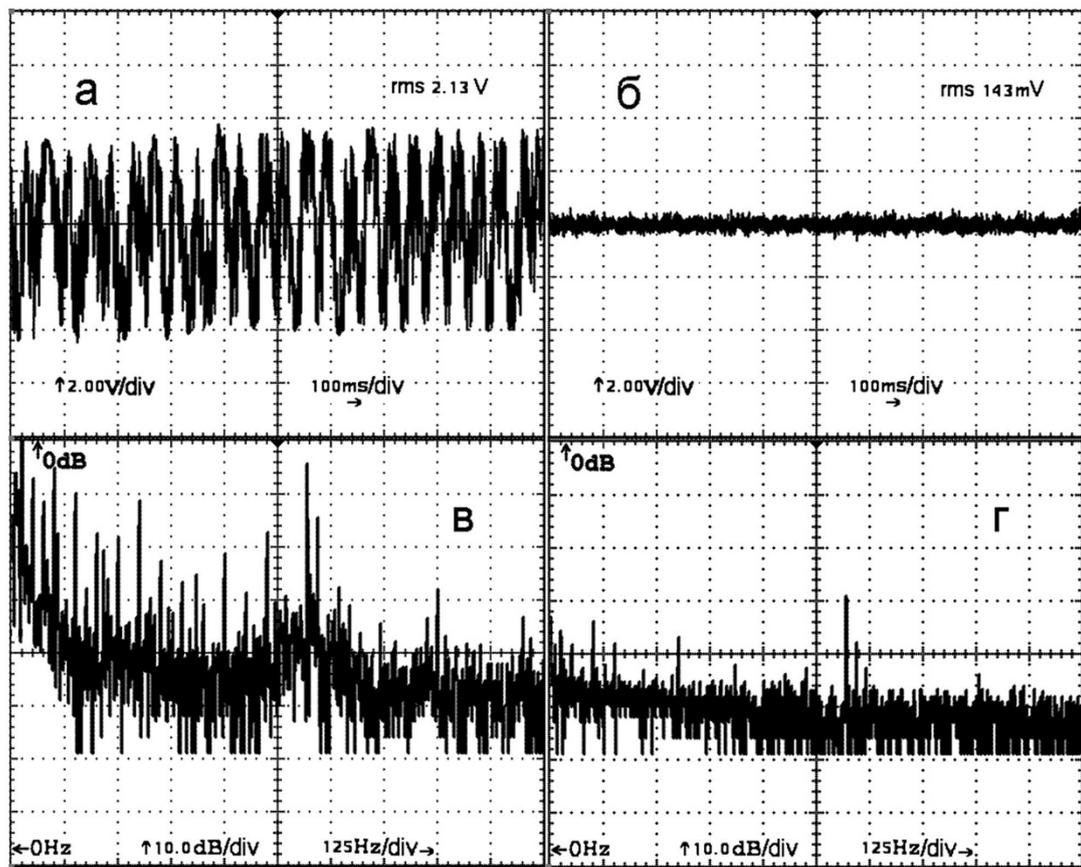


Рис.5.2.16. Осциллограммы сигналов, соответствующих вертикальному отклонению пучка СИ (а, б), и их спектры (в, г) при разомкнутой (а, в) и замкнутой (б, г) обратной связи.

Для исключения конфликта между основной медленной системой стабилизации пучков СИ и системой подавления колебаний, обусловленного возможностью увода статического положения пучка, перед ПИД-регулятором включена разделительная RC-цепь с постоянной времени 5 с, а интервал интегрирования в интегрирующем звене ограничен примерно 15 с. Благодаря ограничению рабочей полосы частот снизу среднее положение пучка полностью определяется основной системой. При работе системы для частоты 50 Гц было получено подавление 15 дБ (см. рис. 5.2.16).

Новая система стабилизации пучка СИ на накопителе ВЭПП-3 продемонстрировала эффективное подавление вертикальных колебаний положения пучка СИ путем коррекции орбиты электронов.

### 5.2.6. Модернизация ВЧ системы ВЭПП-4М.

В 2019 году вместо ламповых каскадов со второго по четвёртый (на Рисунке 5.2.17 выделены голубым цветом) был смонтирован новый полупроводниковый усилитель (ПУ) изготовленный ООО «НПП Триада ТВ», г. Новосибирск.

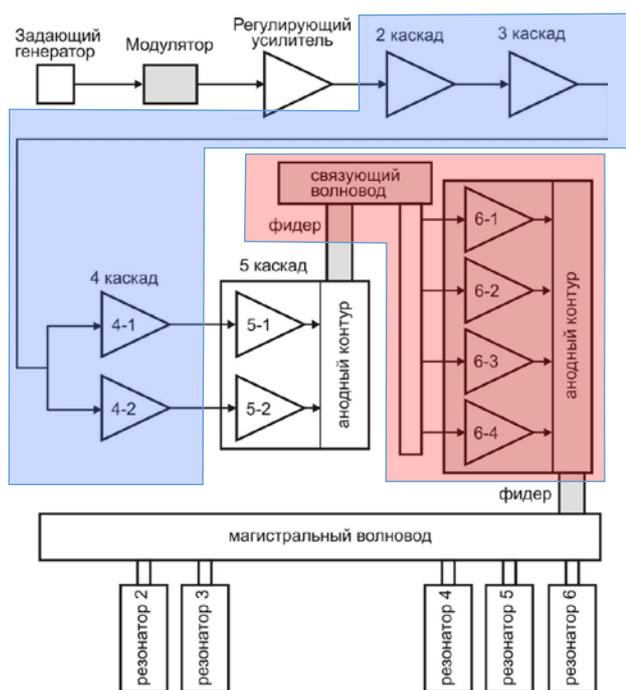


Рис. 5.2.17. Схема ВЧ-системы ВЭПП-4.

Полупроводниковый усилитель предназначен для замены физически и морально устаревших предвыходных каскадов усиления на лампах ГИ-50 и ГУ-92, изготовленных в конце прошлого века. Лампы имеют

ограниченный ресурс (гарантийный срок службы 3000 часов) и требуют периодической замены. Для работы ламп, кроме системы водяного охлаждения, требуется также воздушное охлаждение, специальные высоковольтные и низковольтные источники питания, элементы которых также выработали свой ресурс, что приводило к частому выходу их из строя и остановкам комплекса. Кроме того, применение высоковольтных источников требует специальных мер безопасности. Все это значительно усложняет и удорожает эксплуатацию ламповых усилителей.

Полупроводниковый усилитель служит источником сигнала для выходных каскадов и выполнен по схеме сложения мощностей усилительных модулей на LD-MOS транзисторах. Усилитель имеет автономную систему быстрых защит по амплитуде отраженной от нагрузки волны. Защита по отражению и температуре выходных транзисторов отключает входной ВЧ сигнал и имеет выходы на общую систему защит генератора и модулятор системы управления. Максимальная выходная мощность усилителя 2 x 12 кВт.

Нагрузкой усилителя является входная цепь мощного каскада усиления на генераторном тетраде, включенном по схеме с общей сеткой. Особенностью работы усилителя на ламповый каскад является возможность самовозбуждения этого каскада на произвольной частоте. В этом случае на выход транзисторного усилителя может попасть мощность, равная максимальной выходной мощности, произвольной частоты. Для защиты усилителя на его выходе установлен полосно-пропускающий фильтр, который способен выдерживать эту мощность в течение времени срабатывания защиты (~ 200 мс), что предотвращает выход из строя ПУ. Входное сопротивление тетрода в схеме с общей сеткой с ростом выходной мощности уменьшается от максимального до 50 Ом. КСВ нагрузки усилителя при максимальной мощности — не хуже 1,5. При уменьшении выходной мощности возможен рост КСВ в 2÷5 раза. Усилитель обеспечивает длительную (время, требуемое для настройки цепей согласования 1÷10 мин.) работу на пониженной мощности на расстроенную нагрузку (КСВ ≥ 10). Усилители размещены в стойке с габаритами 1000 x 1200 x 2200 мм (Ш x Г x В), обеспечивающей установку блоков стандарта 19", охлаждение осуществляется дистиллированной водой с расходом не менее 30 л/мин, подключенной к общему контуру. В этой же стойке размещаются источники питания усилителей и система их УБС. Питание усилителей осуществляется от трёхфазной сети 400 В, потребляемая мощность 2 x 24 кВА. В таблице 5.2.4 приведены параметры полупроводникового усилителя, на рисунке 5.2.18 показана блок-схема полупроводникового усилителя.

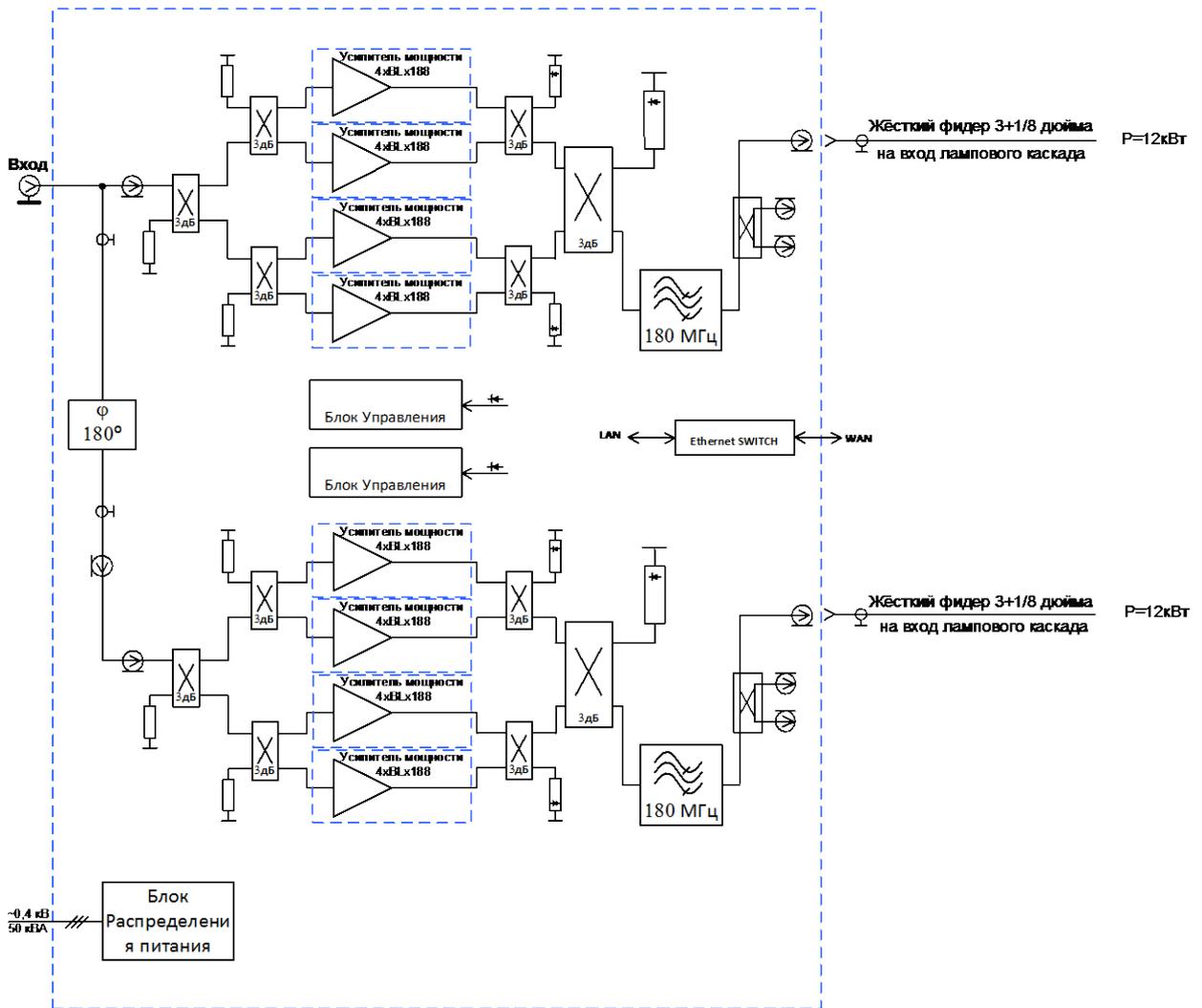


Рис. 5.2.18. Блок-схема предусилителя ВЧ системы ВЭПП-4М.

Таблица 5.2.4: Параметры полупроводникового усилителя ВЧ системы ВЭПП-4М.

Рабочая частота	180 МГц
Выходная мощность	12 кВт $\pm$ 10%
Режим работы	Непрерывный
Входное сопротивление,	50 Ом
Максимальный уровень входного сигнала	5 Вт
Выходное сопротивление	50 Ом
Допустимый КСВ нагрузки	2,0
Питание	380 В $\pm$ 10% 3-х фазная сеть
Габаритные размеры Ш x Г x В	1000 x 1200 x 2000 мм
Охлаждение	Водяное, дистиллятом

При настройке и приёмо-сдаточных испытаниях специалисты «НПП Триада ТВ», в соответствии с требованиями технического задания, обеспечили противофазный сигнал на нагрузках подключенных непосредственно к выходным фланцам. В процессе наладки усилителя в составе ВЧ системы комплекса ВЭПП-4М пришлось провести корректировку фазировки усилителей друг относительно друга. Это вызвано разницей длинны фидеров, возбуждающих выходные тетроды. Коррекция осуществлялась подбором длины коаксиальной вставки на входе одного из усилителей такой, при которой обеспечивается противофазность на входах тетродов. На рис. 5.2.19. показан внешний вид усилителя.



Рис. 5.2.19. Внешний вид полупроводникового усилителя.

### 5.2.7. Система измерения тока пучка ВЭПП-4М.

На коллайдере ВЭПП-4М проведена модернизация системы наблюдения за током пучка:

- в дополнение к старому датчику тока DCCT установлен бесконтактный параметрический датчик для измерения тока пучка NPCT-CF4"-1/2-60.4-120-UHV производства фирмы Bergoz Instrumentation ([www.bergoz.com](http://www.bergoz.com)),
- для измерения распределения тока по сгусткам установлен трансформаторный датчик FCT-CF6"-60.4-40-UHV-2.5 с полосой пропускания сигнала лучше 1 ГГц также производства Bergoz.

Оба датчика установлены рядом друг с другом в прямолинейном промежутке коллайдера около места впуска электронного пучка (см. рис. 5.2.20).

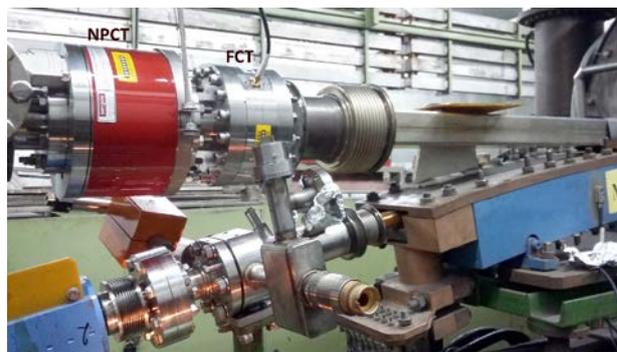


Рис.5.2.20. Новые датчики тока пучка, установленные на коллайдере ВЭПП-4М.

#### Измерение полного тока пучка.

Новый параметрический датчик тока NPCT-CF4"1/2-60.4-120-UHV предназначен для измерения тока пучков электронов и позитронов, циркулирующих в коллайдере ВЭПП-4М в диапазоне от 0,1 до 200 мА с точностью лучше 0,1%. Прибор поставлен вместе с двумя комплектами (один запасной) блоков измерения и питания, которые размещены в стойке вне тоннеля ускорителя на расстоянии 30 м от места установки датчика. Другие основные параметры прибора приведены ниже:

- полоса пропускания – 10 кГц,
- разрешение – лучше 5 мкА,
- нелинейность – менее 5%,
- температурный коэффициент – < 0,5 мкА/К,
- диапазон рабочей температуры – от –40 до 80°C.

Блок измерения выдает напряжение в диапазоне  $\pm 10$  В, пропорциональное измеряемому току пучка, которое оцифровывается прецизионным АЦП M21.4621-EXP производства фирмы Spectrum (<https://spectrum-instrumentation.com>) с интерфейсом PCIe, установленным в серверном компьютере производства фирмы Supermicro (<https://supermicro.com>). Внешний вид стойки с аппаратурой и серверным компьютером приведён на рис. 5.2.21.

Основные параметры АЦП приведены ниже:

- разрядность – 16 бит,
- частота сэмпирования – до 200 кс/с,
- число независимых каналов с усилением сигнала – 4,
- дифференциальный или однопроводной вход,
- память – до 1 Гб,
- 8 входных диапазонов – от  $\pm 50$  мВ до  $\pm 10$  В.

Использование данной системы с помощью большого числа усреднений позволяет организовать измерение интенсивности пучка с частотой не менее 10 Гц и абсолютной точностью не хуже 1 мкА, а также обеспечивает быстрое (доли секунды) измерение времени жизни практически для любой величины тока пучков, циркулирующих в кольце коллайдера.



Рис. 5.2.21. Радио-стойка с серверным компьютером, с электроникой для NPCT и быстрым АЦП для оцифровки сигнала с FCT.

### Измерение распределения тока пучка по сепаратрисам.

Для измерения распределения токов пучков электронов и позитронов по сгусткам применяется пассивный датчик FCT. В настоящее время для передачи сигнала с датчика на оцифровывающую аппаратуру используется обычный радиочастотный кабель РК-50-11. В перспективе для улучшения передачи сигнала предполагается заменить его на кабель типа LCF. Датчик FCT также применяется для контроля за правильностью расположения сгустков по периметру коллайдера. На рис. 5.2.22 приведен сигнал (желтый луч) от сгустка позитронов и сгустка электронов, встречающихся в центре прямолинейного промежутка и пролетающих в месте установки датчика с интервалом 45 нс.

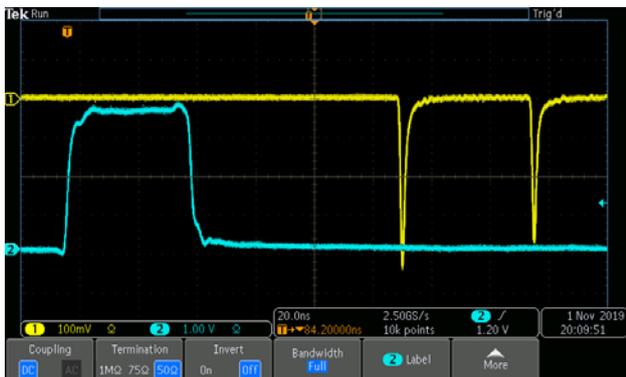


Рис. 5.2.22. Осциллограммы сигнала с датчика FCT (желтый луч) и опорного сигнала частоты обращения пучка в коллайдере (голубой луч).

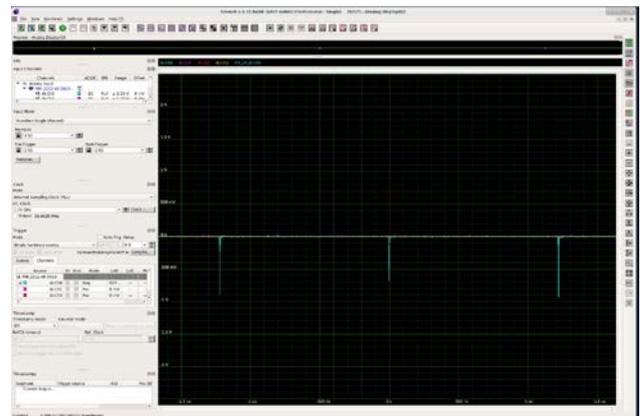
С помощью датчика FCT по отклику сигнала от тока пучка можно наблюдать нестабильность фазы напряжения ВЧ на резонаторах относительно опорно-

го сигнала ВЧ. На рис. 5.2.23 представлена осциллограмма, на которой видно, что нестабильность положения фазы достигает 300 пс, что в данном случае требует настройки управляющей электроники ВЧ-усилителей.



Рис. 5.2.23: Наблюдение нестабильности фазы напряжения ВЧ на ускоряющих резонаторах относительно опорного сигнала.

Для оцифровки сигнала с FCT применяется четырехканальный АЦП SPECTRUM NETBOX DN2.221-04, 8 бит, 1,25 Гвыб./сек (см. рис. 5.2.21). В комплекте к АЦП имеется стандартное программное обеспечение, с помощью которого можно провести тестирование и настройку параметров АЦП (см. рис. 5.2.24).



5.2.24. Интерфейс программы для управления АЦП SPECTRUM

Для измерений параметров пучков (распределение тока по сгусткам, контроль положения сгустков по периметру коллайдера) в настоящее время разрабатывается программное обеспечение в стандарте EPICS.

### 5.2.8. Список литературы.

[1] Ускорительный комплекс ВЭПП-4, препринт ИЯФ 2011-20, 2011.

[2] П. Пиминов и др., СТАТУС УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-4, Письма в ЭЧАЯ, том 17, выпуск 7, 2020.

- [3] Детектор КЕДР, препринт ИЯФ 2010-40, 2010.
- [4] P.A. Piminov et al, “Synchrotron radiation research and application at VEPP-4”, *Physics Procedia* 84 (2016) 19-26.
- [5] Г. Баранов и проч. «Эксперименты с синхротронным излучением на ВЭПП-4М», *Поверхность*, 2, с.34, 2020.
- [6] V.S. Bobrovnikov et al., “Extracted electron and gamma beams in BINP”, 2014 JINST 9 C08022.
- [7] D.M. Nikolenko, “Experiments with internal targets at the VEPP-3 electron storage ring”, *PHYSICS OF ATOMIC NUCLEI*, 73, 8, 2010, p. 1322-1338.
- [8] D. Shwartz et al, “BINP electron-positron facilities”, Published in EPJ Web Conf. 212 (2019) 01001, 2019.
- [9] Yu. Maltseva et al, “VEPP-5 Injection Complex: New Possibilities for BINP Electron-Positron Colliders”, DOI:10.18429/JACoW-IPAC2018-MOPMK011, IPAC-18, Vancouver, BC, Canada, 2018.
- [10] V.E. Blinov et al, “High precision energy calibration with resonant depolarization at the VEPP-4M collider”, *Nucl.Part.Phys.Proc.* 273-275 (2016) 210-218.
- [11] V.E. Blinov et al, “Laser Polarimeter at VEPP-4M”, JINST 12(2017)08020. ISSN 1748-0221. DOI:10.1088/1748-0221/12/08/C08020.
- [12] E. Leviceh, “High precision particle mass measurements using the KEDR detector at the VEPP-4M collider”, *Uspekhi Fizicheskikh Nauk* 184 (1) 75-88 (2014).
- [13] V.V. Anashin et al, “Measurement of R at KEDR”, *Nuclear and Particle Physics Proceedings*, Vol.260, 2015, Pages 85-86.
- [14] G. Karpov, “Pulsed nuclear magnetic resonance magnetometer”, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing* volume 51, p. 58-63, 2015.
- [15] G. Baranov et al, “Hybrid Magnet Wiggler for SR Research Program at VEPP-4M”, *Phys.Procedia* 84 (2016) 126-130.
- [16] G. Baranov et al, “Design and Magnetic Measurements of a Hybrid Wiggler for SR Research Program at VEPP-4”, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. — 2018. — Т. 28, № 3. — ISSN 10518223. — DOI: 10.1109/TASC.2018.2791921.
- [17] A.Yu. Barnyakov et al., “Tests of FARICH prototype with precise photon position detection”, *Nucl. Instr. and Meth.* A766 (2014) 88–91.
- [18] P. Piminov, “Project for a Super Charm–Tau Factory at BINP”, *Physics of Particles and Nuclei Letters* volume 15, p. 732-736, 2018.
- [19] L.I. Shekhtman et al., “Development of high resolution tracking detectors with Gas Electron Multipliers”, 2014 JINST 9 C08017.
- [20] L. Brianza et al., “Response of microchannel plates to single particles and to electromagnetic showers”, *Nucl. Instr. and Meth. A* 57858 (2015) 216-221.
- [21] С.А. Никитин, И.Б. Николаев, «Расчет интенсивности тушековских электронов в накопителе ВЭПП-4М» *ЖЭТФ*, т. 142, №1, стр. 44-45 (2012).
- [22] S.I. Eidelman et al, Tau lepton mass determination at KEDR. *Nucl.Phys.Proc.Suppl.* 218 (2011) 155-159.
- [23] S. Nikitin, BINP preprint 2015-1, Novosibirsk, 2015.
- [24] Ya.S. Derbenev et al., in proc. 10th Int’l Conference on High Energy Accelerators, Serpukhov (1977) pp. 76-80.
- [25] A. Barladyan et al., Crossing integer spin resonance with conservation of beam polarization, DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.22.112804, November 2019.
- [26] С.А. Никитин, И.Я. Протопопов. Препринт ИЯФ 99-44.
- [27] V.E. Blinov et al., *NIM A*598, 23 (2009).
- [28] M. Froissart and R. Stora, *NIM* 7, 297 (1960).
- [29] Ya. Derbenev and A.Kondratenko, *DAN SSSR* 217, 311 (1974).
- [30] Ya. Derbenev, A. Kondratenko and A. Skrinsky, *Part. Accel.* 9, 247 (1979).
- [31] S. Nakamura et al., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 411, 93 (1998).
- [32] Handbook of accelerator physics and engineering, edited by A.W. Chao and M. Tigner.
- [33] V. Blinov et al, “Study of the possibility of increasing the accuracy of CPT invariance test an electron-positron storage rings”, *ICFA BD Newsletter*, No. 48, 2009, pp. 207-217.
- [34] E. Belhtenev et al, “Observation of saw-tooth effect orbit at VEPP4-M collider”, IPAC-2018-FRXGBD4, 2018.
- [35] Е.А. Бехтеньев, Г.В. Карпов, П.А. Пиминов, “СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-4М”, *ПТЭ* 2017 № 5, с. 74-80.
- [36] M.G. Fedotov et al, Stabilization system of synchrotron radiation beams at the VEPP-3 storage ring, *Nucl.Instrum.Meth.A* 470 (2001) 94-100.
- [37] M.G. Fedotov et al, The system for monitoring of the fast vertical oscillations of VEPP-3 SR beam, *Physics Procedia*, vol. 84, 2016, pp. 221-226.
- [38] M.G. Fedotov et al, Feedback Suppression of the Fast Vertical Oscillations of VEPP-3 SR Beam, *Bull.Russ.Acad.Sci.Phys.* 83 (2019) 2, 116-120.

### 5.3. ЭЛЕКТРОННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

В 2019 году была продолжена работа над несколькими проектами, связанными с электронным охлаждением. Сам метод электронного охлаждения был предложен Г.И. Будкером и основан на передаче тепла от ионов электронам за счет кулоновских столкновений. Для этого, на некотором участке орбиты ионов в циклическом ускорителе, встраивается специальная система, где создается электронный пучок, который движется вместе с ионным пучком с той же скоростью. В итоге, можно сказать, что горячие ионы находятся внутри холодного газа электронов.

#### 5.3.1. Система электронного охлаждения для экспериментов по изучению рекомбинации на ускорительном комплексе HIRFL (Китай).

В 2018 году была произведена модернизация установки электронного охлаждения для ускорительного комплекса HIRFL (Китай). Как известно при

взаимодействии ионов и электронов, двигающихся с одинаковой средней скоростью на участке охлаждения кроме эффекта охлаждения могут наблюдаться процессы захвата электронов ионами. В результате процесса рекомбинации происходит изменение траектории движения иона, что позволяет его легко регистрировать. Новый источник высокого напряжения позволяет за время порядка 500 мкс перестраивать энергию электронного пучка, что дает возможность изучать сечение рекомбинации в зависимости от относительной скорости заряженных частиц. В результате совместной работы с китайскими коллегами данный высоковольтный источник был успешно установлен на действующем накопительном кольце CSRe и прошел первое успешное включение. В процессе пуско-наладочных работ было достигнуто напряжение 200 кВ и продемонстрирована успешная работа с электронным пучком на энергии 160 кВ. В процессе запуска было проверено большинство инженерных систем и подсистем данной установки.



Рис. 5.3.1: Фотография установки электронного охлаждения в Институте Современной Физики, г. Ланжоу.

#### 5.3.2. Высоковольтная система электронного охлаждения для коллайдера НИКА

Были продолжены работы по разработке высоковольтной системы электронного охлаждения (СЭО) для коллайдера NICA. NICA – ускорительный комплекс класса мегасайенс, который создается на базе ОИЯИ, г. Дубна. Основная цель экспериментов на новом коллайдере – изучение свойств плотной барионной материи, кварк-глюонной плазмы (состояния вещества, в котором пребывала наша Вселенная в первые мгновения после Большого взрыва). Кроме того, на базе комплекса планируется проведение исследований в области материаловедения, нано- и пикотехнологий, медицины, биологии, электроники и пр.

ИЯФ СО РАН в рамках сотрудничества уже изготовил и поставил в Дубну систему электронного охлаждения для бустера NICA с параметрами энергии до 50 киловольт. В комплексе NICA запланирована работа двух систем электронного охлаждения с разным уровнем энергии. Система электронного

охлаждения, разработанная и создаваемая в ИЯФ СО РАН, позволит улучшить качество пучка коллайдера NICA, повысит светимость установки, а значит и увеличит количество набранной в эксперименте статистики.

Высоковольтная система электронного охлаждения состоит из двух независимых охладителей на энергию электронного пучка до 2,5 МэВ с током до 1 А и предназначена для охлаждения непосредственно на энергии эксперимента. Два охладителя позволяют одновременно охлаждать оба ионных пучка в коллайдере.

Данная установка СЭО имеет классическую компоновку с продольным магнитным полем с двумя секциями для охлаждения встречных пучков с малым расстоянием между собой (32 см), что сильно осложнило техническое проектирование. СЭО реализует модульный принцип построения секции охлаждения, но с непрерывным магнитным полем, в которую закладывается настройка магнитного поля на основе метода с использованием датчиков положения

пучка. Это позволит контролировать качество магнитного поля в процессе работы установки.

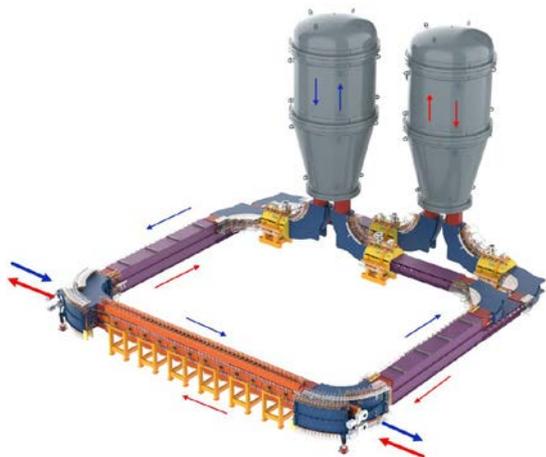


Рис. 5.3.2: Эскиз высоковольтной СЭО для коллайдера NICA.

### 5.3.3. Конференция COOL-2019.

Традиционная конференция COOL-2019 проходила в ИЯФ СО РАН с 23 по 27 сентября 2019 г. В конференции приняли участие 57 физиков из 7 стран мира (Россия, Китай, Германия, США, Швейцария, Япония и Англия). На девяти секциях конференции было сделано 28 устных и 19 стендовых докладов, которые охватили широкий круг вопросов, связанных с физикой охлаждения заряженных частиц на всех энергиях: от низких до релятивистских. Рабочее совещание, посвященное всем этим методам, проводится раз в два года и собирает экспертов из практически всех мировых ускорительных лабораторий. В работе COOL-2019 приняло участие 29 иностранных учёных и 28 российских учёных из ОИЯИ (г. Дубна) и ИЯФ (г. Новосибирск). Доклады были представлены в следующих секциях «Физика электронного охлаждения», «Физика стохастического охлаждения» и «Физика ионизационного охлаждения». «Физика ионизационного охлаждения».

## 5.4. ИНЖЕКЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ВЭПП-5

Инжекционный Комплекс ВЭПП-5 в ИЯФ СО РАН предназначен для получения, накопления и транспортировки высокоинтенсивных пучков электронов и позитронов в действующие в Институте электрон-позитронные коллайдеры ВЭПП-4М и ВЭПП-2000. Он состоит из источника электронов, электронного линейного ускорителя, узла конверсии, включающего в себя высокоэффективную магнитную систему сбора позитронов, позитронный линейный ускоритель, накопитель-охладитель (НО) и каналы транспортировки (К-500) частиц до потребителей – коллайдеров ИЯФ СО РАН.

Линейный ускоритель выполнен на базе ускоряющих структур S-диапазона и состоит из четырех модулей. Каждый модуль включает в себя клистрон 5045 производства SLAC, умножитель мощности типа SLED и 3 или 4 ускоряющих структуры. В линейном ускорителе всего 14 ускоряющих секций, представляющих из себя диафрагмированный волновод Рис. 5.4.1. Основные параметры линейного ускорителя приведены в Таблица 5.4.1.

Таблица 5.4.1. Основные параметры линейного ускорителя инжекционного комплекса.

Параметр	Значение
Максимальная энергия пучка	280, 500 МэВ
Частота	2855.5 МГц
Максимальное количество электронов в пучке	$10^{11}$
Максимальное количество позитронов в пучке	$6.3 \cdot 10^9$
Энергетический разброс, позитроны/электроны	3%, 1%
Максимальная частота повторения	50 Гц

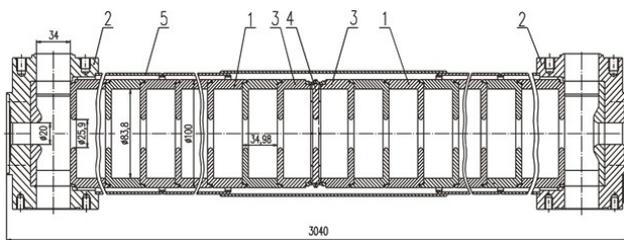


Рис. 5.4.1. Ускоряющая структура. 1 – регулярная ячейка, 2 – трансформатор типа волны, 3 – входная ячейка, 4 – входная диафрагма, 5 – охлаждение.

Для получения позитронов ускоренный до 270 МэВ электронный пучок фокусируется на танталовой мишени конверсионной системы (Таблица 5.4.2). Вторичные частицы проходят через концентратор магнитного потока, с пиковым «осевым» магнитным полем в 10 Тл. Однако, текущее значение используемого магнитного поля – 7,3 Тл, ввиду того, что дальнейшее увеличение поля незначительно

повысит коэффициент конверсии, но сильно уменьшит время жизни устройства (Рис. 5.4.2).

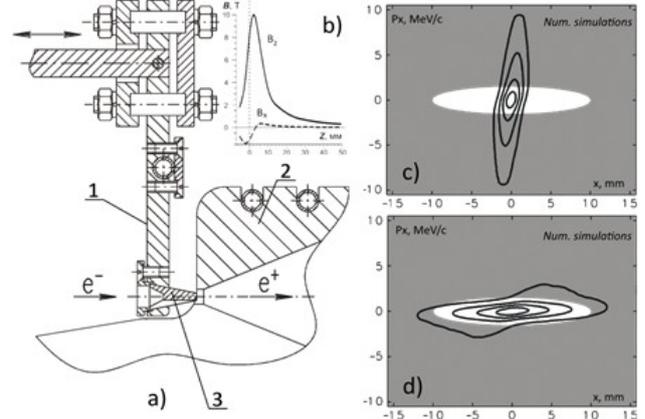


Рис. 5.4.2. Конверсионная система ВЭПП-5.

а) 1 – держатель мишени, 2 – магнит-концентратор, б) магнитные измерения, в) позитронный пучок в фазовом пространстве после мишени, д) позитронный пучок в фазовом пространстве после магнит-концентратора.

Таблица 5.4.2. Параметры конверсионной системы инжекционного комплекса.

Параметр	Значение
Максимальное магнитное поле	10 Тл
Ток на поверхности конуса	120 кА
Максимальное напряжение	1.2 кВ
Импульсная энергия	90 Дж
Длительность импульса	26 мкс
Частота повторения	50 Гц
Максимальная средняя мощность	4 кВ

Накопитель-охладитель спроектирован так, чтобы захватывать пучок из линейного ускорителя S-типа с среднеквадратичной длиной пучка около 4 мм. На данный момент накопитель работает с резонатором 1 гармоника (10,94 МГц) запитанным от 20 кВ полупроводникового усилителя. Для инъекции и выпуска пучка используется однооборотная схема с предударом, итого по 2 пары инфлекторов на каждый сорт частиц. Ключевые параметры накопителя-охладителя приведены в Таблица 5.4.3.

Таблица 5.4.3. Ключевые параметры накопителя-охладителя инжекционного комплекса.

Параметр	Значение
Максимальная энергия	510 МэВ
Периметр	27,4011 м
Частота резонатора	1,94 МГц (1-я гармоника)
Времена радиационного затухания (x, z, s)	42; 37,7; 18 мс
Среднеквадратичная длина пучка	21 см (при токе 30 мА)
Горизонтальный эмиттанс	10 мрад*см
Вертикальный эмиттанс	4 мрад*см

Комплекс позволяет получать и накапливать пучки с энергией до 510 МэВ с интенсивностями до  $10^{11}$

частиц в пучке. Инжекционный Комплекс обладает уникальными свойствами и не имеет аналогов в России.

#### *5.4.1. Изготовление и монтаж новых компонентов магнитной структуры линейного ускорителя электронов и позитронов.*

В исходном варианте магнитной системы линейных ускорителей первые ускоряющие структуры электронного и позитронного линейных ускорителей размещались внутри соленоидов. После соленоидов сразу осуществлялся переход на фокусировку при помощи FODO-структуры с расстоянием между центрами квадрупольных линз 1,7 м, которые располагаются поверх ускоряющих структур. На выходе из первой ускоряющей структуры позитронного линейного ускорителя позитронный пучок имеет энергетический разброс около +3%, большие размер и угловой разброс, занимая всю доступную для движения частиц апертуру. Поэтому согласование с дальнейшей магнитной структурой и достаточный ее акцептанс могут значительно влиять на эффективность сбора позитронов. Для исследования возможностей по улучшению захвата позитронов было проведено численное моделирование в программе ELEGANT, которое показало, что добавление квадрупольной линзы в промежуток между 6 и 7 ускоряющими структурами может улучшить сбор позитронов в 1,5 раза. Кроме того, на линейных ускорителях инжекционного комплекса используются еще 5 квадрупольных магнитов не имеющих средств позиционирования и избыточных по апертуре.

Для решения описанных выше проблем был спроектирован квадрупольный магнит с апертурой 32 мм, максимальным рабочим градиентом магнитного поля 900 Гс/см и длиной полюса 80 мм. Было изготовлено 7 таких магнитов, один из которых к настоящему времени размещен в промежутке между 6 и 7 ускоряющими структурами. После этого была проведена настройка линейного ускорителя позитронов, по итогам которой сбор позитронов улучшился только в 1,1 раза. Однако б-я ускоряющая структура находится в соленоиде, который имеет значительное искажение поля на выходе и приводит к наличию дипольной компоненты поля на траектории пучка. Для исправления дипольного удара были изготовлены и размещены в начале 7й ускоряющей

структуры два дипольных корректора. Разместить их ближе к месту компенсируемого воздействия на пучок не представляется возможным так как всё возможное место занято другими устройствами. После чего совместная настройка дипольной коррекции и фокусирующих магнитов позволила получить ожидаемое улучшение сбора позитронов примерно в 1,5 раза.

#### *5.4.2. Проектирование и изготовление требуемых компонентов накопителя-охладителя, источников питания, систем управления.*

##### **Замена источников питания магнитной системы инжекционного комплекса ВЭПП-5**

Переход от тиристорных источников к источникам с высокочастотным преобразованием позволил радикально уменьшить размеры, вес, стоимость, повысить КПД источников постоянного тока. В первую очередь это касается низковольтных сильноточных источников, используемых обычно в магнитных системах ускорителей и накопителей заряженных частиц [1-3].

Была проведена частичная замена устаревших источников питания магнитной системы типов В-300, В-1000, В-2000 на современные источники типа ВЧ-500, ВЧ-1000, ВЧ-1300 изготовленные в ИЯФ СО РАН (Рис.5.4.3.). Источники питания данных типов исполнены в виде 4U блоков для стойки/шкафа с шириной 19 дюймов и имеют массу около 60 кг, что позволяет в случае выхода из строя проводить оперативную замену всего устройства. В результате существенно упрощается обслуживание источников питания и сокращается время простоя в случае выхода источника питания из строя. Источники новых типов допускают скорость изменения тока до 200 А/с, что примерно в двое больше чем у их предшественников. Это в ряде случаев это существенно ускоряет перестройку состояния ускорителя, уменьшая время ожидания выполнения операций.

- Заменяли 9 источников В-300 на ВЧ-500.
- 8 источников В-1000 на ВЧ-1000.
- Источник В-2000 на два последовательно соединенных источника ВЧ-1300.

Их основные характеристики приведены в Таблица 5.4.4.



Рис.5.4.3. Стойка замененных источников ВЧ-500 и ВЧ-1000 (слева) и ВЧ-1300 и ВЧ-1000 (справа).

Таблица 5.4.4. Характеристики новых источников питания магнитных элементов.

Параметр источника	ВЧ-500	ВЧ-1000	ВЧ-1300
Номинальная выходная мощность	10 кВт	15 кВт	15.6 кВт
Номинальный выходной ток	500 А	1 кА	1.3 кА
Номинальное выходное напряжение	20 В	15 В	12 В
Нестабильность тока (за 8 часов непрерывной работы)	0,02%	0,01%	0,01%
Пульсации выходного напряжения	Не более 10 мВ	Не более 10 мВ	Не более 10 мВ

### 5.4.3. Развитие инфраструктуры системы управления.

Ранее для управления инжекционным комплексом была развернута инфраструктура, которая включает в себя следующие компоненты: выделенную технологическую сеть Ethernet с разделением сегментов (VLAN) компьютеров, устройств системы управления, устройств управления оборудованием инфраструктуры; набор технологических сетей CAN для управления оборудованием; отказоустойчивый кластер, локальные терминалы системы управления в помещениях различных помещений ускорительного комплекса (Рис. 5.4.4) [4].

Все компьютеры инжекционного комплекса работают под управлением ОС Linux различных модификаций. В системе управления ИК применяется принцип цифровой пультной, т.е. для управления оборудованием ускорителя задействованы виртуальные сервера, а пультные компьютеры служат для отображения информации и получения команд оператора. В целях резервирования и для большего удобства используются 3 пультных рабочих станции и виртуальный сервер с идентичным программным обеспечением. Для облегчения администрирования на этих компьютерах используется сетевая загрузка и доступ к хранимым данным при помощи NFS. При этом основа ОС общая, а необходимые данные для каждой машины индивидуальны. Раньше совмещение файловых систем производилось на сервере-

хранилище при помощи OverlayFS, однако в этой файловой системе для внесения изменений в базовый

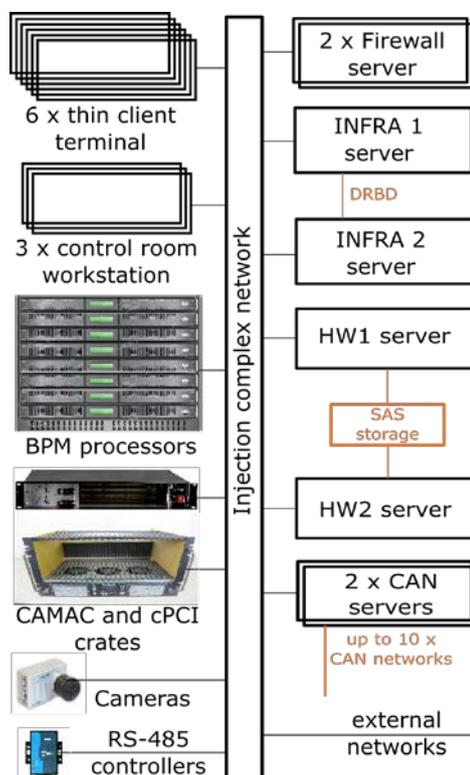


Рис. 5.4.4. Состав оборудования системы управления инжекционного комплекса.

слой требовалась остановка в обслуживании на время изменений, что существенно усложняло выполнение административных задач. Для устранения этой проблемы файловые системы этих машин были переработаны для разделения по точкам монтирования и в настоящий момент используется схема «read-only root» со сборкой данных на клиенте. Некоторые ускорительные устройства, например, станции датчиков положения пучка накопителя-охладителя и фотокамеры могут передавать большие пиковые потоки, суммарно больше 1 Гбит/с. Отображение всех этих данных на пультовых рабочих станциях обычно не требуется, но имея в виду такую возможность, в системе управления ИК были разделены сети для устройств хранения и для передачи данных общего назначения.

Около 150 различных устройств на ускорителе управляются при помощи CAN. Для этого выделены два сервера, в которые установлено по 5 адаптеров с двумя интерфейсами в каждом, в которые одинаково заведены все сети. Таким образом, сетевые интерфейсы или адаптеры могут быть переданы виртуальной машине, которая может быть запущена на любом из серверов. Так как живая миграция виртуальной машины с оборудованием невозможна, такая схема позволяет восстановить работоспособность в течении 1-2 минут в случае отказа сервера, который в настоящий момент задействован в управлении. Ранее, данная пара серверов была построена с использованием материнских плат Supermicro X11SAE-F и процессоров Intel Xeon E3-1245 v5 которые имеют ограничения в аппаратной виртуализации, не позволяющие передавать все CAN-адаптеры виртуальной машине с полной виртуализацией. Тогда для работы с CAN-устройствами был задействован LXC-контейнер, которому передавались не адаптеры, а предоставляемые ими CAN-интерфейсы. Однако для работы такой схемы потребовалось устанавливать и поддерживать драйвера для CAN-адаптеров в ядро и доработать программы инициализации интерфейсов хост-системы. Поэтому, к настоящему времени данная пара серверов была переделана с использованием материнской платы Supermicro X10SRL-F и процессора Intel Xeon E5-1620 v4, которые обладают необходимыми технологиями аппаратной виртуализации и для работы с CAN-устройствами используется виртуальная машина с полной виртуализацией.

#### 5.4.4. Развитие ПО системы управления.

К настоящему времени практически всё ПО инжекционного комплекса построено на Фреймворке CXv4 [[5], однако потребители пучка используют EPICS [[6], TANGO [[7] и VCAS [[8]. Архитектура CXv4 позволяет добавлять в него клиентские и серверные модули связи с различными протоколами для интеграции с другими Фреймворками систем управления. Были реализованы клиентские модули для всех Фреймворков, используемых у потребителей

пучка, благодаря чему у программ прикладного уровня CXv4 появилась возможность прямого доступа к данным других систем управления. К настоящему моменту, данный механизм связи задействован в программной автоматике инжекционного комплекса для автоматических переключений между частицами и потребителями. Кроме того, прямая поддержка EPICS была исключена из менеджера состояний (режимов) инжекционного комплекса, и теперь данные сторонних систем управления получают средствами CXv4. Программы, отображающие данные о работе потребителей пучка, еще используют средства доступа к данным от различных Фреймворков систем управления, и, возможно, будут переработаны позднее.

Для упрощения разработки прикладных программ в CX была добавлена возможность предоставления мета-данных, постоянно улучшаются клиентские библиотеки для C/C++, Python и были разработаны виджеты для графического программирования при помощи Qt designer.

На инжекционном комплексе используется централизованное управление состоянием ускорителя, для чего была реализована служба, которая постоянно собирает данные о состоянии ускорителя и обеспечивает сохранение состояний в базу данных (БД) и загрузку состояний для любого набора логических подсистем ускорителя по командам. На основе этой службы построено и автоматическое программное обеспечение инжекционного комплекса. Для хранения данных используется СУБД PostgreSQL, где в одной БД хранится общая конфигурационная информация и в другой данные менеджера режимов. Данные менеджера режимов содержат необходимую часть конфигурации со всей историей изменений и позволяют ему работать независимо от текущей конфигурационной информации. В ранних версиях данные о состоянии машины хранились в отдельной таблице с партиционированием, по одной записи на каждый канал. Такой вариант хранения удобен с точки зрения простоты запросов на выборку режима или его части, однако служебных данных СУБД будет значительно больше чем полезных данных. Из-за этого снизится и скорость выполнения запросов. Для случая выборки полного режима инжекционного комплекса (около 6000 каналов) на имеющемся оборудовании время выполнения запроса составляло около 0,4 с. Для обеспечения работы автоматике такое время неприемлемо велико, поэтому служба менеджера режимов хранит необходимые ей режимы в памяти в виде хэш-таблиц и делает выборку по ним, время которой обычно меньше 1 мс. Однако в случае необходимости обновления режимов автоматике или загрузки данных оператором могут возникать задержки в работе. Для решения этих проблем в postgresql всегда были предусмотрены такие варианты, как: хранение бинарного или текстового блока с данными, хранение массивов и т.д. Во всех этих вариантах имелись разные недостатки: усложнение запроса части данных, фиксация типов данных на этапе создания таблиц. Начиная с версии 9.4 в postgresql появились типы данных представляющие JSON/JSONB документы, при хранении полного

состояния машины в которых служебных данных СУБД будет много меньше чем полезных, при этом доступно индексирование внутренней структуры документа и запросы данных изнутри документа. Поэтому было решено перевести данные режимов в вид JSONB документов, что позволило примерно в 3 раза уменьшить количество занимаемого дискового пространства (с учетом индексирования внутренней структуры документов) и время загрузки полного состояния машины сократилось до 80 мс. Время выполнения некоторых запросов, например, выборки значения одного канала из всех режимов при таком изменении структуры БД значительно возросло. Однако это не типичные запросы к БД, которые применяются только при ручном расследовании изменений в режимах ускорителя.

#### 5.4.5. Замена электроники станции датчиков положения пучка накопителя-охладителя.

Для разработки инструментов программного контроля и управления параметрами пучка и его орбиты необходимо иметь датчики положения пучка (ДПП), дающие возможность получить широкий набор данных, характеризующих состояние ускорителя. Его неотъемлемой частью является пикап-станция, от электроники которой зависит точность исходных данных и спектр возможностей датчика.

Параметры новых пикап-станций, установленных на накопителе-охладителе представлены в Таблица 5.4.5.

Таблица 5.4.5. Основные параметры пикап-станции.

Параметр	Величина
Диапазон измеряемых токов пучка	0,5 – 200 мА
Температурная зависимость измерений	Менее 2 мкм/°С
Разрешение по оборотным измерениям При токах пучка 20-100 мА При токе пучка 5 мА При токе пучка 1 мА	Лучше 4-5 мкм ~ 20 мкм ~ 100 мкм
Разрешение при времени измерения 100 мс При токах пучка 20-200 мА При токах 1 – 200 мА	Менее 15 мкм Менее 50 мкм
Емкость буфера для измерений	128 тысяч оборотов
Регулировка усиления каналов	28 Б

#### 5.4.6. Разработка инструментов программного контроля и управления параметрами пучка и его орбиты.

На базе новых станций датчиков положения пучка (пикап-станций) проводится разработка программного обеспечения (ПО) по управлению и контролю параметров пучка и его орбиты. Сбор и обработка данных реализованы на языке программирования Python 3, с последующим отображением и возможностью хранения данных. Такое ПО позволяет проводить широкий спектр работ по калибровке и

настройке ускорителя, повышать его эффективность и стабильность работы.

ПО включает в себя следующие компоненты:

1. Обработка данных, полученных с драйвера станций датчиков положения пучка (пикап-станций).
2. Отображение орбиты пучка в накопителе, рабочей точки и координат пучка и тока в зависимости от оборота.
3. Пакет, предоставляющий необходимый функционал для снятия матриц отклика и работы с ними.
4. Так называемые «Ручонки» - программа, позволяющая объединять воедино несколько магнитных элементов системы управления.
5. На стадии разработки – программа для контроля параметров орбиты пучка и их автоматической корректировки.

#### Сбор и обработка данных с датчиков положения пучка.

На кольце накопителя-охладителя установлено 16 4-х канальных датчиков положения пучка (ДПП, пикапов) и один полосковый датчик. Сигналы с пластин пикапов поступают на входы пикап-станции, где проходит оцифровка значения напряжения, формирование пакетов данных и их отправка драйверу. Драйвер производит предобработку полученных значений для их последующего использования.

В дальнейшую обработку сигналов входит вычисление средних координат положения пучка по установленному количеству оборотов, их средне-кватичных отклонений, формирование орбиты (объединение измерений с 16 датчиков в один массив значений - орбиту), Фурье-анализ по оборотным измерениям для расчета рабочей точки накопителя.

Кроме того, в функционал этого программного блока обработки также входит отправка обработанных данных другим сервисам, обработка и выполнение их запросов, отслеживание ошибок функционирования программного обеспечения. Именно этот блок является основным, так как формирует данные в том виде, которые необходимы остальным приложениям для их работы.

#### Отображение орбиты и рабочей точки накопителя-охладителя.

Коэффициент перепуска пучков частиц из накопителя-охладителя потребителям напрямую завязан на качестве настройки канала К-500, кольца и их согласовании. Если кольцо и канал были настроены и согласованы для какого-либо режима работы, но с течением времени параметры орбиты в накопителе изменились, то естественным образом это приведет к ухудшению коэффициента перепуска. Изменение параметров орбиты приводит к тому, что в точке выпуска изменяется координаты и углы пучка, вследствие чего возникают дополнительные потери во время прохождения канала (так как пучок будет задевать стенки вакуумной камеры) и потери при инжекции в бустер коллайдера (при изменении угла и координаты пучка на входе в К-500 эти параметры также будут отличны от изначальных и в конце канала).

Для того, чтобы оператору было удобнее следить за корректировкой орбиты и ее стабильность в приложении предусмотрено не только отображение

текущей орбиты пучка, но и некоторой сохраненной. Таким образом, можно увидеть не только влияние изменение силы тока магнитных элементов на орбиту, но и уход орбиты от изначальной при прошествии длительного промежутка времени или изменении режимов инжекционного комплекса. Для удобства оператора кроме самой орбиты отображается также апертура вакуумной камеры накопителя и схема его

магнитной системы. Помимо отрисовки орбиты также выводятся и численные значения положения пучка в местах расположения пикапа. Кроме того, присутствует возможность исключить из расчета и отрисовки неисправные пикапы.

Пользовательское окно программы приведено на Рис. 5.4.5.А.

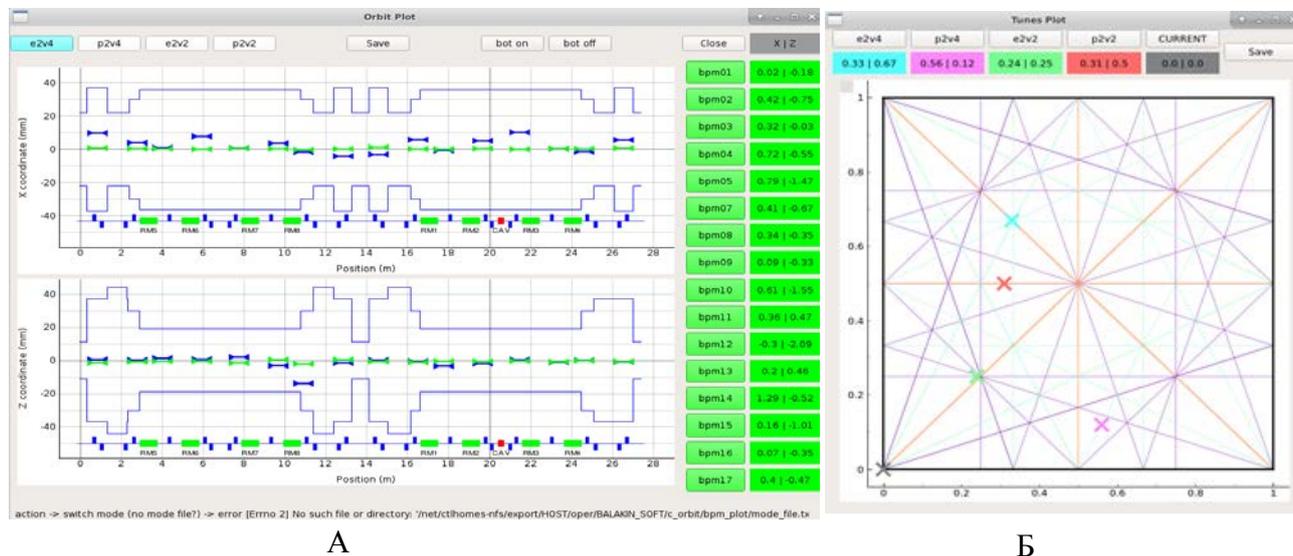


Рис. 5.4.5. А) Отображение орбиты накопителя-охладителя. Зеленым отображается последняя измеренная координата пучка на пикапе, синим – некоторая сохраненная, красным – неактивные датчики, на которых не происходит измерение координаты. Б) Отображение рабочей точки накопителя-охладителя и сетки резонансов.

Аналогичным образом устроено приложение для отслеживания рабочей точки кольца, которая является ключевым параметром, характеризующим состояние магнитной (фокусирующей) системы накопителя. Ее произвольное изменение неприемлемо, ведь тогда нарушается согласование кольца, впуска и выпуска, что уменьшает и темпы накопления частиц, и коэффициент перепуска пучков. Резонансная сетка с изображением рабочих точек в разных режимах работы накопителя и текущей представлена на Рис. 5.4.5.Б.

#### Снятие матриц отклика.

Для изучения влияния параметров ускорителя на такие ключевые параметры инжекционного комплекса как темпы накопления и коэффициент перепуска необходимо иметь откалиброванную модель, которая описывает текущее состояние накопителя-охладителя и может предсказывать к чему могут привести те или иные изменения в магнитной системе. Для проведения калибровок необходимо снимать с кольца так называемую матрицу отклика, которая содержит в себе информацию об изменении положении координат пучка в месте расположения пикапов в зависимости от изменения тока элементов магнитной системы. В дальнейшем, выполняя SVD разложение данной матрицы возможно проводить не только корректировку модели и орбиты пучка в кольце, а

также создавать программы, которые могут автоматически следить за параметрами и корректировать их.

Для удобства и ускорения снятия матрицы отклика было разработано приложение (Рис.5.4.6), которое отображает в виде дерева магнитную систему накопителя-охладителя, позволяет проводить выбор необходимых элементов, настраивать параметры снятия отклика, сохранять и загружать их и непосредственно выполняет процедуру снятия матрицы, сохраняя получившийся результат. Во время снятия отклика приложение предоставляет информацию о том, какие элементы сейчас используются, проверяет корректность их работы, выполняет последовательную запись происходящих событий.

#### Объединение элементов магнитной системы инжекционного комплекса.

Имея на руках откалиброванную и актуальную модель накопителя-охладителя становится удобным объединять несколько элементов магнитной системы в один, задавая персональный шаг каждому элементу из группы. Такой группой можно создавать заранее просчитанные локальные искажения орбиты, изменения рабочей точки и многое другое. Внешний вид приложения, предоставляющий такой функционал показан на Рис. 5.4.7. Приложение позволяет создать набор элементов, указать каждому шаг по току, имя и описание "ручки". При нажатии кнопки вправо или

влево в магнитных элементах будет выполнено изменение тока на указанное в настройках значение.

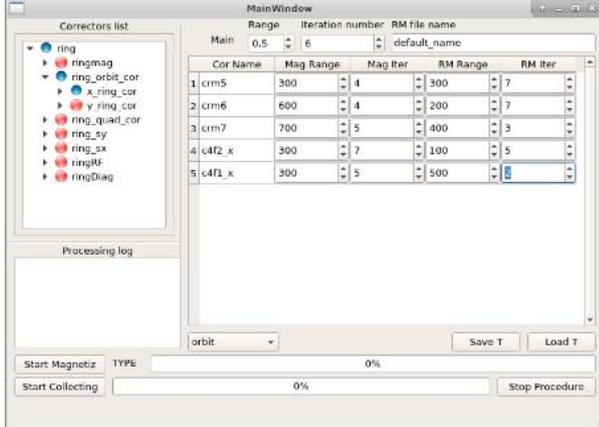


Рис. 5.4.6. Окно приложения для снятия матрицы отклика.

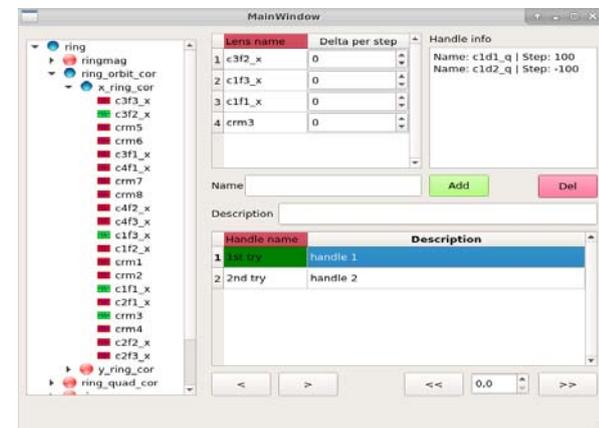


Рис.5.4.7. Отображение пооборотных измерений параметров пучка на выбранном пользователем датчике.

Также возможно выполнить шаг с указанным множителем, тогда значение токов будет отсканировано на выбранное пользователем значение. Настройки всех созданных ручонков хранятся локально в виде файла (и в базе данных комплекса).

### 5.4.6. Разработка предложений по модернизации ВЧ системы накопителя-охлаждителя.

Важным аспектом работы инжекционного комплекса, как источника пучков для коллайдеров, является процесс частиц пучка из линейного ускорителя в кольцо накопителя-охлаждителя. После 700 МГц резонатора 64-й гармоники на 11 МГц первой гармоники оставался открытым вопрос группировки многосгусткового пучка из ЛУ в кольце.

Чтобы исследовать процесс захвата сгустков в ВЧ-систему накопителя был проведен ряд измерений продольного профиля пучка на впуске стрик-камерой. Помимо этого, было проведено моделирование процесса захвата, что помогло выяснить модель импеданса связи НО и процессы, проявляющиеся при инжекции пучка.

Инжектируемый из линейного ускорителя пучок содержит внутри себя 16 сгустков, сформировавшихся во время ускорения. Попадая в потенциальную яму, образованную ускоряющим ВЧ-резонатором, работающем на первой гармонике частоты обращения, пучок начинает перегруппировываться, образуя один сгусток. Как показал эксперимент, характерное время перегруппировки составляет около 270 микросекунд (~ 3000 оборотов), что значительно меньше времени радиационного затухания пучка, равного 18 миллисекундам.

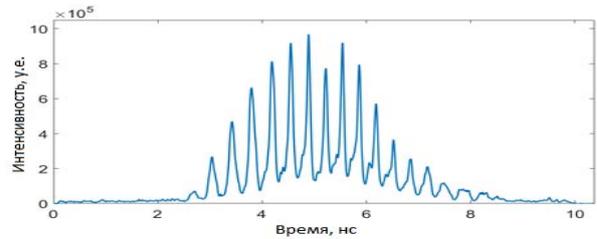


Рис.5.4.8. Продольный профиль пучка, полученный на выходе линейного ускорителя.

Для изучения эффекта влияния импеданса связи на продольную перегруппировку пучка в течении первых тысяч оборотов после инжекции было выполнено моделирование данного процесса. Программный код был реализован на языке программирования Python 3. Продольный импеданс задается как эквивалентный параллельный LRC резонатор [[9]:

$$Z = \frac{R_s}{1 + iQ \left( \frac{\omega_R}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_R} \right)}, \quad (1)$$

с соответствующей ему wake-функцией:

$$W(\varepsilon) = \begin{cases} 2\alpha R_s e^{\alpha\varepsilon/c} \left( \cos \frac{\omega_p \varepsilon}{c} + \frac{\alpha}{\omega_p} \sin \frac{\omega_p \varepsilon}{c} \right), & \varepsilon < 0 \\ \alpha R_s, & \varepsilon = 0 \\ 0, & \varepsilon > 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\alpha = \frac{\omega_R}{2Q}$ ,  $\omega_p = \sqrt{\omega_R^2 - \alpha^2}$ ,  $\varepsilon = z - ct$ .

Для оценки импеданса проводилась минимизация целевой функции  $\varphi$ , задаваемой как:

$$\varphi = \sum^N (I_{model}(N, R_s, Q, \omega_r) - I_{mes}(N))^2, \quad (3)$$

где  $I_{model}(N, R_s, Q, \omega_r)$  – смоделированное распределение тока пучка, зависящее от номера оборота и параметров эквивалентного импеданса связи,  $I_{mes}(N)$  – измеренный стрик-камерой продольный профиль пучка на  $N$ -том обороте. Составив такую модельную функцию

$$\varphi = \sum^N (I_{model}(N, R_s, Q, \omega_r) - I_{mes}(N))^2,$$

(3) и найдя ее минимум, можно оценить эквивалентные параметры LRC резонатора.

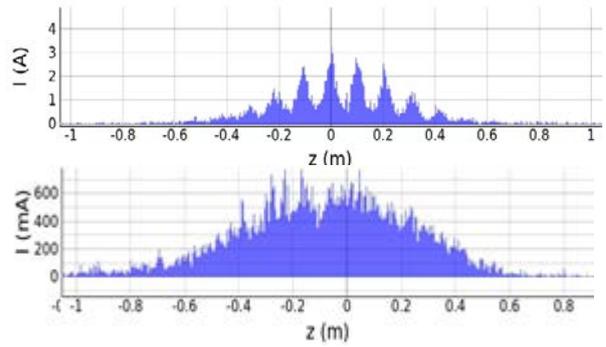
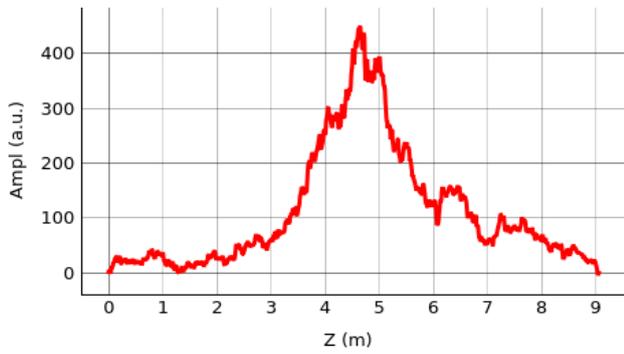


Рис.5.4.9. Продольный профиль через 3200 оборотов. Слева – снятый стрик-камерой, справа – результаты моделирования (сверху без учета импеданса связи, снизу – с учетом).

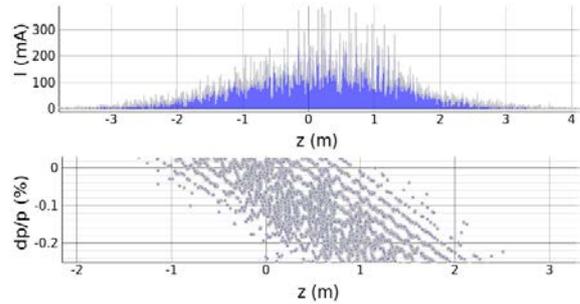
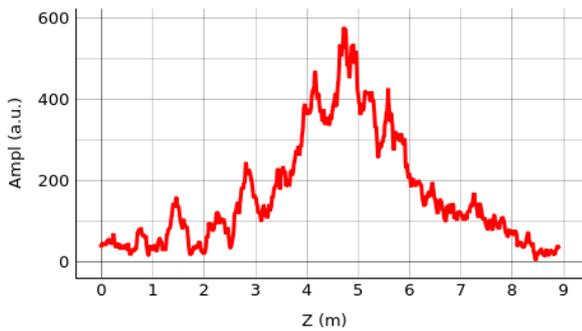


Рис.5.4.10. Продольный профиль через 500 оборотов. Слева – снятый стрик-камерой, справа – смоделированный, с учетом влияния импеданса.

Рисунок 5.4.9 иллюстрирует соответствие измененного стрик-камерой профиля пучка и результата моделирования при наличии импеданса связи. Очевидно, что импеданс кольца и связанные с ним коллективные эффекты оказывают заметное влияние на продольную динамику пучка в кольце. Причина такого быстрого процесса перегруппировки пучка заключается в возникновении микроволновой неустойчивости, которая в фазовом пространстве смешивает между собой отдельные ступки. Проявление микроволновой неустойчивости особенно четко видно на Рисунке 5.4.10. Ее характерной особенностью является появление на профиле пучка модуляции плотности, которые уже никак не связаны с начальным продольным распределением частиц, полученном при инжекции из ЛУ.

Параметры эквивалентного LRC резонатора

$$Z = \frac{R_s}{1 + iQ \left( \frac{\omega_R}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_R} \right)}, \quad (1)$$

полученные минимизацией целевой функции

$$\varphi = \sum^N (I_{\text{model}}(N, R_s, Q, \omega_r) - I_{\text{mes}}(N))^2, \quad (3)$$

составляют:  $R_s = 39$  кОм,  $Q = 4,2$  и  $\omega_R = 2,6$  ГГц.

Оцененный по параметрам накопителя-охладителя порог микроволновой неустойчивости составляет 1,62 А. Пиковый ток банчей пучка линейного ускорителя (~1,8 А) превышает значение пикового тока порога микроволновой неустойчивости (при среднем инжектируемом токе 20 мА), поэтому динамика

продольного профиля пучка после инжекции и определяется этой неустойчивостью.

Получается, что при инжекции группировка определяется микроволновой неустойчивостью, однако, накопленный пучок слишком длинный, чтобы в нем происходило ее возбуждение и потери пучка. Можно сделать вывод, что с точки зрения коллективных эффектов, возникновение неустойчивости не приводит к существенным потерям частиц и текущий резонатор полностью выполняет свои функции.

#### 5.4.7. Разработка предложений по модернизации и развитию диагностики положения пучка при помощи электростатических датчиков.

Перепускные каналы из линейного ускорителя в накопитель-охладитель инжекционного комплекса имеют сложную геометрию (Рис.5.4.11), в связи с чем настройка транспортировки пучков электронов и позитронов представляет определенные сложности и сопровождается значительными потерями частиц при перепуске. Размещение в перепускных каналах дополнительных элементов неразрушающей диагностики - датчиков положения пучка (ДПП), позволит контролировать координаты пучка в вакуумной камере в нескольких точках в режиме реального времени, вычислять и корректировать параметры оптической модели транспортного канала (Рис. 5.4.12),

поддерживать стабильность траектории при отклонениях параметров системы от рабочих.

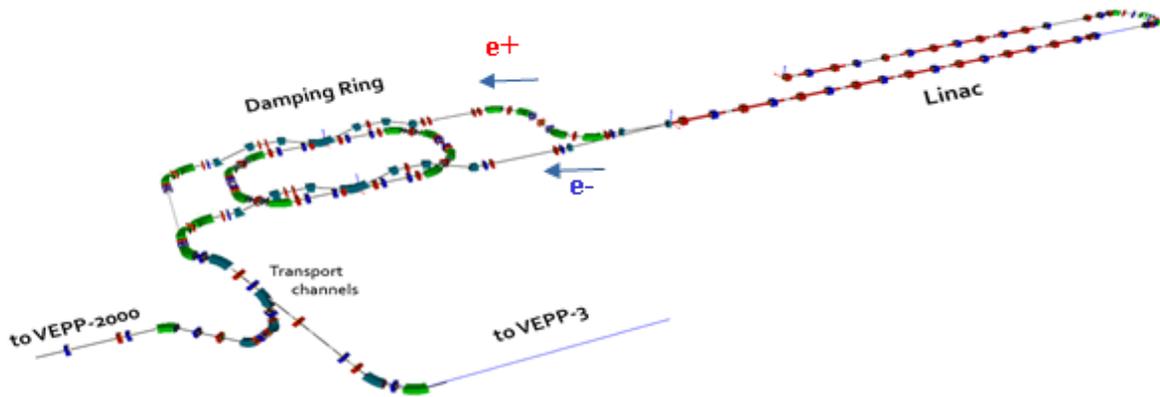


Рис. 5.4.11. Перепускные каналы для позитронов и электронов в составе Инжекционного комплекса (обозначены стрелками).

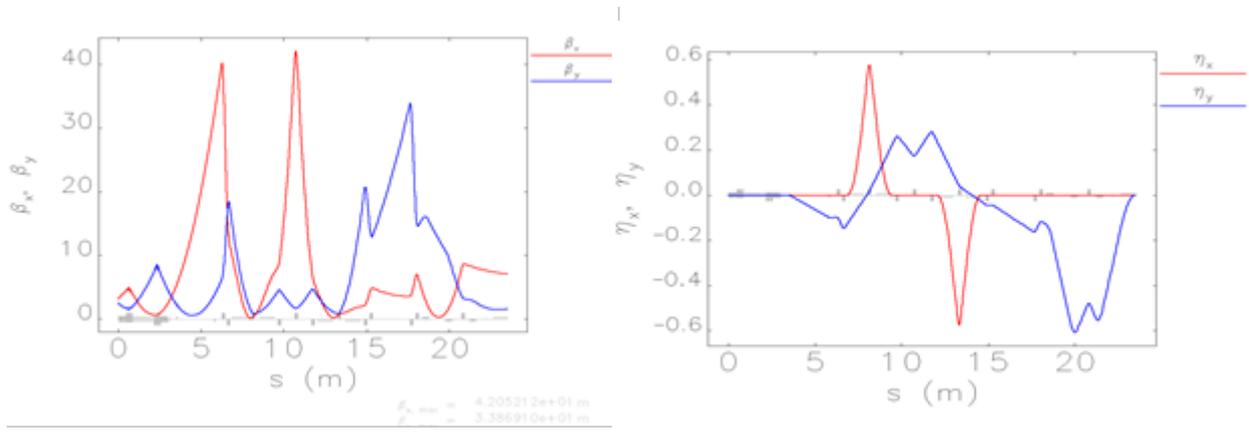


Рис. 5.4.12. Оптические функции для позитронов в перепускном канале (бета-функции, дисперсия). Моделирование в ELEGANT [[10]].

#### 5.4.8. Измерение параметров канала и пучка по данным с датчиков положения пучка.

##### При постоянной энергии пучка

Поперечные координаты пучка между парой датчиков связаны между собой через транспортную матрицу, все элементы которой могут быть приблизительно вычислены из модели перепускного канала, учитывающей поля в магнитных элементах и расстояния между ними [[11]]:

$$\begin{cases} x_1 = M_{11}x_0 + M_{12}x'_0 \\ x'_1 = M_{21}x_0 + M_{22}x'_0 \end{cases} \quad (4)$$

$$M_{11} = \sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_0}} (\cos\psi + \alpha_0 \sin\psi)$$

$$M_{12} = \sqrt{\beta_0 \beta_1} \sin\psi$$

$$M_{21} = \frac{(1 + \alpha_1 \alpha_0) \sin\psi + (\alpha_1 - \alpha_0) \cos\psi}{\sqrt{\beta_0 \beta_1}}$$

$$M_{22} = \sqrt{\frac{\beta_0}{\beta_1}} (\cos\psi - \alpha_1 \sin\psi)$$

$\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\psi$  — параметры Твисса в местах размещения ДПП. Считая энергию пучка, а также угол и координату его вылета из линейного ускорителя повторяющимися при каждой инжекции, можно найти связи элементов матрицы с параметрами канала. Кроме того, контролируемое изменение токов в квадрупольных линзах и корректорах между парой датчиков позволяет использовать несколько серий измерений с них для вычисления всех неизвестных параметров. Из численного решения системы уравнений (4) можно найти угол пролёта пучка через первый датчик  $x'_0$ , начальные параметры Твисса  $\beta_0$ ,  $\alpha_0$  и фазовый сдвиг  $\psi$  между ДПП. Минимальное количество датчиков, позволяющее вычислить все неизвестные из системы

уравнений - 2. Добавление новых датчиков, либо дополнительное измерение откликов на изменение токов в элементах канала? позволит уменьшить влияние шумов на результат вычислений.

#### При изменении энергии пучка

В настоящее время при эксплуатации Инжекционного комплекса иногда происходит изменение конечной энергии пучка в линейном ускорителе, что приводит к падению темпа инъекции в НО. Такие изменения необходимо отслеживать, чтобы своевременно принимать меры для восстановления рабочего режима.

Изменение средней энергии пучка учитывается добавлением дополнительного слагаемого к уравнениям (4):

$$\begin{cases} x_1 = M_{11}x_0 + M_{12}x'_0 + \eta_0\delta_p \\ x'_1 = M_{21}x_0 + M_{22}x'_0 + \eta'_0\delta_p \end{cases} \quad (5)$$

где  $\eta, \eta'$  - дисперсионные функции и ее производная,  $\delta_p$  - отклонение энергии от изначального значения. В этом случае для вычисления всех неизвестных параметров канала уже требуется не менее 3 датчиков положения пучка, либо 3 серий измерений с разными значениями токов магнитных элементов канала.

#### 5.4.9. Размещение датчиков в каналах.

Датчики положения пучка, разработанные Бехтеновым Е. и Карповым Г. для ВЭПП-3 имеют протяженность 10 см и могут быть размещены как на свободных участках перепускного канала, так и вместо некоторых из действующих люминофорных камер.

Согласно стандартным рекомендациям размещения элементов диагностической системы [[11], наиболее информативным является размещение датчиков положения по одному на каждую четверть периода бетатронного колебания (Рис.5.4.13), т.е. 6-7 в позитронном канале и 4-5 — в электронном. Для получения более полной информации о канале, желательно разместить первую пару ДПП в самом начале исследуемого канала и, по возможности, знать

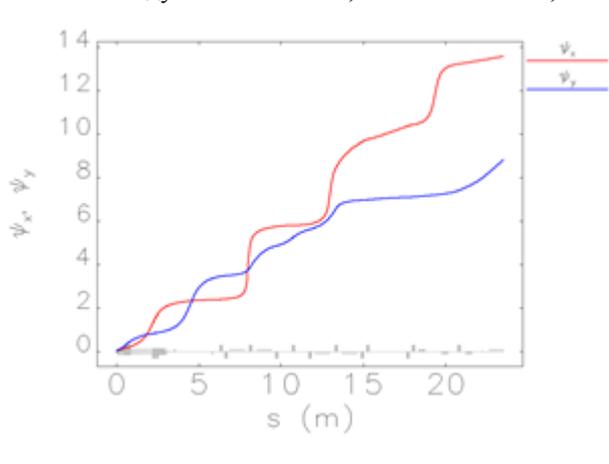


Рис.5.4.13. Набеги бетатронной фазы на перепускных каналах для электронов и позитронов ( $2\pi Qx, y$ ).

точные значения элементов транспортной матрицы между ними. К сожалению, в позитронном канале до начала ахроматического параллельного переноса пучка места для размещения датчика недостаточно.

Пару ДПП (П1, П2 на Рис.5.4.14) можно разместить после первой пары магнитов в прямолинейном промежутке, а величину горизонтальной дисперсионной функции и энергетического разброса определять по люминофорному пробнику 1L6 на следующем дисперсионном участке — между второй парой магнитов [[12].

Для контроля горизонтальной дисперсии после ахроматического участка и измерения вертикальных структурных функций можно использовать ещё одну пару датчиков (П4, П5) и третий между магнитами вертикального инжекционного моста (П6).

В электронном перепускном канале могут быть установлены три датчика (Э1, Э2, Э3) для измерения оптических функций магнитной и вертикальной дисперсионной функции (горизонтальная дисперсия в этом канале отсутствует).

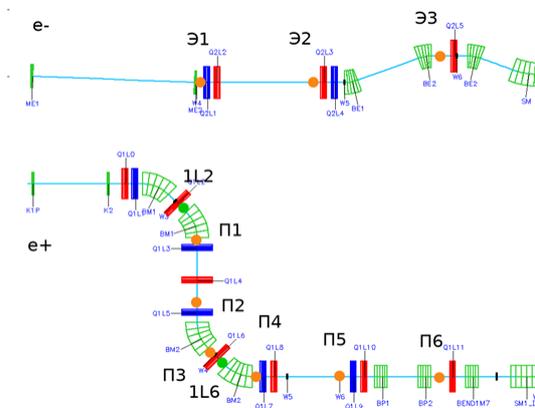
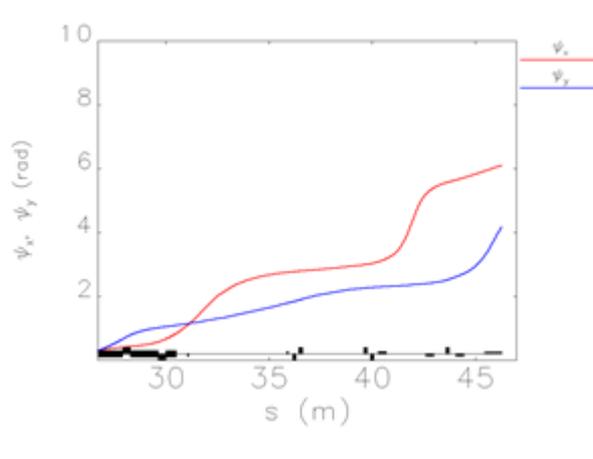


Рис. 5.4.14. Вариант возможного размещения в каналах новых датчиков положения пучка (оранжевые точки). Зеленые точки — места расположения люминофорных пробников 1L2 и 1L6.



#### 5.4.10. Установка систем диагностики в каналы транспортировки частиц К-500.

Инжекционный комплекс обеспечивает два коллайдера ИЯФ СО РАН высокоэнергетическими пучками электронов и позитронов. Получая и накапливая пучки с энергией до 500 МэВ и интенсивностями  $10^{11}$  частиц, комплекс транспортирует пучки до потребителей по транспортным каналам К-500. Типичная величина потерь пучка в процессе транспортировки достигает 50%, поэтому необходима штатная система диагностики потерь.

Диагностика потерь пучка важна на всех этапах работы ускорителя заряженных частиц, начиная от его наладки и запуска и заканчивая оптимизацией потерь в режиме реального времени в процессе штатной работы установки. В качестве такой системы было предложено использовать распределенный датчик потерь пучка на основе излучения Вавилова-

Черенкова в оптоволокне. Его основным преимуществом является использование длинного отрезка оптоволоконна (~10 м), который позволяет получить распределение потерь вдоль некоторого участка ускорителя.

#### Принцип работы датчика потерь пучка

Принцип работы оптоволоконного датчика потерь пучка основан на регистрации черенковского излучения, генерируемого в оптическом волокне релятивистскими заряженными частицами электромагнитного ливня, который образуется при попадании пучка на стенку вакуумной камеры ускорителя. Черенковское излучение распространяется по оптоволокну и регистрируется с помощью фотодетектора, который дает информацию о месте и интенсивности потерь пучка. Световой импульс можно регистрировать с обоих торцов оптоволоконна. Схема датчика изображена на Рис. 5.4.15.

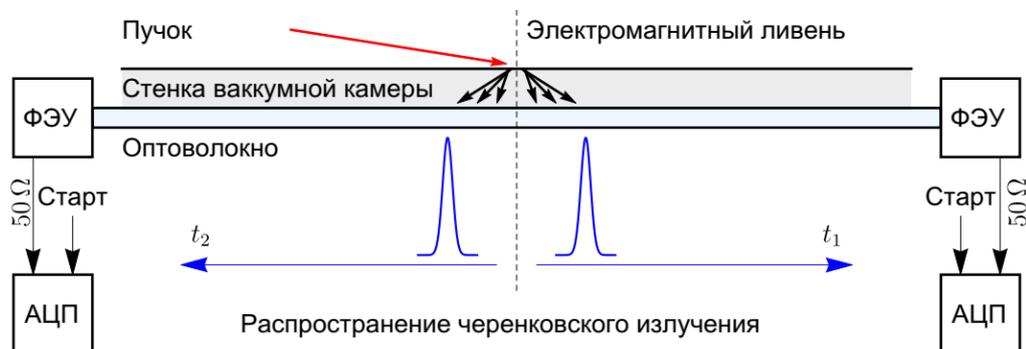


Рис. 5.4.15. Схема оптоволоконного датчика потерь пучка.

#### Требования к датчику потерь пучка

Основные требования, которые предъявляются к оптоволоконному датчику потерь пучка на Инжекционном комплексе, следующие: 1) высокое пространственное разрешение не хуже 1 м, которое определяется, исходя из расстояния между магнитными элементами ускорителя; 2) радиационная стойкость оптоволоконна, позволяющая эксплуатацию датчика при дозах до 103 Гр; 3) оптимальная стоимость компонентов.

#### Выбор оптимальных параметров оптоволоконна

Для определения вклада оптоволоконна в результирующее уширение сигнала с датчика потерь были протестированы четыре типа оптоволоконна, обладающие разной величиной дисперсии, их параметры приведены в Таблица 5.4.4. Оптоволоконна были закреплены на стенке вакуумной камеры в ожидаемом месте потери пучка на участке накопительного кольца на энергию 500 МэВ. Световой сигнал регистрировался при помощи фотоэлектронного умножителя на микроканальных пластинах (ФЭУ на МКП).

Таблица 5.4.6. Основные характеристики исследуемых оптоволокон.

Название	Broadcom, HFBR-RUS	Fiberware, G 400/560A	Fiberware, SM 400/125PI	Thorlabs, FG550UEC
Тип	Многомодовое	Многомодовое	Одномодовое	Многомодовое
Профиль	Ступенчатый	Градиентный	Ступенчатый	Ступенчатый
Материал	Пластик	Кварц	Кварц	Кварц
Ø сердцевины /оболочки, мкм	1000/-	400/560	2,2/125	550/600
NA	0,47	0,29	0,2	0,22

В результате измерений полуширины сигналов, полученных с ФЭУ, при разных длинах отрезков оптоволокон дисперсия света с учетом экспериментальных ошибок составила: 0,24 нс/м – для пластикового оптоволокон, 0,177 нс/м – для градиентного кварцевого, 0,185 нс/м – для одномодового и 0,19 нс/м – для ступенчатого кварцевого. Для одномодового оптоволокон значение получилось завышенным, это связано с тем, что ввод излучения не осуществляется напрямую в сердцевину, поэтому часть излучения распространяется по оболочке, подвергаясь модовой дисперсии. Как можно видеть из полученных экспериментальных данных, любые типы кварцевых волокон обладают наименьшей дисперсией по сравнению с пластиковым. Однако стоимость одномодового и градиентного оптоволокон на один-два порядка выше ступенчатого.

Поэтому среди оптоволокон оптимальным вариантом с точки зрения пространственного разрешения, радиационной стойкости и стоимости, является кварцевое оптоволокон со ступенчатым профилем показателя преломления и диаметром

сердцевины 550 мкм. При этом длина отрезка оптоволокон может достигать 45 м. Для достижения наилучшего пространственного разрешения датчика, световой сигнал необходимо регистрировать с торца, противоположного направлению движения пучка.

### Выбор оптимальных параметров фотодетектора и АЦП

Для определения вклада фотодетектора в результирующее уширение импульса были протестированы ФЭУ на МКП (производства АО «Катод», г. Новосибирск) и ФЭУ-87. Оба детектора имеют спектральный диапазон чувствительности фотокатода в максимуме спектра черенковского излучения: 300 - 600 нм. Время нарастания и длительность анодного тока для ФЭУ на МКП составляет: 0,5 нс и 1,5 нс, соответственно, для ФЭУ-87 – не более 2,5 нс и не более 6 нс, соответственно. Излучение на ФЭУ приходило с пластикового оптоволокон марки «Broadcom» (HFBR-RUS) длиной 15 м. Сигнал оцифровывался при помощи АЦП с полосой пропускания 200 МГц и частотой дискретизации 2 Гвыб/с.

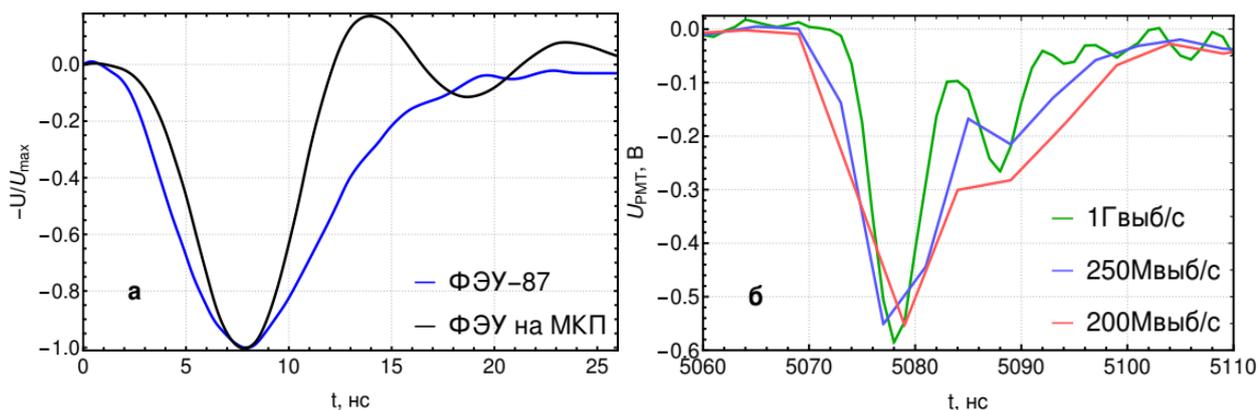


Рис. 5.4.16. а) Сигналы с ФЭУ на МКП (черным) и ФЭУ-87 (синим) при длине оптоволокон 15 м; б) Типичный сигнал с датчика потерь пучка, оцифрованный АЦП с полосой пропускания и частотой дискретизации: 300 МГц и 1 Гвыб/с (зеленым), 80 МГц и 250 Мвыб/с (синим), менее 80 МГц и 200 Мвыб/с (красным).

На Рисунке 5.4.16 а) показаны сигналы с ФЭУ на МКП и ФЭУ-87, полуширины импульсов составляют 5,2 нс и 8,3 нс, соответственно. За вычетом вклада дисперсии света в оптоволоконе, получаем, что вклад ФЭУ на МКП и ФЭУ-87 в результирующее уширение импульса составляет примерно 3,6 нс и 7,4 нс, соответственно. ФЭУ-87 уширяет импульс в два раза больше, чем ФЭУ на МКП, поэтому не годится в качестве детектора излучения для датчика потерь пучка. В качестве фотодетектора необходимо использовать ФЭУ на МКП, который обладает минимальными временными характеристиками и высоким коэффициентом усиления. За счет более аккуратного измерения тока с анода ФЭУ на МКП можно уменьшить его временной вклад до 1.5 нс.

На Рисунке 5.4.16 б) показаны сигналы, полученные с оптоволоконного датчика потерь пучка, оцифрованные тремя АЦП с разными полосами пропускания и частотами дискретизации. На рисунке видно, что при оцифровке типичных сигналов с оптоволоконного датчика потерь пучка с частотой дискретизации 250 Мвыб/с и ниже, теряется существенная часть информации. Поэтому для оптоволоконного датчика потерь пучка следует использовать АЦП с полосой пропускания не менее 200 МГц и частотой дискретизации не менее 500 Мвыб/с.

### 5.4.11. Результаты измерений потерь пучка при помощи оптоволоконного датчика.

Система диагностики потерь пучка заряженных частиц была установлена в канале транспортировки

К-500 в направлении коллайдера ВЭПП-4М, как показано на Рисунке 5.4.17 а). Выбрано кварцевое многомодовое оптоволоконно марки «Thorlabs» (FG550UEC) длиной 50 м. Регистрация светового сигнала осуществляется в направлении, противоположном направлению движения пучка.

На Рисунке 5.4.17 б) показаны элементы системы диагностики. В качестве фотодетектора выбран ФЭУ

на МКП производства АО «Катод» (г. Новосибирск). ФЭУ питается от высоковольтного источника питания, сигнал с ФЭУ поступает на АЦП через коаксиальный кабель 50 Ом. Запуск АЦП осуществляется внешним синхроимпульсом, привязанным к моменту выпуска пучка из накопительного кольца. АЦП выбрано с частотой дискретизации 200 Мвыб/с, в дальнейшем планируется заменить на АЦП с 500 Мвыб/с.

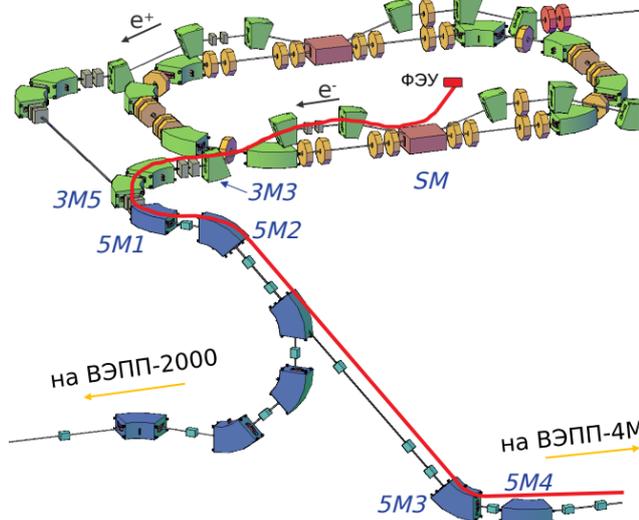


Рис.5.4.17. а) Схема расположение датчика потерь пучка в канале транспортировки К-500, б) элементы системы диагностики потерь.



Рис.5.4.18. Окно вывода данных для распределения потерь пучка по каналу К-500 в направлении ВЭПП-4М в процессе наладки выпуска электронов (а) и позитронов (б). Серой линией обозначены потери, вызванные магнитной коррекцией диполей, цветной – достигнутая оптимальная настройка канала.

Для обработки сигналов с АЦП, создано программное обеспечение, которое позволяет оператору в режиме реального времени налаживать режим работы ускорителя, отслеживая распределение потерь пучка вдоль структуры ускорителя. Программа синхронизована с режимом комплекса (сорт частиц/потребитель). Существует функция усреднения результатов по нескольким измерениям и сохранения сигнала с предыдущими параметрами магнитной системы для его наложения на текущие данные. Также оператору доступно управление напряжением питания ФЭУ.

На Рисунке 5.4.18 показано окно вывода данных с типичными распределениями потерь пучка по каналу К-500 в направлении ВЭПП-4М в процессе наладки выпуска электронов (а) и позитронов (б). В случае выпуска электронов распределение серым цветом демонстрирует потери пучка в результате завышенного значения магнитной коррекции диполей «3М5» и «5М3», в случае позитронов – диполя «5М3». Распределения синим и красным цветом демонстрируют потери в результате оптимизированной транспортировки пучка электронов и позитронов, соответственно.

## **5.5. РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ SOS-ДИОДА И ПСЕВДОИСКРОВЫХ ТИРАТРОНОВ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПЛАСТИН ИНФЛЕКТОРОВ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-5**

Основная задача системы впуска-выпуска ИК ВЭПП-5 состоит в том, чтобы при впуске пучка в накопитель-охладитель осуществить компенсацию горизонтального импульса пучка с наименьшими потерями частиц, а затем осуществить выпуск частиц из накопителя-охладителя для дальнейшей транспортировки пучка к потребителю. Форма импульсов, близкая к прямоугольной, является необходимой для получения минимальных потерь пучка при перепусках. Чтобы не воздействовать на впускаемый пучок на втором обороте, длительность импульса инфлектора по основанию не должна превышать период обращения частиц в накопителе-охладителе (~ 91,5 нс). Кроме того, высокие требования предъявляются к временной стабильности генерируемых импульсов и крутизне его фронтов.

Инфлекторы накопителя-охладителя выполнены в виде симметричной полосковой линии, где каждый запитывается парой импульсов противоположной полярности и работает в режиме квази-бегущей волны. Время нарастания и спада этих импульсов достигают величины близкой к времени обращения пучка. Питающий инфлекторы генератор выполнен на основе искусственной двойной формирующей линии (ДФЛ) типа Блюмляйна. В качестве высоковольтных коммутаторов используются водородные тиратроны ТГИ1-2500\50.

У данного генератора существует несколько существенных недостатков, осложняющих работу с ним в рамках поставленных задач:

1. Проблема получения коротких (~20 нс) фронтов импульса в виду принципиальных ограничений текущей схемы.
2. Также длительность фронтов затягивается за счёт влияния коммутационной характеристики тиратронов ТГИ1-2500\50, которая не позволяет получать фронты короче 50 нс.
3. Малое время жизни тиратронов в условиях формирования импульсов с предельно короткими для них фронтами и их труднодоступность.

Для ликвидации указанных недостатков в используемой на данный момент схемы, был разработан проект источника высоковольтных наносекундных прямоугольных импульсов на основе SOS-диода и псевдоискровых тиратронов. В данной главе представлены результаты разработки проектного образца такого источника.

### 5.5.1. Описание проекта источника.

Для генерирования мощных наносекундных импульсов наиболее распространены два подхода, отличающиеся друг от друга способом накопления энергии.

Первый способ основан на накоплении энергии электрического поля в емкостных накопителях, в качестве которых используются низкоиндуктивные конденсаторы и формирующие линии, где используются замыкающие коммутаторы. На этом принципе основана схема источника питания инфлекторов, которая используется в ИК ВЭПП-5 на данный момент.

Во втором способе накопление энергии происходит в магнитном поле индуктивного контура с током. Здесь используются прерыватели тока. Основной сложностью в использовании индуктивных накопителей энергии является проблема быстрого обрыва большого значения импульсного тока, что с технической точки зрения является более сложной задачей, чем соответствующая коммутация. В качестве прерывателей в таких случаях применяются плазменные, твердотельные и на основе электрически-взрывающихся проволочек.

В условиях, требуемых для реализации необходимого качества пуска-выпуска пучка, первые два типа коммутаторов не могут быть использованы по причине низкой частоты повторений и быстрой эрозии электродов (в случае плазменных прерывателей тока), а также по причине неспособности работать в частотном режиме (в случае прерывателей на основе электрически-взрывающихся проволочек). Использование твердотельных прерывателей тока в схемах мощных импульсных генераторов на основе индуктивного накопителя энергии является наиболее перспективным, поскольку позволяет разработать устройства с высокими удельными характеристиками и практически неограниченным сроком службы.

В данной работе в качестве твердотельного коммутатора используется SOS-диод производства Института Электрофизики УрО РАН. Эти приборы позволяют получать крутые фронты на нагрузке, обрывая протекающий через них ток, составляющий несколько килоампер на квадратный сантиметр. Это явление наносекундного обрыва сверхплотного тока получило название SOS-эффекта.

Принципиальная схема представляет собой два накопительных контура (Рис.5.5.1), генерирующих токи разной полярности, подключенные на общую нагрузку, которая, в свою очередь, включена параллельно SOS-диоду. Подбирая параметры колебательных контуров, и, соответственно, временные и токовые параметры накачки SOS-диода, можно реализовать схему, позволяющую без дополнительных элементов коррекций получать прямоугольные импульсы на нагрузке длительностью  $\sim 50$  нс, что в данном случае удовлетворяет условиям технического задания.

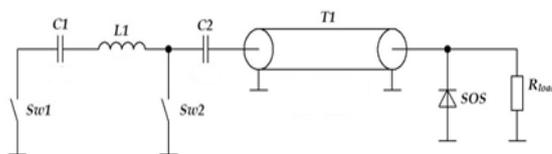


Рис. 5.5.1. Принципиальная схема источника прямоугольных импульсов напряжения для питания инфлекторов ИК ВЭПП-5 на основе SOS-диода.

В качестве коммутаторов  $Sw1$  и  $Sw2$  используются псевдоискровые тиратроны ТПИ-10к\50 (см.рис.5.5.2) производства фирмы *Pulsed Technologies*, г. Рязань.



Рис.5.5.2. Псевдоискровой тиратрон ТПИ-10к\50 и линейка SOS-диодов.

### 5.5.2. Исследование проектного источника питания инфлекторов ИК ВЭПП-5.

Был собран стенд по схеме с разделёнными контурами прямой и обратной накачки, с накопительной линией в виде промежуточного индуктивного накопителя (Рис.5.5.3). Параметры SOS-диода представлены в Таблица 5.5.1. Параметры SOS-63-5.

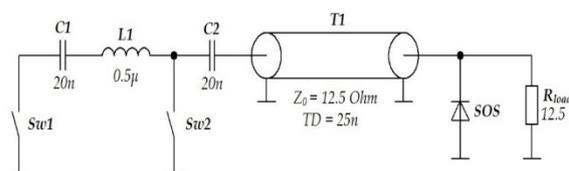


Рис.5.5.3. Схема испытательного стенда на нагрузку 12,5 Ом.

Таблица 5.5.1. Параметры SOS-63-5.

Параметр	Значение
Амплитуда импульсного тока прямой накачки	0,4-1 кА
Амплитуда импульсного тока обратной накачки	2-5 кА
Длительность импульса тока прямой накачки	200-500 нс
Длительность импульса тока обратной накачки	40-100 нс
Время обрыва тока	10-30 нс

Была исследована часть диапазона указанных параметров, но выходной импульс напряжения на нагрузке во всех случаях имел неудовлетворительную

форму. Ниже представлены полученные осциллограммы тока в диоде.

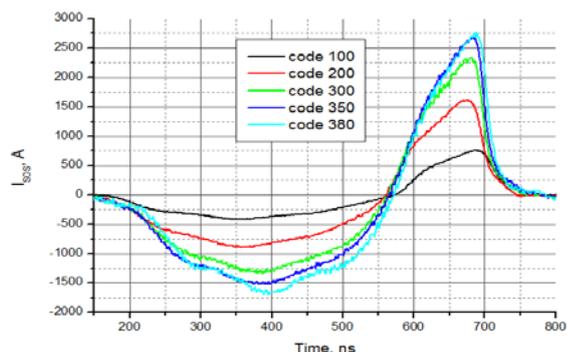


Рис.5.5.4. Семейство осциллограмм тока диода при испытании на нагрузку 12,5 Ом.

Амплитуда тока прямой накачки диода изменялась в диапазоне 0,4 – 1,7 кА с шагом 0,15 – 0,5 кА (0,42 кА; 0,88 кА; 1,33 кА; 1,53 кА; 1,67 кА). Длительность прямой накачки составила 400 нс.

Амплитуда тока обратной накачки диода менялась в диапазоне 0,7 – 2,7 кА с шагом 0,1 – 0,9 кА (0,76 кА; 1,61 кА; 2,32 кА; 2,71 кА; 2,81 кА). Длительность обратной накачки составила 100 нс.

Видно, что, хотя диод должен находиться в режиме быстрого обрыва тока (заявленные производителем 10 – 30 нс), этого не происходит. Даже в случае максимального тока (из представленных) время спада обратного тока до нуля составляет 95 нс, а по уровню 10 – 90% от максимальной амплитуды – 32 нс. Такой режим работы диода приводит к тому, что плоская вершина импульса напряжения на нагрузке приобретает сильный наклон (Рис.5.5.5).

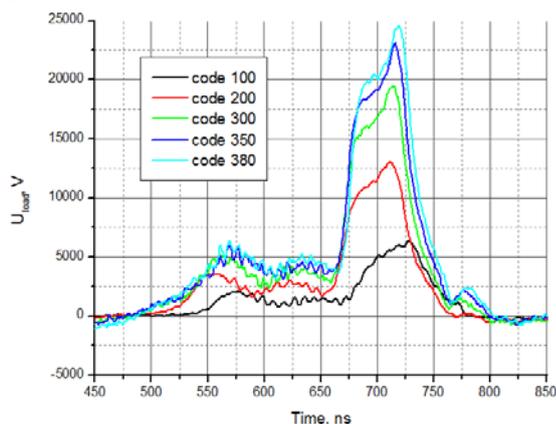


Рис.5.5.5. Семейство осциллограмм напряжения на нагрузке 12,5 Ом диода SOS-63-5.

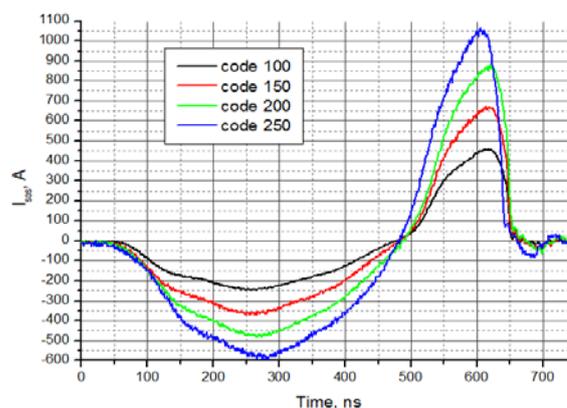
Из осциллограмм напряжения на нагрузке видно, что импульс имеет своеобразный «пьедестал», составляющий около 25% от амплитуды импульса. Он является характерной чертой SOS-диодов, но в экспериментах с диодом с вдвое меньшей площадью поперечного сечения этот пьедестал был по крайней мере вдвое меньше (в процентном соотношении). Из дальнейших экспериментов стало ясно, что упомянутый «пьедестал» зависит от величины сопротив-

ления нагрузки (в данной схеме – 12,5 Ом). Из обсуждения результатов с производителем стало ясно, что эти диоды никогда не испытывались на нагрузках отличных от 50 Ом.

Таким образом, мы столкнулись с неисследованной ранее научной проблемой, решить которую в заданных условиях не удалось. Было решено начать модернизировать схему стенда таким образом, чтобы по возможности уменьшить величину «предимпульса».

С этой целью в схему вместо диода SOS-63-5 был установлен диод предыдущей модификации с вдвое меньшей площадью поперечного сечения. Ниже представлены полученные осциллограммы тока в диоде и импульса напряжения на нагрузке.

Рис.5.5.6. Семейство осциллограмм тока диода с вдвое меньшей площадью поперечного сечения при

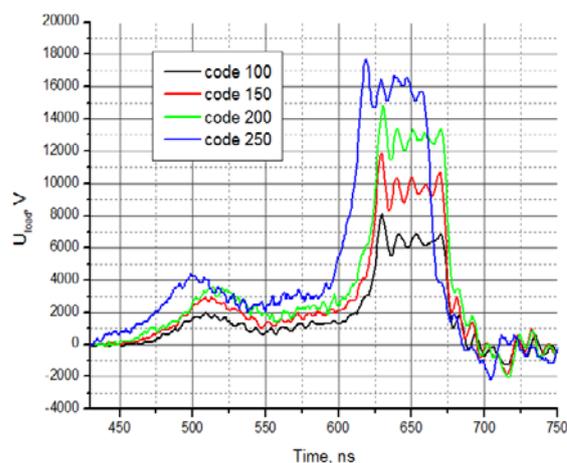


испытании на нагрузку 12,5 Ом.

Из полученных осциллограмм видно, что время коммутации равно примерно 25 нс. При зарядном напряжении Code = 250 заметно, что время коммутации начало уменьшаться до 12 нс (почти вдвое).

Из осциллограмм напряжения на нагрузке понятно, что перед импульсом имеется «пьедестал», такой же по величине.

Рис.5.5.7. Семейство осциллограмм напряжения на нагрузке 12,5 Ом при испытании диода с вдвое



меньшей площадью поперечного сечения.

Далее был проведен опыт со старым диодом. Конденсатор C1 = 30п, C2 = 20п. Отсоединены два кабеля, оставлены два (их суммарное волновое сопротивление 25 Ом). Нагрузка изменена на 25 Ом

(оставили одну вместо двух параллельных). Схема приобрела следующий вид:

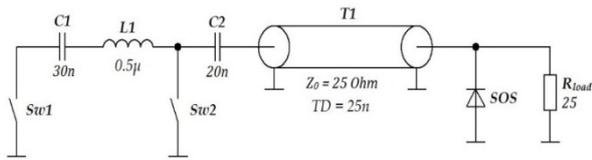


Рис.5.5.8. Схема испытательного стенда на нагрузку 25 Ом.

Ниже представлены полученные осциллограммы тока в диоде и импульса напряжения на нагрузке.

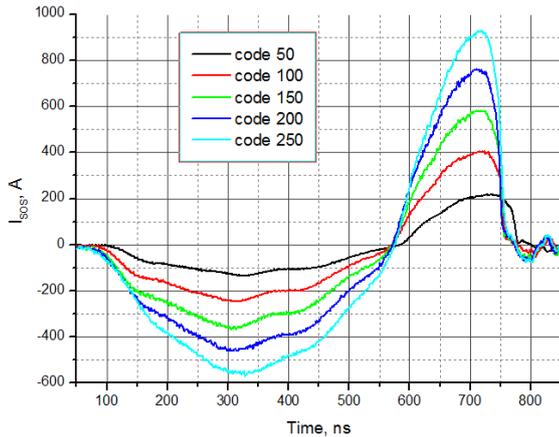


Рис.5.5.9. Семейство осциллограмм тока диода с вдвое меньшей площадью поперечного сечения при испытании на нагрузку 25 Ом.

Из полученных осциллограмм (Рис.5.5.9) видно, что время коммутации равно  $\sim 30$  нс. Ток прямой накачки имел длительность 500 нс, его амплитуда варьировалась в диапазоне 150 А – 550 А.

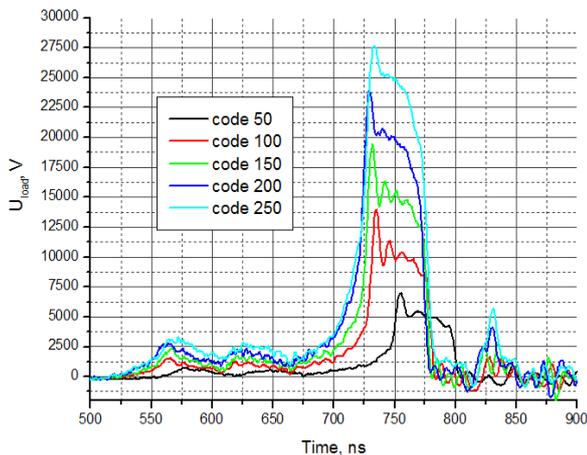


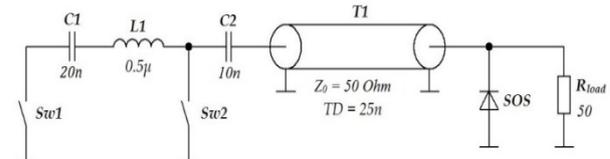
Рис.5.5.10. Семейство осциллограмм напряжения на нагрузке 25 Ом при испытании диода с вдвое меньшей площадью поперечного сечения.

Ток обратной накачки имел длительность 180 нс, и варьировался в диапазоне 200 А – 900 А. Время коммутации для зарядных напряжений Code = 50, 100, 150, 200 и 250 составило соответственно:  $\Delta 1 = 26$  нс;  $\Delta 2 = 24$  нс;  $\Delta 3 = 30$  нс;  $\Delta 4 = 24$  нс;  $\Delta 5 = 30$  нс.

Из осциллограмм напряжения на нагрузке (Рис.5.5.10) видно, что перед импульсом всё ещё имеется пьедестал, хотя и вдвое меньший, чем в схеме с вдвое меньшей нагрузкой. В предыдущем эксперименте он составлял 25% от максимальной амплитуды импульса на нагрузке; теперь – 12,5%. Наблюдается корреляция амплитуды предимпульса с сопротивлением нагрузки.

Далее было решено испытать диод на нагрузке 50 Ом. Отсоединён ещё один кабель, оставлен один (его волновое сопротивление 50 Ом). Схема имела следующий вид:

Рис.5.5.11. Схема испытательного стенда на нагрузку



50 Ом.

Ниже представлены полученные осциллограммы тока в диоде и импульса напряжения на нагрузке.

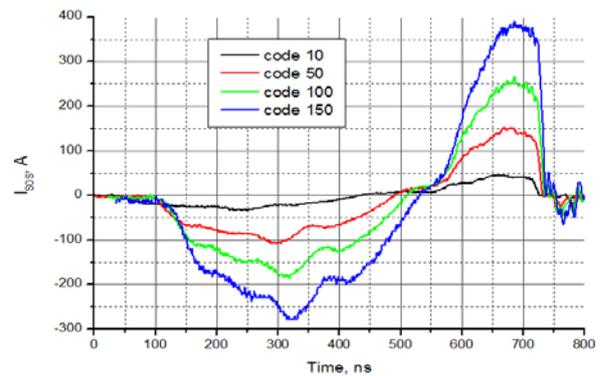


Рис.5.5.1. Семейство осциллограмм тока диода с вдвое меньшей площадью поперечного сечения при испытании на нагрузку 50 Ом.

Из полученных осциллограмм (Рис.5.5.1) видно, что время коммутации равно  $\sim 20$  нс.

Из осциллограмм напряжения на нагрузке (Рис.5.5.10) видно, что перед импульсом пьедестала почти нет. Добавление цепей коррекции и чистой монтаж позволят получить ещё более гладкие импульсы.

Отдельным вопросом стояла проверка возможности значительной перестройки схемы по напряжению (по заявлению изготовителей диодов, они не предназначены для работы в схемах с большой перестройкой по рабочему напряжению). По условию технического задания схема должна допускать перестройку по напряжению в пределах 10 – 100%. Предварительные эксперименты показывают, что такая перестройка не оказывает существенного влияния на качество работы схемы.

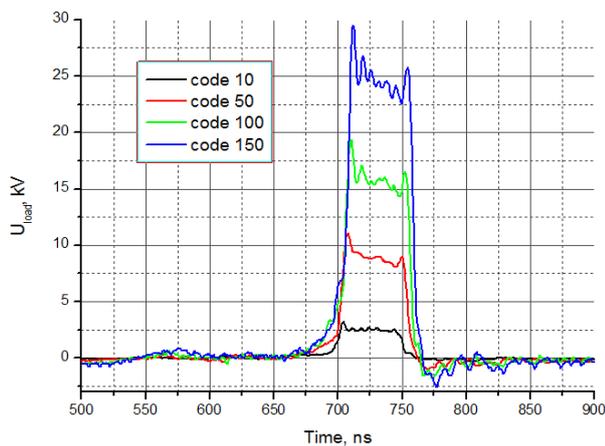


Рис.5.5.13. Семейство осциллограмм напряжения на нагрузке 50 Ом при испытании диода с вдвое меньшей площадью поперечного сечения.

Учитывая результаты проведённых исследований, можно утверждать, что разработанная схема способна удовлетворять требования технического задания при условии, что нагрузкой генератора будет являться активное сопротивление 50 Ом. Поскольку инфлекторы накопителя-охладителя, представляющие собой симметричную полосковую линию с волновым сопротивлением 25 Ом, нагруженную на активное сопротивление 25 Ом, то реализовать необходимый режим работы генератора возможно при одновременном включении сразу двух пластин инфлектора, используя инвертор для одной из них.

### 5.5.3. Испытание источника.

Следующим этапом работы явилось установка собранного образца источника вместо одного из четырёх действующих генераторов, с целью изучения влияния генерируемого им импульса на поведение пучка в накопителе-охладителе. Образец был установлен вместо генератора позитронного удара (Г4). В ходе испытания обнаружилась неспособность драйвера управления сеткой одного из тиратронов работать в необходимых условиях: срабатывала блокировка, вероятно, по причине сильных электромагнитных помех. Драйвер был снят для ликвидации указанной неисправности. Параллельно этому проводилась оценка электрической прочности отдельных узлов генератора, на основе которой производились работы по расчёту конструктивных параметров, и подготавливались чертежи конструктива генератора.

В ближайшей перспективе требуется решить вопрос с самоблокировкой драйвера управления сеткой тиратрона, после чего можно будет приступить к изучению влияния импульса нового генератора на поведение пучка позитронов в накопителе-охладителе и корректировке схемы, если таковая потребуется.

[1] Баклаков Б.А., Веремеенко В.Ф. и др. Стабилизация токов в цепях питания магнитов ведущего поля и корректирующих магнитов. ПТЭ № 4, 1976, с. 34.

[2] Веремеенко В.Ф. Прецизионные элементы систем питания магнитных структур накопителей заряженных частиц. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Новосибирск 1989 г.

[3] Мизинцев А.В., Прецизионные источники тока с высокими динамическими характеристиками для питания электромагнитов ускорителей заряженных частиц Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2002.

[4] Ф.А. Еманов, П.Б. Чеблаков, Д.Ю. Болховитянов «Инфраструктура системы управления инжекционного комплекса ВЭПП-5», Письма в ЭЧАЯ, 2018, Т. 15, №7(219), С.945-948.

[5] D. Bolkhovityanov, F. A. Emanov «VEPP-5 injection complex control system base software upgrade», in Proc. RuPAC2018, Protvino, Russia, doi:10.18429/JaCOW-RUPAC2018-THPS07.

[6] L.R. Daleslo et al., "The Experimental Physics and Industrial Control System architecture: past, present and future," ICALEPCS 1993, Berlin, Germany.

[7] <https://www.tango-controls.org/>

[8] A.Senchenko et al., "VEPP-2000 Collider Control System," Proceedings of PCaPAC2012, Kolkata, India, FRCB04.

[9] A.Chao's book "Physics of Collective Beam Instabilities in High Energy Accelerators". Chapter 2, p. 73.

[10] M. Borland, "elegant: A Flexible SDDS-Compliant Code for Accelerator Simulation," Advanced Photon Source LS-287, September 2000.

[11] Bryant, P. J. "Beam transfer lines", CAS-CERN Accelerator School: 5th general accelerator physics course, Jyvaskyla, Finland, 7-18 Sep 1992, vol. 2, pp. 219-238.

[12] Arduini, G. and Giovannozzi, M. and Hanke, K. and Manglunki, D. and Martini, M. "New methods to derive the optical and beam parameters in transport channels", Nucl. Instrum.

## 6.1. РАБОТА НА ПУЧКАХ СИНХРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В отчете представлены результаты некоторых работ по обеспечению и развитию исследовательских методов с использованием синхротронного излучения на экспериментальных станциях Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения в 2019 году.

Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения обеспечивает возможность использования мощных аналитических методик с использованием синхротронного излучения для широкого круга исследовательских групп из научно-исследовательских институтов, университетов и производственных учреждений Сибирского региона и из других областей России.

Часть действий по модернизации существующих экспериментальных установок и созданию новых производится в рамках поддержки проектов центров коллективного пользования, но некоторые определенные операции проводятся в рамках базового финансирования ИЯФ СО РАН в соответствии с планом исследований.

Описание данной активности в 2019 году представлено в текущем отчете.

Для выполнения исследований на пучках синхротронного излучения (СИ) за весь период реализации проекта было выделено 790 часов времени работы накопителя ВЭПП-3, 630 часов на накопителе ВЭПП-4М. Стоит отметить, что суммарное время, выделенное на работы с использованием СИ в 2019 существенно превосходит аналогичный показатель, достигнутый в 2018 г. Данное улучшение может быть объяснено увеличением общей эффективности использования накопительного комплекса ВЭПП-3 - ВЭПП-4М, и возможностью параллельной работы на обоих накопителях одновременно.

На ВЭПП-3 часть работ проводилось в специальном режиме с энергией пучка 1,2 ГэВ. Данный режим необходим для проведения специфических работ на станции LIGA, и не может использоваться для других станций. Общее время работ в данном режиме составило примерно 150 часов.

На источнике СИ ВЭПП-4М работы велись в двух режимах, с энергиями пучков 1,9 и 4,5 ГэВ. Режим с низкой энергией использовался для проведения исследований на станции «Метрология» в мягком рентгеновском диапазоне. Общее время, выделенное на работы в этом режиме, составило 175 часов. Остальное время использовалось для проведения работ в жестком рентгеновском диапазоне на других станциях СИ на накопителе ВЭПП-4М.

Исследования проводились на 11 экспериментальных станциях СИ. За весь период реализации проекта услугами Центра воспользовались 42 организации в рамках реализации около 60 исследовательских программ, проектов, грантов, договоров о научно-техническом сотрудничестве, тематических планов бюджетных организаций. Исследования покрывали широкий спектр по пяти приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ.

### 6.1.1. Канал СИ №2 накопителя электронов ВЭПП-3. Станция «Аномальное Рассеяние».

**Исследование фазового состава и структуры ZrN покрытий, нанесённых на различные подложки методом ионно-плазменного напыления в плазме низкого давления (Институт сильноточной электроники СО РАН, Томский политехнический университет, г. Томск)**

Для улучшения эксплуатационных свойств разных групп материалов требуется модификация поверхностного слоя различными методами, например, нанесением упрочняющих или защитных покрытий. Одним из способов формирования свойств поверхности является ионно-плазменное напыление в вакууме или в плазме низкого давления. Различные методики допускают нанесение многокомпонентных или многослойных покрытий, в том числе, в различных средах. Среди химико-термических методов упрочнения поверхности металлических материалов выделяется метод азотирования в плазме разрядов низкого давления (~ 1 Па), которое позволяет производить не только эффективную очистку поверхности материала газовыми ионами от оксидов и загрязнений, но и варьировать фазовый состав азотированного слоя при изменении состава плазмы и параметров воздействия на подложку. Большой объем данных о закономерностях фазообразования азотированных слоёв получен для азотирования в аномальном тлеющем разряде при давлении (100-1000) Па, однако вопрос о доминирующих механизмах азотирования до сих пор остаётся открытым. Сотрудниками Института сильноточной электроники СО РАН (г. Томск) предложено реализовать методику *In Situ* дифракционного исследования процесса роста покрытий, наносимых из плазмы низкого давления, на пучке СИ накопителя электронов ВЭПП-3. Для оценки возможности проведения исследований *In Situ* были выполнены предварительные эксперименты по *Ex Situ* определению фазового состава покрытий на основе нитрида циркония, сформированных в плазме низкого давления.

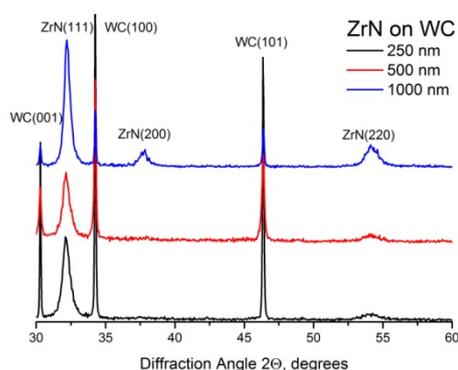
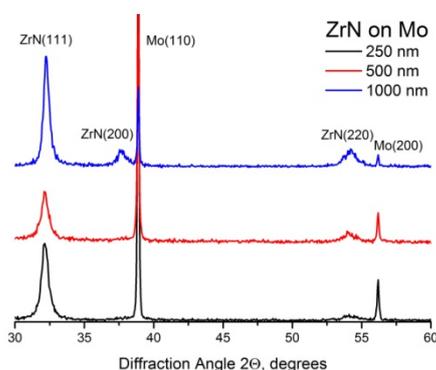
Свойство малой угловой расходимости пучка СИ в вертикальной плоскости может быть использовано для получения дифракционных картин от поверхностных слоев образца методом дифрактометрии в скользящем падении (Grazing Incidence Diffraction). С использованием геометрии скользящего падения был исследован фазовый состав ZrN покрытий на различных поверхностях. Были получены две серии образцов нитридов циркония на молибдене и карбиде вольфрама. В каждой серии по три образца с толщиной покрытий 250, 500 и 1000 нм, определяемых условиями синтеза. Рентгенограммы серий образцов представлены на Рис.6.1.1 (а,б). Фаза нитрида циркония во всех случаях хорошо видна, что позволяет рассчитывать на успешное проведение экспериментов *In Situ*.

Следует отметить некоторую особенность, общую для обеих серий исследованных образцов. На рентге-

нограммах образцов с покрытием 250 нм и 500 нм наблюдаются рефлексы (111) и (220), интенсивность рефлекса (200) практически нулевая. В образцах с 1000-нм покрытием видны все рефлексы ZrN с изменённым соотношением интенсивностей. Структура нитрида циркония относится к типу NaCl, в котором направление [111] является направлением плотнейшей упаковки. Соответственно, нарушения упорядоченности в перпендикулярном направлении не приводит к изменению интенсивности рефлекса (111), тогда как снижение интенсивности рефлексов в направлении [100] вплоть до полного исчезновения свидетельствует о высокой концентрации дефектов упаковки. Ширины наблюдаемых рефлексов монотонно уменьшаются с ростом толщины покрытия,

что связано, по-видимому, с увеличением размеров кристаллитов и уменьшением дефектности структуры покрытия. Интенсивность рефлексов подложки снижается с ростом толщины покрытия вследствие поглощения падающего и дифрагированного излучения в сформированном нитриде циркония.

Рентгенограммы получены в режиме поточечного сканирования с использованием длины волны излучения  $\lambda=0,1481$  нм, угол падения излучения на образец  $\sim 3^\circ$ . Время экспозиции составляло от 3 до 5 секунд на точку, что позволяет рассчитывать на соответствующее разрешение по времени в экспериментах *In Situ* с позиционно-чувствительным детектором.



a)

б)

Рис. 6.1.1: Изменение фазового состава покрытий ZrN с ростом толщины покрытия на поверхностях молибдена и карбида вольфрама.

### 6.1.2. Канал СИ №6 накопителя электронов ВЭПП-3. Станция «Прецизионная Дифрактометрия II».

#### Исследования автоколебаний в реакции окисления метана на палладии методами рентгеновской дифракции в режиме Operando (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН)

С использованием оборудования станции «Прецизионная дифрактометрия», смонтированной на канале СИ №6 накопителя электронов ВЭПП-3 в ЦКП СЦСТИ, были проведены *operando* исследования автоколебаний в реакции окисления метана на палладии методами рентгеновской дифракции и масс-спектрометрии при атмосферном давлении в проточном режиме. Образец представлял собой палладиевую фольгу размером 6×6 мм толщиной 0,5 мм. Характерный вид зависимостей скорости реакции окисления метана и температуры от времени в режиме автоколебаний приведен на Рис.6.1.2.

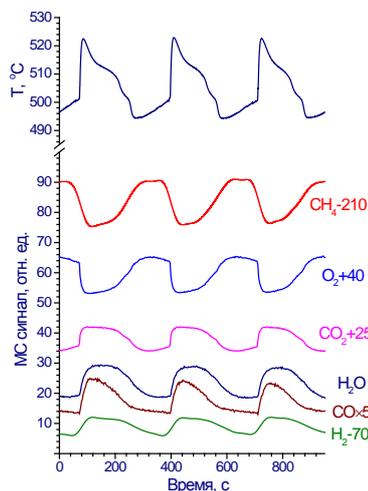


Рис. 6.1.2: Зависимости температуры образца и состава газовой среды от времени, полученные в условиях автоколебаний на металлическом палладии в среде  $\text{CH}_4:\text{O}_2:\text{Ar} = 20:5:75$  см<sup>3</sup>/мин.

*Operando* исследования проводились в смеси  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{Ar}$ , соответствующие потоки газов были 20, 5 и 75 см<sup>3</sup>/мин. На Рис. 6.1.3 приведены дифрактограммы, записанные одновременно с изменением состава продуктов и реагентов в газовой фазе. В процессе

эксперимента наблюдались периодические изменения фазового состава поверхности фольги, включающие как окисление-восстановление поверхности, так и наличие спутных рефлексов у металлического палладия, которые были отнесены к твердому раствору углерода в палладии. Известно, что растворение углерода в палладии приводит к увеличению параметра решетки Pd вплоть до 0,4020 нм (параметр решетки палладия при нормальных условиях 0,3890 нм, т.е.  $\Delta a=0,013$  нм); при этом количество растворенного углерода в решетке PdC<sub>x</sub> достигает  $x = 0,11-0,16$  в зависимости от внешних условий.

На Рис.6.1.4 приведены графики зависимостей фазового состава образца и состава газовой среды, а также температуры и параметров решетки образца, полученных усреднением по 7 периодам колебаний. Наблюдается корреляция между активностью катализатора в реакции окисления метана и фазовым составом поверхности. Отмечено также отсутствие или слабая корреляция между фазой PdC<sub>x</sub> и активностью палладия. Кроме этого, наблюдается преобладание реакции полного окисления метана над парциальным окислением, поскольку амплитуда сигнала масс-спектрометра, соответствующего CO<sub>2</sub>, примерно в 5 раз больше сигнала, соответствующего CO.

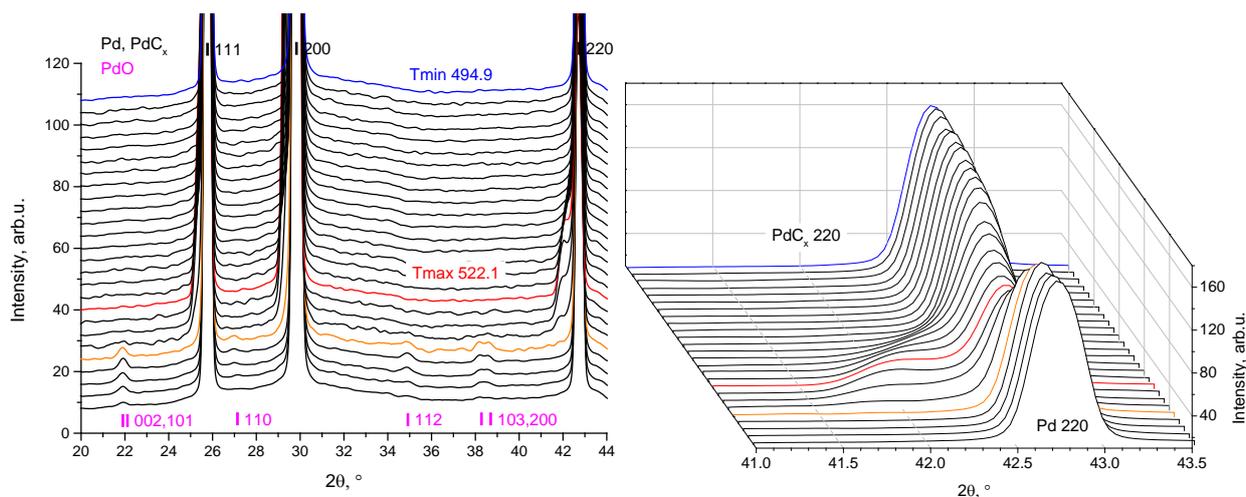


Рис. 6.1.3: Дифрактограммы катализатора, полученные в среде метан-кислород (4:1) в режиме *Operando* и усреднённые по 7 периодам автоколебаний (слева), цветом выделены максимум и минимум температуры, а также момент восстановления оксида палладия; те же дифрактограммы в области расположения рефлекса металлического палладия Pd 220 (справа). Наблюдается появление рефлекса твердого раствора углерода в палладии PdC<sub>x</sub>. Длина волны 1,01 Å.

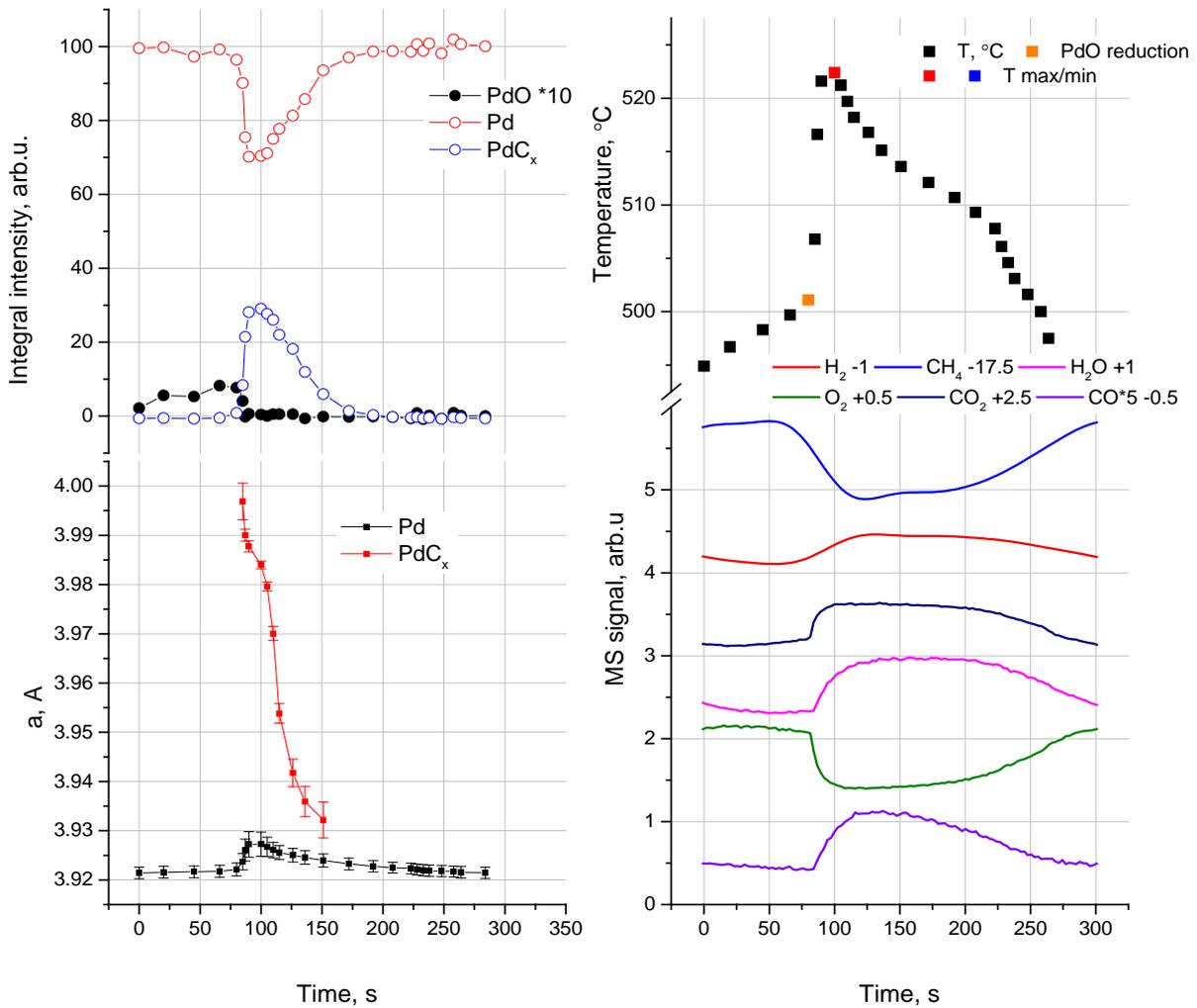


Рис 6.1.4: Графики интегральной интенсивности для фаз Pd, PdCx и PdO, а также параметры решетки Pd и PdCx, полученных из усредненных дифрактограмм (см. Рис.6.1.3), и соответствующая им температура, сигналы масс-спектрометра и время. Параметр решетки палладия (3,890 Å) с учетом КТР ( $1,17 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ) составляет 3,913 Å при 525°C.

Для подтверждения предположений касательно образования твердого раствора углерода в палладии были проведены *In Situ* исследования палладия в условиях насыщения углеродом и водородом методами рентгеновской дифракции и масс-спектрометрии при атмосферном давлении в проточном режиме.

*In Situ* исследования палладия в условиях насыщения водородом проводились в смеси 10%H<sub>2</sub>+He, соответствующие потоки газов были 20 и 180 см<sup>3</sup>/мин. Было показано (см. Рис.6.1.5), что водород начинает активно насыщать палладий уже при комнатной температуре с образованием кубического гидрида палладия (пр. гр. *Fm3m*, параметр решетки 0,4035 нм, близкий к структуре гидрида палладия PdH, PDF №65-557), при этом происходит восстановление поверхностного оксида палладия. Гидрид палладия в дальнейшем при нагреве разрушается при температуре 108°C. Тем не менее, как видно из рисунка 6.1.6, водород входит в структуру металлического палладия как твердый раствор и постепенно с нагревом уменьшается его

концентрация в решетке. После перехода на чистый гелий при 500°C оставшийся водород удаляется из решетки.

Также были проведены исследования палладия в смеси 10%CO+He, соответствующие потоки газов были 20 и 180 см<sup>3</sup>/мин. На рис. 6.1.7 приведены дифрактограммы из которых видно, что нагрев в среде CO приводит к образованию «плеча» у рефлексов палладия, аналогичных тем, что наблюдались в случае автоколебаний в метан-кислородной среде. Переключение смеси на стехиометрическую (CO:O<sub>2</sub>= 2:1) для окисления CO приводит к исчезновению «плеча». Количественное соотношение фаз представлено на рисунке 6.1.8, в виде интегральной интенсивности рефлекса Pd 111 и интегральной интенсивности «плеча».

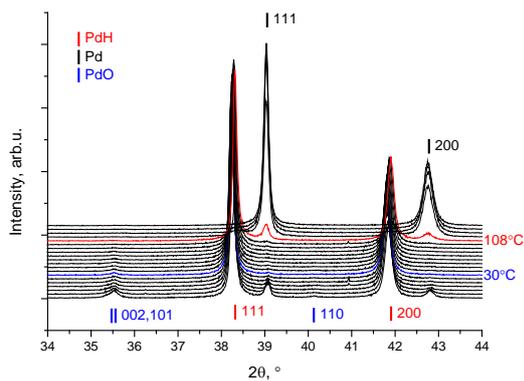


Рис. 6.1.5: Дифрактограммы палладия полученные *in situ* в среде 10% H<sub>2</sub>+He, цветом выделены моменты начала нагрева (синий) и разложения гидроксида палладия (красный). Длина волны 0,17248 нм. Исходное состояние поверхности окисленное.

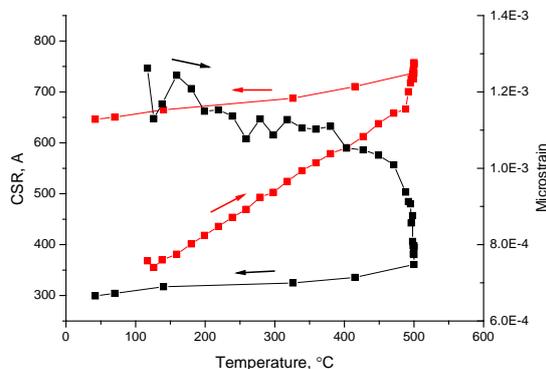


Рис. 6.1.6: Зависимость величины области когерентного рассеяния (красный) и микронапряжений (черный) для палладия от температуры при нагреве в атмосфере 10%H<sub>2</sub>+He и охлаждении в He. Стрелочками показано направление изменения температуры.

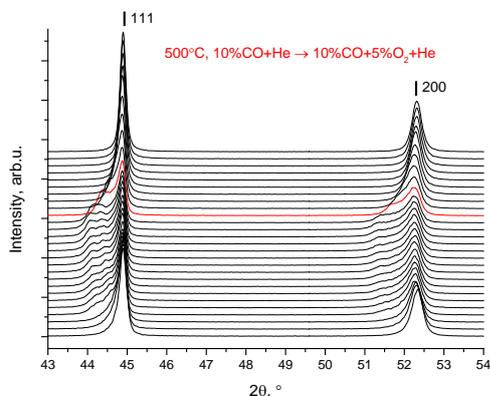


Рис. 6.1.7: Дифрактограммы палладия полученные *in situ* в среде 10%CO+He при температуре 500°C,

цветом выделены переход на смесь 10%CO+5%O<sub>2</sub>+He. Длина волны 0,17248 нм.

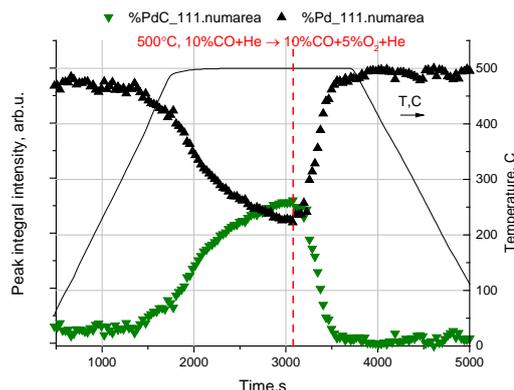


Рис. 6.1.8: Зависимость интегральной интенсивности рефлекса палладия Pd 111 и «плеча» PdC<sub>x</sub> 111 от времени при нагреве в атмосфере 10%CO+He и охлаждении в He. Красной линией показан момент переключения газовой смеси на 10%CO+5%O<sub>2</sub>+He.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что наблюдаемые спутные рефлексы палладия действительно связаны с растворенным в решетке углеродом, при этом для диффузии углерода в решетку палладия на поверхности должно быть его достаточное количество.

Таким образом, автоколебания релаксационного типа, полученные для реакции каталитического окисления метана на палладии, связаны с периодическим окислением и восстановлением поверхности палладия. Состоянию с большей активностью при этом соответствует палладий в металлическом состоянии, а меньшей – оксидная пленка на поверхности катализатора. Также, избыток углерода на поверхности палладия приводит к диффузии углерода вглубь образца одновременно с расширением решетки палладия, пропорциональным количеству растворенного углерода.

*In Situ* рентгенодифракционные исследования La<sub>2-x</sub>Ca<sub>x</sub>NiO<sub>4</sub> в средах с различным парциальным давлением кислорода

С использованием оборудования станции «Прецизионная дифрактометрия», смонтированной на канале СИ №6 накопителя электронов ВЭПП-3 в ЦКП СЦСТИ, были проведены *In Situ* исследования структурно-фазовых изменений никелатов лантана, допированных кальцием, La<sub>2-x</sub>Ca<sub>x</sub>NiO<sub>4</sub> (x=0,0-0,4), при нагреве/охлаждении в средах с различным парциальным давлением кислорода. Предварительно структура и фазовый состав исходных образцов были исследованы с использованием прецизионного дифрактометра станции «Аномальное Рассеяние», смонтированной на канале СИ №2 накопителя электронов ВЭПП-3 в СЦСТИ. Установлено, что недопированный образец имеет ромбическую ячейку, все допированные – тетрагональную. Таким образом, уже при малых значениях содержания кальция в образце наблюдается морфотропный фазовый переход из ромбической сингонии в тетрагональную.

В ходе *In Situ* эксперимента проводился цикл нагрева-охлаждения образцов в гелии и затем на воздухе в диапазоне температур 25-700°C со скоростью 10°C/мин и одновременной регистрацией рентгенограмм. Для образцов с  $x=0,1$  и  $0,2$  при нагреве в гелии наблюдались существенные структурные изменения в области температур 250-400°C, которая приблизительно соответствует температуре активации диффузии кислорода в структуре образца. Согласно данным термогравиметрии указанные образцы содержат наибольшее количество избыточного кислорода, и данные структурные изменения связаны, по-видимому, именно с удалением этого сверхстехиометрического межзвонного кислорода.

Стоит отметить, что обратное внедрение кислорода в решетку при нагреве на воздухе не приводит к существенным изменениям ее параметров. Примечательным является также то, что на графиках температурной зависимости параметров решетки заметны значительные антибатные изменения, компенсирующие друг друга и сохраняющие температурную зависимость для объема элементарной ячейки линейной.

#### Образец $\text{La}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{NiO}_4$

Исходная симметрия тетрагональная  $I4/mmm$ ,  $a = 0,38514(2)$  нм,  $c = 1,26548(8)$  нм.

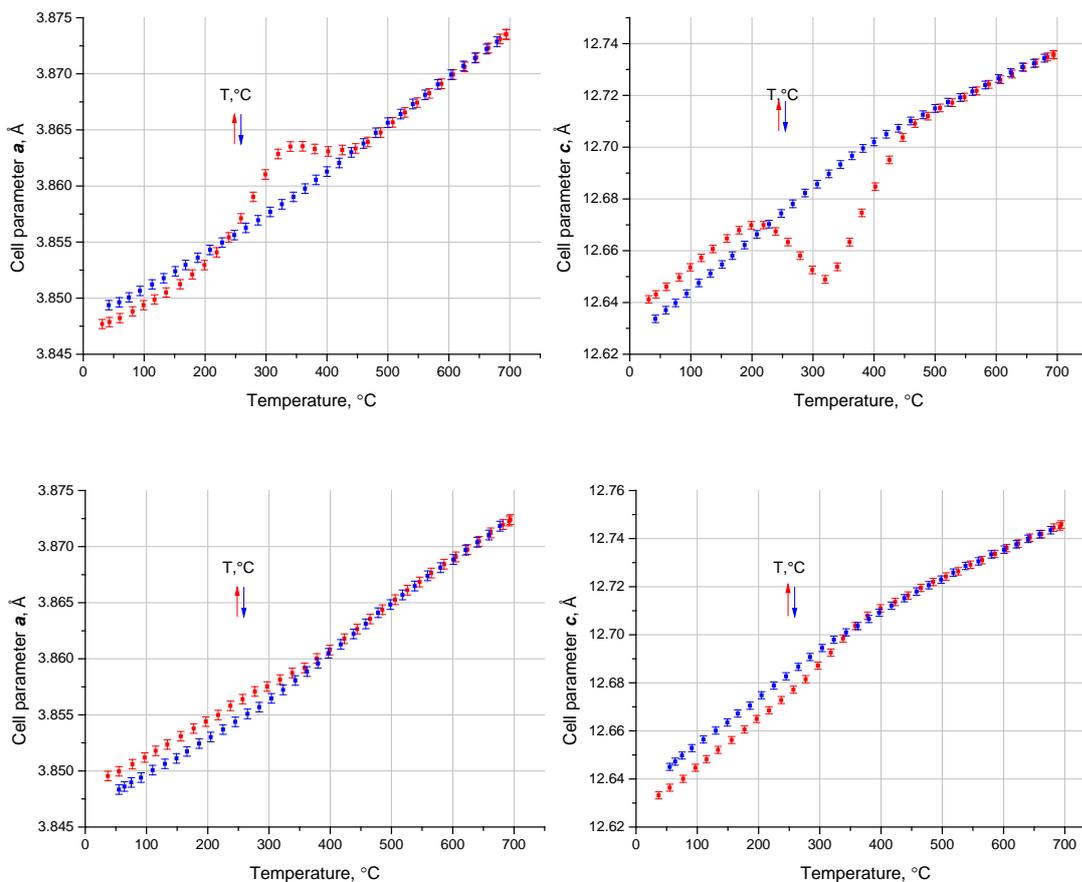


Рис. 6.1.9: Верх – параметры решетки  $a$  и  $c$  при нагреве/охлаждении в гелии, низ – в кислородной смеси. Эксперименты проводились последовательно. Зависимость для объема элементарной ячейки близка к линейной.

#### Образец $\text{La}_{1.8}\text{Ca}_{0.2}\text{NiO}_4$

Исходная симметрия тетрагональная  $I4/mmm$ ,  $a = 0,38589(2)$  нм,  $c = 1,26752(10)$  нм.

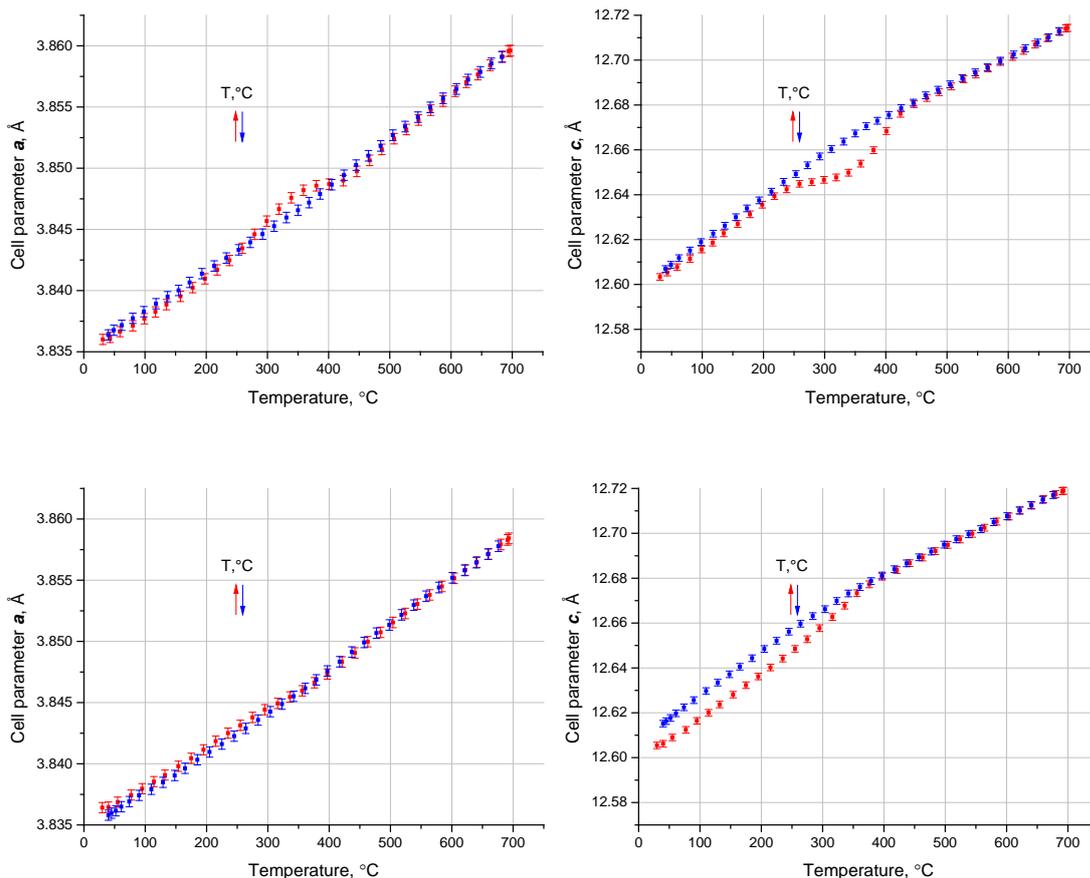


Рис. 6.1.10: Верх – параметры решетки  $a$  и  $c$  при нагрев/охлаждении в гелии, низ – в кислородной смеси. Эксперименты проводились последовательно. Зависимость для объема элементарной ячейки близка к линейной.

### 6.1.3. Канал СИ №3 накопителя электронов ВЭПП-3. Станция «РФА-СИ на ВЭПП-3».

#### Поздне-голоценовые палеоклиматические реконструкции, полученные из ленточных глин («варв-ных» осадков) приледниковых озер в Российском и Китайском Алтае

Основные работы проводились с образцами кернов донных отложений озера Кучерлинское (Алтай) в рамках российско-китайского проекта РФФИ № 18-55-53016.

Цель исследования – получение профиля изменения содержания породообразующих и микроэлементов вдоль образцов керна донных осадков озера Кучерлинское с пространственным разрешением, соответствующим 1 году на временной шкале. Средняя линейная скорость осадконакопления в исследуемом керне меняется от 3 мм в верхней части разреза до 1 мм в нижней части. Сканирование проводилось с шагом 1 мм, всего было исследовано

112 см керна. Полученные ряды данных пересчитывались во временные ряды по ранее подготовленной возрастной модели с шагом 1 год.

Сравнение геохимических временных рядов на интервале 1940 – 2016 гг.н.э. с данными региональных метеонаблюдений (метеостанция Кара-Тюрек), расположенной недалеко от объекта исследований, позволило выделить метеозависимые климатические индикаторы и построить трансферную функцию, связывающую состав датированных слоев донного осадка с инструментальными метеонаблюдениями.

Аппроксимация трансферной функции на всю глубину опробования керна позволила построить количественную реконструкцию изменения среднегодовых температур Алтайского региона за последние 800 лет с годовым временным разрешением рис.6.1.11.

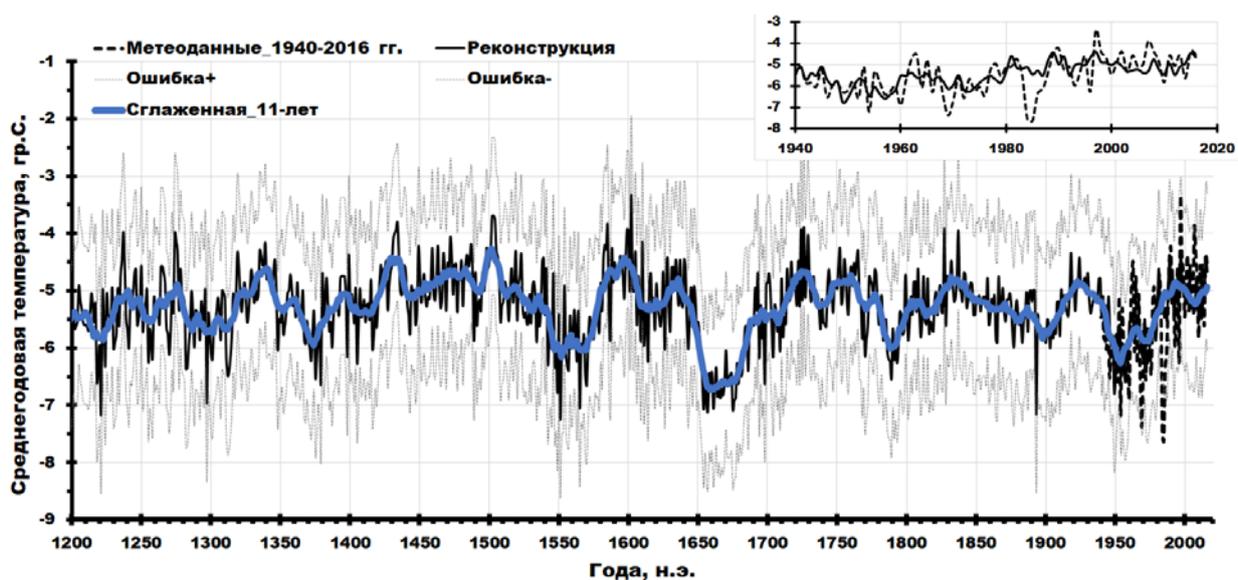


Рис. 6.1.11: Реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона за последние 800 лет с годовым временным разрешением по данным сканирующего микро РФА-СИ донных осадков озера Кучерлинское. Вверху справа – сравнение реконструкции (трансферной функции) с данными метеонаблюдений на интервале обучения (1940-2016 гг.).

### Взаимосвязь орбитальных и тысячелетних изменений среды и гидрологии Берингова моря и субарктики, Тихого океана за последние два цикла оледенение-межледниковье при глобальных вариациях климата

В 2019-2020 годах на станции коллективного пользования ВЭПП-3 были проведены работы по исследованию химического состава донных отложений Берингово моря. Были исследованы измельченные спрессованные в таблетки, навеской 30 мг, донные отложения Берингово моря, при энергиях первичного излучения 23 кэВ. Получены распределения химических элементов от К до Мо по К-сериям, на интервале 0-600 см. Выполнено более 600 измерений. Время экспозиции на точку составляло порядка 100 сек при загрузке спектрометрического тракта порядка 10 кГц. Что позволило добиться точности в расчетах определения абсолютных концентрации химических элементов порядка 1-10 ppm. Также было выполнено сканирование донных отложений на отдельных интервалах осадка.

Целью работы является построение нескольких обобщенных схем условий среды и климата Берингова моря и субарктики Тихого океана для характерных временных срезов последних двух циклов оледенений-межледниковий: максимума последнего оледенения, Морской Изотопной стадии 4 (МИС 4), последнего межледниковья (МИС 5.5), максимума предпоследнего оледенения (Хейнрих событие 11, МИС 6.2) и по возможности теплой подстадии МИС 6.5.

В результате работ планируется установить общие характерные закономерности орбитальных и тысячелетних изменений среды, климата и вентиляции Берингова моря и субарктики Пацифики, происходивших при глобальных изменениях климата

за последние два цикла оледенение-межледниковье (190 тысяч лет назад). А также проследить взаимное влияние параметров среды и климата между субарктикой Тихого океана и Беринговым морем за последние 190 тысяч лет;

Эксперимент направлен на изучение орбитальных и быстрых изменений климата, среды и вентиляции промежуточных и глубинных вод северной части Тихого океана и Берингова моря за последние два цикла оледенение-межледниковье и выяснении роли этого региона в изменениях палеоокеанологии Мирового океана и взаимодействии вод и атмосферы, которые происходили при орбитальных и тысячелетних изменениях климата. Значительная часть этого региона входит в юрисдикцию России и в целом регион играет важную роль в экономической и социальной жизни РФ, с большой перспективой на будущее. Это определяет ценность исследования палеоокеанологии этого региона для понимания истории его развития и улучшения прогноза изменений его среды и климата в будущем.

Данная работа осуществляется в рамках проекта «Взаимосвязь орбитальных и тысячелетних изменений среды и гидрологии Берингова моря и субарктики, Тихого океана за последние два цикла оледенение-межледниковье при глобальных вариациях климата» № 19-05-00663.

**Работы в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН П.1 (проекты № 0368-2018-0014, 0304-2018-0004) и Подпрограммы 4 «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Арктике и Антарктике» государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012 - 2020 годы**

Проблема исследований природной среды Арктики относится к числу приоритетных и включена в

стратегические направления научно-технологического развития Российской Федерации. Одним из компонентов природной среды является атмосферный аэрозоль, который играет важную роль в процессах радиационных переносов и массообмена химическими соединениями в системе «континент-атмосфера-океан». Вследствие высокой изменчивости и многообразия состава аэрозоля (дисперсного, химического) сохраняется неопределенность его характеристик в различных регионах и, особенно в труднодоступных полярных районах, отличающихся суровым климатом.

Представлены результаты первого цикла измерений элементного состава аэрозоля на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база Мыс Баранова» в сравнении с данными параллельных измерений в п. Ключи Новосибирской области (Западная Сибирь). Стационар «Мыс Баранова» (79°16' с.ш., 101°45' в.д.) расположен в северной части

острова Большевик, входящего в состав архипелага Северная Земля.

На рис 6.1.12 приведены средние концентрации элементов для проб, отобранных на «Мысе Баранова» и п. Ключи (апрель 2018). Из этих данных следует, что содержание элементов в аэрозоле обоих районов расположено в следующей последовательности убывания: высокие концентрации (более 10 нг/м<sup>3</sup> для «Мыса Баранова» и более 100 нг/м<sup>3</sup> для п. Ключи) у Ca, K, Fe, Br, Zn и Ti; средние концентрации (< 10 нг/м<sup>3</sup> и < 100 нг/м<sup>3</sup>, соответственно) у Cr, Ni, Cu, Mn, Pb, Sr; и самые низкие (< 1 нг/м<sup>3</sup>) – у элементов V, Co, Se, Rb, Zr, Mo, Nb и Y. То есть, при схожем характере распределения, концентрации всех элементов в арктическом районе примерно на порядок ниже. Исключение составляют данные по Br, концентрация которого на «Мыса Баранова» оказалась в 6 раз больше, чем п. Ключи.

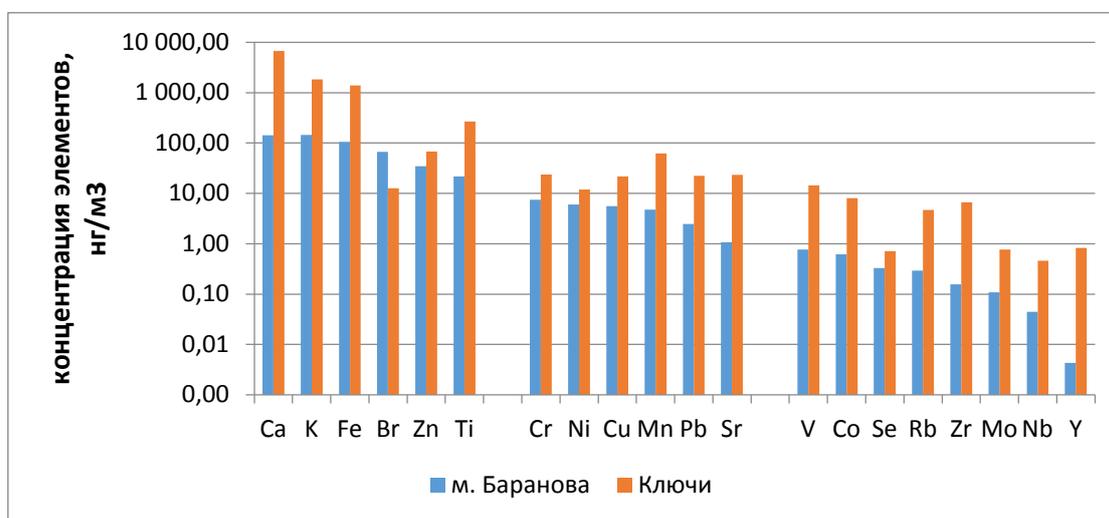


Рис. 6.1.12: Средний элементный состав аэрозоля на «Мысе Баранова» и в п. Ключи.

#### 6.1.4. Канал СИ №4 накопителя электронов ВЭПП-3. Станция «Дифрактометрия в жестком рентгеновском диапазоне на ВЭПП-3».

##### Исследование локального фазового состава и морфологии лазерных сварных соединений на основе титановых и алюминиевых сплавов авиационного назначения методами дифракции жесткого синхротронного излучения

Эксперименты выполнялись сотрудниками Института химии твердого тела и механохимии СО РАН совместно с сотрудниками Института теоретической и прикладной механики СО РАН.

В авиакосмической промышленности при изготовлении целого ряда ответственных изделий часто бывает необходимо применять соединения разнородных материалов: подобные задачи возникают при изготовлении несущих алюминиевых элементов фюзеляжа, крыльев самолетов. В последнее время в авиастроении возникает потребность в соединении

алюминиевых сплавов с титановыми сплавами с помощью лазерной сварки. Лазерная сварка является одним из наиболее перспективных методов в сравнении с другими методами сварки разнородных материалов, данный метод не требует применения дополнительных материалов, специальной обработки кромок, а также обладает высокой скоростью сварки. Данный метод, за счет малого диаметра сфокусированного излучения, позволяет получать тонкую диффузионную зону, которой образуются интерметаллидные соединения, варьировать ширину данной зоны за счет перемещения лазерного излучения и тем самым изменять механические характеристики получаемых разнородных сварных соединений.

Задача сварки разнородных материалов технологически достаточна, сложна, в первую очередь, из-за различий в химических и физических свойствах: у свариваемых материалов отличаются температура плавления, плотность, теплопроводность. Так, разница в химическом составе может привести к появлению нежелательных соединений в ходе сварки и измене-

нию свойств материалов в зоне шва, а различие в теплофизических свойствах приводит к неравномерному нагреву материалов, что является причиной возникновения остаточных термических напряжений. Все это ухудшает механические характеристики сварных соединений из разнородных материалов.

Целью работы было исследование фазового состава и морфологии различных зон сварного соединения между сплавами на основе алюминия и титана. Если центр пучка лазерного излучения перемещается вдоль границы соединяемых сплавов, то в первую очередь произойдет плавление алюминия (температура плавления алюминия 665°C, температура плавления титана 1670°C). В результате происходит обогащение жидкой фазы алюминием. Скорость кристаллизации из жидкой фазы уменьшится и кристаллиты будут иметь больший размер, что приведет к ухудшению прочностных характеристик.

Для того, чтобы добиться качественного сварного соединения необходимо понять, какие процессы происходят в зоне сварного шва. Исследования фазового состава и морфологии сварных швов производилось на экспериментальной станции 4-го канала СИ из накопителя ВЭПП-3. Использовалась методика съемки на просвет. Тонкий пучок (0,1 мм по ширине шва и 0,4 мм по длине шва) монохроматического синхротронного излучения проходит сквозь сварное соединение и дает двухмерную дифракционную картину, регистрируемую плоским двухкоординатным детектором. Условно зона сварного соединения была разделена на 7 участков: 1 и 7 участки металла А и В не подвергшиеся плавлению; участки 2 и 6 находящиеся на краю зоны плавления; участок 4 находящийся по центру зоны плавления; участки 3 и 5 расположенные между центром и краями зоны плавления. Результаты дифракционных исследований представлены на рис.6.1.13.

Как видно из дифрактограмм, при смещении зоны исследования от алюминиевого сплава к титановому происходит изменение фазового состава присутствующих в сплаве интерметаллидов. Сначала фиксируется фаза  $AlTi$ , затем  $AlTi_2$ , ближе к сплаву титана  $AlTi_3$ .

Отметим, что дифрактограммы при смещении луча на 1 мм в сторону титана показали кардинальное изменение картина распределения фазового состава. При смещении центра лазерного пучка на 1 мм от стыка титанового и алюминиевое сплавов приводит к плавлению, в первую очередь к плавлению титанового сплава, а затем за счет теплопередачи алюминиевого сплава. Наблюдались интенсивные фазы  $Al$  и  $Ti$ , а также фиксируется присутствие в малом количестве интерметаллических фаз  $AlTi$  и  $AlTi_2$ , что обусловлено, по видимому, малым вкладом узкой зоны интерметаллидов (порядка 1 мкм) в широкую область регистрации около 100 мкм, определяемую размерами пучка. Фазы  $AlTi$  и  $AlTi_2$ , вероятно, либо сильно деформированными, либо высокодисперсными. Об этом свидетельствует значительное уширение дифракционных максимумов.

Использование данного технологического приема позволило повысить прочность такого сварного соединения в 2,25 раза до 168 МПа.

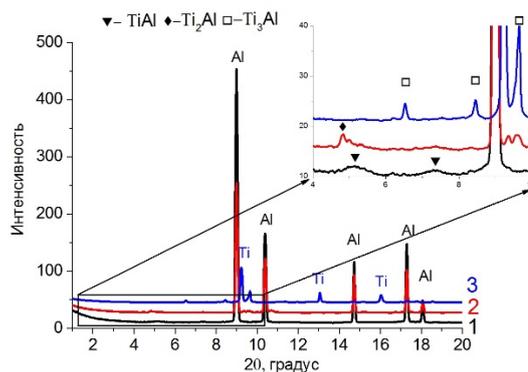


Рис. 6.1.13: Дифрактограммы, полученные при положении центра лазерного излучения на границе свариваемых материалов.

### Дифракционные исследования кристаллизации газовых гидратов

Эксперименты выполнялись сотрудниками Института неорганической химии СО РАН совместно с Институтом теплофизики УрО РАН (г.Екатеринбург).

Целью экспериментов было дифракционное изучение процессов кристаллизации газовых гидратов из аморфных агломератов газа и воды при постепенном повышении температуры. Исходные образцы получали вакуумным напылением воды и газа (с разными скоростями потоков) на охлаждаемую жидким азотом медную пластину. Далее полученный образец извлекался и до момента проведения дифракционного эксперимента хранился в среде жидкого азота. Отметим, что во всех образцах происходила частичная кристаллизация льда еще в ходе извлечения из вакуумной камеры. Фактически, изучался второй этап кристаллизации – образование гидрата из метастабильного льда и окклюдированного аморфного газа. Проведено три серии экспериментов.

#### Эксперимент 1.

Одновременное сверхзвуковое осаждение водяного пара и дозвуковое метана на охлаждаемую жидким азотом подложку.

Объем осажденной воды, мл	0,55
Время осаждения, мин	150
Расход газа, mln/min	0,7
Газосодержание заданное (по расходу), % по массе	12
Вакуум при осаждении, мм рт ст	5 - 30*10 <sup>-4</sup>

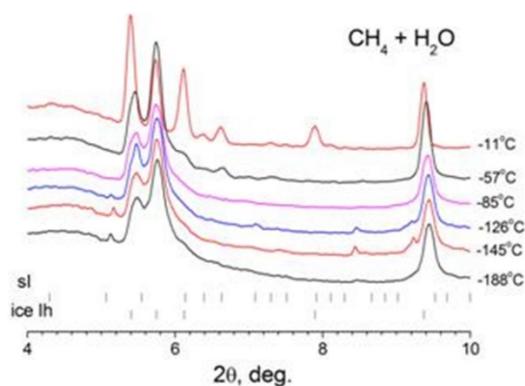


Рис. 6.1.14: Эксперимент 1.

При самой низкой температуре (-188°C) в образце присутствует только лед, промежуточный между льдами Ic и Ih. При повышении температуры до -120°C на двухмерной дифрактограмме появляется небольшое число сильных точечных рефлексов, которые на представленной на рисунке интегрированной порошковой дифрактограмме видны как слабые рефлексы. По всей вероятности, в образце образуется небольшое количество крупных монокристаллов, которые случайным образом дают небольшое число сильных отражений. При температурах -100 - -60°C эти рефлексы исчезают. Рефлексы льда до этого момента никак не изменяются. При температурах выше -60°C начинается процесс отжига дефектного льда в типичный лед Ih. При этом на дифрактограмме появляется несколько четких рефлексов, которые можно приписать гидрату метана кубической структуры I. При -11°C этот гидрат еще существует, что возможно только за счет эффекта самоконсервации.

### Эксперимент 2.

Одновременное сверхзвуковое осаждение водяного пара и дозвуковое CO<sub>2</sub> на охлаждаемую жидким азотом подложку.

Объем осажденной воды, мл	0,4
Время осаждения, мин	92
Расход газа (по CH <sub>4</sub> ), mln/min	0,9
Газосодержание заданное (по расходу), % по массе	28,2
Вакуум при осаждении, мм рт ст	2*10 <sup>-5</sup>

Низкая интенсивность пиков обусловлена малым количеством загруженного образца. Картина превращений соответствует эксперименту 1. При низких температурах на дифрактограмме видны кольца льда и некоторое количество сильных рефлексов (монокристаллы льда). Лед – «промежуточный» между Ic и Ih. Выше -50° начинается отжиг льда до льда Ih, при этом на какое-то время появляется слабый рефлекс (кольцо на двухмерной дифрактограмме, указан стрелкой на дифрактограмме при -24°C), принадлежащий гидрату. При повышении температуры гидрат исчезает.

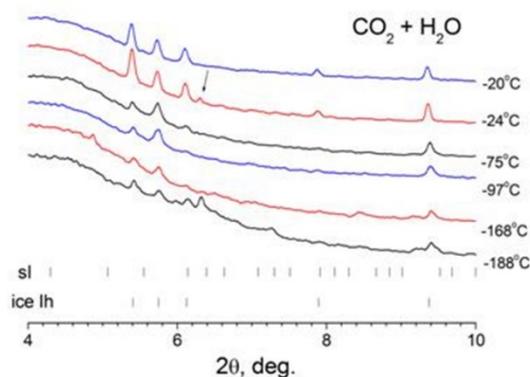


Рис. 6.1.15: Эксперимент 2.

### Эксперимент 3.

Одновременное дозвуковое осаждение водяного пара и пропана на охлаждаемую жидким азотом подложку.

Объем осажденной воды, мл	0,95
Время осаждения воды, мин	40
Время осаждения газа, мин	40
Расход газа (по CH <sub>4</sub> ), mln/min	4,0
Газосодержание заданное (по расходу), % по массе	13,3
Вакуум при осаждении, мм рт ст	4 - 7*10 <sup>-5</sup>

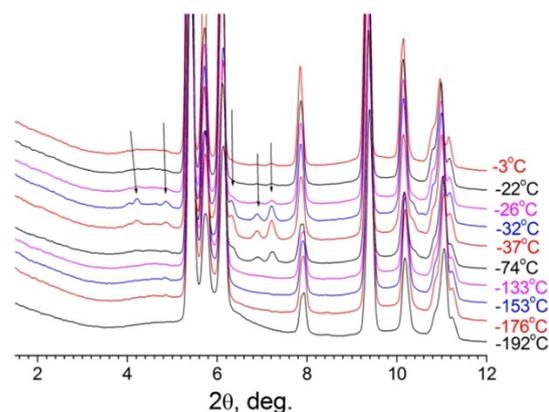


Рис. 6.1.16: Эксперимент 3.

Картина превращений хорошо соответствует эксперименту 1. При температурах до -73°C в образце присутствует лед Ih. При -74°C, кроме рефлексов льда, появляются пять рефлексов гидрата кубической структуры II (которая и ожидается для гидрата пропана), они указаны стрелками на рисунке. Соотношение интенсивностей самых сильных рефлексов льда и гидрата примерно 34. Выше -26°C гидрат в основном разложился.

### Взаимодействие кристалл-флюид: поведение стильбита при высоком давлении

Эксперименты выполнялись сотрудниками Института геологии и минералогии СО РАН.

В рамках изучения структурных механизмов адаптации микропористых силикатов к повышению давления проведено исследование сжимаемости и структурной эволюции стильбита Ca<sub>4.00</sub>Na<sub>1.47</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>33</sub> [Al<sub>9.47</sub>Si<sub>26.53</sub>O<sub>72</sub>], природного цео-

лита со слоистым мотивом каркаса. Применены методы порошковой рентгеновской дифрактометрии (синхротронное излучение,  $\lambda=0,3685 \text{ \AA}$ ) и монокристалльного рентгеноструктурного анализа (MoK $\alpha$ ) в сочетании с ячейками высокого давления с алмазными наковальнями. При сжатии в проникающей водосодержащей среде на начальном этапе (ниже 1 ГПа) эффект индуцированной давлением гидратации проявляется в дозаселении частично вакантных позиций H<sub>2</sub>O; суммарное содержание H<sub>2</sub>O увеличивается на 3,2 молекулы на ф.е. (Рис. 6.1.17). Выше 1 ГПа происходит заселение вакантной при нормальных условиях позиции H<sub>2</sub>O, расположенной в канале вблизи центра 8-членного кольца (8mR[100]D) и не связанной с катионами. Выше 3 ГПа метрика элементарной ячейки становится триклинной, и с ростом давления искажение нарастает.

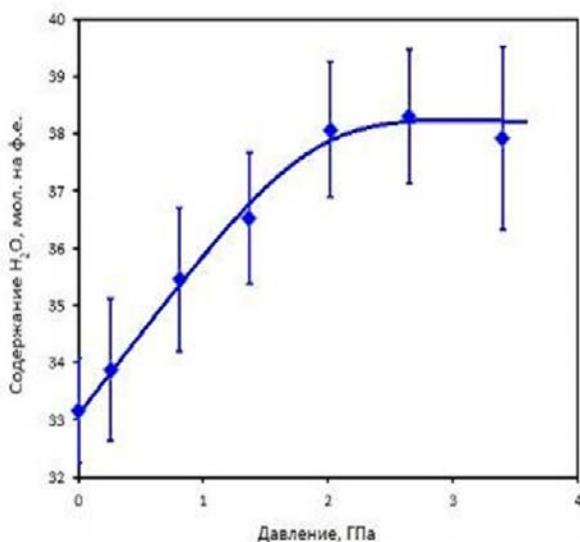


Рис. 6.1.17: Изменение содержания H<sub>2</sub>O в структуре стильбита при сжатии в проникающей среде.

Во всем исследованном интервале зависимость объема э.я. от давления близка к линейной. Интервал изменений углов T–O–T каркаса при повышении давления от атмосферного до 3.4 ГПа от  $-8,2^\circ$  до  $+8,3^\circ$  при среднем  $-2,6^\circ$ . Столь значительное изменение углов объясняется большой деформацией 4-членных колец SBU. В каркасе моноклинного стильбита присутствуют 10-членные кольца двух типов; апертура одного из них значительно увеличивается с ростом давления, а второго – столь же значительно уменьшается (кольцо становится изометричным). Эллиптичность кольца 8mR[001]C во всем интервале давления практически постоянна, тогда как кольцо 8mR[001]D выше 1 ГПа становится более изометричным, что, очевидно, связано с заселением новой водной позиции.

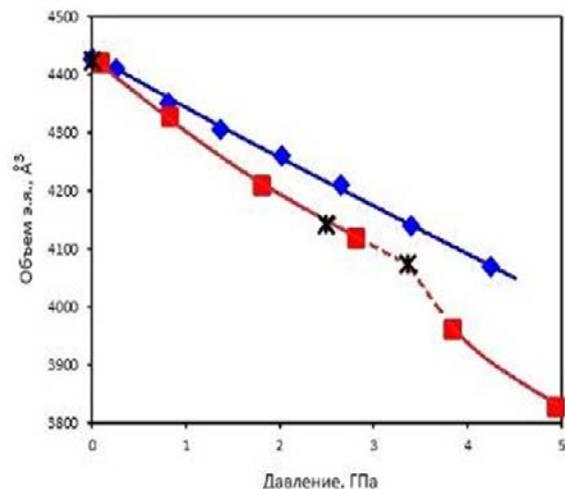


Рис. 6.1.18: Изменение объема э.я. стильбита при сжатии в водосодержащей (синие ромбы) и безводной (красные квадраты) средах. Звездочками обозначены значения, измеренные при разгрузке стильбита, сжатого в парафине.

Сжимаемость стильбита в непроникающей среде (жидкий парафин) ожидаемо выше его сжимаемости в проникающей среде но ниже 3 ГПа она значительно выше лишь вдоль а-оси. Изменения в координационном окружении катионов сводится к небольшим смещениям водных позиций и некоторому перераспределению их заселенности. Интересно, что зависимости эллиптичности 10-членных колец от давления практически одинаковы для двух сред. Этого нельзя сказать о 8-членных кольцах. Так, при сжатии в парафине наблюдается небольшое, но отчетливое увеличение эллиптичности обоих колец. Выше 3 ГПа структура резко сжимается вдоль b-оси; симметрия структуры понижается до триклинной.

Эксперименты на обратном ходе, при понижении давления, показали полную обратимость структурных изменений.

#### 6.1.5. Канал СИ №0в накопителя электронов ВЭПП-3. Станция «Взрыв – субмикронная диагностика на ВЭПП-3».

##### Комплексное исследование динамики пылевого облака в газовых средах методами СИ, лазерным комплексом PDV и пьезодатчиками

При выходе сильной ударной волны на свободную поверхность металлов, с поверхности происходит выброс потока микрочастиц («облака пыли»). Впервые проведена синхронная регистрация потоков микрочастиц с поверхности олова с помощью самых современных методик (рентгенографии СИ, лазерной системы PDV и пьезодатчиков). Измерения проводились при разных шероховатостях (Rz 4-80) и при разных начальных давлениях (от 0 до 8 атм) в воздухе и в гелии. Работа выполнена совместно с ИГиЛ СО РАН, ИХТТИМ СО РАН (Новосибирск), ВНИИЭФ (Саров), ВНИИТФ (Снежинск).

В последние годы началось новая волна интенсивных исследований процессов образования пылевых частиц при ударном воздействии на материал. Этому способствовало качественное улучшение (развитие) экспериментальных методик, таких как лазерные (VISAR, PDV - Photon Doppler Velocimetry), оптических, использование пьезодатчиков (кварц, пьезокерамика), рентгенография. Появились принципиально новые методы исследования с использованием ускорителей высоких энергий – протонотрофия и синхротронное излучение (СИ). Возросший интерес к этому явлению также связан с влиянием выброса «пыли» на результаты измерений движения пластин с использованием теневых, электроконтактных и лазерных методов регистрации движения, а также важности в проблеме инерциального термоядерного синтеза при сжатии плазмы.

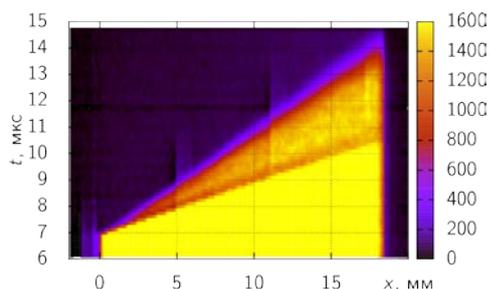


Рис. 6.1.19: Динамика интенсивности СИ, измеренная детектором DIMEX-G. Черная область – пучок СИ закрыт движущимся образцом. Желтая область – открытый пучок СИ. Красно-желтая область – перед образцом летит струя пыли с более высокой скоростью.

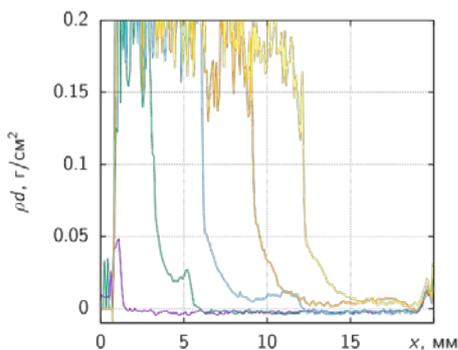


Рис. 6.1.20: Динамика распределений массы пыли. Показан каждый десятый кадр (через 1,24 мкс.) (разрез Рис.6.1.19 по горизонтали).

Целью работы являлось измерение динамики распределения массы вдоль облака пыли при ударном нагружении пластины из олова. Начальная степень шероховатости варьировалась от Rz 4 до Rz 80. Измерения массы облака пыли проводилось в вакууме, воздухе и в гелии с начальным давлением от 0 до 8 атм.

Полученные данные необходимы для численного моделирования процессов выброса микрочастиц и проектирования камер для сверхсильного сжатия газов. Особенностью работы является рекордная точность проведенных измерений, а также одно-

временная регистрация пылевого облака радиографией СИ с помощью детектора DIMEX-G, 4-канальной лазерной системой PDV, а также пьезо- и оптодатчиками. Синхронизация всех измерений (с точностью 0,5 нс) проводилась импульсами от детектора DIMEX-G.

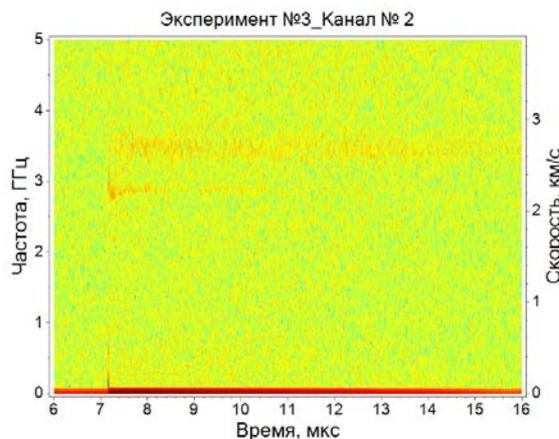


Рис. 6.1.21 Динамика скорости пылевого облака (PDV, Rz 5). Нижняя горизонтальная полоса – летящий образец (скорость ~2,2 км/с), верхняя горизонтальная полоса – струя пыли (скорость ~2,7 км/с).

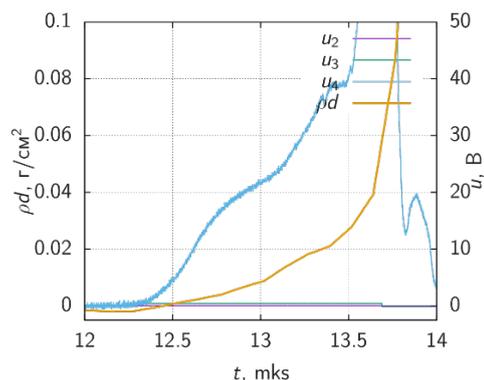


Рис. 6.1.22: Сравнение данных пьезодатчика с плотностью пылевого потока в области датчика. Сигнал с датчика приходит синхронно с повышением плотности, измеренной с помощью детектора DIMEX-G.

### 6.1.6. Канал СИ №7 накопителя электронов ВЭПП-3. Техническая станция «Стабилизация положения пучка СИ».

#### Исследование новых возможностей станции стабилизации положения пучков СИ на ВЭПП-3

Существующая станция стабилизации положения пучков СИ на ВЭПП-3 эксплуатируется длительное время и не однократно подвергалась модернизации. Она эффективно подавляет медленные (например, тепловые) дрейфы вертикального положения источника СИ по координате и по углу. Схема размещения станции показана на рисунке 6.1.23.

Схемы детекторной системы и быстрого корректора системы стабилизации пучка показаны на рис. 6.1.24. Датчиком положения пучка являлся детектор на основе рип-фотодиодов с электронным трактом обра-

ботки сигнала и электромеханической системой автоматической юстировки; в качестве быстрого корректора использовалась пара безжелезных катушек.

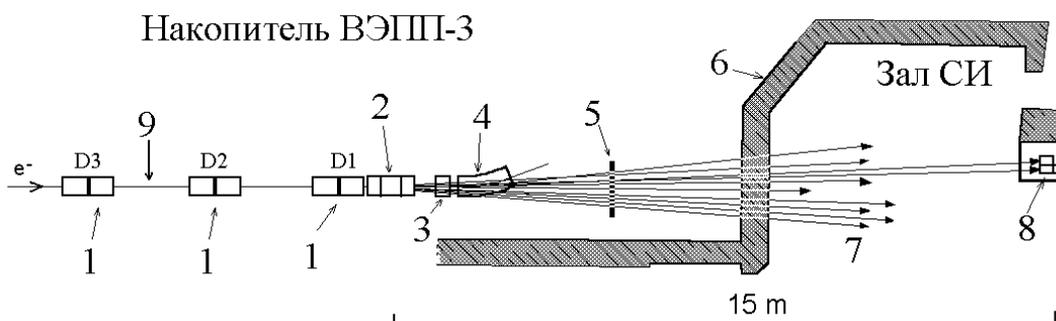


Рис. 6.1.23: Схематический вид участка накопителя ВЭПП-3 и бункера СИ. 1- дублеты магнитных линз, 2- вигглер (шифтер), 3- магнитная линза, 4- поворотный магнит, 5- формирователь пучков СИ, 6- радиационная защита, 7- каналы вывода СИ. 8- станция системы стабилизации СИ и дифференциальный детектор, 9- зона установки быстрого корректора.

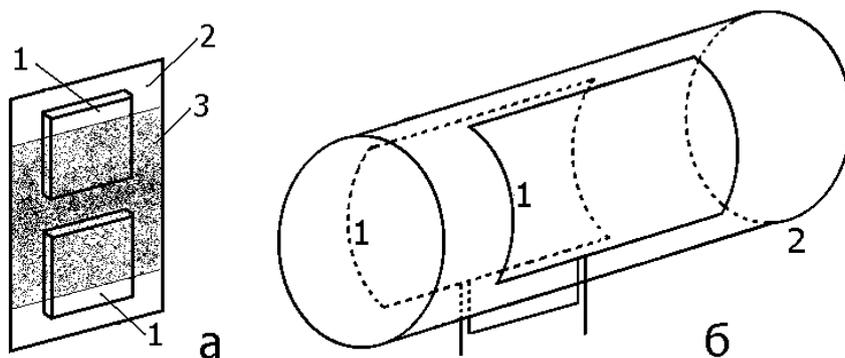


Рис. 6.1.24: Схема дифференциального детектора: пара рип-фотодиодов 1 установлена на общем основании 2 и облучается пучком СИ 3. б - Структура быстрого корректора: 1- две катушки седловой формы, 2- металлическая труба (вакуумная камера накопителя).

В 2019 году проводилось изучение возможностей системы для подавления, относительно быстрых колебаний пучка (прежде всего на частоте 50 Гц), в частности эксперименты по подавлению вертикальных осцилляций пучка синхротронного излучения накопителя ВЭПП-3 введением быстрой обратной связи. В экспериментах получено подавление осцилляций с частотой 50 Гц около 30 дБ, а мощной помехи на частоте 690 Гц – 25 дБ.

Участок усиленного зарегистрированного в отсутствии обратной связи сигнала (в полосе 3 кГц) приведен на рис. 6.1.25(а) и соответствует среднеквадратичному значению (скз) вертикального отклонения пучка несколько более 10 мкм.

Спектр этого сигнала дан на рисунке 6.1.25(в). Основными компонентами осцилляций являются гар-

моники и субгармоники частоты силовой сети 50 Гц; так же наблюдаются интенсивные спектральные линии в области 690-700 Гц, связанные, предположительно, со специфическими пульсациями на выходе источника питания поворотных магнитов накопителя. Компоненты спектра с уровнем ниже -50 дБ обусловлены квантовым шумом регистрируемого пучка СИ.

При замыкании петли обратной связи скз вертикальных колебаний пучка в районе станции стабилизации уменьшается до 0,7 мкм. Осциллограмма соответствующего сигнала приведена на рис. 6.1.25 (б), а его спектр – на рис. 6.1.25(г). Подавление интенсивных линий спектра осцилляций составляет примерно 33 дБ на частоте 25 Гц, 30 дБ на 50 и 100 Гц, 26 дБ на 300 и 690 Гц.

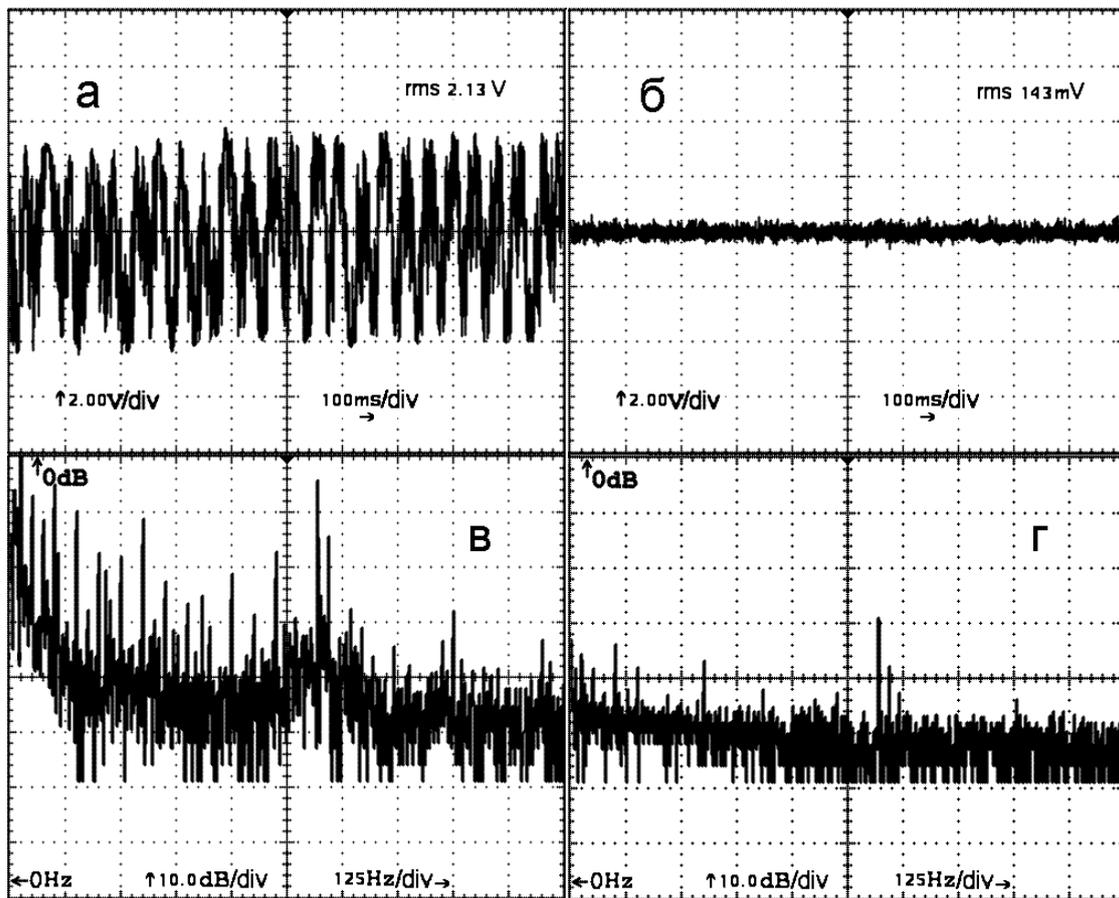


Рис. 6.1.25: Осциллограммы сигналов, соответствующих вертикальному отклонению пучка СИ (а, б), и их спектры (в, г) при разомкнутой (а, в) и замкнутой (б, г) обратной связи.

В эксперименте была показана возможность эффективного подавления вертикальных осцилляций и кратковременных нестабильностей положения пучка СИ накопителя ВЭПП-3 введением быстрой обратной связи.

Однако практическое применение существующей системы сталкивается с необходимостью устранения ряда ограничений.

Во-первых, чувствительный элемент системы регистрации является открытым. Его применение требует выпуска пучка СИ в атмосферу, что исключает длительное (штатное) применение данного детектора. Таким образом, для постоянной работы подобной системы требуется разработка соответствующего вакуумного объема для чувствительного элемента и механизма его перемещения.

Во-вторых, радиационная стойкость кремниевых фотодиодов недостаточна для длительной (несколько лет) работы в режиме прямой регистрации рентгеновского излучения. Как вариант, может рассматриваться детектор с быстрой сменой фотодиодов – т.к. стоимость примененных фотодиодов не высока, а их стойкость достаточна для работы системы в течение суток и более.

Однако предпочтительной является разработка дифференциального детектора также на основе фотодиодов, но с преобразованием рентгеновского излучения в свет быстрым сцинтиллятором; возможна разработка достаточно быстрых газовых детекторов

или детекторов с внешним рентгеновским фотоэффектом. Такие детекторы могли бы не только иметь необходимую радиационную стойкость, но и позволили бы поднять интенсивность регистрируемого излучения (снизив, тем самым, вклад квантового шума).

В-третьих, разработанная система обеспечивает подавление колебаний пучка СИ только по углу. Но в ряде приложений (рентгеновская томография, EXAFS-спектроскопия и т.п.) желательна также стабилизация пространственного положения источника.

Подавление колебаний пучка СИ и по углу, и по координате возможно при использовании двух разнесенных вдоль этого пучка детекторов и двух быстрых вертикальных корректоров орбиты электронов в накопителе.

#### 6.1.7. Канал СИ №8 накопителя электронов ВЭПП-3. Станция «EXAFS – спектроскопия на ВЭПП-3».

**XAFS исследование низкопроцентных золото-содержащих катализаторов процессов переработки продуктов ферментации возобновляемой биомассы**

Сегодня разнообразные гетерогенные каталитические системы на основе благородных металлов широко применяются для различных процессов переработки продуктов ферментации возобновляемой биомассы в нефтехимии с высокой добавленной

стоимостью и энергоносители. Золото долгое время не воспринималось всерьез как каталитический металл, до тех пор, пока Харута в 1989 году не показал, что частицы Au размером 2-5 нм проявляют высокую активность в низкотемпературном окислении CO. Позднее было установлено, что как золотые, так и биметаллические золотосодержащие наночастицы, являются эффективными катализаторами и в других реакциях: гидрирования, изомеризации, конверсии углеводородов и спиртов.

Ранее выполненные исследования показали, что модельные биметаллические системы с низким содержанием золота демонстрируют хорошую активность и селективность в процессах превращения продуктов биомассы: в эффективные энергоносители, углеводородные компоненты топлив, водород и основные субстраты нефтехимии. Таким образом, золотосодержащие гетерогенные каталитические системы зарекомендовали себя как весьма перспективные для производства широкого ряда углеводородов с высокой добавленной стоимостью, однако создание промышленных образцов таких катализаторов требует отработки методики формирования наночастиц металлов на поверхности носителя, которая невозможна без применения эффективных методов физико-химической характеристики. Представленная работа посвящена изучению особенностей локальной структуры и состояния активного компонента золотосодержащих наносистем на примере модельных Au, AuNi, AuCu наноструктурированных катализаторов, стабилизированных на оксидном носителе ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) с низким содержанием металлов (менее 0,2%), методом EXAFS спектроскопии.

Исходный катализатор  $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$  был получен ионным обменом. Катализаторы  $\text{AuNi}/\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{AuCu}/\text{Al}_2\text{O}_3$  были приготовлены пропиткой катализаторов  $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$  водным раствором нитратов никеля или меди. Далее полученные образцы катализаторов прокаливали на воздухе и восстанавливали в потоке  $\text{H}_2$ . Спектры EXAFS (Au-L<sub>3</sub>, Ni-K, Cu-K) края для всех исследованных образцов регистрировались на базе синхротронного источника ВЭПП-3 (СЦСТИ ИЯФ СО РАН, 8 канал) по методикам на пропускание (реперы) и по выходу флуоресценции (образцы катализаторов).

Показано, что в исследованных каталитических наносистемах рисунке 6.1.26,  $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AuNi}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AuCu}/\text{Al}_2\text{O}_3$  золото существует преимущественно в виде наноразмерной разупорядоченной металлической фазы. В образце  $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$  часть золота (не более 10%) присутствует в окисленной фазе, в биметаллических катализаторах введение второго металла приводит к практическому отсутствию данной фазы. Также влияние второго металла выражено в понижении значения координационных чисел для металлических расстояний Au-Au, обусловленном изменением размеров образованных наночастиц, по сравнению с таковыми для  $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$  катализатора. Показано, что в биметаллических катализаторах вследствие взаимодействия с носителем происходит образование никель- и медь-оксидных наноразмерных разупорядоченных структур отличных от массивных оксидов. Признаков образования чистых металлических фаз ( $\text{NiO}$ ,  $\text{CuO}$ ) или нано-

сплавов Au-(Ni, Cu) не обнаружено в пределах методической ошибки ~ 5%. Методом EXAFS спектроскопии получена новая информация об особенностях стабилизации металлов активного компонента золотосодержащих катализаторов, параметрах локальной атомной структуры, межатомных расстояниях и координационных числах, рассмотрены возможные варианты структурных моделей.

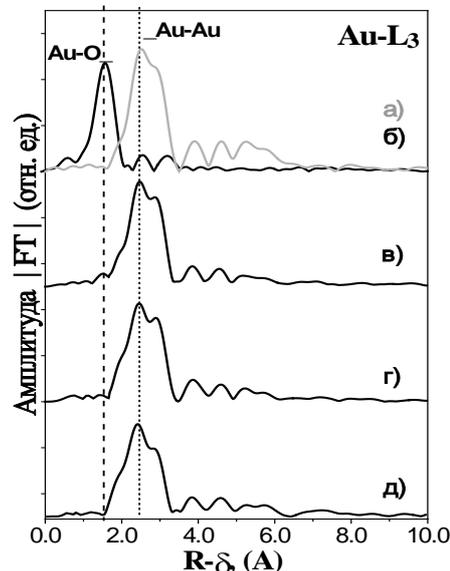


Рис. 6.1.26: Кривые PPA - функции радиального распределения атомов локального окружения золота для исследованных образцов: а)  $\text{Au}^0$  фольга, репер (\*0.6); б)  $\text{Au}(\text{OH})_3$  гидроксид, репер; в)  $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ; г)  $\text{AuNi}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ; д)  $\text{AuCu}/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

#### EXAFS исследование Y/C модельных нанокмпозитов

Технологии долговременного хранения отходов ядерного топлива и многие другие задачи промышленности, ядерной медицины, сегодня требуют разработки и создания новых функциональных материалов. Перспективными являются нанокремниевые структуры (фуллерены, углеродные нанотрубки и другие формы углерода). Их свойства – термостойкость, электрическая проводимость, теплопроводность, прочность – можно усилить при помощи внедрения металлов. В ЦКП СЦСТИ (ИЯФ СО РАН) методом EXAFS спектроскопии были проведены исследования образцов новых металл-углеродных нанокмпозитов Y/C, разработанных в ПИЯФ, (Гатчина, НИЦ «Курчатовский институт»).

Ключевой принцип изоляции радиоактивных отходов – наличие нескольких барьеров, сдерживающих распространение радионуклидов в окружающей среде. Один из способов первичной иммобилизации радиоактивных отходов – использование матриц металл-углеродных нанокмпозитов. Углерод химически инертен, способен выдерживать высокие температуры, его изотопы –  $\text{C}12$  и  $\text{C}13$  – имеют низкое сечение захвата нейтронов. Тесты на химическую, термическую и радиационную устойчивость пиролизатов, синтезированных из фракционированных высокоактивных отходов, показали результаты сопоставимые, а по химической устойчивости – пре-

восходящие используемые в промышленности боросиликатные и фосфатные стекла. Также данные материалы могут найти применение в ядерной медицине – в качестве контрастирующих агентов».

Существуют различные традиционные способы создания металл-углеродных наноконкомпозитов, то есть введения в углеродную матрицу атомов различных металлов. Разработана эффективная (с высоким выходом синтеза и экономически более выгодная) технология, основанная на пиролизе (термическом разложении в бескислородной среде) соединений-предшественников (прекурсоров) молекул дифталоцианинов металлов и последующем их пиролизе. В работе, в качестве прекурсоров используются металлоорганические соединения иттрия.

Исследования локальной структуры образцов ПИЯФ проводились методом EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) спектроскопии на базе синхротронного источника ВЭПП-3 (СЦСТИ ИЯФ СО РАН, 8 канал). Установлено, что в зависимости от температуры пиролиза иттрий может стабилизироваться в различных формах – в виде атомарно-диспергированного иттрия, иттриевых кластеров и наночастиц. Наличие различных форм и их соотношение обуславливает функциональные свойства синтезированного наноконкомпозита. Так в высокотемпературных образцах (выше 1100 С) Y находится в виде нитрида иттрия и наночастиц металла, тогда как в низкотемпературных образцах иттрий существует преимущественно в диспергированных формах. Также показано наличие коротких прочных связей металл-углерод, которые жестко фиксируют кластеры иттрия в углеродной матрице».

Результаты EXAFS спектроскопии, рис. 6.1.27, хорошо согласуются с данными, полученными методами просвечивающей электронной и атомно-силовой микроскопии рис. 6.1.28, малоуглового рассеяния нейтронов, РФЭС, рентгеновской дифракции, и дополняют знания об изучаемых системах уникальными сведениями о локальной структуре образцов, параметрах ближнего окружения атомов.

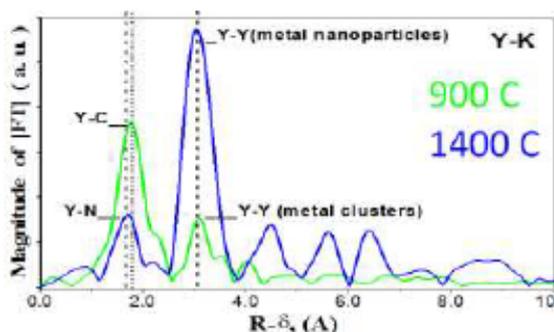


Рис. 6.1.27: Данные EXAFS - функции радиального распределения атомов локального окружения иттрия образцов наноконкомпозитов YCx: 1) 900°C, пиролиз-1 ч), 2) 1400°C, пиролиз-2ч.

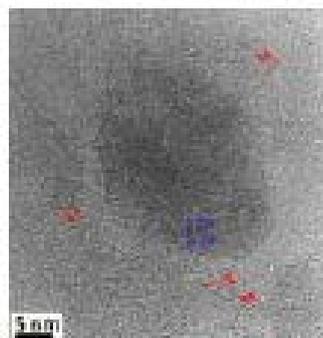
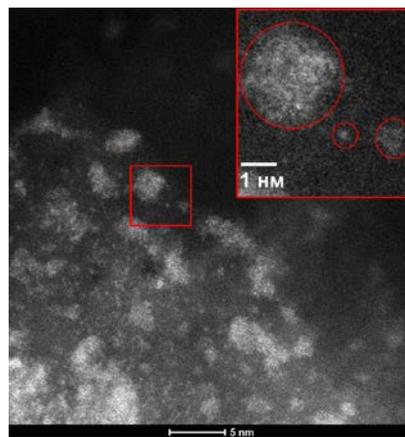


Рис. 6.1.28: Данные ЭМ: 1) образец YCx (900°C, пиролиз-1ч), показано неоднородное распределение Y-кластеров в углеродной матрице. 2) образец YCx (1400°C,пиролиз-2ч), наночастица Y.

#### XAFS исследование перспективных никелевых катализаторов на пористом углероде для процессов получения водорода из муравьиной кислоты.

В настоящее время водород является одним из наиболее перспективных экологически чистых источников энергии, который может заменить природный газ или нефть. Одно из главных достоинств использования водорода состоит в том, что он может быть произведен из возобновляемых источников. В то же время использование водорода сопряжено с трудностями, связанными с его хранением и транспортировкой. Вот почему производство водорода из различных органических соединений с относительно высоким содержанием водорода является современной тенденцией в катализе. Муравьиная кислота представляет собой жидкий органический водородный носитель, содержащий 4,4 мас.% водорода, который может быть сравнительно легко выделен с использованием некоторых катализаторов. Наиболее эффективные катализаторы для получения водорода из муравьиной кислоты основаны на палладию. Однако благородные металлы дороги, и это является причиной поиска более дешевых катализаторов.

Никель способен образовывать единичные атомы Ni (катионы) на поверхности легированного азотом углерода, которые могут быть активными центрами в реакции разложения муравьиной кислоты.

Пористые углеродные носители были синтезированы с использованием метода химического

осаждения из паровой фазы (CVD). Горизонтальный трубчатый кварцевый реактор был откачан, заполнен аргоном и нагрет до необходимой температуры. Тартрат кальция, легированный Ni (0,5 ат.%), помещали в горячую зону реактора на 420 с для получения темплатных частиц. После этого пары ацетонитрила, взятые в качестве источника углеродистых материалов легированных азотом, или этанол, используемый в качестве материала не содержащего азот, подавали в течение 0,5 ч. Продукт выдерживали в растворе HCl в течение 24 ч, промывали дистиллированной водой и сушили в печи в течение часа при 373 К. Синтез проводили при температуре 1073 К и получили образцы: CN-1073 и C-1073, где «CN» и «C» указывают на наличие / отсутствие атомов азота в структуре, 1073 - температура синтеза.

Образцы C-1073 и CN-1073 были исследованы методом EXAFS спектроскопии. Ni K спектры поглощения были получены на 8 канале источника ВЭПП-3 в СЦСТИ ИЯФ СО РАН. Режим работы источника во время измерения: Энергия электронов - 2ГэВ, ток - 70 - 140 мА. Спектры измерялись в области 800 эВ выше Ni K края поглощения при комнатной температуре в режиме флуоресценции. В качестве реперных образцов использовали никелевую фольгу, оксид никеля (NiO) и фталоцианин никеля (Ni(Pc)).

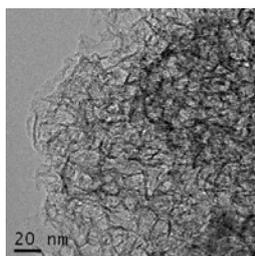


Рис. 6.1.29: а – ПЭМ изображения катализатора Ni / CN-1073.

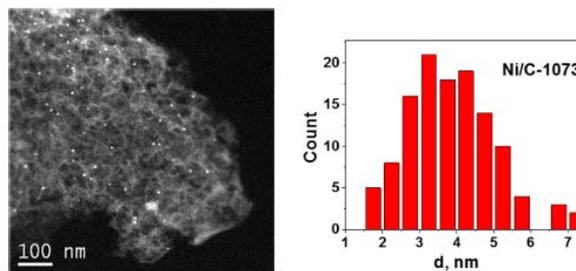


Рис. 6.1.29: б – ПЭМ изображение катализатора Ni / C-1073 и распределения частиц Ni по размерам для этого образца.

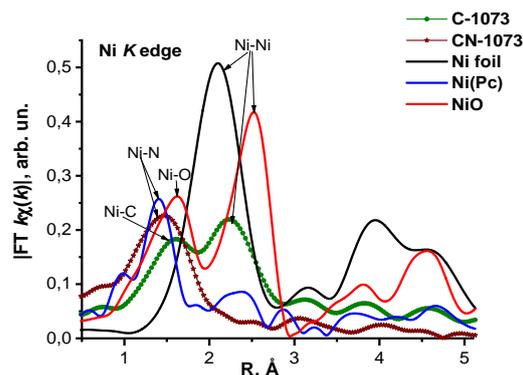


Рис. 6.1.30: Модули Фурье преобразования экспериментальных спектров образцов и реперных соединений.

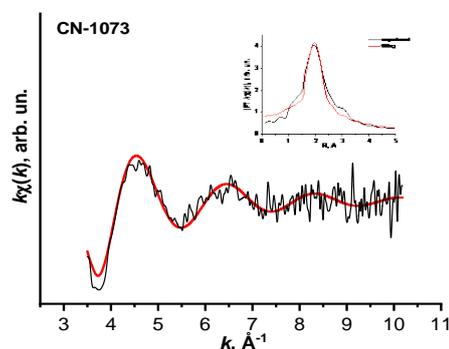


Рис. 6.1.31: Экспериментальные  $k\chi(k)$  Ni K (черная линия) и модельные (красная линия) EXAFS спектры образца CN-1073 и их модули Фурье преобразования (внутренний рисунок).

Таблица 1. Данные моделирования спектров EXAFS образцов C-1073 и CN-1073

Sample	Shell	N	R (Å)	$2\sigma^{2*}10^2$ (Å <sup>2</sup> )	$F_{EXAFS}$
C-1073	Ni-C	4,6±0,4	2,12±0,01	1,1±0,7	4,3
	Ni-Ni	5,4±0,8	2,51±0,01	2,0±0,5	
CN-1073	Ni-N	4,5±0,5	2,02±0,02	1,1±0,7	4,8

Для образца CN-1073 наблюдается только одна сфера окружения Ni-N (рис. 6.1.30-31), что свидетельствует о малом размере частиц (возможно одномомный Ni). При моделировании спектров EXAFS наблюдается уменьшение расстояния Ni-N (2.02 Å) в образце CN-1073 (аналогично расстоянию Ni-N в

репере Ni(Pc) – 1,9 Å) по сравнению с расстояние Ni-C в образце C-1073. В образце C-1073 частицы никеля более крупные (по данным ПЭМ средний размер частиц составляет ~ 4 нм), хорошо наблюдается вторая сфера окружения, соответствующая рассеянию на металлическом никеле (рис. 6.1.31).

## EXAFS исследование перспективных никелевых катализаторов на основе слоистых двойных гидроксидов

Смешанные оксиды состава  $M2+M3+O_x$  используются в качестве катализаторов и носителей неокислотного типа, поскольку обладают умеренной и легко регулируемой основностью, стабильностью при окислительной регенерации и способностью обеспечивать высокую дисперсность нанесенного активного металла. Основные свойства поверхности смешанных оксидов и их каталитические свойства зависят от химической композиции, метода приготовления и структуры гидроксидных предшественников - слоистых двойных гидроксидов (СДГ) состава  $M2+1-xM3+x(OH)_2[(An^-)_x/n \cdot mH_2O]$ , где  $M2+$  и  $M3+$  - катионы,  $An^-$  - анион. Наиболее широко применяемой среди СДГ является алюмомагниева система. Введение в структуру СДГ катионов с окислительными или восстановительными свойствами открывает перспективы получения новых бифункциональных катализаторов. Так, в качестве  $M2+$  могут быть использованы катионы переходных металлов, например, Ni.

Спектры поглощения (EXAFS) NiK получены в стандартном режиме «на просвет образца» на канале 8 (ЦСТИ, ИЯФ СО РАН) в энергетическом диапазоне 8200 – 9100 эВ. XANES, EXAFS спектры образцов и реперных соединений (образцов сравнения) и их модули Фурье преобразования (Функции радиального распределения (ФРП) без учета фазового сдвига) приведены на рисунках 6.1.32-33. На рисунках образцы объединялись по схожести структуры (форме спектров поглощения). Показано, что для образцов 1, 2 и особенно 3, интенсивность белой линии (характеризует плотность незанятых состояний, в данном случае 3d-состояний Ni) низкая, подобно металлическому Ni (черная кривая), что указывает на преобладание металлической фазы в образце, в то время как для образцов 4 и 5 интенсивность белой линии увеличивается в связи с высокой долей оксидной фазы.

Таблица 2.

№	Состав	Содержание металлов, % масс	Условия предобработки
1	NiAlO <sub>x</sub> Ni/Al=2	Ni=53 Al=12	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=600 °C
2	NiAlO <sub>x</sub> Ni/Al=3	Ni=62 Al=9	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=600 °C
3	NiAlO <sub>x</sub> Ni/Al=4	Ni=65 Al=7	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=600 °C
4	NiAlO <sub>x</sub> Ni/Al=2	Ni=53 Al=12	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=500 °C
5	NiAlO <sub>x</sub> Ni/Al=4	Ni=65 Al=7	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=500 °C
6	NiMgAlO <sub>x</sub> 1.5:1.5:1	Ni=39 Al=11 Mg=15	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=600 °C
7	NiMgAlO <sub>x</sub> 1:2:1	Ni=26 Al=11 Mg=19	T(O <sub>2</sub> )=550 °C T(H <sub>2</sub> )=600 °C
8	NiMgAlO <sub>x</sub>	Ni=13	T(O <sub>2</sub> )=550 °C

0.5: 2.5:1	Al=12 Mg=27	T(H <sub>2</sub> )=600 °C
------------	----------------	---------------------------

Моделирование проводили в программе EXCURVE для нефилтрованных спектров. Для спектров соединений 1 – 5 было проведено моделирование с учетом двухфазности образцов (разделили спектр образцов на составляющие: NiO и Ni металл). При моделировании спектров на фазовые составляющие параметры отдельных фаз (координационные числа и межатомные расстояния) задавались в соответствии с кристаллографическими данными. Расстояния затем «отпускались» в подгонке, а соотношение фаз задавалось параметром «x», который тоже варьировался. Результаты приведены в таблице 1. Для образцов 6 – 8 не удалось провести моделирование фазами. Вероятно, в этих образцах образуются частицы меньшего размера, чем в образцах 1 – 5, также наблюдается значительная нестехиометричность в системе. В данных образцах также присутствуют и окисленные, и металлические наночастицы никеля. Доля окисленного никеля в образцах 6 – 8 увеличивается от 6 к 8 образцу (это также видно по ФРП, нижний правый рисунок (уменьшается интенсивность второго максимума на расстоянии 2,2 Å)). А координационное число по кислороду в первой сфере окружения Ni увеличивается последовательно в ряду образцов 6, 7, 8 (см. табл. 2). Отметим, что уменьшение интенсивности второго максимума Ni-Ni может быть также связано с уменьшением размера частиц.

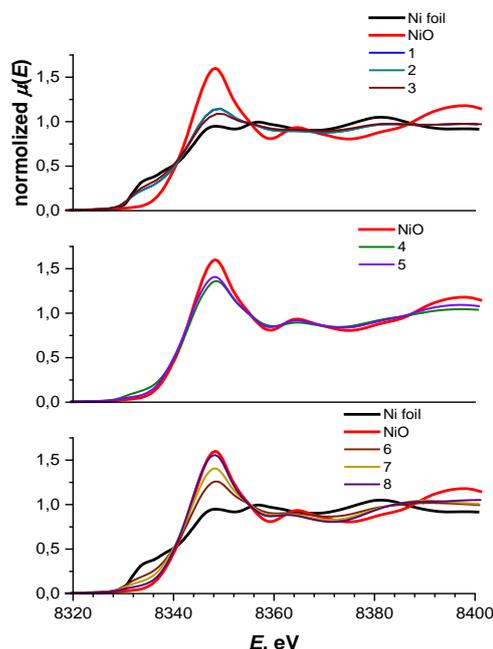


Рис. 6.1.32: Ni K-XANES спектры образцов 1 – 8 и реперных спектров: NiO (красная линия) и фольги Ni (черная линия).

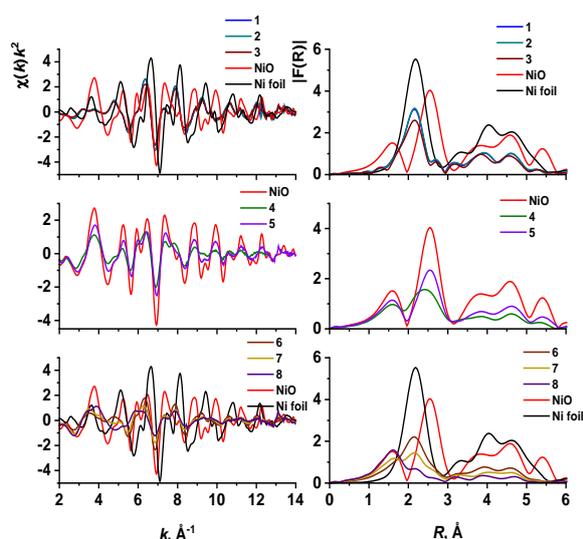


Рис. 6.1.33: В левой колонке – Ni K-EXAFS спектры образцов 1 - 8. Модули Фурье преобразования (без учета фазовых сдвигов) экспериментальных спектров образцов приведены в правой колонке. На рисунке приведены также реперные спектры соединений: NiO (красная линия), фольга Ni (черная линия).

Таблица 3. Моделирование Ni K спектров EXAFS двумя фазами для образцов 1 – 5. Точность при разложении на фазы ~ 10%.

образец	Фазы							
	NiO, %	Nimet, %	NiO			Ni metal		
			Сферы окр.	R, Å	N	Сферы окр.	R, Å	N
1	38	62	Ni-O	2,13	<b>6</b>	Ni-Ni	2,48	<b>12</b>
			Ni-Ni	2,99	<b>12</b>			
			Fit = 1,6					
2	35	65	Ni-O	2,13	<b>6</b>	Ni-Ni	2,48	<b>12</b>
			Ni-Ni	3,00	<b>12</b>			
			Fit = 1,1					
3	30	70	Ni-O	2,13	<b>6</b>	Ni-Ni	2,49	<b>12</b>
			Ni-Ni	3,00	<b>12</b>			
			Fit=2,3					
4	70	30	Ni-O	2,10	<b>6</b>	Ni-Ni	2,47	<b>12</b>
			Ni-Ni	2,97	<b>12</b>			
			Fit=2,9					
5	90	10	Ni-O	2,09	<b>6</b>	Ni-Ni	2,48	<b>12</b>
			Ni-Ni	2,97	<b>12</b>			
			Fit=2,6					

Из анализа данных следует, что по мере увеличения доли никеля в составе смешанного оксида увеличивается и доля восстановленного никеля в катализаторе (образцы 1 – 3). Уменьшение температуры восстановления резко увеличивается количество оксидной фазы никеля в катализаторах, при этом увеличение соотношения Ni/Al от 2 до 4 приводит к увеличению оксидной фазы от 70 до 90%.

Таблица 4. Моделирование Ni K спектров EXAFS образцов 6 – 8.

Желтым цветом выделены сферы, соответствующие оксидной структуре, оранжевым цветом – металлу.

Образец	Сфера окр.	R	N	Fit
6	Ni-O	2,08	3,1	1,8
	Ni-Ni	2,99	2,8	
	Ni-Ni	2,50	5,4	
7	Ni-O	2,08	4,6	2,1

	Ni-Ni	3,00	2,4	
	Ni-Ni	2,50	3,3	
8	Ni-O	2,06	5,1	3,4

Можно видеть малые значения по Ni-Ni как для оксидной структуры, так и металла, частицы видимо малого размера и дополнительно низкая степень упорядочения, вакансии во второй сфере оксида. Уменьшение координационного числа по кислороду в первой сфере оксида Ni-O связано еще и с тем, что образцы не однофазны. Заметим, что для образца 8 координационное число по кислороду Ni-O близко к стехиометрическому оксиду, хотя доля металлического никеля все-таки присутствует.

Введение магния в состав гидроксидных слоев оказывает влияние на дисперсность никелевых частиц.

### XANES исследование твердых растворов $Mn_{1-x}Yb_xS$ ( $x=0; 0,01; 0,05$ )

Поиск и исследование новых веществ, проявляющих свойства мультиферроиков и сильную взаимосвязь между магнитной, электронной и упругой подсистемами, проявляющихся в виде магнитоэлектрических и магниторезистивных эффектов в области комнатных температур, представляет интерес, как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Это позволит создавать эффективные сенсоры и элементную базу в микроэлектронике, в частности в спинтронике, в которой используются преимущества, как энергонезависимой магнитной памяти, так и быстродействующих электрических систем обработки информации. В спинтронике для преобразования электрического сигнала используется не только зарядовая степень свободы электрона, но также и спин, что позволяет создавать принципиально новые спинтронные устройства. К таким веществам относятся неупорядоченные системы, в которых наблюдаются переходы металл-диэлектрик (ПМД) и эффекты колоссального магнитосопротивления и магнетосопротивления. Перспективными материалами для решения этих задач служат магнитные полупроводники на основе сульфида марганца, легированного редкоземельными металлами  $Mn_{1-x}Ln_xS$  ( $Ln$  - ион лантаноидов). Катионное замещение ионами лантаноидов увеличивает значения коэффициента термо-ЭДС от 500 мкВ/К (для сульфида чистого марганца) до 18000 мкВ/К. Свойства твердых растворов можно

контролировать, варьируя тип и степень катионного замещения.

Образцы  $Mn_{1-x}Yb_xS$  ( $x = 0; 0,01; 0,05$ ) были синтезированы с использованием оксидов  $Mn_2O_3$  и  $Yb_2O_3$ . Полученный из продуктов термического разложения роданида аммония сероводород использовали в качестве источника агента сульфидирования. Реакционную смесь нагревали в интервале 600 - 800 °С.

Электронная и пространственная структура полученных соединений была исследована методом абсорбционной рентгеновской спектроскопии на базе синхротронного источника ВЭПП-3, СЦСТИ ИЯФ СО РАН, 8 канал. XANES спектры в области К-края марганца и L3-края иттербия были получены в стандартном режиме «на прохождение». Моделирование экспериментальных XANES спектров осуществлялось с использованием программного пакета FDMNES рис. 6.1.34.

В результате моделирования показано, что для всех твердых растворов валентное состояние атома марганца остается (2+). Хорошее согласие экспериментальных и модельных спектров иттербия свидетельствует о правильности модели катионного замещения  $Mn^{2+}$  на  $Yb^{3+}$  и появлением свободных 4f-электронов, делокализованных в зоне проводимости. Наличие 4f-электронов лантаноидов в  $Mn_{1-x}Yb_xS$  может быть источником функциональных свойств, таких как термоэлектричество и магнитосопротивление.

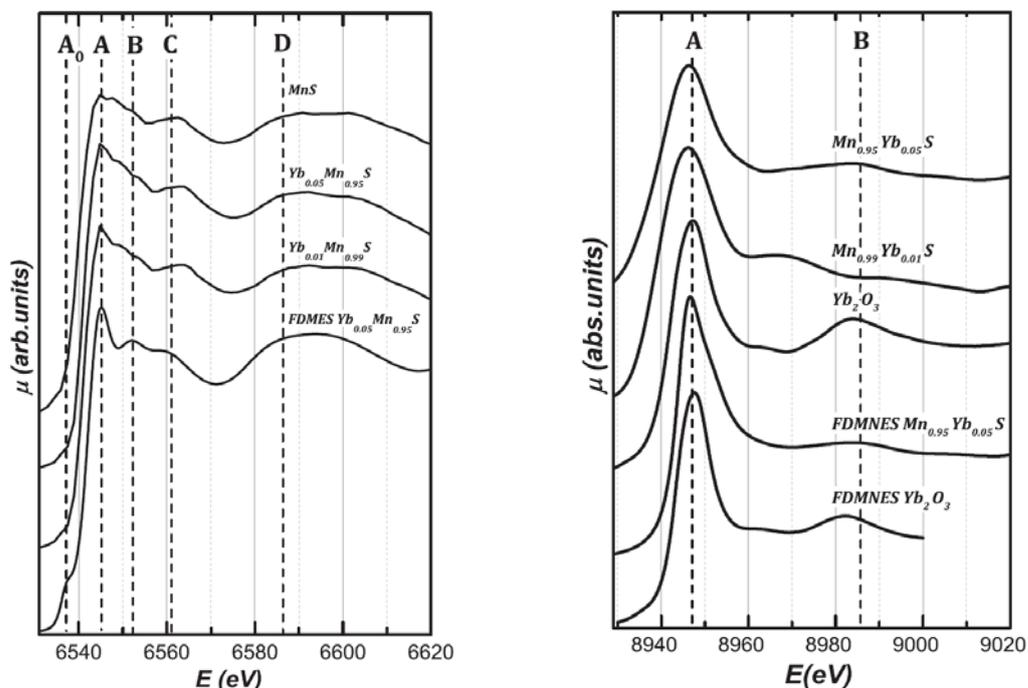


Рис. 6.1.34: Экспериментальные и расчетные края поглощения Mn K (слева) и Yb L<sub>3</sub> (справа) соединений  $Mn_{1-x}Yb_xS$  ( $x = 0; 0,01; 0,05$ ) и реперных образцов.

### 6.1.8. Канал СИ №3 накопителя электронов ВЭПП-4М. Станция «Рентгеновская дифрактометрия и рефлектометрия».

#### Создания и запуск станции рентгеновской дифрактометрии и рефлектометрии на накопителе ВЭПП-4М

В рамках развития работ по использованию синхротронного излучения из накопителе ВЭПП-4М на канале 3 была установлена станция для исследований в области малых углов. Она находится за экспериментальным боксом станции рентгеновской дифрактометрии.

Станция состоит из нескольких блоков.

1. Для проведения пучка СИ к объекту исследований используется «телескоп» с вильсоновским уплотнением. В этом режиме станция дифрактометрии работать не может, т.к. ее дифрактометр должен быть развернут для пропуска трубы «телескопа».

2. Блока формирующих щелей и щелей, убирающих паразитную дифракцию перед образцом.

3. Блока образцов. Этот блок обеспечивает создание условий для проведения реакций. В него входят реакционные камеры, стандартные держатели, держатели для капилляров и т.д.

4. Блок транспортировки дифрагированного излучения. Представляет собой откачиваемую примерно до 100 Па трубу с фланцами, с заглушкой прямого пучка на дальнем конце.

5. Блок регистрации. В качестве детекторов могут использоваться как однокоординатный ОД-3 с фокусным расстоянием 1500 мм, так и двухкоординатные, типа Pilatus 300K-W или Rayonix SX-165 и др.

В качестве стандартного образца для градуировки часто применяются соли жирных кислот (стеараты, бегенаты) тяжелых металлов. На рис. 6.1.35 представлена дифрактограмма стеарата свинца.

Проводится работа по изготовлению стыковочного узла между вакуумной камерой и детектором Pilatus 300K-W.

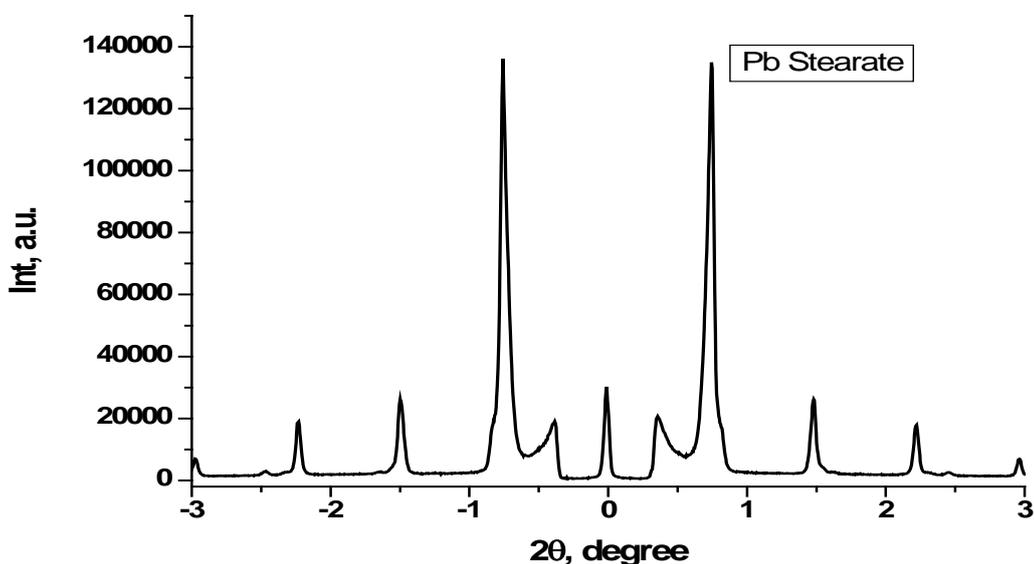


Рис. 6.1.35: Дифрактограмма стеарата свинца.

### 6.1.9. Канал СИ №8 накопителя электронов ВЭПП-4М. Станция «РФА-СИ на ВЭПП-4М».

#### Развитие методов РФА-СИ в жёстком рентгеновском диапазоне (30 – 120 кэВ) на накопителе ВЭПП-4М

Определение сверхнизких содержаний, от 100 ppb (мг/т), лантанойдов и тяжелых элементов (от La до Bi) имеет большое научно-фундаментальное и прикладное значение. Это связано с ростом потребности лантанойдов в современной индустрии. Лантанойды являются важным компонентом при производстве лазеров, катализаторов, магнитов, флуоресцентных и сверхпроводящих материалов. Также, они содержат ценную информацию о породообразующих геологических процессах,

которую используют в геохимических исследованиях. Одним из традиционных методов определения элементного состава в геологических образцах со сверхнизким содержанием тяжелых химических элементов является рентгенофлуоресцентный анализ на синхротронном излучении (РФА-СИ). В настоящее время исследования геологических образцов на лантанойды и тяжелые элементы методом РФА-СИ в жестком рентгеновском диапазоне, вплоть до 150 кэВ, проводятся во многих мировых центрах синхротронного излучения, таких как APS (США), ESRF (Франция), SPring-8 (Япония) и др. Актуальность применения РФА-СИ для этих целей обусловлена уникальными свойствами СИ, к которым можно отнести: высокую интенсивность и яркость источника; непрерывный спектр излучения, малую угловую расходимость; естественную поляризацию излучения.

В настоящее время СИ является незаменимым источником излучения во многих экспериментах с рентгеновской флуоресценцией, поскольку позволяет неразрушающим методом получать сверхчувствительные, панорамные и экспрессные данные об элементном составе образца.

В рамках реализации проекта по развитию методов РФА-СИ на накопительном кольце ВЭПП-4М в жестком рентгеновском диапазоне (30 - 100 кэВ), были проведены эксперименты по исследованию элементного состава геологических проб на основе спектров их рентгенофлуоресценции. В качестве образцов использовались российские и международные стандарты магматических горных пород и озерных отложений (СГД-1А, АГВ-1, ВСР-1, ВІР-1, GMD-5, GMD-4, СОГ-13-3, КМ-1, Ж-3, ВП-2, БІЛ-1 и другие). Получены экспериментальные результаты по минимальным пределам обнаружения лантанойдов и тяжелых элементов (от La до Au) по линиям К-серий, возбуждаемых монохроматическими фотонами с энергией от 60 до 112 кэВ. Результаты эксперимента лежат в диапазоне от 100 ppb (мг/т) до 1 ppm (г/т).

Рабочая энергия электронного сгустка в накопителе составляла 4,5 ГэВ при среднем токе электронов около 20 мА. Синхротронное излучение выводилось из 9-ти полюсного вигглера с магнитным полем 1,9 Тл.

Схема экспериментальной станции РФА-СИ на ВЭПП-4М представлена на рис. 6.1.36.

Энергия возбуждающего флуоресценцию излучения выбиралась с помощью двухкристального монохроматора, работающего в параллельной (бездисперсионной) оптической схеме (n, -n). В качестве энергодиспергирующих элементов применялись монокристаллы кремния с кристаллографической плос-

костью <111>. Монохроматор позволяет выбирать требуемую энергию рентгеновских фотонов в диапазоне от 30 до 120 кэВ. Разрешение монохроматора  $\Delta E/E$  составляло порядка  $10^{-3}$ , что определялось его расстоянием до точки излучения СИ ( $L_1 = 17$  м), размером входного коллиматора ( $S = 1$  мм) и кристаллографической плоскостью энергодиспергирующих элементов.

Расстояние от монохроматора до образца составляло около  $L_2 = 15$  м, что позволило, используя набор рентгеновских щелей, избавиться от паразитных рефлексов, возникающих от кристаллов кремния при брэгговском отражении. Для регистрации спектров флуоресценции использовался полупроводниковый детектор с кристаллом из сверхчистого германия «HPGe» фирмы CANBERRA (толщина кристалла Ge – 5 мм, площадь кристалла 10 мм<sup>2</sup>). Детектор устанавливался под 90 градусов к возбуждающему пучку в плоскости линейной поляризации СИ. Это оптимальный выбор направления детектирования, при котором фон от упругого и комптоновского рассеяния первичного излучения минимален.

Пример полученного спектра РФА-СИ, для стандартного образца СГД-1А (габбро), на энергии возбуждения 112 кэВ представлен на рис. 6.1.37 и минимальные пределы обнаружения редкоземельных элементов (лантанойдов) для этой энергии – на рис. 6.1.38.

Анализ спектров проводился с помощью программы AXIL (QAXS).

Исследования были выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-45-540618 p\_a за 2017-2018 год.

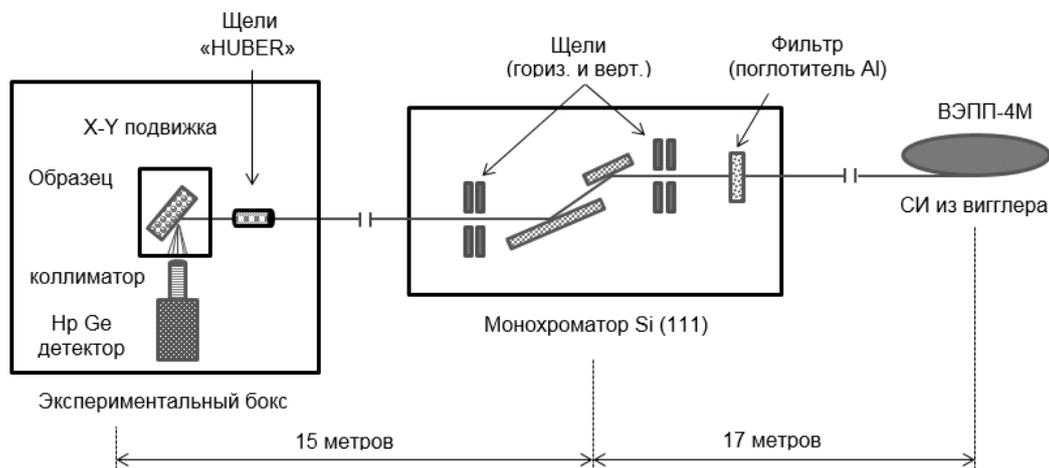


Рис. 6.1.36: Схема экспериментальной станции РФА-СИ на ВЭПП-4М.

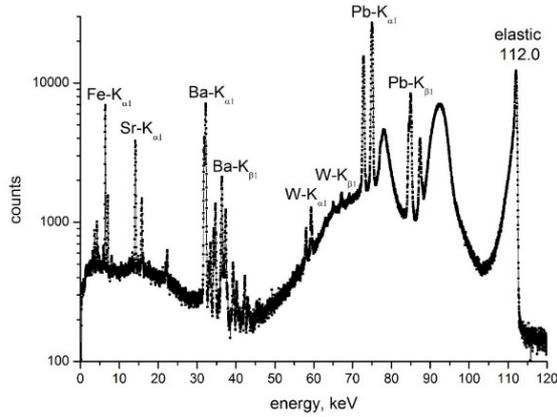


Рис. 6.1.37: Энергетический спектр от стандартного образца СГД-1А (габбро), энергия возбуждения 112 кэВ, время накопления спектра 600 секунд.

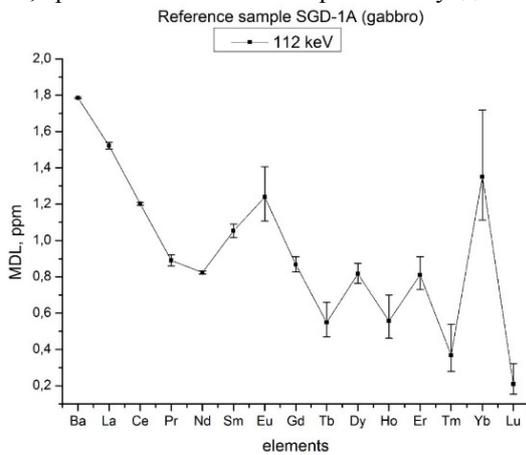


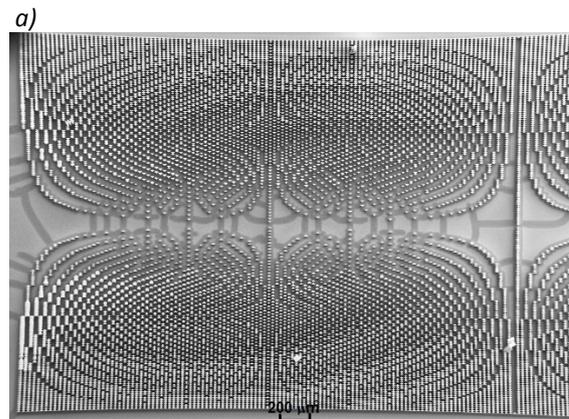
Рис. 6.1.38: Минимальный предел обнаружения для лантаноидов от стандартного образца СГД-1А (габбро), на энергии возбуждения 112 кэВ, время накопления спектра 600 секунд.

### Изготовление и тестирование монохроматической мозаичной рентгеновской линзы для энергии 85 кэВ.

Использование высокоэнергичных фотонов могло бы расширить область применения рентгеновских методов, но интенсивность синхротронного излучения (СИ) в диапазоне энергий выше 50 кэВ мала из-за экспоненциального уменьшения яркости источников СИ, в частности, на несколько порядков величины в диапазоне энергий фотонов 50-500 кэВ. Поэтому интерес представляет развитие фокусирующей оптики для указанного диапазона. Однако, декремент показателя преломления материалов в данном диапазоне мал, не обеспечивая достаточной апертуры вследствие малого коэффициента отражения или угла дифракции. Та же проблема стоит и перед рефракционной оптикой. Однако техническая возможность осуществить многоактный контакт рентгеновского кванта с границей раздела материал-воздух позволяет на несколько порядков величины увеличить резуль-

тирующий угол отклонения рентгеновского луча от первоначального направления, а применение прецизионного литографического метода формирования преломляющей поверхности позволяет минимизировать области пассивного поглощения излучения. Гальваническое осаждение тяжёлых металлов, таких как никель или золото в предварительно сформированную матрицу (LIGA-процесс) позволяет создать преломляющую линзу на основе металлических преломляющих элементов в форме микропризм, обеспечивая минимальное поглощение, за счёт чего апертура линзы может быть увеличена до нескольких миллиметров рис. 6.1.39-а, а сами микропризмы располагаются в соответствии с законом преломления для фиксированной энергии, напоминая рисунок мозаики рис. 6.1.39-б. Причём апертура линзы достаточно велика, чтобы принять весь монохроматический рентгеновский луч по вертикали. Вся линза состоит из нескольких модулей и укладывается в пределах длины рабочего поля рентгеновской маски (менее 100 мм), что удобно при базировании её на экспериментальной станции.

Несмотря на высокую энергию фотонов, линза из тяжёлого металла обеспечивает короткое фокусное расстояние (около полуметра) - внутри экспериментального бокса рис. 6.1.40, в результате чего ожидаемая величина фокуса по вертикали на станции РФА-СИ – около 3,5 мкм.



б)

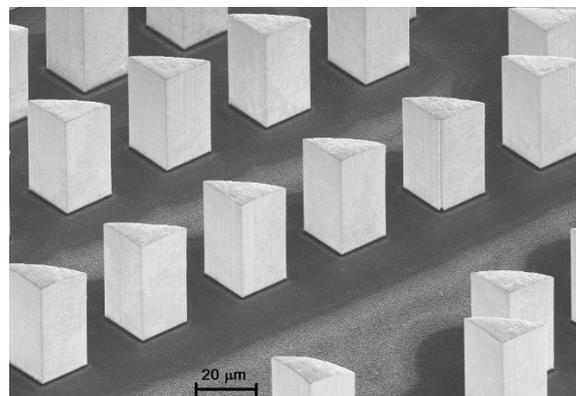


Рис. 6.1.39: РЭМ - фотографии: одного модуля одномерной рефракционной рентгеновской линзы с

апертурой 2,1 мм (а) с преломляющими элементами высотой 50 мкм, выполненными из золота (б).

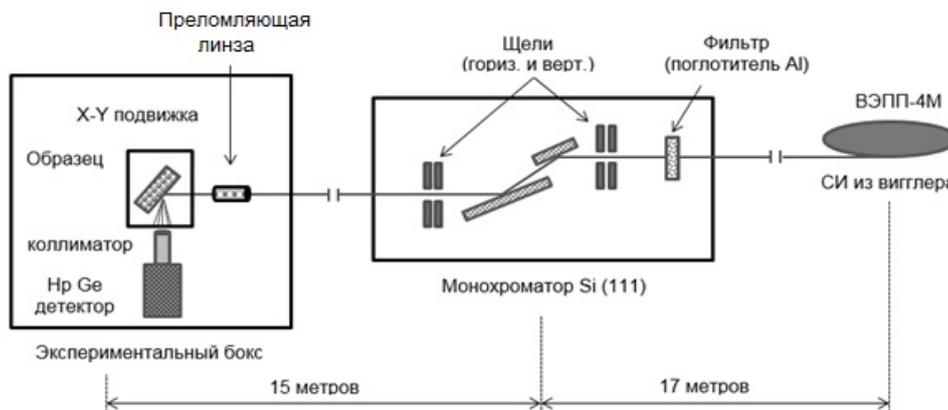


Рис. 6.1.40: Схема эксперимента по тестированию рефракционной рентгеновской линзы на станции РФА-СИ на ВЭПП-4М.

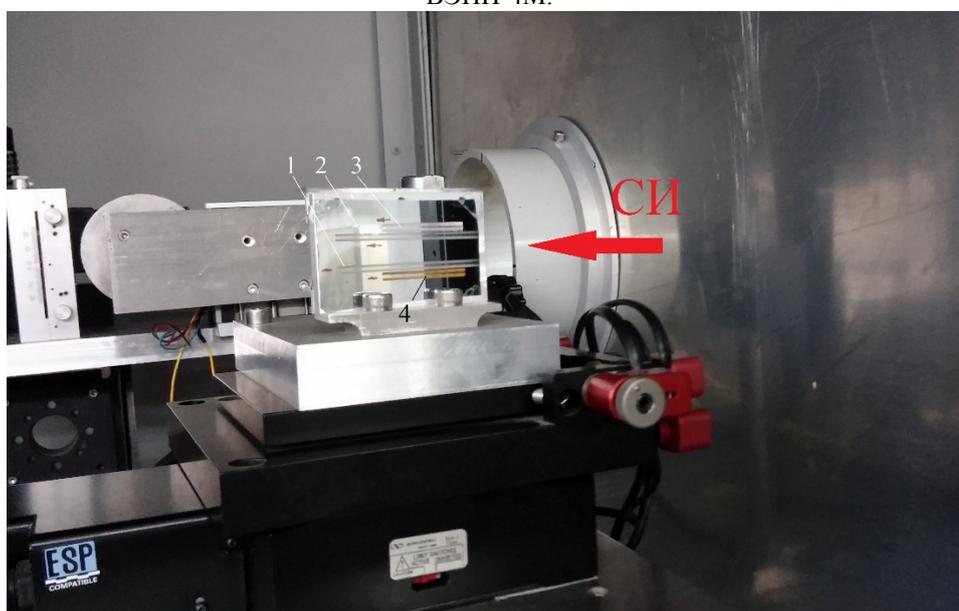


Рис. 6.1.41: Рефракционные рентгеновские линзы (1,2,3 – из никеля и 4 – из золота), установленные на моторизованном 6-ти координатном столике на станции РФА-СИ на ВЭПП-4М.

На рис. 6.1.41 представлена фотография рефракционных рентгеновских линз, позиционированных в пучке СИ для характеристики. В 2019 году получены предварительные значения измеренного фокуса.

Сфокусированный луч с энергией квантов 80 кэВ и более будет использован для исследования распределения тяжелых элементов в геологических образцах с более высоким, чем ранее, пространственным разрешением.

Следует отметить, что никакая другая рентгеновская оптика не может достичь вышеуказанных значений апертуры.

## 6.2. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СИ

В 2019 году в Институте продолжались работы по созданию генераторов синхротронного излучения различного типа по контрактам, как с российскими, так и с международными центрами СИ.

В марте 2019 года была проведена сборка и тестирование двух новых сверхпроводящих 54-полюсных вигглеров с полем 3 Тл и периодом 48 мм на территории Курчатовского источника синхротронного излучения (КИСИ). Были продемонстрированы все основные параметры и показана полная работоспособность всех систем вигглеров. Охлаждение обеспечивается жидким гелием, циркулирующим по отверстиям в теле магнита. При этом появляется возможность убрать из магнитного зазора такой элемент, как вакуумная камера гелиевого сосуда и увеличить, таким образом, уровень магнитного поля за счёт уменьшения величины межполюсного зазора. В конструкции впервые был применён алюминиевый сплав для улучшения режима охлаждения магнита. Для повышения технологичности и механической точности вакуумная камера также была изготовлена из алюминиевого сплава методом экструзии. Был впервые использован метод повышения эффективности охлаждения магнита до рабочей температуры с помощью азотных тепловых трубок в режиме управляемого автоматического отключения компрессоров холодильных машин для предотвращения преждевременного замерзания азота. На Рис. 6.2.1 показан процесс сборки сверхпроводящего вигглера с косвенным охлаждением для Курчатовского источника СИ, а на Рис.6.2.2 представлены два вигглера во время проведения тестирования. В июле 2019 году оба вигглера были установлены на кольцо накопителя. В 2020 ожидается запуск вигглеров на накопителе и проведение экспериментов диапазоне фотонов с критической энергией 14,5 КэВ.



Рис.6.2.1. Процесс сборки сверхпроводящего 54-полюсного вигглера с косвенным охлаждением с полем 3 Тл и периодом 48 мм на территории Курчатовского источника СИ.



Рис. 6.2.2. Сверхпроводящие 54-полюсные вигглеры с косвенным охлаждением с полем 3 Тл и периодом 48 мм во время проведения тестирования на территории Курчатовского источника СИ.

В 2019 продолжились работы по созданию сверхпроводящего безжидкостного ондулятора с периодом 15,6 мм и амплитудой поля 1,2 Тл по контракту с синхротроном Diamond Light Source (DLS, Англия). Был успешно испытан 40-периодный прототип. Главное требование к ондулятору – минимальная фазовая ошибка не более 3 градусов, определяющаяся точностью изготовления катушек, которая должна быть не хуже, чем 10-20 мкм. Был предложен и успешно опробован способ коррекции фазовой ошибки локальными токами. На Рис. 6.2.3 показана магнитная структура прототипа ондулятора в процессе сборки.



Рис. 6.2.3. Магнитная система прототипа сверхпроводящего ондулятора с периодом 15,6 мм и амплитудой поля 1,2 Тл по контракту с синхротроном Diamond Light Source (DLS, Англия).

## 7.1. УЛУЧШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОВОСИБИРСКОГО ЛСЭ

### Введение

Современные ускорительные установки интенсивно используются для различных научных и технологических исследований. Поэтому требования, предъявляемые к их параметрам, постоянно растут. Это, в частности, относится и к уникальной научной установке «Новосибирский лазер на свободных электронах».

Параметры излучения Новосибирского ЛСЭ, работающего в субмиллиметровом и дальнем инфракрасном диапазонах длин волн, существенно лучше, чем у зарубежных установок такого типа. В частности, мощность излучения значительно больше, а ширина спектра излучения – гораздо меньше. Поэтому излучение Новосибирского ЛСЭ постоянно используется для проведения экспериментов по физике, химии и биологии.

В 2019 году наряду с постоянной работой на пользователей излучения из других институтов РАН и университетов проводились теоретические и экспериментальные работы по дальнейшему улучшению параметров излучения Новосибирского ЛСЭ. Был разработан и успешно использован в экспериментах пользователей новый режим работы с модуляцией мощности излучения. Кроме того, начаты исследования по оптимизации процесса оперативной перестройки частоты излучения.

Новосибирский ЛСЭ является важной частью Центра коллективного пользования "Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения", в котором ведут работу исследователи многих научных учреждений России и зарубежные учёные. Ведущиеся на Новосибирском ЛСЭ работы направлены, с одной стороны, на расширение экспериментальной и приборной базы ЦКП, с другой стороны, на развитие диагностических средств и методов исследования в областях знаний, представляющих интерес для пользователей лазерного излучения. В прошедший год число внешних пользователей возросло, и число отданных им рабочих смен также увеличилось. В отчёте представлены результаты работ по улучшению параметров Новосибирского лазера на свободных электронах (ЛСЭ) и развитию экспериментальных исследований с использованием терагерцового, дальнего и среднего инфракрасного излучения.

### 7.1.1. Краткое описание установки «Новосибирский ЛСЭ».

Уникальная научная установка «Новосибирский ЛСЭ» включает три ЛСЭ. Ондуляторы всех трёх ЛСЭ установлены на разных дорожках одного и того же многооборотного ускорителя-рекуператора (УР). Упрощённая схема четырёхоборотного УР показана на рисунке 7.1.1.

Из инжектора 1 электроны с низкой энергией направляются в высокочастотную ускоряющую структуру 2. После четырёх прохождений ускоряющей структуры электроны попадают на последнюю дорожку и теряют небольшую часть своей энергии в ондуляторе ЛСЭ 4. Использованный электронный пучок замедляется в той же ускоряющей структуре и попадает в поглотитель 5, уже имея низкую энергию.

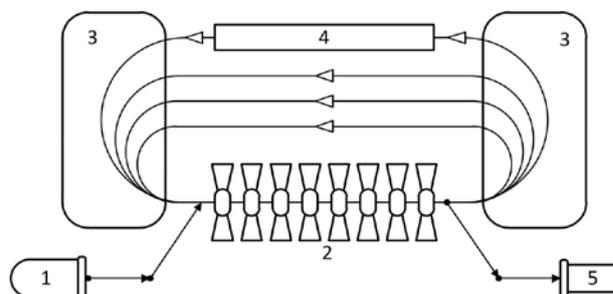


Рис.7.1.1. Упрощённая схема многооборотного УР: 1 – инжектор, 2 – ускоряющая структура, 3 – поворотные магниты, 4 – ондулятор, 5 – поглотитель

В качестве источника электронов используется электростатическая пушка с катодно-сеточным узлом. Напряжение, приложенное к ускорительной трубке пушки, составляет 300 кВ. Данная пушка позволяет получать электронные сгустки с длительностью 1 нс, зарядом до 1,5 нКл и нормализованным эмиттансом около 20 микрон. Частота повторения сгустков может меняться от 0 до 22,5 МГц. После группирующего резонатора, работающего на частоте 180,4 МГц, сгустки сжимаются в пустом промежутке длиной около 3 м, ускоряются двумя ускоряющими резонаторами до энергии 2 МэВ, проходят через инжекционный канал и инжектируются в основную ускоряющую структуру УР (см. рисунок 7.1.2).

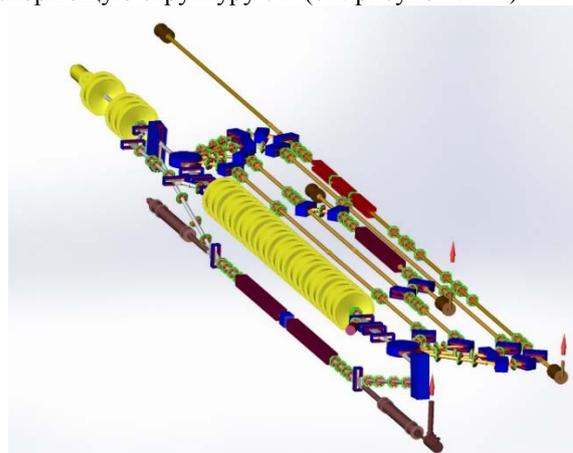


Рис.7.1.2. Новосибирский УР с тремя ЛСЭ (вид сверху).

Ускоряющая структура состоит из 16 нормально проводящих высокочастотных резонаторов, присоединённых к двум волноводам. Рабочая частота резонаторов составляет 180,4 МГц. Низкая частота позволяет работать с длинными сгустками и большими токами пучка.

Новосибирский УР имеет три основных конфигурации включения магнитной системы - по одной на каждый из трех ЛСЭ. Первый ЛСЭ установлен внизу под ускоряющей структурой (см. рисунки 7.1.2 и 7.1.3). Поэтому после прохождения через ускоряющую структуру электронный пучок с энергией 11 МэВ поворачивается на 180 градусов в вертикальной плоскости. После использования в ЛСЭ пучок возвращается в ускоряющую структуры в замедляющей фазе. В данной конфигурации УР работает как однооборотная установка.

Для работы со вторым и третьим ЛСЭ необходимо включить два круглых поворотных магнита. Они поворачивают пучок в горизонтальной плоскости, как показано на рисунке 7.1.2. После четырех ускорений в основной ускоряющей структуре электронный пучок попадает в ондулятор третьего ЛСЭ. Энергия электронов в третьем ЛСЭ составляет 42 МэВ. Использованный пучок замедляется четыре раза и приходит в поглотитель, уже имея низкую энергию.

При включённых четырёх поворотных магнитах, расположенных на второй дорожке (см. рисунок 7.1.2), пучок с энергией 20 МэВ проходит через ондулятор второго ЛСЭ. После этого, благодаря правильно подобранной длине дорожки, пучок попадает в ускоряющую структуру в замедляющей фазе и после двух торможений теряется в поглотителе.

Фотография ускорительного зала, на которой видны ускоряющая структура и ондуляторы ЛСЭ, представлена на рисунке 7.1.3.

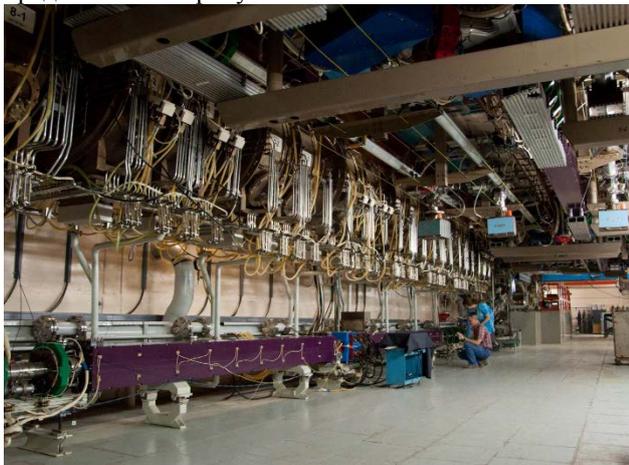


Рис.7.1.3. Новосибирский ЛСЭ в ускорительном зале.

Следует отметить, что все 180-градусные повороты являются ахроматическими (на первой и второй горизонтальных дорожках - ахроматическими во втором порядке), но не изохронными. Данное обстоятельство позволяет настраивать продольную динамику пучка с целью повышения пикового тока в ЛСЭ и оптимизации торможения использованного пучка.

Первый ЛСЭ был введён в эксплуатацию в 2003 году. Он является источником узкополосного (с шириной линии менее 1 %) терагерцового излучения, перестраиваемого в диапазоне длин волн 80 – 240 мкм, со средней мощностью до 0,5 кВт и пиковой мощностью до 1 МВт (импульсы с длительностью 100 пс и частотой повторения 5,6 МГц).

Излучение всех трёх ЛСЭ выводится на одни и те же пользовательские станции по оптическому каналу, заполненному сухим азотом. Система переключения излучения от разных ЛСЭ показана на рисунке 7.1.4.



Рис.7.1.4. Система переключения излучения от разных ЛСЭ. Излучение всех ЛСЭ выводится на одни и те же пользовательские станции. Переключение между ЛСЭ осуществляется за счёт убирающихся зеркал.

Второй ЛСЭ генерирует узкополосное излучение (с шириной линии менее 1 %) в дальнем инфракрасном диапазоне длин волн 40 – 80 мкм со средней мощностью до 0,5 кВт и пиковой мощностью до 1 МВт (импульсы с длительностью 50 пс и частотой повторения 7,5 МГц). В ближайшем будущем планируется поменять старый электромагнитный ондулятор на новый ондулятор с переменным периодом. Это позволит существенно расширить диапазон перестройки длины волны.

Ондулятор третьего ЛСЭ установлен на четвертой дорожке, как показано на рисунке 7.1.5.



Рис. 7.1.5. Ондулятор третьего ЛСЭ.

Весь ондулятор состоит из трёх секций по 28 периодов. Каждая секция является отдельным

ондулятором на постоянных магнитах с периодом 6 см и переменным зазором. Зазоры настраиваются независимо, поэтому средняя секция также может использоваться для фазировки двух крайних. Диапазон перестройки длины волны в третьем ЛСЭ составляет 5 - 20 мкм.

Длина оптического резонатора третьего ЛСЭ составляет около 40 м. Резонатор состоит из двух медных зеркал. В настоящее время излучение из резонатора выводится через отверстия в центре зеркал. Мы также планируем реализовать на этом ЛСЭ схему электронного вывода. В этой схеме пучок группируется в первом ондуляторе за счёт взаимодействия с внутррезонаторным излучением, затем при помощи ахроматического поворота он отклоняется на небольшой угол так, что его излучение из второго ондулятора выходит под углом к оси оптического резонатора мимо переднего зеркала. Необходимо отметить, что данная схема имеет преимущество только для излучения с большой средней мощностью. Как правило, пользователям большая мощность не требуется, а вывод излучения через отверстия в зеркалах гораздо проще.

### 7.1.2. Компенсация изменения фокусировки ондулятора при перестройке длины волны излучения Новосибирского ЛСЭ.

#### Постановка задачи

ЛСЭ имеют ключевое преимущество перед другими типами лазеров: возможность оперативной и плавной перестройки длины волны монохроматического излучения. Однако, этот процесс приводит к изменению жёсткости фокусировки ондулятора, а, следовательно, требует согласования остальной части магнитной системы ЛСЭ. Согласно условию резонанса

$$\lambda = \lambda_w \frac{1 + K^2/2}{2\gamma^2} \quad (1)$$

где  $\lambda$  - длина волны излучения,  $\lambda_w$  - длина периода ондулятора,  $K$  - параметр ондулятора,  $\gamma$  - лоренц-фактор, имеется два способа перестроить длину волны излучения: изменить энергию электронного пучка, либо изменить параметр ондулятора  $K$ . Второй способ более предпочтителен, так как требует согласования магнитно-оптической системы локально на участке, содержащим ондуляторы.

Установка Новосибирского ЛСЭ содержит три ЛСЭ, способных генерировать излучения в трёх различных диапазонах длин волн. Данная работа проводилась на первом ЛСЭ, генерирующем ТГц излучение в диапазоне 90 – 220 мкм. Дорожка первого ЛСЭ содержит два ондулятора, разделённых пустым промежутком, и 8 квадрупольных линз, по 4 с каждой стороны от ондуляторов (см. рисунок 7.1.6).

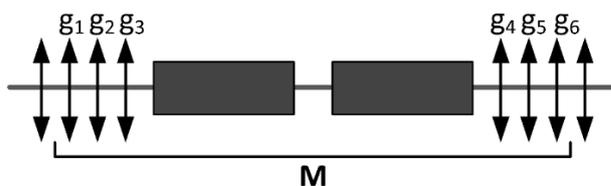


Рис. 7.1.6. Схема дорожки ондуляторов первого ЛСЭ.

Для компенсации изменения фокусирующей силы ондуляторов при перестройке длины волны излучения было предложено два решения: 1) сохранение неизменной транспортной матрицы отрезка канала, включающего в себя ондуляторы; 2) согласование входных и выходных параметров Твисса с оптимальными в ондуляторах, зависящими от их тока.

#### Метод сохранения транспортной матрицы

В первом подходе для сохранения транспортной матрицы достаточно 6 квадрупольных линз, так как отсутствует связь поперечных степеней свободы, и, значит, для каждой из них транспортная матрица унимодулярна. Таким образом, имеется следующая математическая постановка задачи:

$$\mathbf{M}(g_1, K, g_6, I) = \mathbf{M}_0 \quad (2)$$

где  $g_k$  - градиент магнитного поля квадрупольной линзы  $k$ ,  $I$  - ток ондулятора,  $\mathbf{M}_0$  - исходная транспортная матрица. Мы имеем систему из 6 независимых уравнений на элементы матрицы  $\mathbf{M}$ . Однако, их выбор в общем случае не произволен: если имеется нулевой элемент, то диагональный к нему не может быть найден из условия унимодулярности. Поэтому в качестве независимых выбираются элементы той диагонали (главной или побочной), произведение элементов которой минимально по абсолютной величине, и один элемент другой диагонали. В этом случае вычислительные ошибки в определении независимых элементов не приведут к существенной ошибке в оставшемся элементе, вычисляемом из условия унимодулярности.

Взяв полную производную по току ондулятора, получим систему уравнений:

$$\frac{\partial m_i}{\partial g_1} \frac{\partial g_1}{\partial I} + K + \frac{\partial m_i}{\partial g_6} \frac{\partial g_6}{\partial I} = -\frac{\partial m_i}{\partial I}, i = 1K 6 \quad (3)$$

Разрешая её относительно производных градиентов квадрупольных линз по току, получаем задачу Коши, решение которой может быть найдено численными методами:

$$\frac{\partial g_i}{\partial I} = f(g_1, K, g_6, I), i = 1K 6 \quad (4)$$

Результаты численного решения для энергии пучка 11,9 МэВ приведены на рисунке 7.1.7.

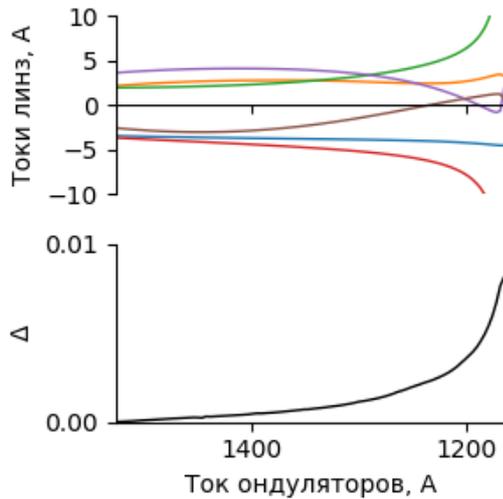


Рис.7.1.7. Зависимость токов квадрупольных линз от тока ондуляторов (сверху), ошибка в сохранении транспортной матрицы (снизу).

В верхней части рисунка представлены зависимости токов квадрупольных линз от тока ондуляторов, в нижней – ошибка сохранения транспортной матрицы, которая определяется следующим образом:

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i,j} (\mathbf{M} - \mathbf{M}_0)_{ij}^2} \quad (5)$$

Данный подход обеспечивает точное решение, однако, на практике не для всех начальных условий оно существует.

#### Метод согласования параметров Твисса

В основе второго метода лежит согласование входных и выходных параметров Твисса. Пока диагностика параметров Твисса на дорожке ондуляторов не налажена, поэтому было использовано следующее предположение. Пусть имеется режим магнитооптической системы ЛСЭ, для которого получена устойчивая генерация излучения, тогда считаем, что параметры Твисса в ондуляторах являются оптимальными. Отсюда находим входные и выходные параметры для начального режима.

Оптимальные параметры Твисса в центре пустого промежутка между ондуляторами были определены следующим образом. В виду симметрии параметр альфа равен нулю, а бета функция находится из условия минимума её максимального значения в ондуляторах. Полученная зависимость оптимальной бета функции от тока ондуляторов представлена на рисунке 7.1.8.

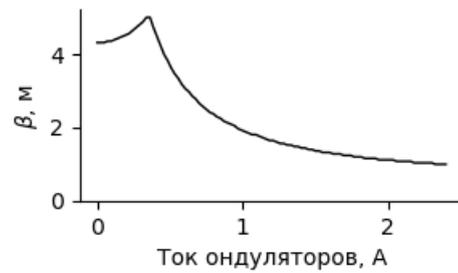


Рис.7.1.8. Оптимальное значение бета функции между ондуляторами в зависимости от тока ондуляторов.

По аналогии с предыдущим методом получаем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \mathbf{M}_{St}}{\partial g_k} & \frac{\partial g_k}{\partial I} + \frac{\partial \mathbf{M}_{St}}{\partial I} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \alpha_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial I} \begin{pmatrix} \beta^* \\ \alpha^* \\ \gamma^* \end{pmatrix}_I \quad (6)$$

где  $(\alpha_0, \beta_0, \gamma_0)$  и  $(\alpha^*, \beta^*, \gamma^*)$  - параметры Твисса на входе (выходе) и в центре пустого промежутка между ондуляторами соответственно. Таким образом, решение данной системы для левой и правой частей дорожки ондуляторов даст правило перестройки токов 8 квадрупольных линз, при котором параметры Твисса на входе и выходе будут согласованы с оптимальными параметрами в ондуляторах.

#### Результаты

На рисунке 7.1.9 представлены результаты эксперимента для энергии пучка 12,7 МэВ, в котором перестраивалась длина волны излучения ЛСЭ с компенсацией изменения фокусирующей силы ондуляторов (сплошная линия) и без изменения токов квадрупольных линз (пунктирная линия).

Ток ондуляторов варьировался в пределах 1300 - 1500 А, что соответствует изменению длины волны излучения в диапазоне 120-130 мкм. Наблюдалось изменение тока пучка в поглотителе, который определяет прохождение пучка в канале. Компенсацией фокусирующей силы ондуляторов удалось сохранить прохождение почти на начальном уровне, для сравнения при её отсутствии было потеряно более четверти пучка (см. рисунок 7.1.9, сверху). В ходе эксперимента сохранение транспортной матрицы контролировалось диагностикой матрицы откликов. Для её построения использовалось 4 корректора (2 по каждой поперечной координате) и 2 датчика положения пучка. Ошибка в сохранении матрицы откликов  $\Delta$  при перестройке длины волны излучения показана на рисунке 7.1.9 снизу.

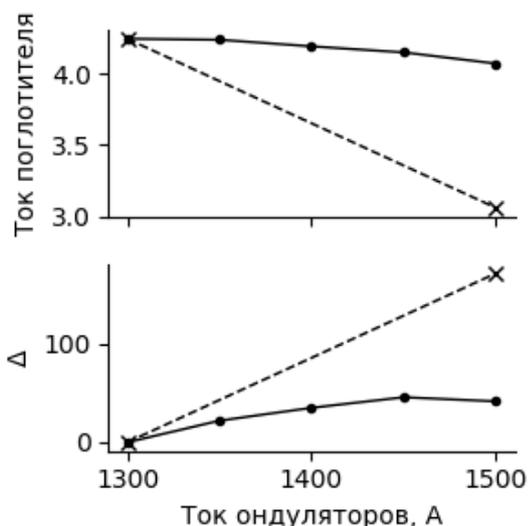


Рис.7.1.9. Эксперимент: сохранение транспортной матрицы. На верхнем графике показан измеренный сигнал, пропорциональный току пучка в поглотителе. На нижнем графике представлен параметр, характеризующий изменение измеренной матрицы отклика. Пунктирные линии соответствуют случаю отсутствия компенсации фокусировки

Метод согласования параметров Твисса с оптимальными в ондуляторах также был экспериментально проверен, однако, сохранить прохождение пучка при перестройке тока ондуляторов не удалось (см. рисунок 7.1.10).

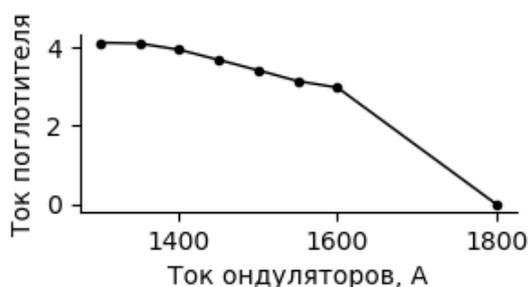


Рис.7.1.10. Эксперимент: согласование параметров Твисса.

Причиной такого результата может являться некорректность предположения об оптимальных параметрах Твисса для рассмотренного режима оптической системы.

В итоге удалось компенсировать изменение фокусирующей силы ондуляторов и сохранить прохождение пучка при перестройке длины волны излучения в диапазоне 120 - 130 мкм путём сохранения транспортной матрицы. Метод согласования параметров Твисса пучка требует дальнейшего развития диагностики параметров пучка в канале дорожки ондуляторов.

### 7.1.3. Электронная модуляция ТГц излучения на установке «Новосибирский ЛСЭ».

#### Постановка задачи

Установка «Новосибирский ЛСЭ» включает три ЛСЭ, которые используют один и тот же ускоритель-рекуператор (УР) как источник электронов. Три ЛСЭ предназначены для создания когерентного излучения в ТГц (первый ЛСЭ), дальнем инфракрасном (второй ЛСЭ) и среднем инфракрасном (третий ЛСЭ) диапазонах (для однообразия все они называются ТГц излучением). Рекуперация энергии позволяет достичь высокого среднего тока электронного пучка, что приводит к высокой средней мощности излучения. Хотя это и имеет решающее значение для некоторых приложений, в большинстве экспериментов такая высокая средняя мощность является чрезмерной и, следовательно, её надо понизить. Во многих случаях необходимы короткие макроимпульсы, что позволяет поддерживать пиковую мощность очень высокой, в то время как среднюю можно значительно снизить. Для выполнения этих требований без использования внешних устройств (например, механических оптических прерывателей), необходима возможность включать и выключать процесс генерации ЛСЭ. В случае ЛСЭ на основе линейных ускорителей, которые работают в импульсном режиме, генерация ЛСЭ может контролироваться через процесс инжекции электронного пучка (которая обычно осуществляется в импульсном режиме). Если ЛСЭ оптимизирован для генерации квазинепрерывного излучения, включение и выключение инжекции электронного пучка не подходит для управления мощностью ТГц излучения, так как УР не предназначен для такого режима. В частности, для УР Новосибирского ЛСЭ эффекты подгрузки ускоряющей структуры током пучка очень велики из-за высокого среднего тока, поэтому быстрое изменение тока приводит к значительному изменению ускоряющего напряжения и потере пучка. Вместо этого следует разработать более «деликатный» подход, который поддерживал бы ток электронного пучка почти постоянным при эффективном подавлении процесса генерации излучения. Мы разработали и внедрили на Новосибирском ЛСЭ подход, который позволяет генерировать макроимпульсы излучения с любой частотой следования, практически любой длительности, от нескольких секунд до нескольких микросекунд (минимальная длительность определяется временем затухания оптического резонатора ЛСЭ). Этот режим был успешно реализован на всех трёх ЛСЭ. Одним из возможных применений электронной модуляции излучения является ЭПР-спектроскопии с временным разрешением. В наших экспериментах она использовалась для отслеживания спиновой динамики комплекса меди (II), отражающей изменения температуры образца в микросекундном масштабе времени.

#### Система электронной модуляции

Все три ЛСЭ являются ЛСЭ-генераторами. Типичный пример зависимости мощности излучения первого ЛСЭ от времени показан на рисунке 7.1.11.

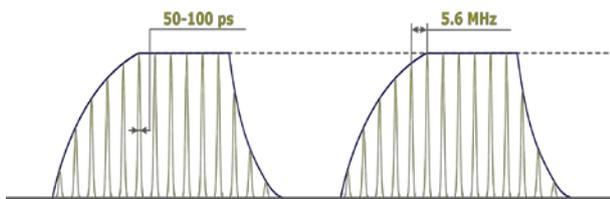
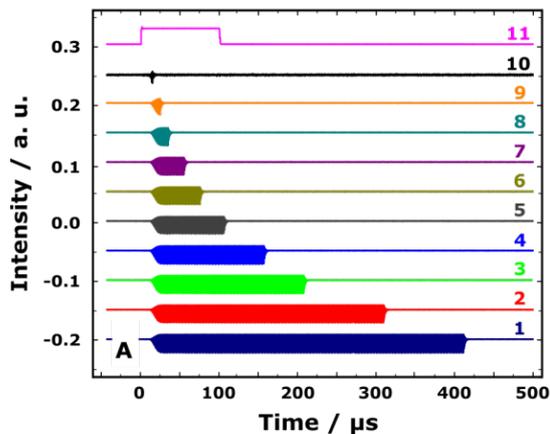


Рис.7.1.11. Схематическое изображение макроимпульсов излучения ЛСЭ. Длительность отдельного ТГц импульса и частота следования импульсов показаны для первого ЛСЭ.

В нормальном режиме работы эта зависимость представляет собой непрерывную последовательность коротких импульсов излучения (50–100 пс), следующих друг за другом с частотой 5,6 МГц, которая определяется длиной оптического резонатора. Когда ЛСЭ работает в режиме модуляции мощности, лазерное излучение состоит из макроимпульсов с минимальной длительностью около 10 мкс и произвольной частотой следования (контролируется пользователем). Каждый макроимпульс содержит десятки коротких импульсов излучения, а его фронты зависят от усиления ЛСЭ (передний фронт) и добротности оптического резонатора (задний фронт).

В нормальном режиме работы электронные сгустки и импульсы излучения, циркулирующие в оптическом резонаторе, должны прийти в ондулятор одновременно. Тогда происходит усиление импульсов излучения. Эффективное усиление излучения в ЛСЭ-

А



Б

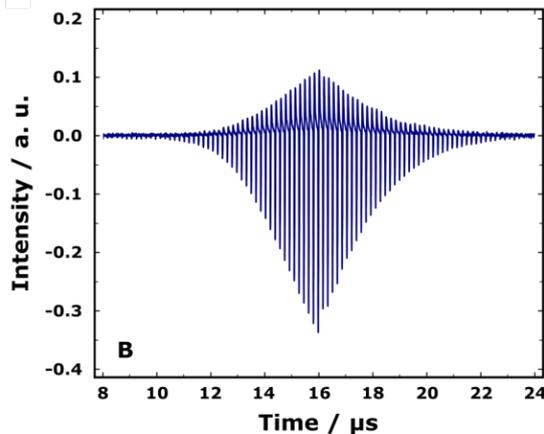


Рис.7.1.12. (А) Макроимпульсы излучения при волновом числе  $76,7 \text{ см}^{-1}$ . Продолжительности макроимпульсов: (1) 400 мкс, (2) 300 мкс, (3) 200 мкс, (4) 150 мкс, (5) 100 мкс, (6) 70 мкс, (7) 50 мкс, (8) 30 мкс, (9) 20 мкс, (10) 10 мкс (амплитуда умножена на 10), (11) сигнал запуска. Каждый последующий импульс смещен по вертикали. (Б) Макроимпульс длительностью 10 мкс. Хорошо видны отдельные импульсы излучения с частотой следования 5,6 МГц.

Рисунок 7.1.12Б показывает фронты роста и спада самого короткого макроимпульса излучения. Временного разрешения детектора, используемого на первом ЛСЭ (рисунок 6В), достаточно для того, чтобы увидеть тонкую структуру ТГц макроимпульса, который состоит из серии коротких импульсов с частотой повторения электронного пучка. Из анализа фронтов ТГц макроимпульса можно получить характерные времена роста (нарастание генерации,

генераторе возможно только тогда, когда, во-первых, период следования электронных сгустков равен времени одного прохода светового сгустка через оптический резонатор, и, во-вторых, световые импульсы проходят через ондулятор при максимальном токе электронов. Когда ЛСЭ работает в режиме модуляции мощности, необходимо подавить усиление между макроимпульсами излучения. Это может быть сделано, когда фаза инжекции электронного сгустка смещена, например, на один период высокочастотного ускоряющего поля, что практически не влияет на динамику пучка в ускорителе. Чтобы предотвратить образование новой ТГц волны, этот сдвиг фазы инжекции необходимо выполнять периодически. Соответствующее изменение частоты следования сгустков необходимо для подавления составляет менее 1% и не приводит к каким-либо заметным эффектам нагрузки пучком.

### Результаты экспериментов

Чтобы продемонстрировать возможности системы электронной модуляции (СЭМ), мы изучали ТГц макроимпульсы с различной длительностью импульса на всех трёх ЛСЭ. На рисунке 7.1.12А показаны осциллограммы сигналов с диода Шоттки при длительностях макроимпульса ТГц излучения от 10 до 400 мкс, полученные при волновом числе  $76,7 \text{ см}^{-1}$  (первый ЛСЭ).

знак сигнала зависит от используемого детектора) и спада (подавления генерации). Эти два времени связаны соответственно с усилением и суммарными потерями за один проход оптического резонатора ТГц волной. Расчет этих двух параметров были сделаны с помощью стандартной процедуры, описанной в работах. Полученные параметры для всех трёх ЛСЭ приведены в таблице 7.1.1.

Таблица 7.6.1. Усиление и суммарные потери за один проход оптического резонатора для трёх ЛСЭ.

Номер ЛСЭ	Усиление, %	Потери, %
1	20	10
2	9	4
3	20	10

Полученные значения отражают условия на момент проведения эксперимента, в которых усиление каждого из трех ЛСЭ, безусловно, не является максимальным, а оптический резонатор может быть слегка разъюстирован. Тем не менее приведённые в таблице 1 значения усиления и потерь не противоречат выполненным ранее измерениям параметров Новосибирского ЛСЭ.

### **Выводы**

В данной работе мы разработали и внедрили подход, позволяющий создавать на установке «Новосибирский ЛСЭ» макроимпульсы излучения с любой частотой следования и практически любой длительностью импульса. Предлагаемая система электронной модуляции основана на периодическом сдвиге фазы инжекции электронного сгустка. Такой сдвиг подавляет генерацию и создаёт макроимпульсы из квазинепрерывного излучения ЛСЭ. Эта система встраивается непосредственно в электронную инфраструктуру Новосибирского ЛСЭ и может быть запущена пользователем станции. Для экспериментаторов такая система электронной модуляции предоставляет уникальную возможность контролировать среднюю мощность ТГц излучения в течение длительного времени и создавать макроимпульсы длительностью более 10 мкс.

Короткие макроимпульсы были использованы в экспериментах по ЭПР с разрешением по времени. Были изучены нагрев комплекса меди (II) поглощённым ТГц излучением и его последующая тепловая релаксация. Эти данные сравнивались с результатами другой системы модуляции на основе механического оптического прерывателя, которая была реализована ранее. Мы продемонстрировали, что новая система электронной модуляции позволяет регулярно использовать воспроизводимые микро-секундные ТГц макроимпульсы на пользовательских станциях Новосибирского ЛСЭ. Это даёт новые возможности для проведения различных экспериментов с улучшенным разрешением по времени и стабильностью ТГц излучения.

## **7.2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО, ДАЛЬНЕГО И СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

### *7.2.1. Модернизация системы диагностики положения пучка в канале многооборотного микротрона Новосибирского лазера на свободных электронах.*

В настоящее время в Новосибирске на базе 4-х оборотного микротрона рекуператора работает лазер на свободных электронах (ЛСЭ). Весь комплекс может работать в трех различных режимах, различающихся по энергии используемого электронного пучка, диапазону длин волн излучения и его мощности. По сути, каждый режим работы представляет собой отдельный ЛСЭ со своим ондулятором и оптическим резонатором. Для обеспечения стабильной работы ЛСЭ на протяжении длительного времени необходимы различные системы диагностики состояния систем ЛСЭ и параметров электронного пучка, в число которых входит и система диагностики положения пучка в канале ускорителя. Данная система производит измерение и отображение поперечного положения электронного пучка в местах расположения пикап-станций, которые установлены на всем пути следования пучка от инжектора до поглотителя.

### **Описание установки и принцип работы ЛСЭ**

ЛСЭ работает на базе 4-х оборотного микротрона-рекуператора (рис. 7.2.1). Принцип работы данного ускорителя таков, что электронный пучок, двигаясь по круговой траектории, пролетает несколько раз одну и ту же ускоряющую структуру. Его конечная энергия при этом зависит от количества пролетов этой структуры.

После пролета нужного количества дорожек и прохода конечной дорожки, (на которой и расположен ЛСЭ) электронный пучок начинает пролетать ту же ускоряющую структуру, но в отрицательной(тормозящей) фазе ВЧ-колебаний, и тем самым теряет энергию. Пролетев ускоряющую секцию такое же число раз, электронный пучок отдает обратно всю энергию, полученную при ускорении, и попадает на поглотитель с энергией инжекции.

Три режима работы(очереди) ЛСЭ соответствуют разному числу оборотов электронного пучка в канале ускорителя и соответственно его разной энергии. На каждой дорожке, соответствующей последнему обороту данной очереди, установлен свой оптический резонатор и ондулятор в которых происходит генерация и накопление когерентного излучения.

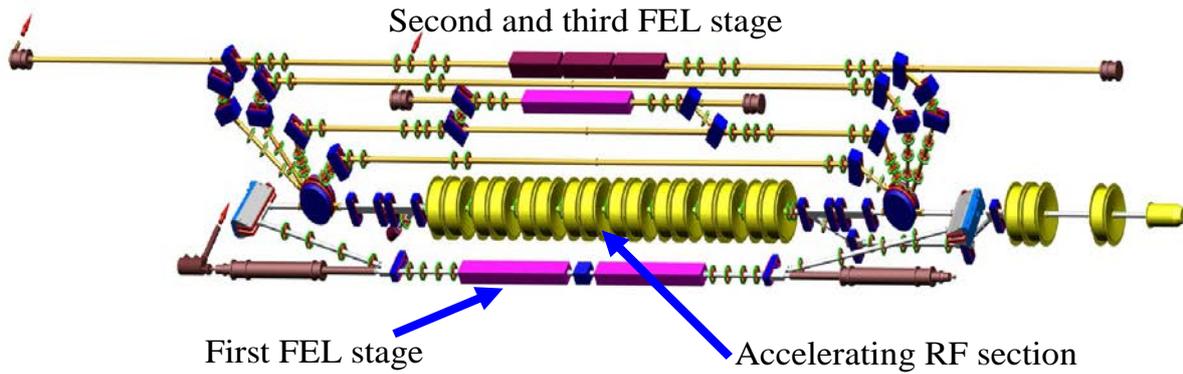


Рис.7.2.1. Схема Новосибирского ЛСЭ.

Описанная выше структура ускорителя и режим циркуляции пучка приводят к тому, что на некоторых участках канала присутствуют одновременно пучки с разными энергиями. Так, на всех оборотах ускорителя, кроме последнего для данной очереди, попеременно движутся ускоряемый и замедляемый пучки. В ускоряющей же секции попеременно следует несколько ускоряемых пучков (для каждой из дорожек) и столько-же замедляемых. Все эти пучки имеют разную энергию, движутся по своей траектории, и соответственно могут иметь различные поперечные координаты в канале ускорителя. Соответственно система диагностики пучка для данного комплекса должно уметь разделять положение этих разных электронных пучков.

Эти особенности работы и требования к данной системе привели к тому, что разрабатываемая система имеет существенные отличия от аналогичных систем, присутствующих на других ускорительных комплексах. В частности, это определило выбор измерительной аппаратуры и алгоритм измерений.

### Принцип работы системы

Как было упомянуто выше, система измерения положения пучка состоит из пикап-станций, установленных на различных участках вакуумной камеры. Пикап-станция представляет собой 4 изогнутые прямоугольные пластины, установленные по внутренней поверхности вакуумной камеры (см. рис. 7.2.2). Пластины образуют окружность диаметром около 80 мм. Сигнал с каждой из пластин выводится при помощи экранированных кабелей за пределы ускорительного зала к месту расположения измерительной электроники.

Электронный пучок, пролетая через пикап-электроды, наводит на них импульс напряжения. Амплитуда наводимого импульса пропорциональна расстоянию от пучка до пластины. Соответственно, сравнивая амплитуды сигналов с разных пластин можно вычислить поперечную координату пучка с помощью формулы:

$$x = k \frac{U1_{max} - U3_{max}}{U1_{max} + U3_{max}} \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, а  $U1_{max}$  и  $U3_{max}$  – амплитуды импульсов с пластин расположенных друг напротив друга в плоскости измеряемой координаты. В случае круглой трубы  $k \cong a/4$ , где  $a$  – радиус трубы.

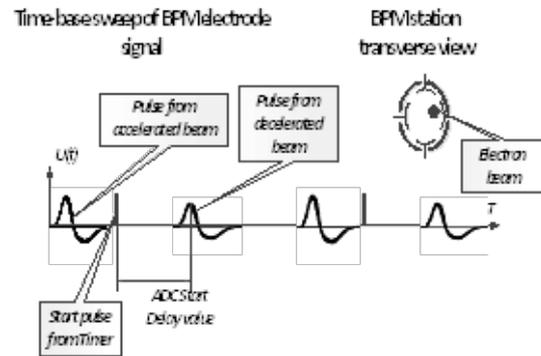


Рис.7.2.2. Временная развертка сигнала с пикап-пластин.

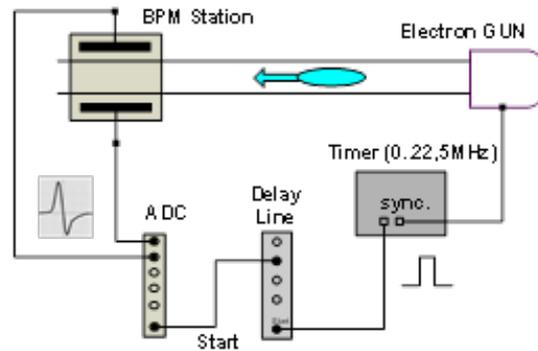


Рис.7.2.3. Схема синхронизации измерений.

### Алгоритм измерений и используемая аппаратура

Измерение положения пучка производится при помощи электроники, расположенной вне ускорительного зала. Синхронизационная схема алгоритма приведен на рис.7.2.3.

Измерение производится при помощи 4-канального АЦП по импульсу внешнего запуска. На каждый канал АЦП подается сигнал с одной из пластин пикап-станции. Импульсы запуска поступают от специального модуля «Таймер», который управляет модулятором электронной пушки. Поэтому частота

импульсов, поступающих на вход «Старт» АЦП равна частоте следования электронных сгустков в канале ускорителя и соответственно частоте импульсов, поступающих с пикап-электродов на входы АЦП. Для компенсации времен, необходимых для распространения всех импульсов по кабелям, времени пролета пучка от инжектора до нужной пикап-станции, импульс запуска для АЦП пропускается через регулируемую линию задержки (см.Рис.7.2.3). Данная особенность и позволяет отдельно измерять импульсы от разных электронных пучков, задавая разные времена задержки (см.Рис.7.2.2). Кроме того, изменение величины задержки позволяет настроиться на любую фазу измеряемого импульса. Более того, плавно перестраивая величину задержки, можно

просканировать весь импульс с пикап-пластины и восстановить его приблизительную форму.

Схема всей системы и используемая аппаратура приведены на рис. 7.2.4. Вся система содержит 62 пикап-станции. Вся измерительная электроника выполнена в стандарте КАМАК (см. рис. 7.2.5). Как видно из схемы, для уменьшения количества измерительных устройств(АЦП), все пикап-станции сгруппированы по пять штук, так, что вся пятерка подключена к одному АЦП при помощи специальных КАМАК-модулей – 5-канальных мультиплексоров. В результате, каждую пятерку пикап-станций обслуживает «секция» из 4-х мультиплексоров и одного АЦП (см. рис.7.2.4). Всего в одном КАМАК-крейте может располагаться до трёх таких секций.

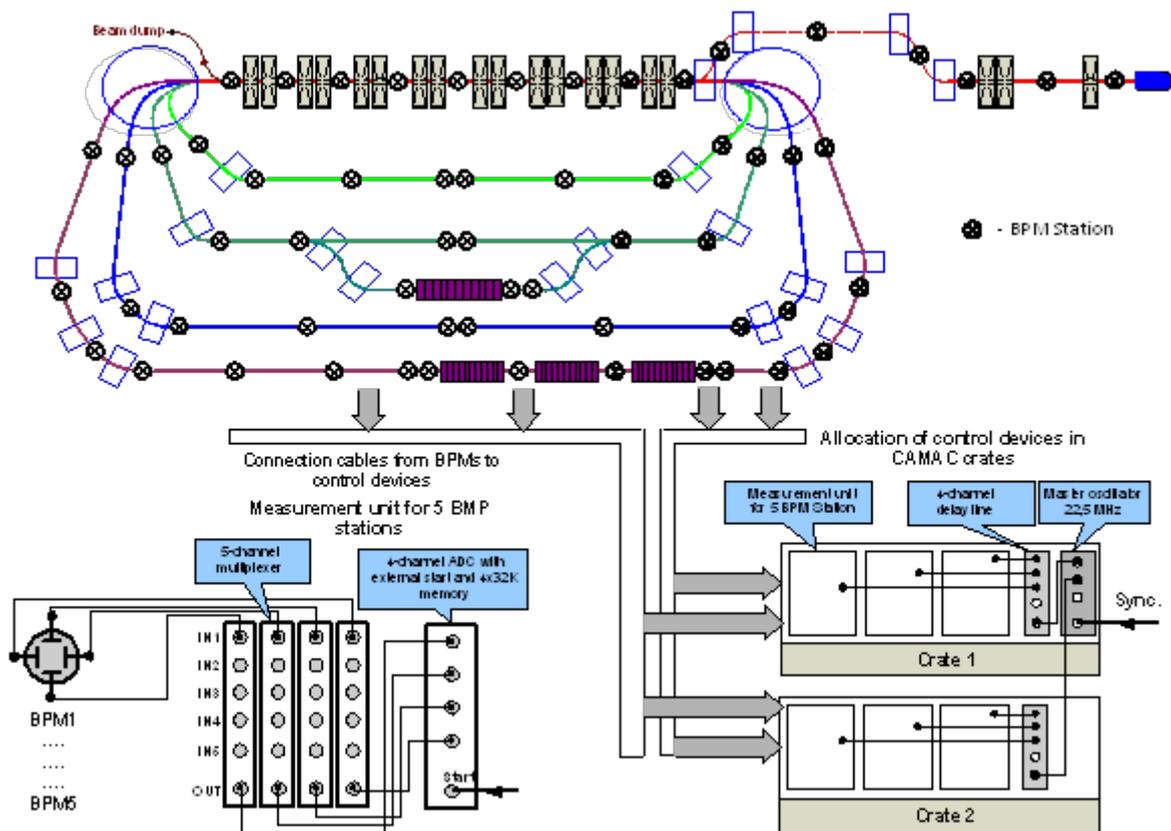


Рис.7.2.4. Полная схема системы.

Для обеспечения задержки запуска измерения АЦП, используется еще один КАМАК-модуль - 4-канальная управляемая линия задержки. Данный модуль принимает на вход импульс запуска от таймера и выдает его на все 4 выхода задержанным на требуемое время, записанное при помощи КАМАК-команды. Таким образом данный модуль может управлять запуском до 4-х АЦП. В каждом КАМАК-крейте устанавливается отдельный такой модуль, который и синхронизирует работу всех 3-х секций в этом крейте (см. рис. 7.2.4). Вся измерительная электроника располагается в 5 КАМАК-крейтах.

#### Работа и возможности системы

Непосредственно управление процессом измерения положения пучка, последовательный опрос всех

пикап-станций осуществляется при помощи управляющей программы, которая работает на персональном компьютере типа IBM-PC. КАМАК-крейты подключаются при помощи специализированных линий связи и интерфейсной платы, устанавливаемой в управляющий компьютер. Управляющая программа может работать в 3-х режимах:

Последовательный опрос всех пикап-станций по очереди для получения и отображения траектории следования пучка в канале ускорителя.

Получение временной развертки сигнала с отдельной пикап-станции путем перестройки величины задержки запуска АЦП в достаточно широких пределах.

Быстрые измерения сигнала с выделенной пикап-станции с фиксированным временем задержки и с

частотой следования электронных сгустков. Измерения сохраняются в память АЦП.

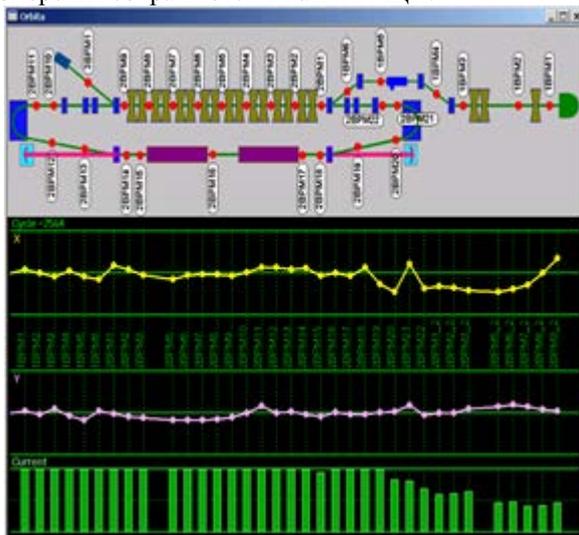


Рис.7.2.5. Траектория пучка в канале ускорителя, полученная после опроса всех пикап-станций

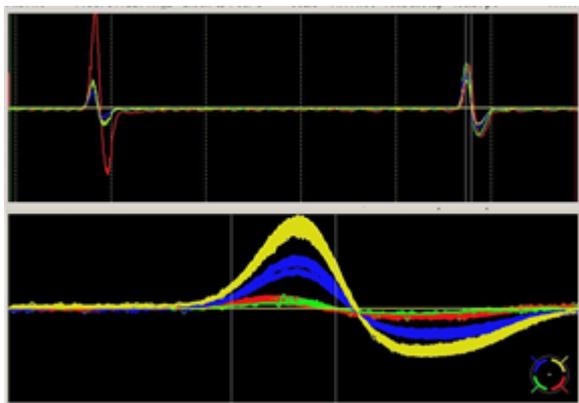


Рис.7.2.6. Измеренная временная развертка сигнала с пикап-электродов

Ниже следует более подробное описание каждого режима работы:

#### Последовательный опрос всех пикап-станций:

В этом режиме управляющая программа опрашивает по очереди все пикап-станции по ходу движения пучка. При этом при опросе каждой пикап-станции задаются свои, предварительно сохраненные величины задержек запуска АЦП, соответствующие максимуму импульса с пикап-пластин, наведенного интересующим электронным пучком. Для повышения точности и устранения временных погрешностей, программа производит измерения не в одной точке, а перебирает небольшой диапазон, составляющий 6-10 шагов по времени задержки вблизи максимума импульса. В результате каждого цикла опроса программа выводит на экран траекторию пучка по всему ходу его движения.

Быстродействие аппаратуры таково, что для снятия положения пучка при одном заданном времени задержки составляет чуть меньше одной миллисекунды. Полное же время опроса всех пикап станций составляет около 500 мс для первой очереди ЛСЭ и 1500 мс для 3-й очереди.

#### Получение временной развертки сигнала с отдельной пикап-станции:

В этом режиме программа переключается в режим опроса одной пикап-станции. Далее программа организует цикл по времени задержки запуска в достаточно широких пределах и выводит полученные данные на экран в виде графика по времени. В результате на экране пользователь получает временную развертку импульсов со всех 4-х пикап-электродов данной пикап-станции (См. рис. 7.2.6). Если диапазон опроса сделать достаточно большим, то для тех пикап-станций, где присутствуют разные пучки (ускоряемый и замедляемый), на полученном графике можно увидеть импульсы от этих разных пучков (см. верхний график на рис. 7.2.6).

Помимо этого, данная функция может работать в циклическом режиме и в режиме накопления графиков (см. нижний график на рис. 7.2.6). В этом случае, при наличии каких-либо колебаний положения пучка, они хорошо будут видны на графике в виде «замазывания» и утолщения соответствующих кривых.

Таким образом, основные применения данного режима работы, следующие:

- Контроль правильности функционирования всей системы по наличию и поведению полученных осциллограмм.
- Установление пределов времен задержки для последующего использования их в первом, основном режиме
- Визуальное наблюдение формы импульсов для определения возможных колебаний положения или тока пучка на данной пикап-станции.

#### Быстрые измерения амплитуды сигналов с частотой следования электронных сгустков.

В предыдущих 2-х режимах, измерения производятся в разные моменты времени, и между ними успевают пролететь произвольное количество электронных сгустков. Таким образом полученные данные (измеренное положение пучка, временная развертка импульса) набираются из измерений по разным сгусткам, и поэтому являются усредненными по этой случайной выборке.

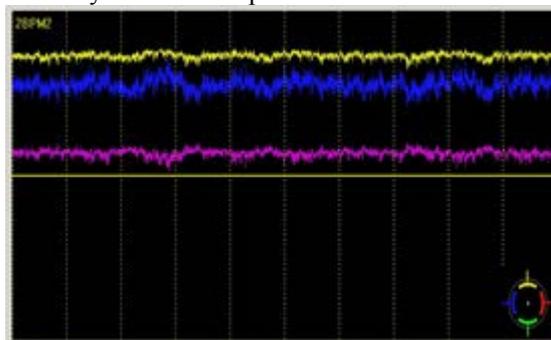


Рис.7.2.7. График измерений, проведенных с частотой следования пучка.

Третий режим работы отличается тем, что в нем измерения проводятся с частотой следования пучков и без каких-либо случайных временных задержек либо пропусков пучков. При переключении на этот режим,

программа переключается на выбранную пикап-станцию, задает постоянную величину времени задержки, и запускает цикл измерений во внутреннюю память АЦП по внешнему запуску. Как было сказано выше, частота внешних запусков равна частоте следования эл. сгустков, поэтому в памяти АЦП будут сохраняться амплитуды импульсов от сгустков, следующих один за другим, и измеренные в определенной фазе. Далее, выведя на экран массив оцифрованных измерений, мы получим зависимость величины импульсов с пикап-пластин от номера сгустка (либо от времени) (см. рис. 7.2.7).

Если имеют место какие-либо колебания положения, либо тока пучка, они будут видны на экране, как колебания сигналов с соответствующих пластин. Зная число измерений, которые сделала программа и частоту следования сгустков, легко восстановить временную шкалу и частоты колебаний и пульсаций положения пучка, если они имеют место.

### Заключение

Разработанная система имеет достаточные точность измерения и быстродействие. Примененный принцип измерений позволяет раздельно определять положения разных электронных сгустков, пролетающих мимо одной пикап-станции, а также детектировать возможные колебания положения и тока пучка и определять их амплитуду и частоту.

## 7.3. РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ТЕРАГЕРЦОВОМ И СРЕДНЕМ ИК ДИАПАЗОНАХ

### 7.3.1. Элементы свободной формы для трансформации и управления излучением НЛСЭ.

В рамках совместной работы, выполненной с Самарским университетом и Институтом систем обработки изображений – филиалом ФНИЦ "Кристаллография и фотоника РАН, была исследована возможность использования для управления мощным лазерным излучением отражающих элементов. Новые источники терагерцового излучения, такие как лазеры на свободных электронах, требуют разработки и совершенствования соответствующей элементной базы для управления пучками терагерцового излучения. Во многих работах количество работ используются простые терагерцовые линзы и дифракционные решетки, но эффективное использование когерентного терагерцового излучения требует создания элементов с более широкими функциональными возможностями, обеспечивающими фокусировку в заданные двух- и трехмерные области, фокусировку с увеличенной глубиной фокуса, управление поперечными модами пучка и т. д. Стекло не прозрачно для терагерцового излучения. Пластиковые материалы плавятся в мощных пучках излучения, поскольку коэффициент поглощения в этой области относительно велик по сравнению с

материалами видимого диапазона. Отсюда очевидна необходимость перехода к металлам, коэффициент отражения которых в терагерцах очень велик.

Особый интерес вызывают отражающие элементы свободной формы (ЭСФ), которые позволяют рассчитать трехмерный рельеф поверхности элемента, отражение от которой будет формировать заранее заданные трехмерные области с заданным распределением плотности мощности излучения. Их можно классифицировать как специфический вид дифракционных оптических элементов (ДОО). Подобные элементы обладают высокой энергетической эффективностью. Если стандартные ДОО рассчитаны на определенную длину волны, то ЭСФ могут работать в широком диапазоне длин волн. В терагерцовом диапазоне большая длина волны позволяет использовать довольно большой шаг рельефа, а это значит, что для механического изготовления можно использовать достаточно простые станки с ЧПУ.

Для отработки исследования характеристик ЭСФ, изготовленных механическим способом, и возможности их использования для манипулирования мощным терагерцовым излучением, были изготовлены путем микрофрезерования простые отражающие сферическое и цилиндрическое зеркала. Допуски размера, формы и расположения, в случае микрофрезерования заготовок с размерами порядка 100 мм, обусловлены возможностями используемого оборудования, и в настоящее время составляют величину менее 20 мкм для серийно производимых станков с ЧПУ. Для оптических элементов, изготовленных для данного эксперимента допустимый уровень шероховатости  $R_a$  составил примерно 8,2 мкм при расчетной длине волны  $\lambda=129,5$  мкм. Сферическое зеркало было рассчитано на отражение пучка под углом 45 градусов; оно имело фокусное расстояние 180 мм и размеры 100x70 мм. Цилиндрическое зеркало отражало излучение под тем же углом и имело те же размеры. Его фокусное расстояние было 150 мм.



Рис.7.3.1. Оптическая система для измерения характеристик элементов свободной формы.

Экспериментальная установка для исследования характеристик обоих ЭСФ показан на рис. 7.3.1. Фокальное пятно сферического зеркала показано на рис. 7.3.2. Измеренная энергетическая эффективность для сферического зеркала превышала 94%, что хорошо согласуется с ранее полученными численными

оценками. Сформированное в эксперименте распределение интенсивности находится в хорошем согласии с результатами численного моделирования изготовленных элементов. В частности, измеренная ширина фокального пятна сферического зеркала на половине высоты составляла 0,75 мм, что весьма близко к расчетному значению 0,78 мм.

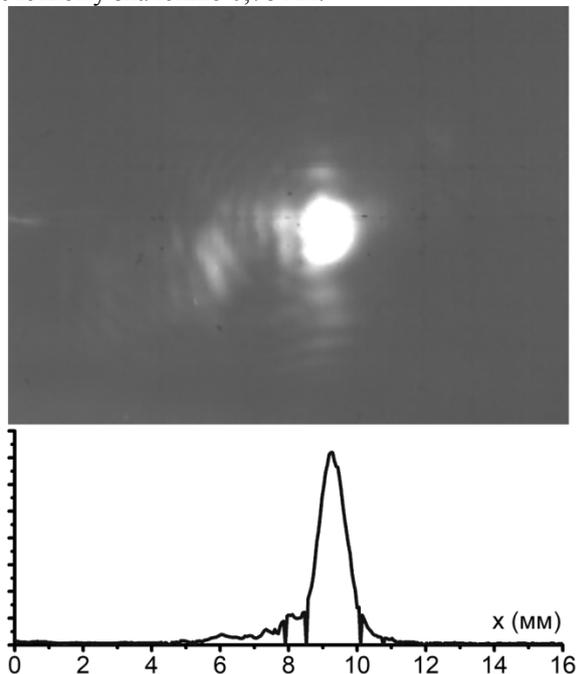


Рис.7.3.2. Распределение интенсивности, сформированное в фокусе сферического зеркала.

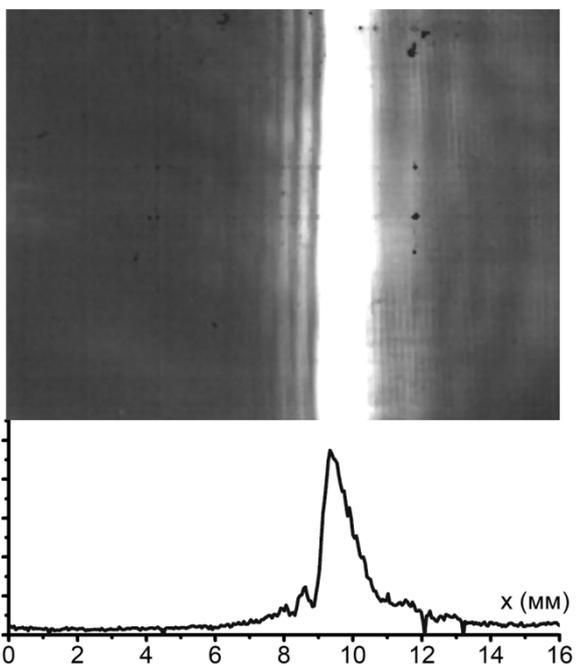


Рис.7.3.3. Распределение интенсивности, сформированное в фокусе цилиндрического зеркала.

На рис. 7.3.3 представлено распределение интенсивности, сформированное в фокусе цилиндрического зеркала из гауссова освещающего пучка терагерцового лазера на свободных электронах. Имеющиеся отклонения измеренного распределения интенсивности от расчетного могут являться следствием:

1) наличия дискретности в движении обрабатывающего инструмента по траектории, что является неустранимым свойством шаговых двигателей и сервоприводов;

2) действия совокупности факторов, приводящих к возникновению т.н. ошибки формы оптического элемента (ошибка интерполятора; погрешность, заложенная в управляющих программах; погрешность установки, базирования и закрепления заготовки на станке; погрешность настройки инструмента и станка на размер и т.д.).

Следует отметить возможное наличие отклонений освещающего пучка от гауссова, что также может влиять на полученное распределение интенсивности.

Таким образом, экспериментально показано, что применение технологии микрофрезерования без дополнительных операций шлифовки и полировки позволяет создавать фокусирующие отражающие элементы терагерцового диапазона с энергетической эффективностью свыше 94%, что является достаточным для большинства приложений. По мнению авторов, дальнейшее совершенствование технологии изготовления отражающих поверхностей позволит повысить эффективность элементов. Полученные результаты дают основание рассчитывать на создание высокоэффективных отражающих элементов терагерцового диапазона с поверхностями свободной формы различного назначения (формирование заданной диаграммы направленности, формирование бездифракционных пучков) в тех случаях, когда задача управления пучком когерентного излучения имеет непрерывное решение, реализуемое с помощью технологий механической обработки.

### 7.3.2. Исследование характеристик кремниевой линзы, созданной методом лазерной абляции излучением фемтосекундного лазера.

Еще одной работой, посвященной созданию оптических элементов, способных работать в пучках мощного терагерцового излучения, была совместная с Институтом общей физики РАН (Москва) и Самарским университетом по исследованию характеристик кремниевой линзы, созданной фемтосекундной абляцией.

#### Постановка задачи

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) представляют собой альтернативу коммерчески доступным преломляющим линзам и изогнутым отражающим металлическим зеркалам, используемым для манипулирования ТГц излучением.

Действительно, DOE, как правило, намного тоньше, чем классические преломляющие элементы, что означает меньший вес и более высокий коэффициент пропускания, что особенно важно для высоких частот. Зеркальная оптика не работает должным образом вне оси; она не компактна и имеет сильные геометрические aberrации. Существенным недостатком ДОЭ является сильная хроматическая aberrация, но ей можно пренебречь при использовании узкополосного излучения. Стоит отметить,

что функциональные возможности ДОЭ не ограничиваются просто фокусировкой ТГц пучков в точку. Многие другие возможности уже были экспериментально продемонстрированы, включая бифокальную линзу Фибоначчи, фрактальную линзу с расширенным фокусом, преобразование гауссова пучка в гаусс-эрмитову и гаусс-лагеррову моды или в «бездифракционный» бесселев пучок.

ДОЭ из полимеров, обладающих низким поглощением в диапазоне частот ТГц, могут быть получены путем механического фрезерования, 3D-печати, импринтинга с помощью кремниевого мастера или горячего прессования. Однако кремний с высоким удельным сопротивлением, являющийся другим материалом с низким поглощением в этой области, выглядит более перспективным для управления мощными ТГц пучками, генерируемыми лазерами на свободных электронах (ЛСЭ), из-за значительно более высокой теплопроводности и температуры плавления. Изготовление бинарных кремниевых ДОЭ, включающее несколько этапов литографического и реактивного ионного травления, было разработано и успешно применено для ТГц оптики. Однако двухуровневые элементы имеют ограниченную дифракционную эффективность, в то время как формирование многоуровневого микрорельефа требует дорогой и сложной процедуры выравнивания фотошаблона. Поэтому недавно был предложен новый подход к изготовлению многоуровневых кремниевых ДОЭ с применением фемтосекундной лазерной абляции. Техника лазерного профилирования поверхности кремния была усовершенствована за счёт использования высокоскоростного сканера. Показано повышение эффективности дифракции для многоуровневых УЭ с увеличением количества уровней, и впервые было продемонстрировано изготовление линзы Френеля для киноформ. Важным результатом этого исследования является наблюдение, что короткоимпульсное лазерное профилирование кремниевой пластины вызывает заметное снижение ее коэффициента пропускания, вероятно, из-за резкого увеличения шероховатости поверхности (до 11 мкм для наибольшей глубины абляции).

Основной целью данного исследования было изготовление кремниевой киноформы ДОЭ для мощного ТГц излучения с низкой шероховатостью поверхности для сохранения исходного коэффициента пропускания высокоомного кремния. Микромеханическую обработку поверхности кремния проводили в Институте общей физики РАН с помощью многомодовой лазерной системы (VaryDisk50 от Dausinger + Giesen GmbH, Германия), генерирующей импульсы длительностью 1 пс на длине волны 1030 нм с частотой повторения 200 кГц и средней мощностью до 30 Вт. Условия лазерной обработки были оптимизированы для уменьшения шероховатости поверхности обработанного кремния до 0,5-1,2 мкм для локальной глубины абляции, изменяющейся в диапазоне 0-70 мкм. Профиль поверхности изготовленной цилиндрической линзы был тщательно охарактеризован с помощью интерферометрии белого света и СЭМ; Коэффициент пропускания и фокусировки был

исследован с помощью лазера на свободных электронах на длине волны 141 мкм. Кроме того, влияние шероховатости поверхности обработанного кремния на пропускание ТГц излучения было исследовано в широком диапазоне с применением спектроскопии во временной области.

#### Экспериментальная установка на ЛСЭ

Оптические характеристики линзы Френеля (рис. 7.3.4) исследовали на НЛСЭ на длине волны 141 мкм, соответствующему одному из окон прозрачности водяных паров в воздухе. Средняя мощность излучения в экспериментах составляла около 10 Вт. Лазерный луч имел профиль Гаусса с модовым диаметром  $2w = 22$  мм, который несколько превышал диаметр изготовленной линзы (20 мм). Чтобы корректно измерить дифракционную эффективность линзы, последняя была помещена в оправу, с круглой апертурой диаметром 22 мм, которая пропускала центральную часть лазерного пучка.

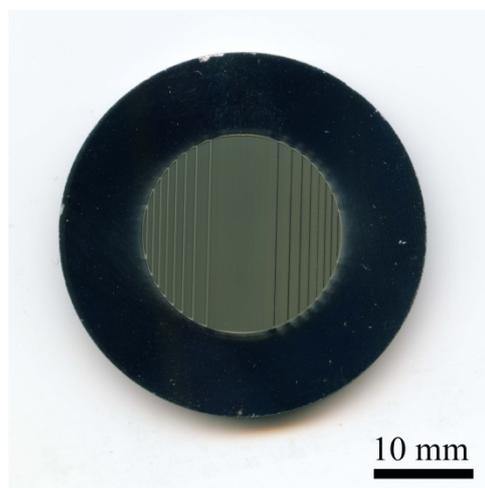


Рис.7.3.4. Фотография кремниевой линзы Френеля, изготовленной методом фемтосекундной лазерной абляции.

Пирозлектрическая матричная камера (Pugosam IV от Ophir Spiricon) размером 25x25 мм (320x320 пикселей) использовалась для измерения профиля интенсивности лазера в трех различных положениях: (i) внутри пустой 20-миллиметровой апертуры (см. Рис.7.3.5a), (ii) сразу после апертуры с установленной линзой Френеля (рис.7.3.5b) и (iii) в фокальной плоскости линзы Френеля (рис.7.3.5c). Во всех трех случаях для проецирования соответствующего уменьшенного изображения (коэффициент увеличения - 0,63) на плоскость пирозлектрической матрицы был использован дублет киноформных линз из полипропилена высокой плотности (диаметр - 80 мм, фокусное расстояние - 80 мм). В предварительных экспериментах пустая диафрагма заменялась специальной маской для измерения эффективного фокусного расстояния дублета линзы ( $f_d = 37 \pm 1$  мм). Применяя оптическую схему и найдя минимальный размер сфокусированного лазерного пятна, мы оценили фокусное расстояние изготовленной линзы Френеля как  $f_{Fr} = 41$  мм.

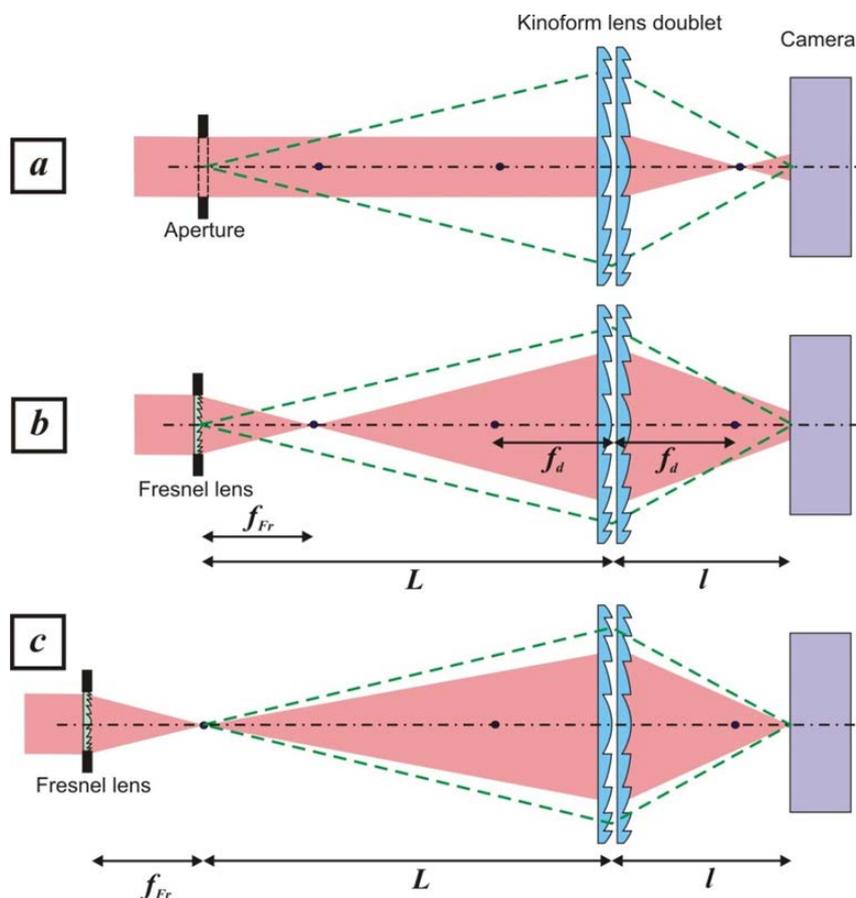


Рис.7.3.5. Установка для исследования оптических характеристик линзы: (а) внутри диафрагмы диаметром 20 мм без линзы Френеля, (б) сразу после линзы Френеля, (в) в фокальной плоскости линзы Френеля. Реальное сечение пучка показано красным цветом, а схема проекции изображения для каждого случая показана штриховыми линиями; расстояния от дублета линзы до объекта и изображения были:  $L = 90$  мм,  $l = 63$  мм,  $f_d = 37$  мм,  $f_{Fr} = 41$  мм.

### Результаты экспериментов и выводы

Изображения распределений интенсивности лазерного пучка, прошедшего через пустую 20-миллиметровую диафрагму и через ту же диафрагму с установленной линзой Френеля, представлены на рис. 7.3.6а и 7.3.6б соответственно. Дифракция гауссова пучка диаметром 22 мм на диафрагме диаметром 20 мм приводит к появлению множества concentric rings в профиле интенсивности (см. Рис. 7.3.6а). Дополнительная интерференция ТГц излучения внутри цилиндрической кремниевой линзы с горизонтально ориентированными зонами Френеля делает картину модуляции интенсивности на рис. 7.3.6б еще более сложной. Кроме того, наблюдаемая картина искажена также, по-видимому, из-за aberrations киноформного дублета.

Полная мощность излучения, проходящего через пустую диафрагму и через изготовленную линзу, была оценена посредством 2D интегрирования соответствующих профилей интенсивности. Интенсивность фонового пирозлектрического сигнала оценивали путем усреднения интенсивности пикселей вблизи углов пирозлектрической матрицы.

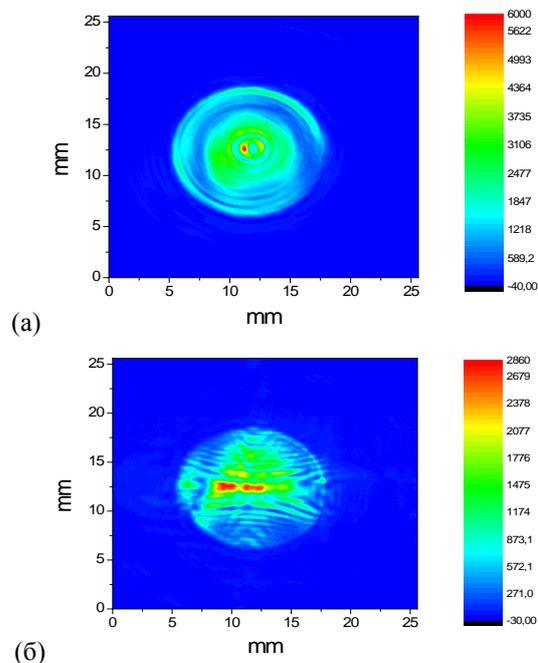


Рис.7.3.6. Профиль интенсивности ТГц излучения сразу после: а) пустой 20 мм диафрагмы, б) линзы Френеля.

Результат далее использовался, чтобы оценить и исключить вклад фонового сигнала в 2D интегралы, вычисленные ранее. Соотношение мощностей, проходящих через диафрагму с линзой Френеля и без нее, дает коэффициент пропускания линзы:  $Tf1 = 0,47 \pm 0,03$ . Это значение близко к расчетному коэффициенту пропускания полированной кремниевой пластины  $Ts = 0,45$  с учетом многократных отражений от двух поверхностей и внутреннего поглощения.

Полная мощность излучения, проходящего через пустую диафрагму и через изготовленную линзу, была оценена посредством 2D интегрирования соответствующих профилей интенсивности. Интенсивность фонового пироэлектрического сигнала оценивали путем усреднения интенсивности пикселей вблизи углов пироэлектрической матрицы. Результат далее использовался, чтобы оценить и исключить вклад фонового сигнала в 2D интегралы, вычисленные ранее. Соотношение мощностей, проходящих через диафрагму с линзой Френеля и без нее, дает коэффициент пропускания линзы:  $Tf1 = 0,47 \pm 0,03$ . Это значение близко к расчетному коэффициенту пропускания полированной кремниевой пластины  $Ts = 0,45$  с учетом многократных отражений от двух поверхностей и внутреннего поглощения.

2D-профиль интенсивности в фокальной плоскости линзы Френеля вместе с двумя поперечными сечениями в перпендикулярных направлениях показан на рисунке 7.3.7. Оба сечения хорошо аппроксимируются гауссовыми функциями

$$y(x) = y_0 + A \exp\left[-2(x - x_0)^2 / w^2\right], \quad \text{где}$$

удельные полуширины  $w$  (на уровне  $1/e^2$ ) равны 0,23 мм в вертикальном направлении и 6,1 мм в горизонтальном направлении. Принимая во внимание указанное выше уменьшение изображения оптической схемой, мы оценили действительные удельные полуширины 2D профиля интенсивности в двух взаимно перпендикулярных направлениях как 0,37 мм и 9,7 мм.

Для более глубокого анализа характеристик фокусировки изготовленной линзы нами было выполнено теоретическое моделирование распределения интенсивности в фокусе безаберрационной цилиндрической линзы с теми же параметрами (диаметр и фокусное расстояние). Первый подход основан на аналитических выражениях, полученных для цилиндрической линзы, фокусирующей однородную плоскую волну. Второй учитывает использование лазерного пучка с гауссовым распределением интенсивности в наших экспериментах.

Эта задача была решена путем численного моделирования сфокусированного профиля интенсивности с использованием пакета программ WaveThruMasks, созданного в среде Matlab для расчета прохождения луча через ряд амплитудно-фазовых масок. Результаты аналитического и численного моделирования показаны на рис. 7.3.8 вместе с экспериментальным профилем, показанным ранее на

рис. 7.3.7. Для удобства сравнения моделируемые профили интенсивности центрированы в том же положении, что и экспериментальный профиль, и масштабированы так, чтобы иметь тот же максимум интенсивности. Оба подхода к моделированию дали профили с близкой шириной, которая меньше ширины профиля интенсивности, полученной в эксперименте. Аналитическая модель демонстрирует специфические дополнительные максимумы низкой интенсивности, которые отсутствуют в численной модели, поскольку профиль гауссова пучка ослабляет дифракцию луча на апертуре линзы. Разница между модельным и экспериментальным профилями интенсивности дает истинное представление об ухудшении характеристик фокусировки линзы Френеля из-за отклонения профиля изготовленной поверхности от первоначального дизайна.

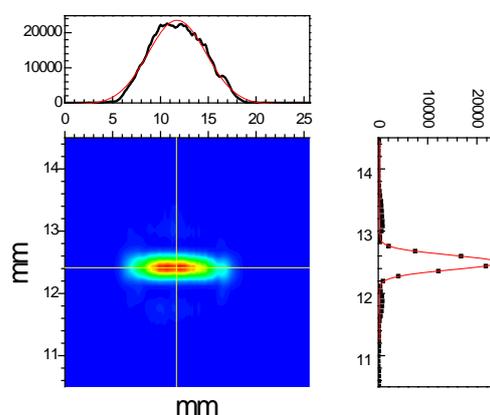


Рис.7.3.7. Профиль интенсивности ТГц излучения в фокусе линзы Френеля.

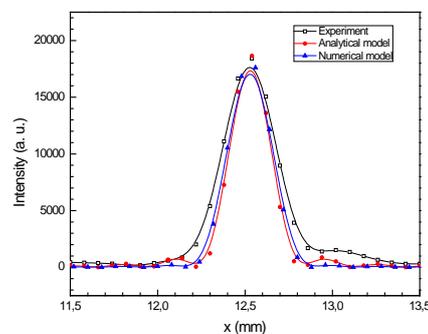


Рис.7.3.8. Аналитическое и численное моделирование профиля интенсивности в фокусе линзы по сравнению с экспериментальными данными, взятыми из рис. 7.3.7

Используя описанную выше процедуру 2D интегрирования, мы нашли полную мощность в фокусе линзы Френеля и сравнили ее с мощностью, падающей на линзу. Дифракционная эффективность изготовленной линзы, определяемая как соотношение между этими двумя значениями, была оценена как  $0,93 \pm 0,06$ . Это означает, что небольшая часть ТГц излучения, проходящего через линзу, выходит за пределы пироэлектрической матрицы, несмотря на большой диаметр полипропиленовых линз, используемых в проекционной схеме. На текущий

момент остается неясным, определяется ли эта потеря мощности дефектами изготовленной линзы (например, неожиданными максимумами дифракции высокого порядка или рассеянием излучения на неровностях поверхности, обработанной лазером), или она является результатом некоторых особенностей процедуры измерения (например, из-за сильной дифракции лазерного пучка на апертуре линзы).

Таким образом, при испытаниях изготовленной линзы на лазере на свободных электронах на длине волны 141 мкм видимого снижения пропускания кремния из-за лазерной микрообработки его поверхности обнаружено не было. Отклонения изготовленного профиля линзы от расчетного приводят лишь к небольшому расширению профиля интенсивности лазера в фокусе по сравнению с численно смоделированным оптимумом и появлению нескольких дополнительных максимумов низкой интенсивности.

## 7.4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ

Одним из важных направлений исследований, использующим большую мощность лазера на свободных электронах, являются исследования обычных и локализованных поверхностных плазмон-поляритонов. Интенсивность плазмонов значительно уменьшается при их распространении по металл-диэлектрическим интерфейсам, и поэтому высокая мощность НЛСЭ является принципиально важной для выполнения экспериментов. При распространении плазмонов по плоским поверхностям их очень трудно диагностировать, поскольку из-за больших радиационных потерь вдоль поверхности распространяются свободные волны, из которых часто невозможно выделить плазмон. Мы предложили и реализовали схему измерений, при которых именно радиационные потери плазмонов позволяют их надежно идентифицировать и определить коэффициенты затухания.

### 7.4.1. Постановка задачи

Поверхностные плазмон-поляритоны (SPP), которые в ранних публикациях называют поверхностными электромагнитными волнами, это – электромагнитные возбуждения, распространяющиеся вдоль границы раздела между диэлектриком и проводником и экспоненциально спадающие в перпендикулярном направлении. Характеристики поверхностных волн (фазовая скорость, затухание и глубина проникновения поля в диэлектрик) зависят от отношения частоты поверхностной волны  $\omega$  к плазменной частоте  $\omega_p$  и времени релаксации электрона  $\tau$ . Другим фактором, который следует учитывать, является отношение длины свободного пробега электрона к глубине скин-слоя. Если длина свободного пробега электрона меньше глубины скин-слоя, взаимодействие металла с электромагнитным полем описывается, по крайней мере, для нормальных металлов, теорией Друде.

Теория Друде имеет два предельных случая. Если частота столкновений, равная  $1/\tau$  выше частоты поля, электроны претерпевают много столкновений в течение периода волнового поля. Это область классического режима скин-эффекта, соответствующая терагерцовому диапазону (ТГц). В противоположном случае в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах электроны совершают много колебаний в промежутках между столкновениями (режим релаксации). Эти два режима (см. диаграмму  $\omega\tau$  на рис. 7.4.1) соответствуют условиям эксперимента при исследовании плазмонов на металлах при комнатной температуре. Для металлов с высокой проводимостью скин-эффект можно считать слегка аномальным (длина свободного пробега начинает приближаться к глубине скин-слоя).

Когда плазмоны перемещаются по выпуклой поверхности, появляются дополнительные потери. Во-первых, выпуклость интерфейса приводит к дополнительным потерям излучения. Во-вторых, дисперсия энергии-импульса мод SPP может зависеть от формы интерфейса, на котором распространяется SPP. Существует несколько экспериментальных исследований, в которых изучались поверхностные плазмон-поляритоны на криволинейных поверхностях. Металлическая фольга, вдоль которой распространялись поверхностные плазмоны ТГц, была изогнута, чтобы защитить детектор от паразитного излучения, но, насколько нам известно, систематических исследований распространения SPP на выпуклых поверхностях не проводилось. Гораздо больше внимания уделялось теоретическому исследованию поверхностных волн, распространяющихся вокруг проводящего цилиндра. В различных публикациях последнего времени показано, что решение проблемы распространения плазмона вокруг криволинейной поверхности не является тривиальным. В этих работах использовались разные подходы к аналитическим и численным методам решения. Полученные результаты иногда противоречивы, и их представление затрудняет использование в экспериментальных исследованиях.

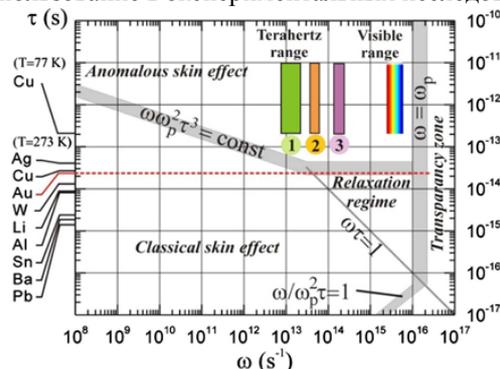


Рис. 7.4.1. от диаграмма, показывающая области, в которых действуют различные механизмы проникновения электромагнитного поля в металлы; слева: характерное время столкновения для некоторых металлов при комнатной температуре. Физический смысл границ между зонами можно понять из расчетов. Вертикальные прямоугольники, обозначенные номерами 1, 2 и 3, показывают области перестройки частоты генерации НЛСЭ.

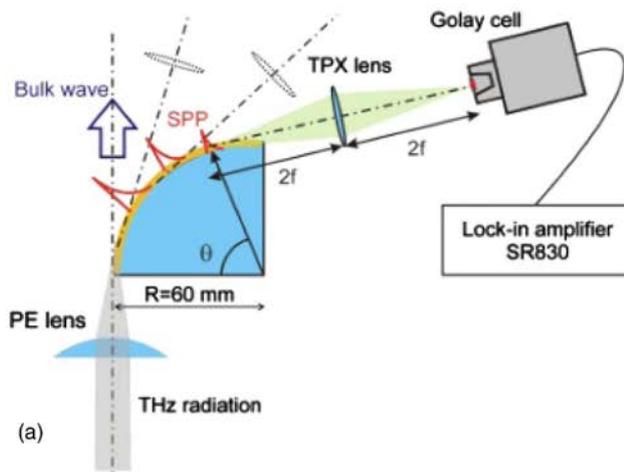


Рис.7.4.2. Исследование затухания поверхностных плазмонных поляритонов, движущихся вокруг цилиндрической границы Au – ZnS – воздух. (а) Экспериментальная схема. (б) Результаты экспериментов. Толщина слоя ZnS указана во вставке;  $\lambda = 129$  мкм.

#### 7.4.2. Эксперимент.

Мы провели три серии экспериментов, используя разные схемы измерений. Во всех случаях поверхностные плазмоны генерировались методом торцевой связи с использованием излучения новосибирского лазера на свободных электронах (NovoFEL). Лазер излучает монохроматическое излучение в виде непрерывного потока импульсов длительностью 100 пс на частоте 5,6 МГц. Длина волны лазера может быть настроена в трех спектральных диапазонах, показанных на рис. 7.4.1. В этих экспериментах мы использовали излучение с длинами волн 129 и 141 мкм, при котором средняя мощность на входе рабочей станции составляла около 30 Вт. интенсивность исследуемого сигнала резко уменьшилась вдоль пути SPP, высокая мощность входного излучения была критически важной в этих экспериментах.

Схема первого эксперимента показана на рисунке 7.4.2 (а). Р-поляризованный гауссов пучок, после прохождения обтюратора сжимался полиэтиленовой линзой ( $f=150$  мм) до диаметра 5 мм на передней грани образца. Образец представлял собой четверть стеклянного цилиндра с выпуклой поверхностью, покрытой слоем золота толщиной 1 мкм и слоем ZnS толщиной от 0 до 2 мкм. Поскольку глубина проникновения благородных металлов в ТГц диапазоне составляет десятки нанометров, микрометровый слой золота можно рассматривать как объемный образец. Радиус кривизны цилиндра составлял  $R=60$  мм. Поверхностные плазмоны, запущенные на переднем крае, перемещались вдоль поверхности к заднему краю, теряя свою энергию из-за диссипативных и радиационных потерь. Как показано, лепесток излучения сосредоточен в узком конусе, направленном тангенциально к поверхности. Оптическая система формирования изображения ( $f=100$  мм) в сочетании с узкой щелью 0,2 мм на входе детектора обеспечивала

сбор излучения от требуемой точки поверхности и блокирование паразитного излучения. Ячейка Голя, используемая в качестве детектора, была подключена к синхронному усилителю SR-830, настроенному на частоту прерывания 10 Гц.

Интенсивность потерь излучения SPP  $I_{рад}$  в каждой точке трека и интенсивность плазмонов пропорциональны друг другу,  $I_{рад} \sim ISPP \sim \exp(-\alpha R\theta)$ , и, следовательно, скорость уменьшения интенсивности потерь излучения точно соответствует скорости спада интенсивности плазмона. Исходя из этого предположения, мы записали сигналы для образцов со слоями ZnS различной толщины. Результаты показаны на графике на рис. 7.4.2(б). Аппроксимируя экспериментальные кривые экспоненциальной функцией  $ISPP(\theta) = ISPP(0) \exp(-\alpha R\theta + A)$ , где  $A$  - уровень шума, который может быть различным для разных кривых, мы нашли скорости затухания  $\alpha$  для энергии плазмона как функцию ZnS толщины слоя  $d$ . Результаты показаны сплошными кружками на рис. 7.4.3. Стандартное отклонение  $\Delta\alpha/\alpha$  изменяется для разных кривых от 0,02 до 0,15, что меньше диаметра кружков.

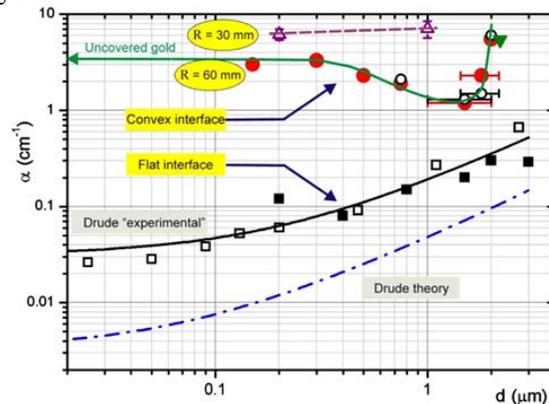


Рис.7.4.3. Скорость затухания энергии  $\alpha$  в зависимости от толщины  $d$  слоя ZnS для плазмонов, на золотых поверхностях, покрытых слоем ZnS. Сплошные и

пустые кружки были получены в конфигурации, показанной на рис. 7.4.2 (а), с цилиндром  $R=60$  мм; пустые треугольники были получены с помощью цилиндров  $R=30$  мм; сплошной треугольник был получен в конфигурации, показанной на рис. 7.4.4 (f). Полные и пустые квадраты: плазмоны, движущиеся

вдоль плоских поверхностей Au – ZnS – воздух. Пунктирно-пунктирная кривая: скорость распада, полученная для плоской границы раздела Au – ZnS – воздух с использованием теории Друде для диэлектрической проницаемости объемного золота.

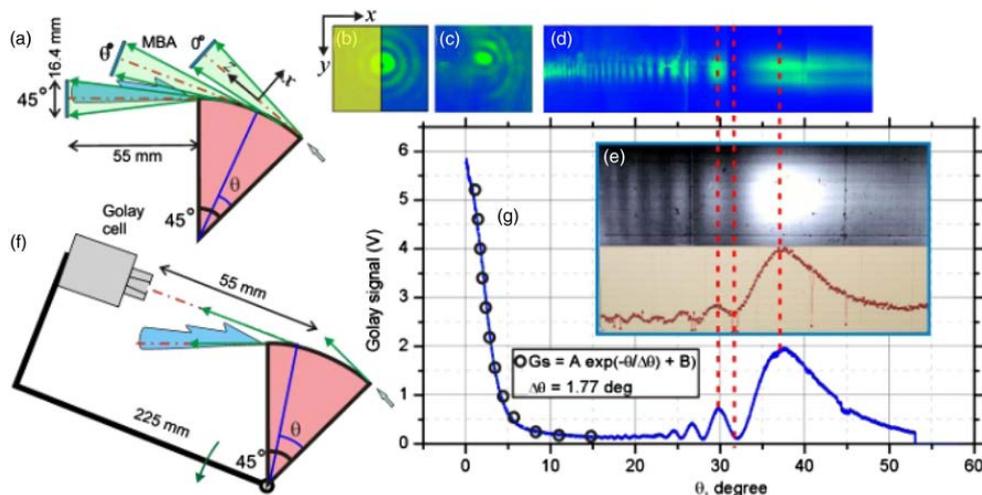


Рис.7.4.4. Исследование радиационных потерь поверхностных плазмон-поляритонов, генерируемых вихревым пучком ( $\lambda$  141 мкм) на цилиндрической золотой поверхности ( $R=60$  мм), покрытой слоем ZnS толщиной 2 мкм. (а) Экспериментальная установка с матрицей микроболметров  $320 \times 240$  (MBA). (б) Изображение вихревого пучка Бесселя. (в) Дифракционная картина, записанная при 0 градусов. (д) Склеенные фрагменты дифракционной картины, записанные с помощью микроболметрической матрицы в диапазоне от  $15^\circ$  до  $55^\circ$ . (е) Кадр, записанный MBA напротив задней поверхности образца, когда плазмон запускался сфокусированным гауссовым пучком. (ф) Экспериментальная установка с ячейкой Голея. (г) Синяя линия: сканирование интенсивности излучения, зарегистрированное с тангенциальным движением ячейки Голея к поверхности; кружки: экспоненциальная подгонка.

Существует более важный источник ошибок - неоднородность толщины слоя ZnS относительно азимутального угла  $\theta$ . Слои были нанесены в вакууме на цилиндрические поверхности без вращения образцов; поэтому распределение толщины слоя имело выпуклую форму, что было подтверждено эллипсометрическими измерениями. В случае большого затухания SPP (быстро убывающие кривые на рис. 7.4.2 (b)) этот эффект незначителен, поскольку толщина изменялась незначительно в пределах угла  $45^\circ$ , но в случае медленно спадающих кривых ( $d = 1 - 1,5$  мкм), экспоненциальные зависимости были явно искажены. В последнем случае мы определили значение скорости распада, используя первую часть кривых. Чтобы проверить достоверность результатов, мы провели, после разборки и повторной сборки установки, еще одну серию измерений с четырьмя образцами в той же конфигурации. Результаты показаны пустыми кружками. Аналогичные эксперименты, в которых в качестве детектора был использован криогенный болометр на горячих электронах, были выполнены с двумя цилиндрами с радиусами 30 мм. Результаты показаны на графике с пустыми треугольниками.

Чтобы подтвердить результаты, полученные в экспериментах, описанных выше, и посмотреть, как выглядит пространственное распределение излучения, испускаемого плазмонами, мы провели еще две серии экспериментов, изменив конфигурацию эксперимента

(Рис.7.4.4(a) и 7.4.4(f)) и используя матрицу микроболметров в качестве визуализатора и ячейки Голея в качестве одноканального детектора. В отличие от вышеупомянутых экспериментов с сфокусированным гауссовым пучком, теперь поверхностные плазмоны возбуждались р-поляризованным бесселевым пучком первого порядка. Последнее явилось результатом преобразования гауссова пучка NovoFEL в пучок Бесселя с орбитальным угловым моментом, также называемый «вихревым» или «вращающимся» пучком. Поперечное сечение пучка показано на рис. 7.4.4(б). Он имеет сингулярность в центре, а его сечение в свободном пространстве не изменяется вдоль оси  $z$  («недифрагирующий пучок»).

Бесселев пучок с  $\lambda$  141 мкм симметрично падал на переднюю грань образца (грань показана в виде полупрозрачного прямоугольника на рис. 7.4.4(b)). Дифракционная картина, наблюдаемая на расстоянии 55 мм от передней поверхности, показана на рисунке 7.4.4 (c). Это наглядно демонстрирует, что в свободном пространстве луч вращается против часовой стрелки. Из-за дифракции на краю образца часть падающего излучения генерировала поверхностные плазмон-поляритоны на поверхности цилиндра. Вращение пучка может влиять на эффективность генерации плазмонов. Действительно, на рисунке 7.4.4(г) мы видим, что более интенсивный плазмон появился на правом пересечении первого и второго колец бесселевого пучка с гранью образца. Очевидно, что

после появления плазмон «забывает» о своем происхождении и становится обычным плазмоном на плоской поверхности, подчиняясь тем же законам, что и остальные. Рисунок 7.4.4(е), записанный, когда плазмон генерировался гауссовым пучком, подтверждает это предположение.

### 7.4.3. Обсуждение результатов.

Видно, что экспериментальные точки лежат значительно выше теоретической кривой. Как уже отмечалось во введении, этот факт в терагерцовом диапазоне наблюдался во многих исследованиях. Их авторы связывают это с различными факторами, например, с изменением структуры металла в тонких пленках или увеличением радиационных потерь на неоднородностях. Преобладание тех или иных типов потерь на плоских поверхностях, скорее всего, зависит от многих экспериментальных параметров, которые играют роль в конкретных ситуациях, но обсуждение этого вопроса выходит за рамки данной статьи.

Сравнение скоростей затухания для плоской и выпуклой поверхностей (рис. 7.4.3) показывает, что для выпуклых границ скорость на 2 порядка выше в случае чистого золота и золота с тонкими слоями ZnS. С увеличением толщины диэлектрического слоя длина распространения плазмонов на плоской поверхности уменьшается. Такая зависимость наблюдалась также для плазмонов на плоской границе раздела серебро-нитрид кремния-воздух при  $\lambda=119$  мкм. На выпуклой поверхности для цилиндра с  $R = 60$  мм, как следует из рис. 7.4.3, длина распространения сначала увеличивается, а затем резко падает. Большая разница в скоростях распада плазмонов, распространяющихся вдоль плоской и выпуклой поверхностей, позволяет предположить, что во втором случае радиационные потери преобладают над омическими потерями в металле. Видно, что эти потери возрастают еще больше с уменьшением радиуса цилиндра (пустые треугольники на рис. 7.4.3).

Нам неизвестны исследования терагерцовых плазмонов, распространяющихся вдоль изогнутых металлических поверхностей с диэлектрическими пленками различной толщины, и поэтому мы не можем сравнивать результаты, полученные с результатами других исследователей. Однако мы полагаем, что наши экспериментальные результаты имеют высокую степень достоверности, поскольку данные, полученные несколькими методами и с использованием различных измерительных приборов, находятся в хорошем согласии. Ни теоретические исследования, ни численное моделирование плазмонов, распространяющихся вокруг цилиндров, не могут быть непосредственно использованы для анализа наших результатов. Прежде всего, в этих работах изучались плазмоны на металлических поверхностях без диэлектрических покрытий. Во-вторых, в большинстве, авторы исследовали изгибы, радиусы которых были близки к длине волны излучения, тогда как в нашем случае отношение  $R/\lambda$  было равно 230–460. Наконец, авторы исследовали плазмоны, соответствующие излучению с частотой,

близкой к плазменной частоте, то есть видимой и ближней инфракрасной области. Эти диапазоны соответствуют области релаксации на рисунке 7.4.1, тогда как терагерцовый диапазон лежит в области классического скин-эффекта. Однако, используя идеи, предложенные в этих работах, мы можем попытаться качественно объяснить экспериментальные зависимости.

Согласно некоторым работам, затухающая волна, распространяющаяся вокруг цилиндрической границы раздела металл-вакуум, теряет свою энергию от своей внешней части, которая находится выше определенного критического радиуса  $r^* > R$  (в нашем случае  $(r^* - R)/R \ll 1$ ), Поскольку увеличение толщины диэлектрической пленки на металле уменьшает длину затухания затухающей волны в вакууме (в нашем случае, воздуха), энергия волны в области выше радиуса  $r^*$  уменьшается, а потери на излучение уменьшаются. Этот механизм может объяснить снижение потерь с увеличением толщины пленки для цилиндра с радиусом  $R = 60$  мм. При дальнейшем увеличении  $d$  доля энергии плазмона, содержащейся в скин-слое металла, возрастает, и диссипативные потери снова начинают расти.

В заключение отметим, что экспериментальные данные указывают на возможность распространения поверхностных плазмон-поляритонов терагерцового диапазона вокруг выпуклых металлических поверхностей. Хотя величина потерь на излучение в этом случае достаточно велика, энергия плазмонов остается достаточной для их регистрации на расстоянии порядка нескольких сантиметров. Изогнутый участок волновода может быть использован, например, для того, чтобы разделить плазмон, распространяющийся вдоль плоской поверхности, и коллинеарную объемную волну, энергия которой может превышать энергию плазмона, и направить плазмон к детектору, изогнутые волноводы также могут быть использованы в различных устройствах интегральной оптики.

## 7.5. МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ НЛСЭ

Оптические резонаторы терагерцового и инфракрасного НЛСЭ были дополнены специальными оптическими узлами, которые позволяют сопровождать невидимое излучение этих ЛСЭ видимым излучением юстировочных HeNe-лазеров (красный цвет). Центры пучков видимого и невидимого излучений везде точно совпадают, поскольку резонаторы и каналы транспортировки излучения НЛСЭ юстируются по этим лазерам. Каждый узел содержит по 2 CVD-алмазных окна: одно окно используется для ввода излучения HeNe-лазера в оптический резонатор, второе вместе со специальным зеркалом с отверстием выводит небольшую часть мощности излучения ЛСЭ для диагностических целей (в настоящий момент на реперный детектор излучения ЛСЭ). Ввод в работу этих узлов намного упрощает юстировку оптических систем на пользовательских

станциях со сложными оптическими системами, таких как метрологическая станция, станция новых методов сверхбыстрой спектроскопии, станции исследования и применений оптического разряда, станции pump-probe спектроскопии твёрдых тел и др. В качестве

иллюстрации на рис.7.5.1 приведено фото терагерцового пучка с пучком оптического излучения и отдельно терагерцового пучка в вакуумной камере установки для получения ВУФ излучения при помощи лазерного оптического разряда.



Рис.7.5.1. Пучки терагерцового и видимого излучения на термофлюоресцентном экране внутри камеры для исследования применений оптического разряда (слева), пучок терагерцового излучения на этом же экране (справа).

## 7.6. ИЗМЕРЕНИЕ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ НОВОСИБИРСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

На терагерцовом НЛСЭ был впервые измерен реальный спектр излучения со сверхвысоким разрешением. Показано, что в стабилизированном режиме лазерное излучение НЛСЭ состоит из нескольких тысяч очень узких линий (сверхтонкая структура – лазерные моды оптического резонатора с различными продольными индексами) с относительной шириной  $2 \cdot 10^{-8}$  внутри спектрального контура лазерного излучения шириной  $2 \cdot 10^{-3}$ , определяемого длительностью импульсов (порядка 100 пс). Частотное расстояние между модами (5,6 МГц) равно обратному периоду обращения световых импульсов внутри оптического резонатора. Такая монохроматичность мод излучения соответствует когерентности 140 излучаемых импульсов НЛСЭ, длительности когерентности – 25 мкс и длине когерентности – 7 км. В случаях, когда внутри оптического резонатора обращаются 2 или 4 внутрирезонаторных световых импульса (частоты выходных импульсов 11,2 и 22,5 МГц) наблюдалась такая же спектральная структура излучения НЛСЭ, как и для одного внутрирезонаторного импульса (5,6 МГц). Это говорит о полном отсутствии когерентности между внутрирезонаторными импульсами. Соответственно, в НЛСЭ полностью отсутствует тонкая структура спектра, порождаемая этой когерентностью, наблюдаемая в некоторых ЛСЭ.

Измерения были выполнены на метрологической станции НЛСЭ при помощи сверхдлинного вакуумного волноводного резонансного интерферометра Фабри-Перо (ИФП), длина которого была равна 1/10 части длины оптического резонатора терагерцового НЛСЭ. При этом в частотном режиме работы ИФП удалось получить только верхнюю оценку ширины линий  $\leq 5 \cdot 10^{-8}$ , а в специальном временном режиме на частотах 5,6 и 11,2 МГц были выполнены точные измерения ширины линий сверхтонкой структуры –  $2,2 \cdot 10^{-8}$ . Для иллюстрации на Рис. 7.6.1 показано фото сверхдлинного резонансного ИФП, на Рис. 7.6.2 - спектр излучения терагерцового НЛСЭ, измеренный в частотном режиме, а на Рис. 7.6.3 - сигналы на выходе ИФП, по которым была точно измерена сверхтонкая структура спектра.

В рамках проекта РНФ № 19-73-20060 «Исследование важных для процессов горения реакций свободных радикалов методами, основанными на когерентных оптических эффектах в терагерцовой области» в 2019 году выполнены следующие работы и исследования. Создана экспериментальная установка для исследования свободных радикалов на Новосибирском ЛСЭ.



Рис.7.6.1. Сверхдлинный вакуумный волноводный резонансный интерферометр Фабри-Перо – модернизированный оптический резонатор универсального газового лазера.

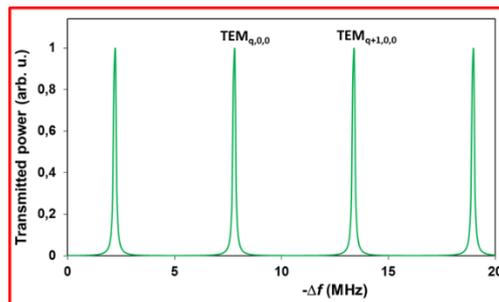


Рис.7.6.2. Линии сверхтонкой структуры излучения терагерцового НЛСЭ – лазерные моды оптического резонатора, измеренные при помощи ИФП, работающего в частотном режиме.

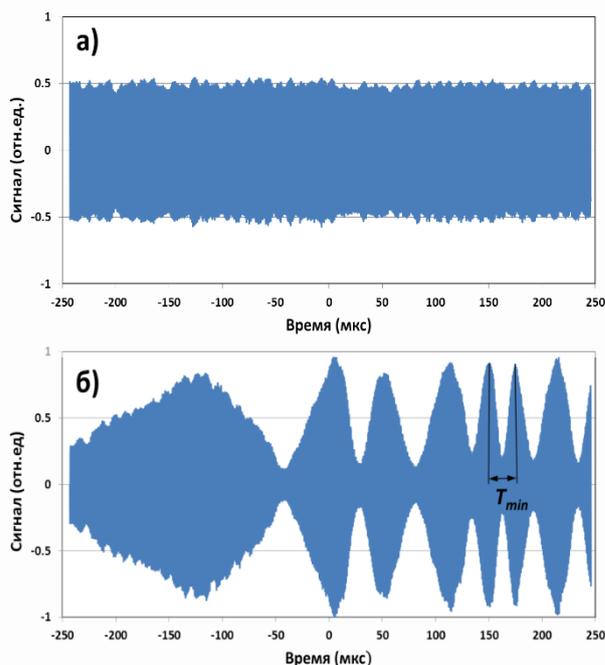


Рис. 7.6.3. Сигналы на выходе ИФП в режиме: а) - одного (5,6 МГц) и б) - двух (11,2 МГц) внутрирезонаторных импульсов. Минимальный период биений  $T_{min}$  в двухимпульсном режиме определяет время когерентности каждого внутрирезонаторного импульса.

Проделаны первые эксперименты по изучению влияния магнитного поля на распад оптической свободной индукции радикала ОН в терагерцовом диапазоне. В экспериментах надежно регистрировался сигнал оптической свободной индукции радикала ОН

на частоте  $83,8 \text{ см}^{-1}$ . Сигнал содержал характерные биения на частоте  $4,4 \text{ ГГц}$ , соответствующие расщеплению между компонентами вращательной линии радикала. Длительность сигнала составляла около  $5 \text{ нсек}$ . При включении продольного магнитного поля величиной  $320 \text{ Гс}$  наблюдались изменения как общей интенсивности сигнала индукции, так и поляризационного состояния. Общая картина влияния магнитного поля оказалась сложной, и достигнуть условий, при которых плоскость поляризации излученной волны поворачивается на  $90$  градусов, пока не удалось. Планируется продолжение экспериментов в магнитном поле до получения соответствия эксперимента теоретическим расчетам на этом, а также на других вращательных переходах радикала  $\text{OH}$ .

Измерена константа скорости реакции  $\text{OH} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$ , Работа выполнялась параллельно с исследованиями в NJIT, Ньюарк, США и CNRS, Орлеан, Франция. Проведенное исследования позволяет снять имеющееся в литературе противоречие.

Развит метод расчета сигналов оптической свободной индукции (Free Induction Decay - FID) парамагнитных молекул в магнитном поле. Метод позволяет, исходя из имеющихся в спектроскопических базах данных параметров, рассчитывать интенсивность и поляризационное состояние FID в зависимости от времени после импульса и магнитного поля. Метод был апробирован на расчете FID стабильной молекулы  $\text{NO}$ , для которой ранее были получены экспериментальные данные. Проведен расчет влияния магнитного поля для сигналов FID гидроксильного радикала на переходе на  $83,8 \text{ см}^{-1}$  и для перехода на  $102 \text{ см}^{-1}$ .

В рамках проекта РНФ № 19-72-20166 «Исследование разряда, создаваемого излучением терагерцового лазера на свободных электронах в неоднородном потоке газа, как точечного источника мягкого рентгеновского излучения» в 2019 году выполнены следующие работы и исследования. На Новосибирском лазере на свободных электронах (НЛСЭ) создана специальная пользовательская станция для исследования терагерцового лазерного разряда. Установка представляет собой вакуумную камеру укомплектованную турбомолекулярными и форвакуумными насосами с суммарной скоростью откачки  $2000 \text{ л/с}$  и с возможностью при необходимости увеличения скорости откачки до  $4000 \text{ л/с}$ . На вакуумной камере предусмотрены порты для подсоединения диагностической аппаратуры. Ввод излучения в камеру производится через окно из синтетического CVD-алмаза, установленного под углом Брюстера. Внутри вакуумной камеры установлена и отъюстирована система зеркал, позволяющая осуществить оптимальную фокусировку и достигнуть максимальной напряженности поля терагерцовой волны около  $1 \text{ МВ/см}$ . Установка позволяет проводить эксперименты, как при разреженной атмосфере, так и при избыточном давлении в камере.

Проведены расчеты пробойных кривых в широком диапазоне давлений для следующих газов: аргон, криптон, ксенон, азот, кислород. Расчеты показывают,

что уровень мощности, который может обеспечить НЛСЭ достаточный для всех перечисленных газов. Определены диапазоны давлений, при которых будет реализовываться пробой газов при максимальной мощности НЛСЭ:  $\text{Ar} - 250-1500 \text{ Торр}$ ,  $\text{Kr} - 150-1500 \text{ Торр}$ ,  $\text{Xe} - 90-1500 \text{ Торр}$ ,  $\text{O}_2 - 100-1500 \text{ Торр}$ ,  $\text{N}_2 - 400-1500 \text{ Торр}$ . Было показано, что начальных концентраций плазмы на уровне фоновых ( $10-100 \text{ см}^{-3}$ ) достаточно для развития лавины при полях, доступных на НЛСЭ.

Измерены параметры пучка терагерцового излучения с учетом новой системы ввода и фокусировки. В точке фокусировки диаметр пучка на полувысоте для длины волны  $130 \text{ мкм}$  по расчету составляет  $0,13 \text{ мм}$  и  $0,25 \text{ мм}$  по измерениям. В этом, случае при средней мощности НЛСЭ равной  $200 \text{ Вт}$ , импульсная напряженность электрического поля достигнет  $1 \text{ МВ/см}$ .

Проведены первые тестовые эксперименты на собранной установке. Получен плазменный лазерный разряд в атмосфере аргона в сфокусированном пучке терагерцового излучения со средней мощностью  $140 \text{ Вт}$  на длине волны  $130 \text{ мкм}$ . Пороговая средняя мощность существования разряда в случае стоячей волны (плоское зеркало в фокальной перетяжке) составила  $90 \text{ Вт}$ .

Под действием терагерцового излучения возрастает в несколько раз экспрессия генов, продукты которых участвуют в процессах агрегации и адгезии клеток. Методами транскриптомики в ИЦиГ СО РАН показано, что ТГц облучение индуцирует экспрессию оперонов, связанных с процессами агрегации и адгезии клеток, формированием адгезивных структур, биосинтеза некоторых метаболитов. Под воздействием ТГц излучения увеличивается экспрессия транскрипционных факторов (ТФ), вовлеченных в регуляцию процессов агрегации клеток. Методами электронной микроскопии показано, что контрольные клетки, как правило, не формировали крупных скоплений и не образовывали тесные прямые контакты между клетками, тогда как для облученных клеток бактерий характерны массовые контакты между клетками. Кроме того, у облученных бактерий обнаружены нарушения аппарата деления.

Работа поддержана бюджетным проектом ФИЦ ИЦиГ СО РАН по. 0324-2019-0040-С-01. Эксперименты по облучению проведены на уникальной установке – Новосибирском лазере на свободных электронах в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН).

## **7.7. СПЕКТРАЛЬНАЯ ДИАГРАММА ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ВОЛН, ПОРОЖДАЕМЫХ ТЕРМОСТИМУ- ЛИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПЛАЗМАМИ НА КРАЮ ОБРАЗЦА**

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) могут генерироваться не только внешним источником

излучения, но и также флуктуациями плотности электронов проводимости в скин-слое металлического тела. Данные ППП называют термостимулированными ППП (ТППП).

### Теоретические расчеты

Энергия термостимулированных поверхностных плазмон-поляритонов (ТППП) в инфракрасном (ИК) диапазоне в основном концентрирована над поверхностью металла, т.к. глубина проникновения электромагнитного поля ТППП в металл очень мала. Поэтому ИК ТППП можно рассматривать как квазичастицы, слабо связанными с электронами проводимости металла, или в качестве газа свободных фотонов (бозонов), аналогично модели излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Но в отличие от АЧТ, которое является трехмерным излучателем, ТППП, дифрагирующие на краю проводящей поверхности, являются двумерным ИК излучателем. Следовательно, спектр ТППП на элементарной ячейке (на которой можно пренебречь затуханием ТППП) отличается от планковского спектра АЧТ: их полная энергия пропорциональна третьей степени температуры (в отличие от закона Стефана Больцмана). Более того, спектр ТППП зависит от макроскопических размеров поверхности проводника, в то время как размеры АЧТ (или «серого тела») не влияют на его спектр.

ТППП, являясь неизлучающими модами, не дают вклада в излучение проводником в дальней волновой области и могут распространяться вдоль металлических поверхностей на расстояния порядка тысяч длин волн (излучаемого ИК излучения). На краю поверхности поверхностные волны дифрагируют и преобразуются в узконаправленное объемное излучение, которое вносит заметный вклад в  $p$ -компоненты ИК излучения поверхности. Это было показано нами ранее теоретически и экспериментально на алюминиевом бруске, имеющем температуру от комнатной до 200°C.

Точное решение задачи дифракции поверхностных электромагнитных волн на прямоугольном проводящем крае было получено с помощью метода Зоммерфельда-Малюжинца. Было показано, что дифрагированное поле ППП может быть полностью описано компонентой магнитного поля, перпендикулярной к проводящей поверхности. Используя формулу для магнитного поля за проводящим краем, с помощью численных расчетов мы нашли угловую диаграмму интегральной интенсивности дифрагированных ТППП на краю металлической грани в ближнем, среднем и дальнем ИК диапазонах (см. рис. 7.7.1).

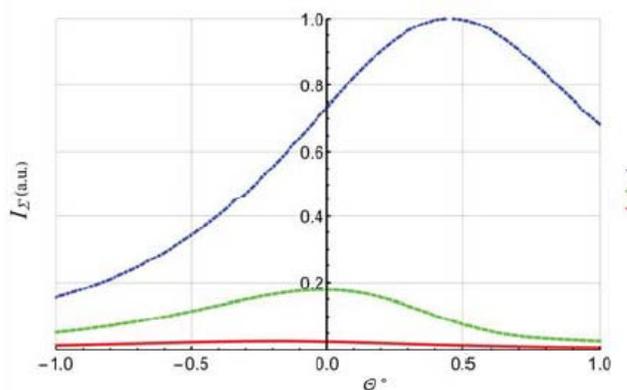


Рис.7.7.1 – Результаты расчетов угловых диаграмм ТППП для различных спектральных диапазонов: ближний ИК (3-8 мкм), средний ИК (8-15 мкм) и дальний ИК (15-100 мкм) на расстоянии 80 мм от проводящего края, угол  $\theta = 0^\circ$  соответствует плоской грани,  $\theta > 0^\circ$  - над плоской гранью.

Как видно из рисунка, диаграммы зависят от спектрального диапазона, т.е. проводящий край работает как диспергирующий элемент. Коротковолновые компоненты излучения дифрагированных ТППП прижаты ближе к поверхности.

### Эксперимент

Для наблюдения излучения дифрагированных ТППП мы собрали установку, показанную на рис. 7.7.2. Угловые диаграммы измерялись на краю плоского дюралюминиевого бруска, нагретого до температуры 220°C. Измерение проводилось линейным сканированием ячейкой Голея (Tydex GC-1D) в плоскости нормальной к грани образца на различных расстояниях от ребра образца L (74, 77, 80 и 90 мм). Для выделения спектральных областей использовались оптические фильтры ( $\lambda = 3, 6$  и  $7$  мкм, Edmunds Optics) и поляризаторы для среднего ИК ( $\lambda = 2-10$  мкм) и дальнего ИК ( $\lambda > 10$  мкм) диапазонов. Детектируемое ИК излучение модулировалось с частотой 15 Гц, а сигнал с ячейки Голея подавался на вход синхронного усилителя SR-830. Для определения вклада ребра образца (шириной 29,5 мм) в ИК излучение дополнительно использовались два экрана: широкий (30,5 мм), перекрывающий боковые грани, и узкий (28,5 мм). Вычитая результаты сканирования (полученные в обеих схемах), были получены диаграммы  $p$ -компонент ИК излучения для различных спектральных диапазонов. По диаграммам определялись позиции максимумов, соответствующих вкладу ТППП, дифрагированных на краю образца.

Было обнаружено, что позиции максимумов в диаграммах отличаются для различных спектральных диапазонов: для среднего ИК ( $\lambda = 2-10$  мкм) максимум был в районе  $\theta = 2^\circ$ , а для дальнего ИК в области  $\theta = 3^\circ$  (измеренные диаграммы не показаны, т.к. отличие небольшое). Таким образом, максимумы излучения дифрагированных на проводящем крае ТППП спектрально разделяются: коротковолновые диаграммы ТППП ближе к поверхности грани образца, чем излучение длинноволновых ТППП. Результаты расчетов и эксперименты подтверждают предположение о том, что край металлической грани является

диспергирующим элементом для поверхностных электромагнитных волн.

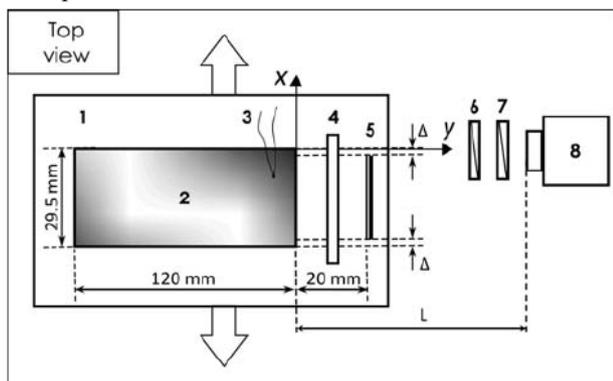


Рис.7.7.2. Схема экспериментальной установки: 1 – подвижная платформа, 2 – образец, 3 – термопара, 4 – обтюратор, 5 – место для установки сменных экранов, 6 – оптический фильтр, 7 – поляризатор, 8 – ячейка Голея.

### Заключение

Суммируя результаты проделанной работы, следует сделать вывод, что программа запланированных на 2019 год работ выполнена. Полученные результаты существенно расширяют возможности проведения экспериментов с использованием излучения Новосибирского ЛСЭ. В частности, электронная модуляция мощности излучения может быть использована практически во всех экспериментах для исследования влияния пиковой и средней мощностей излучения на результаты экспериментов. Работы по компенсации изменения фокусировки электронов ондулятором при перестройке частоты излучения ЛСЭ следует продолжить. По параметрам излучения и возможностям для проведения экспериментов с излучением установка «Новосибирский ЛСЭ» значительно лучше зарубежных аналогов. Проведённые в 2019 году работы увеличили этот разрыв.

На рабочих станция Новосибирского лазера на свободных электронах в течение 2019 года продолжались работы по модернизации собственно лазера и рабочих станций, а также оснащению последних измерительным оборудованием. Выполнено большое количество исследований внешними пользователями. В процессе работы, в частности, разработаны методики для оптических исследований в терагерцовом и инфракрасном диапазонах.

## 8.1. УСКОРИТЕЛИ ТИПА ИЛУ

### 8.1.1. Новый ускоритель типа ИЛУ.

Начиная с 1983 года, ускорители типа ИЛУ поставляются в промышленность, где они используются для исследовательских работ и для работы в составе промышленных технологических линий. Некоторые из этих машин загружены работой 2-3 смены в сутки на протяжении многих лет и успешно выдерживают подобную нагрузку.

В 2019 году по договору с компанией «СВ-30» был осуществлён монтаж новой модели ускорителя ИЛУ-10М2 с тремя высокочастотными генераторами.

Шунтовое сопротивление резонатора ускорителя ИЛУ-10 составляет около 7,4 МОм, и при амплитуде высокочастотного напряжения 5 МВ мощность потерь составляет 1,7-1,8 МВт. Один генератор на ламповом триоде ГИ-50А выдаёт 2 МВт высокочастотной мощности в импульсе. В двухгенераторном ускорителе ИЛУ-10 при работе на энергии 5 МэВ из 4 МВт импульсной мощности 1,7 МВт уходят на потери в резонаторе, при запасе 300 кВт, 2 МВт второго генератора идут на ускорение электронного пучка, и максимальная средняя мощность пучка достигает 50 кВт при длительности импульса 0,5 мс и частоте повторения импульсов 50 Гц.

Добавление ещё одного генератора позволит увеличить суммарную импульсную высокочастотную мощность до 6 МВт, что позволит практически вдвое увеличить мощность, идущую на ускорение электронного пучка. В результате средняя мощность электронного пучка может быть увеличена вдвое по сравнению с ускорителем ИЛУ-10 – с 50 до 100 кВт.

На Рисунке 8.1.1 показаны концептуальный проект нового трёхгенераторного ускорителя ИЛУ-10М2. На Рисунке 8.1.2 показан вид собранной машины с тремя высокочастотными генераторами.

Ускоритель ИЛУ-10М2 с мощностью пучка до 100 кВт будет востребован на растущем рынке обработки пищевой продукции тормозным излучением. В России этот рынок сейчас только формируется.

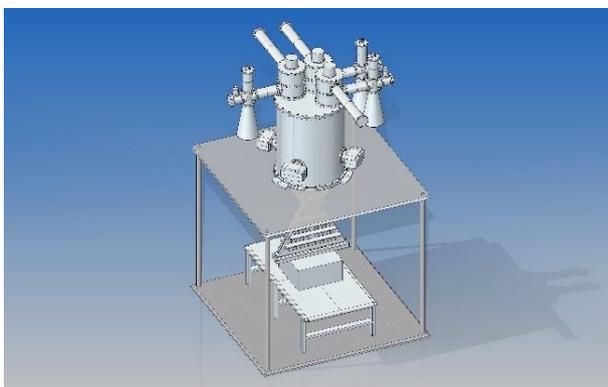


Рис. 8.1.1. Концептуальный проект нового трёхгенераторного ускорителя ИЛУ-10М2.



Рис. 8.1.2. Верхняя часть ускорителя ИЛУ-10М2 в бункере, видны 3 высокочастотных генератора.

### 8.1.2. Облучательный центр ИЯФ-НГУ.

В здании №15 ИЯФа работает совместный облучательный центр ИЯФа и НГУ. За 2019 год было обработано 545 тонн медицинской продукции – одноразового белья и инструментов. На Рисунке 8.2.3 показаны коробки с продукцией фирмы «Здравмедтех» (одного из ведущих российских производителей одноразовых медицинских изделий) на конвейере облучательного центра.



Рис. 8.1.3. Медицинская продукция в коробках на конвейере облучательного центра.

### 8.1.3. Разработка вакуумного тракта и юстировочных узлов поворотного канала.

В рамках работы по госзаданию на 2017-2021гг решается задача по разработке магнитной системы для

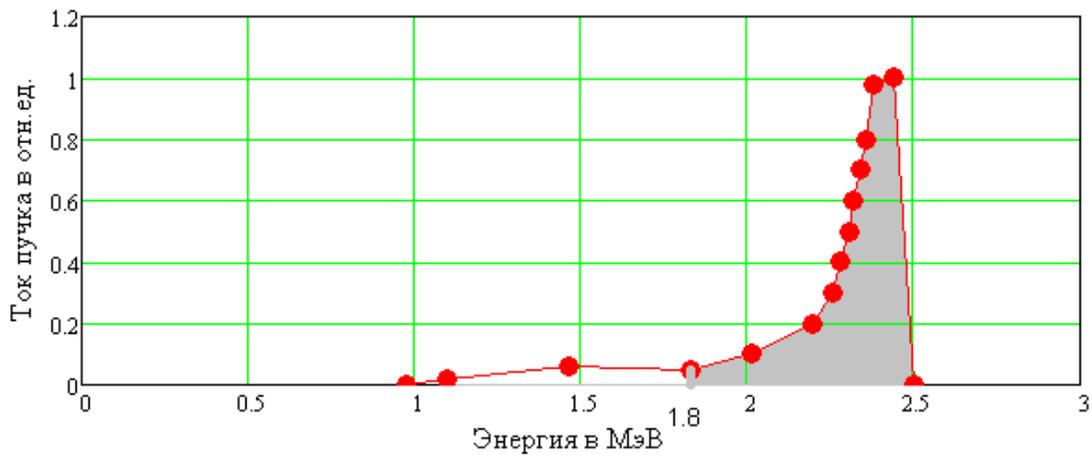


Рис. 8.1.4. Спектр ускоренного пучка электронов ИЛУ-7.

поворота электронного пучка с широким энергетическим спектром (до 50%), которая бы позволяла получить после поворота пучок с фазовыми характеристиками близкими к начальным.

Для решения этой задачи была предложена магнитная система, состоящая из двух поворотных электромагнитов (магнитных зеркал) и вакуумного тракта для транспортировки пучка.

Эксперименты по повороту электронного пучка при помощи системы магнитных зеркал планируется проводить на базе высокочастотного импульсного ускорителя электронов ИЛУ-7, разработанного, изготовленного и работающего в ИЯФ СО РАН.

Основные параметры ускорителя ИЛУ-7: энергия ускоренных электронов – до 2,5 МэВ, средний ток пучка – до 10 мА, длительность импульса тока пучка – до 0,5 мс, частота повторения импульсов – 1÷50 Гц. Отличительной особенностью ускорителей серии ИЛУ, в том числе и ИЛУ-7, является использование так называемой «внутренней» инжекции, при которой катод электронной пушки с заземленной управляющей сеткой располагается непосредственно на входе ускоряющего зазора резонатора.

При таком способе инжекции инжектируемый ток формируется ВЧ полем, проникающим из ускоряющего зазора в промежуток сетка – катод и определяемым проницаемостью сетки. При этом максимальное значение тока в импульсе соответствует максимуму ускоряющего напряжения в зазоре резонатора. Регулируя постоянный запирающий потенциал на катоде, можно получить необходимую фазовую протяженность инжектируемого импульса тока, при котором обеспечивается энергетический разброс ускоренного пучка в заданных пределах и одновременно исключается наличие «обратных» электронов.

При проектировании выпускного тракта необходимо учесть характеристики электронного пучка, генерируемого этим ускорителем. Измеренный энергетический спектр электронного пучка ускорителя ИЛУ-7 приведен на Рисунке 8.1.4, неравномерность

распределения электронов по энергии в пучке составляет 28%.

На Рисунке 8.1.5 приведены распределения плотности тока пучка и фазовый эллипс, построенный по уравнению эллипса в координатах "угол - радиус" по координате «х» на уровне 0,97 от полного тока. Эмиттанс на уровне 0,97 - 15 см·мрад. По координате «у» распределение плотности тока и фазовая характеристика пучка аналогичны кривым приведенным на Рисунке 8.1.4.

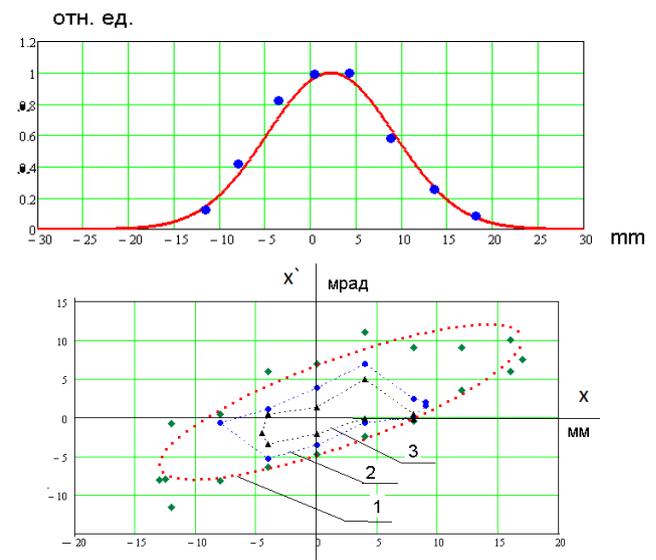


Рис. 8.1.5. Распределение плотности тока по радиусу пучка в относительных единицах (вверху) и фазовый портрет ускоренного пучка электронов (внизу) с линиями равной плотности тока в горизонтальной плоскости измерения: 1 – на уровне 0,97 от полного тока, 2 – на уровне 0,75 от полного тока, 3 – на уровне 0,5 от полного тока.

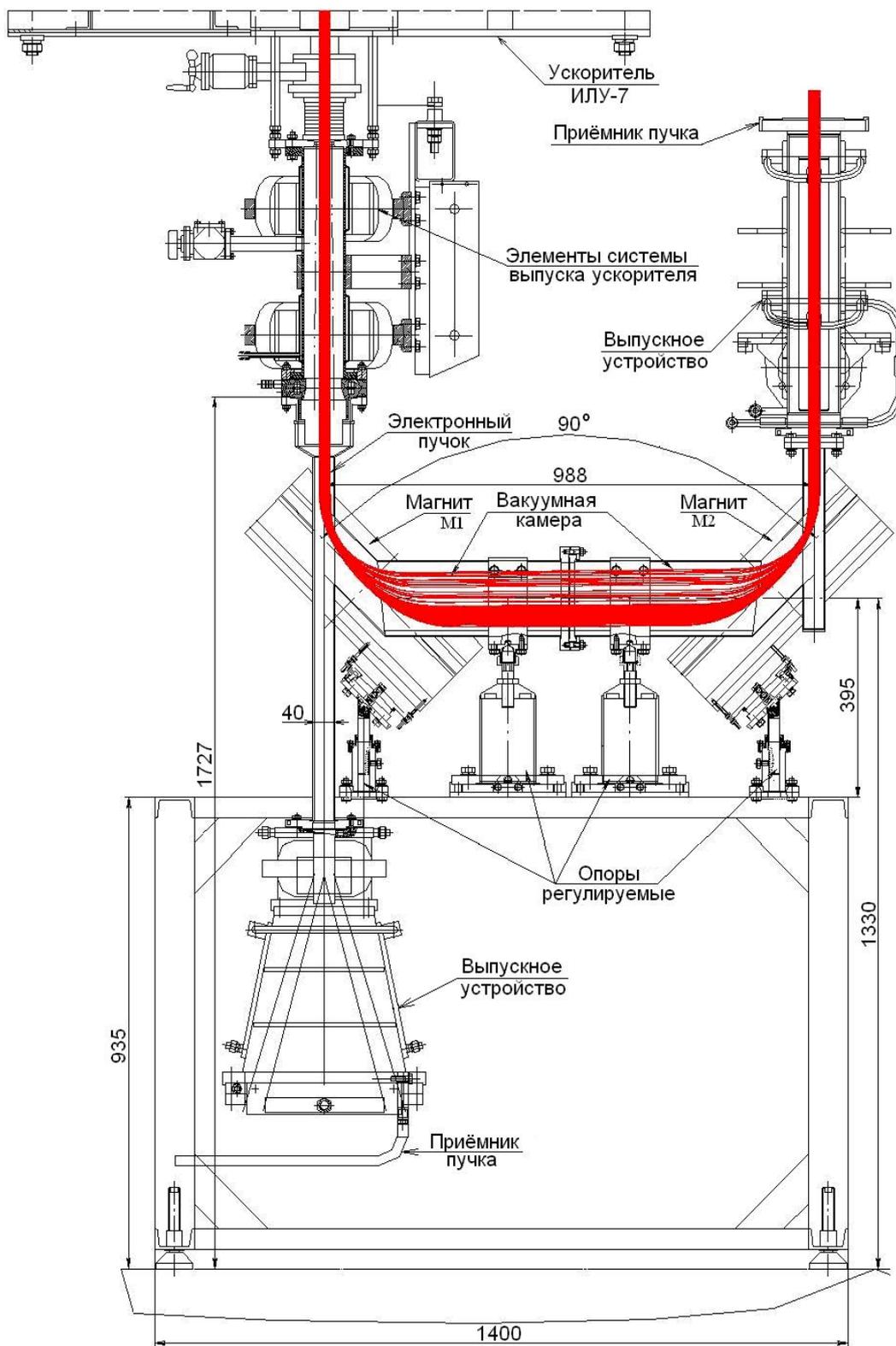


Рис.8.1.6. Общий вид установки для поворота пучка.

По результатам сделанных ранее траекторных расчетов движения пучка при прохождении магнитных зеркал магнитное поле поворачивает пучок на  $180^\circ$  в радиальной плоскости зеркал (плоскость XZ), а в аксиальной плоскости (XY) происходит дефокусировка и фокусировка пучка, и пучок расширяется примерно в 1,5 раза при входе в магнитные зеркала и затем возвращается к исходным аксиальным размерам при выходе из них. Исходя из этого, при проектировании конструкции поворотного магнита зазор между его полюсами составил величину 50 мм.

Данная величина однозначно задает ширину вакуумной камеры с точностью до ее толщины. С учетом необходимого при монтаже минимального зазора между полюсами магнита и вакуумной камерой (0,5 мм) ширина камеры по вакууму составила 45 мм, при толщине стенок камеры 2 мм. Высота вакуумной камеры равна 146 мм и обусловлена размером пучка в радиальной плоскости после прохождения первого магнитного зеркала, составляющим величину порядка  $130 \div 140$  мм.

На Рисунке 8.3.6 приведен чертеж установки для поворота ахроматического пучка на  $180^\circ$ , состоящей из импульсного ускорителя ИЛУ-7, двух магнитных зеркал и вакуумного поворотного канала для транспортировки пучка (размеры указаны в миллиметрах). Поворотный канал представляет собой вакуумную камеру прямоугольного сечения из нержавеющей стали, состоящую из двух поворотных участков, расположенных под углом  $45^\circ$  к оси ускорителя и проходящих внутри межполюсных зазоров поворотных электромагнитов, и соединяющего их прямолинейного участка. Помимо этого, имеются два канала выпуска пучка в атмосферу. Первый канал используется для начальной настройки параметров пучка при выключенных поворотных магнитах и его выпуска в атмосферу вдоль оси ускорителя без поворота, второй канал используется для выпуска пучка, прошедшего через весь поворотный вакуумный тракт и повернутого на  $180^\circ$ .

Вакуумный тракт может быть собран как полностью, для поворота пучка на  $180^\circ$ , так и наполовину, для изучения параметров пучка после поворота на  $90^\circ$  и прохождения первого магнитного зеркала. Для корректировки угла наклона поворотных магнитов относительно оси ускорителя, а также их положения относительно вакуумной камеры тракта дополнительно предусмотрены юстировочные устройства в виде регулируемых опор.

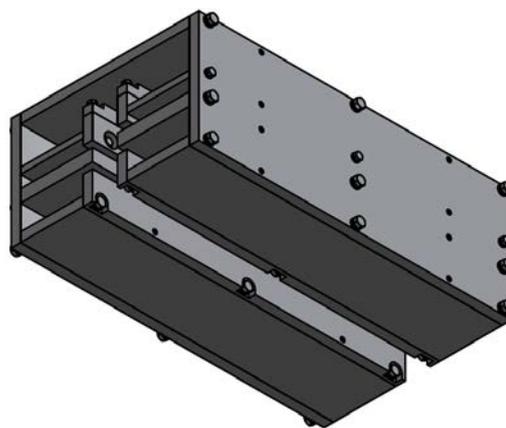


Рис.8.1.7. Магнитопровод поворотного электромагнита.

#### 8.1.4. Изготовление магнитной системы для поворота электронного пучка.

На основе расчетов параметров магнитной системы для поворота пучка ВЧ ускорителя электронов ИЛУ-7 были сконструированы и изготовлены два поворотных электромагнита (магнитных зеркала), конструкция их магнитопроводов показана на Рисунке 8.4.7, а их внешний вид – на Рисунке 8.4.8.

Каждое из магнитных зеркал представляет собой ш-образный магнитопровод из стальных пластин (материал сталь 3) с двумя парами катушек – внутренних и внешних. Две пары обмоток вместе с полюсами магнитопровода формируют требуемую форму распределения магнитного поля по оси Z в щели зеркала. Протяженность полюсов магнитов составила 50 см, глубина магнита – 16,5 см (ось Z), высота – 31 см (ось Y), на каждой из четырех катушек намотано по 270 витков провода диаметром 2,2 мм, толщина намотки – 2 см, высота – 10 см. Выбранный размер зазора зеркала обусловлен параметрами пучка ускорителя ИЛУ-7 и равен 5 см.



Рис 8.1.8. Магнитное зеркало в сборе с катушками.

На этом магнитном зеркале были проведены измерения распределения магнитного поля по глубине магнитного зеркала при следующих токах питания внешних и внутренних катушек: 3 А и 2 А, 3 А и 3 А, 2 А и 3 А соответственно. Результаты измерений при этих условиях и расчётные значения приведены на Рисунке 8.1.9.

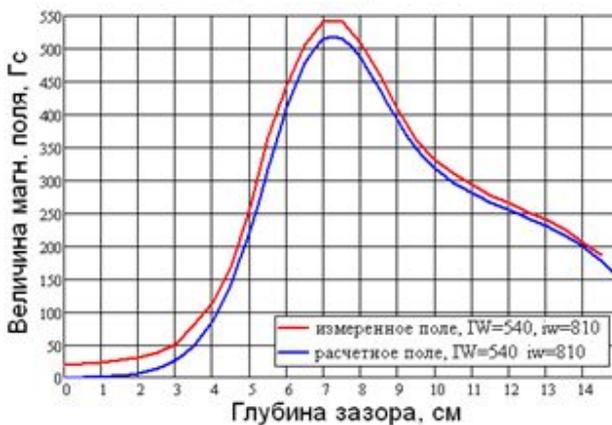
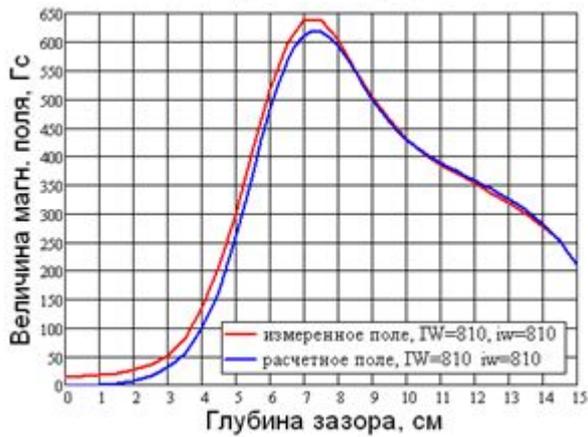
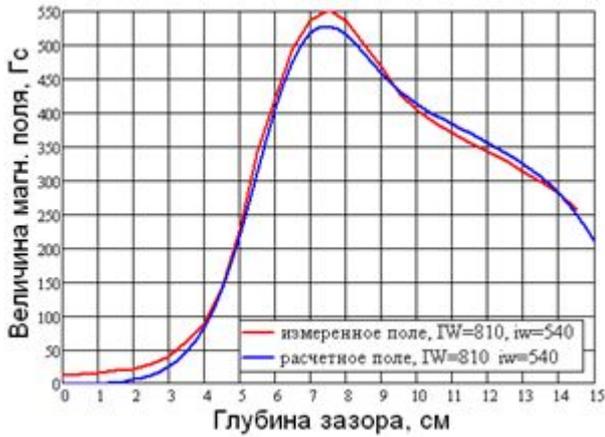


Рис. 8.1.9. Расчетные и экспериментально измеренные напряжённости магнитного поля по глубине магнитного зеркала для разных значений ампер-витков внешних (IW) и внутренних (iw) катушек.

Был произведен контроль однородности распределения магнитного поля вдоль магнитного зеркала (ось X). Для этого были сняты распределения поля по глубине зеркала в начале ( $X = 2,5$  см), середине ( $X = 17,5$  см) и в конце магнита ( $X = 33$  см) (см. Рисунок 8.1.10).

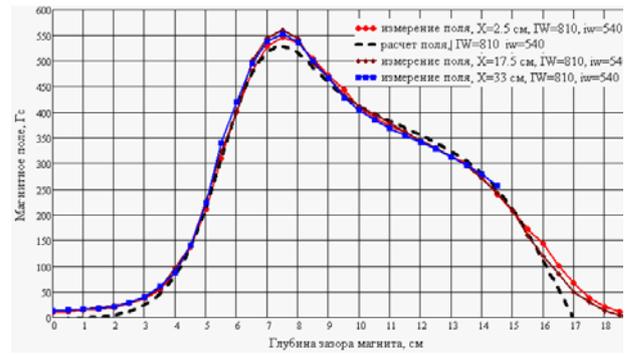


Рис. 8.1.10. Распределения магнитного поля по глубине зеркала в разных точках вдоль магнита.

Внешние катушки, также, как и внутренние, были соединены последовательно и запитаны от отдельных источников постоянного тока. Сопротивление внутренних катушек составило 3,7 Ом, внешних – 4,1 Ом. Для питания катушек использовались управляемые источники питания с напряжением до 48 В и максимальным током нагрузки 12 А. Стабилизация тока нагрузки осуществляется отрицательной обратной связью по току.

#### 8.1.5. Монтаж и испытание нового конвертора для генерации тормозного излучения.

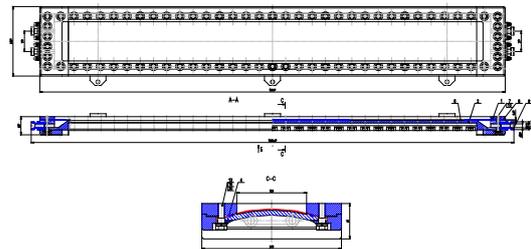


Рис. 8.1.11. Конструкция конвертора для генерации тормозного излучения.

Был разработан и изготовлен конвертор с упрощенной и более технологичной в изготовлении конструкции для энергии электронного пучка 5 МэВ и мощность до 100 кВт, его конструкция показана на Рисунке 8.1.11.

После окончательной сборки 2-х конверторов были проведены их гидравлические испытания при давлении воды до 8 атм. В процессе проведения гидравлических испытаний происходила неупругая деформация танталовой пластины мишени и конвертор принимал окончательную форму. Выгиб танталовой пластины в её центральной части достигал 3 мм.

Конверторы эксплуатировались при энергии электронного пучка 5 МэВ и его мощности до 40 кВт, расход охлаждающей дистиллированной воды составлял около 40 л/мин. В ходе испытаний и последующей эксплуатации конверторы показали рабочие параметры в соответствии с техническим заданием и результатами моделирования.

На Рисунке 8.1.12 приведены экспериментально измеренные распределения тока пучка вдоль конвертора (чёрные кружки) и интенсивности тормозного излучения под конвертором (синие квадраты). Режим работы – энергия 5 МэВ, мощность пучка – 40 кВт. Ток пучка измерялся пробниками, интенсивность тормозного излучения измерялась с помощью дозиметров, которые передвигались под конвертором через зону облучения на подвижном столике со скоростью 1 мм/с.

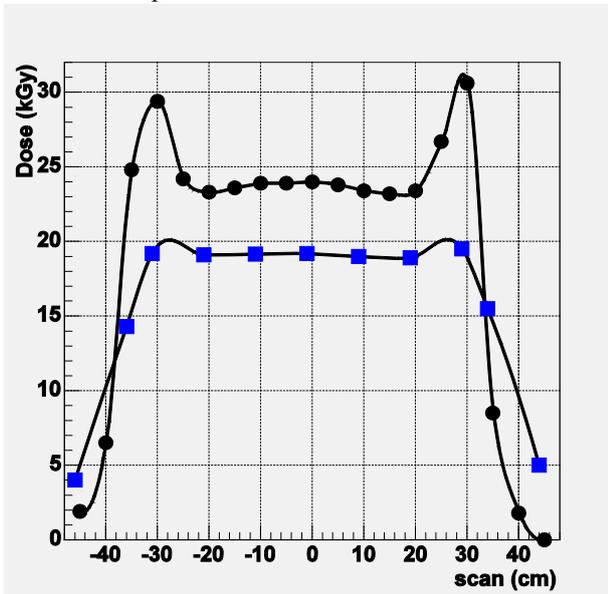


Рис. 8.1.12. Распределения тока пучка вдоль конвертора (чёрные кружки) и интенсивности тормозного излучения под конвертором (синие квадраты).

### 8.1.6. запуск и тестирование новых систем управления ускорителями ИЛУ.

Для импульсного питания однорезонаторных ускорителей ИЛУ используется модулятор, схема которого приведена ниже на Рисунке 8.6.13. Его рабочие параметры:

- Выходное напряжение – до 34 кВ
- Ток нагрузки – до 250 А
- Импульсная мощность – 8,5 МВт
- Длительность импульса – 0,5 мс
- Энергия в импульсе – до 4 кДж

Принцип построения этого модулятора достаточно стандартен для питания высокочастотных (ВЧ) импульсных ускорителей – сетевое напряжение выпрямляется трёхфазным выпрямителем G1 и выпрямленное напряжение подаётся на накопительный дроссель L1, в котором происходит постепенное увеличение тока и соответственно накопление энергии. Время накопления тока определяется требуемой энергией в генерируемом импульсе и определяется задаваемой энергией и импульсным током пучка. Время накопления энергии в обычном рабочем режиме составляет порядка 17 мс (зависит от энергии и тока пучка ускорителя), и за это

время зарядный ток переключается между фазами питающей трёхфазной сети.

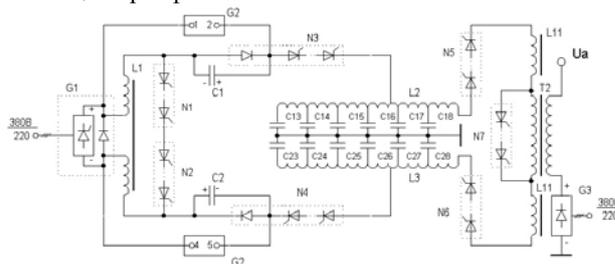


Рис. 8.1.13. Упрощенная схема модулятора.

G1 – выпрямитель, L1 – накопительный дроссель, G2 – плата перезаряда, C1, C2 – конденсаторы перезаряда, N1...N7 – тиристорные ключи, C13...C28, L2, L3 – формирующая линия, T2 – импульсный трансформатор, G3 – источник напряжения подвозбуждения, L11 – дроссель насыщения.

По завершении периода накопления зарядный ток прерывается, и накопленная в дросселе L1 энергия перебрасывается в накопительную формирующую линию C13...C28, L2 и L3 в режиме резонансного заряда. Затем формирующая линия разряжается через импульсный трансформатор T2, формируя на выходе прямоугольный высоковольтный импульс питающий ВЧ генератор.

При всех своих достоинствах – относительной простоте, отработанности, надёжности работы – такой модулятор имеет существенный недостаток – при нарастании тока в накопительном дросселе L1 идёт неравномерная нагрузка на фазы питающей сети, что вызывает появление постоянной составляющей в потребляемом от сети токе. Это может привести к намагничиванию сетевого трансформатора в распрестройстве, поэтому приходится использовать силовой трансформатор с большей габаритной мощностью, чем это требовалось бы при равномерной нагрузке фаз.

Это может привести к намагничиванию магнитопровода сетевого трансформатора в распрестройстве, поэтому приходится использовать силовой трансформатор с большей габаритной мощностью, чем это требовалось бы при равномерной нагрузке фаз. Для решения этой проблемы было предложено дважды (со сдвигом 10 мс) накапливать ток в индуктивности L1 и дважды заряжать емкости формирующей линии C13-C28 (C1-C12, см. Рисунок 9) за период питающей сети 20 мс с таким сдвигом по фазе, чтобы выровнять токи по фазам и исключить намагничивание силового трансформатора в распрестройстве.

Для реализации этой концепции потребовалась минимальная переделка модулятора, а именно, добавление четырех дополнительных тиристорных линеек, двух “зарядных” (X4 и X5) и двух соединяющих емкостные линии с центральной земляной точкой модулятора (X10 и X11) перед импульсом, как это показано на Рисунке 8.1.14.

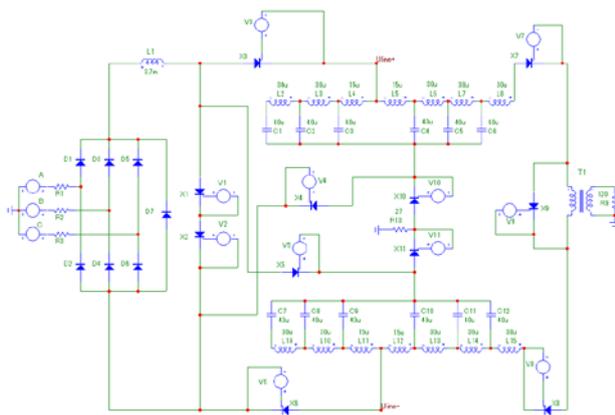


Рис. 8.1.14. Упрощенная схема модулятора с двойным накоплением.

Для управления новой схемой потребовалась переработка системы управления модулятором. Для испытания концепции двойного накопления было решено не разрабатывать специальную новую управляющую электронику, а объединить два стандартных Блока Управления Модулятором (БУМ) в конструктиве ВИШНЯ-40 с модернизацией программного обеспечения БУМа. Также потребовалась некоторая переделка схемы защиты модулятора с использованием двух блоков быстрой защиты (ББЗ).

Были разработаны программа микроконтроллера БУМ и программа управления ускорительным комплексом, позволяющая оперировать модулятором с двойным накоплением

Модулятор с двойным накоплением был испытан на всех режимах при импульсном питании ускорителя ИЛУ-7 и показал работоспособность выбранной концепции.

По результатам моделирования разброс по потреблению токов в фазах питающей сети снизился с 40% до нуля (в идеальном случае, реально, до пределов ошибки измерения), что позволит избежать замагничивания магнитопровода силового трансформатора. Это позволит снизить запас по габаритной мощности используемых питающих трансформаторов в распреестройствах на 40-60%, в зависимости от типа используемого трансформатора.

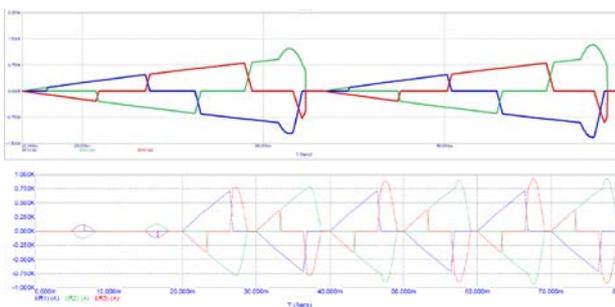


Рис. 8.1.15. Графики токов питающей сети по 3-м фазам:

- модулятор с единичным накоплением за период (верхний график),
- модулятор с двойным накоплением (нижний график)

На Рисунке 8.1.15 показаны результаты моделирования потребления тока фазам для старой схемы (вверху) и новой схемы модулятора, токи каждой из фаз показаны красным, синим и зелёным. В первом случае видно, что по синей фазе существует значительный перекося тока – отрицательный ток существенно превышает положительный, перекося около 40%. По нормативам силовые трансформаторы допускают дисбаланс по токам в разных фазах до 10%. На нижнем графике видно, что отрицательный и положительный по направлению токи по каждой из фаз интегрально практически равны.

### 8.1.7. Разработка новой системы питания ускорителями ИЛУ на основе ёмкостных накопителей.

За основу новой системы питания ускорителей серии ИЛУ была принята схема на основе емкостных накопителей с частичным разрядом. В окончательном виде схема должна состоять из десяти одинаковых модулей. Изоляция каждого модуля рассчитана на напряжение до 4 кВ. Все модули соединены последовательно, поэтому максимальная изоляция на выходе источника должна быть до 40 кВ. Питание модулей производится от трехфазного повышающего трансформатора установочной мощностью 300 кВА, который питается от трёхфазной сети 380 В.

Источник должен работать в импульсном режиме с частотой до 100 Гц и длительностью импульса до 1 мс. Выходной импульс должен иметь амплитуду до 34 кВ и обеспечивать ток нагрузки 250 А (максимальный ток нагрузки 300 А).

На Рисунке 8.1.16 представлена функциональная схема системы питания на основе распределённого емкостного накопителя энергии. Максимальная импульсная мощность источника питания составляет 8 МВт, соответственно максимальная средняя мощность составляет 300 кВт.

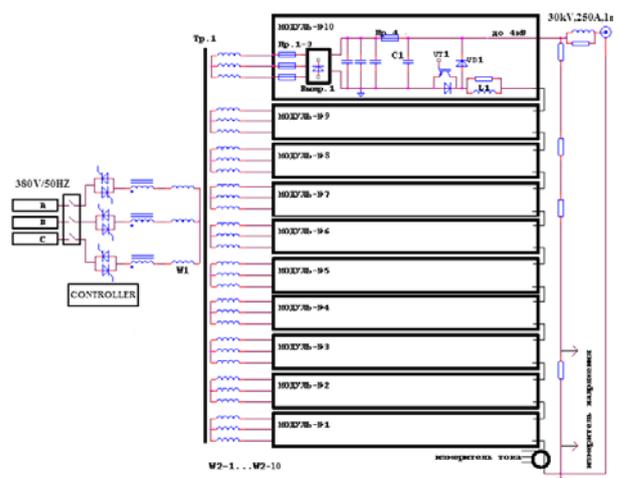


Рис. 8.1.16. Функциональная схема системы питания на основе распределённого емкостного накопителя энергии.

Входное напряжение на первичную обмотку трансформатора с секционированной вторичной обмоткой подается от сети 380 В, 50 Гц через тиристорный регулятор, позволяющий регулировать напряжение заряда конденсаторов каждого модуля. Отрицательная обратная связь по напряжению берется с конденсаторов первого модуля. Таким образом, результирующее выходное напряжение может регулироваться как с помощью фазового угла, так и путем последовательного включения необходимого количества ячеек.

Вторичная обмотка трансформатора состоит из 10 одинаковых изолированных секций. Каждая секция вторичной обмотки подключена непосредственно к отдельному накопительному модулю. В каждом модуле есть свой диодный выпрямитель, и конденсаторы в каждом модуле могут заряжаться до максимального напряжения 3,6 кВ. Выходы модулей соединены последовательно, на выходе каждого из них стоят диоды, поэтому ток нагрузки минует неподключенный в конкретный момент модуль через диод. Таким образом, каждый модуль может работать независимо друг от друга. Максимальное выходное напряжение 10 модулей составляет 36 кВ.

Первый модуль должен подключаться к нагрузке на 3 мс раньше всех остальных. Такой режим обусловлен необходимостью обеспечить возбуждение высокочастотного генератора ускорителя до прихода переднего фронта импульса напряжения. После этого одновременно включается необходимое количество модулей (определяется требуемым выходным напряжением) на время 0,5-1 мс.

В каждом модуле предусмотрена система быстрой разрядки конденсаторов на низкоомный резистор большой мощности через тиристорный ключ. В случае окончания работы предусмотрено срабатывание автоземлителя и происходит разрядка конденсаторов через нагрузочный резистор.

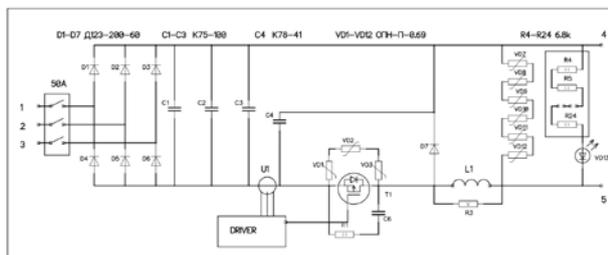


Рис. 8.1.17. Схема модуля на основе ёмкостных накопителей.

### 8.1.8. Тестирование ёмкостного накопительного модуля новой системы питания на основе ёмкостных накопителей.

В 2018 году был собран модуль на основе ёмкостных накопителей и источник питания на основе силового трансформатора, запитанный от сети 380 В через регулятор. Для плавного регулирования напряжения на конденсаторах модуля был использован блок управления тиристорами и симисторами (БУСТ) фирмы ОВЕН. В качестве нагрузки на выходе модуля

используются мощные резисторы С5-40В-500Вт сопротивлением 120 Ом.

На Рисунке 8.1.17 представлена схема этого модуля. На его вход от секции вторичной обмотки сетевого трансформатора поступает трёхфазное переменное напряжение частотой 50 Гц напряжением от 1 до 3 кВ. Это трёхфазное напряжение выпрямляется диодным выпрямителем D1-D6 и заряжает конденсаторы C1-C3 до напряжения 4 кВ. Далее включается транзистор T1 и на нагрузку формируется импульс напряжения заданной длительности. Индуктивность L1 необходима для формирования переднего фронта импульса. Кроме того, при пробоях необходимо затянуть фронт тока короткого замыкания, для того чтобы успеть выключить транзистор.

Основной компонент модуля – три соединенных параллельно конденсатора K75-100-4кВ-1300мкФ±10%. Суммарная ёмкость батареи составляет 3,9 мФ. Запасаемая энергия при этом может достигать до 20 кДж. В качестве силового ключа используется транзистор Mitsubishi CM400DY-66H с рабочим напряжением до 6,5 кВ и средним током до 400 А. Для управления транзистором используется драйвер WEPOWER PHD1032-65. Для развязки питания драйвера по напряжению используется отдельный понижающий трансформатор, подключенный к двум фазам вторичной обмотки высоковольтного силового трансформатора. В качестве выпрямителя используются мощные высоковольтные диоды таблеточного типа D123-200-60.

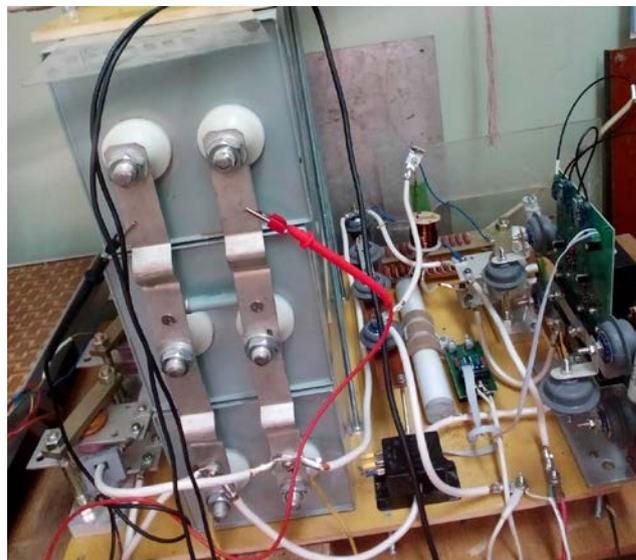


Рис. 8.1.18. Собранный накопительный модуль.

Собранный модуль на основе ёмкостных накопителей показан на Рисунке 8.1.18. В 2019 году проводилось его полноценное тестирование в различных режимах с нагрузкой и без неё.

В процессе тестирования были отработаны системы защиты по короткому замыканию и получены следующие параметры:

- Напряжение на нагрузке 1500 В
- Ток нагрузки 150 А
- Длительность импульса 600 мкс

Задержка переднего фронта 70 мкс  
Частота повторения импульсов 50 Гц  
Нестабильность выходного напряжения 2%

Измерения токов фаз питающего напряжения показали равномерную нагрузку фаз.

На Рисунке 8.8.19 приведена осциллограмма импульса выходного напряжения модуля при работе на нагрузку.

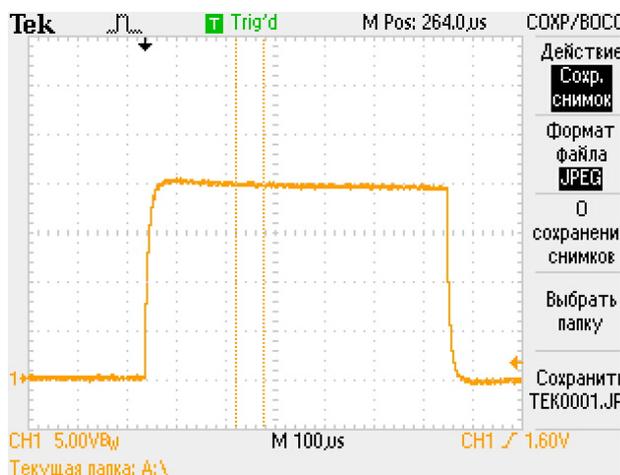


Рис. 8.1.19. Импульс напряжения на выходе модуля. Масштаб по вертикали 5 В/деление, по горизонтали 100 мкс/деление.

### 8.1.9. Радиационная обработка биологических объектов.

В последние десятилетия в России постепенно уменьшается количество изотопных источников, ранее достаточно широко использовавшихся для исследовательских работ. Это происходит по различным причинам, в том числе это связано с повышением стоимости содержания и обновления этих источников, завершением срока службы изготовленного ещё во время существования СССР оборудования и ужесточением режима контроля и лицензирования.

В Институте цитологии и генетики СО РАН проводятся работы по изучению феномена радиопротекторных свойств экстраклеточной дцРНК. В перспективе эти работы могут привести к разработке подходов для масштабного получения вещества – дцРНК, и создания лекарственной промышленной формы нового радиопротектора.

Ранее для проверки действия препаратов подопытные мыши облучались дозой 10 Гр на работавшем десятилетиями в Институте цитологии и генетики СО РАН изотопном источнике, но он прекратил свою работу, и для продолжения работ по разработке и проверке действия радиопротекторных препаратов было предложено проводить облучение мышей при помощи ускорителей электронов в ИЯФе.

Диапазон рабочих доз в процессах, реализуемых на ускорителях ИЛУ, лежит в интервале от 2 до 500 кГр. Но иногда, как в этот раз, возникает задача облучить биологические объекты малой для ускорителей ИЛУ дозой – от 10 до 200 Гр.

Для подготовки облучения биологических объектов малыми дозами были проведены дозиметрические исследования скорости набора дозы тормозного излучения подконвертором установленным на ускорителе ИЛУ-6 в здании №15. Требуемая доза 10 Гр набиралась за 100 секунд.

Было проведено облучение нескольких групп мышей – контрольных и с введёнными радиопротекторами. Были зафиксированные незначительные отличия в результатах облучения на изотопном источнике и тормозным излучением ускорителя. Работы продолжаются, и окончательные результаты будут через несколько лет.

### 8.1.10. Исследование взаимодействия интенсивного электронного пучка с различными объектами.

Совместно с Институтом горного дела СО РАН проводились исследования по радиационно-термической обработке обогащённого минерального сырья.

Возможности процессов электронно-лучевой обработки различных полимерных материалов изучались совместно с Институтом химии твёрдого тела СО РАН.

Проводились исследования влияния электронно-лучевой обработки полимера МПВТ-А на последующую вулканизацию энергоёмких композиций твердых ракетных топлив.

Были проведены исследования по влиянию радиационной обработки на различные материалы, в том числе исследовался процесс радиационно-стимулированной полимеризации метилметакрилата.

Более 50% производимого метилметакрилата используется для получения акриловых полимеров.

Полимер метилметакрилата – полиметилметакрилат (органическое стекло, плексиглас) – широко используется в технике. Из него делают прозрачные окна для вакуумных объёмов, иллюминаторы для самолётов и судов, и много чего ещё, например, зубные протезы. Чем больше длина цепи полиметилметакрилата, тем выше прочность материала. Главная проблема процесса полимеризации метилметакрилата – существенная разница в плотности метилметакрилата ( $0,935 \text{ г/см}^3$ ) и полиметилметакрилата –  $1,18 \text{ г/см}^3$  и выше. Это приводит к сильной усадке в процессе полимеризации и может вызывать образование полостей внутри готового продукта.

Кроме того, в процессе полимеризации при степени конверсии равной 30% происходит резкое пиковое выделение тепла, которое может нарушить спокойное течение процесса полимеризации.

Были проведены исследования радиационно-стимулированной полимеризации метилметакрилата при воздействии интенсивного электронного пучка.

Было проведено исследование изменения выхода продукта при изменении интенсивности обработки. Было установлено, что зависимость радиационно-химического выхода цепей полиметилметакрилата от величины дозы, набранной за один проход под пучком, носит явно пороговый характер.

Кроме того, было обнаружено, что процесс радиационно-стимулированной инициации метилметакрилата интенсивным электронным пучком генерируемым высокочастотным ускорителем электронов ИЛУ-6 является нестабильным – при некоторых параметрах облучения примерно половина образцов из одной партии полимеризовалась, а оставшаяся часть – нет, радиационная и последующая обработка образцов одной партии в одинаковых условиях не приводила к полимеризации.

Радиационные технологии отличаются высокой степенью воспроизводимости результатов обработки, и эффект нестабильности результатов наблюдался впервые за десятилетия работ в этой области.

Были высказаны и проверены различные гипотезы о причинах такой нестабильности. Предварительная проверка подтвердила возможность влияния тонкой временной структуры электронного пучка высокочастотного ускорителя на радикальные процессы в метилметакрилате.

Рабочая частота резонатора ускорителя ИЛУ-6 около 118 МГц и соответственно период повторения около 8,5 нс. Угол инжекции при импульсном токе пучка 300 мА составляет  $45^\circ$ , поэтому импульсы тока пучка на выходе из ускорительного тракта длительностью 0,5 мс заполнены наносендными пичками длительностью около 2 нс показанными на Рисунке 8.1.20. Соответственно переменное электромагнитное поле в районе облучаемых образцов также имеет составляющую с характерным временем около 2 нс.

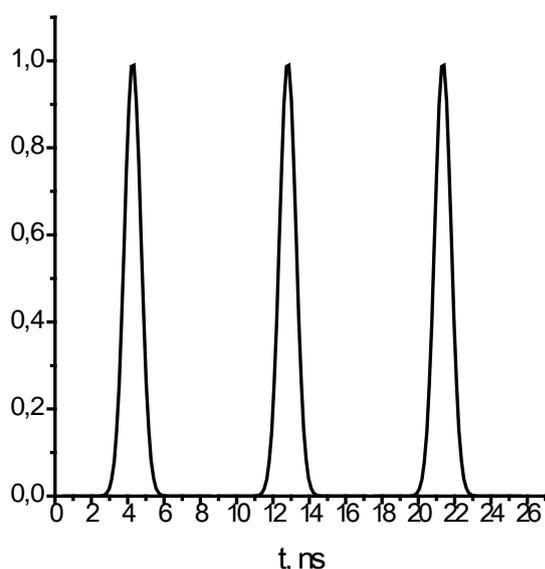


Рис. 8.1.20. Пички тока пучка ускорителя ИЛУ-6.

Процесс рекомбинации радикальных пар чувствителен к переменным магнитным полям, а длительность пиков тока 1,5-2 нс близка к характерным временам процессов взаимодействия спинов – 1-3 нс.

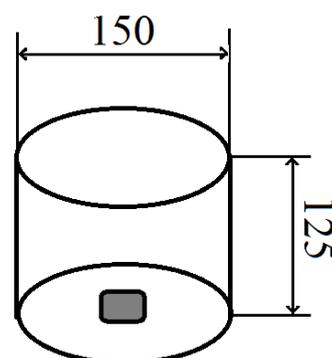


Рис. 8.1.21. Образец внутри пермаллового экрана высотой 125 мм и диаметром 150 мм.

Для проверки гипотезы было проведено облучение образцов метилметакрилата частично экранированных пермалловыми кольцами толщиной 0,5 мм, диаметром 150 мм и высотой 125 мм (как это показано на Рисунке 8.1.21) для подавления высокочастотной составляющей электромагнитного поля. Экранировать сверху было нельзя – электронный пучок был бы наполовину ослаблен экраном, что привело бы к изменению низкочастотных параметров воздействия пучка на образцы. Результат появился сразу – процесс полимеризации метилметакрилата стал стабильным.

Совместно с Институтом автоматики и электротехники СО РАН были проведены предварительные эксперименты по воздействию интенсивного электронного пучка на волоконные брэгговские решётки (ВБР). Была настроена аппаратура и подтверждён сдвиг длины волны отражения ВБР в результате радиационной обработки. Работы будут продолжены в 2020 году.

Проводились работы по радиационной обработке пищевого сырья и продуктов для предотвращения их порчи и продления срока хранения.

Компания ABI Product, город Владимир, один из ведущих российских производителей и дистрибьюторов колбасных изделий, замороженных полуфабрикатов и полностью готовых продуктов, инициировала экспериментальную работу по радиационной пастеризации продуктов питания на ускорителе ИЛУ-10 в ИЯФе. Целью исследования являлось определение влияния различных доз на органолептические свойства образцов. Колбасные изделия, замороженные пельмени и готовые мясные продукты были обработаны электронным пучком и тормозным излучением дозами от 0,5 кГр до 5 кГр. По итогам работы была определена пороговая доза 1 кГр, после превышения которой отмечались изменения органолептических свойств изделий 1 кГр. Около 150 кг продуктов были обработаны дозой 1 кГр и заложены компанией ABI Product на длительное хранение с последующим контролем качества после истечения срока хранения. По сведениям компании ABI Product, радиационная обработка позволила обеспечить показатели качества продукции после хранения в соответствии с требованиями компании.

## 8.2. УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ ЭЛВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

В 2019 г. Лабораторией 12 было отгружено 5 ускорителей за рубеж и один ускоритель в Россию. Одновременно, помимо обычных переговоров о поставке ускорителей в Китай и Корею, обсуждалось значительное количество поставок ускорителей на российские кабельные заводы для облучения нефтепогружных и подогревных кабелей.

Лаборатория продолжала работы по совершенствованию как конструкции ускорителей ЭЛВ, так и программного обеспечения системы управления ускорителем.

Произведены работы по модернизации выпускного устройства ускорителей ЭЛВ с целью увеличения времени работы ускорителя без замены фольги. Стандартные рамки для уплотнения фольги имеют радиусный профиль (рис. 1а) и уплотняют фольгу резиной диаметром 5 мм. Недостаток этого уплотнения в том, что срок эксплуатации резины из-за работы в агрессивной среде (озон и радиация) недостаточен, а замена фольги занимает достаточно много времени. Была изготовлена рамка выпускного устройства (рис. 1б), где в качестве уплотнения между двумя плоскими рамками использовано олово диаметром 1 мм



Рис. 8.2.1. Рамка с радиусным (а) и плоским (б) уплотнением фольги.

Проведены ресурсные испытания выпускного устройства максимальным током пучка без изменения системы охлаждения фольги. За все время испытаний не потребовалось ни одной смены установленных изначально титановых фольг и работы на них будут продолжаться. Ресурс работы до замены фольги значительно вырос.

Поскольку за последние несколько лет компания Майкрософт последовательно прекратила поддержку операционных систем Windows XP и Windows 7, была осуществлена адаптация программного обеспечения к операционным системам Windows 8 и Windows 10. На данный момент ПО поддерживает всю линейку операционных систем Windows NT: от Windows XP до Windows 10. Таким образом мы способны предоставить ПО для актуальных операционных систем для новых пользователей, и обновление ПО до последних версий для уже эксплуатируемых ускорителей.

Модернизирована программная поддержка дополнительного оборудования, такого как: двухконные выпускные устройства для ускорителей с током больше 100 мА и кольцевой системы облучения.

Разработан и внедрен унифицированный протокол связи верхнего уровня (поверх TCP/IP). Благодаря этому появились такие возможности как: удаленное использования инструментов наблюдения и диагностики работы ускорителей; встраивания ускорителей в составы технологических линий, управляемых через Ethernet.

В связи с появлением спроса на ускорители ЭЛВ, оборудованные системой выпуска в атмосферу сфокусированного электронного пучка, было спроектировано и изготовлено выпускное устройство для выпуска пучка из ускорительных трубок с большой апертурой. Общий вид выпускного устройства показан на Рис. 2. Испытания устройства производились на уникальной научной установке ЭЛВ-6 в 17 зд. В ходе испытаний была достигнута устойчивая работа на мощности пучка 50 кВт и кратковременная на 100 кВт. После длительной работы ускорителя на мощности 50 кВт диаметры отверстий в диафрагме не изменились. Диаметр отверстия диафрагмы на выходе из выпускного устройства составил 2-2,5 мм.

На уникальной научной установке ЭЛВ-6 проведены эксперименты по наплавке покрытий, эквивалентных по своему составу нержавеющей коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т на пластины из стали 15. В качестве легирующих добавок использовались Cr, Ni и Ti. Введение в сплав большого количества хрома и никеля сохраняет в структуре стали аустенитное состояние во всем диапазоне температур, что обеспечивает высокие механические свойства, малую склонность к росту зерна, а также делает сталь более коррозионностойкой и не хладноломкой.

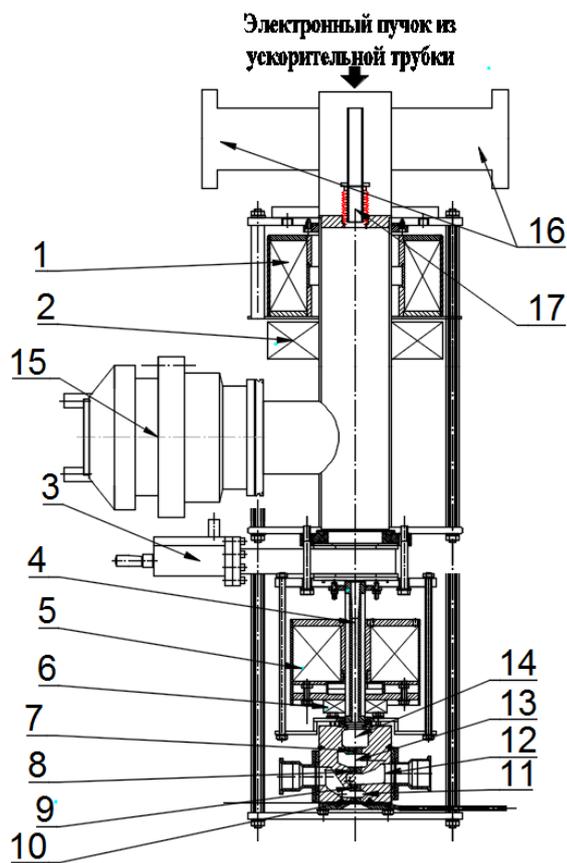


Рис. 8.2.2. Выпускное устройство. 1, 5 - линзы; 2, 6 - корректоры положения пучка; 3 - шибер; 4, 7, 8, 9, 10 - диафрагмы; 11 - 15 - ступени вакуумной откачки; 16 - насосы НМД-0,4; 17 - вакуумное сопротивление.

В настоящее время на уникальной научной установке ЭЛВ-6 выполняются различные эксперименты по получению нанопорошков, наплавке порошковых материалов на металлы и др.

Также были проведены эксперименты по изготовлению металлических материалов на титановой основе, полученных в воздушной атмосфере и в среде аргона. Целью исследований было повышение коррозионной стойкости титановых основ за счёт наплавки особо коррозионностойких элементов: тантала, ниобия и циркония. Для защиты от атмосферного воздействия в состав наплавляемого порошка входил флюс, состоящий из фторидных солей  $\text{CaF}_2$  и  $\text{LiF}$ . В среде аргона наплавка производилась в аргоновой камере. В результате быстрого охлаждения в покрытии сформировалась пластинчатая микроструктура, состоящая из  $\alpha'$  фазы.

Помимо наплавки на основы из технического титана была отработана возможность формирования стойкого антикоррозионного слоя на основах из прочного титанового сплава ВТ14. На рис.3 показан вид пластины размерами 300x150x12 мм с наплавленным слоем состава 21,7%Ta-4,4%Nb-3%Al-0,5%V, основа - титановый сплав ВТ14.

Исследование качества покрытий на стыках полос показали, что оно не отличается от качества остальной

части покрытий по химическому составу и толщине. В стыках полос отсутствуют дефекты структуры и загрязнения.



Рис. 8.2.3. Пластины размерами 300x150x12 мм с наплавленным слоем состава 16%Ta-5%Nb-3%Al-0,5%V, основа - титановый сплав ВТ14.

Были получены экспериментальные образцы сварных швов конструкционных металлических материалов с наплавленным слоем на основах из титана ВТ1-0 и титанового сплава ВТ14 двумя способами: с формированием углового и стыкового швов. Проведены исследовательские испытания качества полученных сварных швов.

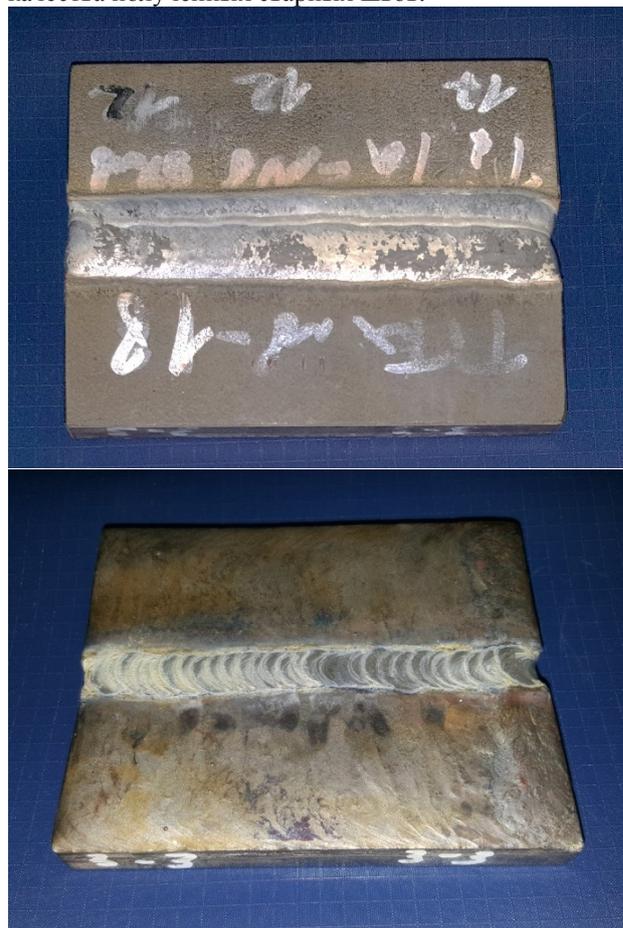


Рис. 8.2.4. Внешний вид двухстороннего сварного шва со стороны покрытия (а) и со стороны основы (б), выполненного на материале (Ti-Ta-Nb/ВТ14), с использованием аргоновой дуги и с присадкой Та при сварке со стороны покрытия

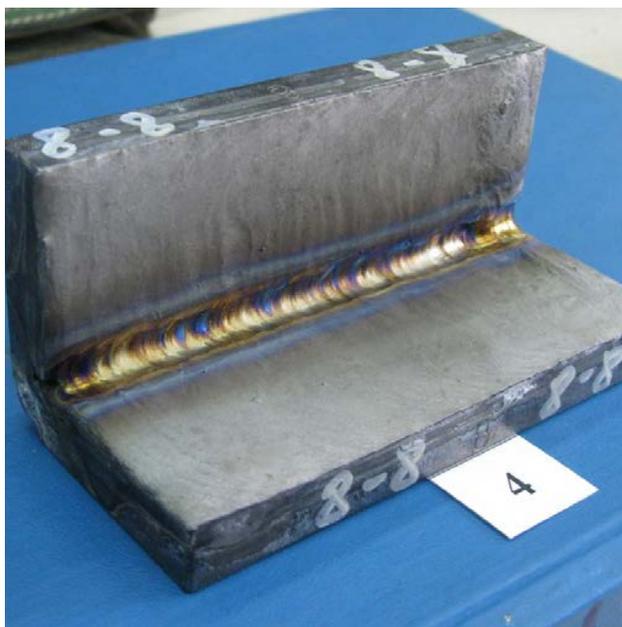


Рис. 8.2.5. Внешний вид со стороны покрытия замкового сварного шва, с использованием в качестве присадки танталовой проволоки и аргоновой дуги при сварке по покрытию

В результате проведённых исследований сварных швов были выявлены варианты режимов сварки, обеспечивающие их достаточно высокое качество, включая отсутствие дефектов и степень легирования в швах по покрытиям не ниже, чем степень легирования в остальной части покрытий.

## 9.1. ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2019 году продолжались работы по исследованию характеристик и улучшению параметров детекторов рентгеновского излучения на основе сборок сцинтиллятор - микропиксельный лавинный фотодиод, работающих в режиме прямого счета квантов для систем рентгеновского досмотра. Результаты тестирования подтвердили, что при сверхнизких дозах облучения счетный детектор позволяет получать изображения более высокого диагностического качества, чем стандартные детекторы на основе сборок сцинтиллятор-фотодиод. Фотография детектора на стенде и пример получаемых изображений показаны на рисунке 9.1.1.

Для проведения экспериментов на установке БНЗТ в ИЯФ СО РАН, был разработан и изготовлен прототип детектора для измерения потока нейтронов непосредственно на объекте в процессе сеанса терапии. В детекторе используется разностный метод определения числа нейтронов с использованием двух видов пластиковых сцинтилляторов, с бором и без бора, и волоконно-оптический съём информации. На рисунке 9.1.2 представлена фотография прототипа детектора, установленного в облучательном зале установки.

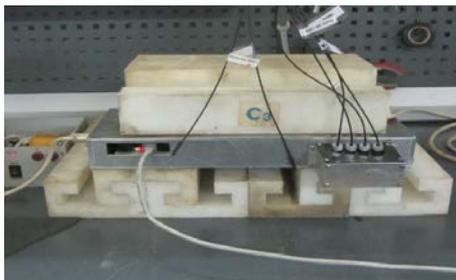


Рис.9.1.2 Прототип детектора для мониторинга потока нейтронов на установке БНЗТ.

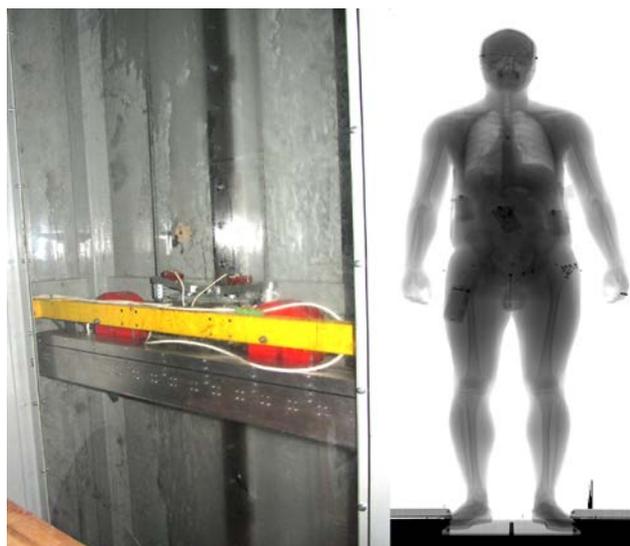


Рис. 9.1. 1. Детектор системы рентгеновского досмотра СРК “Сибскан” на основе микропиксельных лавинных фотодиодов на стенде и пример изображения досматриваемого

## 9.2. БОР-НЕЙТРОНОЗАХВАТНАЯ ТЕРАПИЯ

Основным научным результатом можно считать избавление от высоковольтных пробоев в ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией [1]. При проведении научных исследований были использованы видеокamеры, установленные на вваренные в вакуумный бак ускорителя патрубки со стеклами и смотрящие в первый ускорительный зазор, на керамические изоляционные кольца первого зазора проходного изолятора и частично внутрь ускорительных каналов. С видеосигналов видеокamер измерена временная зависимость интенсивности свечения при зажигании разрядов и соотнесена с временной зависимостью темнового тока. Установлено, что возникающие разряды, инициированные темновыми токами, приводят к перераспределению потенциала промежуточных электродов ускорителя, задаваемого омическим делителем, и к последующему пробоему зазора по вакуумной поверхности керамических изоляторов. Выяснено, что наличие видимых треков на поверхности керамических изоляторов не снижает высоковольтную прочность проходного изолятора. Летом 2019 года гладкие керамические кольца проходного изолятора были заменены на керамические кольца с гофрированной наружной поверхностью. Конечно, гофрирование наружной поверхности изолятора приводит к увеличению пути вдоль поверхности изолятора и, как следствие, к уменьшению средней напряженности электрического поля по поверхности, но оно также приводит к увеличению максимальной напряженности поля в некоторых местах, поскольку эквипотенциали электрического поля не были перпендикулярны поверхности гладких керамических колец. После тренировки ускорителя с новым проходным изолятором и получения требуемого напряжения 1,25 мВ ускоритель был разобран и было визуально установлено полное отсутствие следов высоковольтных пробоев на поверхности изоляторов. Достигнутый результат кардинально изменил режим работы установки: с сентября 2019 года на установке обеспечивается стабильная непрерывная генерация нейтронов без каких-либо пробоев. Данный факт является крайне важным положительным фактом возможности использования разработанного ускорительного источника нейтронов для проведения терапии.

Вторым по значимости результатом можно считать значительное улучшение надежности работы установки за счет внедрения в эксплуатацию новых диагностических методик контроля положения и размера пучка ионов на всем протяжении его ускорения и транспортировки, за счет оснащения расходомерами, датчиками температуры и давления всех охлаждаемых элементов установки, за счет переноса части оборудования, блоков управления и сбора данных из экспериментального зала в коридор и их размещения в стойке промышленного класса и за

счет модернизации программы управления, позволившей обеспечить вывод большого потока информации на мониторы пультовой установки в режиме реального времени. Разработанные и внедренные в эксплуатацию новые диагностические методики контроля положения и размера пучка ионов это: i) восстановление положения и размера пучка ионов на входе в ускоритель с применением волоконного сканера, модернизированного для подавления вторичной эмиссии электронов, ii) измерение положения и размера пучка ионов на входе в диафрагму первого ускоряющего электрода ускорителя с применением двух видеокамер со светосильными объективами, iii) контроль положения пучка на выходе из ускорителя с применением видеокамеры, iv) индикация смещения пучка протонов с использованием показаний термопар, вставленных внутрь охлаждаемых диафрагм, которые в количестве трех штук размещены в тракте транспортировки пучка протонов, v) контроль степени обдирки пучка ионов в газовой обдирочной мишени с применением цилиндра Фарадея, установленным на сквозном горизонтальном патрубке нового поворотного магнита, vi) контроль положения пучка протонов по регистрации люминесценции лития при облучении протонами (видеокамера установлена на сквозной вертикальный патрубок нового поворотного магнита), vii) измерение положения пучка протонов на литиевой мишени по показаниям термопар, вставленных внутрь мишени.

Разработан малогабаритный детектор нейтронов на основе литиевого сцинтиллятора с бором, обеспечивающий измерение «борной» дозы [2].

Активационной методикой измерена концентрация опасных примесей в образцах керамики, разработанных для Международного термоядерного реактора ИТЭР [3].

Проведенные научные исследования на клеточных линиях опухолей человека и на лабораторных животных продемонстрировали безопасность и эффективность формируемого потока нейтронов: облучение клеточных культур, инкубированных в среде бора, приводит к существенному уменьшению их выживаемости [4-5], облучение иммунодефицитных мышей с гетеротопическими ксенотрансплантатами опухоли U87 приводит к замедлению роста опухоли [6-7].

С применением разнообразного набора диагностических методик реализован режим инъекции в ускоритель пучка отрицательных ионов дейтерия с энергией в два раза меньшей энергии инжектируемых ионов водорода, и получен стационарный пучок дейтронов с энергией 2 МэВ, током 1,1 мА. При сбросе пучка дейтронов на литиевую мишень осуществлена генерация быстрых нейтронов. Выход нейтронов составил  $1,4 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$ . Режим работы с пучком дейтронов привлекателен для радиационного тестирования оптических волокон, разработанных специалистами Центра ядерных исследований в Сакле (Франция) для работы Большого адронного коллайдера (ЦЕРН) в режиме высокой светимости [8].

Подготовлена и успешно проведена 1-я Всероссийская конференция и Школа молодых ученых по БНЗТ, в которой приняло участие 148 участников, из них 2 российских и 9 зарубежных ученых-лекторов, а также 73 слушателя - российских молодых ученых в возрасте до 35 лет включительно.

[1.] Я.А. Колесников, И.Н. Сорокин, С.Ю. Таскаев. Повышение электрической прочности ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией. Приборы и техника эксперимента, 2020 № 6, стр. 17-25.

[2.] T. Bykov, D. Kasatov, A. Koshkarev, A. Makarov, V. Porosev, G. Savinov, I. Shchudlo, S. Taskaev. A multichannel neutron flux monitoring system for a boron neutron capture therapy facility. JINST 14 (2019) P12002.

[3.] A. Shoshin, A. Burdakov, M. Ivantsivskiy, S. Polosatkin, M. Klimenko, A. Semenov, S. Taskaev, D. Kasatov, I. Shchudlo, A. Makarov, N. Davydov. Qualification of Boron Carbide Ceramics for Use in ITER Ports. IEEE Transactions on Plasma Science. June 2020. V. 48. Iss. 6. P. 1474-1478.

[4.] В.В. Каньгин, Е.Л. Завьялов, А.Е. Симонович, А.И. Касатова, А.И. Кичигин, И.А. Разумов, С.Ю. Таскаев. Бор-нейтронозахватная терапия глиобластомы человека на моделях опухоли *in vivo*. Современные проблемы науки и образования 1 (2019) 28480.

[5.] В.А. Бывальцев, Е.Л. Завьялов, В.В. Каньгин, А.И. Касатова, А.И. Кичигин, И.А. Разумов, Т.В. Сычева, С.Ю. Таскаев. Цитопатические эффекты бор-нейтронозахватной терапии на ускорительном источнике эпителиальных нейтронов для культуры клеток глиобластомы человека. Сибирский онкологический журнал. 2019; 18(4): 34–42.

[6.] Каньгин В.В., Кичигин А.И., Завьялов Е.Л., Разумов И.А., Симонович А.Е., Таскаев С.Ю. Радиобиологические эффекты пучка ускорительного источника нейтронов в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Современные проблемы науки и образования 6 (2019) 29498.

[7.] E. Zavjalov, A. Zaboronok, V. Kanygin, A. Kasatova, A. Kichigin, R. Mukhamadiyarov, I. Razumov, T. Sycheva, B. Mathis, S. Maezono, A. Matsumura & S. Taskaev. Accelerator-based boron neutron capture therapy for malignant glioma: a pilot neutron irradiation study using boron phenylalanine, sodium borocaptate and liposomal borocaptate with a heterotopic U87 glioblastoma model in SCID mice. International Journal of Radiation Biology, 2020, Vol. 96, № 7, p. 868-878.

[8.] Д.А. Касатов, А.М. Кошкарёв, А.Н. Макаров, Г.М. Остреинов, С.Ю. Таскаев, И.М. Щудло. Источник быстрых нейтронов на основе ускорителя-тандема с вакуумной изоляцией и литиевой мишени. Приборы и техника эксперимента, 2020, № 5, 5-9.

## 10.1. АППАРАТУРА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

### Система измерения положения пучка в транспортном канале Бустер-Нуклотрон.

Для транспортного канала была разработана и изготовлена система измерения положения пучка, включающая 5 электростатических двухкоординатных датчиков положения пучка или пикапов (Рис. 1.1.1) и электронику. В отличие от канала Бустер-Нуклотрон в данном канале пучок представляет собой последовательность микросгустков, следующих с интервалом  $\sim 10$  нс. При этом общая длительность пучка может быть от 2 до 26 мкс. Поэтому электроника пикапов данного канала выделяет гармонику сигнала 100.625 МГц (частота ВЧ ЛУТИ). Для уменьшения пиковых значений сигнала на входах предусилителя сигналы с электродов пикапа подаются на них через полосовые фильтры, имеющие полосу пропускания 80-120 МГц.

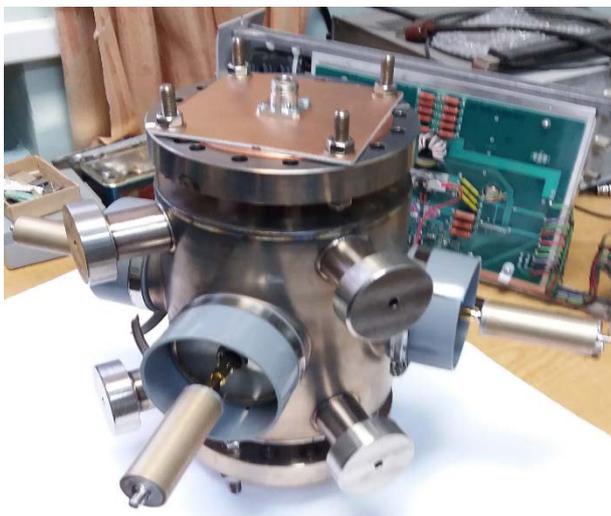


Рис. 10.1.1. Электростатический датчик положения пучка с накрученными полосовыми фильтрами.

Конструкция пикапов канала ЛУТИ-Бустер аналогична конструкции пикапов канала Бустер-Нуклотрон. Испытания на стенде показали, что данная конструкция вполне работоспособна на частоте 100.625 МГц. Основные параметры пикапов канала ЛУТИ-Бустер приведены в Таблице 10.1.1.

Таблица 10.1.1: Основные параметры пикапов.

Параметр	Величина
Длина пикапа, мм	250
Апертура, мм	70
Коэффициент, мм	$\sim 44$
Емкость одного электрода, пФ	$\sim 26$

Электроника пикапов включает в себя блоки обработки сигналов, расположенные в стойке вромеханики в защищенном зале, и Предусилители,

находящиеся рядом с пикапами и соединенными с ними 75-омными кабелями длиной  $\sim 1$  м.

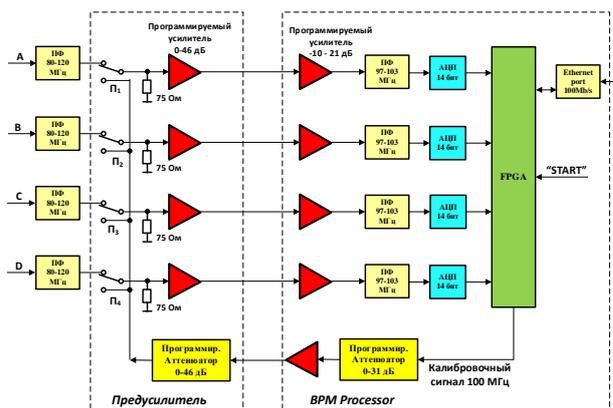


Рис. 10.1.2. Функциональная схема электроники для одного пикапа.

На Рис. 10.1.2. представлена функциональная схема электроники для одного пикапа. Малошумящий предусилитель с входным сопротивлением 75 Ом обеспечивает первичное программируемое усиление сигналов с электродов пикапа в диапазоне 0-46 дБ. Далее сигналы через 50-омные кабели поступают в блок обработки сигналов (“BPM Processor”). Блок обработки сигналов состоит из 4-х идентичных аналоговых каналов с полосой  $100 \pm 3$  МГц и диапазоном регулировки усиления 31 дБ, 4-х 14-разрядных АЦП с частотой выборки 125 МГц, FPGA и Ethernet интерфейса. Для компенсации погрешности, вызванной неодинаковостью и нестабильностью коэффициентов передач каналов, в блоке предусмотрен калибровочный сигнал – синусоидальное напряжение частотой 100 МГц и регулируемой амплитудой, подающийся через переключатели П1-П4 одновременно на 4 входа предусилителя.

Внешний вид блока обработки сигналов и предусилителя показаны на Рис. 10.1.3 и 10.1.4.



Рис. 10.1.3. Блок обработки сигналов.



Рис. 10.1.4. Предусилитель.

Измерения, проведенные с помощью тестовых сигналов, показали, что данная электроника пикапов обеспечивает разрешение измерений лучше 100 мкм в диапазоне заряда пучка 0.2-28 нКл и лучше 1 мм в диапазоне заряда пучка 0.02-0.2 нКл чего вполне достаточно для настройки оптимального прохождения пучка в канале. В текущем году пикапы и электроника изготовлены и отправлены в ОИЯИ.

### Система измерения положения пучка в высоковольтной установке электронного охлаждения

Система измерения положения пучка включает в себя:

- 16 датчиков положения пучка (или пикапов) внутри двух секций охлаждения;
- 4 датчика положения пучка внутри двух высоковольтных колонн;
- 22 датчика положения пучка в каналах транспортировки электронов;
- электронику.

Для возможности получения сигнала с электродов пикапа непрерывный электронный пучок модулируется по амплитуде синусоидальным напряжением с частотой ~10 МГц. Ток модуляции регулируется в пределах 0.3-1.5 мА. Пикапы внутри секций охлаждения должны иметь возможность измерять положение как электронного пучка, так и пучка ионов для того, чтобы можно было бы совмещать эти пучки друг с другом с точностью не хуже 100 мкм. Общая структура электроники системы показана на Рис. 10.2.1.

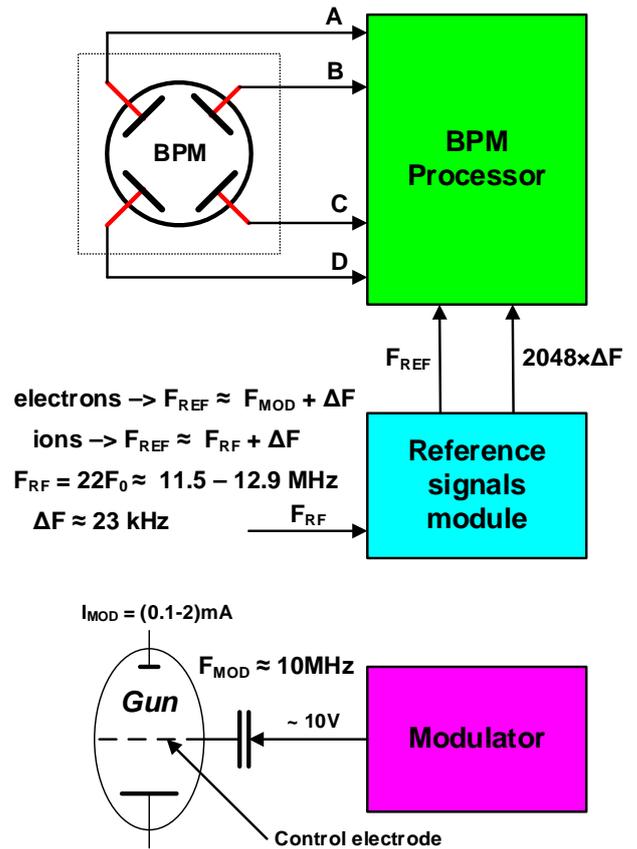


Рис. 10.2.1. Структура электроники системы измерения положения пучка в кулере.

Электроника системы измерения положения пучка в кулере включает в себя:

- 2 Модулятора;
- 22 блока обработки сигналов (“BPM Processor”);
- 42 предусилителя;
- Блок формирования опорных сигналов (“Reference signals module”);
- 2 Размножителя синхросигналов.

На Рис. 10.2.2 представлена функциональная схема Модулятора.

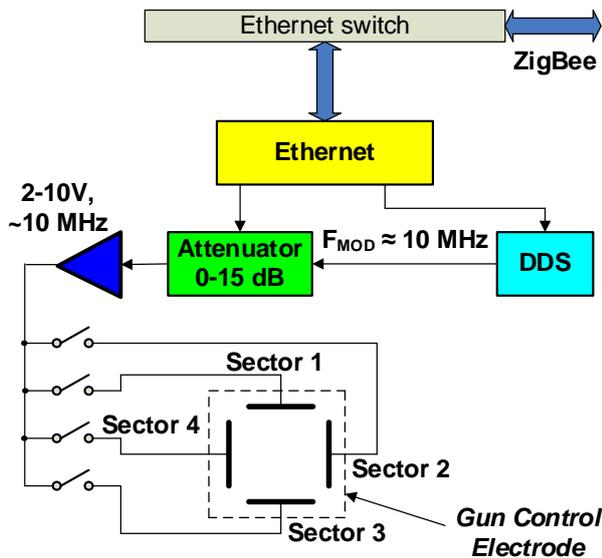


Рис. 10.2.2. Функциональная схема Модулятора.

Каждый из двух Модуляторов расположен внутри своей высоковольтной колонны. Модулятор управляется через Ethernet. Частота модуляции 10 МГц генерируется с помощью Синтезатора частот (DDS). Напряжение модуляции амплитудой 2-10В через ключи может подаваться на различные сектора сетки управления пушкой (всего – 4 сектора), что позволяет дополнительно получать информацию о форме пучка и его прецессии.

Функциональная схема электроники пикапов представлена на Рис. 10.2.3. Электроника для одного пикапа состоит из предусилителя, расположенного рядом с пикапом, и соединяющегося с пикапом 4-мя 75-омными кабелями длиной ~1 м и блоком обработки сигналов (“BPM Processor”). Блоки обработки сигналов расположены в стойке, находящейся в защищенной комнате, и соединяются с предусилителями длинными 50-омными кабелями. В предусилителе после входных усилителей расположена так называемая “матрица ключей”, обеспечивающая 4 комбинации соединения 4-х электродов пикапа с 4-мя каналами обработки сигналов. Это позволяет исключить погрешность измерений из-за неодинаковости и нестабильности коэффициентов передач каналов, и за счет этого значительно повысить точность измерений.

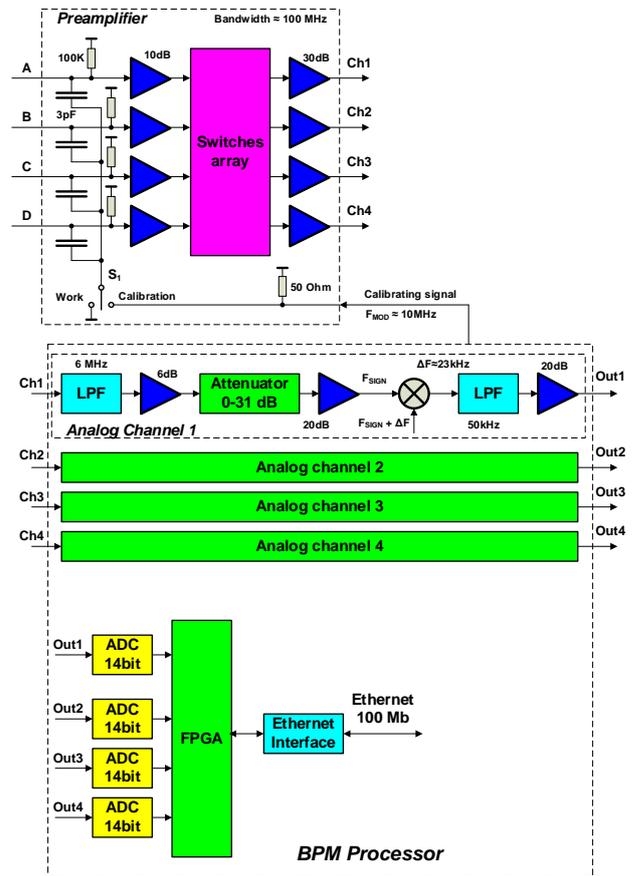


Рис. 10.2.3. Функциональная схема электроники пикапа.

Внешний вид блока обработки сигналов и предусилителя показаны на Рис. 10.2.4 и 10.2.5.



Рис. 1.2.4. Блок обработки сигналов пикапов кулера.



Рис. 10.2.5. Предусилитель.

Один блок обработки сигналов обслуживает 2 пикапа. В настоящее время вся электроника системы измерения положения пучка в кулере изготовлена и испытана. В Таблице 10.2.1 приведены основные экспериментально измеренные с помощью тестовых

сигналов параметры точности измерений положения пучка.

Таблица 10.2.1: Основные параметры точности измерений положения пучка.

Параметр	Величина
Зависимость результата измерений от тока модуляции ( $I_{MOD} = 0.3-1.5 \text{ mA}$ )	$\sim 4 \text{ мкм}$
Разрешение ( $I_{MOD} = 0.3-1.5 \text{ mA}$ )	$< 1 \text{ мкм}$
Зависимость результата измерений от температуры	$\sim 2 \text{ мкм}/^\circ\text{C}$

Полученные параметры точности полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к данной системе.

### *Система питания корректирующих электромагнитов высоковольтной установки электронного охлаждения*

Для коррекции электронных пучков в охладителях используется 144 шт. корректирующих электромагнитов, управляющихся током до 6 А и до 20 А. В текущем году было произведено и налажено 53 шт. двухполярных источников питания типа MPS-20-50 с максимальным выходным током 20 А и максимальным выходным напряжением 50 В. Основные параметры источников питания приведены в Таблице 1.3.1.

Таблица 10.3.1.: Параметры источников питания.

Параметр	Величина
Относительная погрешность выходного тока	$\leq 10^{-3}$
Дрейф выходного тока за 24 ч.	$10^{-4}$
Температурный коэффициент выходного тока	$4 \cdot 10^{-5} \text{ 1}/^\circ\text{K}$
Частота преобразования	50 кГц
Охлаждение	Воздушное принудительное
Габаритные размеры	$432 \times 355 \times 133 \text{ мм}^3$

Внешний вид источника питания MPS-20-50 изображен на Рис. 10.3.1.



Рис. 10.3.1. Внешний вид источника питания.

### *Импульсное питание магнитов канала транспортировки пучка Бустер-Нуклотрон*

В текущем году закончены испытания предсерийного источника питания поворотных магнитов и септум-магнитов. Импульсный источник питания с энергией импульса до 40 кДж и стабильностью выходных параметров 100 ppm был испытан на короткий септум магнат канала (ток в импульсе 3 кА, энергия импульса до 300 Дж), где показал требуемую стабильность параметров.



Рис. 10.4.1. Импульсный источник тока для короткого септум магнита на испытаниях в ИЯФ.

## 10.2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-4

Для замены маломощных источников питания электростатики ВЭПП-4 были разработаны высоковольтные источники питания с напряжением до 30 кВ и выходным током до 10 мА. Четыре таких источника были запущены в работу на кольце ВЭПП-4, с сохранением старой инфраструктуры управления. Стабильность выходного напряжения обеспечивается на уровне  $10^{-4}$ . Источник оснащен цифровой системой стабилизации выходного напряжения, может управляться через локальную сеть, но для совместимости со старой системой управления имеет и аналоговые входы управления. В настоящее время изготавливается серия для замены всех источников питания электростатики ВЭПП-4. Это позволит обеспечить работы ВЭПП-4 на высоких энергиях, а кроме того, позволит перевести этот сегмент установки под управление EPICs с использованием локальной сети.



Рис. 10. 2.1. Стойка с новыми ИП электростатики в комнате источников питания.

## 10.3. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ СОЛЕНОИДА ЛУЭ-200

В рамках контрактной работы с лабораторией нейтронной физики имени И.М. Франка (ЛНФ) Объединенного института ядерных исследований для замены морально и физически устаревшего источника питания фокусирующего соленоида ускорителя ЛУЭ-200 был разработан источник тока 400 А 150 В со стабильностью выходного тока во всем диапазоне выходных токов лучше, чем 50 ppm. В текущем году источник питания введен в эксплуатацию на территории заказчика.



Рис. 10.3.1. Шкаф питания фокусирующего соленоида на испытаниях в ЛНФ.

## 10.4. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МАГНИТА УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА FAIR

Для приемосдаточных испытаний магнитов, изготавливаемых ИЯФ для комплекса FAIR (Германия) был разработан мощный прецизионный источник тока 900 А 150 В с цифровой системой стабилизации тока. Точность поддержания выходного тока обеспечивается на уровне лучше 10 ppm во всем диапазоне выходных токов. Используя разработанный источник как прототип, для работ ИЯФ по проектированию оборудования для накопительного кольца CR (FAIR) в текущем году был разработан проект источника питания квадрупольных магнитов с параметрами 1500 А и 200 В.



Рис. 10.4.1 Проект 1500 А источника тока для квадрупольных магнитов CR FAIR.

### 10.5. 4-Х КАНАЛЬНЫЙ ЯМР МАГНИТОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

По контракту с ОИЯИ был изготовлен 4-х канальный ЯМР магнитометр, снабженный датчиками, способными работать при сверхнизких температурах (до 2 К). Внешний вид основного блока электроники магнитометра показан на Рис. 10.5.1.



Рис. 10.5.1. Основной блок электроники магнитометра.

Данный магнитометр позволяет измерять магнитные поля 4-мя датчиками ЯМР в 4-х различных точках. Для измерения полей при сверхнизких температурах использованы специальные датчики, рабочим веществом которых является порошок алюминия. Размеры крупинок порошка, изготовленного в ИХТИМС (г. Новосибирск), составляют 1-3 мкм, что позволяет минимизировать уменьшение сигнала из-за скин-эффекта. Недостатком использования алюминиевого порошка является быстрое затухание сигнала из-за малого времени спин-спиновой релаксации, что уширяет спектр сигнала до ~20 кГц даже при измерении однородных полей. Это ухудшает точность измерений, но, тем не менее, позволяет достигнуть точности лучше  $10^{-5}$ , что во многих случаях является достаточным.

Магнитометр включает в себя основной блок электроники ("NMR MAGNETOMETER"), 4 предусилителя (Рис. 5.2) и 4 датчика ЯМР. Предусилитель соединяется с датчиком коаксиальным кабелем длиной ~2 м, с основным блоком – тремя длинными кабелями до 50-100 м (двумя коаксиальными 50-омными кабелями и одним кабелем типа UTP).



Рис. 10.5.2. ЯМР предусилитель.

В ОИЯИ данный магнитометр используется для измерений внутри сверхпроводящих магнитов, изготавливаемых для комплекса "НИКА".

### 10.6. ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВЫСТАВКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИНХРОТРОНА

Для университета науки и технологий в провинции Анхой (Китай) выполнена контрактная работа на поставку гидростатической системы мониторинга выставки элементов синхротрона. В рамках этой работы были изготовлены датчики уровня SASE в количестве 21 шт. со специальными установочными пазами в основании и в ответной части, жестко закрепляемой на реперных позициях ускорителей. Специальная форма позволяет обеспечить повторяемость координат установки датчика с погрешностью  $\pm 10$  мкм. Чувствительность датчика составляла  $\pm 0,1$  мкм, погрешность измерений по вертикали  $\pm 1$  мкм. Диаметр патрубка подключения 32 мм, что позволило собирать из промышленных полипропиленовых труб водоотведения дешевые гидростатические системы. Питание датчика реализовано от роутеров Ethernet, используя опцию подачи питания (PoE) по проводам коммуникации.



Рис. 10.6.1. Датчик уровня с самоцентрирующимся основанием в сборе с ответной частью.

По результатам контракта с НКО переработана конструкция следующего поколения датчиков на предмет уменьшения трудоемкости изготовления датчиков уровня. Также проработаны решения для электроники следующего поколения с переходом от 8-ми битного процессора на 32-ух битный.

### **10.7. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАСЧЕТА АКСИАЛЬНО- СИММЕТРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОННО- ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В текущем году продолжалось развитие комплекса программ SAM, предназначенного для расчетов аксиально-симметричных электронно-оптических систем и электронных пушек. Этот комплекс широко используется как различными лабораториями в ИЯФ,

так и в других российских и международных научных центрах, демонстрируя хорошую точность расчетов и широкий круг решаемых задач. В отличие от постоянно развиваемой вычислительной части, его пре- и пост-процессорная части, впервые созданные в 80-х годах прошлого столетия, демонстрируют моральное устаревание и неспособность работать с новейшими версиями операционных систем. Исходя из этого, было принято решение перевести интерфейсную часть комплекса программ SAM/UltraSAM на современную платформу, аналогичную современным CAD и расчетным программным комплексам – создать комплекс программ WinSAM. В течение отчетного года была выпущена окончательная версия комплекса WinSAM, которая позволяет не только полностью осуществлять взаимодействие с пользователем на принципиально новом уровне, но и обладает значительным потенциалом к развитию, в частности, к ее использованию в программах синтеза и оптимизации электронно-оптических систем.

В частности, новый комплекс использовался при расчетах и оптимизации динамики пучка в ускорительном комплексе ЛИУ-20, предназначенном для рентгенографии с субмиллиметровым пространственным разрешением и большой просвечивающей способностью. Было исследовано влияние на динамику пучка силы фокусирующих линз в ускоряющих модулях, проведена оптимизация этих сил с целью получения минимального выходного эмиттанса электронного пучка. Тщательно исследовались причины набора эмиттанса по мере ускорения пучка: сферические абберации линз (особенно первой), рассогласование пучка с идеальной огибающей, влияние напряжения катод-анод и ускоряющего напряжения во второй ускорительной части инжектора, влияние тепловых скоростей и т.д. Были рассчитаны отклики пучка на силу тока в линзах и корректорах. Все эти расчеты нашли свое широкое использование и хорошее подтверждение при экспериментах с пучком на строящемся ускорительном комплексе.

## Библиографический список за 2019 год

1	<b>Bagryansky, P. A. Beklemishev A.D., Postupaev V.V.</b> Encouraging Results and New Ideas for Fusion in Linear Traps // Journal of Fusion Energy. - 2019. - Vol. 38, Is. 1. - P. 162–181. - Bibliogr.: 111 ref. - DOI 10.1007/s10894-018-0174-1.
2	<b>Achasov M.N., Bogdanchikov A.G., Druzhinin V.P., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Surin I.K., Tekut'ev A.I., Usov Yu.V., Zhulanov V.V.</b> Calibration of the calorimeter signal waveform in the SND detector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 936: Frontier Detectors for Frontier Physics: 14th Pisa Meeting on Advanced Detectors :[PM2018, La Biodola - Isola d'Elba, Italy, 27 May - 2 June 2018]. - P. 117-118. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2018.10.038.
3	<b>Amirkhanov A.N., Danilov M., Fedotov G., Griбанov S., Kozyrev A., Logashenko I., Popov A., Ruban A., Rusinov V., Ryskulov N., Ryzenhenkov A., Tarkovsky E., Tolmachev S.</b> Upgrade of the Time of Flight system of the CMD-3 detector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 936: Frontier Detectors for Frontier Physics: 14th Pisa Meeting on Advanced Detectors :[PM2018, La Biodola - Isola d'Elba, Italy, 27 May - 2 June 2018]. - P. 598-600. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2018.10.044.
4	<b>Astapov I., Collab. TAIGA, Garmash A., Sokolov A.</b> Scintillation detectors for the TAIGA experiment // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 936: Frontier Detectors for Frontier Physics: 14th Pisa Meeting on Advanced Detectors :[PM2018, La Biodola - Isola d'Elba, Italy, 27 May - 2 June 2018]. - P. 254-256. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2018.10.081.
5	<b>Belskaya O.B., Stepanova L.N., Nizovskii A.I., Kalinkin A.V., Erenburg S.B., Trubina S.V., Kvashnina K.O., Leont'eva N.N., Gulyaeva T.I., Trenikhin M.V., Bukhtiyarov V.I., Likholobov V.A.</b> The effect of tin on the formation and properties of Pt/MgAl(Sn)Ox catalysts for dehydrogenation of alkanes // Catalysis Today. - 2019. - Vol. 329: 3rd Scientific Technological Symposium on Catalytic Hydrprocessing in Oil Refining (STS HydroCat), Lyon, France, April 16-20, 2018. - P. 187-196. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1016/j.cattod.2018.11.081.
6	<b>Аракчеев А.С., Бурдаков А.В., Кандауров И.В., Куркучек В.В., Попов В.А., Шехтман Л.И., Шарафутдинов М.Р., Толочко Б.П., Трунев Ю.А., Васильев А.А., Вячеславов Л.Н.</b> Статус исследований воздействия импульсных тепловых нагрузок на вольфрам в ИЯФ СО РАН // Материалы XXII конференции "Взаимодействие плазмы с поверхностью", Москва, НИЯУ МИФИ, 23-24 января 2019 г. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2019. - С. 17-19. - Библиогр.: 8 назв.
7	<b>Каныгин В.В., Завьялов Е.Л., Симонович А.Е., Касатова А.И., Кичигин А.И., Разумов И.А., Таскаев С.Ю.</b> Борнейтронозахватная терапия глиобластомы человека на моделях опухоли in vivo [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2019. - № 1. - Art.nr 19. - DOI 10.17513/spno.28480.
8	<b>Гетманов Я.В., Дорохов В.Л., Заровский А.И., Комельков А.С., Куркин Г.Я., Пелипенко В.И.</b> Пикосекундный диссектор со смещенной разверткой // VIII Международная конференция по фотонике и информационной оптике, [Москва, 23-25 января 2019 г.]: сборник научных трудов. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2019. - С. 555-556. - Библиогр.: 2 назв.
9	<b>Todyshev, K.</b> R measurement at KEDR [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 2.
10	<b>Kharlamova, T.</b> Measurements of the J/ψ and ψ(2S) leptonic widths with KEDR detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 2.
11	<b>Nikolaev, I.</b> Tau mass measurement at BES-III [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 5.
12	<b>Botov A.</b> Measurement of the e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> → π <sup>+</sup> π <sup>-</sup> π <sup>0</sup> cross section below √s=2 GeV [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 8.
13	<b>Kozyrev, E.</b> An amplitude analysis of the e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> → 4π reaction [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 9.
14	<b>Korobov, A. Eidelman S.</b> Study of production of four charged pions with CMD-3 detector at VEPP-2000 collider [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 10.
15	<b>Serednyakov Sergey, Druzhinin V.</b> Measurement of the e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> → n <sup>+</sup> n <sup>-</sup> cross section with the SND detector at the VEPP-2000 collider [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 11.
16	<b>Kozyrev, E.</b> Recent BaBar results in light hadron spectroscopy [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 11-12.
17	<b>Epifanov, D.</b> Measurement of Michel parameters in tau decays at high luminosity e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> factories [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 12.
18	<b>Achasov, M.</b> Recent results from SND detector at VEPP-2000 collider [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 15.
19	<b>Shwartz, D. Shatunov P.</b> BINP electron-positron facilities [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 15-16.
20	<b>Bogomyagkov A., Druzhinin V., Levichev E., Milstein A., Sinyatkin S.</b> Low-energy electron-positron collider to search and study (μ <sup>+</sup> μ <sup>-</sup> ) bound state [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 16.
21	<b>Krokovny, P.</b> LHCb status and plans [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 16-17.
22	<b>Bobrovnikov, V. Kononov S.</b>

	FARICH system: prototyping and simulation progress report [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 17.
23	<b>Shekhtman, L.</b> Simulation of physics background in Super c-tau factory detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 17.
24	<b>Razuvaev G., Shwartz B., Kozyrev E., Popov A., Mibe T., Choi C., Cho Y., Han S., Son Y., Petrozhitsky A.</b> <b>Development of the CsI(Tl) based muon beam profile monitor for the muon g-2/EDM experiment at J-PARC</b> [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 18.
25	<b>Beloborodov, K.</b> Isoscalar and isovector kaon form factors from $e^+e^-$ and data [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 19.
26	<b>Shekhtman, L. Sokolov A., Maltsev T.</b> Simulation of different options of the Inner Tracker for Novosibirsk Super Charm-Tau Factory Detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 19.
27	<b>Kravchenko, E.</b> PID system for STC factory project based on threshold aerogel Cherenkov detectors [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 19-20.
28	<b>Amirkhanov, A.</b> Identification of the $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$ events in CMD-3 detector [Электронный ресурс] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 20.
29	<b>Semenov, A.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ up to 2 GeV with CMD-3 detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 20-21.
30	<b>Barnyakov, A.</b> The Super C- $\tau$ Factory PID system options [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 21.
31	<b>Logashenko, I.</b> Super Charm-Tau project at Novosibirsk [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 22.
32	<b>Erofeev, A.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$ with the CMD-3 detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 22.
33	<b>Solodov, E.</b> The NNbar and multihadron production at the threshold at VEPP2000 [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 26.
34	<b>Shemyakin, D.</b> Search for the process $e^+e^- \rightarrow D^{*0}(2007)$ with the CMD-3 detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 31.
35	<b>Ivanov, V.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ with the CMD-3 detector at VEPP-2000 collider [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 32-33.
36	<b>Ryzhnenkov, A.</b> Luminosity measurement with the CMD-3 detector [Electronic resource] // International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi, Novosibirsk, 25 February - 01 March 2019 : Book of Abstracts. - Novosibirsk : Budker INP, 2019. - P. 34.
37	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Study of the hard double-parton scattering contribution to inclusive four-lepton production in pp collisions at <math>\sqrt{s}=8</math> TeV with the ATLAS detector</b> // Physics Letters B. - 2019. - Vol. <b>790</b> . - P. 595-614. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.01.062.
38	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapolitsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Measurement of prompt <math>\psi(2S)</math> production cross sections in proton-lead and proton-proton collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV</b> // Physics Letters B. - 2019. - Vol. <b>790</b> . - P. 509-532. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.01.058.
39	<b>Turner M., Collab. AWAKE, Gorn A.A., Lotov K.V., Minakov V. A., Petrenko A., Sosedkin A. P., Spitsyn R.I., Tuev P.V.</b> <b>Experimental Observation of Plasma Wakefield Growth Driven by the Seeded Self-Modulation of a Proton Bunch</b> // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. <b>122</b> , Is. <b>5</b> . - Art.nr 054801. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.054801.
40	<b>Adli E., Collab. AWAKE, Gorn A.A., Lotov K.V., Minakov V. A., Petrenko A., Sosedkin A. P., Spitsyn R.I., Tuev P.V.</b> <b>Experimental Observation of Proton Bunch Modulation in a Plasma at Varying Plasma Densities</b> // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. <b>122</b> , Is. <b>5</b> . - Art.nr 054802. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.054802.
41	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Suppression of $\Lambda(1520)$ resonance production in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. <b>99</b> , Is. <b>2</b> . - Art.nr 024905. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.024905.
42	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Multiplicity dependence of light-flavor hadron production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. <b>99</b> , Is. <b>2</b> . - Art.nr 024906. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.024906.
43	<b>Bogomyagkov A., Sinyatkin S., Glukhov S., Levichev E.</b> <b>Dynamic aperture limitation in <math>e^+e^-</math> colliders due to synchrotron radiation in quadrupoles</b> // Physical Review Accelerators and Beams. - 2019. - Vol. <b>22</b> , Is. <b>2</b> . - Art.nr 021001. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.22.021001.
44	<b>Adlarson P., Collab. WASA-at-COSY, Bondar A., Shwartz B.</b> <b>Examination of the production of an isotensor dibaryon in the <math>pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-</math> reaction</b> // Physical Review C. - 2019. - Vol. <b>99</b> , Is. <b>2</b> . - Art.nr 025201. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.025201.
45	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b>

	Study of $J/\psi$ azimuthal anisotropy at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 12. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)012.
46	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> A strategy for a general search for new phenomena using data-derived signal regions and its application within the ATLAS experiment // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 2. - Art.nr 120. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6540-y.
47	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurements of W and Z boson production in pp collisions at $\sqrt{s}=5.02$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 2. - Art.nr 128. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6622-x.
48	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for rare decays of Z and Higgs bosons to $J/\psi$ and a photon in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 2. - Art.nr 94. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6562-5.
49	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for single production of vector-like quarks decaying to a top quark and a W boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 2. - Art.nr 90. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6556-3.
50	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D.</b> Study of the underlying event in top quark pair production in p p collisions at 13 TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 2. - Art.nr 123. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6620-z.
51	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for the Higgs Boson Decaying to Two Muons in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 2. - Art.nr 021801. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.021801.
52	<b>Lazareva G.G., Arakcheev A.S., Vasilyev A.A., Maksimova A.G.</b> Numerical simulation of tungsten melting under fusion reactor-relevant high-power pulsed heating // Smart Innovation, Systems and Technologies. - 2019. - Vol. 133: International Conference on 50 years of the development of grid-characteristic method : GCM50 2018, Moscow, Russian Federation, 31 March - 3 April 2018. - P. 41-51. - DOI 10.1007/978-3-030-06228-6_5.
53	<b>Shevyrin A.A., Bakarov A.K., Shklyaev A.A., Arakcheev A.S., Kurosu M., Yamaguchi H., Pogosov A.G.</b> On-chip Piezoelectric Actuation of Nanomechanical Resonators Containing a Two-dimensional Electron Gas // JETP Letters. - 2019. - Vol. 109, Is. 4. - P. 261–265. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1134/S0021364019040052.
54	<b>Lisitsyn V.M., Golkovskii M.G., Lisitsyna L.A., Dauletbekova A.K., Musakhanov D.A., Vaganov V.A., Tulegenova A.T., Karipbayev Zh.T.</b> MgF 2 -Based Luminescing Ceramics // Russian Physics Journal. - 2019. - Vol. 61, Is. 10. - P. 1908–1913. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1007/s11182-019-01617-y.
55	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurements of $e^+e^- \rightarrow K^0_s K^{\pm} \pi^{\mp} \pi^0$ and $K^0_s K^{\pm} \pi^{\mp}$ at center-of-mass energies from 3.90 to 4.60 GeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012003. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012003.
56	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Study of the decay $D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+ e^+ \nu_e$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 011103. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.011103.
57	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of OZI-suppressed decays $\Upsilon_{cJ} \rightarrow \omega \phi$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012015. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012015.
58	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $e^+e^- \rightarrow \eta Y(2175)$ at center-of-mass energies above 3.7 GeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012014. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012014.
59	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurement of $B(J/\psi \rightarrow \eta' e^+ e^-)$ and search for a dark photon // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012013. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012013.
60	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Study of the Dalitz decay $J/\psi \rightarrow e^+ e^- \eta$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012006. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012006.
61	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Search for a strangeonium-like structure $Z_s$ decaying into $\phi \pi$ and a measurement of the cross section $e^+e^- \rightarrow \phi \pi \pi$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 011101. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.011101.
62	<b>Kim J.B., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Search for CP violation with kinematic asymmetries in the $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^-$ decay // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 011104. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.011104.
63	<b>Yusa Y., Collab. Belle, Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Garmash A., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Measurement of time-dependent CP violation in $B^0 \rightarrow K^0_s \pi^0 \pi^0$ decays // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 011102. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.011102.
64	<b>Guan Y., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Observation of Transverse $\Lambda^0$ Hyperon Polarization in $e^+e^-$ Annihilation at Belle // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 4. - Art.nr 042001. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.042001.
65	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Charged jet cross section and fragmentation in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012016. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012016.
66	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for pair-produced three-jet resonances in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012010. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012010.
67	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for low-mass resonances decaying into bottom quark-antiquark pairs in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012005. - Bibliogr.: 75 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012005.
68	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for production of Higgs boson pairs in the four b quark final state using large-area jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 40. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)040.
69	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of inclusive and differential Higgs boson production cross sections in the diphoton decay channel in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 183. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)183.

70	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for supersymmetry in events with a photon, a lepton, and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 154. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)154.
71	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for doubly charged scalar bosons decaying into same-sign W boson pairs with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 1. - Art.nr 58. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-018-6500-y.
72	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for highly collimated photon-jets in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012008. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012008.
73	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for squarks and gluinos in final states with hadronically decaying $\tau$ -leptons, jets, and missing transverse momentum using pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012009. - Bibliogr.: 94 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012009.
74	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for pair production of Higgs bosons in the $b\bar{b}b\bar{b}$ final state using proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 30. - Bibliogr.: 75 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)030.
75	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Measurement of differential cross sections for inclusive isolated-photon and photon+jet production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 1. - Art.nr 20. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-018-6482-9.
76	<b>Grabowska-Bold I., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Highlights from the ATLAS experiment // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 8-14. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.024.
77	<b>Winn M., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Highlights from the LHCb experiment // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 15-21. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.044.
78	<b>Puri A., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of angular and momentum distributions of charged particles within and around jets in Pb plus Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with ATLAS at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 177-179. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.021.
79	<b>Tripathy, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Energy dependence of $\psi(1020)$ production at mid-rapidity in ppcollisions with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 180-182. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.078.
80	<b>Diab B., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Fragmentation of J/psi in jets in pp collisions at $\sqrt{s}=5.02$ TeV Batoul Diab for the CMS collaboration // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 186-188. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.049.
81	<b>Sas, M. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Direct photon elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 195-197. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.065.
82	<b>Lorenzo, A. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> $f_0(980)$ resonance production in pp collisions with the ALICE detector at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 201-203. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.023.
83	<b>Bursche A., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Study of coherent J/psi production in lead-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5$ TeV with the LHCb experiment // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 247-250. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.069.
84	<b>Boettcher T., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Direct photon production at LHCb // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 251-254. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.046.
85	<b>Steinberg P., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Electromagnetic processes with quasireal photons in Pb plus Pb collisions: QED, QCD, and the QGP // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 259-262. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.087.
86	<b>Kim, B. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> ALICE results on system-size dependence of charged-particle multiplicity density in p-Pb, Pb-Pb and Xe-Xe collisions // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 279-282. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.060.
87	<b>Ohlson, A. Collab. ALICE, Pestov Y.</b>

	Investigating correlated fluctuations of conserved charges with net-Afluctuations in Pb-Pb collisions at ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 299-302. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.020.
88	<b>Pan, J. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Balance functions of (un)identified hadrons in Pb-Pb, p-Pb, and pp collisions at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 315-318. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.022.
89	<b>Zhou M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Flow fluctuations in Pb plus Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with the ATLAS detector // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 323-326. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.012.
90	<b>Malecki B., Collab. LHCB, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Bose-Einstein correlations and b(b)over-bar correlations in pp collisions with LHCB // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 347-350. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.037.
91	<b>Pandey, A. K. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Pion-kaon femtoscopy in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV measured with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 351-354. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.048.
92	<b>Varga-Kofarago, M. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> The evolution of the near-side peak in two-particle number and transverse momentum correlations in Pb-Pb collisions from ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> . - P. 363-366. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.055.
93	<b>Margutti, J. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurements of anisotropic flow and flow fluctuations in Xe-Xe and Pb-Pb collisions with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 367-370. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.026.
94	<b>Wang Q., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Multiparticle correlations and higher order harmonics in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=8.16$ TeV // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 375-378. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.064.
95	<b>Mohammadi, N. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Non-linear flow modes of identified particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with the ALICE detector // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 383-386. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.059.
96	<b>Bold T., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of the azimuthal anisotropy of charged particles in 5.02 TeV Pb+Pb and 5.44 TeV Xe+Xe collisions with ATLAS // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 391-394. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.045.
97	<b>Stojanovic M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of anisotropic flow in XeXe collisions at 5.44 TeV with the CMS experiment // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 395-398. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.085.
98	<b>Bellini, F. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Testing the system size dependence of hydrodynamical expansion and thermal particle production with pi, K, p, and phi in Xe-Xe and Pb-Pb collisions with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 427-430. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.082.
99	<b>Puccio, M. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Light (anti-)nuclei production and elliptic flow at the LHC with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 447-450. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.043.
100	<b>Pacik, V. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Elliptic flow of identified hadrons in small collisional systems measured with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 451-454. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.020.
101	<b>Dash, A. K. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Multiplicity dependence of strangeness and hadronic resonance production in pp and p-Pb collisions with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 467-470. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.011.
102	<b>Derendarz D., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of the flow harmonic correlations in pp, p plus Pb and low multiplicity Pb plus Pb collisions with the ATLAS detector at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 479-482. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.076.
103	<b>Gajdosova, K. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> ALICE measurements of flow coefficients and their correlations in small (pp and p-Pb) and large (Xe-Xe and Pb-Pb) collision systems // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 487-490. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.006.
104	<b>Benedi, G. Collab. ALICE, Pestov Y.</b>

	Event-shape- and multiplicity-dependent identified particle production in pp collisions at 13 TeV with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 507-510. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.021.
105	<b>Singh, R. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Spin alignment measurements using vector mesons with ALICE detector at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 515-518. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.12.004.
106	<b>Tu Z., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for the chiral magnetic effect at the LHC with the CMS experiment // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 527-530. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.032.
107	<b>Haque, M. R. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurements of the chiral magnetic effect in Pb-Pb collisions with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 543-546. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.008.
108	<b>Sekihata, D. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Energy and system dependence of nuclear modification factors of inclusive charged particles and identified light hadrons measured in p-Pb, Xe-Xe and Pb-Pb collisions with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 567-570. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.052.
109	<b>Balek P., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Charged-hadron suppression in Pb plus Pb and Xe plus Xe collisions measured with the ATLAS detector // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 571-574. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.079.
110	<b>Trzeciak, B. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurements of heavy-flavour correlations and jets with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 579-582. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.085.
111	<b>Andrews, H. A. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Exploring the Phase Space of Jet Splittings at ALICE using Grooming and Recursive Techniques // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 587-590. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.007.
112	<b>Perepelitsa D., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Photon-tagged measurements of jet quenching with ATLAS // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 595-598. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.056.
113	<b>Citron Z., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Electroweak probes of small and large systems with the ATLAS detector // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 603-606. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.029.
114	<b>Spousta M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Jet suppression and jet substructure in Pb plus Pb and Xe plus Xe collisions with the ATLAS detector // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 611-614. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.031.
115	<b>Hosokawa, R. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Exploring jet profiles in Pb-Pb collisions at 5.02 TeV with the ALICE detector // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 639-642. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.063.
116	<b>Shi Z., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> D <sup>0</sup> -Meson R <sub>aa</sub> in PbPb Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV and Elliptic Flow in pPb Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=8.16$ TeV with CMS // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 647-650. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.029.
117	<b>Dubla, A. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Heavy-flavour hadron decay leptons in Pb-Pb and Xe-Xe collisions at the LHC with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 651-654. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.038.
118	<b>Peng, X. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Non-strange and strange D-meson and charm-baryon production in heavy-ion collisions measured with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 667-670. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.017.
119	<b>Sun J., Collab. LHCB, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Prompt $\Lambda^*c$ baryons and D <sup>0</sup> meson production cross-section and nuclear modification in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with the LHCB detector // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 683-686. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.062.
120	<b>Hu Q., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of heavy flavor production and azimuthal anisotropy in small and large systems with ATLAS // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 687-690. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.028.

121	<b>Zanoli, H. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Open heavy-flavour production and elliptic flow in p-Pb collisions at the LHC with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 691-694. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.012.
122	<b>Dillenseger, P. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Quarkonium measurements in nucleus-nucleus collisions with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 703-706. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.09.024.
123	<b>Dillenseger, P. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Quarkonium production in p-Pb collisions with ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 739-742. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.024.
124	<b>Oh G., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Beyond nPDFs effects</b> : Prompt $J/\psi$ and $\psi(2S)$ production in pPb and pp collisions // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 743-746. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.028.
125	<b>Bailhache, R. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Dielectron measurements in pp and Pb-Pb collisions with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 779-782. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.021.
126	<b>Tarhini, M. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Electroweak boson measurements in p-Pb and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 783-786. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.022.
127	<b>d'Enterria D., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Evidence for light-by-light</b> scattering in ultraperipheral PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 791-794. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.018.
128	<b>Trogolo, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Addressing the hypertriton lifetime puzzle with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 815-818. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.016.
129	<b>Albuquerque, D. S.D. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Hadronic resonances, strange and multi-strange particle production in Xe-Xe and Pb-Pb collisions with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 823-826. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.033.
130	<b>Behera, N. K. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Higher moment fluctuations of identified particle distributions from ALICE // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 851-854. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.030.
131	<b>Colocci, M. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Constraining production models with light (anti-)nuclei measurements in small systems with ALICE at the LHC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 895-898. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.11.029.
132	<b>Margutti, J. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Upgrade of the ALICE central barrel tracking detectors: ITS and TPC // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 943-946. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.08.022.
133	<b>Siddhanta, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Muon physics at forward rapidity with the ALICE detector upgrade // Nuclear Physics A. - 2019. - <b>Vol. 982</b> : The 27th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions: Quark Matter 2018, Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 947-950. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2018.10.034.
134	<b>Park S., Kim H.W., Kim M.H., Kim Y.C., Baek I.H., Jang K.H., Kim E.S., Kim H., Vinokurov N.A., Jeong Y.U., Park S.H.</b> <b>Measurement of low-energy</b> and low-charge ultrashort bunches using an S-band RF deflector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - <b>Vol. 927</b> . - P. 194-201. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.01.087.
135	<b>Lees J. P., Collab. BABAR, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kozyrev E.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu.</b> <b>Observation of the Decay <math>D^0 \rightarrow K^- \pi^+ e^+ e^-</math></b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122</b> , Is. 8. - Art.nr 081802. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.081802.
136	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Determination of the Pseudoscalar Decay Constant <math>f_{D_s^+}</math> via <math>D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu</math></b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122</b> , Is. 7. - Art.nr 071802. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.071802.
137	<b>Lees J. P., Collab. BABAR, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kozyrev E.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu.</b> <b>Search for a Stable Six-Quark State at BABAR</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122</b> , Is. 7. - Art.nr 072002. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.072002.
138	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Azimuthal Anisotropy of Heavy-Flavor Decay Electrons in p-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122</b> , Is. 7. - Art.nr 072301. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.072301.
139	<b>Sumihama M., Collab. Belle, Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V.</b> <b>Observation of <math>\Xi(1620)^0</math> and Evidence for <math>\Xi(1690)^0</math> in <math>\Xi^+ c \rightarrow \Xi^- \pi^+ \pi^+</math> Decays</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122</b> , Is. 7. - Art.nr 072501. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.072501.
140	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Direct photon production at low transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ and 8 TeV // Physical Review C. - 2019. - <b>Vol. 99</b> , Is. 2. - Art.nr 024912. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.024912.
141	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b>

	Measurement of dielectron production in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. 99, Is. 2. - Art.nr 024002. - Bibliogr.: 88 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.024002.
142	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> P-p, p- $\Lambda$ , and $\Lambda$ - $\Lambda$ correlations studied via femtoscopy in pp reactions at $\sqrt{s}=7$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. 99, Is. 2. - Art.nr 024001. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.024001.
143	<b>Lee R.N., Smirnov A.V., Smirnov V.A., Steinhäuser M.</b> Four-loop quark form factor with quartic fundamental colour factor // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 172. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)172.
144	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Search for CP violation through an amplitude analysis of $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^-$ decays // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 126. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)126.
145	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Prompt $\Lambda^0$ production in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 102. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)102.
146	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for new particles decaying to a jet and an emerging jet // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 179. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)179.
147	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurements of $t\bar{t}$ differential cross sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using events containing two leptons // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 149. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)149.
148	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for new physics in final states with a single photon and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 74. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)074.
149	<b>Rubtsov I.A., Ten K.A., Prueel E.R., Kashkarov A.O., Kremenko S.I., Voronin M.S., Shekhtman L.I., Zhulanov V.V., Tolochko B.P.</b> Methods to restore the dynamics of carbon condensation during the detonation of high explosives // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1147: XXXIII International Conference on Equations of State for Matter, Elbrus, Kabardino-Balkaria, Russian Federation, 1–6 March 2018. - Art.nr 012038. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1147/1/012038.
150	<b>Ten K.A., Prueel E.R., Kashkarov A.O., Rubtsov I.A., Antipov M.V., Georgievskaya A.B., Mikhailov A.L., Spirin I.A., Shekhtman L.I., Zhulanov V.V., Tolochko B.P.</b> Dynamic registration of ejection from shock-loaded metals // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1147: XXXIII International Conference on Equations of State for Matter, Elbrus, Kabardino-Balkaria, Russian Federation, 1–6 March 2018. - Art.nr 012020. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1147/1/012020.
151	<b>Andreev S., Dorokhov V., Getmanov Ya., Komelkov A., Malyutin D., Matveenko A., Meshkov O., Ries M., Smirnov A., Vorobiev N., Zarovsky A., Kurkin G.</b> Picosecond dissector with crossed sweep and optimization of picosecond dissector parameters // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. - 2019. - Vol. 11051: 32nd International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, ICHSIP 2018, Enschede, Netherlands, 8–12 October 2018. - Art.nr 110510M. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1117/12.2524826.
152	<b>Lukonin S.E., Gauzshtein V.V., Karpenko E.S., Kuzin M.Ya., Levchuk M.I., Loginov A.Yu., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.Sh., Shestakov Yu.V., Toporkov D.K., Zevakov S.A.</b> Measurement of the tensor analyzing power for the reaction $\gamma d \rightarrow p\pi^0$ // International Journal of Modern Physics E. - 2019. - Vol. 28, Is. 1-2. - Art.nr 1950010. - DOI 10.1142/S0218301319500101.
153	<b>Guirao J., Walsh M.J., Udintsev V.S., Iglesias S., Giacomini T., Bertalot L., Shigin P., Kochergin M., Alexandrov E., Zvonkov A., Ivantsivsky M., Fang T., Hu Q., Rodriguez E., Ordieres J., Juarez R., Blanchard A.</b> Standardized integration of ITER diagnostics Equatorial Port Plugs // Fusion Engineering and Design. - 2019. - Vol. 146: SI:SOFT-30 : [30th Symposium on fusion technology, Giardini Naxos, Sicily - Italy, September 16-21, 2018], Pt. B. - P. 1548-1552. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1016/j.fusengdes.2019.02.126.
154	<b>Богомягков А.В., Глухов С.А., Карюкина К.Ю., Козлов О.С., Костромин С.А., Левичев Е.Б., Карминьяни Н., Лиущо С.М.</b> Оптимизация динамической апертуры коллайдера NICA с использованием генетического алгоритма // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". - 2019. - Т. 16, № 1 (220). - С. 22-33. - Библиогр.: 28 назв.
155	<b>Эренбург С.Б., Трубина С.В., Зверева В.А., Зиновьев В.А., Кацюба А.В., Двуреченский А.В., Квашнина К., Воелсков М.</b> Особенности микроструктуры и электронного строения гетеросистем, содержащих квантовые точки Si/GeMn, по данным XAFS-спектроскопии // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2019. - Т. 155, № 2. - С. 346-355. - Библиогр.: 21 назв. - DOI 10.1134/S0044451019020159.
156	<b>Ахсаханян А.А., Вайнер Ю.А., Гарахин С.А., Елина К.А., Заверткин П.С., Зуев С.Ю., Ивлешкин Д.В., Нечай А.Н., Николенько А.Д., Парьев Д.Е., Плешков Р.С., Полковников В.Н., Салащенко Н.Н., Свечников М.В., Чхало Н.И.</b> Комплект многослойных рентгеновских зеркал для двухзеркального монохроматора в диапазоне длин волн 0.41–15.5 нм // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. - 2019. - № 1. - С. 14-20. - Библиогр.: 35 назв. - DOI 10.1134/S0207352819010025.
157	<b>Легкодымов А.А., Купер К.Э., Колмогоров Ю.П., Баранов Г.Н.</b> Станция РФА-СИ на накопительном кольце ВЭПП-4М // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 158-162. - Библиогр.: 16 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020194.
158	<b>Федотов, М. Г. Мишнев С.И., Лянгасов И.Д.</b> Подавление обратной связью быстрых вертикальных осцилляций пучка СИ накопителя ВЭПП-3 // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 163-167. - Библиогр.: 4 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020121.
159	<b>Зорин А.В., Мезенцев Н.А., Золотарев К.В., Шкаруба В.А.</b> Устройства генерации излучения для национальных источников синхротронного излучения с предельно низким эмиттансом // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 168-170. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020315.
160	<b>Гольденберг Б.Г., Назьмов В.П., Пальчиков Е.И., Лемзяков А.Г., Долгих А.В., Мишнев С.И.</b> Формирование и тестирование высокоаспектных антирассеивающих сеток для рентгенографии // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 171-175. - Библиогр.: 8 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020145.
161	<b>Гольденберг Б.Г., Ракшун Я.В., Бугаев С.В., Мешков О.И., Цыбуля С.В.</b> Проект технологической станции синхротронного излучения на ВЭПП-4М // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 :

	Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 176-180. - Библиогр.: 6 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020157.
162	<b>Аржаников А.В., Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Калинин П.В., Песков Н.Ю., Сандалов Е.С., Сергеев А.С., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д.</b> Планарные ЛСЭ терагерцевого диапазона, основанные на использовании интенсивных параллельных ленточных электронных пучков и внутрирезонаторного рассеяния волн // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 187-193. - Библиогр.: 21 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020030.
163	<b>Давидюк И.В., Шевченко О.А., Ческидов В.Г., Винокуров Н.А., Гетманов Я.В.</b> Разработка ондулятора с переменным периодом для первой очереди новосибирского лазера на свободных электронах // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 203-206. - Библиогр.: 8 назв. - DOI 10.1134/S036767651902011X.
164	<b>Шевченко О.А., Саликова Т.В., Тарарышкин С.В., Гетманов Я.В., Вебер С.Л.</b> Испытательный стенд для системы модуляции мощности излучения терагерцевого лазера на свободных электронах // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 207-210. - Библиогр.: 6 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020261.
165	<b>Матвеев, А. С. Шевченко О.А., Винокуров Н.А.</b> Компенсация изменения фокусировки ондулятора при перестройке длины волны излучения новосибирского ЛСЭ // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 211-213. - Библиогр.: 4 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020212.
166	<b>Саликова Т.В., Винокуров Н.А., Петриченко М.В., Репков А.В., Чудаев В.Я., Шевченко О.А., Экста В.В.</b> Система радиационного контроля новосибирского ЛСЭ // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 214-216. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020248.
167	<b>Гетманов Я.В., Горбачев Я.И., Винокуров Н.А., Давидюк И.В., Кубарев В.В., Шевченко О.А.</b> Сравнение и оценка эффективности генерации излучения для различных конфигураций системы электронного вывода новосибирского ЛСЭ // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 223-227. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020133.
168	<b>Рашенко, С. В. Дарьин А.В., Ракшун Я.В.</b> Концептуальный дизайн станции "Микрофокус" источника синхротронного излучения "СКИФ" // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 228-232. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020236.
169	<b>Камешков, О. Э. Князев Б.А.</b> Моделирование дифракции на последовательности амплитудно-фазовых транспарантов для экспериментов на новосибирском лазере на свободных электронах // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 233-238. - Библиогр.: 19 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020170.
170	<b>Дарьин А.В., Александрин М.Ю., Грачев А.М., Соломина О.Н., Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.</b> Построение временных рядов литолого-геохимических данных в разрезе донных осадков озера Каракель по данным сканирующего микро-РФА на пучках синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 239-242. - Библиогр.: 12 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020091.
171	<b>Дарьин А.В., Калугин И.А., Бабич В.В., Маркович Т.И., Грачев А.М., Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.</b> Поиск годично стратифицированных донных осадков в озерах Горного Алтая методом рентгенофлуоресцентного микроанализа с использованием синхротронного излучения // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 243-246. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020108.
172	<b>Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В., Маркович Т.И., Ракшун Я.В., Дарьин Ф.А., Сороколетов Д.С., Рогозин Д.Ю.</b> Показатели оксидных и аноксидных обстановок в системе современного осадконакопления в соленом озере Шира (Хакасия) по данным высокоразрешающего РФА СИ замороженных in situ образцов донных осадков // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 247-252. - Библиогр.: 17 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020169.
173	<b>Хрущев С.В., Шкаруба В.А., Мезенцев Н.А., Цуканов В.М., Тарасенко О.А., Волков А.А., Брагин А.В., Лев В.Х., Сафронов А.Н., Карантзолис Е., Занграндо Д.</b> Модернизация магнитной системы сверхпроводящего многополюсного вилглера, установленного на накопителе ELETTRA // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 253-256. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020182.
174	<b>Брагин А.В., Васичев С.С., Волков А.А., Гусев Е.А., Ерохин А.И., Зорин А.В., Лев В.Х., Мезенцев Н.А., Сафронов А.Н., Тарасенко О.А., Хан Ш., Хрущев С.В., Цуканов В.М., Шкаруба В.А.</b> Сверхпроводящий 22-полюсный вилглер с полем 7 Тл для накопителя DELTA // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 257-263. - Библиогр.: 3 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020054.

175	<b>Шехтман Л.И., Аульченко В.М., Жуланов В.В., Кудашкин Д.В.</b> Модернизация детектора для изучения быстропротекающих процессов на пучке синхротронного излучения // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 269-273. - Библиогр.: 16 назв. - DOI 10.1134/S036767651902025X.
176	<b>Лемзяков А.Г., Лях В.В., Гольденберг Б.Г., Назьмов В.П., Козырев Е.А.</b> Экспериментальное исследование радиационно-индуцированного испарения иодида цезия на источнике синхротронного излучения ВЭПП-3 // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 274-277. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020200.
177	<b>Шевченко О.А., Винокуров Н.А., Арбузов В.С., Чернов К.Н., Давидюк И.В., Дейчули О.И., Дементьев Е.Н., Довженко Б.А., Гетманов Я.В., Горбачев Я.И., Князев Б.А., Колобанов Е.И., Кондаков А.А., Козак В.Р., Козырев Е.В., Крутихин С.А., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Купер Э.А., Купцов И.В., Куркин Г.Я., Медведев Л.Э., Мотыгин С.В., Овчар В.К., Осипов В.Н., Петров В.М., Пилан А.М., Попик В.М., Репков В.В., Саликова Т.В., Щеглов М.А., Седяров И.К., Середняков С.С., Скринский А.Н., Тарарышкин С.В., Трибендис А.Г., Ческидов В.Г., Воблый П.Д., Волков В.Н.</b> Новосибирский лазер на свободных электронах // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 278-281. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020273.
178	<b>Зеленцов Е.Л., Сажина Т.В., Козлов А.С., Петров А.К., Шевченко О.А.</b> Морфологические изменения скелетной мышцы млекопитающих под воздействием мощного терагерцового лазерного излучения // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 2 : Материалы Международной конференции по генерации и использованию синхротронного излучения (Synchrotron and Free Electron Laser Radiation: Generation and Application) : "SFR-2018", Новосибирск, 25-28 июня 2018 г. - С. 282-286. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.1134/S0367676519020303.
179	<b>Кулипанов, Г. Н. Тумайкин Г.М.</b> ВЭП-1 - первый коллайдер ИЯФ // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 13-37. - Библиогр.: 14 назв.
180	<b>Петров, В. В. Тумайкин Г.М.</b> ВЭПП-2 - первый электрон-позитронный коллайдер ИЯФ // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 38-62. - Библиогр.: 24 назв.
181	<b>Кооп, И. А. Тумайкин Г.М.</b> Коллайдер ВЭПП-2М // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 63-87. - Библиогр.: 23 назв.
182	<b>Ли, Р. Н. Онищенко А.И.</b> Об аналитическом пертурбативном решении квантовой спектральной кривой для модели Аарони–Бергмана–Жафериса–Малдасены // Теоретическая и математическая физика. - 2019. - Т. 198, № 2. - С. 292-308. - Библиогр.: 100 назв. - DOI 10.4213/tmf9553.
183	<b>Луконин С.Е., Гаушгейн В.В., Зеваков С.А., Карпенко Е.С., Кузин М.Я., Левчук М.И., Логинов А.Ю., Николенко Д.М., Рачек И.А., Садыков Р.Ш., Топорков Д.К., Фикс А.И., Шестаков Ю.В.</b> Измерение компонент тензорной анализирующей способности реакции $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$ // Известия вузов. Физика. - 2019. - Т. 62, № 2. - С. 62-67. - Библиогр.: 32 назв.
184	<b>Петров, В. В. Тумайкин Г.М.</b> Комплекс ВЭПП-4 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 88-148. - Библиогр.: 60 назв.
185	<b>Шварц, Д. Б. Шатунов Ю.М., Переведенцев Е.А.</b> Коллайдер ВЭПП-2000 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 149-173. - Библиогр.: 36 назв.
186	<b>Беркаев Д.Е., Диканский Н.С., Логачев П.В., Скарбо Б.А.</b> Инжекционный комплекс ВЭПП-5 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 174-204. - Библиогр.: 27 назв.
187	<b>Левичев, Е. Б. Пиминин П.А., Тумайкин Г.М.</b> Модернизированный комплекс ВЭПП-4М // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 205-248. - Библиогр.: 43 назв.
188	<b>Шатунов, Ю. М.</b> Поляризованные пучки в ИЯФ // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 1: Коллайдеры. - С. 249-268. - Библиогр.: 27 назв.
189	<b>Онучин, А. П.</b> Первые детекторы в ИЯФ // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 269-280.
190	<b>Онучин, А. П. Пахтусова Е.В., Середняков С.И.</b> Детекторы и эксперименты на ВЭП-1 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 281-290. - Библиогр.: 16 назв.
191	<b>Онучин, А. П. Середняков С.И., Пахтусова Е.В.</b> Детекторы и эксперименты на ВЭПП-2 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 291-301. - Библиогр.: 17 назв.
192	<b>Шварц, Б. А. Эйдельман С.И.</b> Детекторы и эксперименты на ВЭПП-2М // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 302-307. - Библиогр.: 6 назв.
193	<b>Солодов, Е. П.</b> Эксперименты с использованием ядерной эмульсии // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 308-310. - Библиогр.: 4 назв.
194	<b>Рыскулов, Н. М. Хазин Б.И.</b> Эксперименты с детектором КМД // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 311-317. - Библиогр.: 10 назв.
195	<b>Дружинин, В. П.</b> Детектор НД. Эксперименты 1982-1987 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 318-326. - Библиогр.: 7 назв.
196	<b>Дружинин, В. П.</b>

	Детектор СНД. Эксперименты 1995-2000 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 327-334. - Библиогр.: 29 назв.
197	<b>Хазин, Б. И.</b> Эксперименты с детектором КМД-2 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 335-348. - Библиогр.: 33 назв.
198	<b>Тельнов, В. И.</b> Детектор МД-1 на ВЭПП-4 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 349-372. - Библиогр.: 48 назв.
199	<b>Блинов В.Е., Онучин А.П., Таюрский В.А., Шамо́в А.Г.</b> Эксперименты с детектором КЕДР на ВЭПП-4М // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 373-395. - Библиогр.: 36 назв.
200	<b>Дружинин, В. П.</b> Детектор СНД (2010-2017) // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 396-401. - Библиогр.: 12 назв.
201	<b>Логашенко, И. Б.</b> Детектор КМД-3 // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 402-413. - Библиогр.: 11 назв.
202	<b>Шувалов, Б. Н.</b> К истории автоматизации экспериментов по ФВЭ в ИЯФ // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 2: Детекторы и эксперименты. - С. 414-415.
203	<b>Левичев, Е. Б. Тихонов Ю.А.</b> Супер Чарм-Тау (с-т) фабрика // Коллайдеры и детекторы в ИЯФ СО РАН. - Омск : Золотой тираж, 2019. - Ч. 3: Сегодняшний взгляд в завтра. - С. 416-426. - Библиогр.: 20 назв.
204	<b>Беклемышев А.Д., Багрянский П.А., Бурдаков А.В., Иванов А.А.</b> Состояние и перспективы экспериментов на линейных ловушках для термоядерной плазмы // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr O-6. - С. 43.
205	<b>Солдаткина Е.И., Багрянский П.А., Коробейникова О.А., Лизунов А.А., Максимов В.В., Мурахтин С.В., Пниженин Е.И., Приходько В.В., Савкин В.Я., Соломахин А.Л., Яковлев Д.В.</b> Изучение электронной теплопроводности плазмы в расширителе газодинамической ловушки // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-08. - С. 64. - Библиогр.: 2 назв.
206	<b>Черноштанов, И. С. Котельников И.А.</b> Квазилобовые кинетические неустойчивости в открытой ловушке с наклонной атомарной инжекцией // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-09. - С. 65. - Библиогр.: 5 назв.
207	<b>Судников А.В., Бурдаков А.В., Беклемышев А.Д., Иванов И.А., Инжеваткина А.А., Поступаев В.В.</b> Эксперименты по удержанию плазмы винтовой пробкой в линейной магнитной ловушке // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-10. - С. 66. - Библиогр.: 5 назв.
208	<b>Аржаников А.В., Беденко С.В., Иванов А.А., Модестов Д.Г., Приходько В.В., Сеницкий С.Л., Титова А.М., Шаманин И.В., Шмаков В.М.</b> Эволюция состава топлива в гибридном ториевом реакторе с подпиткой нейтронами из плазмы в длинной магнитной ловушке // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-11. - С. 67. - Библиогр.: 2 назв.
209	<b>Milstein, A. I. Terekhov I.S.</b> Electron-electron interaction in graphene at finite Fermi energy // Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures. - 2019. - Vol. 109. - P. 73-77. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1016/j.physe.2019.01.003.
210	<b>Sadykov V.A., Pikalova E.Yu., Vinokurov Z.S., Shmakov A.N., Ereemeev N.F., Sadovskaya E.M., Lyagaeva J.G., Medvedev D.A., Belyaev V.D.</b> Tailoring the structural, thermal and transport properties of Pr <sub>2</sub> NiO <sub>4+δ</sub> through Ca-doping strategy // Solid State Ionics. - 2019. - Vol. 333. - P. 30-37. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1016/j.ssi.2019.01.014.
211	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurement of the phase between strong and electromagnetic amplitudes of J/ψ decays // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 791. - P. 375-384. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.03.001.
212	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Evidence of a Resonant Structure in the e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> → π <sup>+</sup> D <sup>0</sup> * <sup>-</sup> Cross Section between 4.05 and 4.60 GeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 10. - Art.nr 102002. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.102002.
213	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Y suppression at forward rapidity in Pb–Pb collisions at √sNN = 5.02 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 89-101. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.067.
214	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measuring K <sup>0</sup> S <sup>±</sup> interactions using pp collisions at √s=7 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 22-34. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.12.033.
215	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Centrality and pseudorapidity dependence of the charged-particle multiplicity density in Xe–Xe collisions at √sNN = 5.44 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 35-48. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.12.048.
216	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A. V., Baldin E.M., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Buzykaev A. R., Kazanin V. F., Kharlamov A. G., Kharlamova T., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Podberezko P., Rezanova O. L., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A., Zhulanov V.</b> Measurement of the nuclear modification factor for inclusive jets in Pb+Pb collisions at √sNN = 5.02 TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 108-128. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.10.076.
217	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A. V., Baldin E.M., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Buzykaev A. R., Kazanin V. F., Kharlamov A. G., Kharlamova T., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Podberezko P., Rezanova O. L., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A., Zhulanov V.</b> Search for Higgs boson decays into a pair of light bosons in the bbμμ final state in pp collision at √s=13 TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 1-21. - Bibliogr.: 81 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.10.073.

218	<b>Loginova M., Sobachkin A., Sitnikov A., Yakovlev V., Filimonov V., Myasnikov A., Sharafutdinov M., Tolochko B.</b> <b>In situ synchrotron</b> research of phase formation in mechanically activated 3Ti + Al powder composition during high-temperature synthesis under the condition of heating with high-frequency electromagnetic fields // Journal of Synchrotron Radiation. - 2019. - <b>Vol. 26, Is. 2</b> . - P. 422-429. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1107/S1600577518017691.
219	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Relative particle yield fluctuations in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - <b>Vol. 79, Is. 3</b> . - Art.nr 236. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6711-x.
220	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for $\tau^+\tau^-$ H production in the $H \rightarrow b^+b^-$ decay channel with leptonic $\tau^+\tau^-$ decays in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 3</b> . - Art.nr 26. - Bibliogr.: 106 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)026.
221	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A. V., Baldin E.M., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Buzykaev A. R., Kazanin V. F., Kharlamov A. G., Kharlamova T., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Podberezko P., Rezanova O. L., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A., Zhulanov V.</b> Measurement of the photon identification efficiencies with the ATLAS detector using LHC Run 2 data collected in 2015 and 2016 // European Physical Journal C. - 2019. - <b>Vol. 79, Is. 3</b> . - Art.nr 205. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6650-6.
222	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for narrow $H\gamma$ resonances in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 8</b> . - Art.nr 081804. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.081804.
223	<b>Li Y.B., Collab. Belle, Bondar A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V.</b> First measurements of absolute branching fractions of the $\Xi^0$ Baryon at Belle // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 8</b> . - Art.nr 082001. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.082001.
224	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> First Measurement of the Form Factors in $D^+s \rightarrow K^0e^+\nu_e$ and $D^+s \rightarrow K^{*0}e^+\nu_e$ Decays // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 6</b> . - Art.nr 061801. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.061801.
225	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $D^+ \rightarrow f_0(500)e^+\nu_e$ and Improved Measurements of $D \rightarrow \rho e^+\nu_e$ // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 6</b> . - Art.nr 062001. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.062001.
226	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Direct photon elliptic flow in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - <b>Vol. 789</b> . - P. 308-322. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.039.
227	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A. V., Baldin E.M., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Buzykaev A. R., Kazanin V. F., Kharlamov A. G., Kharlamova T., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Podberezko P., Rezanova O. L., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A., Zhulanov V.</b> Correlated long-range mixed-harmonic fluctuations measured in pp, p-Pb and low-multiplicity Pb+Pb collisions with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - <b>Vol. 789</b> . - P. 444-471. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.065.
228	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A. V., Baldin E.M., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Buzykaev A. R., Kazanin V. F., Kharlamov A. G., Kharlamova T., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Podberezko P., Rezanova O. L., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A., Zhulanov V.</b> Measurements of gluon–gluon fusion and vector-boson fusion Higgs boson production cross-sections in the $H \rightarrow WW^* \rightarrow e\nu\mu$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - <b>Vol. 789</b> . - P. 508-529. - Bibliogr.: 80 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.064.
229	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A. V., Baldin E.M., Bobrovnikov V. S., Bogdanchikov A. G., Buzykaev A. R., Kazanin V. F., Kharlamov A. G., Kharlamova T., Maslennikov A. L., Maximov D. A., Peleganchuk S. V., Podberezko P., Rezanova O. L., Soukharev A. M., Talyshev A. A., Tikhonov Yu. A., Zhulanov V.</b> Measurement of photon–jet transverse momentum correlations in 5.02 TeV Pb + Pb and pp collisions with ATLAS // Physics Letters B. - 2019. - <b>Vol. 789</b> . - P. 167-190. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.12.023.
230	<b>Li Y., Xia G., Lotov K.V., Sosedkin A. P., Zhao Y.</b> High-quality positrons from a multi-proton bunch driven hollow plasma wakefield accelerator // Plasma Physics and Controlled Fusion. - 2019. - <b>Vol. 61, Is. 2</b> . - Art.nr 025012. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1088/1361-6587/aaf121.
231	<b>Zhang J.Y., Cai X., Mo X.H., Fu C.D., Tang G.Y., Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., Harris F.A.</b> Energy deviation study of BEMS at BEPCII // Nuclear Physics B. - 2019. - <b>Vol. 939</b> . - P. 391-404. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysb.2018.12.023.
232	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurements of the absolute branching fractions and CP asymmetries for $D^+ \rightarrow K^0_s, LK^+(\pi^0)$ // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 032002. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032002.
233	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $D^+s \rightarrow \rho^-\pi^+$ and confirmation of its large branching fraction // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 031101. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.031101.
234	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurement of the absolute branching fractions of $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\mu\pi^+$ and $\Sigma(1385)^+\eta$ // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 032010. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032010.
235	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $\omega(3686) \rightarrow \rho^-\pi^+\eta$ and improved measurement of $J/\psi \rightarrow \rho^-\pi^+\eta$ // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 032006. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032006.
236	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurement of $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ cross section at $\sqrt{s} = 2.00 - 3.08$ GeV // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 032001. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032001.
237	<b>Watanuki S., Collab. Belle, Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Shebalin V., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Measurements of isospin asymmetry and difference of direct CP asymmetries in inclusive $B \rightarrow Xs\gamma$ decays // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 032012. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032012.
238	<b>Kaliyar A.B., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Usov Y., Zhilich V.</b> Measurements of branching fraction and direct CP asymmetry in $B_{\pm} \rightarrow K^0_s K^0_s K_{\pm}$ and a search for $B_{\pm} \rightarrow K^0_s K^0_s \pi_{\pm}$ // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 031102. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.031102.
239	<b>Lu P.C., Collab. Belle, Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Observation of $B^+ \rightarrow \rho^-\Lambda K^+K^-$ and $B^+ \rightarrow \bar{p}\Lambda K^+K^-$ // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 3</b> . - Art.nr 032003. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032003.

240	<b>Bediaga I., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V. LHCb Collaboration</b> // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: XXVIIth International Conference on Ultrarelativistic Nucleus–Nucleus Collisions (Quark Matter 2018), Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 1040-1050. - DOI 10.1016/S0375-9474(19)30010-7.
241	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> ALICE Collaboration // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: XXVIIth International Conference on Ultrarelativistic Nucleus–Nucleus Collisions (Quark Matter 2018), Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 975-984. - DOI 10.1016/S0375-9474(18)30498-6.
242	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for pair production of second-generation leptiquarks at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 3. - Art.nr 032014. - Bibliogr.: 86 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032014.
243	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Event-Shape Engineering for the D-meson elliptic flow in mid-central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - Art.nr 150. - Bibliogr.: 97 ref. - DOI 10.1007/JHEP02(2019)150.
244	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> In situ calibration of large-radius jet energy and mass in 13 TeV proton–proton collisions with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 2. - Art.nr 135. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6632-8.
245	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> ATLAS Collaboration // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 982: XXVIIth International Conference on Ultrarelativistic Nucleus–Nucleus Collisions (Quark Matter 2018), Lido di Venezia, Italy, 13-19 May 2018. - P. 985-1009. - DOI 10.1016/S0375-9474(18)30499-8.
246	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for long-lived particles decaying into displaced jets in proton–proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 3. - Art.nr 032011. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.032011.
247	<b>Davidyuk I., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A.</b> Magnetic and mechanical design of large-aperture variable-period permanent magnet undulator // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 915. - P. 36-39. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2018.10.168.
248	<b>Reznichenko A. V., Chernykh A.I., Smirnov S.V., Terekhov I.S.</b> Log-log growth of channel capacity for nondispersive nonlinear optical fiber channel in intermediate power range: Extension of the model // Physical Review E. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012133. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1103/PhysRevE.99.012133.
249	<b>Lin, L. Chen N., Khrushchev S.</b> CLS HXMA 2.0 T superconducting Wiggler upgrades // AIP Conference Proceedings. - 2019. - Vol. 2054: 13th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, SRI 2018, Taipei, Taiwan, 11–15 June 2018. - Art.nr 030006. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1063/1.5084569.
250	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Observation of Two Resonances in the $\Lambda^0 b \pi^\pm$ Systems and Precise Measurement of $\Sigma b^\pm$ and $\Sigma^* b^\pm$ Properties // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 1. - Art.nr 012001. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.012001.
251	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Study of the $D^0 \rightarrow K^- \mu^+ \nu_\mu$ Dynamics and Test of Lepton Flavor Universality with $D^0 \rightarrow K^- \ell^+ \nu_\ell$ Decays // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 1. - Art.nr 011804. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.011804.
252	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Transverse momentum spectra and nuclear modification factors of charged particles in Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.44$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 166-179. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.10.052.
253	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Dielectron and heavy-quark production in inelastic and high-multiplicity proton–proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 505-518. - Bibliogr.: 80 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.009.
254	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for Dark Matter Particles Produced in Association with a Top Quark Pair at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 1. - Art.nr 011803. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.011803.
255	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for vector-boson resonances decaying to a top quark and bottom quark in the lepton plus jets final state in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 347-370. - Bibliogr.: 93 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.032.
256	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for heavy charged long-lived particles in proton–proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using an ionisation measurement with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 96-116. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.10.055.
257	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A.</b> Search for light resonances decaying to boosted quark pairs and produced in association with a photon or a jet in proton–proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 316-335. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.09.062.
258	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the Charm-Mixing Parameter $\gamma_{CP}$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 1. - Art.nr 011802. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.011802.
259	<b>Seong I.S., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Search for a Light CP-odd Higgs Boson and Low-Mass Dark Matter at the Belle Experiment // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 1. - Art.nr 011801. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.011801.
260	<b>Skovorodin, D. I.</b> Suppression of secondary emission of electrons from end plate in expander of open trap // Physics of Plasmas. - 2019. - Vol. 26, Is. 1. - Art.nr 012503. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1063/1.5043072.

261	<b>Shoshin A., Burdakov A., Ivantsivskiy M., Klimenko M., Polosatkin S.</b> Properties of boron carbide ceramics made by various methods for use in ITER // Fusion Engineering and Design. - 2019. - Vol. 146: SI:SOFT-30 : [30th Symposium on fusion technology, Giardini Naxos, Sicily - Italy, September 16-21, 2018], Pt. B. - P. 2007-2010. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1016/j.fusengdes.2019.03.088.
262	<b>Ovsyuk, N. N. Goryainov S. V., Likhacheva A.Y.</b> Raman scattering of impact diamonds // Diamond and Related Materials. - 2019. - Vol. 91. - P. 207-212. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.diamond.2018.11.017.
263	<b>Stepanova O.G., Trunova V.A., Osipov E.Yu., Kononov E.E., Vorobyeva S.S., Parkhomchuk E.V., Kalinkin P.N., Vorobyeva E.E., Vershinin K.E., Rastigeev S.A., Fedotov A.P.</b> Glacier dynamics in the southern part of East Siberia (Russia) from the final part of the LGM to the present based on from biogeochemical proxies from bottom sediments of proglacial lakes // Quaternary International. - 2019. - Vol. 524. - P. 4-12. - Bibliogr.: 79 ref. - DOI 10.1016/j.quaint.2019.03.003.
264	<b>Kim H.W., Jang K.H., Baek I.H., Lee K., Nam J., Chae M., Kim M.H., Kim Y.C., Oang K.Y., Park S., Han J.H., Vinokurov N.A.</b> Performance of an Indium-sealed S-band RF Photoelectron Gun for Time-resolved Electron Diffraction Experiments // Journal of the Korean Physical Society. - 2019. - Vol. 74, Is. 1. - P. 24-29. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.3938/jkps.74.24.
265	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for heavy resonances decaying into two Higgs bosons or into a Higgs boson and a W or Z boson in proton-proton collisions at 13 TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 51. - Bibliogr.: 76 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)051.
266	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for heavy Majorana neutrinos in same-sign dilepton channels in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 122. - Bibliogr.: 85 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)122.
267	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for long-lived particles in final states with displaced dimuon vertices in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 1. - Art.nr 012001. - Bibliogr.: 100 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.012001.
268	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for heavy Majorana or Dirac neutrinos and right-handed W gauge bosons in final states with two charged leptons and two jets at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 1. - Art.nr 16. - Bibliogr.: 79 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)016.
269	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A.</b> Erratum to: Measurement of the W boson polarisation in $t\bar{t}$ events from pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV in the lepton + jets channel with ATLAS (The European Physical Journal C, (2017), 77, 4, (264), 10.1140/epjc/s10052-017-4819-4) // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 1. - Art.nr 19. - DOI 10.1140/epjc/s10052-018-6520-7.
270	<b>Константинов, С. Е. Беклемишев А.Д.</b> Вихревое удержание плазмы с высоким давлением в открытой ловушке // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-12. - С. 68. - Библиогр.: 1 назв.
271	<b>Коробейникова, О. А. Мурахтин С.В.</b> Измерение линейной плотности плазмы в расширителе ГДЛ с помощью 4 мм СВЧ-интерферометра // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-16. - С. 73.
272	<b>Инжеваткина А.А., Судников А.В., Бурдаков А.В., Иванов И.А., Поступаев В.В.</b> Диагностика пространственного распределения скорости плазмы в винтовой открытой ловушке СМОЛА // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-18. - С. 75. - Библиогр.: 4 назв.
273	<b>Соломахин А.Л., Гринемайер К.А., Зубарев П.В., Иваненко С.В., Коваленко Ю.В., Пурьга Е.А., Савкин В.Я., Хильченко А.Д.</b> Дисперсионный интерферометр для контроля плотности плазмы в токамаке ГЛЮБУС-М2 // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-21. - С. 78. - Библиогр.: 5 назв.
274	<b>Коробейникова, О. А. Мурахтин С.В.</b> Модернизированный сеточный энергоанализатор для изучения потоков частиц на установке ГДЛ // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-22. - С. 79. - Библиогр.: 1 назв.
275	<b>Пниженин, Е. И. Максимов В.В.</b> Изучение МГД активности плазмы в ГДЛ с помощью детекторов нейтральных атомов // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-24. - С. 81. - Библиогр.: 4 назв.
276	<b>Солдаткина Е.И., Астрелин В.Т., Багрянский П.А., Воскобойников Р.В., Иванов А.А., Трунев Ю.А., Шульженко Г.И.</b> Разработка мегаваттного электронного пучка для установки ГДЛ // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-39. - С. 96. - Библиогр.: 1 назв.
277	<b>Дейчули П.П., Иванов А.А., Давыденко В.И., Ступишин Н.В., Сорокин А.В., Бруль А.В., Дейчули Н.П., Колмогоров В.В., Донин А.С., Вахрушев Р.В., Абдрашитов А.Г., Белов В.П., Мишагин В.В., Капитонов В.А.</b> Мощные атомарные инжекторы NB15-40 с перестраиваемой энергией пучка // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-40. - С. 97. - Библиогр.: 2 назв.
278	<b>Сорокин А.В., Дейчули П.П., Иванов А.А., Бруль А.В., Дейчули Н.П., Донин А.С., Вилькин А.И., Грехова М.В., Мишагин В.В.</b> Двухступенчатая система вакуумной отковки на базе дуговых испарителей титана для 3,5 МВт атомарного инжектора // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-41. - С. 98. - Библиогр.: 2 назв.
279	<b>Христо, М. С. Беклемишев А.Д.</b> Эволюция переноса плазмы предельного давления в открытой осесимметричной ловушке // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-42. - С. 99. - Библиогр.: 2 назв.
280	<b>Колесников, Е. Ю. Асмедьянов Н.Р., Багрянский П.А.</b>

	Источник плазменной струи с большим давлением для поддержания материального баланса мишенной плазмы в ГДП // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-51. - С. 108. - Библиогр.: 4 назв.
281	<b>Сковородин, Д. И.</b> Подавление вторичной эмиссии в расширителе открытой ловушки // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-54. - С. 111. - Библиогр.: 5 назв.
282	<b>Федоренков, Э. А. Беклемишев А.Д.</b> Кинетика взаимодействия газа с плазмой в расширителе открытой ловушки // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr П-45. - С. 196.
283	<b>Медведев, А. Э. Пинаев П.А., Барняков А.М.</b> Лазерно-плазменный синтез при комплексном воздействии лазерной плазмы и СВЧ поля // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr T-06. - С. 216. - Библиогр.: 2 назв.
284	<b>Касатов А.А., Васильев А.А., Вячеславов Л.Н., Кандауров И.В., Попов В.А., Черепанов Д.Е., Шошин А.А., Аракчеев А.С., Куркучев В.В., Бурдаков А.В.</b> Изучение разлета микрочастиц вольфрама на установке ВЕТА во время импульсной тепловой нагрузки, характерной для дивертора ИТЭР // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-03. - С. 261. - Библиогр.: 1 назв.
285	<b>Шошин А.А., Бурдаков А.В., Полосаткин С.В., Клименко М.В., Семенов А.М.</b> Результаты тестов блоков внутривакуумной защиты портплавов ИТЭР // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-14. - С. 272.
286	<b>Сотников О.З., Бельченко Ю.И., Дейчули П.П., Иванов А.А., Санин А.Л.</b> Получение и транспортировка мощного пучка отрицательных ионов водорода // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-15. - С. 273. - Библиогр.: 2 назв.
287	<b>Суляев Ю.С., Бурдаков А.В., Иванцовский М.В., Александров Е.В., Пищинский К.В., Шарфеева С.Р., Землянский Ю.Н., Нормышев Е.А., Поротников А.Б., Шошин А.А., Клименко М.В., Смирнов А.Б., Пожилов А.А., Кириенко И.Д., Модестов В.С.</b> Инженерные расчеты и подготовка к производству конструкции экваториального порта № 11 ИТЭР // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-16. - С. 274.
288	<b>Таскаев А.С., Иванцовский М.В., Бурдаков А.В., Горбовский А.И., Зайцев Е.К., Звонков А.В., Селезнев П.А., Штешов А.Г., Усов П.В., Шиянков С.В., Шошин А.А., Хомяков Е.С., Смирнов А.Б., Пожилов А.А., Кириенко И.Д., Модестов В.С.</b> Демонстрация результатов тестирования рубашки охлаждения детекторов верхней вертикальной нейтронной камеры // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-17. - С. 275.
289	<b>Васильев А.А., Аракчеев А.С., Бурдаков А.В., Вячеславов Л.Н., Кандауров И.В., Касатов А.А., Куркучев В.В., Попов В.А., Черепанов Д.Е., Шошин А.А.</b> In situ исследование модификации поверхности вольфрама при тепловом ударе мощным пучком электронов на установке ВЕТА // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-18. - С. 276.
290	<b>Александров Е.В., Бурдаков А.В., Буслаков И.В., Горбовский А.И., Зайцев Е.К., Иванцовский М.В., Кириенко И.Д., Листопад А.А., Лобачев А.М., Логинов И.Н., Манаenkova Ю.А., Модестов В.С., Селезнев П.А., Шагниев О.Б., Шиянков С.В., Шошин А.А.</b> Предварительный проект интеграции ВП № 02 и ВП № 08 ИТЭР // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr Э-33. - С. 291.
291	<b>Вшивков, В. А. Дудникова Г.И., Черноштанов И.С.</b> Гибридная численная модель диамагнитного удержания плазмы в осесимметричной открытой ловушке // XLVI Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18 - 22 марта 2019 г., Звенигород : сборник тезисов докладов. - М. : ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН, 2019. - Art.nr M-60. - С. 307. - Библиогр.: 3 назв.
292	<b>Anashin V.V., Anchugov O.V., Aulchenko V.M., Baldin E.M., Baranov G.N., Barladyan A.K., Barnyakov A.Y., Barnyakov M.Y., Baru S.E., Basok I.Y., Batrakov A.M., Bekhtenev E.A., Blinov A.E., Blinov V.E., Bobrov A.V., Bobrovnikov V.S., Bogomyagkov A.V., Bondar A.E., Buzykaev A.R., Cheblakov P.B., Dorohov V.L., Eidelman S.I., Grigoriev D.N., Glukhov S.A., Kaminskiy V.V., Karnaev S.E., Karpov G.V., Karpov S.V., Karukina K.Y., Kashtankin D.P., Kasyanenko P.V., Kharlamova T.A., Kiselev V.A., Kolmogorov V.V., Kononov S.A., Kotov K.Y., Krasnov A.A., Kravchenko E.A., Kudryavtsev V.N., Kulikov V.F., Kurkin G.Y., Kuyanov I.A., Levichev E.B., Maksimov D.A., Malyshev V.M., Maslennikov A.L., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Morozov I.A., Morozov I.I., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Onuchin A.P., Oreshkin S.B., Osipov A.A., Ovtin I.V., Peleganchuk S.V., Pivovarov S.G., Piminov P.A., Petrov V.V., Prisekin V.G., Rezanova O.L., Ruban A.A., Savinov G.A., Shamov A.G., Shatilov D.N., Shvedov D.A., Shwartz B.A., Simonov E.A., Sinyatkin S.V., Skrinsky A.N., Sokolov A.V., Sukhanov D.P., Sukharev A.M., Starostina E.V., Talyshev A.A., Tayursky V.A., Telnov V.I., Tikhonov Y.A., Todyshev K.Y., Tribendis A.G., Tumaikin G.M., Usov Y.V., Vorobiov A.I., Zhilich V.N., Zhukov A.A., Zhulanov V.V., Zhuravlev A.N.</b> Precise measurement of R uds and R between 1.84 and 3.72 GeV at the KEDR detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 42-51. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.012.
293	<b>Константинов, С. Г.</b> Компактный протонный инжектор на основе электронно-циклотронного резонанса // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 1. - С. 5-9. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.1134/S0032816218060241.
294	<b>Топорков Д.К., Зеваков С.А., Николенко Д.М., Рачек И.А., Шестаков Ю.В., Юрченко А.В.</b> Экспериментальный стэнд для получения поляризованных молекул H2 и D2 // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 1. - С. 56-61. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.1134/S0032816219010257.
295	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for top quark partners with charge 5/3 in the same-sign dilepton and single-lepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 82. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)082.

296	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Inclusive search for supersymmetry in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV using razor variables and boosted object identification in zero and one lepton final states // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 31. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)031.</b>
297	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Study of electromagnetic Dalitz decays <math>\chi_{c1} \rightarrow \mu^+ \mu^- J/\psi</math> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 051101. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.051101.</b>
298	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Search for supersymmetric partners of electrons and muons in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 140-166. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.01.005.</b>
299	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Measurement of nuclear modification factors of <math>\Upsilon(1S)</math>, <math>\Upsilon(2S)</math>, and <math>\Upsilon(3S)</math> mesons in PbPb collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 790. - P. 270-293. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.01.006.</b>
300	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for a heavy resonance decaying to a top quark and a vector-liketop quark in the lepton plus jets final state in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 3. - Art.nr 208. - Bibliogr.: 71 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6688-5.</b>
301	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Observation of <math>e^+e^- \rightarrow D^+ s \bar{D}^{(*)0} K^-</math> and study of the P-wave Ds mesons // Chinese Physics C. - 2019. - Vol. 43, Is. 3. - Art.nr 031001. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1088/1674-1137/43/3/031001.</b>
302	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Measurement of differential cross sections for Z boson pair production in association with jets at <math>\sqrt{s}=8</math> and 13 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 789. - P. 19-44. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.007.</b>
303	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Non-Gaussian elliptic-flow fluctuations in PbPb collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 789. - P. 643-665. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.11.063.</b>
304	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Search for Higgs boson pair production in the <math>\gamma\gamma b\bar{b}</math> final state in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 788. - P. 7-36. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.10.056.</b>
305	<b>Zhurov D., Collab. TAIGA, Garmash A., Kravchenko E., Sokolov A.</b> <b>First results of the tracking system calibration of the TAIGA-IACT telescope // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1181: 26th Extended European Cosmic Ray Symposium, Altai State University, Barnaul-Belokurikha, Russian Federation, 6–10 July 2018. - Art.nr 012045. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1181/1/012045.</b>
306	<b>Teryaev, V. E. Shchelkunov S.V., Hirshfield J.L.</b> <b>High-efficiency 2 MeV beam-driven accelerator // 18th IEEE Advanced Accelerator Concepts Workshop, AAC 2018, Breckenridge, Colorado, USA, 12-17 August 2018 : proceedings. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8659378. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1109/AAC.2018.8659378.</b>
307	<b>Teryaev V.E., Jiang Y., Shchelkunov S.V., Hirshfield J.L.</b> <b>50kW CW highly-efficient multi-beam klystron at 952 MHz for a future electron-ion collider // 18th IEEE Advanced Accelerator Concepts Workshop, AAC 2018, Breckenridge, Colorado, USA, 12-17 August 2018 : proceedings. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8659377. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1109/AAC.2018.8659377.</b>
308	<b>Jiang Y., Shchelkunov S.V., Teryaev V.E., Hirshfield J.L.</b> <b>O-MBK with partially grounded depressed collector // 18th IEEE Advanced Accelerator Concepts Workshop, AAC 2018, Breckenridge, Colorado, USA, 12-17 August 2018 : proceedings. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8659418. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1109/AAC.2018.8659418.</b>
309	<b>Barucca G., Collab. PANDA, Blinov A.E., Kononov S., Kravchenko E.A., Antokhin E., Barnyakov M., Beloborodov K., Blinov V.E., Kuyanov I.A., Pivovarov S., Pyata E., Tikhonov Y.</b> <b>Precision resonance energy scans with the PANDA experiment at FAIR: Sensitivity study for width and line shape measurements of the X(3872) // European Physical Journal A. - 2019. - Vol. 55, Is. 3. - Art.nr 42. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1140/epja/i2019-12718-2.</b>
310	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Measurement of the ratio of branching fractions of the decays <math>\Lambda^0 b \rightarrow \psi(2S)\Lambda</math> and <math>\Lambda^0 b \rightarrow J/\psi\Lambda</math> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 126. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)126.</b>
311	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Measurement of the branching fractions of the decays <math>D^+ \rightarrow K^- K^+ K^+</math>, <math>D^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ K^+</math> and <math>D^+ s \rightarrow \pi^- K^+ K^+</math> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 176. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)176.</b>
312	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for dark matter produced in association with a single top quark or a top quark pair in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 141. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)141.</b>
313	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for a W' boson decaying to a vector-like quark and a top or bottom quark in the all-jets final state // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 127. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)127.</b>
314	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for the pair production of light top squarks in the <math>e\mu\bar{\tau}</math> final state in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 101. - Bibliogr.: 86 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)101.</b>
315	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> <b>Jet fragmentation transverse momentum measurements from di-hadron correlations in <math>\sqrt{s}=7</math> TeV pp and <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV p-Pb collisions // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 169. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)169.</b>
316	<b>Davydenko V.I., Deichuli P.P., Ivanov A.A., Murakhtin S.V.</b> <b>Neutral beam injection system for the CAT experiment [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - Vol. 14, Spec. Iss. 1 : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402024. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2402024.</b>
317	<b>Akhmetov T.D., Davydenko V.I., Ivanov A.A., Shulzhenko G.I.</b> <b>Operation modes of hot-cathode plasma source for linear devices [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - Vol. 14, Spec. Iss. 1 : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2406004. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2406004.</b>
318	<b>Soldatkina E.I., Bagryansky P.A., Beklemishev A.D., Fedorenkov E.A., Konshin Z.E., Korobeynikova O.A., Lizunov A.A., Maksimov V.V., Murakhtin S.V., Pinzhenin E.I., Prikhodko V.V., Savkin V.Ya., Solomakhin A.L., Yakovlev D.V.</b> <b>Axial plasma confinement in Gas Dynamic Trap [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - Vol. 14, Spec. Iss. 1 : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402006. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2402006.</b>
319	<b>Kotelnikov, I. A. Chernoshanov I.S., Prikhodko V.V.</b>

	Stability of the Drift-Cyclotron Loss-Cone and Double-Humped modes in multispecies plasmas [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - <b>Vol. 14, Spec. Iss. 1</b> : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2403001. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2403001.
320	<b>Khristo, M. S. Beklemishev A.D.</b> High-pressure limit of equilibrium in axisymmetric open traps [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - <b>Vol. 14, Spec. Iss. 1</b> : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2403007. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2403007.
321	<b>Inzhevatkina A.A., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Postupaev V.V., Sudnikov A.V.</b> Doppler spectroscopy system for the plasma velocity measurements in SMOLA Helical Mirror [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - <b>Vol. 14, Spec. Iss. 1</b> : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402020. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2402020.
322	<b>Sudnikov A.V., Beklemishev A.D., Postupaev V.V., Ivanov I.A., Inzhevatkina A.A., Sklyarov V.F., Burdakov A.V., Kuklin K.N., Rovenskikh A.F., Melnikov N.A.</b> First experimental campaign on SMOLA Helical Mirror [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - <b>Vol. 14, Spec. Iss. 1</b> : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402023. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2402023.
323	<b>Pinzhenin E.I., Khilchenko A.D., Zubarev P.V., Kvashnin A.N., Kashchuk Yu.A., Kovalev A.O., Obudovsky S.Yu.</b> Development of FPGA-based real-time neutron spectrometer using stilbene scintillator [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - <b>Vol. 14, Spec. Iss. 1</b> : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402025. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2402025.
324	<b>Bagryansky P.A., Gospodchikov E.D., Ivanov A.A., Lizunov A.A., Kolesnikov E.Yu., Konshin Z.E., Korobeynikova O.A., Kovalenko Yu.V., Makhomov V.V., Murakhtin S.V., Pinzhenin E.I., Prihodko V.V., Savkin V.Ya., Shalashov A.G., Skovorodin D.I., Soldatkina E.I., Solomakhin A.L., Yakovlev D.V.</b> Studies of plasma confinement and stability in a Gas Dynamic Trap: Results of 2016 - 2018 [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - <b>Vol. 14, Spec. Iss. 1</b> : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402030. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1585/pfr.14.2402030.
325	<b>Петров Д.В., Гармашев А.Ю., Долгих С.М., Смирнов Е.Б., Пруэлл Э.Р., Тен К.А., Кашкаров А.О., Толочко Б.П.</b> Синхротронная диагностика процессов двукратного ударного сжатия // Забалахинские научные чтения : XIV Международная конференция, Снежинск, 18-22 марта 2019 г. : тезисы. - Снежинск : РФЯЦ-ВНИИТФ, 2019. - С. 152-153. - То же на англ. яз.
326	<b>Тен К.А., Пруэлл Э.Р., Кашкаров А.О., Рубцов И.А., Толочко Б.П.</b> Динамические исследования свойств новых материалов методами СИ // Забалахинские научные чтения : XIV Международная конференция, Снежинск, 18-22 марта 2019 г. : тезисы. - Снежинск : РФЯЦ-ВНИИТФ, 2019. - С. 154-155. - То же на англ. яз.
327	<b>Аржаников А.В., Беденко С.В., Иванов А.А., Модестов Д.Г., Приходько В.В., Сеницкий С.Л., Шаманин И.В., Шмаков В.М., Серова Е.В., Степанов Н.В., Титова А.М.</b> Гибридная реакторная установка с Th-Pu-U оксидным топливом и плазменным источником нейтронов // Забалахинские научные чтения : XIV Международная конференция, Снежинск, 18-22 марта 2019 г. : тезисы. - Снежинск : РФЯЦ-ВНИИТФ, 2019. - С. 196-197. - То же на англ. яз. - Библиогр.: 5 назв.
328	<b>Пелипасов О.В., Лабузов В.А., Путьмаков А.Н., Чернов К.Н., Боровиков В.М., Бурумов И.Д., Селонин Д.О., Гаранин В.Г., Зарубин И.А.</b> Спектрометр с микролюминесцентной плазмой «ГРАНД-СВЧ» для атомно-эмиссионного анализа // Аналитика и контроль. - 2019. - Т. 23, № 1. - С. 24-34. - Библиогр.: 9 назв. - DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.004.
329	<b>Молодин В.И., Ненахов Д.А., Мыльникова Л.Н., Райнхольд С., Пархомчук Е.В., Калинкин П.Н., Пархомчук В.В., Растигеев С.А.</b> Радиоуглеродное датирование комплекса эпохи раннего неолита памятника Тартас-1 (Среднее Приомье) с использованием установки "Ускорительный масс-спектрометр ИЯФ СО РАН" // Археология, этнография и антропология Евразии. - 2019. - Т. 47, № 1. - С. 15-22. - Библиогр.: 17 назв. - DOI 10.17746/1563-0102.2019.47.1.015-022.
330	<b>Ступаков И.М., Рояк М.Э., Кондратьева Н.С., Зелинский А.В., Винокуров Н.А.</b> Учет эффектов гистерезиса при расчете вихревых токов // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. - 2019. - Т. 20, № 1. - С. 67-74. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.26089/NumMet.v20r107.
331	<b>Чесноков Е.Н., Красноперов Л.Н., Кубарев В.В., Кошляков П.В.</b> Наблюдение сигналов свободной индукции радикалов ОН, возбуждаемых импульсами терагерцового лазера на свободных электронах // Физика горения и взрыва. - 2019. - Т. 55, № 1. - С. 21-26. - Библиогр.: 19 назв. - DOI 10.15372/FGV20190102.
332	<b>Деревянко Д.И., Орлова Н.А., Шелковников В.В., Шундрин И.К., Гольденберг Б.Г., Корольков В.П.</b> Формирование высокоаспектных микроструктур на тетраакрилат/акриламидных мономерах под действием синхротронного излучения // Химия высоких энергий. - 2019. - Т. 53, № 2. - С. 127-134. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.1134/S0023119319020049.
333	<b>Ватник, Г. Д.</b> Изучение метода Time-Over-Threshold для измерения амплитуды сигнала в мюонных детекторах эксперимента TAIGA // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 5.
334	<b>Коваленко, Е. А.</b> Измерение вероятности перехода $Y(5S) \rightarrow Y(2S)\eta$ // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 6.
335	<b>Поздняков, Н. А.</b> Методика идентификации событий с заряженными К-мезонами в конечном состоянии на детекторе СНД // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 7.
336	<b>Савченко, Я.</b> Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$ с детектором СНД // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 9.
337	<b>Семенов, А. В.</b> Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi^0$ в диапазоне энергий до 2 ГэВ в системе центра масс с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 10.
338	<b>Усков, А. А.</b> Изучение процесса $e^+e^- \rightarrow K_S K_L \pi$ детектором КМД-3 // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14-19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 12.

339	<b>Юрченко, А. В.</b> Получение поляризованных молекул H <sub>2</sub> и D <sub>2</sub> // Физика элементарных частиц, астрофизика и космология : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 13. - Библиогр.: 1 назв.
340	<b>Бульженков, И. С.</b> Моделирование калориметра детектора супер чарм-тау фабрики // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 5.
341	<b>Ильина, М. А.</b> Применение баз знаний для хранения и обработки информации о структуре установки и интеграции с системой управления // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 8.
342	<b>Ключникова, А. А.</b> Разработка средства верификации систем управления установками электронного охлаждения // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 9.
343	<b>Неустроева, А. А.</b> Моделирование хода лучей синхротронного излучения при тестировании рентгеновских преломляющих линз // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 11. - Библиогр.: 2 назв.
344	<b>Гулов, М. А.</b> Низкоуровневая электроника для управления системой вывода энергии из сверхпроводящего соленоида детектора PANDA (FAIR) // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 15.
345	<b>Лачынов, Ш. Б.</b> Устойчивость компенсированных встречных пучков // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 18. - Библиогр.: 2 назв.
346	<b>Маслаков, И. Д.</b> Оптимизация тракта передачи мощности в плазменный эмиттер // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 19.
347	<b>Матвеев, А. С.</b> Измерение параметров пучка ВЧ-пушки Новосибирского ЛСЭ // Инструментальные методы и техника экспериментальной физики : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 20.
348	<b>Политко, М. О. Прокаева А.И., Цидулко А.Ю.</b> Использование синхротронного излучения ускорительного комплекса ВЭПП-4М для моделирования радиотерапии в экспериментах с животными // Физические методы в естественных науках : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 18.
349	<b>Вайгель, Л. А.</b> Измерение температуры поверхности вольфрама во время импульсного нагрева лазерным излучением // Физические методы в естественных науках : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 28.
350	<b>Кременко, С. И.</b> Измерение распределения массы вдоль потока микрочастиц // Физические методы в естественных науках : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 36. - Библиогр.: 3 назв.
351	<b>Асмедьянов, Н. Р.</b> Источник плазменной струи с большим давлением // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 58.
352	<b>Астамиров, С. С.</b> Измерение характеристик диагностического пучка с быстрой модуляцией // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 59.
353	<b>Бикчурина, М. И.</b> Активационная методика для бор-нейтронозахватной терапии // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 60.
354	<b>Глинский, В. В.</b> Измерение локальных параметров плазмы в установке СМОЛА // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 61.
355	<b>Давыдов, Н. В.</b> Исследование керамики карбида бора методом энергодисперсионной спектроскопии и методом нейтронно-активационного анализа для выявления легко активируемых примесей // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 62.
356	<b>Казанцев, С. Р.</b> Измерение динамики дифракции синхротронного излучения на мозаичном монокристалле вольфрама при импульсном нагреве и восстановление динамики распределения деформаций в образце // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 64.
357	<b>Ломов, К. А.</b>

	Диагностика высокочастотных возмущений азимутального магнитного поля в установке СМОЛА // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 65. - Библиогр.: 4 назв.
358	<b>Михайлов, А. М.</b> Модификация поверхности литиевой мишени при воздействии протонного пучка с энергией 2 МэВ // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 66.
359	<b>Силотина, В. А.</b> Изучение состава примесей в плазме установки ГОЛ- NB // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 70.
360	<b>Таксанов, Ю. В.</b> Изучение генерации плазмы в мультипольной магнитной ловушке с помощью генератора плазмы с дугowym дифрагированным каналом // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 71.
361	<b>Толкачев, М. С.</b> Исследование распределения ионов по продольным энергиям в винтовой открытой ловушке СМОЛА // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 72.
362	<b>Устюжанин, В. О.</b> Формирование плазменной струи в установке СМОЛА с помощью магнитоизолированного разряда с горячим катодом // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 73. - Библиогр.: 2 назв.
363	<b>Ушмоткин, В. О.</b> Исследование характеристик пучка ВЧ-источника отрицательных ионов с большой площадью эмиссии при различных цезиевых условиях // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 74.
364	<b>Федоренков, Э. А.</b> Спектральный метод решения уравнения Больцмана и его применение для описания взаимодействия газа и плазмы в расширителе // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 75.
365	<b>Худяков, В. К.</b> Диссипация кильватерной волны в радиально-ограниченной плазме // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 76.
366	<b>Черепанов, Д. Е.</b> Динамика деформации вольфрамовой пластинки, подвергающейся импульсному тепловому воздействию // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 77.
367	<b>Шишкин, Е. А.</b> Диагностика для измерения турбулентных полей в плазме во время протекания РЭП на установке ГОЛ-3Т // Физика сплошных сред : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 79.
368	<b>Лобова, И. А.</b> Изготовление рентгеновских преломляющих линз методом ультраглубокой светодиодной фотолитографии // Физика твердого тела : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 19. - Библиогр.: 1 назв.
369	<b>Ломов, К. А.</b> Диагностика высокочастотных возмущений азимутального магнитного поля в установке СМОЛА // ВНКСФ – 25: Двадцать пятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных, Республика Крым, Севастополь, 19-26 апреля 2019 г. : материалы конференции, информационный бюллетень. - Екатеринбург : Изд-во АСФ России, 2019. - С. 165-166. - Библиогр.: 4 назв.
370	<b>Гришина, К. А.</b> Исследование ускоряющей структуры инжектора сибирского кольцевого источника фотонов // ВНКСФ – 25: Двадцать пятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных, Республика Крым, Севастополь, 19-26 апреля 2019 г. : материалы конференции, информационный бюллетень. - Екатеринбург : Изд-во АСФ России, 2019. - С. 182-183. - Библиогр.: 4 назв.
371	<b>Лобова, И. А.</b> Объективные линзы для рентгеновского микроскопа с энергией фотонов 15 – 35 кэВ // ВНКСФ – 25: Двадцать пятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных, Республика Крым, Севастополь, 19-26 апреля 2019 г. : материалы конференции, информационный бюллетень. - Екатеринбург : Изд-во АСФ России, 2019. - С. 247-248. - Библиогр.: 3 назв.
372	<b>Винник, Д. С.</b> Коммутатор питания магнитных элементов канала транспортировки пучка из Бустера в Нуклотрон ускорительного комплекса NICA // ВНКСФ – 25: Двадцать пятая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных, Республика Крым, Севастополь, 19-26 апреля 2019 г. : материалы конференции, информационный бюллетень. - Екатеринбург : Изд-во АСФ России, 2019. - С. 349-350. - Библиогр.: 2 назв.
373	<b>Куц О.А., Старенченко С.В., Соловьёва Ю.В., Старенченко В.А., Пилюгин В.П., Анчаров А.И.</b> Исследование структуры монокристалла Ni <sub>3</sub> Al после интенсивной пластической деформации // Автметрия. - 2019. - Т. 55, № 2. - С. 36-41. - Библиогр.: 12 назв. - DOI 10.15372/AUT20190204.
374	<b>Заверткин П.С., Ивлешкин Д.В., Машковцев М.Р., Николенко А.Д., Сутормина С.А., Чхало Н.И.</b> Широкодиапазонный монохроматор вакуумного ультрафиолетового и мягкого рентгеновского диапазонов для метрологической станции синхротронного излучения // Автметрия. - 2019. - Т. 55, № 2. - С. 5-13. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.15372/AUT20190201.
375	<b>Генцелев А.Н., Кузнецов С.А., Дульцев Ф.Н., Гольденберг Б.Г., Зелинский А.Г., Кондратьев В.И., Таныгина Д.С.</b> Реализация терагерцовых фильтров высоких частот на основе цельнометаллических микроструктур с

	использованием глубокой рентгенолиитографии // Автометрия. - 2019. - Т. 55, № 2. - С. 14-27. - Библиогр.: 34 назв. - DOI 10.15372/AUT20190202.
376	<b>Агафонов А.Н., Князев Б.А., Павельев В.С., Ахметова Э.И., Платонов В.И.</b> Элементы силовой отражающей оптики терагерцового диапазона с поверхностью свободной формы // Автометрия. - 2019. - Т. 55, № 2. - С. 54-60. - Библиогр.: 22 назв. - DOI 10.15372/AUT20190206.
377	<b>Асадчиков В.Е., Бедин С.А., Васильев А.Б., Григорьев Ю.В., Назьмов В.П.</b> Регулярные микроструктуры на основе пленок полиэтилентерефталата // Письма в "Журнал технической физики". - 2019. - Т. 45, № 5. - С. 49-51. - Библиогр.: 9 назв. - DOI 10.21883/PJTF.2019.05.47399.17638.
378	<b>Пинженин, Е. И. Максимов В.В., Чистохин И.Б.</b> Диодная регистрация быстрых нейтральных атомов на установке "Газодинамическая ловушка" // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 2. - С. 49-57. - Библиогр.: 16 назв. - DOI 10.1134/S0032816219020150.
379	<b>Андреев С.В., Анчугов О.В., Воробьев Н.С., Дорохов В.Л., Заровский А.И., Комельков А.С., Крутихин С.А., Куркин Г.Я., Малютин Д.А., Матвеев А.В., Мешков О.И., Смирнов А.В., Шашков Е.В.</b> Пикосекундный электронно-оптический диссектор для регистрации синхротронного излучения // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 2. - С. 75-80. - Библиогр.: 9 назв. - DOI 10.1134/S0032816219020022.
380	<b>Ахметшин Р.Р., Бабичев Е.А., Григорьев Д.Н., Грошев В.Р., Казанин В.Ф., Комарский А.А., Корженевский С.Р., Ромахин А.С., Середняков С.И., Ставрицкий Г.В., Тальшев А.А., Тимофеев А.В., Штоль Д.А., Чепусов А.С.</b> Измерение плотности энергии излучения импульсного рентгеновского источника // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 2. - С. 99-100. - Библиогр.: 7 назв. - DOI 10.1134/S0032816219020010.
381	<b>Заверткин П.С., Ивлюшкин Д.В., Николенко А.Д., Чхало Н.И.</b> Исследование отражательных характеристик кристаллов и МРЗ в мягком рентгеновском диапазоне ИК и ТГц диапазонов // Нанопластика и наноэлектроника : Труды XXIII Международного симпозиума, 11-14 марта 2019 г., Нижний Новгород. - Н. Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2019. - Т. 1. - С. 465-466. - Библиогр.: 3 назв.
382	<b>Демьяненко М.А., Есаев Д.Г., Марчишин И.В., Овсяк В.Н., Фомин Б.И., Алиев В.Ш., Князев Б.А.</b> Неохлаждаемое микроболюметрическое фотоприемное устройство ИК и ТГц диапазонов // Нанопластика и наноэлектроника : Труды XXIII Международного симпозиума, 11-14 марта 2019 г., Нижний Новгород. - Н. Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2019. - Т. 2. - С. 655-656.
383	<b>Shwartz D., Anashin V., Belikov O., Berkaev D., Gorchakov K., Kasaev A., Kirpotin A., Koop I., Krasnov A., Kurkin G., Lysenko A., Motygin S., Provedentsev E., Prosvetov V., Rabusov D., Rogovsky Yu., Semenov A., Senchenko A., Shatilov D., Shatunov P., Shatunov Yu., Shubina O., Timoshenko M., Zemlyansky I., Zharinov Yu.</b> Round Colliding Beams at VEPP-2000 with Extreme Tuneshifts [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr MOYBA01. - P. 34-40. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-MOYBA01.
384	<b>Ogur S., Antoniou F., Charles T.K., Etisken O., Harer B., Holzer B., Oide K., Tydecks T., Papaphilippou Y., Rinolfi L., Zimmermann F., Barnyakov A., Levichev A., Martyshkin P., Nikiforov D., Ozcan E.V., Furukawa K., Iida N., Kamitani T., Miyahara F., Chaikovska I., Chehab R., Polozov S.M., Aiba M.</b> Overall Injection Strategy for FCC-ee [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr TUPAB03. - P. 131-138. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-TUPAB03.
385	<b>Bogomyagkov A., Levichev E., Sinyatkin S., Glukhov S.</b> Dynamic Aperture Limitation Due to the Synchrotron Radiation from Quadrupole Magnets in very High Energy Colliders [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr TUOAB01. - P. 46-56. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-TUOAB01.
386	<b>Boscolo M., Blanco-Garcia O.R., Bacchetta N., Belli E., Benedikt M., Burkhardt H., Gil Costa M., Elsener K., Leogrande E., Janot P., Ten Kate H., El Khechen D., Kolano A., Kersevan R., Lueckhof M., Oide K., Perez E., Teherani N.A., Viazlo O., Voutsinas Y., Zimmermann F., Dam M., Blondel A., Koratzinos M., Novokhatski A., Sullivan M., Bogomyagkov A.V., Levichev E.B., Sinyatkin S., Collamati F.</b> Machine Detector Interface for the e+e- Future Circular Collider [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEXBA02. - P. 201-206. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-WEXBA02.
387	<b>Koop, I. A.</b> Resonant Depolarization at Z and W at FCC-ee [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr TUPBB04. - P. 165-168. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-TUPBB04.
388	<b>Koop, I. A. Otboev A.V., Shatunov Yu.M.</b> Ideas for Longitudinal Polarization at the Z/W/H/top Factory [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEXAA04. - P. 190-193. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-WEXAA04.
389	<b>Muchnoi, N. Y.</b> Performance of the FCC-ee Polarimeter [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr TUPBB03. - P. 157-164. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-TUPBB03.
390	<b>Nikitin, S.</b> Polarization Issues at CEPC [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEXAA02. - P. 182-189. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-WEXAA02.
391	<b>Nikolaev, I. B.</b> High Precision Experiments in the J/psi, Psi(2S) and Tau Sector [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEXAA01. - P. 179-181. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-WEXAA01.
392	<b>Oide K., Shatilov D., Aumon S., Charles T.K., Khechen D.El., Tydecks T.</b> Several Topics on Beam Dynamics in FCC-ee [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular e+e- Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr MOYAA01. - P. 18-22. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-MOYAA01.
393	<b>Shatilov, D.</b>

	Beam-beam Effects at High Energy $e^+e^-$ Colliders [Electronic resource] // eeFACT 2018 : Proceedings of the 62nd ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity Circular $e^+e^-$ Colliders, Hong Kong, China, 24-27 September 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr TUYBA02. - P. 106-111. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.18429/JACoW-eeFACT2018-TUYBA02.
394	<b>Medvedev A., Blokhina K., Fedotov M., Starostenko A., Semenov Y., Sizov M., Tsyganov A.</b> The Lens Effect in the Secondary Emission Based Systems of Joint Searching in EBW [Electronic resource] // PCaPAC 2018 : Proceedings of the 12th International Workshop on Emerging Technologies and Scientific Facilities Controls, Hsinchu, Taiwan, 16-19 October 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEP22. - P. 83-84. - Bibliogr.: 1 ref. - DOI 10.18429/JACoW-PCaPAC2018-WEP22.
395	<b>Sizov M.M., Starostenko A.A., Blokhina K.A., Medvedev A.M.</b> FPGA-based Image Processing System for Electron Beam Welding Facility [Electronic resource] // PCaPAC 2018 : Proceedings of the 12th International Workshop on Emerging Technologies and Scientific Facilities Controls, Hsinchu, Taiwan, 16-19 October 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr FRCC1. - P. 239-241. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-PCaPAC2018-FRCC1.
396	<b>Shubina, O. S. Senchenko A.I.</b> Development of the Malfunctions Detection System at Vepp-2000 Collider [Electronic resource] // PCaPAC 2018 : Proceedings of the 12th International Workshop on Emerging Technologies and Scientific Facilities Controls, Hsinchu, Taiwan, 16-19 October 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEP27. - P. 99-101. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-PCaPAC2018-WEP27.
397	<b>Shubina, O. S. Senchenko A.I., Shatunov P.Yu.</b> Development of Software for Accessing the Vepp-2000 Collider Facility Archiving System [Electronic resource] // PCaPAC 2018 : Proceedings of the 12th International Workshop on Emerging Technologies and Scientific Facilities Controls, Hsinchu, Taiwan, 16-19 October 2018. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEP28. - P. 102-104. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-PCaPAC2018-WEP28.
398	<b>Arakcheev A.S., Arakcheev S.A., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kurkuchekov V.V., Lazareva G.G., Maksimova A.G., Mashukov V.I., Popov V.A., Trunov V.I., Vasilyev A.A., Vyacheslavov L.N.</b> On the mechanism of surface-parallel cracks formation under pulsed heat loads // Nuclear Materials and Energy. - 2019. - Vol. 20. - Art.nr 100677. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1016/j.nme.2019.100677.
399	<b>Kubarev, V. Jeong Y.U.</b> Comprehensive analytical optimization of the hybrid optical resonator of the KAERI compact terahertz free-electron laser // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 930. - P. 173-179. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.03.097.
400	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> $\Lambda^+$ production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 793. - P. 212-223. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.04.046.
401	<b>Lukonin S.E., Gauzshtein V.V., Levchuk M.I., Loginov A.Yu., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.Sh., Shestakov Yu.V., Toporkov D.K., Zevakov S.A.</b> Measurement of tensor analyzing power components for the incoherent $\pi^0$ -meson photoproduction on a deuteron // Nuclear Physics A. - 2019. - Vol. 986. - P. 75-85. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1016/j.nuclphysa.2019.03.003.
402	<b>Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Othoyev A.V., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryzkulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Senchenko A.I., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.V.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)\pi^0$ in the c.m. energy range 1.6–2.0 GeV with the CMD-3 detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 792. - P. 419-423. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.04.007.
403	<b>Avtaeva S.V., Gubin K.V., Trunov V.I., Tuev P.V.</b> Algorithm for supersonic gas jet density profile retrieval from interferometric measurement // Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science, and Vision. - 2019. - Vol. 36, Is. 5. - P. 910-917. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1364/JOSAA.36.000910.
404	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurement of $D$ , $D^+$ , $D^{*+}$ and $D^*$ s production in pp collisions at $\sqrt{s}=5.02$ TeV with ALICE // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 388. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6873-6.
405	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurements of inclusive and differential fiducial cross-sections of $t\bar{t}$ production in leptonic final states at $\sqrt{s}=13$ TeV in ATLAS // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 382. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6849-6.
406	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Erratum to: Measurements of W and Z boson production in pp collisions at $\sqrt{s}=5.02$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 374. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6870-9.
407	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberzko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Performance of top-quark and W -boson tagging with ATLAS in Run 2 of the LHC // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 375. - Bibliogr.: 113 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6847-8.
408	<b>Medvedev, A. Pinayev P., Barnyakov A.</b> Low-frequency polarization and gas discharge plasma pinching in scientific and technological applications // AIP Conference Proceedings. - 2019. - Vol. 2098: The 8th International Symposium «Modern Problems of Laser Physics» (MPLP 2018), Novosibirsk, 25 August - 1 September 2018. - Art.nr 020011. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1063/1.5098155.
409	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for W Boson Decays to Three Charged Pions // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 15. - Art.nr 151802. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.151802.
410	<b>Reznichenko, A. V. Terekhov I.S.</b> Investigation of Nonlinear Communication Channel with Small Dispersion via Stochastic Correlator Approach // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1206: 27th Annual International Laser Physics Workshop, LPHYS 2018, Nottingham, UK, 16–18 July 2018. - Art.nr 012013. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1206/1/012013.

411	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Model-Independent Observation of Exotic Contributions to <math>B^0 \rightarrow J/\psi K^* \pi^-</math> Decays</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 15.</b> - Art.nr 152002. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.152002.
412	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Jet Shapes of Isolated Photon-Tagged Jets in Pb-Pb and pp Collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 15.</b> - Art.nr 152001. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.152001.
413	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Search for the Production of a Long-Lived Neutral Particle Decaying within the ATLAS Hadronic Calorimeter in Association with a Z Boson from pp Collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 15.</b> - Art.nr 151801. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.151801.
414	<b>Pushkarev R., Fainer N., Kirienko V., Matsynin M., Nadolinny V., Merenkov I., Trubina S., Ehrenburg S., Kvashnina K.</b> <b>SiC : X N y :Fe films as a tunable ferromagnetic material with tailored conductivity</b> // Journal of Materials Chemistry C. - 2019. - <b>Vol. 7, Is. 14.</b> - P. 4250-4258. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1039/c9tc00299e.
415	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Precision measurement of the branching fractions of <math>\eta'</math> decays</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 14.</b> - Art.nr 141603. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.142002.
416	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Observation of Single Top Quark Production in Association with a Z Boson in Proton-Proton Collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 13.</b> - Art.nr 132003. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.132003.
417	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>First Measurement of Charm Production in its Fixed-Target Configuration at the LHC</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 13.</b> - Art.nr 132002. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.132002.
418	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Observation of Two Excited <math>B^*c</math> States and Measurement of the <math>B^*c(2S)</math> Mass in pp Collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 13.</b> - Art.nr 132001. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.132001.
419	<b>Pinzhenin, E. I. Maximov V.V., Chistokhin I. B.</b> <b>A Diode-Based Detector of Fast Neutral Atoms at a Gas Dynamic Trap</b> // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 2.</b> - P. 185-192. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1134/S0020441219020131.
420	<b>Andreev S.V., Anchugov O.V., Vorob'ev N.S., Dorokhov V.L., Zarovskii A.I., Komel'kov A.S., Krutikhin S.A., Kurkin G.Ya., Malutin D.A., Matveenko A.V., Meshkov O.I., Smirnov A.V., Shashkov E. V.</b> <b>A Picosecond Electron-Optical Dissector for Detecting Synchrotron Radiation</b> // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 2.</b> - P. 208-213. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1134/S0020441219020027.
421	<b>Akhmetshin R.R., Babichev E.A., Grigoriev D.N., Groshev V.R., Kazanin V.F., Komarskiy A.A., Korzhenevskiy S.R., Romakhin A.S., Serednyakov S.I., Stavrietskiy G.V., Talyshev A.A., Timofeev A.V., Shtol D.A., Chepusov A.S.</b> <b>Measuring the Radiation Energy Density of a Pulsed X-Ray Source</b> // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 2.</b> - P. 232-235. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1134/S0020441219020015.
422	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Search for baryon and lepton number violation in <math>J/\psi \rightarrow \Lambda^* c e^- + c.c.</math></b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 7.</b> - Art.nr 072006. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.072006.
423	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Precision measurements of the <math>e^+e^- \rightarrow K^0_S K^{\pm} \pi^{\mp}</math> Born cross sections at center-of-mass energies between 3.8 and 4.6 GeV</b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 7.</b> - Art.nr 072005. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.072005.
424	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Measurement of the branching fraction of <math>J/\psi \rightarrow \omega \eta' \pi^+ \pi^-</math> and search for <math>J/\psi \rightarrow \omega X(1835)</math>, <math>X(1835) \rightarrow \eta' \pi^+ \pi^-</math> decay</b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 7.</b> - Art.nr 071101. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.071101.
425	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Search for the decay <math>D^*s \rightarrow \gamma e^+ \nu e</math></b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 7.</b> - Art.nr 072002. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.072002.
426	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>First observations of <math>hc \rightarrow</math> hadrons</b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 7.</b> - Art.nr 072008. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.072008.
427	<b>Garg R., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shebalin V., Usov Y., Zhilich V., Zhulanov V.</b> <b>Search for the <math>B \rightarrow Y(4260)K</math>, <math>Y(4260) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-</math> decays</b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 7.</b> - Art.nr 071102. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.071102.
428	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Observation of the doubly Cabibbo-suppressed decay <math>\Xi c^+ \rightarrow \rho \phi</math></b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 84. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)084.
429	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Dalitz plot analysis of the <math>D^* \rightarrow K^- K^+ K^+</math> decay</b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 63. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)063.
430	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> <b>Charged-particle pseudorapidity density at mid-rapidity in p-Pb collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=8.16</math> TeV</b> // European Physical Journal C. - 2019. - <b>Vol. 79, Is. 4.</b> - Art.nr 307. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6801-9.
431	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for contact interactions and large extra dimensions in the dilepton mass spectra from proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 114. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)114.
432	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Measurements of the <math>pp \rightarrow WZ</math> inclusive and differential production cross sections and constraints on charged anomalous triple gauge couplings at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 122. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)122.
433	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for nonresonant Higgs boson pair production in the <math>b\bar{b}b\bar{b}</math> final state at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 112. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)112.
434	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for excited leptons in <math>\ell\ell\gamma</math> final states in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 15. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)015.
435	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for resonant <math>\tau\bar{\tau}</math> production in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 4.</b> - Art.nr 31. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)031.

436	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of the top quark mass in the $t\bar{t} \rightarrow \text{lepton} + \text{jets}$ channel from $\sqrt{s}=8$ TeV ATLAS data and combination with previous results // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 4. - Art.nr 290. - Bibliogr.: 103 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6757-9.
437	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Study of the rare decays of $B^0$ s and $B^0$ mesons into muon pairs using data collected during 2015 and 2016 with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 4. - Art.nr 98. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)098.
438	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for Higgs boson pair production in the $b\bar{b}WW^*$ decay mode at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 4. - Art.nr 92. - Bibliogr.: 80 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)092.
439	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of the four-lepton invariant mass spectrum in 13 TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 4. - Art.nr 48. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)048.
440	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurements of inclusive and differential fiducial cross-sections of $t\bar{t}$ production with additional heavy-flavour jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 4. - Art.nr 46. - Bibliogr.: 85 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)046.
441	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of the ratio of cross sections for inclusive isolated-photon production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ and 8 TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 4. - Art.nr 93. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1007/JHEP04(2019)093.
442	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Combination of Searches for Higgs Boson Pair Production in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 12. - Art.nr 121803. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.121803.
443	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurement of the Dynamics of the Decays $D^+s \rightarrow \eta(c)e^+ve$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 12. - Art.nr 121801. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.121801.
444	<b>Sobachkin A.V., Myasnikov A.Yu., Sitnikov A.A., Sharafutdinov M.R.</b> Adjustment of induction high-temperature synthesis to in situ synchrotron study of SHS-mixtures on the example of Ti-Al system // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 483: The I International Scientific Practical Conference "Breakthrough Technologies and Communications in Industry", BTCI 2018, Volgograd, Russian Federation, 20–21 November 2018. - Art.nr 012061. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1088/1757-899X/483/1/012061.
445	<b>Solov'eva Yu.V., Starenchenko S.V., Ancharov A.I., Starenchenko V.A.</b> Structural and Phase Transformations in Superlocalization Band in Ni 3 Ge Single Crystal // Russian Physics Journal. - 2019. - Vol. 61, Is. 11. - P. 1985-1991. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1007/s11182-019-01628-9.
446	<b>Kotelnikov, I. A. Milstein A.I.</b> Electron radiative recombination with a hydrogen-like ion // Physica Scripta. - 2019. - Vol. 94, Is. 5. - Art.nr 055403. - Bibliogr.: 76 ref. - DOI 10.1088/1402-4896/ab060a.
447	<b>Trunov Yu., Skovorodin D., Astrelin V., Danilov V., Burdakov A., Kurkuchekov V., Popov S., Sinitsky S.L., Tarakanov V., Atlukhanov M.</b> Influence of backstreaming ions on spot size of 2 MeV electron beam // Laser and Particle Beams. - 2019. - Vol. 37, Is. 1. - P. 159-164. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1017/S0263034619000314.
448	<b>Bedin S.A., Vasil'ev A.B., Grigor'ev Yu.V., Naz'mov V.P.</b> Regular Microstructures Based on Polyethylene Terephthalate Films // Technical Physics Letters. - 2019. - Vol. 45, Is. 3. - P. 232-234. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1134/S1063785019030027.
449	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Search for rare decay $J/\psi \rightarrow \phi e^+e^-$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052010. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052010.
450	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $\chi cJ \rightarrow 4K^0s$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052008. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052008.
451	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the mass and production rate of $\Xi^0$ baryons // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - P052006. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052006.
452	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of $B^+$ , $B^0$ and $\Lambda^0$ b production in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=8.16$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052011. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052011.
453	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for heavy neutrinos and third-generation leptoquarks in hadronic states of two $\tau$ leptons and two jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 3. - Art.nr 170. - Bibliogr.: 86 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)170.
454	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for pair production of first-generation scalar leptoquarks at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052001. - Bibliogr.: 94 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052001.
455	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for long-lived particles produced in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV that decay into displaced hadronic jets in the ATLAS muon spectrometer // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052005. - Bibliogr.: 86 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052005.
456	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberozko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for heavy long-lived multicharged particles in proton-proton

	collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052003. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052003.
457	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Properties of $g \rightarrow b\bar{b}$ at small opening angles in pp collisions with the ATLAS detector at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052004. - Bibliogr.: 91 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052004.
458	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for four-top-quark production in the single-lepton and opposite-sign dilepton final states in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 5. - Art.nr 052009. - Bibliogr.: 117 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.052009.
459	<b>Getmanov Y.V., Gorbachev Ya.I., Vinokurov N.A., Davidyuk I.V., Kubarev V.V., Shevchenko O.A.</b> Comparing and Assessing the Efficiency of Lasing for Different Configurations of the Electron Outcoupling System of the Novosibirsk Free Electron Laser // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 175-179. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020138.
460	<b>Zorin A.V., Mezentsev N.A., Zolotarev K.V., Shkaruba V.A.</b> Radiation-Generating Devices for Domestic Sources of Synchrotron Radiation with Extremely Low Emittance // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 121-123. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.3103/S106287381902031X.
461	<b>Fedotov, M. G. Mishnev S.I., Ljangasov I.D.</b> Feedback Suppression of the Fast Vertical Oscillations of VEPP-3 SR Beam // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 116-120. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020126.
462	<b>Davidyuk I.V., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A., Getmanov Ya.V.</b> Developing an Undulator with a Variable Period for the First Stage of the Novosibirsk Free Electron Laser // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 155-158. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020114.
463	<b>Shekhtman L.I., Aulchenko V.M., Zhulanov V.V., Kudashkin D.V.</b> Upgrading a Detector for Studying Fast Processes on a Beam of Synchrotron Radiation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 220-224. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020254.
464	<b>Salikova T.V., Vinokurov N.A., Petrichenkov M.V., Repkov A.V., Chudaev V.Ya., Shevchenko O.A., Eksta V.V.</b> Radiation Monitoring System of the Novosibirsk FEL // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 166-168. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020242.
465	<b>Lemzyakov A.G., Lyakh V.V., Goldenberg B.G., Nazmov V.P., Kozyrev E.A.</b> Experimental Study of Radiation-Induced Evaporation of Cesium Iodide on VEPP-3 Synchrotron Radiation Source // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 225-227. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020205.
466	<b>Matveev, A. S. Shevchenko O.A., Vinokurov N.A.</b> Compensating for Variation in Undulator Focusing when Tuning the Wavelength of the Novosibirsk FEL Radiation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 163-165. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020217.
467	<b>Kameshkov, O. E. Knyazev B.A.</b> Simulating Diffraction on a Series of Amplitude-Phase Masks for Experiments at the Novosibirsk Free Electron Laser // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 184-189. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020175.
468	<b>Shevchenko O.A., Vinokurov N.A., Arbutov V.S., Chernov K.N., Davidyuk I.V., Deichuly O.I., Dementyev E.N., Dovzhenko B.A., Getmanov Ya.V., Gorbachev Ya.I., Knyazev B.A., Kolobanov E.I., Kondakov A.A., Kozak V.R., Kozyrev E.V., Krutikhin S.A., Kubarev V.V., Kulipanov G.N., Kuper E.A., Kuptsov I.V., Kurkin G.Ya., Medvedev L.E., Motygin S.V., Ovchar V.K., Osipov V.N., Petrov V.M., Pilan A.M., Popik V.M., Repkov V.V., Salikova T.V., Scheglov M.A., Sedlyarov I.K., Serednykov S.S., Skrinsky A.N., Tararyshkin S.V., Tribendis A.G., Tcheskidov V.G., Voblyi P.D., Volkov V.N.</b> The Novosibirsk Free-Electron Laser Facility // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 228-231. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020278.
469	<b>Rashchenko, S. V. Darin A.V., Rakshun Ya.V.</b> Conceptual Design for a Microfocus Beamline on the SKIF Synchrotron // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 180-183. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020230.
470	<b>Shevchenko O.A., Salikova T.V., Tararyshkin S.V., Getmanov Ya.V., Veber S.L.</b> A Computer-Based Test Bench for Modulating Terahertz FEL Radiation Power // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 159-162. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020266.
471	<b>Goldenberg B.G., Naz'mov V.P., Palchikov E.I., Lemzyakov A.G., Dolgikh A.V., Mishnev S.I.</b> Forming and Testing High-Aspect Anti-Scattering Grids for Flash X-Ray Radiography // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 124-128. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.3103/S106287381902014X.
472	<b>Khrushchev S.V., Shkaruba V.A., Mezentsev N.A., Tsukanov V.M., Tarasenko O.A., Volkov A.A., Bragin A. V., Lev V.Kh., Safronov A.N., Karantzoulis E., Zangrando D.</b> Upgrade of the Superconducting Multipole Wiggler Magnetic System for the ELETTRA Storage Ring // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 204-207. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020187.
473	<b>Legkodymov A.A., Kuper K.E., Kolmogorov Yu.P., Baranov G.N.</b> The SRXFA Station on the VEPP-4M Storage Ring // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 112-115. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020199.
474	<b>Goldenberg B.G., Rakshun Ya.V., Bugaev S.V., Meshkov O.I., Tsybulya S.V.</b> Designing a Technological Station for Synchrotron Radiation on the VEPP-4M // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 129-133. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020151.
475	<b>Bragin A. V., Erokhin A.I., Gusev Ye.A., Khan S., Khrushchev S.V., Lev V.Kh., Mezentsev N.A., Safronov A.N., Shkaruba V.A., Tarasenko O.A., Tsukanov V.M., Vasichev S.S., Volkov A.A., Zorin A.V.</b> The 22-Pole Superconducting 7-Tesla Wiggler for the DELTA Storage Ring // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 208-214. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020059.
476	<b>Zelentsov E.L., Sazhina T.V., Kozlov A.S., Petrov A.K., Shevchenko O.A.</b> Morphological Changes in Mammal Skeletal Muscle under the Action of Powerful THz Laser Radiation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 232-236. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020308.
477	<b>Darin A.V., Kalugin I.A., Babich V.V., Markovich T.I., Grachev A.M., Darin F.A., Rakshun Ya.V., Sorokoletov D.S.</b> Searching for Annually Stratified Bottom Sediments in Altai Mountain Lakes by Means of XRF Microanalysis Using

	Synchrotron Radiation // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 194-197. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020102.
478	<b>Darin A.V., Alexandrin M.Yu., Grachev A.M., Solomina O.N., Darin F.A., Rakshun Ya.V., Sorokoletov D.S.</b> <b>Constructing Lithological/Geochemical Time Series</b> in the Cross Sections of Bottom Sediments of Lake Karakel Using Data from Micro-XRF Scanning with a Beam of Synchrotron Radiation on the VEPP-3 Storage Ring // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 190-193. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020096.
479	<b>Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Zaslavsky V.Yu., Kalinin P.V., Peskov N.Yu., Sandalov E.S., Sergeev A.S., Sinitzky S.L., Stepanov V.D.</b> <b>Planar THz FELs Based on Intense Parallel Sheet Electron Beams and Intracavity Wave Scattering</b> // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 140-145. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020035.
480	<b>Kalugin I.A., Darin A.V., Babich V.V., Markovich T.I., Rakshun Ya.V., Darin F.A., Sorokoletov D.S., Rogozin D.Yu.</b> <b>Indicators of Oxidic and Anoxic Conditions in the System of the Current Sedimentation of Saline Lake Shira (Khakassia), According to High-Resolution SR XRF Data on Bottom Sediments Frozen In Situ</b> // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 2. - P. 198-203. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.3103/S1062873819020163.
481	<b>Lee, R. N. Onishchenko A.I.</b> <b>Toward an Analytic Perturbative Solution for the Abjm Quantum Spectral Curve</b> // Theoretical and Mathematical Physics. - 2019. - Vol. 198, Is. 2. - P. 256-270. - Bibliogr.: 101 ref. - DOI 10.1134/S0040577919020077.
482	<b>Nikitin, S.</b> <b>Opportunities to obtain polarization at CEPC</b> // International Journal of Modern Physics A. - 2019. - Vol. 34, Is. 13-14. - Art.nr 1940004. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1142/S0217751X19400049.
483	<b>Khrushchev S., Mezentshev N., Shkaruba V., Tsukanov V., Syrovatin V.</b> <b>Efficiency of operation of cryogenic system of superconducting wigglers with cryocoolers</b> [Electronic resource] // 15th International Institute of Refrigeration Conference on Cryogenics, CRYOGENICS 2019, Prague, Czech Republic, 8-11 April 2019. - 2019. - Art.nr 0043. - DOI 10.18462/iir.cryo.2019.0043.
484	<b>Bragin A. V., Kholopov M.A., Mezentshev N.A., Syrovatin V.M., Shkaruba V.A., Tikhonov Yu.A.</b> <b>Development of cryogenic cooling system for the superconducting dipole magnet of the CBM detector</b> [Electronic resource] // 15th International Institute of Refrigeration Conference on Cryogenics, CRYOGENICS 2019, Prague, Czech Republic, 8-11 April 2019. - 2019. - Art.nr 0034. - DOI 10.18462/iir.cryo.2019.0034.
485	<b>Pyata E.E., Bragin A. V., Kholopov M.A., Luehning J., Pivovarov S.G., Schmitt L., Tikhonov Yu.A.</b> <b>Design of the Panda solenoid magnet</b> [Electronic resource] // 15th International Institute of Refrigeration Conference on Cryogenics, CRYOGENICS 2019, Prague, Czech Republic, 8-11 April 2019. - 2019. - Art.nr 0023. - DOI 10.18462/iir.cryo.2019.0023.
486	<b>Vasilyev A.A., Arakcheev A.S., Burdakov A.V., Bataev I.A., Kandaurov I.V., Kasatov A.A., Kurkuchekov V.V., Popov V.A., Shoshin A.A., Trunev Yu.A., Vyacheslavov L.N.</b> <b>Continuous laser illumination for in situ investigation of tungsten erosion under transient thermal loads</b> // Fusion Engineering and Design. - 2019. - Vol. 146: SI:SOFT-30 : [30th Symposium on fusion technology, Giardini Naxos, Sicily - Italy, September 16-21, 2018], Pt. B. - P. 2366-2370. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1016/j.fusengdes.2019.03.192.
487	<b>Toporkov D.K., Zevakov S.A., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Shestakov Yu.V., Yurchenko A.V.</b> <b>An Experimental Setup for Production of Polarized H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> Molecules</b> // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - Vol. 62, Is. 1. - P. 56-61. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S0020441219010184.
488	<b>Konstantinov, S. G.</b> <b>A Compact Proton Injector Based on the Electron Cyclotron Resonance</b> // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - Vol. 62, Is. 1. - P. 1-4. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1134/S0020441218060209.
489	<b>Bogomyagkov A.V., Glukhov S.A., Kariukina K.Yu., Kozlov O.S., Kostromin S.A., Levichev E.B., Carmignani N., Liuzzo S.M.</b> <b>Dynamic Aperture of the NICA Collider Optimized with a Genetic Algorithm</b> // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2019. - Vol. 16, Is. 1. - P. 21-29. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1134/S1547477119010060.
490	<b>Shagniev O.B., Modestov V.S., Listopad A.A., Loginov I.N., Kirienko I.D., Filimokhina A.I., Fedorenko R.V., Burdakov S.F., Ivantsivsky M.V., Lobachev A.M., Buslavkov I.V.</b> <b>Modelling of the stress-strain state of ITER upper ports 02 and 08 constructions' components under thermal, electromagnetic and seismic loads</b> // Fusion Engineering and Design. - 2019. - Vol. 146: SI:SOFT-30 : [30th Symposium on fusion technology, Giardini Naxos, Sicily - Italy, September 16-21, 2018], Pt. B. - P. 2421-2425. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1016/j.fusengdes.2019.04.008.
491	<b>Tolmachev T.P., Pilyugin V.P., Antonova O.V., Ancharov A.I., Patselov A.M., Chernyshev E.G., Yaroslavtsev A.A.</b> <b>Structural Features of Cu-Ag Alloys Obtained via Mechanical Alloying with the Use of Cold and Cryogenic Severe Plastic Deformation</b> // Inorganic Materials: Applied Research. - 2019. - Vol. 10, Is. 1. - P. 214-219. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S2075113319010337.
492	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Polarization and entanglement in baryon-antibaryon pair production in electron-positron annihilation</b> // Nature Physics. - 2019. - Vol. 15. - P. 631-634. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1038/s41567-019-0494-8.
493	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Search for invisible Higgs boson decays in vector boson fusion at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV with the ATLAS detector</b> // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 793. - P. 499-519. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.04.024.
494	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for a W' boson decaying to a <math>\tau</math> lepton and a neutrino in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 792. - P. 107-131. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.01.069.
495	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for an <math>L\mu - L\tau</math> gauge boson using <math>Z \rightarrow 4\mu</math> events in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 792. - P. 345-368. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.01.072.
496	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Measurement and interpretation of differential cross sections for Higgsboson production at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 792. - P. 369-396. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.03.059.
497	<b>Annenkov V.V., Berendeev E.A., Volchok E.P., Timofeev I.V.</b> <b>Second harmonic electromagnetic emission in a beam-driven plasma antenna</b> // Plasma Physics and Controlled Fusion. - 2019. - Vol. 61, Is. 5. - Art.nr 055005. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1088/1361-6587/ab0789.
498	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for vector-like quarks in events with two oppositely charged leptons and jets in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 4. - Art.nr 364. - Bibliogr.: 75 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6855-8.
499	<b>Postupaev, V. V.</b>

	High dynamic range measurement of CdWO <sub>4</sub> afterglow // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 923. - P. 147-156. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.01.090.
500	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Cross-section measurements of the Higgs boson decaying into a pair of $\tau$ -leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 7. - Art.nr 072001. - Bibliogr.: 120 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.072001.
501	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Measurements of properties of the Higgs boson decaying to a W boson pair in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 791. - P. 96-129. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2018.12.073.
502	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Observation of prompt $J/\psi$ meson elliptic flow in high-multiplicity pPb collisions at $\sqrt{s(NN)}=8.16$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 791. - P. 172-194. - Bibliogr.: 66 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.02.018.
503	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of the top quark mass in the all-jets final state at $\sqrt{s}=13$ TeV and combination with the lepton plus jets channel // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 4. - Art.nr 313. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6788-2.
504	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for resonant production of second-generation sleptons with same-sign dimuon events in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 4. - Art.nr 305. - Bibliogr.: 81 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6800-x.
505	<b>Singh B., Collab. PANDA, Antokhin E., Barnyakov A.Yu., Barnyakov M., Beloborodov K., Blinov V.E., Bobrovnikov V.S., Kuyanov I.A., Martin K., Onuchin A.P., Pivovarov S., Pyata E., Serednyakov S., Sokolov A., Tikhonov Y., Blinov A.E., Kononov S., Kravchenko E.A.</b> Technical design report for the (P)over-barANDA Barrel DIRC detector // Journal of Physics G - Nuclear and Particle Physics. - 2019. - Vol. 46, Is. 4. - Art.nr 045001. - Bibliogr.: 94 ref. - DOI 10.1088/1361-6471/aad3d.
506	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for dark matter produced in association with a Higgs boson decaying to a pair of bottom quarks in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 3. - Art.nr 280. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6730-7.
507	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> Measurement of exclusive $\Upsilon$ photoproduction from protons in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 3. - Art.nr 277. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6774-8.
508	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> Erratum to: Search for a new scalar resonance decaying to a pair of Z bosons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 3. - Art.nr 128. - Bibliogr.: 75 ref. - DOI 10.1007/JHEP03(2019)128.
509	<b>Grozin, A.</b> Addendum to: Four-loop cusp anomalous dimension in QED // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 1. - Art.nr 134. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1007/JHEP01(2019)134.
510	<b>Бару, С. Е. Леонов В.В., Поросев В.В.</b> Эффективный способ снижения уровня террористической опасности // Вопросы оборонной техники. Сер. 16 : Технические средства противодействия терроризму. - 2019. - № 3-4 (129-130). - С. 66-71. - Библиогр.: 7 назв.
511	<b>Федоров В.А., Васильев А.Б., Назьмов В.П., Гольденберг Б.Г., Бедин С.А., Березкин В.В.</b> Оптические свойства регулярных трековых мембран на основе полиэтилентерефталата // Мембраны и мембранные технологии. - 2019. - Т. 9, № 1. - С. 33-37. - Библиогр.: 19 назв. - DOI 10.1134/S2218117219010036.
512	<b>Шёлковский Д.В., Григорьев Д.Н., Эпштейн Л.Б., Юдин Ю.В.</b> Система предварительного отбора событий электромагнитного калориметра эксперимента СОМЕТ // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук. - 2019. - Т. 55, № 1. - С. 97-109. - Библиогр.: 12 назв. - DOI 10.29235/1561-2430-2019-55-1-97-109.
513	<b>Sadykov V.A., Mezentseva N.V., Bobrova L.N., Smorygo O.L., Ereemeev N.F., Fedorova Yu.E., Bepalko Yu.N., Skriabin P.I., Krasnov A.V., Lukasevich A.I., Krieger T.A., Sadovskaya E.M., Belyaev V.D., Shmakov A.N., Vinokurov Z.S., Bolotov V.A., Tanashev Yu. Yu., Korobeynikov M.V., Mikhailenko M.A.</b> Advanced Materials for Solid Oxide Fuel Cells and Membrane Catalytic Reactors // Advanced Nanomaterials for Catalysis and Energy : Synthesis, Characterization and Applications. - Amsterdam : Elsevier, 2019. - Chap. 12. - P. 435-514. - Bibliogr.: 247 ref. - DOI 10.1016/B978-0-12-814807-5.00012-7.
514	<b>Дудников, В. Г.</b> Перезарядная инжекция в ускорителе и накопителе // Успехи физических наук. - 2019. - Т. 189, № 4. - С. 433-440. - Библиогр.: 51 назв. - DOI 10.3367/UFNr.2019.02.038528.
515	<b>Крачков, П. А. Мильштейн А.И.</b> Электророжение в атомном поле при высоких энергиях // Успехи физических наук. - 2019. - Т. 189, № 4. - С. 359-373. - Библиогр.: 50 назв. - DOI 10.3367/UFNr.2018.03.038425.
516	<b>Винокуров Н.А., Деметьев Е.Н., Середняков С.С., Тарарышкин С.В., Шубин Е.И.</b> Система диагностики положения пучка в канале многооборотного микротрона новосибирского лазера на свободных электронах // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 3. - С. 83-88. - Библиогр.: 4 назв. - DOI 10.1134/S003281621903011X.
517	<b>Анашин В.В., Краснов А.А., Семенов А.М., Шарфеева С.Р.</b> Вакуумно-плотные соединения для получения сверхвысокого вакуума в вакуумных системах ускорителей с широкоапертурными камерами // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 3. - С. 134-138. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.1134/S0032816219030017.
518	<b>Анчугов, О. В. Шведов Д.А.</b> Применение четырехточечного метода для измерения однородности толщины внутреннего напыления керамических вакуумных камер импульсных магнитов комплекса синхротронного излучения MAX-IV // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 3. - С. 139-142. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.1134/S0032816219030029.
519	<b>Аржаников А.В., Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Калинин П.В., Песков Н.Ю., Сергеев А.С., Синицкий С.И.</b> Брэгговские дефлекторы волновых потоков для мощных релятивистских мазеров // Журнал технической физики. - 2019. - Т. 89, № 5. - С. 762-770. - Библиогр.: 19 назв. - DOI 10.21883/JTF.2019.05.47482.238-18.
520	<b>Bolsunovsky A., Demytyev D., Trofimova E., Iniatkina E., Kladko Yu., Petrichenkov M.</b> Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (Allium cepa) by gamma-radiation // Journal of Environmental Radioactivity. - 2019. - Vol. 207. - P. 1-6. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1016/j.jenvrad.2019.05.014.
521	<b>Nakazawa Y., Bae S., Choi H., Choi S., Iijima T., Inuma H., Kawamura N., Kitamura R., Kim B., Ko H.S., Kondo Y., Mibe T., Otani M., Razuvaev G.P., Saito N., Sue Y., Won E., Yamazaki T., Yasuda H.</b> Beam commissioning of muon beamline using negative hydrogen ions generated by ultraviolet light // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 937. - P. 164-167. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.05.043.

522	<b>Shwartz D., Koop I., Lyalin M., Perevedentsev E.</b> <b>Beam-based mapping of pulsed septum stray field at VEPP-2000 collider // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A.</b> - 2019. - <b>Vol. 935.</b> - P. 135-142. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.05.009.
523	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Search for low-mass resonances decaying into two jets and produced in association with a photon using pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B.</b> - 2019. - <b>Vol. 795.</b> - P. 56-75. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.03.067.
524	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> <b>Multiplicity dependence of (anti-)deuteron production in pp collisions at <math>\sqrt{s}=7</math>TeV // Physics Letters B.</b> - 2019. - <b>Vol. 794.</b> - P. 50-63. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.05.028.
525	<b>Vinokurov N.A., Dementiev E.N., Serednyakov S.S., Tararyshkin S.V., Shubin E.I.</b> <b>A System for Beam-Position Diagnostics in the Channel of the Multiturn Microtron-Recuperator at the Novosibirsk Free-Electron Laser // Instruments and Experimental Techniques.</b> - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 3.</b> - P. 380-385. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1134/S0020441219030114.
526	<b>Anchugov, O. V. Shvedov D.A.</b> <b>Use of the Four-Point Method for Measuring the Homogeneity of the Coating Deposited Inside Ceramic Vacuum Chambers of Pulsed Magnets for the MAX-IV Synchrotron Radiation Facility // Instruments and Experimental Techniques.</b> - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 3.</b> - P. 440-443. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1134/S0020441219030023.
527	<b>Anashin V.V., Krasnov A.A., Semenov A.M., Sharafeyeva S.R.</b> <b>Vacuum-Tight Connections for Obtaining Ultrahigh Vacuum in Vacuum Systems of Accelerators with Wide-Aperture Chambers // Instruments and Experimental Techniques.</b> - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 3.</b> - P. 436-439. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1134/S0020441219030011.
528	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> <b>Analysis of the apparent nuclear modification in peripheral Pb-Pb collisions at 5.02 TeV // Physics Letters B.</b> - 2019. - <b>Vol. 793.</b> - P. 420-432. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.04.047.
529	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Observation of electroweak <math>W \pm Z</math> boson pair production in association with two jets in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B.</b> - 2019. - <b>Vol. 793.</b> - P. 469-492. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.05.012.
530	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Observation of a Narrow Pentaquark State, <math>P_c(4312)^+</math>, and of the Two-Peak Structure of the <math>P_c(4450)^+</math> // Physical Review Letters.</b> - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 22.</b> - Art.nr 222001. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.222001.
531	<b>Annenkov, V. V. Timofeev I.V., Volchok E.P.</b> <b>Highly efficient electromagnetic emission during 100 keV electron beam relaxation in a thin magnetized plasma // Physics of Plasmas.</b> - 2019. - <b>Vol. 26, Is. 6.</b> - Art.nr 063104. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1063/1.5086237.
532	<b>Puryga E.A., Lizunov A.A., Ivanenko S.V., Khilchenko A.D., Kvashnin A.N., Zubarev P.V., Moiseev D.V.</b> <b>Data acquisition system for thomson scattering diagnostics on GDT // IEEE Transactions on Plasma Science.</b> - 2019. - <b>Vol. 47, Is. 6.</b> - P. 2883-2889. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1109/TPS.2019.2910795.
533	<b>Collab. FCC, Abada A., Bogomyagkov A., Glukhov S., Koop I., Krasnov A.A., Lee R., Levichev E., Morozov I., Muchnoi N., Nikitin S.A., Piminov P., Shatilov D., Shwartz D., Telnov V.I.</b> <b>FCC-ee: The Lepton Collider: Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 2 // European Physical Journal: Special Topics.</b> - 2019. - <b>Vol. 228, Is. 2.</b> - P. 261-623. - Bibliogr.: 606 ref. - DOI 10.1140/epjst/e2019-900045-4.
534	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bogdanchikov A.G., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Search for long-lived neutral particles in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math>TeV that decay into displaced hadronic jets in the ATLAS calorimeter // European Physical Journal C.</b> - 2019. - <b>Vol. 79, Is. 6.</b> - Art.nr 481. - Bibliogr.: 72 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6962-6.
535	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Observation of CP Violation in Charm Decays // Physical Review Letters.</b> - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 21.</b> - Art.nr 211803. - Bibliogr.: 69 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.211803.
536	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Observation of the Decay <math>X(3872) \rightarrow \pi^0 \chi_{c1}(1P)</math> // Physical Review Letters.</b> - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 20.</b> - Art.nr 202001. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.202001.
537	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Search for CP Violation in <math>D^+ s \rightarrow K^0 s \pi^+</math>, <math>D^+ \rightarrow K^0 s K^+</math>, and <math>D^+ \rightarrow \phi \pi^+</math> Decays // Physical Review Letters.</b> - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 19.</b> - Art.nr 191803. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.191803.
538	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Observation of <math>B^0 s \rightarrow J/\psi p \bar{p}</math> Decays and Precision Measurements of the <math>B^0 s</math> Masses // Physical Review Letters.</b> - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 19.</b> - Art.nr 191804. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.191804.
539	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Search for Lepton-Universality Violation in <math>B^+ \rightarrow K^+ \ell^+ \ell^-</math> Decays // Physical Review Letters.</b> - 2019. - <b>Vol. 122, Is. 19.</b> - Art.nr 191801. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.191801.
540	<b>Grozin, A. Henn J.M., Stahlhofen M.</b> <b>Matter dependence of the four-loop QCD cusp anomalous dimension: from small angles to all angles // Journal of High Energy Physics.</b> - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 5.</b> - Art.nr 186. - Bibliogr.: 76 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)186.
541	<b>Eselevich, D. A. Vinokurov Z.S., Konyukova A.V.</b> <b>Effect of Heating Rate of the Original ASD-4 Powder and the ASD-4 Powder Modified by the <math>V_2O_5</math> Oxide on the Phase Composition of Oxidation Products // Combustion, Explosion and Shock Waves.</b> - 2019. - <b>Vol. 55, Is. 3.</b> - P. 289-294. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1134/S0010508219030067.
542	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Amplitude analysis and branching fraction measurement of <math>D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0 \pi^0</math> // Physical Review D.</b> - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 9.</b> - Art.nr 092008. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.092008.
543	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Cross section measurements of <math>e^+ e^- \rightarrow \omega \gamma c^0</math> from <math>\sqrt{s}=4.178</math> to <math>4.278</math> GeV // Physical Review D.</b> - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 9.</b> - Art.nr 091103. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.091103.
544	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Study of the process <math>e^+ e^- \rightarrow p \bar{p}</math> via initial state radiation at BESIII // Physical Review D.</b> - 2019. - <b>Vol. 99, Is. 9.</b> - Art.nr 092002. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.092002.

545	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of the W -annihilation decay $D^+s \rightarrow \omega\pi^+$ and evidence for $D^+s \rightarrow \omega K^+$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 9. - Art.nr 091101. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.091101.
546	<b>Pal B., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Vinokurova A., Zhilich V.</b> Evidence for the decay $B^0 \rightarrow p\bar{p}\pi^0$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 9. - Art.nr 091104. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.091104.
547	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Erratum to: Measurement of $\gamma$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 76. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)076.
548	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Study of the $B^0 \rightarrow \rho(770)^0 K^*(892)^0$ decay with an amplitude analysis of $B^0 \rightarrow (\pi^+\pi^-)(K^+\pi^-)$ decays // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 26. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)026.
549	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the relative $B^- \rightarrow D^0/D^{*0}/D^{*0}\mu^-\nu\mu$ branching fractions using $B^-$ mesons from $\bar{B}^{*0}s_2$ decays // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 9. - Art.nr 092009. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.092009.
550	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Energy dependence of exclusive J / $\psi$ photoproduction off protons in ultra-peripheral p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 402. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6816-2.
551	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Measurement of inclusive very forward jet cross sections in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 43. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)043.
552	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Combinations of single-top-quark production cross-section measurements and $ F_{LV} V_{tb} $ determinations at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS experiments // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 88. - Bibliogr.: 129 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)088.
553	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for Higgs boson pair production in the WW(*)WW(*) decay channel using ATLAS data recorded at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 124. - Bibliogr.: 67 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)124.
554	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for single production of vector-like quarks decaying into Wb in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 164. - Bibliogr.: 106 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)164.
555	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for top-quark decays $t \rightarrow Hq$ with 36 fb <sup>-1</sup> of pp collision data at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 123. - Bibliogr.: 135 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)123.
556	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for large missing transverse momentum in association with one top-quark in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 41. - Bibliogr.: 133 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)041.
557	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of VH, $H \rightarrow b\bar{b}$ production as a function of the vector-boson transverse momentum in 13 TeV pp collisions with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 141. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)141.
558	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Electron and photon energy calibration with the ATLAS detector using 2015-2016 LHC proton-proton collision data // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14, Is. 3. - Art.nr P03017. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/03/P03017.
559	<b>Orlova N.A., Shelkovnikov V.V., Shundrina I.K., Goldenberg B.G., Korolkov V.P.</b> Fabrication of High-Aspect-Ratio Microstructures on Tetraacrylate/Acrylamide Monomers Using Synchrotron Radiation // High Energy Chemistry. - 2019. - Vol. 53, Is. 2. - P. 136-142. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S0018143919020048.
560	<b>Erenburg S.B., Trubina S.V., Zvereva V.A., Zinovyev V.A., Katsyuba A.V., Dvurechenskii A.V., Kvashnina K., Voelskow M.</b> XAFS Spectroscopy Study of Microstructure and Electronic Structure of Heterosystems Containing Si/GeMn Quantum Dots // Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 2019. - Vol. 128, Is. 2. - P. 303-311. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1134/S1063776119020067.
561	<b>Pelipasov O.L., Labusov V.A., Put'makov A.N., Chernov K.N., Borovikov V.M., Burumov I.D., Selyunin D.O., Garanin V.G., Zarubin I.A.</b> GRAND-MP - Microwave plasma-atomic emission spectrometer // Analitika i Kontrol. - 2019. - Vol. 23, Is. 1. - P. 24-34. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.15826/analitika.2019.23.1.004.
562	<b>Silagadze, Z. K.</b> The Basel Problem: A Physicist's Solution // Mathematical Intelligencer. - 2019. - Vol. 41, Is. 1. - P. 14-18. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1007/s00283-019-09902-x.
563	<b>Chesnokov E.N., Krasnoperov L.N., Kubarev V.V., Koshlyakov P.V.</b> Observation of Free Induction Decay Signals of OH Radicals Excited by Terahertz Free-Electron Laser Pulses // Combustion, Explosion and Shock Waves. - 2019. - Vol. 55, Is. 1. - P. 18-22. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1134/S0010508219010027.
564	<b>Akhsakhalyan A.A., Vainer Yu.A., Garakhin S.A., Elina K.A., Zavertkin P.S., Zuev S.Yu., Ivlyushkin D.V., Nechay A.N., Nikolenko A.D., Pariev D.E., Pleshkov R.S., Polkovnikov V.N., Salashchenko N.N., Svechnikov M.V., Chkhalo N.I.</b> Set of Multilayer X-Ray Mirrors for a Double-Mirror Monochromator Operating in the Wavelength Range of 0.41–15.5 nm // Journal of Surface Investigation. - 2019. - Vol. 13, Is. 1. - P. 1-7. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1134/S1027451019010026.

565	<b>Kudryavtsev, V. N. Maltsev T. V., Shekhtman L.I.</b> Spatial resolution of triple-GEM detectors // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 936: Frontier Detectors for Frontier Physics: 14th Pisa Meeting on Advanced Detectors :[PM2018, La Biodola - Isola d'Elba, Italy, 27 May - 2 June 2018]. - P. 482-484. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2018.10.140.
566	<b>Shekhtman L., Fedotov G., Kozyrev A., Kudryavtsev V., Maltsev T., Ruban A.</b> Development of $\mu$ -RWELL detectors for the upgrade of the tracking system of CMD-3 detector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 936: Frontier Detectors for Frontier Physics: 14th Pisa Meeting on Advanced Detectors :[PM2018, La Biodola - Isola d'Elba, Italy, 27 May - 2 June 2018]. - P. 401-404. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2018.11.033.
567	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Study of $e^+e^- \rightarrow \gamma\omega J/\psi$ and Observation of $X(3872) \rightarrow \omega J/\psi$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 23. - Art.nr 232002. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.232002.
568	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the Mass Difference between Neutral Charm-Meson Eigenstates // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 23. - Art.nr 231802. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.231802.
569	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Observation of an Excited $B^*c$ State // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 23. - Art.nr 232001. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.232001.
570	<b>Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Zaslavskii V.Yu., Kalinin P.V., Peskov N.Yu., Sergeev A.S., Sinitkii S.L.</b> Bragg Deflectors of Wave Fluxes for High-Power Relativistic Masers // Technical Physics. - 2019. - Vol. 64, Is. 5. - P. 711-719. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1134/S1063784219050037.
571	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for a low-mass $\tau^-\tau^+$ resonance in association with a bottom quark in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 210. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)210.
572	<b>Zavertkin P.S., Ivlyushkin D.V., Mashkovtsev M.R., Nikolenko A.D., Sutormina S.A., Chkhalo N.I.</b> Vacuum Ultraviolet and Soft X-ray Broadband Monochromator for a Synchrotron Radiation Metrological Station // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2019. - Vol. 55, Is. 2. - P. 107-114. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.3103/S8756699019020018.
573	<b>Kuts O.A., Starenchenko S.V., Solov'eva Yu.V., Starenchenko V.A., Pilyugin V.P., Ancharov A.I.</b> Structure of $Ni_3Al$ Single Crystal after Severe Plastic Deformation // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2019. - Vol. 55, Is. 2. - P. 133-137. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.3103/S8756699019020043.
574	<b>Agafonov A.N., Knyazev B.A., Pavel'ev V.S., Akhmetova E.I., Platonov V.I.</b> Elements of the Terahertz Power Reflective Optics with Free-Form Surfaces // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2019. - Vol. 55, Is. 2. - P. 148-153. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.3103/S8756699019020067.
575	<b>Gentsev A.N., Kuznetsov S.A., Dultsev F.N., Goldenberg B.G., Zelinsky A.G., Kondratyev V.I., Tanygina D.S.</b> Implementation of Terahertz High-Pass Filters Based on All-Metal Microstructures using Deep X-ray Lithography // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2019. - Vol. 55, Is. 2. - P. 115-125. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.3103/S875669901902002X.
576	<b>Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Грачев Г.Н., Смирнов А.Л.</b> О возможности получения изделий из расплавленного карбида гафния методом обработки механокомпозита гафний/углерод высокоинтенсивным потоком фотонов // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 6 : Материалы международного симпозиума "Упорядочение в минералах и сплавах" (ОМА-21) и Международного симпозиума "Порядок, беспорядок и свойства оксидов" (ODPO-21), Ростов-на-Дону, сентябрь 2018 г. - С. 730-733. - Библиогр.: 10 назв. - DOI 10.1134/S0367676519060048.
577	<b>Лихачева А.Ю., Горяйнов С.В., Ращенко С.В., Сафонов О.Г.</b> Особенности разложения серпентина в присутствии щелочных хлоридов: КР-исследование при высоком давлении и температуре // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 6 : Материалы международного симпозиума "Упорядочение в минералах и сплавах" (ОМА-21) и Международного симпозиума "Порядок, беспорядок и свойства оксидов" (ODPO-21), Ростов-на-Дону, сентябрь 2018 г. - С. 750-752. - Библиогр.: 12 назв. - DOI 10.1134/S0367676519060206.
578	<b>Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Грачев Г.Н., Косачев М.Ю.</b> Исследование механокомпозитов нитрида бора с вольфрамом и с молибденом в качестве материала в электронно-лучевых и лазерных аддитивных технологий // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 6 : Материалы международного симпозиума "Упорядочение в минералах и сплавах" (ОМА-21) и Международного симпозиума "Порядок, беспорядок и свойства оксидов" (ODPO-21), Ростов-на-Дону, сентябрь 2018 г. - С. 842-844. - Библиогр.: 4 назв. - DOI 10.1134/S036767651906005X.
579	<b>Borin V., Dorokhov V., Karpov G., Meshkov O., Shatilov D., Shwartz D., Timoshenko M.</b> The Study of Beam-Beam Effects on BINP Electron-Positron Colliders // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19-24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEPGW067. - P. 2629-2631. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-WEPGW067.
580	<b>Borin V., Dorokhov V., Getmanov Y., Matveev A., Mickailov A., Meshkov O., Shevchenko O., Vinokurov N.</b> Measurements of Beam Parameters at the Last Track of the ERL-Based Novosibirsk Free Electron Laser // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19-24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEPGW068. - P. 2632-2634. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-WEPGW068.
581	<b>Ogur S., Oide K., Papaphilippou Y., Rinolfi L., Zimmermann F., Barnyakov A., Levichev A., Martyshkin P., Nikiforov D., Ozcan E.V., Yaman F., Furukawa K., Iida N., Kamitani T., Miyahara F., Chaikovska I., Chehab R., Polozov S.M.</b> Linac and Damping Ring Designs for the FCC-ee // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19-24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr MOPMP002. - P. 420-423. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-MOPMP002.
582	<b>Sterbini, G. Collab. LHCb, Levichev A.</b> First Results of the Compensation of the Beam-Beam Effect with DC Wires in the LHC // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19-24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr WEYYPLM3. - P. 2262-2265. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-WEYYPLM3.
583	<b>Bogomyagkov A., Levichev E., Sinyatkin S., Glukhov S.</b> Dynamic Aperture Limitation in $e^+e^-$ Colliders due to Synchrotron Radiation in Quadrupoles // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19-24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr MOPGW059. - P. 221-224. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-MOPGW059.
584	<b>Kaabi W., Chaikovska I., Stocchi A., Vallerand C., Angal-Kalinin D., McKenzie J. W., Militsyn B. L., Williams P.H., Brning O.S., Calaga R., Dassa L., Gerigk F., Jensen E., Thonet P.A., Bogacz S.A., Hutton A., Marhauser F., Rimmer R.A., Tennant C., Bousson S., Longuevergne D., Olry G., Hounsell B., Klein M., Welsch C.P., Levichev E.B., Pupkov Yu.A.</b> PERLE: A High Power Energy Recovery Facility // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC,

	Australia, 19–24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr TUPGW008. - P. 1396-1399. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-TUPGW008.
585	<b>Chaikovska I., Chehab R., Faus-Golfe A., Han Y., Ogur S., Oide K., Papaphilippou Y., Rinolfi L., Sievers P., Zimmermann F., Enomoto Y., Furukawa K., Kamitani T., Miyahara F., Satoh M., Seimiya Y., Suwada T., Apyan A., Martyskhin P.</b> <b>Positron Source for FCC-ee // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19–24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr MOPMP003. - P. 424-427. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-MOPMP003.</b>
586	<b>Sharma S., Mezentsev N.A., Shaftan T., Smaluk V., Spataro C., Tanabe T., Wang G.</b> <b>High Gradient Quadrupoles for Low Emittance Synchrotrons // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19–24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr THPTS094. - P. 4332-4334. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-THPTS094.</b>
587	<b>Syresin E., Eliseev A., Smirnov A., Mityanina N., Petrov V., Rotov E., Tribendis A.</b> <b>Longitudinal Particle Dynamics in NICA Collider // IPAC 2019 : Proceedings of the 10th International Particle Accelerator Conference, Melbourne, VIC, Australia, 19–24 May 2019. - Geneva : JACoW, 2019. - Art.nr MOPMP015. - P. 455-457. - Bibliogr.: 2 ref. - DOI 10.18429/JACoW-IPAC2019-MOPMP015.</b>
588	<b>Рябченко, К. К. Рыбичкая Т.В., Старостенко А.А.</b> <b>Трехмерное моделирование двух-апертурного железного сверхпроводящего квадруполь для ст-фабрики в Новосибирске // Научные вести. - 2019. - № 5 (10). - С. 85-96. - Библиогр.: 2 назв.</b>
589	<b>Ромашенко А.В., Шарапова М.Б., Морозова К.Н., Киселева Е.В., Купер К.Э., Петровский Д.В.</b> <b>Роль ольфакторного транспорта в проникновении наночастиц оксида марганца из кровеносного русла в мозг // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2019. - Т. 23, № 4. - С. 482-488. - Библиогр.: 31 назв. - DOI 10.18699/VJ19.517.</b>
590	<b>Шевченко В.Г., Еселевич Д.А., Винокуров З.С., Конокова А.В.</b> <b>Влияние скорости нагрева исходного и модифицированного оксидом V2O5 порошков АСД-4 на фазовый состав продуктов окисления // Физика горения и взрыва. - 2019. - Т. 55, № 3. - С. 50-56. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.15372/FGV20190306.</b>
591	<b>Gota, H. TAE Team Ivanov A.A.</b> <b>Formation of hot, stable, long-lived field-reversed configuration plasmas on the C-2W device // Nuclear Fusion. - 2019. - Vol. 59, Is. 11. - Art.nr 112009. -16 p. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/ab0be9.</b>
592	<b>Wan B.N., EAST Team Davydenko V., Shikhovtsev I.</b> <b>Recent advances in EAST physics experiments in support of steady-state operation for ITER and CFETR // Nuclear Fusion. - 2019. - Vol. 59, Is. 11. - Art.nr 112003. -15 p. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/ab0396.</b>
593	<b>Litasov K.D., Teplyakova S.N., Shatskiy A., Kuper K.E.</b> <b>FE-NI-P-S melt pockets in elga iie iron meteorite: evidence for the origin at high pressures up to 20 gpa // Meteoritics and Planetary Science. - 2019. - Vol. 54: 82nd Annual Meeting of the Meteoritical-Society (MetSoc), Sapporo, Japan, 7-12 July 2019, Is. S2. - Art.nr 6053. - P. 252. - Bibliogr.: 6 ref.</b>
594	<b>Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G.V., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozlyev A.N., Kozlyev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Otboev A.V., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Senchenko A.I., Shatunov Y.M., Shatunov P.Y., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Talyshev A.A., Titov V.M., Tolmachev S.S., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Y.V.</b> <b>Observation of a fine structure in <math>e^+e^- \rightarrow</math> hadrons production at the nucleon-antinucleon threshold // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 794. - P. 64-68. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.05.032. - 5 p.</b>
595	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Observation of <math>\psi(3686) \rightarrow p\bar{p}\phi</math> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112010. -9 p. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112010.</b>
596	<b>Gschwendtner E., Collab. AWAKE, Gorn A.A., Lotov K.V., Minakov V. A., Petrenko A. V., Sosedkin A. P., Tuev P.V.</b> <b>Proton-driven plasma wakefield acceleration in AWAKE // Philosophical Transactions of the Royal Society A - Mathematical Physical. - 2019. - Vol. 377, Is. 2151. - Art.nr 20180418. -9 p. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1098/rsta.2018.0418.</b>
597	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Measurement of <math>W^{+/-} Z</math> production cross sections and gauge boson polarisation in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 6. - Art.nr 535. -34 p. - Bibliogr.: 105 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7027-6.</b>
598	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Amplitude analysis of <math>B^0_s \rightarrow K^0_s K \pi \pi</math> decays // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 6. - Art.nr 114. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2019)114.</b>
599	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for the associated production of the Higgs boson and a vectorboson in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV via Higgs boson decays to leptons // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 6. - Art.nr 093. -43 p. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2019)093.</b>
600	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Observation and study of the decay <math>J/\psi \rightarrow \phi \eta \eta'</math> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112008. -10 p. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112008.</b>
601	<b>Seidl R., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shebalin V., Shwartz B., Usov Y., Zhilich V.</b> <b>Transverse momentum dependent production cross sections of charged pions, kaons and protons produced in inclusive <math>e^+e^-</math> annihilation at <math>\sqrt{s}=10.58</math> GeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112006. -15 p. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112006.</b>
602	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Achasov M.N., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> <b>Combination of Searches for Invisible Higgs Boson Decays with the ATLAS Experiment // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 122, Is. 23. - Art.nr 231801. -20 p. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.122.231801.</b>
603	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Study of the decays <math>D^*_s \rightarrow K^0_s K^+ \pi^-</math> and <math>K^0_L K^+ \pi^-</math> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112005. -12 p. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112005.</b>
604	<b>Achasov M.N., Barnyakov A.Y., Beloborodov K.L., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kupich A.S., Litvinov R.A., Lysenko A.P., Martin K.A., Melnikova N.A., Muchnoy N.Y., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Perevedtsev E.A., Pugachev K.V., Serednyakov S.I., Shatunov P.Y., Shatunov Y.M., Shtol D.A., Silagadze Z.K., Skrinisky A.N., Surin I.K., Tikhonov Y.A.,</b>

	<b>Vasiljev A.V., Zemlyansky I.M.</b> Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$ cross section below $\sqrt{s}=2$ GeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112004. -9 p. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112004.
605	<b>Bhardwaj V., Collab. Belle, Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Search for X(3872) and X(3915) decay into $\chi c \pi^0$ in B decays at Belle // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 111101. -8 p. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.111101.
606	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurements of the Higgs boson width and anomalous HVV couplings from on-shell and off-shell production in the four-lepton final state // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112003. -33 p. - Bibliogr.: 95 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112003.
607	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for a standard model-like Higgs boson in the mass range between 70 and 110 GeV in the diphoton final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=8$ and 13 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 793. - P. 320-347. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.03.064.
608	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Search for invisible decays of a Higgs boson produced through vector boson fusion in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 793. - P. 520-551. - Bibliogr.: 83 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.04.025.
609	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Search for heavy Majorana neutrino in lepton number violating decays of $D \rightarrow K\pi^*e^+$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 11. - Art.nr 112002. -9 p. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.112002.
610	<b>Abada A., Collab. FCC, Bogomyagkov A., Glukhov S., Koop I., Krasnov A.A., Lee R., Levichev E., Morozov I., Muchnoi N., Nikitin S.A., Piminov P., Shatlov D., Shwartz D., Telnov V.I.</b> FCC Physics Opportunities (Future Circular Collider Conceptual DesignReport Volume 1) // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 6. - Art.nr 474. -161 p. - Bibliogr.: 454 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6904-3.
611	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Production of the $\rho(770)^0$ meson in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. 99, Is. 6. - Art.nr 064901. -20 p. - Bibliogr.: 98 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.99.064901.
612	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> An embedding technique to determine tau tau backgrounds in proton-proton collision data // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P06032. -56 p. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/06/P06032.
613	<b>Lukonin S.E., Gauzshtein V.V., Zevakov S.A., Karpenko E.S., Kuzin M.Y., Levchuk M.I., Loginov A.Y., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadykov R.S., Toporkov D.K., Fiks A.I., Shestakov Y.V.</b> Measurement of Tensor Analyzing Power Components of the $\gamma d - \rho\eta\pi^0$ Reaction // Russian Physics Journal. - 2019. - Vol. 62, Is. 2. - P. 252-257. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1007/s11182-019-01707-x.
614	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Modelling radiation damage to pixel sensors in the ATLAS detector // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P06012. -52 p. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/06/P06012.
615	<b>Porosev, V. V. Savinov G.A.</b> Evaluation of boron-enriched plastic scintillator for thermal neutron detection // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P06003. -11 p. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/06/P06003.
616	<b>Knyazev B.A., Gerasimov V.V., Nikitin A.K., Azarov I.A., Choporova Yu.Yu.</b> Propagation of terahertz surface plasmon polaritons around a convexmetal-dielectric interface // Journal of the Optical Society of America B: Optical Physics. - 2019. - Vol. 36, Is. 6. - P. 1684-1689. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1364/JOSAB.36.001684.
617	<b>Balakin A.V., Coutaz J.L., Makarov V.A., Kotelnikov I.A., Peng Y., Solyankin P.M., Zhu Y.M., Shkurinov A.P.</b> Terahertz wave generation from liquid nitrogen // Photonics Research. - 2019. - Vol. 7, Is. 6. - P. 678-686. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1364/PRJ.7.000678.
618	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for heavy charged long-lived particles in the ATLAS detector in 36.1 fb <sup>-1</sup> of proton-proton collision data at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 9. - Art.nr 092007. -34 p. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.092007.
619	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for supersymmetry in events with a photon, jets, b-jets, and missing transverse momentum in proton-proton collisions at 13TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 444. -26 p. - Bibliogr.: 71 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6926-x.
620	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Constraints on mediator-based dark matter and scalar dark energy models using $\sqrt{s}=13$ TeV pp collision data collected by the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 5. - Art.nr 142. - Bibliogr.: 233 ref. - DOI 10.1007/JHEP05(2019)142.
621	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for associated production of a Higgs boson and a single top quark in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 9. - Art.nr 092005. -29 p. - Bibliogr.: 69 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.092005.
622	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for heavy particles decaying into a top-quark pair in the fully hadronic final state in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 9. - Art.nr 092004. -38 p. - Bibliogr.: 89 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.092004.
623	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of the energy density as a function of pseudorapidity in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 391. -24 p. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6861-x.
624	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Calibration of the photon spectrometer PHOS of the ALICE experiment // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P05025. -30 p. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/05/P05025.
625	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of the $t\bar{t}Z$ and $t\bar{t}W$ cross sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 99, Is. 7. - Art.nr 072009. -38 p. - Bibliogr.: 89 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.99.072009.

626	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section, the top quark mass, and the strong coupling constant using dilepton events in pp collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 368. -36 p. - Bibliogr.: 86 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6863-8.
627	<b>Abramovic I., W7-X Team Ivanov A., Khilchenko A., Shikhovtsev I.V.</b> Forward modeling of collective Thomson scattering for Wendelstein 7-X plasmas: Electrostatic approximation // Review of Scientific Instruments. - 2019. - Vol. 90, Is. 2. - Art.nr 023501. -12 p. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1063/1.5048361.
628	<b>Krachkov, P. A. Milstein A.I.</b> High-energy electroproduction in an atomic field // Physics-Uspekhi. - 2019. - Vol. 62, Is. 4. - P. 340-353. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.3367/UFNe.2018.03.038425.
629	<b>Dudnikov, V. G.</b> Charge exchange injection into accelerators and storage rings // Physics-Uspekhi. - 2019. - Vol. 62, Is. 4. - P. 405-412. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.3367/UFNe.2019.02.038528.
630	<b>Beloborodov K.I., Achasov M.N., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.S., Barnyakov A.Y., Bashtovoy N.S., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Bondar A.E., Botov A.A., Bragin A.V., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotovich G.V., Gayazov S.E., Golubev V.B., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kardapoltsev L.V., Karlov V.F., Kharlamov A.G., Korneev L.A., Korobov A.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kupich A.S., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Litvinov R.A., Logashenko I.B., Lukin P.A., Martin K.A., Melnikova N.A., Mikhailov K.Y., Obrazovsky A.E., Okhapkin V.S., Pakhtusova E.V., Pestov Y.N., Popov A.S., Pugachev K.V., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Serednyakov S.I., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shtol D.A., Shwartz B.A., Sibidanov A.L., Silagadze Z.K., Solodov E.P., Surin I.K., Talyshv A.A., Titov V.M., Usov Y.V., Vasiljev A.V., Vorobiov A.I., Yudin Y.V., Zhabin V.N., Zhulanov V.V.</b> Study of $e^+e^-$ annihilation to hadrons at the VEPP-2000 collider // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 199: MESON 2018 – 15th International Workshop on Meson Physics, Krakow, Poland, 7-12 June 2018. - Art.nr 02026. -7 p. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201919902026.
631	<b>Eidelman, S. Collab. Belle</b> Hadronic transitions in bottomonia at Belle // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 199: MESON 2018 – 15th International Workshop on Meson Physics, Krakow, Poland, 7-12 June 2018. - Art.nr 01001. -6 p. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201919901001.
632	<b>Fedotovich G.V., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Banzarov V.S., Bashtovoy N.S., Berkaev D.E., Bondar A.E., Bragin A.V., Eidelman S.I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Gayazov S.E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V.L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kirpofin A.N., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P.A., Mikhailov K.Y., Okhapkin V.S., Otboev A.V., Pestov Y.N., Popov A.S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N.M., Ryzhenkov A.E., Senchenko A.I., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D.B., Sibidanov A.L., Shatunov P.Y., Shatunov Y.M., Solodov E.P., Talyshv A.A., Titov V.M., Tolmachev S.S., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Y.V.</b> Recent results of the hadronic cross section measurements with the CMD-3 detector at $e^+e^-$ collider VEPP-2000 // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 199: MESON 2018 – 15th International Workshop on Meson Physics, Krakow, Poland, 7-12 June 2018. - Art.nr 02027. -6 p. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201919902027.
633	<b>Брызгин А.А., Коробейников М.В., Кондратьев С.А., Ростовцев В.И.</b> Эффекты дальнего действия при взаимодействии электронного пучка с кристаллическими веществами // Труды XXIX Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", Севастополь, 8-13 июля 2019 г. - Москва : ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2019. - С. 55-64. - Библиогр.: 25 назв.
634	<b>Брызгин А.А., Коробейников М.В., Кондратьев С.А., Михайленко М.А., Ростовцев В.И.</b> Радиационно-термические процессы при обработке пирита и железосодержащих руд // Труды XXIX Международной конференции "Радиационная физика твердого тела", Севастополь, 8-13 июля 2019 г. - Москва : ФГБНУ "НИИ ПМТ", 2019. - С. 387-395. - Библиогр.: 13 назв.
635	<b>Брызгин, А. А. Коробейников М.В., Михайленко М.А.</b> Модификация веществ и материалов интенсивным пучком релятивистских электронов // II Международный научный форум "Ядерная наука и технологии" (12-я Международная конференция "Ядерная и радиационная физика", 1-я Международная конференция "Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве", 10-й Семинар по развитию азиатских баз данных по ядерным реакциям), Алматы, Республика Казахстан, 24-27 июня 2019 г. : тезисы. - Алматы : РГП ИЯФ, 2019. - С. 112-113.
636	<b>Брызгин, А. А. Коробейников М.В., Михайленко М.А.</b> Пределы радиационной стойкости композитных материалов и отверженных компаундов // II Международный научный форум "Ядерная наука и технологии" (12-я Международная конференция "Ядерная и радиационная физика", 1-я Международная конференция "Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве", 10-й Семинар по развитию азиатских баз данных по ядерным реакциям), Алматы, Республика Казахстан, 24-27 июня 2019 г. : тезисы. - Алматы : РГП ИЯФ, 2019. - С. 117.
637	<b>Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Штарклев Е.А.</b> Мощные ускорители электронов серии ИЛУ и их применение в промышленности // II Международный научный форум "Ядерная наука и технологии" (12-я Международная конференция "Ядерная и радиационная физика", 1-я Международная конференция "Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве", 10-й Семинар по развитию азиатских баз данных по ядерным реакциям), Алматы, Республика Казахстан, 24-27 июня 2019 г. : тезисы. - Алматы : РГП ИЯФ, 2019. - С. 243.
638	<b>Брызгин А.А., Безуглов В.В., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Максимов С.А., Нехаев В.Е., Радченко В.М., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Штарклев Е.А.</b> Промышленные ускорители типа ИЛУ // II Международный научный форум "Ядерная наука и технологии" (12-я Международная конференция "Ядерная и радиационная физика", 1-я Международная конференция "Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве", 10-й Семинар по развитию азиатских баз данных по ядерным реакциям), Алматы, Республика Казахстан, 24-27 июня 2019 г. : тезисы. - Алматы : РГП ИЯФ, 2019. - С. 251.
639	<b>Fadin, V. S. Gerasimov R. E.</b> On the cancellation of radiative corrections to the cross section of electron-proton scattering // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 795. - P. 172-176. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.06.034.
640	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Near-threshold $D^*D$ spectroscopy and observation of a new charmonium state // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 7. - Art.nr 35. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2019)035.

641	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Amplitude analysis of the $B^0(s) \rightarrow K^{*0} \bar{K}^{*0}$ decays and measurement of the branching fraction of the $B^0 \rightarrow K^{*0} \bar{K}^{*0}$ decay // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 7. - Art.nr 32. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2019)032.
642	<b>Abada A., Collab. FCC, Bogomyagkov A., Glukhov S., Koop I., Krasnov A.A., Lee R., Levichev E., Morozov I., Muchnoi N., Nikitin S.A., Piminov P., Shatlov D., Shwartz D., Telnov V.I.</b> FCC-hh: The Hadron Collider: Future Circular Collider (Conceptual Design Report Volume 3) // European Physical Journal: Special Topics. - 2019. - Vol. 228, Is. 4. - P. 755-1107. - Bibliogr.: 486 ref. - DOI 10.1140/epjst/e2019-900087-0.
643	<b>Kostunin D., Collab. TAIGA, Kravchenko E., Sokolov A.</b> Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma Astronomy // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1263: ISAPP-Baikal Summer School 2018: Exploring the Universe through multiple messengers, 12–21 July 2018, Bol'shie Koty, Russian Federation, Is. 1. - Art.nr 012006. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1263/1/012006.
644	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the branching fraction and CP asymmetry in $B^+ \rightarrow J/\psi \rho^+$ decays // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 6. - Art.nr 537. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6698-3.
645	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for supersymmetry in final states with photons and missing transverse momentum in proton-proton collisions at 13 TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 6. - Art.nr 143. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2019)143.
646	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Searches for third-generation scalar leptoquarks in $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collisions with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 6. - Art.nr 144. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1007/JHEP06(2019)144.
647	<b>Abe M., Collab. KEK, Shatunov Y., Shwartz B.</b> A new approach for measuring the muon anomalous magnetic moment and electric dipole moment // Progress of Theoretical and Experimental Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 5. - Art.nr 053C02. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1093/ptep/ptz030.
648	<b>Peskov N.Yu., Kalinin P.V., Sinitsky S.L., Arzhannikov A.V., Sandalov E.S., Stepanov V.D., Ginzburg N.S., Sergeev A.S., Zaslavsky V.Yu.</b> Powerful W-band Surface-Wave Oscillator based on High-Current Relativistic Sheet Electron Beam: Design and Simulations // International Vacuum Electronics Conference, IVEC 2019, Busan, South Korea, 28 April - 1 May 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8744871. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1109/IVEC.2019.8744871.
649	<b>Sen, A. Silagadze Z.K.</b> Two-photon decay of P-wave positronium: A tutorial // Canadian Journal of Physics. - 2019. - Vol. 97, Is. 7. - P. 693-700. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1139/cjp-2018-0500.
650	<b>Molodin V.I., Nenakhov D.A., Mylnikova L.N., Reinhold S., Parkhomchuk E.V., Kalinkin P.N., Parkhomchuk V.V., Rastigeev S.A.</b> The early Neolithic complex on the TARTAS-1 site: Results of the AMS radiocarbon dating // Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia. - 2019. - Vol. 47, Is. 1. - P. 15-22. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.17746/1563-0110.2019.47.1.015-022.
651	<b>Yan J., Mueller J.M., Ahmed M.W., Hao H., Huang S., Li J., Litvinenko V.N., Liu P., Mikhailov S.F., Popov V.G., Sikora M.H., Vinokurov N.A., Wu Y.K.</b> Precision control of gamma-ray polarization using a crossed helical undulator free-electron laser // Nature Photonics. - 2019. - Vol. 13. - P. 629-635. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1038/s41566-019-0467-6.
652	<b>Arzhannikov A.V., Makarov M.A., Samtsov D.A., Sinitsky S.L., Stepanov V.D.</b> New detector and data processing procedure to measure velocity angular distribution function of magnetized relativistic electrons // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 942. - Art.nr 162349. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.162349.
653	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the CP-violating phase $\Phi_s$ from $B^0_s \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ decays in 13 TeV pp collisions // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134789. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.07.036.
654	<b>Acharya S., Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurement of jet radial profiles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 796. - P. 204-219. - Bibliogr.: 71 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.07.020.
655	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of prompt photon production in $\sqrt{s_{NN}}=8.16$ TeV p + Pb collisions with ATLAS // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 796. - P. 230-252. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.07.031.
656	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for high-mass dilepton resonances using 139 fb <sup>-1</sup> of pp collision data collected at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 796. - P. 68-87. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.07.016.
657	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> First Observation of the Radiative Decay $\Lambda^0_b \rightarrow \Lambda \gamma$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 3. - Art.nr 031801. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.031801.
658	<b>Zhirov, O. V. Lages J., Shepelyansky D.L.</b> Thermoelectricity of cold ions in optical lattices // European Physical Journal D. - 2019. - Vol. 73, Is. 7. - Art.nr 149. - Bibliogr.: 50 ref. - DOI 10.1140/epjd/e2019-100048-1.
659	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for charged Higgs bosons in the $H \pm \rightarrow \tau \pm \nu \tau$ decay channel in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 7. - Art.nr 142. - Bibliogr.: 97 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2019)142.
660	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for scalar resonances decaying into $\mu^+ \mu^-$ in events with and without b-tagged jets produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 7. - Art.nr 117. - Bibliogr.: 90 ref. - DOI 10.1007/JHEP07(2019)117.
661	<b>Ancharov A.I., Grigoreva T.F., Grachev G.N., Smirnov A.L.</b> The Possibility of Obtaining Products from Melted Hafnium Carbide by Treating a Hafnium/Carbon Mechanical Composite with a High-Intensity Photon Flux // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 6. - P. 661-664. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.3103/S1062873819060042.
662	<b>Ancharov A.I., Grigoreva T.F., Grachev G.N., Kosachev M.Yu.</b> Studying Mechanocomposites of Boron Nitride with Tungsten and Molybdenum as Materials for Electron-Beam and Laser Additive Technologies // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 6. - P. 768-770. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.3103/S1062873819060054.

663	<b>Likhacheva A.Yu., Goryainov S. V., Rashchenko S. V., Safonov O.G.</b> Peculiarities of Serpentine Decomposition in the Presence of Alkaline Chloride: Raman Study at High Pressure and Temperature // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 6. - P. 680-682. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.3103/S1062873819060200.
664	<b>Romashchenko A.V., Sharapova M.B., Morozova K.N., Kiseleva E.V., Kuper K.E., Petrovskii D.V.</b> The role of olfactory transport in the penetration of manganese oxide nanoparticles from blood into the brain // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii. - 2019. - Vol. 23, Is. 4. - P.482-488. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.18699/VJ19.517.
665	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Real-time data processing in the ALICE High Level Trigger at the LHC // Computer Physics Communications. - 2019. - Vol. 242. - P. 25-48. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1016/j.cpc.2019.04.011.
666	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for dark matter in events with a leptoquark and missing transverse momentum in proton-proton collisions at 13 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 795. - P. 76-99. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.05.046.
667	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of electroweak WZ boson production and search for new physics in WZ + two jets events in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 795. - P. 281-307. - Bibliogr.: 80 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.05.042.
668	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for an exotic decay of the Higgs boson to a pair of light pseudoscalars in the final state with two muons and two b quarks in pp collisions at 13 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 795. - P. 398-423. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.06.021.
669	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Centrality and pseudorapidity dependence of the transverse energy density in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. 100, Is. 2. - Art.nr 024902. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.024902.
670	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Evidence for the decays of $\Lambda^+ c \rightarrow \Sigma^+ \eta$ and $\Sigma^+ \eta^*$ // Chinese Physics C. - 2019. - Vol. 43, Is. 8. - Art.nr 083002. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1088/1674-1137/43/8/083002.
671	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for chargino and neutralino production in final states with aHiggs boson and missing transverse momentum at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 1. - Art.nr 012006. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.012006.
672	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for the production of $W_{\pm}W_{\mp}$ events at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 1. - Art.nr 012004. - Bibliogr.: 83 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.012004.
673	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Comparison of Fragmentation Functions for Jets Dominated by Light Quarks and Gluons from pp and Pb plus Pb Collisions in ATLAS // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 4. - Art.nr 042001. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.042001.
674	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurements of the branching fractions of $\eta c \rightarrow K^+ K^- \pi^0$ , $K^0_s K^{\pm} \pi^{\mp}$ , $2(\pi^+ \pi^- \pi^0)$ , and $p\bar{p}$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 1. - Art.nr 012003. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.012003.
675	<b>Chou P.C., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Shwartz B., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Search for $B^0 \rightarrow X(3872)\gamma$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 1. - Art.nr 012002. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.012002.
676	<b>Chilikin K., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V.</b> Evidence for $B^+ \rightarrow h c K^+$ and observation of $\eta c(2S) \rightarrow p\bar{p}\pi^+\pi^-$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 1. - Art.nr 012001. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.012001.
677	<b>Lai Y.-T., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Bondar A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Usov Y., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Measurement of branching fraction and final-state asymmetry for the $B^0 \rightarrow K^0_s K^{\mp} K^{\pm} \pi^{\pm}$ decay // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 1. - Art.nr 011101. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.011101.
678	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Studies of Beauty Suppression via Nonprompt $D^0$ Mesons in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 2. - Art.nr 022001. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.022001.
679	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for a heavy pseudoscalar boson decaying to a Z and a Higgs boson at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 7. - Art.nr 564. - P. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7058-z.
680	<b>Lizunov A., Berbassova T., Khilchenko A., Maximov V., Puryga E., Zubarev P.</b> Integrated polychromator and data acquisition system for the Thomson scattering diagnostic // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14: 3rd European Conference on Plasma Diagnostics (ECPD 2019), Lisbon, Portugal, 6 - 10 May 2019. - Art.nr C07010. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/07/C07010.
681	<b>Abada A., Collab. FCC, Bogomyagkov A., Glukhov S., Koop I., Krasnov A.A., Lee R., Levichev E., Morozov I., Muchnoi N., Nikitin S.A., Piminov P., Shatilov D., Shwartz D., Telnov V.I.</b> HE-LHC: The High-Energy Large Hadron Collider (Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 4) // European Physical Journal: Special Topics. - 2019. - Vol. 228, Is. 5. - P. 1109-1382. - Bibliogr.: 299 ref. - DOI 10.1140/epjst/e2019-900088-6.
682	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Performance of missing transverse momentum reconstruction in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV using the CMS detector // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P07004. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/07/P07004.
683	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Combined measurements of Higgs boson couplings in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 5. - Art.nr 421. - Bibliogr.: 129 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-6909-y.
684	<b>Грозин, А. Г.</b> Специальная теория относительности. - М. : ЛЕАНД, 2019. - 168 с. : цв. ил., вкл. л.
685	<b>Lukonin S.E., Gauzshtein V.V., Karpenko E.S., Kuzin M.Ya., Loginov A.Yu., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Sadikov R.Sh., Toporkov D.K., Shestakov Yu.V., Zevakov S.A.</b> Measurement of tensor analyzing powers in incoherent $\pi^0$ -meson photoproduction on the deuteron // LXIX International Conference "Nucleus-2019" on Nuclear Spectroscopy and Nuclear Structure "Fundamental Problems

	of Nuclear Physics, Nuclei at Borders of Nucleon Stability, High Technologies" Dedicated to the International Year of the Periodic Table of Chemical Elements, Dubna, Russia, 1–5 July 2019 : book of abstracts. - Dubna : JINR, 2019. - P. 76. - Bibliogr.: 3 ref.
686	<b>Бибердорф Э.А., Блохин А.М., Косачев А.А., Попова Н.И.</b> Методы вычисления спектра дифференциальных операторов // Марчуковские научные чтения - 2019 : Тезисы Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1-5 июля 2019 г. - Новосибирск : ИВМиМГ СО РАН, 2019. - С. 25. - Библиогр.: 2 назв.
687	<b>Астрелин В.Т., Воробьев М.С., Козырев А.Н., Свешников В.М.</b> Численное моделирование широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера // Марчуковские научные чтения - 2019 : Тезисы Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1-5 июля 2019 г. - Новосибирск : ИВМиМГ СО РАН, 2019. - С. 107.
688	<b>Медведев, А. Э. Пинаев П.А., Барняков А.М.</b> Установка по комбинированному лазерно-плазменному синтезу + СВЧ // Третья российская конференция "Графен: молекула и 2d-кристалл", Новосибирск, 5-9 августа 2019 г. : программа и сборник тезисов докладов. - Новосибирск : ИНХ им. А.В. Николаева СО РАН, 2019. - С. 42-43. - Библиогр.: 2 назв.
689	<b>Конов V.I., Kononenko T.V., Sovyk D.N., Pavelev V.S., Knyazev B.A., Kulipanov G.N.</b> Novel method for precise and productive CVD diamond surface microstructuring based on ultra-short pulsed laser processing // International symposium fundamentals of laser assisted micro- and nanotechnologies (FLAMN-19), dedicated to the 50th anniversary of the first conference "Non-resonant laser-matter interaction", Saint-Petersburg, 30 June – 4 July 2019 : abstracts. - Saint-Petersburg : ITMO, 2019. - P. 25.
690	<b>Lee, R. N. Pomeransky A.A.</b> Differential equations, recurrence relations, and quadratic constraints for L-loop two-point massive tadpoles and propagators. // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 8. - Art.nr 27. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2019)027.
691	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Search for the rare decay $B^+ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \nu_\mu$ // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 8. - Art.nr 675. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7112-x.
692	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of CP observables in the process $B^0 \rightarrow DK^{*0}$ with two- and four-body D decays // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 8. - Art.nr 41. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2019)041.
693	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulano V.</b> Measurement of distributions sensitive to the underlying event in inclusive Z boson production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 8. - Art.nr 666. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7162-0.
694	<b>Mussakhanov D.A., Tulegenova A.T., Lisitsyn V.M., Golkovsky M.G., Lisitsyna L.A., Abdullin Kh.A., Aitzhanov M.B., Karipbayev Zh., Kozlovsky A., Michailov Yu.I.</b> Structural and luminescent characteristics of YAG phosphors synthesized in the radiation field // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 510: The VII International Conference for young scientists "High Technology: Research and Applications 2018" (HTRA-2018), Tomsk, Russia, 26-30 November 2018, Is. 1. - Art.nr 012031. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1757-899X/510/1/012031.
695	<b>Bataev I.A., Lazurenko D.V., Golkovskii M.G., Bataev A.A., Matts O.E.</b> Surface Hardening of Titanium Under Non-Vacuum Electron-Beam Cladding of an Aluminum-Containing Powder Mixture // Metal Science and Heat Treatment. - 2019. - Vol. 60, Is. 9-10. - P. 619-624. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1007/s11041-019-00328-y.
696	<b>Samokhin A.G., Tkachenko V.O., Kuznetsov V.A., Zemlyakova E.O., Nesterov D.V., Larionov P.M., Pestov A.V.</b> Selection of an optimal method for sterilization of the medical grade biodegradable polymers // AIP Conference Proceedings. - 2019. - Vol. 2063: 2nd International Conference on Modern Synthetic Methodologies for Creating Drugs and Functional Materials (MOSM 2018), Yekaterinburg, Russia, 15-17 November 2018. - Art.nr 030017. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1063/1.5087325.
697	<b>Silagadze, Z. K.</b> Deconvolution of 3-D Gaussian kernels // Physics Letters A. - 2019. - Vol. 383, Is. 30. - Art.nr 125874. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1016/j.physleta.2019.125874.
698	<b>Arzhannikov A.V., Bedenko S.V., Ivanov A.A., Modestov D.G., Prikhodko V.V., Sinitzky S.L., Shamanin I.V., Shmakov V.M.</b> Fuel evolution in hybrid reactor based on thorium subcritical assembly with open trap as fusion neutron source (computer simulations) [Electronic resource] // Plasma and Fusion Research. - 2019. - Vol. 14, Spec. Iss. 1 : Papers from the 12th International Conference on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2018), [Tsukuba, Japan, 27 - 31 August 2018]. - Art.nr 2402101. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1585/PFR.14.2402101.
699	<b>Krachkov, P. A. Piazza A.Di, Milstein A.I.</b> High-energy bremsstrahlung on atoms in a laser field // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134814. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134814.
700	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Study of the $\Lambda$ - $\Lambda$ interaction with femtoscopy correlations in pp and p-Pb collisions at the LHC // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134822. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134822.
701	<b>Malikov A., Orishich A., Bulina N., Karpov E., Sharafutdinov M.</b> Effect of post heat treatment on the phase composition and strength of laser welded joints of an Al-Mg-Li alloy // Materials Science and Engineering: A. - 2019. - Vol. 765. - Art.nr 138302. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1016/j.msea.2019.138302.
702	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Updated measurement of time-dependent CP -violating observables in $B^0_s \rightarrow J/\psi K^+ K^-$ decays // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 8. - Art.nr 706. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7159-8.
703	<b>Malikov A., Bulina N., Sharafutdinov M., Orishich A.</b> Study of the structure and phase composition of laser welded joints of Al-Cu-Li alloy under different heat treatment conditions // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2019. - Vol. 104, Is. 9-12. - P. 4313-4324. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1007/s00170-019-04286-w.
704	<b>Parkhomchuk E.V., Prokopyeva E.A., Gulevich D.G., Taratayko A.I., Baklanov A.M., Kalinkin P.N., Rastigeev S.A., Kuleshov D.V., Sashkina K.A., Parkhomchuk V.V.</b> Ultrafine organic aerosol particles inhaled by mice at low doses remain in lungs more than half a year // Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals. - 2019. - Vol. 62, Is. 11 SI : 13th International Symposium on the Synthesis and Applications of Isotopically Labelled Compounds, Prague, Czech Republic, 4-7 June 2018. - P. 785-793. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1002/jlcr.378810.1002/jlcr.3788.
705	<b>Arzhannikov A.V., Shamanin I.V., Bedenko S.V., Prikhodko V.V., Sinitzky S.L., Shmakov V.M., Knyshev V.V., Lutsik I.O.</b> Hybrid thorium energy producing subcritical stand with a fusion neutron source based on a magnetic trap // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika. - 2019. - Vol. 2019, Is. 2. - P. 43-54. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.26583/npe.2019.2.04.

706	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of CP-Violating and Mixing-Induced Observables in $B^0_s \rightarrow \phi\gamma$ Decays // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 8. - Art.nr 081802. -10 p. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.081802.
707	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for electroweak diboson production in association with ahigh-mass dijet system in semileptonic final states in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 032007. -36 p. - Bibliogr.: 102 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.032007.
708	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> One-dimensional charged kaon femtoscopy in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physical Review C. - 2019. - Vol. 100, Is. 2. - Art.nr 024002. -15 p. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.024002.
709	<b>Jia S., Collab. Belle, Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V.</b> Search for $\Omega(212) \rightarrow K\Xi(1530) \rightarrow K\pi\Xi$ at Belle // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 032006. -11 p. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.032006.
710	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Partial-wave analysis of $J/\psi \rightarrow K^+K^-\pi^0$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 032004. -14 p. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.032004.
711	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\psi(3770)$ and $D_1(2420)^0\bar{D}^0 + c.c.$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 032005. -20 p. - Bibliogr.: 53 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.032005.
712	<b>Li Y.B., Collab. Belle, Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V.</b> First measurements of absolute branching fractions of the $\Xi+c$ baryon at Belle // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 031101. -8 p. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.031101.
713	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Measurement of jet-substructure observables in top quark, W boson and light jet production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 8. - Art.nr 33. -47 p. - Bibliogr.: 89 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2019)033.
714	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Electron reconstruction and identification in the ATLAS experiment using the 2015 and 2016 LHC proton-proton collision data at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 8. - Art.nr 639. -40 p. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7140-6.
715	<b>Sirunyan A.M., Collab. BESIII, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Measurement of exclusive $\rho(770)^0$ photoproduction in ultraperipheral pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 8. - Art.nr 702. - 27 p. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7202-9.
716	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Precision measurement of the $\Lambda^+c$ , $\Xi^+c$ , and $\Xi^0c$ baryon lifetimes // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 032001. -12 p. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.032001.
717	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Observation of Light-by-Light Scattering in Ultraperipheral Pb plus PbCollisions with the ATLAS Detector // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 5. - Art.nr 052001. -21 p. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.052001.
718	<b>Берендеев, Е. А. Ефимова А.А., Анненков В.В.</b> Численное моделирование столкновений в методе частиц-в-ячейках для задач генерации электромагнитного излучения в плазме // Марчукские научные чтения - 2019 : Тезисы Международной конференции "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск, 1-5 июля 2019 г. - Новосибирск : ИВМиМГ СО РАН, 2019. - С. 107.
719	<b>Белобородов, К. И. Дружинин В.П., Середняков С.И.</b> Извлечение изоскалярного и изовекторного формфакторов каонов из данных по $e^+e^-$ -аннигиляции и распадам $\tau$ -лептона // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2019. - Т. 156, № 3(9). - С. 461-466. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.1134/S0044451019090086.
720	<b>Бородич В.В., Мешков О.И., Снятков С.В., Толстихина И.Ю., Тузиков А.В., Шевелько В.П., Уинклер Н.</b> Динамика зарядовых состояний релятивистских пучков ионов золота при прохождении через Си- и Ау-фольги в проекте NICA // Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2019. - Т. 156, № 3(9). - С. 419-427. - Библиогр.: 27 назв. - DOI 10.1134/S0044451019090049.
721	<b>Бывальцев В.А., Завьялов Е.Л., Каныгин В.В., Касатова А.И., Кичигин А.И., Разумов И.А., Сычева Т.В., Таскаев С.Ю.</b> Цитопатические эффекты бор-нейтронозахватной терапии на ускорительном источнике эпитепловых нейтронов для культуры клеток глиобластомы человека // Сибирский онкологический журнал. - 2019. - Т. 18, № 4. - С. 34-42. - Библиогр.: 25 назв. - DOI 10.21294/1814-4861-2019-18-4-34-42.
722	<b>Ениколопов С.Н., Ковалёв А.К., Кузнецова Ю.М., Чудова Н.В., Старостина Е.В.</b> Признаки, характерные для текстов, написанных в состоянии фрустрации // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. - 2019. - № 3. - С. 66-85. - Библиогр.: 43 назв. - DOI 10.11621/vsp.2019.03.66.
723	<b>Ландль Н.В., Королев Ю.Д., Гейман В.Г., Франц О.Б., Аргунов Г.А., Болотов А.В., Акимов А.В., Бак П.А.</b> Особенности формирования паразитного тока в отпаянном тиратроне с холодным катодом с узлом запуска на основе вспомогательного глеющего разряда // Известия вузов. Физика. - 2019. - Т. 62, № 7. - С. 172-181. - Библиогр.: 24 назв. - DOI 10.17223/00213411/62/7/172.
724	<b>Анчугов О.В., Журавлев А.Н., Карнаев С.Е., Киселев В.А., Пиминев П.А., Шведов Д.А.</b> Система возбуждения когерентных колебаний частиц на коллайдере ВЭПП-4М // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 5. - С. 9-18. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.1134/S0032816219050021.
725	<b>Сковородин, Д. И.</b> Влияние запертых электронов на потенциал плазмы в расширителе открытой ловушки // Физика плазмы. - 2019. - Т. 45, № 9. - С. 771-776. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.1134/S0367292119090075.
726	<b>Коломакина, Б. А. Трубецкой С.А.</b> Мифологическая основа мотива превращения в эпосе // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия Эпосоведение. - 2019. - № 2(14). - С. 48-57. - Библиогр.: 17 назв. - DOI 10.25587/SVFU.2019.14.32179.
727	<b>Karshenboim, S. G. Ivanov V.G., Eidelman S. I.</b>

	Determination of the proton charge radius by different methods // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". - 2019. - Т. 16, № 5 (224) : Hadron structure and quantum chromodynamics - from low to high energies (HSQCD2018) : 8th International conference dedicated to the memory of Lev N. Lipatov, Gatchina, St. Petersburg, Russia, August 6-10, 2018 : proceedings of the conference. - C. 388.
728	<b>Fadin, V. S.</b> BFKL equation and Regge cuts // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". - 2019. - Т. 16, № 5 (224) : Hadron structure and quantum chromodynamics - from low to high energies (HSQCD2018) : 8th International conference dedicated to the memory of Lev N. Lipatov, Gatchina, St. Petersburg, Russia, August 6-10, 2018 : proceedings of the conference. - C. 363.
729	<b>Fedorov V.A., Vasiliev A.B., Nazmov V.P., Goldenberg B.G., Bedin S.A., Berezkin V.V.</b> <b>Optical properties of regular track-etched poly(ethylene terephthalate) membranes // Membranes and Membrane Technologies.</b> - 2019. - Vol. 1, № 1. - P. 27-30. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1134/S2517751619010037.
730	<b>Кутенев, И. Д.</b> Разработка и реализация алгоритма трассировки лучей в реальном времени на основе динамического воксельного октодерава // Информационные технологии : Материалы 57-й Международной научной студенческой конференции : МНСК-2019, Новосибирск, 14–19 апреля 2019 г. - Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2019. - С. 10.
731	<b>Ivanov V.L., Fedotovich G.V., Akhmetshin R.R., Amirhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Shatunov Yu.M., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Timoshenko M.V., Titov V.M., Talyshev A.A., Tolmachev S. S., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$ with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 collider // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134946. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134946.
732	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Coherent $J/\psi$ photoproduction at forward rapidity in ultra-peripheral Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134926. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134926.
733	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of the production cross section for a Higgs boson in association with a vector boson in the $H - WW^* - \ell\nu\ell\nu$ channel in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134949. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134949.
734	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Search for a right-handed gauge boson decaying into a high-momentum heavy neutrino and a charged lepton in pp collisions with the ATLAS detector at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134942. - Bibliogr.: 80 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134942.
735	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Evidence for the production of three massive vector bosons with the ATLAS detector // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134913. - Bibliogr.: 71 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134913.
736	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> $i\Lambda$ H and $i\bar{\Lambda}$ H lifetime measurement in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV via two-body decay // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134905. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134905.
737	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Search for the decay $\eta' \rightarrow \gamma\eta$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 052015. - Bibliogr.: 34 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052015.
738	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $\omega(3686) \rightarrow \Xi(1530)^- \Xi(1530)^+$ and $\Xi(1530)^- \Xi^+$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 051101. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.051101.
739	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of $\eta_c \rightarrow \omega\omega$ in $J/\psi \rightarrow \gamma\omega\omega$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 052012. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052012.
740	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Search for a heavy charged boson in events with a charged lepton and missing transverse momentum from pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 052013. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052013.
741	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Complete Measurement of the $\Lambda$ Electromagnetic Form Factors // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 12. - Art.nr 122003. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.122003.
742	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Study of the decays $\omega(3686) \rightarrow \gamma XcJ \rightarrow \gamma \bar{p}K^{*+}\Lambda + c.c.$ and $\psi(3686) \rightarrow \bar{p}K^{*+}\Lambda + c.c.$ // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 052010. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052010.
743	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Properties of jet fragmentation using charged particles measured with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 052011. - Bibliogr.: 114 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052011.
744	<b>Moschuerer N., Lotov K.V., Bamberg K., Deutschmann F., Ruhl H.</b> First fully kinetic three-dimensional simulation of the AWAKE baseline scenario // Plasma Physics and Controlled Fusion. - 2019. - Vol. 61, Is. 10. - Art.nr 104004. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1088/1361-6587/ab411e.
745	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Amplitude analysis of $D_s^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\eta$ and first observation of the W-annihilation dominant decays $D_s^+ \rightarrow a_0(980)^0\pi^+$ and $D_s^+ \rightarrow a_0(980)^0\pi^+$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 11. - Art.nr 112001. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.112001.

746	<b>Waheed E., Collab. Belle, Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V.</b> Measurement of the CKM matrix element $ V_{cb} $ from $B^0 \rightarrow D^* \ell^+ \nu_\ell$ at Belle // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - P. Art.nr 052007. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052007.
747	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Dijet azimuthal correlations and conditional yields in pp and p+Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review C. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 034903. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.034903.
748	<b>Shestakov Yu.V., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Toporkov D.K., Yurchenko A.V.</b> Nuclear-Polarized Hydrogen/Deuterium Molecular Source // Physics of Particles and Nuclei. - 2019. - Vol. 50, Is. 5. - P. 513-519. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1134/S1063779619050204.
749	<b>Taskaev, S. Yu.</b> Development of an Accelerator-Based Epithermal Neutron Source for Boron Neutron Capture Therapy // Physics of Particles and Nuclei. - 2019. - Vol. 50, Is. 5. - P. 569-575. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S1063779619050228.
750	<b>Arakcheev A.S., Aulchenko V.M., Balash I.I., Burdakov A.V., Chernyakin A.D., Dokutovich V.A., Evdokov O.V., Kasatov A.A., Kazantsev S.R., Kosov A.V., Popov V.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Shoshin A.A., Tolochko B.P., Vasilyev A.A., Vyacheslavov L.N., Vaigel L.A., Zhulanov V.V.</b> Dynamic observation of X-ray Laue diffraction on single-crystal tungsten during pulsed heat load // Journal of Synchrotron Radiation. - 2019. - Vol. 26. - P.1644-1649. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1107/S1600577519007306.
751	<b>Loginova M., Sobachkin A., Sitnikov A., Yakovlev V., Filimonov V., Myasnikov A., Sharafutdinov M., Tolochko B., Gradoboev A.</b> Synchrotron in situ studies of mechanical activation treatment and $\gamma$ -radiation impact on structural-phase transitions and high-temperature synthesis parameters during the formation of $\gamma$ -(TiAl) compound // Journal of Synchrotron Radiation. - 2019. - Vol. 26. - P. 1671-1678. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1107/S1600577519010014.
752	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Observation of the $\Lambda^0_b \rightarrow X_{c1}(3872)pK^-$ decay // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 9. - Art.nr 28. - Bibliogr.: 75 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2019)028.
753	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurements of CP asymmetries in charmless four-body $\Lambda^0_b$ and $\Xi^0_b$ decays // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 9. - Art.nr 745. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7218-1.
754	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Production of muons from heavy-flavour hadron decays in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 9. - Art.nr 8. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2019)008.
755	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of the cross-section and charge asymmetry of W bosons produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 9. - Art.nr 760. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7199-0.
756	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Searches for scalar leptoquarks and differential cross-section measurements in dilepton-dijet events in proton-proton collisions at a centre-of-mass energy of $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS experiment // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 9. - Art.nr 733. - Bibliogr.: 95 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7181-x.
757	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Cross section measurements of $e^+e^- \rightarrow k^+K^-K^+K^-$ and $\phi K^+K^-$ at center-of-mass energies from 2.10 to 3.08 GeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 032009. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.032009.
758	<b>Lees J.P., Collab. BABAR, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kozyrev E.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshev K.Yu.</b> Extraction of form Factors from a Four-Dimensional Angular Analysis of $\bar{B} \rightarrow D^* \ell^+ \nu_\ell$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 9. - Art.nr 091801. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.091801.
759	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of b hadron fractions in 13 TeV pp collisions // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 3. - Art.nr 031102. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.031102.
760	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for supersymmetry with a compressed mass spectrum in the vector boson fusion topology with 1-lepton and 0-lepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 8. - Art.nr 150. - Bibliogr.: 73 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2019)150.
761	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurement of the production of charm jets tagged with $D^0$ mesons in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 8. - Art.nr 133. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1007/JHEP08(2019)133.
762	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Korol A.A., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A.</b> Erratum: Search for supersymmetry in final states with two same-sign or three leptons and jets using $36 \text{ fb}^{-1}$ of $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collision data with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 8. - Art.nr 121. - DOI 10.1007/JHEP08(2019)121.
763	<b>Бродников, А. Ф. Черепанов В.Я.</b> Измерение теплопроводности конструкционных материалов в диапазоне от 7 до 298 К // XXV Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы", г. Новосибирск, 30 июня - 5 июля 2019 г. - Томск : ИОА СО РАН, 2019. - С. 7-10. - Библиогр.: 7 назв.
764	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for long-lived particles using nonprompt jets and missing transverse momentum with proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134876. -25 p. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134876.
765	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Evidence for light-by-light scattering and searches for axion-like particles in ultraperipheral PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134826. -27 p. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134826.

766	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for Higgs and Z boson decays to $J/\psi$ or $\Upsilon$ pairs in the four-muon final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 797. - Art.nr 134811. - 22 p. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134811.
767	<b>Litasov K.D., Shatskiy A.F., Minin D.A., Kuper K.E., Ohfuji H.</b> The Ni-Ni2P phase diagram at 6 GPa with implication to meteorites and super-reduced terrestrial rocks // High Pressure Research. - 2019. - Vol. 39, Is. 4. - P. 561-578. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1080/08957959.2019.1672677.
768	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for a Light Charged Higgs Boson Decaying to a W Boson and a CP-Odd Higgs Boson in Final States with $e\mu\mu$ or $\mu\mu\mu$ in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 13. - Art.nr 131802. - 18 p. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.131802.
769	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> First Observation of an Attractive Interaction between a Proton and a Cascade Baryon // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 11. - Art.nr 112002. - 13 p. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.112002.
770	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> A search for pair production of new light bosons decaying into muons in proton-proton collisions at 13 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 796. - Art.nr 24 p. - P. 131-154. - Bibliogr.: 86 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.07.013.
771	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of $B^0$ 's meson production in pp and PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 796. - Art.nr 23 p. - P. 168-190. - Bibliogr.: 48 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.07.014.
772	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for vectorlike leptons in multilepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 5. - Art.nr 052003. - 22 p. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.052003.
773	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Resolution of the ATLAS muon spectrometer monitored drift tubes in LHCRun 2 // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P09011. - 35 p. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/09/P09011.
774	<b>Skovorodin, D. I.</b> Influence of Trapped Electrons on the Plasma Potential in the Expander of an Open Trap // Plasma Physics Reports. - 2019. - Vol. 45, Is. 9. - Art.nr 6 p. - P. 799-804. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S1063780X19090071.
775	<b>Fadin, V. S.</b> Regge Cuts and NNLLA BFKL // Ukrainian Journal of Physics. - 2019. - Vol. 64, Is. 8. - P. 678-682. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.15407/ujpe64.8.678.
776	<b>Астрелин В.Т., Воробьев М.С., Козырев А.Н., Свешников В.М.</b> Численное моделирование работы широкоапертурного ускорителя электронов с сетчатым плазменным эмиттером и выводом пучка в атмосферу // Прикладная механика и техническая физика. - 2019. - Т. 60, № 5. - С. 3-12. - Библиогр.: 13 назв. - DOI 10.15372/PMTF20190501.
777	<b>Крылова Т.А., Чумаков Ю.А., Домаров Е.В., Корчагин А.И.</b> Фрактографический анализ разрушения композиционных покрытий после испытаний на изгиб // Известия вузов. Физика. - 2019. - Т. 62, № 9. - С. 15-19. - Библиогр.: 13 назв. - DOI 10.17223/00213411/62/9/15.
778	<b>Аржаниников А.В., Шаманин И.В., Беденко С.В., Приходько В.В., Синицкий С.Л., Шмаков В.М., Кнышев В.В., Луцки И.О.</b> Гибридная ториевая реакторная установка с источником термоядерных нейтронов на основе магнитной ловушки // Известия вузов. Ядерная энергетика. - 2019. - № 2. - С. 43-54. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.26583/npe.2019.2.04.
779	<b>Бузулукцов, В. Ф. Пятаев М.В., Сизов А.Н.</b> Оптимизационная межотраслевая межрегиональная модель как инструмент оценки эффективности // Регион: экономика и социология. - 2019. - № 3. - С. 240-266. - Библиогр.: 10 назв. - DOI 10.15372/REG20190310.
780	<b>Касатова А.И., Кичигин А.И., Сибирцев Р.В., Филин Н.С.</b> Биологические исследования бор-нейтронозахватной терапии на моделях in vitro и in vivo // Фундаментальная и клиническая онкология: достижения и перспективы развития : Российская научно-практическая конференция, посвященная 40-летию НИИ онкологии Томского НИМЦ, [Томск], 22-24 мая 2019 г. : сборник материалов секции молодых ученых. - Томск : Изд-во Томского университета, 2019. - С. 119-122. - Библиогр.: 5 назв.
781	<b>Lutsik I.O., Arzhannikov A.V., Shamanin I.V., Bedenko S.V., Shmakov V.M., Knyshev V.V.</b> Installation for Studies of Hybrid Thorium Reactor with a Source of Thermo-Nuclear Neutrons Based on a Magnetic Trap // Современные проблемы физики и технологий : VIII-я Международная молодежная научная школа-конференция, Москва, 15-20 апреля 2019 г. : сборник тезисов докладов. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2019. - Ч. 2. - С. 47-48. - Bibliogr.: 3 ref.
782	<b>Ракшун, Я. В.</b> Организационный статус проекта ЦКП «СКИФ» // Биотехнология – медицине будущего : Всероссийская мультиконференция с международным участием, Новосибирск, 29 июня-2 июля 2019 г. : материалы конференции. - Новосибирск : Офсет-ТМ, 2019. - С. 133.
783	<b>Таскаев, С. Ю.</b> Разработка ускорительного источника эпитепловых нейтронов для бор-нейтронозахватной терапии // Физика элементарных частиц и атомного ядра. - 2019. - Т. 50, № 5 : XV Международный семинар по электромагнитным взаимодействиям ядер, Москва, 8-11 октября 2018 г. - С. 657-669. - Библиогр.: 15 назв.
784	<b>Шестаков Ю.В., Николенко Д.М., Рачек И.А., Топорков Д.К., Юрченко А.В.</b> Источник ядерно-поляризованных молекул водорода/дейтерия // Физика элементарных частиц и атомного ядра. - 2019. - Т. 50, № 5 : XV Международный семинар по электромагнитным взаимодействиям ядер, Москва, 8-11 октября 2018 г. - С. 572-584. - Библиогр.: 10 назв.
785	<b>Назьмов, В. П.</b> Глубокая 3D-рентгенолитография на основе высококонтрастного рентгенорезиста // Письма в "Журнал технической физики". - 2019. - Т. 45, № 18. - С. 3-5. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.21883/PJTF.2019.18.48227.17879.
786	<b>Юрченко А.В., Николенко Д.М., Рачек И.А., Топорков Д.К., Шестаков Ю.В.</b> Моделирование движения молекул H2 и D2 в секступольных магнитах // Журнал технической физики. - 2019. - Т. 89, № 9. - С. 1325-1336. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.21883/JTF.2019.09.48057.378-18.
787	<b>Yurchenko A.V., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Toporkov D.K., Shestakov Yu.V.</b> Simulation of Motion of H2 and D2 Molecules in Sextupole Magnets // Technical Physics. - 2019. - Vol. 64, Is. 9. - P. 1248-1259. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S1063784219090226.
788	<b>Кузнецов С.А., Николаев Н.А., Трашкев С.И., Лазорский П.А., Аржаниников А.В.</b> Применение концепции ультратонких резонансных поглотителей для управления миллиметровым излучением с помощью жидких кристаллов // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 2. - С. 86-102. - Библиогр.: 43 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-2-86-102.
789	<b>Домаров Е.В., Воробьев Д.С., Голковский М.Г., Голубенко Ю.И., Корчагин А.И., Кукусанов Н.К., Лаврухин А.В., Немытов П.И., Салимов Р.А., Семенов А.В., Сорокин А.В., Фадеев С.Н., Чакни И.К., Черепков В.Г.</b> Исследование параметров

	<b>мощного</b> электронного пучка промышленного ускорителя ЭЛВ // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 2. - С. 5-20. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-2-5-20.
790	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Measurement of branching fractions for D meson decaying into $\phi$ meson and a pseudoscalar meson // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 135017. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.135017.
791	<b>Fadin, V. S.</b> BFKL Equation and Regge Cuts // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2019. - Vol. 16, Is. 5. - P. 409-413. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1134/S1547477119050121.
792	<b>Naz'mov, V. P.</b> Deep 3D X-ray Lithography Based on High-Contrast Resist Layers // Technical Physics Letters. - 2019. - Vol. 45, Is. 9. - P. 906-908. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1134/S1063785019090256.
793	<b>Karshenboim, S. G. Ivanov V.G., Eidelman S. I.</b> Determination of the Proton Charge Radius by Different Methods // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2019. - Vol. 16, Is. 5. - P. 514-519. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1134/S1547477119050157.
794	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Search for excited electrons singly produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS experiment at the LHC // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 9. - Art.nr 803. - Bibliogr.: 88 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7295-1.
795	<b>Astapov I.I., Collab. TAIGA, Garmash A.Yu., Kirilenko P.S., Kravchenko E.A., Sokolov A.V.</b> Monte Carlo Simulation of the TAIGA Experiment // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 8. - P. 955-958. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.3103/S1062873819080331.
796	<b>Sveshnikova L.G., Collab. TAIGA, Garmash A.Yu., Kirilenko P.S., Kravchenko E.A., Sokolov A.V.</b> First Season of Operation of the TAIGA Hybrid Cherenkov Array // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 8. - P. 962-966. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.3103/S1062873819080379.
797	<b>Ахметов, Д. Г. Ахметов Т.Д., Павлов В.А.</b> Вихревая трубка Ранка. Структура течения. Механизм эффекта Ранка // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 19-24 августа 2019 г. : аннотации докладов. - Уфа : РИЦ БашГУ, 2019. - С. 74.
798	<b>Бродников, А. Ф. Черепанов В.Я.</b> Измерение теплопроводности конструкционных материалов в диапазоне от 7 до 298 К [Электронный ресурс] // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы : XXV Международный симпозиум, Новосибирск, 30 июня - 5 июля 2019 г. = Novosibirsk 2019 : Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. - Томск : ИОА СО РАН, 2019. - Конференция В: Распространение излучения в атмосфере и океане. - С. В7-B10.
799	<b>Глухов И.А., Голковский М.Г., Майрамбекова А.М., Шаркеев Ю.П.</b> Получение биосовместимых сплавов системы Ti-Nb методом порошковой металлургии с применением релятивистского электронного пучка вне вакуума // Тезисы докладов International Workshop «Multiscale Biomechanics and Tribology T29 of Inorganic and Organic Systems», Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» и VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию основания института химии нефти «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа», Томск, 1-5 октября 2019 г. - Томск : ТПУ, 2019. - С. 346. - Библиогр.: 3 назв. - DOI 10.17223/9785946218412/229.
800	<b>Крылова Т.А., Чумаков Ю.А., Домаров Е.В., Корчагин А.И.</b> Исследование возможности получения сплава «WC - Ni <sub>3</sub> Al» при реализации электронно-лучевой наплавки вне вакуума // Тезисы докладов International Workshop «Multiscale Biomechanics and Tribology T29 of Inorganic and Organic Systems», Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» и VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию основания института химии нефти «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа», Томск, 1-5 октября 2019 г. - Томск : ТПУ, 2019. - С. 602. - DOI 10.17223/9785946218412/401.
801	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.</b> Observation of Electroweak Production of a Same-Sign W Boson Pair in Association with Two Jets in pp Collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS Detector // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 16. - Art.nr 161801. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.161801.
802	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Two-particle differential transverse momentum and number density correlations in p-Pb collisions at 5.02 TeV and Pb-Pb collisions at 2.76 TeV at the CERN Large Hadron Collider // Physical Review C. - 2019. - Vol. 100, Is. 4. - Art.nr 044903. - Bibliogr.: 124 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.044903.
803	<b>Litasov K.D., Tepliyakova S.N., Shatskiy A., Kuper K.E.</b> Fe-Ni-P-S melt pockets in Elga IIE iron meteorite: Evidence for the origin at high-pressures up to 20 GPa // Minerals. - 2019. - Vol. 9, Is. 10. - Art.nr 616. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.3390/min9100616.
804	<b>Shevchenko O.A., Melnikov A.R., Tararyshkin S.V., Getmanov Y.V., Serednyakov S.S., Bykov E.V., Kubarev V.V., Fedin M.V., Veber S.L.</b> Electronic modulation of THz radiation at NovoFEL: Technical aspects and possible applications // Materials. - 2019. - Vol. 12, Is. 19. - Art.nr 3063. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.3390/ma12193063.
805	<b>Gavryushkin P.N., Bekhtenova A., Lobanov S.S., Shatskiy A., Likhacheva A.Y., Sagatova D., Sagatov N., Rashchenko S. V., Litasov K.D., Sharygin I.S., Goncharov A.F., Prakupenka V.B., Higo Y.</b> High-pressure phase diagrams of Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> and K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> // Minerals. - 2019. - Vol. 9, Is. 10. - Art.nr 599. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.3390/min9100599.
806	<b>Resmi P.K., Collab. Belle, Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V.</b> First measurement of the CKM angle $\phi_3$ with $B \rightarrow D(K^0_s \pi^+ \pi^-) K^\pm$ decays // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 178. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)178.
807	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> A search for $\Xi_{cc}^{++} \rightarrow D^+ p K \pi^+$ decays // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 124. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)124.
808	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Charged-particle production as a function of multiplicity and transverse sphericity in pp collisions at $\sqrt{s}=5.02$ and 13 TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 10. - Art.nr 857. - Bibliogr.: 45 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7350-y.

809	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for dark photons in decays of Higgs bosons produced in association with Z bosons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 139. - Bibliogr.: 65 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)139.
810	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Inclusive $J/\psi$ production at mid-rapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)084.
811	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of the inclusive cross-section for the production of jets in association with a Z boson in proton-proton collisions at 8 TeV using the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 10. - Art.nr 847. - Bibliogr.: 82 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7321-3.
812	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Identification of boosted Higgs bosons decaying into b-quark pairs with the ATLAS detector at 13 TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 10. - Art.nr 836. - Bibliogr.: 84 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7335-x.
813	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of ZZ production in the $\ell\ell\nu\nu$ final state with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 127. - Bibliogr.: 79 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)127.
814	<b>Beloborodov, K. I. Druzhinin V.P., Serednyakov S.I.</b> Isoscalar and Isovector Kaon Form Factors from $e^+e^-$ and $\tau$ Data // Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 2019. - Vol. 129, Is. 3. - P. 386-390. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S1063776119080016.
815	<b>Borodich V.V., Meshkov O.I., Sinyatkin S.V., Tolstikhina I.Yu., Tuzikov A.V., Shevelko V.P., Winckler N.</b> Dynamics of Charge States of Relativistic Gold Ion Beams Passing through Cu and Au Foils in the NICA Project // Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 2019. - Vol. 129, Is. 3. - P. 349-356. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1134/S1063776119080120.
816	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Search for diboson resonances in hadronic final states in 139 fb <sup>-1</sup> of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 9. - Art.nr 91. - Bibliogr.: 81 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2019)091.
817	<b>Рубцов И.А., Тен К.А., Пруэлл Э.Р., Кашкаров А.О., Аракчеев А.С., Толочко Б.П., Анчаров А.И., Зубавичус Я.В., Ракшун Я.В., Аульченко В.М., Шехтман Л.И., Жуланов В.В.</b> Станция исследования быстротекущих процессов с помощью синхротронного излучения в ЦКП «СКИФ» // Материалы и технологии XXI века: Доклады V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Бийск, 4–6 сентября 2019 г. - Бийск : Алтайский государственный технический университет, 2019. - Ч. 1, Разд. 2 : Энергетические установки. - С. 126-127.
818	<b>Поданёва Л.Ф., Калмыков П.И., Михайленко М.А., Артёмова Е.В.</b> Рекинетика структурирования полимерного сшивающего МПВТ-АСП- «Н» в зависимости от дозы облучения полимера в присутствии ТОН-2 // Материалы и технологии XXI века: Доклады V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Бийск, 4–6 сентября 2019 г. - Бийск : Алтайский государственный технический университет, 2019. - Ч. 2, Разд. 3 : Энергетические конденсированные системы. - С. 16-24. - Библиогр.: 5 назв.
819	<b>Melnikov A.R., Shevchenko O.A., Tararyshkin S.V., Getmanov Y.V., Serednyakov S.S., Bykov E.V., Kubarev V.V., Fedin M.V., Veber S.L.</b> Electronic System for Modulating THz Radiation at Novosibirsk Free Electron Laser: Possible Applications and Technical Aspects // The 9th International conference on Organic Electronics (ORGEL-2019), Novosibirsk, 23-29 September 2019: book of abstracts. - Novosibirsk : IPC NSU, 2019. - Art.nr PP-16. - P. 71. - Bibliogr.: 2 ref.
820	<b>Reva V.B., Bryzgunov M.I., Parkhomchuk V.V., Halama A., Kamerdzhiiev V., Niedermayer P.</b> COSY experience of electron cooling [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr MOX01. - P. 1-5. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-MOX01.
821	<b>Belikov O.V., Bryzgunov M.I., Kozak V.R., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Vinnik D.S.</b> Power supplies for correctors of the 2.5 electron cooling system for the collider NICA [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS10. - P. 102-104. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS10.
822	<b>Panasjuk V., Bryzgunov M., Buble A., Parkhomchuk V., Reva V., Konstantinov V., Korchagin V., Kremnev N., Pospolita S., Ruvinskii S.</b> The magnetic system of electron coolers of collider NICA [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS15. - P. 112-115. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS15.
823	<b>Denisov A.P., Bryzgunov M.I., Buble A.V., Ivanov A.V., Parkhomchuk V.V., Putmakov A.A., Reva V.B.</b> Design of a compact electron gun for the high-voltage electron cooling system of the NICA collider [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr MOA02. - P. 18-21. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-MOA02.
824	<b>Bryzgunov M., Parkhomchuk V., Reva V., Buble A., Denisov A., Panasjuk V., Goncharov A., Putmakov A., Kremnev N., Polukhin V., Chekavinskiy V., Gusev I., Senkov D., Karpov G., Bekhtenev E., Kondaurov M., Zharikov A., Kobets A., Meshkov I., Melnikov S., Orlov O., Sergeev A., Semionov S., Sidorin A., Smirnov A.</b> Status of the electron cooler for NICA booster and results of ITS commissioning [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUX01. - P. 22-25. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUX01.
825	<b>Vinokurov, N. A. Parkhomchuk V.V., Skrinsky A.N.</b> RF accelerator for electron cooling of ultra-relativistic hadrons [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUY01. - P. 26-28. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUY01.
826	<b>Bryzgunov M.I., Buble A.V., Goncharov A.D., Denisov A.P., Kremnev N.S., Parkhomchuk V.V., Panasjuk V.M., Putmakov A.A., Reva V.B., Shiyankov S.V.</b> The status of the electron cooling system for the NICA collider [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr THX01. - P. 55-58. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-THX01.

827	<b>Meshkov I.N., Philippov A.V., Syresin E.M., Mityanina N.V.</b> <b>Electron cooling in the NICA project: status and problems</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr THX02. - P. 59-63. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-THX02.
828	<b>Mityanina N., Petrov V., Rotov E., Tribendis A., Meshkov I., Sidorin A., Syresin E.</b> <b>Longitudinal particle dynamics and cooling in NICA collider</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr THA01. - P. 64-67. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-THA01.
829	<b>Ivanov A.V., Bryzgunov M.I., Panasyuk V.M., Parkhomchuk V.V., Reva V.B.</b> <b>Simulation of electron-optical systems of electron coolers</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr THB02. - P. 68-71. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-THB02.
830	<b>Niedermayer P., Halama A., Kamerdzhiiev V., Shurkhno N., Stassen R., Reva V., Katayama T.</b> <b>Recent developments and experimental results for the electron cooling of a 2.4 GeV/c proton beam at COSY</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr FRX01. - P. 72-76. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-FRX01.
831	<b>Bainazarova A., Bryzgunov M., Bublei A., Kremnev N., Parkhomchuk V., Putmakov A., Reva V.</b> <b>Vacuum systems for the coolers of the NICA project</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS03. - P. 80-82. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS03.
832	<b>Skorobogatov D.N., Bryzgunov M.I., Kondarov M.N., Putmakov A., Reva V.B., Repkov V.V.</b> <b>The high voltage power supply system for the electron cooler for CSR</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS05. - P. 86-88. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS05.
833	<b>Ivanov, A. V.</b> WinSAM and WinMAG – new program packages for simulation of electron-optical systems [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS07. - P. 93-95. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS07.
834	<b>Bekhtenev, E. A. Karpov G.V., Reva V.B.</b> Beam position monitor system for high voltage electron cooler for NICA collider [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS08. - P. 96-98. - Bibliogr.: 2 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS08.
835	<b>Denisov A.P., Bryzgunov M.I., Goncharov A.D., Parkhomchuk V.V., Reva V.B., Skorobogatov D.N.</b> <b>The cascade transformer for the high-voltage electron cooling system for the NICA collider</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS13. - P. 105-107. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS13.
836	<b>Vostrikov, V. A. Reva V.B., Parkhomchuk V.V.</b> Electron cooling application for hadron therapy [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS14. - P. 108-111. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS14.
837	<b>Kremnev N.S., Bryzgunov M.I., Bublei A.V., Parkhomchuk V.V., Panasyuk V.M., Reva V.B., Putmakov A.A., Shiyankov S.V.</b> <b>Adjusting unit of longitudinal field coils for NICA HV electron cooler's solenoid</b> [Electronic resource] // Proceedings of the 12th Workshop on Beam Cooling and Related Topics (COOL 2019), Novosibirsk, 23-27 September 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUPS21. - P. 127-128. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.18429/JACoW-COOL2019-TUPS21.
838	<b>Volchok, E. P. Timofeev I.V., Annenkov V.V.</b> Coherent terahertz emission from a plasma layer due to linear conversion of laser wakefields on pre-modulated ion density // Plasma Physics and Controlled Fusion. - 2019. - Vol. 61, Is. 12. - Art.nr 125006. -7 p. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.1088/1361-6587/ab4cfa.
839	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Amplitude analysis of <math>D^+ \rightarrow K^0 \pi^+ \pi^+ \pi^-</math></b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 072008. -15 p. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.072008.
840	<b>Boussarie R., Grabovsky A. V., Szymanowski L., Wallon S.</b> <b>Towards a complete next-to-logarithmic description of forward exclusive diffractive dijet electroproduction at HERA: Real corrections</b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 074020. -30 p. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.074020.
841	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Measurement of the top quark Yukawa coupling from <math>t\bar{t}</math> kinematic distributions in the lepton plus jets final state in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 072007. -29 p. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.072007.
842	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Improved measurements of the absolute branching fractions of the inclusive decays <math>D^+(0) \rightarrow \phi X</math></b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 072006. -11 p. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.072006.
843	<b>Jin Y., Collab. Belle, Epifanov D., Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V.</b> <b>Observation of <math>\phi^- \rightarrow \pi^0 \nu \tau e^+ e^-</math> and search for <math>\tau^- \rightarrow \pi^0 \nu \mu^+ \mu^-</math></b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 071101. -9 p. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.071101.
844	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Measurements of weak decay asymmetries of <math>\Lambda^+ c \rightarrow \rho K^0 s, \Lambda \pi^+, \Sigma^+ \pi^0</math>, and <math>\Sigma^0 \pi^+</math></b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 072004. -9 p. - Bibliogr.: 36 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.072004.
845	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> <b>Observation of New Resonances in the <math>\Lambda^0 b \pi^+ \pi^-</math> System</b> // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 15. - Art.nr 152001. -11 p. - Bibliogr.: 47 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.152001.
846	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for pair production of vectorlike quarks in the fully hadronic final state</b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 072001. -30 p. - Bibliogr.: 56 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.072001.
847	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Measurement of the top quark polarization and <math>t\bar{t}</math> spin correlations using dilepton final states in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV</b> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 7. - Art.nr 072002. -39 p. - Bibliogr.: 80 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.072002.
848	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Charged-particle angular correlations in XeXe collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.44</math> TeV</b> // Physical Review C. - 2019. - Vol. 100, Is. 4. - Art.nr 044902. -22 p. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.044902.

849	<b>Acharya S., Collab. ALICE, Pestov Y. Investigations of Anisotropic Flow Using Multiparticle Azimuthal Correlations in pp, p-Pb, Xe-Xe, and Pb-Pb Collisions at the LHC // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 14. - Art.nr 142301. -13 p. - Bibliogr.: 55 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.142301.</b>
850	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y. Event-shape and multiplicity dependence of freeze-out radii in pp collisions at <math>\sqrt{s}=7</math> TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Is. 9. - Art.nr 108. -22 p. - Bibliogr.: 32 ref. - DOI 10.1007/JHEP09(2019)108.</b>
851	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y. Azimuthal separation in nearly back-to-back jet topologies in inclusive 2- and 3-jet events in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 9. - Art.nr 773. -24 p. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7276-4.</b>
852	<b>Grigorenko L.V., Sharkov B.Y., Fomichev A.S., Barabanov A.L., Barth W., Bezbakh A.A., Bogomolov S.L., Golovkov M.S., Gorshkov A.V., Dmitriev S.N., Eremin V.K., Ershov S.N., Zhukov M.V., Kalagin I.V., Karpov A.V., Katayama T., Kiselev O.A., Korshennikov A.A., Krupko S.A., Kulevov T.V., Litvinov Y.A., Lychagin E.V., Maksimkin I.P., Meshkov I.N., Mukha I.G., Nikolskii E.Y., Parfenova Y.L., Parkhomchuk V.V., Polozov S.M., Pftzner M., Sidorchuk S.I., Simon H., Slepnev R.S., Ter-Akopian G.M., Trubnikov G.V., Chudoba V., Scheidenberger C., Sharov P.G., Shatunov P.Y., Shatunov Y.M., Shvetsov V.N., Shulgina N.B., Yukhimchuk A.A., Yaramyshev S. Scientific program of DERICA-prospective accelerator and storage ring facility for radioactive ion beam research // Physics-Uspekhi. - 2019. - Vol. 62, Is. 7. - P. 675-690. - Bibliogr.: 59 ref. - DOI 10.3367/UFNr.2018.07.038387.</b>
853	<b>Рыбачек, М. Е. Создание технологической станции синхротронного излучения на ВЭПП-4М // Дни науки НГТУ-2019: материалы научной студенческой конференции (итоги научной работы студентов за 2018-2019 гг.), Новосибирск. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - С. 89-93. - Библиогр.: 2 назв.</b>
854	<b>Лазарева, Г. Г. Максимова А.Г., Аракчеев А.С. Модель испарения вольфрама при импульсной тепловой нагрузке // Математика в приложениях: Международная конференция в честь 90-летия Сергея Константиновича Годунова, Новосибирск, 4-10 августа 2019 г.: тезисы докладов. - Новосибирск : Ин-т математики им. С.Л.Соболева СО РАН, 2019. - С. 156. - Библиогр.: 3 назв.</b>
855	<b>Ондар С.А., Михайленко М.А., Толочко Б.П., Толочко Б.П., Брызгин А.А., Котельников В.И., Коробейников М.В. Воздействие ионизирующего излучения на органические компоненты каменных углей и последующее коксование // Химия в интересах устойчивого развития. - 2019. - Т. 27, № 5. - С. 499-504. - DOI 10.15372/KhUR2019165.</b>
856	<b>Wang G., Shaftan T., Smaluk V., Hidaka Y., Chubar O., Tanabe T., Choi J., Sharma S., Spataro C., Mesentsev N.A. Complex bend. II. A new optics solution // Physical Review Accelerators and Beams. - 2019. - Vol. 22, Is. 11. - Art.nr 110703. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.22.110703.</b>
857	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y. Measurement of charged jet cross section in pp collisions at <math>\sqrt{s}=5.02</math> TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 9. - Art.nr 092004. - Bibliogr.: 69 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.092004.</b>
858	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B. Measurement of branching fractions of <math>\psi(3686) \rightarrow \phi\eta', \phi\eta(1285)</math> and <math>\phi\eta(1405)</math> // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 9. - Art.nr 092003. - Bibliogr.: 23 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.092003.</b>
859	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y. Measurement of X(1S) Elliptic Flow at Forward Rapidity in Pb-Pb Collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 19. - Art.nr 192301. - Bibliogr.: 58 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.192301.</b>
860	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y. Measurement of the inclusive isolated photon production cross section in pp collisions at <math>\sqrt{s}=7</math> TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 896. - Bibliogr.: 57 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7389-9.</b>
861	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V. Measurement of <math>W_{\pm}</math> boson production in Pb+Pb collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 935. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7439-3.</b>
862	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V. Measurement of <math>W_{\pm}</math> -boson and Z-boson production cross-sections in pp collisions at <math>\sqrt{s}=2.76</math> TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 901. - Bibliogr.: 83 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7399-7.</b>
863	<b>Khatsymovsky, V. M. On the discrete Christoffel symbols // International Journal of Modern Physics A. - 2019. - Vol. 34, Is. 30. - Art.nr 1950186. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1142/S0217751X19501860.</b>
864	<b>Mizuk R., Collab. Belle, Bondar A., Aulchenko V., Eidelman S., Epifanov D., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Shwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Zhilich V. Observation of a new structure near 10.75 GeV in the energy dependence of the <math>e^+e^- \rightarrow Y(nS)\pi^+\pi^-</math> (<math>n = 1, 2, 3</math>) cross sections // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 220. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)220.</b>
865	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y. Search for supersymmetry in proton-proton collisions at 13 TeV in final states with jets and missing transverse momentum // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 244. - Bibliogr.: 104 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)244.</b>
866	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y. Search for resonances decaying to a pair of Higgs bosons in the <math>b\bar{b}q\bar{q}'\ell\nu'</math> final state in proton-proton collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 125. - Bibliogr.: 119 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)125.</b>
867	<b>Aaboud M., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V. Measurement of fiducial and differential <math>W+W</math>-production cross-sections at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 10. - Art.nr 884. - Bibliogr.: 116 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7371-6.</b>
868	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V. Measurement of the inclusive isolated-photon cross section in pp collisions at <math>\sqrt{s}=13</math> TeV using 36 fb<sup>-1</sup> of ATLAS data // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 203. - Bibliogr.: 68 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)203.</b>

869	<b>Kameshkov O.E., Knyazev B.A., Kotelnikov I.A., Goldenberg B.G.</b> Diffraction of Terahertz Gaussian and Bessel Beams on 2D Gratings with Wavelength-Scale Openings // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874244. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874244.
870	<b>Kubarev, V. V. Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A.</b> Coherency and monochromaticity of the terahertz NovoFEL // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874300. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874300.
871	<b>Arzhannikov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Kalinin P.V., Kuznetsov S.A., Makarov M.A., Mekler K.I., Polosatkin S.V., Rovenskikh A.F., Samtsov D.A., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Timofeev I.V.</b> Mechanisms of submillimeter wave generation by kiloampere REB in a plasma column with strong density gradients // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874408. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874408.
872	<b>Kubarev V.V., Getmanov Ya.V., Chesnokov E.N., Koshlyakov P.V.</b> High-resolution fast terahertz time-domain gas spectroscopy based on a fine comb spectral structure of the NovoFEL // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874122. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874122.
873	<b>Gerasimov V.V., Kuznetsov S.A., Lemzyakov A.G., Hafizov R.R.</b> Multipole terahertz localized plasmon resonances on spiral structures // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8873733. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8873733.
874	<b>Chesnokov E.N., Krasnoperov L.N., Kubarev V.V., Koshlyakov P.V.</b> Ultrafast dynamics of hydroxyl radical observed by its FID radiation in magnetic field // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874455. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874455.
875	<b>Kuznetsov S.A., Gelfand A.V., Fedorinin V.N., Nikolaev N.A., Lazorskiy P.A., Arzhannikov A.V.</b> High-performance frequency selective surface filters for terahertz applications // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874586. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874586.
876	<b>Khasanov, I. Sh. Gerasimov V.V., Nikitin A.K.</b> Spectral radiation pattern of bulk waves emitted by thermally stimulated surface plasmons at the sample edge // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874496. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874496.
877	<b>Gerasimov V.V., Nikitin A.K., Lemzyakov A.G., Knyazev B.A.</b> Location of objects beyond the horizon line by terahertz surface plasmons // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874559. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874559.
878	<b>Parkhomchuk E.V., Prokopyeva E.A., Gulevich D.G., Taratayko A.I., Baklanov A.M., Kalinkin P.N., Rastigeev S.A., Kuleshov D.V., Sashkina K.A., Parkhomchuk V.V.</b> Ultrafine organic aerosol particles inhaled by mice at low doses remain in lungs more than half a year // Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals. - 2019. - Vol. 62, Is. 11. - P. 785-793. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1002/jlcr.3788.
879	<b>Khonina S.N., Tukmakov K.N., Degtyarev S.A., Reshetnikov A.S., Pavelyev V.S., Knyazev B.A., Choporova Y.Y.</b> Design, fabrication and investigation of a subwavelength axicon for terahertz beam polarization transforming // Computer Optics. - 2019. - Vol. 43, Is. 5. - P. 756-764. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-5-756-764.
880	<b>Peskov N.Yu., Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Kalinin P.V., Krapivnitskaya T.O., Sandalov E.S., Sergeev A.S., Sinitsky S.L., Stepanov V.D., Zaslavsky V.Yu.</b> Development of Powerful W-band Planar Surface-Wave Oscillator driven by High-Current Relativistic Sheet Electron Beam // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8873810. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8873810.
881	<b>Arzhannikov A.V., Ginzburg N.S., Malkin A.M., Peskov N.Yu., Sandalov E.S., Savilov A.V., Sinitsky S.L., Skovorodin D.I., Starostenko A.A., Zaslavsky V.Yu.</b> Powerful long-pulse THz-Band Bragg FEL based on linear induction accelerator // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8874573. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8874573.
882	<b>Balakin A.V., Kotelnikov I.A., Solyankin P.M., Shkurinov A.P.</b> Terahertz Wave Generation from Liquid Nitrogen // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8873992. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8873992.
883	<b>Zhukavin R.Kh., Kovalevsky K.A., Choporova Yu.Yu., Gerasimov V.V., Tsyplenkov V.V., Knyazev B.A., Pavlov S.G., Abrosimov N.V., Hьbers H.-W., Shastin V.N.</b> Relaxation Times of Arsenic Excited Donor States in Germanium // 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Paris, 1-6 September 2019. - Danvers : IEEE, 2019. - Art.nr 8873886. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1109/IRMMW-THz.2019.8873886.
884	<b>Minakov, V. A. Sosedkin A. P., Lotov K.V.</b> Accelerating field enhancement due to ion motion in plasma wakefield accelerators // Plasma Physics and Controlled Fusion. - 2019. - Vol. 61, Is. 11. - Art.nr 114003. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1088/1361-6587/ab41a7.
885	<b>Sudnikov A.V., Beklemishev A.D., Burdakov A.V., Ivanov I.A., Inzhevatkina A.A., Postupaev V.V., Rovenskikh A.F., Sklyarov V.F., Glinskiy V.V., Ustyuzhanin V.O.</b> Preliminary experimental scaling of the helical mirror confinement effectiveness // 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019, Milan, 8–12 July 2019. - S.I. : European Physical Society, 2019. - Art.nr P4.1062. - (Europhysics Conference Abstracts ; Vol.43C). - Bibliogr.: 16 ref.
886	<b>Telnov, V. I.</b> Optimization of the beam crossing angle at the ILC for $e^+e^-$ and $\gamma\gamma$ collisions // International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2017), Strasbourg, France, 23-27 October 2017. - S.I., 2019. - Art.nr 1801.10471. - Bibliogr.: 15 ref.
887	<b>Postupaev V.V., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Mekler K.I., Rovenskikh A.F., Sidorov E.N.</b> Start plasma production in GOL-Nb multiple-mirror trap // 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019, Milan, 8–12 July 2019. - S.I. : European Physical Society, 2019. - Art.nr P4.1063. - (Europhysics Conference Abstracts ; Vol.43C). - Bibliogr.: 8 ref.
888	<b>Annenkov V.V., Timofeev I.V., Berendeev E.A., Volchok E.P.</b> Powerful electromagnetic emission from a plasma with counterstreaming different-size electron beams // 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019, Milan, 8–12 July 2019. - S.I. : European Physical Society, 2019. - Art.nr O2.202. - (Europhysics Conference Abstracts ; Vol.43C). - Bibliogr.: 3 ref.
889	<b>Volchok E.P., Annenkov V.V., Timofeev I.V., Berendeev E.A.</b> Efficient electromagnetic emission from plasma with continuously injected counterstreaming electron beams // 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019, Milan, 8–12 July 2019. - S.I. : European Physical Society, 2019. - Art.nr P2.2020. - (Europhysics Conference Abstracts ; Vol.43C). - Bibliogr.: 5 ref.
890	<b>Minaev V.B., Gusev V.K., Petrov Yu.V., Sakharov N.V., Varfolomeev V.I., Bagryansky P.A., Bakharev N.N., Chernyshev F.V., Chugunov I.N., Iliasova M.V., Kavin A.A., Khilkevitch E.M., Khodunov I.A., Khromov N.A., Kiselev E.O., Kurskiev G.S.,</b>

	<b>Larionova M.M., Melnik A.D., Miroshnikov I.V., Novokhatsky A.N., Oshuev K.Yu., Patrov M.I., Shevelev A.E., Shchegolev P.B., Shikhovtsev I.V., Solomakhin A.L., Telnova A.Yu., Tokarev V.A., Tolstyakov S.Yu., Zhilin E.G.</b> Progress in the experiment on the neutral beam injection on the spherical tokamak Globus-M2 // 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019, Milan, 8–12 July 2019. - S.I. : European Physical Society, 2019. - Art.nr P4.1084. - (Europhysics Conference Abstracts ; Vol.43C). - Bibliogr.: 4 ref.
891	<b>Tanaka K., Ohtani Y., Nakata M., Warmer F., Tsujimura T., Takemura Y., Kinoshita T., Takahashi H., Yokoyama M., Seki R., Igami H., Yoshimura Y., Kubo S., Shimozuma T., Tokuzawa T., Akiyama T., Yamada I., Yasuhara R., Funaba H., Yoshinuma M., Ida K., Goto M., Motojima G., Shoji M., Masuzaki S., Michael C.A., Vacheslavov L.N., Osakabe M., Morisaki T.</b> Isotope effects on energy, particle transport and turbulence in electron-cyclotron resonant heating plasma of the Large Helical Device // Nuclear Fusion. - 2019. - Vol. 59, Is. 12. - Art.nr 126040. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1088/1741-4326/ab4237. - 13 p.
892	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for MSSM Higgs bosons decaying to $\mu^+\mu^-$ in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134992. -27 p. - Bibliogr.: 87 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134992.
893	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Combination of CMS searches for heavy resonances decaying to pairs of bosons or leptons // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134952. -25 p. - Bibliogr.: 78 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134952.
894	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for anomalous electroweak production of vector boson pairs in association with two jets in proton-proton collisions at 13 TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 798. - Art.nr 134985. -25 p. - Bibliogr.: 77 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.134985.
895	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for new physics in top quark production in dilepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 886. -29 p. - Bibliogr.: 70 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7387-y.
896	<b>Косачев М.Ю., Купер Э.А., Репков В.В., Семенов Ю.И., Старостенко А.А., Цыганов А.С.</b> Управление током электронно-лучевой сварки посредством регулирования мощности лазера подогрева катода // Конференция с международным участием "Электронно-лучевые технологии" КЭЛТ-2019, Черноголовка, 30 сентября - 3 октября 2019 г.: тезисы докладов. - Черноголовка : ИПТМ РАН, 2019. - С. 144. - Библиогр.: 2 назв.
897	<b>Корнеев В.Н., Аульченко В.М., Забелин А.В., Ланина Н.Ф., Шлектарев В.А., Вазина А.А.</b> Рентгенографические станции для структурных SAXS/WAXS исследований биологических наносистем с использованием синхротронного излучения // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 1. - С. 380-381. - Библиогр.: 2 назв.
898	<b>Банникова С.В., Мещерякова И.А., Брянская А.В., Розанов А.С., Старостин К.В., Попик В.М., Пельтек С.Е.</b> Нетермическое воздействие терагерцового излучения на термофильный микроорганизм GEOBACILLUS ICIANUS // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 2. - С. 8.
899	<b>Жукавин Р.Х., Ковалевский К.А., Чопорова Ю.Ю., Цыпленков В.В., Герасимов В.В., Бушуйкин П.А., Князев Б.А., Абросимов Н.В., Павлов С.Г., Хьюберс Г.В., Шастин В.Н.</b> Времена релаксации и инверсия населенностей возбужденных состояний доноров As в германии // Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики". - 2019. - Т. 110, № 10. - С. 677-682. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.1134/S0370274X19220077.
900	<b>Галынский, М. В. Герасимов Р.Е.</b> Обобщенные формфакторы Сакса и возможность их измерения в процессах без переворота и с переворотом спина протона // Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики". - 2019. - Т. 110, № 10. - С. 645-651. - Библиогр.: 38 назв. - DOI 10.1134/S0370274X19220132.
901	<b>Поданева Л.Ф., Артемова Е.В., Сидоров К.А., Калмыков П.И., Королев К.Г., Михайленко М.А., Толочко Б.П., Брызгин А.А.</b> Влияние ионизирующего излучения на свойства поли-N-метилаллил-5-винилтетразола и энергоемких композиций на его основе // Химия в интересах устойчивого развития. - 2019. - Т. 27, № 5. - С. 512-516. - Библиогр.: 10 назв. - DOI 10.15372/ChUR2019167.
902	<b>Вазина А.А., Васильева А.А., Железная Л.А., Забелин А.В., Кулипанов Г.Н., Легкодымов А.А., Полякова Е.П.</b> Функциональный отклик протеогликановых систем биологических тканей на воздействие высокочастотной электрохирургической сварки // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 2. - С. 13-14.
903	<b>Мещерякова И.А., Банникова С.В., Горячковская Т.Н., Демидова Е.В., Демидов Е.А., Розанов А.С., Попик В.М., Пельтек С.Е.</b> Выявление протеомными методами гена глутаминсинтетазы E. COLI, чувствительного к терагерцовому излучению // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 2. - С. 56.
904	<b>Сердюков Д.С., Розанов А.С., Мещерякова И.А., Банникова С.В., Горячковская Т.Н., Ощепков Д.Ю., Попик В.М., Черкасова О.П., Пельтек С.Е.</b> Исследование влияния терагерцового излучения на генную экспрессию с помощью бактериальных геносенсоров // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 2. - С. 74-75. - Библиогр.: 7 назв.
905	<b>Пельтек С.Е., Демидова Е.В., Попик В.М., Горячковская Т.Н.</b> Стрессовые системы ESCHERICHIA COLI и их роль в реакциях на воздействие терагерцового излучения // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 2. - С. 127.
906	<b>Шелестов В.М., Гоганов Д.А., Золотарев К.В., Кулипанов Г.Н., Корнеев В.Н., Сребницкая Л.К., Скринский А.Н., Вазина А.А.</b> Развитие биофизических методик для структурных исследований с использованием синхротронного излучения // VI Съезд биофизиков России, Сочи, 16-21 сентября 2019 г.: сборник научных трудов. - Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2019. - Т. 2. - С. 325-326. - Библиогр.: 3 назв.
907	<b>Астрелин В.Т., Воробьев М.С., Кандауров И.В., Куркучев В.В.</b> Численное моделирование формирования электронных пучков в источниках двух типов с плазменным катодом и их транспортировки в магнитном поле // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 11 : Материалы шестого международного Крейнделевского семинара "Плазменная и эмиссионная электроника", п. Новый Энхалук, Республика Бурятия, 3-8 августа 2018 г. - С. 1529-1533. - Библиогр.: 8 назв. - DOI 10.1134/S0367676519110036.
908	<b>Рябченко К.К., Пахомов А.Ю., Рыбницкая Т.В., Старостенко А.А.</b> Способы корректировки поля дипольного магнита // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 6. - С. 117-120. - Библиогр.: 3 назв. - DOI 10.1134/S0032816219060132.
909	<b>Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С., Дарьин А.В., Ращенко С.В., Шарьгин В.В., Сенин Р.А., Гогин А.А.</b> Распределение германия и других элементов в образцах метеорита Челябинск по данным сканирующего рентгенофлуоресцентного микроанализа на источнике синхротронного излучения // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 11. - С. 1568-1571. - Библиогр.: 24 назв. - DOI 10.1134/S0367676519110073.

910	<b>Дарьин А.В., Бабич В.В., Калугин И.А., Маркович Т.И., Rogozin Д.Ю., Мейдус А.В., Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сароколетов Д.С.</b> Исследование геохимических особенностей годовых слоев в донных осадках пресноводных озер методом рентгенофлуоресцентного микроанализа с возбуждением синхротронным излучением // Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. - 2019. - Т. 83, № 11. - С. 1572-1575. - Библиогр.: 10 назв. - DOI 10.1134/S0367676519110085.
911	<b>Бондарь А.Е., Бузулуцков А.Ф., Долгов А.Д., Легкодимов А.А., Носов В.В., Олейников В.П., Поросев В.В., Соколов А.В., Шемякина Е.О.</b> Калибровка двухфазного детектора в аргоне с помощью источника $^{109}\text{Cd}$ // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 6. - С. 20-23. - Библиогр.: 17 назв. - DOI 10.1134/S0032816219050173.
912	<b>Чернусов Ю.Д., Шеболаев И.В., Икрянов И.М., Болотов В.А., Танашев Ю.Ю., Медведев Л.Э., Воскобойников Р.В.</b> Сверхвысокочастотный генератор на основе магнетрона бытовой печи // Приборы и техника эксперимента. - 2019. - № 6. - С. 126-127. - Библиогр.: 3 назв.
913	<b>Шкуринов А.П., Балакин А.В., Котельников И.А., Макаров В.А., Солянкин П.М.</b> Нелинейная ТГц фотоника жидкостей // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2019", Новосибирск, 27-31 мая 2019 г. : тезисы докладов. - Новосибирск : ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, 2019. - С. 45. - Библиогр.: 3 назв. - DOI 10.34077/RCSP2019-45.
914	<b>Назьмов В.П., Гольденберг Б.Г., Асадчиков В.Е., Бендин С.А., Васильев А.Б., Андреев А.В., Гордиенко В.М., Коновко А.А., Потемкин Ф.В.</b> Приповерхностные субмикроструктуры для эффективного детектирования и генерации гармоник излучения среднего ИК-диапазона // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2019", Новосибирск, 27-31 мая 2019 г. : тезисы докладов. - Новосибирск : ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, 2019. - С. 18. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.34077/RCSP2019-18.
915	<b>Кузнецов С.А., Гельфанд А.В., Федорин В.Н., Аржанников А.В., Николаев Н.А.</b> Функциональные оптические элементы и устройства терогерцовой фотоники на основе металлоповерхностей // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2019", Новосибирск, 27-31 мая 2019 г. : тезисы докладов. - Новосибирск : ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, 2019. - С. 84. - DOI 10.34077/RCSP2019-84.
916	<b>Феклистов, К. В. Гуляев А.В., Лемзяков А.Г.</b> Фотолуминесценция эрбия в $\text{In}_2\text{O}_3$ // Российская конференция и школа молодых ученых по актуальным проблемам полупроводниковой фотозлектроники (с участием иностранных ученых) "ФОТОНИКА 2019", Новосибирск, 27-31 мая 2019 г. : тезисы докладов. - Новосибирск : ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, 2019. - С. 170. - Библиогр.: 5 назв. - DOI 10.34077/RCSP2019-170.
917	<b>Pestov A., Zemlyakova E., Samokhin A.G., Korel A., Tkachenko V.O., Kuznetsov V., Nesterov D., Larionov P.</b> Formation of carboxyalkyl chitosans based hydrogel materials for regenerative medicine products // MedChemRussia 2019: 4th Russian Conference on Medicinal Chemistry with international participants, Ekaterinburg, 10-14 June 2019 : Abstract book. - Екатеринбург : УрО РАН, 2019. - P. 95. - Bibliogr.: 2 ref.
918	<b>Zemlyakova E., Pestov A., Samokhin A.G., Korel A., Tkachenko V.O., Kuznetsov V., Nesterov D., Larionov P.</b> Preparation of poly(trimethylene carbonate) based hydrogel materials for regenerative medicine products // MedChemRussia 2019: 4th Russian Conference on Medicinal Chemistry with international participants, Ekaterinburg, 10-14 June 2019 : Abstract book. - Екатеринбург : УрО РАН, 2019. - P. 309. - Bibliogr.: 2 ref.
919	<b>Arzhannikov A., Bedenko S., Shmakov V., Knyshev V., Lutsik I., Prikhodko V., Shamanin I.</b> Gas-cooled thorium reactor at various fuel loadings and its modification by a plasma source of extra neutrons // Nuclear Science and Techniques. - 2019. - Vol. 30, Is. 12. - Art.nr 181. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1007/s41365-019-0707-y.
920	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of the Leptonic Decay $D^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 21. - Art.nr 211802. - Bibliogr.: 37 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.211802.
921	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Search for the Lepton-Flavor-Violating Decays $B^0_s \rightarrow \tau^\pm \mu^\mp$ and $B^0 \rightarrow \tau^\pm \mu^\mp$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 21. - Art.nr 211801. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.211801.
922	<b>Krylova T.A., Chumakov Yu.A., Domarov E.V., Korchagin A.I.</b> Investigation of composite coatings based on the intermetallic matrix Ni3Al with refractory WC inclusions // AIP Conference Proceedings. - 2019. - Vol. 2167: International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2019, Tomsk, Russian Federation, 1-5 October 2019. - Art.nr 020185. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1063/1.5132052.
923	<b>Glukhov I.A., Golkovski M.G., Mairambekova A.M., Khimich M.A., Sharkeev Yu.P.</b> Biocompatible Ti-Nb alloys produced via relativistic electron beam in air atmosphere // AIP Conference Proceedings. - 2019. - Vol. 2167: International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2019, Tomsk, Russian Federation, 1-5 October 2019. - Art.nr 020113. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1063/1.5131980.
924	<b>Sanin A., Belchenko Yu., Popov S., Ivanov A., Gmyrya A., Atlukhanov M., Abdrakhmanov S.</b> Study of continuous wave 33 keV H <sup>-</sup> Beam transport through the low energy beam transport section // Review of Scientific Instruments. - 2019. - Vol. 90, Is. 11. - Art.nr 113323. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1063/1.5128591.
925	<b>Bondar A., Buzulutskov A., Frolov E., Oleynikov V., Shemyakina E., Sokolov A.</b> Electron transport and electric field simulations in two-phase detectors with THGEM electrodes // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. - 2019. - Vol. 943. - Art.nr 162431. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1016/j.nima.2019.162431.
926	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Search for heavy neutral leptons in decays of W bosons produced in 13 TeV pp collisions using prompt and displaced signatures with the ATLAS detector // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 10. - Art.nr 265. - Bibliogr.: 108 ref. - DOI 10.1007/JHEP10(2019)265.
927	<b>Landl N.V., Korolev Yu.D., Geyman V.G., Frants O.B., Argunov G.A., Bolotov A.V., Akimov A.V., Bak P.A.</b> Special Features of Parasitic Current Formation in a Sealed-Off Cold-Cathode Thyatron with Trigger Unit Based On an Auxiliary Glow Discharge // Russian Physics Journal. - 2019. - Vol. 62, Is. 7. - P. 1279-1288. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1007/s11182-019-01845-2.
928	<b>Lee, R. N. Onishchenko A.I.</b> ABJM quantum spectral curve at twist 1: algorithmic perturbative solution // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 11. - Art.nr 18. - Bibliogr.: 131 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2019)018.
929	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Pseudorapidity distributions of charged hadrons in xenon-xenon collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.44$ TeV // Physics Letters B. - 2019. - Vol. 799. - Art.nr 135049. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1016/j.physletb.2019.135049.
930	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for Low-Mass Quark-Antiquark Resonances Produced in Association with a Photon at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 23. - Art.nr 231803. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.231803.

931	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of angular and momentum distributions of charged particles within and around jets in Pb plus Pb and pp collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with the ATLAS detector // Physical Review C. - 2019. - Vol. 100, Is. 6. - Art.nr 064901. - Bibliogr.: 66 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.064901.
932	<b>Serkez S., Trebushinin A., Veremchuk M., Geloni G.</b> Method for polarization shaping at free-electron lasers // Physical Review Accelerators and Beams. - 2019. - Vol. 22, Is. 11. - Art.nr 110705. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.22.110705.
933	<b>Li H., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Garmash A., Krokovny P., Zhilich V., Zhulanov V.</b> Azimuthal asymmetries of back-to-back $\pi^\pm - (\pi^0, \eta, \pi^\pm)$ pairs in $e^+e^-$ annihilation // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 9. - Art.nr 092008. - Bibliogr.: 41 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.092008.
934	<b>Barladyan A.K., Barnyakov A.Y., Blinov V.E., Glukhov S.A., Karnaev S.E., Levichev E.B., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Okunev I.N., Piminov P.A., Shamov A.G., Zhuravlev A.N.</b> Crossing integer spin resonance with conservation of beam polarization // Physical Review Accelerators and Beams. - 2019. - Vol. 22, Is. 11. - Art.nr 112804. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1103/PhysRevAccelBeams.22.112804.
935	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> First observation of the decay $\chi_{cJ} \rightarrow \Sigma^* \bar{p} K^0_s + c.c.$ ( $J=0,1,2$ ) // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 9. - Art.nr 092006. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.092006.
936	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurement of the average very forward energy as a function of the track multiplicity at central pseudorapidities in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 893. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7402-3.
937	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of flow harmonics correlations with mean transverse momentum in lead-lead and proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 12. - Art.nr 985. - Bibliogr.: 49 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7489-6.
938	<b>Astrelin V.T., Vorobyov M.S., Kandaurov I.V., Kurkuchekov V.V.</b> Numerical Modeling of Electron Beams in a Source with a Plasma Cathode and Their Transport in a Magnetic Field // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 11. - P. 1392-1396. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.3103/S1062873819110030.
939	<b>Rakshun Ya.V., Sorokoletov D.S., Darin A.V., Rashchenko S.V., Sharygin V.V., Senin R.A., Gogin A.A.</b> Distribution of Germanium and Other Elements in Samples of the Chelyabinsk Meteorite, Determined via Scanning Synchrotron Radiation X-ray Fluorescence Microanalysis // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 11. - P.1433-1436. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.3103/S1062873819110078.
940	<b>Darin A.V., Babich V.V., Kalugin I.A., Markovich T.I., Rogozin D.Yu., Meidus A.V., Darin F.A., Rakshun Ya.V., Sorokoletov D.S.</b> Geochemical Features of Annual Layers of Bottom Sediments of Freshwater Lakes, Studied via Synchrotron Radiation-Induced XRF Microanalysis // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. - 2019. - Vol. 83, Is. 11. - P. 1437-1440. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.3103/S106287381911008X.
941	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for the production of four top quarks in the single-lepton and opposite-sign dilepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 11. - Art.nr 82. - Bibliogr.: 92 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2019)082.
942	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> ATLAS b-jet identification performance and efficiency measurement with tt events in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 970. - Bibliogr.: 64 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7450-8.
943	<b>Volkov, V. N. Petrov V.M.</b> Numerical Estimation of Beam Break-Up Instability in TESLA Cavities [Electronic resource] // Proceedings of the 19th International Conference on RF Superconductivity (SRF2019), Dresden, 30 June - 5 July 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr THP104. - P. 1180-1183. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-SRF2019-THP104.
944	<b>Trebushinin A., Serkez S., Geloni G., Karabekyan S., Li Y., Tanikawa T., Tomin S., Wolff-Fabris F., Casalbuoni S., Boffo C., Dohlus M., Schneidmiller E., Yurkov M., Zagorodnov I.</b> Super-X: Simulations for Extremely Hard X-Ray Generation With Short Period Superconducting Undulators for the European XFEL [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUP061. - P. 191-194. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-TUP061.
945	<b>Arzhannikov A.V., Sandalov E.S., Sinitzky S.L., Skovorodin D.I., Starostenko A.A., Zaslavsky V.Yu., Ginzburg N.S., Malkin A.M., Peskov N.Yu., Sergeev A.S.</b> Development of Powerful Long-Pulse Terahertz Band FELs Based on Linear Induction Accelerators [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUP021. - P. 91-93. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-TUP021.
946	<b>Shevchenko O.A., Tararyshkin S.V., Getmanov Ya.V., Serednyakov S.S., Bykov E.V., Melnikov A., Fedin M., Veber S.</b> Electronic Modulation of the FEL-Oscillator Radiation Power Driven by ERL [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUP024. - P. 98-101. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-TUP024.
947	<b>Davidyuk I.V., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A.</b> Variable-Period Variable-Pole Number Hybrid Undulator Design for Novosibirsk THz FEL [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr WEP094. - P. 531-534. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-WEP094.
948	<b>Matveev A.S., Davidyuk I.V., Shevchenko O.A., Tcheskidov V.G., Vinokurov N.A.</b> Simulation and Optimization of the Transport Beamline for the NovoFEL RF Gun [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr THP027. - P. 647-650. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-THP027.
949	<b>Kubarev V.V., Getmanov Ya.V., Shevchenko O.A., Jeong Y.U., Bae S.</b> Fine and Hyperfine Structure of FEL Emission Spectra [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUD03. - P. 276-281. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-TUD03.
950	<b>Shevchenko, O. A. Vinokurov N.A.</b> Analytical and Numerical Comparison of Different Approaches to the Description of SASE in High Gain FELs [Electronic resource] // Proceedings of the 39th International Free-Electron Laser Conference (FEL 2019), Hamburg, 26-30 August 2019. - S.I. : JACoW, 2019. - Art.nr TUP023. - P. 94-97. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.18429/JACoW-FEL2019-TUP023.

951	<b>Осинцева, Н. Д. Камешков О.Э., Чопорова Ю.Ю.</b> Запись и восстановление голограмм в системах нарушенного полного внутреннего отражения терагерцового диапазона // VI Международная конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов, Новосибирск, 22-24 октября 2019 г. - Новосибирск : АНО "Инновационный центр Кольцово", 2019. - С. 298-299.
952	<b>Никитин, П. А. Герасимов В.В., Никитин А.К.</b> Поляризатор терагерцового излучения на основе взвешенных углеродных нанотрубок // 12-я Международная конференция "Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации", Москва, 13-16 октября 2019 г. : сборник докладов. - Москва : РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2019. - С. 86-88. - Библиогр.: 8 назв.
953	<b>Глушак, А. А. Жуланов В.В., Аульченко В.М.</b> Модуль сбора данных электромагнитного калориметра Супер С-TAU фабрики // Интеллектуальный потенциал Сибири: 27-я Региональная научная студенческая конференция, Новосибирск, 23-25 сентября 2019 г. : материалы конференции. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - Т. 2. - С. 367-368. - Библиогр.: 1 назв.
954	<b>Глушак, А. А. Жуланов В.В., Аульченко В.М.</b> Разработка прототипа модуля сбора данных электромагнитного калориметра Супер С-TAU фабрики // Интеллектуальный потенциал Сибири: 27-я Региональная научная студенческая конференция, Новосибирск, 23-25 сентября 2019 г. : материалы конференции. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - Т. 3. - С. 339-344. - Библиогр.: 3 назв.
955	<b>Хонина С.Н., Тукмаков К.Н., Дегтярев С.А., Решетников А.С., Павельев В.С., Князев Б.А., Чопорова Ю.Ю.</b> Расчет, изготовление и исследование субволнового аксона для поляризационного преобразования излучения терагерцового диапазона // Компьютерная оптика. - 2019. - Т. 43, № 5. - С. 756-764. - Библиогр.: 44 назв.
956	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the $B^+ c$ meson production fraction and asymmetry in 7 and 13 TeV pp collisions // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 11. - Art.nr 112006. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.112006.
957	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Search for Lepton-Flavor Violating Decays $B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ e^- \bar{\nu}$ // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 24. - Art.nr 241802. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.241802.
958	<b>Lees J. P., Collab. BABAR, Blinov V.E., Buzykaev A.R., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kozyrev E.A., Kravchenko E.A., Onuchin A.P., Serednyakov S.I., Skovpen Yu.I., Solodov E.P., Todyshv K.Yu.</b> Search for $B^- \rightarrow \Lambda \bar{\nu} \nu$ with the BaBar experiment // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 11. - Art.nr 111101. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.111101.
959	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Amplitude Analysis of $B B^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} K^+ K^-$ Decays // Physical review letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 23. - P231802. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.231802.
960	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of Charged Hadron Production in Z-Tagged Jets in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 23. - Art.nr 232001. - Bibliogr.: 52 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.232001.
961	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> Observation of the Semileptonic $D^+$ Decay into the $\bar{K}_1(1270)^0$ Axial-Vector Meson // Physical Review Letters. - 2019. - Vol. 123, Is. 23. - Art.nr 231801. - Bibliogr.: 51 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.231801.
962	<b>Lee, R. N. Onishchenko A.I.</b> $\epsilon$ C-regular basis for non-polylogarithmic multiloop integrals and total cross section of the process $e^+e^- \rightarrow 2(Q\bar{Q})$ // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 84. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)084.
963	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of CP violation in the $B^0_s \rightarrow \Phi\Phi$ decay and search for the $B^0 \rightarrow \phi\phi$ decay // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 155. - Bibliogr.: 60 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)155.
964	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Shtol D., Skovpen Y.</b> Measurement of the differential Drell-Yan cross section in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 59. - Bibliogr.: 46 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)059.
965	<b>Adam, J. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Erratum to: Insight into particle production mechanisms via angular correlations of identified particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV (The European Physical Journal C, (2017), 77, 8, (569), 10.1140/epjc/s10052-017-5129-6) // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 12. - Art.nr 998. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7398-8.
966	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Study of the $B^+ \rightarrow J/\psi^- \Lambda p$ decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 100. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)100.
967	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurements of differential Z boson production cross sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 61. - Bibliogr.: 83 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)061.
968	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for anomalous triple gauge couplings in WW and WZ production in lepton + jet events in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 62. - Bibliogr.: 62 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)062.
969	<b>Acharya, S. Collab. ALICE, Pestov Y.</b> Measurement of prompt $D^0$ , $D^+$ , $D^{*+}$ , and $DS^+$ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - Vol. 2019, Is. 12. - Art.nr 92. - Bibliogr.: 93 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)092.
970	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurements of top-quark pair differential and double-differential cross-sections in the $\ell^+ \ell^-$ channel with pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV using the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 12. - Art.nr 1028. - Bibliogr.: 125 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7525-6.
971	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Measurement of $K^0_s$ and $\Lambda^0$ production in $\tau^+ \tau^-$ dilepton events in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 12. - Art.nr 1017. - Bibliogr.: 100 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7512-y.
972	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Search for bottom-squark pair production with the ATLAS

	detector in final states containing Higgs bosons, b-jets and missing transverse momentum // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 12.</b> - Art.nr 60. - Bibliogr.: 101 ref. - DOI 10.1007/JHEP12(2019)060.
973	<b>Sudnikov, A. Soldatkina E.</b> Review of recent advances and new ideas in development of the open magnetic traps // AIP Conference Proceedings. - 2019. - <b>Vol. 2179:</b> Proceedings of the international conference on advances and applications in plasma physics (AAPP 2019), St. Petersburg, 18-20 September 2019. - Art.nr 020026. - Bibliogr.: 35 ref. - DOI 10.1063/1.5135499.
974	<b>Weins D., Vorobyev V., Chernykh I., Logashenko I.</b> <b>Development of simulation</b> model of HPC system for Super Charm-Tau factory // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - <b>Vol. 1336, Is. 1:</b> 2nd Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, MHD-PP 2019, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation, 10-11 October 2019. - Art.nr 012025. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1336/1/012025.
975	<b>Dudnikova G.I., Chernykh I.G., Chernoshtanov I.S., Vshivkov V.A.</b> <b>Computer simulation</b> of diamagnetic regime in open magnetic trap // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - <b>Vol. 1336, Is. 1:</b> 2nd Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, MHD-PP 2019, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation, 10-11 October 2019. - Art.nr 012013. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1336/1/012013.
976	<b>Lazareva G.G., Arakcheev A.S., Popov V.A., Maksimova A.G.</b> <b>Estimation of the change</b> in the gas flow rate from the surface of a tungsten plate under pulsed heat load // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - <b>Vol. 1336, Is. 1:</b> 2nd Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, MHD-PP 2019, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation, 10-11 October 2019. - Art.nr 012011. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1336/1/012011.
977	<b>Sorokin S.B., Maksimova A.G., Lazareva G.G., Arakcheev A.S.</b> <b>Numerical implementation</b> of the Lamé equation with complex boundary conditions // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - <b>Vol. 1336, Is. 1:</b> 2nd Workshop on Numerical Modeling in MHD and Plasma Physics: Methods, Tools, and Outcomes, MHD-PP 2019, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation, 10-11 October 2019. - Art.nr 012016. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1336/1/012016.
978	<b>Arsentyeva M.V., Barnyakov A.M., Levichev A.E., Nikiforov D.A.</b> <b>Development of the Millimeter-Wave Accelerating Structure</b> // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2019. - <b>Vol. 16, Is. 6.</b> - P. 885-894. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1134/S1547477119060037.
979	<b>Denisov A.P., Bryzgunov M.I., Ivanov A.V., Parkhomchuk V.V., Putmakov A.A., Reva V.B.</b> <b>Compact Electron Gun</b> for High-Voltage Electron Cooling Systems // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2019. - <b>Vol. 16, Is. 6.</b> - P. 876-884. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1134/S1547477119060128.
980	<b>Riabchenko K.K., Pakhomov A.Yu., Rybitskaya T.V., Starostenko A.A.</b> <b>Methods of Dipole Magnet Field Correction</b> // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - <b>Vol. 62, Is. 6.</b> - P. 867-870. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1134/S0020441219060113.
981	<b>Kozlov A.S., Petrov A.K., Malyskin S.B., Shevchenko O.A.</b> <b>Formation of a Nanoscale Graphite Hydrosol</b> under the Influence of Terahertz Laser Radiation // Journal of Surface Investigation. - 2019. - <b>Vol. 13, Is. 6.</b> - P. 1189-1191. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1134/S1027451019060375.
982	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for supersymmetry</b> using Higgs boson to diphoton decays at $\sqrt{s} = 13$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 11.</b> - Art.nr 109. - Bibliogr.: 61 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2019)109.
983	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshev A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> <b>Measurement of the top-quark mass</b> in $t\bar{t} + 1$ -jet events collected with the ATLAS detector in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV // Journal of High Energy Physics. - 2019. - <b>Vol. 2019, Is. 11.</b> - Art.nr 150. - Bibliogr.: 89 ref. - DOI 10.1007/JHEP11(2019)150.
984	<b>Astrelin V.T., Vorobyov M.S., Kozyrev A.N., Sveshnikov V.M.</b> <b>Numerical Simulation of the Operation of a Wide-Aperture Electron Gun with a Grid Plasma Emitter and Beam Output into the Atmosphere</b> // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. - 2019. - <b>Vol. 60, Is. 5.</b> - P. 785-792. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1134/S0021894419050018.
985	<b>Pavelyev V.S., Choporova Y.Y., Osintseva N.D., Tukmakov K.N., Knyazev B.A.</b> <b>Control of transverse mode content and polarization structure of terahertz coherent beams</b> // Computer Optics. - 2019. - <b>Vol. 43, Is. 6.</b> - P. 1103-1108. - Bibliogr.: 29 ref. - DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-6-1103-1108.
986	<b>Knyazev B.A., Gameshkov O.E., Nikitin A.K., Pavelyev V.S., Choporova Y.Y.</b> <b>Feasibility of generating surface plasmon polaritons with a given orbital momentum on cylindrical waveguides using diffractive optical elements</b> // Computer Optics. - 2019. - <b>Vol. 43, Is. 6.</b> - P. 992-1000. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.18287/2412-6179-2019-43-6-992-1000.
987	<b>Дудников, В. Г.</b> Поверхностно-плазменный метод получения пучков отрицательных ионов // Успехи физических наук. - 2019. - <b>Т. 189, № 12.</b> - С. 1315-1351. - Библиогр.: 101 назв. - DOI 10.3367/UFNr.2019.04.038558.
988	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Study of <math>e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta</math> c and evidence for <math>Z_c</math> (<math>3900</math>)<math>\pm</math> decaying into <math>\rho\pi\eta</math> c</b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 100, Is. 11.</b> - Art.nr 111102. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.111102.
989	<b>Ablikim M., Collab. BESIII, Achasov M.N., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B.</b> <b>Search for the decay <math>D^+s \rightarrow p\bar{p}e^+u_c</math></b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 100, Is. 11.</b> - Art.nr 112008. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.112008.
990	<b>Sanin A., Belchenko Yu., Ivanov A., Gmyrya A.</b> <b>Development of continuous wave high voltage negative ion beam injector for tandem accelerator</b> // The Review of scientific instruments. - 2019. - <b>Vol. 90, Is. 12.</b> - Art.nr 123314. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1063/1.5128590.
991	<b>Jia S., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Epifanov D., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Schwartz B., Usov Y., Vinokurova A., Vorobyev V., Zhilich V., Zhulanov V.</b> <b>Observation of a vector charmoniumlike state in <math>e^+e^- \rightarrow D^*s Ds_1(2536)^- + c.c.</math></b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 100, Is. 11.</b> - Art.nr 111103. - Bibliogr.: 40 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.111103.
992	<b>Li Y., Collab. Belle, Aulchenko V., Bobrov A., Eidelman S., Gabyshev N., Garmash A., Krokovny P., Kuzmin A., Matvienko D., Schwartz B., Vinokurova A., Zhilich V., Zhulanov V.</b> <b>Measurements of the branching fractions <math>B(B^- \rightarrow \bar{\Lambda}^0 c \Xi^0 c)</math>, <math>B(B^- \rightarrow \bar{\Lambda}^0 c \Xi(2645)^0)</math> and <math>B(B^- \rightarrow \bar{\Lambda}^0 c \Xi(2790)^0)</math></b> // Physical Review D. - 2019. - <b>Vol. 100, Is. 12.</b> - Art.nr 112010. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.112010.
993	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Blinov V., Shtol D., Skovpen Y.</b> <b>Probing the chiral magnetic wave in pPb and PbPb collisions at <math>\sqrt{s_{NN}}=5.02</math> TeV using charge-dependent azimuthal anisotropies</b> // Physical Review C. - 2019. - <b>Vol. 100, Is. 6.</b> - Art.nr 064908. - Bibliogr.: 43 ref. - DOI 10.1103/PhysRevC.100.064908.
994	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> <b>Search for Physics beyond the Standard Model in Events with Overlapping Photons and Jets</b> // Physical Review Letters. - 2019. - <b>Vol. 123, Is. 24.</b> - Art.nr 241801. - Bibliogr.: 39 ref. - DOI 10.1103/PhysRevLett.123.241801.

995	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for long-lived particles using delayed photons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 11. - Art.nr 112003. - Bibliogr.: 54 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.112003.
996	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Constraints on anomalous HVV couplings from the production of Higgs bosons decaying to tau lepton pairs // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 11. - Art.nr 112002. - Bibliogr.: 74 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.112002.
997	<b>Astreлина К. В., Balakin V. V., Berkaev D. E., Borin V. M., Dorokhov V. L., Emanov F. A., Glukhov S. A., Gornostaev P. B., Kurkin G. Y., Ma X. C., Meshkov O. I., Shashkov E. V., Vorobiev N. V.</b> A study of longitudinal beam dynamics in the injection complex at BINP // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P10027. - Bibliogr.: 16 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/10/P10027.
998	<b>Semenov A., Anashin V., Berkaev D., Dranichnikov A., Koop I., Krasnov A., Rogovsky Yu., Senchenko A., Shatunov P., Shatunov Yu., Shwartz D., Zemlyansky I.</b> Vacuum system of VEPP-2000 accelerator complex // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P10030. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/10/P10030.
999	<b>Ondar S.A., Mikhailenko M.A., Tolochko B.P., Bryazgin A.A., Kotenkov V.I., Korobeynikov M.V.</b> Effect of Ionizing Radiation on the Organic Components of the Bituminous Coal and Its Subsequent Coking // Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya. - 2019. - Vol. 27, Is. 5. - P. 499-504. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.15372/KhUR2019165.
1000	<b>Podaneva L.F., Artemova YE. V., Sidorov K.A., Kalmykov P.I., Korolev K.G., Mikhaylenko M.A., Tolochko B.P., Bryazgin A.A.</b> Influence of Ionizing Radiation on the Properties of Poly-N-methylallyl-5-vinyltetrazole and Energy-Rich Compositions Based on It // Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya. - 2019. - Vol. 27, Is. 5. - P. 512-516. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.15372/KhUR2019167.
1001	<b>Денисов А.П., Брызгунов М.И., Иванов А.В., Пархомчук В.В., Пустьмаков А.А., Рева В.Б.</b> Малоразмерная электронная пушка для высоковольтных систем электронного охлаждения // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". - 2019. - Т. 16, № 6 (225). - С. 666-678. - Библиогр.: 18 назв.
1002	<b>Арсентьева М.В., Барняков А.М., Левичев А.Е., Никифоров Д.А.</b> Разработка ускоряющей структуры миллиметрового диапазона длин волн // Письма в журнал "Физика элементарных частиц и атомного ядра". - 2019. - Т. 16, № 6 (225). - С. 679-691. - Библиогр.: 8 назв.
1003	<b>Храмова Е.П., Чанкина О.В., Сыева С.Я., Костикова В.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.</b> Элементный состав растений Горного Алтая // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 3. - С. 86-96. - Библиогр.: 18 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-3-86-96.
1004	<b>Седельникова Л.Л., Храмова Е.П., Чанкина О.В., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.</b> Использование метода РФА СИ в исследовании экологического состояния техногенной среды в Новосибирской области // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 3. - С. 97-108. - Библиогр.: 19 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-3-97-108.
1005	<b>Сердаков Л.Е., Мурзинцев П.П., Буренков Д.Б., Полянский А.В.</b> О выборе местоположения станций лазерного трекера для установки технологического оборудования // Геодезия и картография. - 2019. - Т. 80, № 11. - С. 22-25. - Библиогр.: 2 назв. - DOI 10.22389/0016-7126-2019-953-11-22-25.
1006	<b>Бродников, А. Ф. Вихарева Н.А.</b> Исследования температурной зависимости теплопроводности конструкционных материалов // Компетентность. - 2019. - № 9-10. - С. 74-77. - Библиогр.: 7 назв.
1007	<b>Nikitin A.K., Khitrov O.V., Gerasimov V.V., Khasanov I.Sh., Ryzhova T.A.</b> In-plane interferometry of terahertz surface plasmon polaritons // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1421: 15th International Conference on Optical Methods of Flow Investigation, OMF1 2019, Moscow, Russian Federation, 24–28 June 2019, Is. 1. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1421/1/012013.
1008	<b>Lazareva G.G., Arakcheev A.S., Popov V.A., Maksimova A.G., Kapina E.S.</b> Calculation of current distribution in tungsten plate under exposure to a pulsed electron beam // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1392: IV International conference "Supercomputer Technologies of Mathematical Modelling", SCTeMM'19, Moscow, 19–21 June 2019, Is. 1. - Art.nr 012043. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1392/1/012043.
1009	<b>Maksimova, A. G. Arakcheev A.S., Lazareva G.G.</b> Numerical model for calculating displacements near a crack // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1392: IV International conference "Supercomputer Technologies of Mathematical Modelling", SCTeMM'19, Moscow, 19–21 June 2019, Is. 1. - Art.nr 012044. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1392/1/012044.
1010	<b>Lazareva G.G., Arakcheev A.S., Maksimova A.G., Popov V.A.</b> Numerical model of evaporation of tungsten in vacuum under high-power transient heating // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1391: 8th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences, IC-MSQUARE, Bratislava, Slovakia, 26-29 August 2019, Is. 1. - Art.nr 012074. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1391/1/012074.
1011	<b>Telnova A.Yu., Minaev V.B., Shchegolev P.B., Bakharev N.N., Shikhovtsev I.V., Varfolomeev V.I.</b> New 50-keV neutral beam injector for the Globus-M2 spherical tokamak // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1400: International Conference PhysicA.SPb/2019, Saint-Petersburg, Russia, 22-24 October 2019, Is. 7. - Art.nr 077015. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1400/7/077015.
1012	<b>Smirnov A., Modestov V., Kirienko I., Lobachev A., Murtazin I., Kudryavtsev A., Filimokhina A., Nemtsev J., Ivantsivskiy M., Listopad A.</b> Analyses and structure integrity estimation of the Upper Vertical Neutron Camera // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - Vol. 1383: XLVI Zvenigorod International Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion, Zvenigorod, Moscow Region, Russian Federation, 18–22 March 2019, Is. 1. - Art.nr 012007. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1088/1742-6596/1383/1/012007.
1013	<b>Galynskii, M. V. Gerasimov R. E.</b> Generalized Sachs Form Factors and the Possibility of Their Measurement in Processes without and with Proton Spin Flip // JETP Letters. - 2019. - Vol. 110, Is. 10. - P. 646-653. - Bibliogr.: 38 ref. - DOI 10.1134/S0021364019220077.
1014	<b>Zhukavin R.Kh., Kovalevskii K.A., Choporova Yu.Yu., Tsyplenkov V.V., Gerasimov V.V., Bushuikin P.A., Knyazev B.A., Abrosimov N.V., Pavlov S.G., Ньберс Н.-В., Shastin V.N.</b> Relaxation Times and Population Inversion of Excited States of Arsenic Donors in Germanium // JETP Letters. - 2019. - Vol. 110, Is. 10. - P. 677-682. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.1134/S0021364019220144.
1015	<b>Maximov, D. Collab. ALICE</b> The ATLAS electron and photon trigger performance in LHC run 2 // CEUR Workshop Proceedings. - 2019. - Vol. 2507: 27th Symposium on Nuclear Electronics and Computing, NEC 2019, Budva, Montenegro, 30 September - 4 October 2019. - P. 459-463. - Bibliogr.: 6 ref.
1016	<b>Byvaltsev V.A., Zavjalov E.L., Kanygin V.V., Kasatova A.I., Kichigin A.I., Razumov I.A., Sycheva T.V., Taskaev S.Y.</b> Cytopathic effects of accelerator-based boron neutron capture therapy on human glioblastoma cells // Siberian Journal of Oncology. - 2019. - Vol. 18, Is. 4. - P. 34-42. - Bibliogr.: 25 ref. - DOI 10.21294/1814-4861-2019-18-4-34-42.

1017	<b>Балаш И.И., Аракчеев А.С., Толочко Б.П., Шарафутдинов М.Р., Шамаков А.Н.</b> Измерение динамики остаточных напряжений в меди после облучения электронным пучком // ЛПШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), Санкт-Петербург, 11-16 марта 2019 г. : тезисы докладов. - Москва : НИЦ "Курчатовский институт", 2019. - С. 48. - Библиогр.: 4 назв.
1018	<b>Вайгель, Л. А.</b> Измерение температуры поверхности вольфрама во время импульсного нагрева лазерным излучением // ЛПШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), Санкт-Петербург, 11-16 марта 2019 г. : тезисы докладов. - Москва : НИЦ "Курчатовский институт", 2019. - С. 49. - Библиогр.: 1 назв.
1019	<b>Казанцев, С. Р. Аракчеев А.С.</b> Измерение динамики дифракции синхротронного излучения на мозаичном монокристалле вольфрама при импульсном нагреве и восстановление динамики распределения деформаций в образце // ЛПШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), Санкт-Петербург, 11-16 марта 2019 г. : тезисы докладов. - Москва : НИЦ "Курчатовский институт", 2019. - С. 52. - Библиогр.: 2 назв.
1020	<b>Строков, И. И. Уфимцев М.А., Холопов М.А.</b> Устройство монохроматора экспериментальной станции «РФА-СИ» // ЛПШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), Санкт-Петербург, 11-16 марта 2019 г. : тезисы докладов. - Москва : НИЦ "Курчатовский институт", 2019. - С. 63.
1021	<b>Черепанов Д.Е., Аракчеев А.С., Бурдаков А.В., Кандауров И.В., Касатов А.А., Куркучев В.В., Лазарева Г.Г., Максимова А.Г., Попов В.А., Руктуев А.А., Шошин А.А., Васильев А.А., Вячеславов Л.Н.</b> Динамика деформации вольфрамовой пластинки, подвергнутой импульсному тепловому воздействию // ЛПШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), Санкт-Петербург, 11-16 марта 2019 г. : тезисы докладов. - Москва : НИЦ "Курчатовский институт", 2019. - С. 162. - Библиогр.: 1 назв.
1022	<b>Кудашкин, Д. В. Шехтман Л.И.</b> Детекторы для изучения быстропротекающих процессов на пучке синхротронного излучения // ЛПШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), Санкт-Петербург, 11-16 марта 2019 г. : тезисы докладов. - Москва : НИЦ "Курчатовский институт", 2019. - С. 225.
1023	<b>Тельнова А.Ю., Шеголев П.Б., Минаев В.Б., Бахарев Н.Н., Варфоломеев В.И., Шиховцев И.В.</b> Подготовка к экспериментам по нейтральной инжекции на сферическом токамаке Глобус-М2 // Тезисы докладов международной конференции «Физика СПБ», Санкт-Петербург, 22-24 октября 2019 г. - СПб. : ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2019. - С. 486-487. - Библиогр.: 5 назв.
1024	<b>Bykov T.A., Kasatov D.A., Koshkarev A.M., Makarov A.N., Porosev V.V., Savinov G.A., Shchudlo I.M., Taskaev S.Yu.</b> A multichannel neutron flux monitoring system for a boron neutron capture therapy facility // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P12002. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/12/P12002.
1025	<b>Anchugov O.V., Zhuravlev A.N., Karnev S.E., Kiselev V.A., Piminov P.A., Shvedov D.A.</b> The Coherent Particle-Oscillation Excitation System at the VEPP-4M Collider // Instruments and Experimental Techniques. - 2019. - Vol. 62, № 5. - P. 599-608. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1134/S0020441219050026.
1026	<b>Shwartz D., Astrelina K., Balakin V., Batrakov A., Belikov O., Berkaev D., Bolkhovityanov D., Emanov F., Frolov A., Gorchakov K., Kasaev A., Kirpotin A., Koop I., Krasnov A., Lebedev N., Levichev E., Lysenko A., Maltseva Yu., Martishkin P., Meshkov O., Motygin S., Murasev A., Muslivets V., Othoyev A., Perevedentsev E., Piminov P., Prosvetov V., Rogovsky Yu., Semenov A., Senchenko A., Shatunov P., Shatunov Yu., Timoshenko M., Vasiliev S., Zemlyansky I., Zharinov Yu., Zhuravlev A.</b> BINP electron-positron facilities [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 01001. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921201001.
1027	<b>Prokhorova, E.</b> Study of the fast calorimeter prototype for the Super Charm-Tau Factory [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 01007. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921201007.
1028	<b>Razuvaev G., Cho Y., Choi S., Han S., Kozyrev E., Petrozhitskiy A., Popov A., Mibe T., Shwartz B., Son Y.</b> Development of the CsI(Tl) Muon Beam Profile Monitor for the Muon g - 2/EDM Experiment at J-PARC [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 01008. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921201008.
1029	<b>Shekhtman, L. Ignatov F., Tayursky V.</b> Simulation of physics background in Super c-tau factory detector [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 01009. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921201009.
1030	<b>Maltsev T. V., Shekhtman L.I., Sokolov A.V., Vadakeppattu V.K.</b> Simulation of different options of the Inner Tracker for Novosibirsk Super Charm-Tau Factory Detector [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 01011. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921201011.
1031	<b>Barnyakov A.Yu., Barnyakov M.Yu., Bobrovnikov V.S., Buzykaev A.R., Bykov A. V., Danilyuk A.F., Katcin A. A., Kononov S.A., Korda D. V., Kravchenko E.A., Kuyanov I.A., Onuchin A.P., Ovtin I.V., Plekhov I.M., Podgornov N. A., Razuvaev G.P., Todyshev K.Yu., Vorobiev V.S.</b> The Super C-τ Factory particle identification system options [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 01012. - Bibliogr.: 30 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921201012.
1032	<b>Shemyakin D.N., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Otboev A.V., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Senchenko A.I., Shatunov Yu.M., Shebalin V.E., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshiev A.A., Tolmachev S. S., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V.</b> Search for the process $e^+e^- \rightarrow D^{*0}(2007)$ with the CMD-3 detector [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 02011. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921202011.
1033	<b>Beloborodov, K. Druzhinin V., Serebnyakov S.</b>

	Isoscalar and Isovector Kaon Form Factors from $e^+e^-$ and $\tau$ Data [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 03006. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921203006.
1034	<b>Kozyrev E.A., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshv A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.V.</b> An amplitude analysis of the process $e^+e^- \rightarrow 4\pi$ in the center-of-mass energy range 900–2000 MeV with the CMD3 detector at the VEPP-2000 $e^+e^-$ collider [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 03008. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921203008.
1035	<b>Botov, A.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ at the SND detector [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 03009. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921203009.
1036	<b>Ignatov F.V., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshv A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.V.</b> Recent results from CMD-3 [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04001. - Bibliogr.: 19 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204001.
1037	<b>Achasov M.N., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Dimova T.V., Druzhinin V.P., Golubev V.B., Kardapoltsev L.V., Kharlamov A.G., Kirpotin A.N., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kupich A.S., Litvinov R.A., Lysenko A.P., Martin K.A., Melnikova N.A., Muchnoi N.Y., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Perevedentsev E.A., Pugachev K.V., Serednyakov S.I., Shatilov D.N., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Shtol D.A., Shwartz D. B., Silagadze Z.K., Skrinisky A.N., Surin I.K., Usov Yu.V., Zemlyansky I.M., Zhabin V.N.</b> Recent results from SND detector at VEPP-2000 collider [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04002. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204002.
1038	<b>Kozyrev E., Solodov E., Druzhinin V., Collab. BABAR</b> Recent BaBar results in light hadron spectroscopy [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04006. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204006.
1039	<b>Erofeev A.L., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Otboev A.V., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Senchenko A.I., Shatunov Yu.M., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshv A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$ in the center-of-mass energy range 1.2–2 GeV with the CMD-3 detector [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04007. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204007.
1040	<b>Semenov A.V., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshv A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.V.</b> Study of the $e^+e^- \rightarrow K_s K_L \pi^0$ process up to 2 GeV with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 collider [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on $e+e-$ Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04008. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204008.
1041	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Search for low mass vector resonances decaying into quark-antiquarkpairs in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV // Physical Review D. - 2019. - Vol. 100, Is. 11. - Art.nr 112007. -24 p. - Bibliogr.: 63 ref. - DOI 10.1103/PhysRevD.100.112007.
1042	<b>Aad G., Collab. ATLAS, Anisenkov A.V., Baldin E.M., Beloborodov K.I., Bobrovnikov V.S., Bogdanchikov A.G., Buzykaev A.R., Kazanin V.F., Kharlamov A.G., Kharlamova T., Maslennikov A.L., Maximov D.A., Peleganchuk S.V., Podberezko P., Rezanova O.L., Soukharev A.M., Talyshv A.A., Tikhonov Yu.A., Zhulanov V.V.</b> Electron and photon performance measurements with the ATLAS detector using the 2015-2017 LHC proton-proton collision data // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P12006. -69 p. - Bibliogr.: 42 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/12/P12006.
1043	<b>Aaij R., Collab. LHCb, Bondar A., Eidelman S., Krokovny P., Kudryavtsev V., Maltsev T., Shekhtman L., Vorobyev V.</b> Measurement of the electron reconstruction efficiency at LHCb // Journal of Instrumentation. - 2019. - Vol. 14. - Art.nr P11023. -20 p. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1088/1748-0221/14/11/P11023.
1044	<b>Sirunyan A.M., Collab. CMS, Barnyakov A., Blinov V., Dimova T., Kardapoltsev L., Skovpen Y.</b> Measurements of triple-differential cross sections for inclusive isolated-photon plus jet events in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV // European Physical Journal C. - 2019. - Vol. 79, Is. 11. - Art.nr 969. -24 p. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1140/epjc/s10052-019-7451-7.
1045	<b>Kuzmichev L., Astapov I., Bezyazekov P., Borodin A., Bruckner M., Budnev N., Chiavasa A., Gress O., Gress T., Grishin O., Dyachok A., Fedorov O., Gafarov A., Garmash A., Grebenyuk V., Grinyuk V., Horns D., Kalmykov N., Kazarina Y., Kindin V., Kiryuhin V., Kokoulin R., Kompaniets K., Korosteleva E., Kozhin V., Kravchenko E., Kryukov A., Lagutin A., Lenok V., Lubsandorzhiyev B., Lubsandorzhiyev N., Mirgazov R., Mirzoyan R., Monkhoev R., Osipova E., Pakharukov A., Pan A., Panasyuk M., Pankov L., Petrukhin A., Poleschuk V., Popesku M., Popova E., Porelli A., Postnikov E., Prosin V., Ptuskin V., Pushnin A., Raikin R., Rubtsov G., Rybov E., Sagan Y., Samoliga V., Semenyev Y., Silaev A., Silaev A., Sidorenkov A., Skurikhin A., Slunicka</b>

	<p><b>M., Sokolov A., Spiering C., Sveshnikova L., Tabolenko V., Tarashansky B., Tkachev L., Tluczykont M., Ushakov N., Vaidyanathan A., Volchugov P., Voronin D., Wischnewski R., Zagorodnikov A., Zurbanov V., Zhurov D., Yashin I.</b>  <b>TAIGA: results and perspectives</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 207: 8th Conference on Very Large Volume Neutrino Telescopes (VLVnT-2018), Dubna, 2-4 October 2018. - Art.nr 03003. - Bibliogr.: 20 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201920703003.</p>
1046	<p><b>Sanfilippo, S. Oleynikov V., Group ReD Working</b>  Recoil Directionality Experiment [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 209: 7th Roma International Conference on Astroparticle Physics (RICAP18), Roma, Italy, 4-7 September 2018. - Art.nr 01031. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201920901031.</p>
1047	<p><b>Korobov A.A., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lysenko A.P., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Othboev A.V., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Senchenko A.I., Shatunov Yu.M., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V.</b>  <b>Study of <math>\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-</math> production with CMD-3 detector at the VEPP-2000 collider</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04009. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204009.</p>
1048	<p><b>Krachkov P. A., Milstein A.I., Rezanova O.L., Shamov A.G.</b>  <b>An extension of BDK event generator</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04010. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204010.</p>
1049	<p><b>Ryzhenenkov A.E., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Othboev A.V., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Talyshev A.A., Tolmachev S. S., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V.</b>  <b>Current status of luminosity measurement with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 collider</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04011. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204011.</p>
1050	<p><b>Tolmachev S. S., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kirpotin A.N., Koop I.A., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.V.</b>  <b>Study of the process <math>e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma</math> with the CMD-3 detector at the <math>e^+e^-</math> collider VEPP-2000</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 04012. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921204012.</p>
1051	<p><b>Solodov E.P., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribovan S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Semenov A.V., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.V.</b>  <b>The NNbar and multihadron production at the threshold at VEPP2000</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 07002. - Bibliogr.: 33 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921207002.</p>
1052	<p><b>Amirkhanov A.N., Fedotov G. V., Gribovan S.S., Logashenko I.B., Popov A. S., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E.</b>  <b>Identification of the <math>e^+e^- \rightarrow n\bar{n}</math> events in CMD-3 detector</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 07006. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921207006.</p>
1053	<p><b>Druzhinin, V. P. Serednyakov S.I.</b>  <b>Measurement of the <math>e^+e^- \rightarrow n\bar{n}</math> cross section with the SND detector at the VEPP-2000 collider</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 07007. - Bibliogr.: 5 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921207007.</p>
1054	<p><b>Achasov M.N., Mo X.H., Muchnoi N.Yu., Nikolaev I.B., Privalov S.A., Zhang J.Y., Collab. Belle</b>  <b>Tau mass measurement at BES-III</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 212: The 12th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2019), Novosibirsk, Russia, 25 February - 1 March 2019. - Art.nr 08005. - Bibliogr.: 6 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921208005.</p>
1055	<p><b>Anisenkov, A. Zhadan D., Logashenko I.</b>  <b>A Web-based control and monitoring system for DAQ applications</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 214: 23rd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2018), Sofia, Bulgaria, 9-13 July 2018. - Art.nr 01049. - Bibliogr.: 8 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921401049.</p>
1056	<p><b>Anisenkov A., Andreeva J., Girolamo A., Paparrigopoulos P., Vedaee A.</b>  <b>CRIC: a unified information system for WLCG and beyond</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 214: 23rd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2018), Sofia, Bulgaria, 9-13 July 2018. - Art.nr 03003. - Bibliogr.: 7 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921403003.</p>
1057	<p><b>Lee C.J., Girolamo A., Elmsheuser J., Buzykaev A., Obreshkov E., Glushkov I., Sun S., Collab. ATLAS</b>  <b>ATLAS Distributed Computing: Its Central Services core</b> [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 214: 23rd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2018), Sofia, Bulgaria, 9-13 July 2018. - Art.nr 03061. - Bibliogr.: 12 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921403061.</p>

1058	<b>Amirkhanov A., Ballestrero S., Brasolin F., Plessis H., Lee C.J., Mitrogeorgos K., Pernigotti M., Pineda A.S., Scannicchio D.A., Twomey M.S.</b> Integrated automation for configuration management and operations in the ATLAS online computing farm [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 214: 23rd International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2018), Sofia, Bulgaria, 9-13 July 2018. - Art.nr 08022. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921408022.
1059	<b>Logashenko I.B., Ignatov F.V., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V. S., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kazanin V.F., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Koop I.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Othoiev A.V., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Senchenko A.I., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Shatunov P.Yu., Shatunov Yu.M., Solodov E.P., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V., Zemlyansky I.M.</b> CMD-3 Overview [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Bibliogr.: 26 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802001.
1060	<b>Dimova T.V., Achasov M.N., Aulchenko V.M., Barnyakov A.Yu., Beloborodov K.I., Berdyugin A.V., Berkaev D. E., Bogdanchikov A.G., Botov A.A., Druzhinin V.P., Ganev E.B., Golubev V.B., Kardapoltsev L.V., Kasaev A.S., Kharlamov A.G., Kirpotin A.N., Koop I.A., Korneev L.A., Korol A.A., Koshuba S.V., Kovrizhin D.P., Kupich A.S., Litvinov R.A., Martin K.A., Melnikova N.A., Muchnoi N.Yu., Obrazovsky A.E., Pakhtusova E.V., Pugachev K.V., Rogovsky Yu. A., Rogozina E. V., Serednyakov S.I., Senchenko A.I., Shtol D.A., Shwartz D. B., Silagadze Z.K., Surin I.K., Usov Yu.V., Vasiljev A.V., Zhabin V.N.</b> Overview of SND hadronic cross section measurements [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 02002. - Bibliogr.: 24 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802002.
1061	<b>Kardapoltsev, L. V. Druzhinin V.P., Kovrizhin D.P.</b> Measurement of the $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$ cross section at SND [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 02005. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802005.
1062	<b>Ignatov F., Logashenko I.B., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V. S., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Korobov A.A., Koop I.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Lukin P. A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Shatunov Yu.M., Solodov E.P., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V.</b> Preliminary results on CMD-3 measurement of $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ cross section [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 02006. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802006.
1063	<b>Botov, A. A.</b> Study of the process $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ at the SND detector [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 02007. - Bibliogr.: 11 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802007.
1064	<b>Fedotov G. V., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V. S., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Ivanov V. L., Karpov S.V., Kasaev A.S., Kazanin V.F., Korobov A.A., Koop I.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Lysenko A.P., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Perevedentsev E.A., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenenkov A.E., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Shatunov Yu.M., Solodov E.P., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Yudin Yu.V., Zemlyansky I.M.</b> Study of the processes $e^+e^- \rightarrow K^+K^- + n\pi$ ( $n = 1,2,3$ ) with the CMD-3 detector at the VEPP-2000 electron-positron collider [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 02008. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802008.
1065	<b>Shwartz, B. Collab. Belle</b> Hadronic Cross Section Measurements at Belle and perspectives for BELLE-II [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 02011. - Bibliogr.: 31 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921802011.
1066	<b>Milstein, A.</b> Nucleon form factors at threshold [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 04003. - Bibliogr.: 28 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921804003.
1067	<b>Epifanov, D.</b> Experimental review of $\tau$ lepton studies at the B factories [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 05001. - Bibliogr.: 27 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921805001.
1068	<b>Shwartz, D. Emanov F., Piminov P.</b> Overview of the BINP accelerator complex [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 218: The 11th International Workshop on e+e- Collisions from Phi to Psi (PhiPsi 2017), Budenheim/Mainz, Germany, 26-29 June 2017. - Art.nr 07001. - Bibliogr.: 17 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921807001.
1069	<b>Barnyakov, A. Collab. Super Charm-Tau Factory</b> The Super Charm-Tau Factory in Novosibirsk [Электронный ресурс] // XXIX International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies - LeptonPhoton2019, Toronto, Canada, 5-10 August 2019. - 2019. - Art.nr 062. - Bibliogr.: 21 ref. - DOI 10.22323/1.367.0062.
1070	<b>Logashenko, I. Collab. CMD-3</b> Measurement of hadronic cross sections at CMD-3 [Электронный ресурс] // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 367: XXIX International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies - LeptonPhoton2019, Toronto, Canada, 5-10 August 2019. - Art.nr PoS(LeptonPhoton2019)161. - Bibliogr.: 18 ref. - DOI 10.22323/1.367.0161.
1071	<b>Fadin, V. S.</b>

	Three-Reggeon cuts in QCD amplitudes [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 222: The XXIV International Workshop «High Energy Physics and Quantum Field Theory» (QFTHEP 2019), Sochi, 22-29 September 2019. - Art.nr 03006. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201922203006.
1072	<b>Prosin V., Astapov I., Bezyazeev P., Borodin A., Bruckner M., Budnev N., Chiavassa A., Dyachok A., Fedorov O., Gafarov A., Garmash A., Grebenyuk V., Gress O., Gress T., Grishin O., Grinyuk A., Horns D., Kalmykov N., Kazarina Y., Kindin V., Kiryuhin S., Kirilenko P., Kokoulin R., Kompaniets K., Korosteleva E., Kozhin V., Kravchenko E., Kuzmichev L., Lagutin A., Lemeshev Y., Lenok V., Lubsandorzhiyev N., Lubsandorzhiyev N., Mirgazov R., Mirzoyan R., Monkhoev R., Osipova E., Pakhorukov A., Pan A., Panasyuk M., Pankov L., Petrukhin A., Poleschuk V., Popesku M., Popova E., Porelli A., Postnikov E., Ptuskin V., Pushnin A., Raikin R., Rjabov E., Rubtsov G., Sagan Y., Samoliga V., Semeny Yu., Sidorenkov A., Silaev A., Silaev A., Skurikhin A., Slunicka M., Sokolov A., Spiering C., Sveshnikova L., Tabolenko V., Tarashansky B., Tkachev L., Tluczykont M., Ushakov N., Voronin D., Wischnewski R., Zagorodnikov A., Zhurov D., Zurbanov V., Yashin I.</b> Cosmic Ray Energy Spectrum derived from the Data of EAS Cherenkov Light Arrays in the Tunka Valley [Электронный ресурс] // EPJ Web of Conferences. - 2019. - Vol. 210: Ultra High Energy Cosmic Rays 2018 (UHECR 2018), Paris, France, 8-12 October 2018. - Art.nr 01003. - Bibliogr.: 22 ref. - DOI 10.1051/epjconf/201921001003.
1073	<b>Huxold L., Buscher M., Engels R., Awwad H., Grigoryev K., Toporkov D., Shestakov Y.</b> A Lamb-Shift Polarimeter for H <sub>2</sub> and D <sub>2</sub> Molecules [Электронный ресурс] // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 346: 23rd International Spin Physics Symposium, Ferrara, Italy, 10-14 September 2018. - Art.nr PoS(SPIN2018)105. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.22323/1.346.0105.
1074	<b>Engels R., Awwad H., Grigoryev K., Huxold L., Buscher M., Engin I., Hutzen A., Ciullo G., Fotyev V., Ivshin K.A., Komarov E., Kotchenda L.M., Kravchenko P., Kravtsov P., Sherman S., Soloviev A.N., Soloviev I.N., Trofimov V., Vasilyev A.A., Vznuzdaev M., Toporkov D., Rachek I., Shestakov Y., Rakitzis T.P., Rakitzis D., Kannis C., Boulogiannis G.</b> Advantages of Nuclear Fusion with Polarized Fuel [Электронный ресурс] // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 346: 23rd International Spin Physics Symposium, Ferrara, Italy, 10-14 September 2018. - Art.nr PoS(SPIN2018)176. - Bibliogr.: 44 ref. - DOI 10.22323/1.346.0176.
1075	<b>Toporkov D.K., Nikolenko D.M., Rachek I.A., Shestakov Yu.V., Yurchenko A.V., Engels R., Huxold L., Buscher M.</b> Status of the Polarized Molecular Source [Электронный ресурс] // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 346: 23rd International Spin Physics Symposium, Ferrara, Italy, 10-14 September 2018. - Art.nr PoS(SPIN2018)178. - Bibliogr.: 13 ref. - DOI 10.22323/1.346.0178.
1076	<b>Корель А.В., Самохин А.Г., Кузнецов В.А., Землякова Е.О., Ткаченко В.О., Пестов А.В.</b> Изучение биосовместимости гелей на основе производных карбоксиалкилхитозанов либо полиалкиленкарбонатов в эксперименте IN VITRO // Гены и клетки. - 2019. - Т. 14, № 4-1 : Материалы IV национального конгресса по регенеративной медицине, Москва, 20-23 ноября 2019 г. - С. 118-119.
1077	<b>Молодин В.И., Мильникова Л.Н., Местерова М.С., Кобелева Л.С., Ненахов Д.А., Пархомчук Е.В., Райнхольд С., Петрожицкий А.В., Пархомчук В.В., Растигеев С.А.</b> Новые данные по хронологии объектов Барабинской неолитической культуры // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. - 2019. - Т. 25. - С. 157-166. - Библиогр.: 14 назв. - DOI 10.17746/2658-6193.2019.25.157-166.
1078	<b>Воронин, Б. А. Анисеев А.В.</b> Анализ работы ассоциации выпускников программы Марии Кюри (Marie Curie Alumini Assosiation) как инструмента ЕС по работе с национальными научными диаспорами // Управление наукой и наукометрия. - 2019. - Т. 14, № 4. - С. 504-522. - Библиогр.: 12 назв. - DOI 10.33873/2686-6706.2019.14-4.504-522.
1079	<b>Lukin, P. Collab. BABAR</b> Recent results on two-photon processes at BaBar [Электронный ресурс] // Frascati Physics Series. - 2019. - Vol. 69: PHOTON 2019 - International Conference on the Structure and the Interactions of the Photon. Satellite Workshop: Photon Physics and Simulation at Hadron Colliders, Frascati, 3-7 June 2019. - P. 49-52. - Bibliogr.: 15 ref.
1080	<b>Shwartz, B. Collab. Belle</b> SuperKEKB and Belle II status, and prospects on two-photon physics [Электронный ресурс] // Frascati Physics Series. - 2019. - Vol. 69: PHOTON 2019 - International Conference on the Structure and the Interactions of the Photon. Satellite Workshop: Photon Physics and Simulation at Hadron Colliders, Frascati, 3-7 June 2019. - P. 175-180. - Bibliogr.: 20 ref.
1081	<b>Telnov, V. I.</b> $\gamma\gamma$ collider with $W\gamma\gamma \leq 12$ GeV based on European XFEL [Электронный ресурс] // Frascati Physics Series. - 2019. - Vol. 69: PHOTON 2019 - International Conference on the Structure and the Interactions of the Photon. Satellite Workshop: Photon Physics and Simulation at Hadron Colliders, Frascati, 3-7 June 2019. - P. 181-187. - Bibliogr.: 16 ref.
1082	<b>Гришина, К. А.</b> Исследование ускоряющей структуры инжектора Сибирского Кольцевого Источника Фотонов // Наука. Технологии. Инновации : сборник научных трудов : в 9 ч., Новосибирск, 2-6 декабря 2019 г. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - Ч. 5. - С. 33-36. - Библиогр.: 6 назв.
1083	<b>Вайгель, Л. А. Аракчеев А.С.</b> Измерение температуры поверхности вольфрама во время импульсного нагрева лазерным излучением // Наука. Технологии. Инновации : сборник научных трудов : в 9 ч., Новосибирск, 2-6 декабря 2019 г. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - Ч. 3. - С. 183-187. - Библиогр.: 1 назв.
1084	<b>Любас, Г. А. Толочко Б.П., Михайленко М.А.</b> IN SITU синтез полиметилметакрилата при помощи синхротронного излучения и его пектрально-люминесцентные свойства // Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам : III Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 75-летию Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, 1-5 октября 2019 : тезисы докладов. - Новосибирск : ИХТТИМ СО РАН, 2019. - С. 196.
1085	<b>Толочко Б.П., Королев К.Г., Михайленко М.А., Брызгин А.А., Поданева Л.Ф., Артемова Е.В., Сидоров К.А., Калмыков П.И.</b> Радиационно-химическая модификация поли- <i>n</i> -метилаллил-5-винилтетразола (МПВТ-А) и композиций на его основе // Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам : III Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 75-летию Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, 1-5 октября 2019 : тезисы докладов. - Новосибирск : ИХТТИМ СО РАН, 2019. - С. 197.
1086	<b>Антонов И.М., Толочко Б.П., Варанд А.В., Михайленко М.А., Смирнов Е.Б.</b> Получение тонких пленок на основе композита полимеров группы метилметакрилата с управляемой плотностью // Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам : III Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 75-летию Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, 1-5 октября 2019 : тезисы докладов. - Новосибирск : ИХТТИМ СО РАН, 2019. - С. 225. - Библиогр.: 1 назв.
1087	<b>Дудин А.Е., Лбова Л.Б., Прайор А., Хоффекер Дж.Ф., Панов В.С., Пархомчук В.В., Холлидэй В.Т.</b> Приложение. Радиометрические даты // Человек и мамонт в палеолите Европы. - Санкт-Петербург : Ars longa, 2019. - Ч. II: Днепр-Донская историко-культурная область. Памяти Михаила Васильевича Аниковича. - С. 235-236. - (Труды Костёнковско-Борщёвской археологической экспедиции ИИМК РАН ; 8/II).

1088	<b>Serdakov L.E., Murzincev P.P., Burenkov D.B., Polyanskiy A.V.</b> On choosing the laser tracker stations location for installation of technological equipment // Geodezia i Kartografiya. - 2019. - Vol. 953, Is. 11. - P.22-25. - Bibliogr.: 2 ref. - DOI 10.22389/0016-7126-2019-953-11-22-25.
1089	<b>Кривенцов В.В., Новгородов Б.Н., Зюзин Д.А., Сороколетов Д.С., Дарьин Ф.А., Барахтаев А.Н., Светохин С.С., Ракшун Я.В., Дарьин А.В.</b> XANES/EXAFS исследование микрочастиц Сихотэ-Алиньского метеорита // Рентгеновские и электронные спектры и химическая связь: материалы XXIII Всероссийской конференции с международным участием, Воронеж, 1-4 октября 2019 г. - Воронеж : ВГУ, 2019. - С. 114.
1090	<b>Кривенцов В.В., Новгородов Б.Н., Зюзин Д.А., Сороколетов Д.С., Дарьин Ф.А., Барахтаев А.Н., Светохин С.С., Ракшун Я.В., Дарьин А.В.</b> Применение комплексных исследований тестовых образцов, для реализации комбинированных методов исследования микрообъектов на СИ // Рентгеновские и электронные спектры и химическая связь: материалы XXIII Всероссийской конференции с международным участием, Воронеж, 1-4 октября 2019 г. - Воронеж : ВГУ, 2019. - С. 115.
1091	<b>Тельнова А.Ю., Щёголев П.Б., Минаев В.Б., Бахарев Н.Н., Варфоломеев В.И., Шиховцев И.В.</b> Подготовка к экспериментам по нейтральной инжекции на сферическом токамаке Глобус-М2 // Тезисы докладов международной конференции «Физика СПб», Санкт-Петербург, 22–24 октября 2019 г. - СПб. : ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2019. - С. 486-487. - Библиогр.: 5 назв.
1092	<b>Каныгин В.В., Кичигин А.И., Завьялов Е.Л., Разумов И.А., Симонович А.Е., Таскаев С.Ю.</b> Радиобиологические эффекты пучка ускорительного источника нейтронов в Институте Ядерной Физики им. Г.И. Будкера СО РАН [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2019. - № 6. - С. 183. - Библиогр.: 11 назв. - DOI 10.17513/spno.29498.
1093	<b>Filimonov V.Yu., Loginova M.V., Ivanov S.G., Sitnikov A.A., Yakovlev V.I., Sobachkin A.V., Negodyaev A.Z., Myasnikov A.Yu., Gradoboev A.V., Tolochko V.P., Sharafutdinov M.R.</b> The processes of structure formation in the mechanically activated powder mixture Ti + Al subjected to $\gamma$ -irradiation // XV International Symposium on Self-Propagating High Temperature Synthesis (SHS 2019), Moscow, 16-20 September 2019. - Chernogolovka : IPCP RAS, 2019. - P. 116-118. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.24411/9999-0014A-2019-10042.
1094	<b>Khaptakhanova P.A., Uspenskiy S.A., Kurkin T.S., Zelenetskiy A.N., Taskaev S.Yu.</b> Multifunctional boron nanoparticles: an ecological method of production, properties // XV International Symposium on Self-Propagating High Temperature Synthesis (SHS 2019), Moscow, 16-20 September 2019. - Chernogolovka : IPCP RAS, 2019. - P. 162-164. - Bibliogr.: 4 ref. - DOI 10.24411/9999-0014A-2019-10059.
1095	<b>Гетманов Я.В., Винокуров Н.А., Арбузов В.С., Чернов К.Н., Давидюк И.В., Дейчули О.И., Дементьев Е.Н., Довженко Б.А., Горбачев Я.И., Князев Б.А., Колобанов Е.И., Кондаков А.А., Козак В.Р., Козырев Е.В., Крутихин С.А., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Купер Э.А., Куркин И.В., Куркин Г.Я., Медведев Л.Э., Мотыгин С.В., Овчар В.К., Осипов В.Н., Петров В.М., Пилан А.М., Попик В.М., Репков В.В., Саликова Т.В., Шевченко О.А., Щеглов М.А., Седяров И.К., Середняков С.С., Скринский А.Н., Тарарышкин С.В., Трибендис А.Г., Ческидов В.Г., Воблый П.Д., Волков В.Н.</b> Новосибирский лазер на свободных электронах // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 11.
1096	<b>Чопорова Ю.Ю., Азаров И.А., Вебер С.Л., Герасимов В.В., Горбачев Я.И., Жукавин Р.Х., Камешков О.Э., Гетманов Я.В., Князев Б.А., Кубарев В.В., Кулипанов Г.Н., Никитин А.К., Павельцев В.С., Пельтек С.Е., Петров А.К., Попик В.М., Саликова Т.В., Щеглов М.А., Середняков С.С., Чесников Е.Н., Шастин В.Н., Шевченко О.А., Винокуров Н.А.</b> Обзор работ на экспериментальных станциях на Новосибирском ЛЭС // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 12.
1097	<b>Павельцев В.С., Агафонов А.Н., Тукмаков К.Н., Князев Б.А., Чопорова Ю.Ю.</b> Оптические элементы для управления пучками терагерцового лазера // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 26-27. - Библиогр.: 9 назв.
1098	<b>Камешков, О. Э. Князев Б.А., Котельников И.А.</b> Дифракция пучков с орбитальным угловым моментом на периодических решетках в терагерцовом диапазоне // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 36-37.
1099	<b>Князев Б.А., Осинцева Н.Д., Павельцев В.С., Тукмаков К.Н., Чопорова Ю.Ю.</b> Управление модовым составом терагерцового излучения Новосибирского лазера на свободных электронах с помощью дифракционных оптических элементов // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 37-38. - Библиогр.: 6 назв.
1100	<b>Логачев П.В., Бак П.А., Живанков К.И., Кенжебулатов Е.К., Садалов Е.С., Сеницкий С.Л., Сквородин Д.И.</b> Исследование возбуждения собственных электромагнитных колебаний в ускорительных модулях линейного индукционного ускорителя // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 60-61. - Библиогр.: 1 назв.
1101	<b>Песков Н.Ю., Аржанников А.В., Гинзбург Н.С., Заславский В.Ю., Калинин П.В., Садалов Е.С., Сергеев А.С., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д.</b> Разработка мощного генератора поверхностной волны на основе сильноточного ленточного релятивистского электронного пучка // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 72-74. - Библиогр.: 3 назв.
1102	<b>Аржанников А.В., Анненков В.В., Иванов И.А., Касатов А.А., Кузнецов С.А., Макаров М.А., Меклер К.И., Полосаткин С.В., Ровенских А.Ф., Самцов Д.А., Сеницкий С.Л., Степанов В.Д., Тимофеев И.В.</b> Спектральный состав мегаваттного потока субмиллиметрового излучения, выходящего вдоль оси замагниченного плазменного столба при релаксации в нем килоамперного РЭП // XI Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, 25-28 февраля 2019 г. : тезисы докладов. - Н. Новгород : ИПФ РАН, 2019. - С. 77-78. - Библиогр.: 4 назв.
1103	<b>Knyazev V., Choporova Y., Kameshkov O., Nikitin A., Osintseva N., Pavelyev V.</b> Prospects for the application of vortex beams of mid- and far-infrared ranges in surface plasmonics [Электронный ресурс] // The 27th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'19), Prague, Czech Republic, 15-20 September 2019 : book of abstracts. - Moscow : Center of Laser Technology and Material Science, 2019. - Art.nr LMI-I-16. - P. 28-29. - Bibliogr.: 9 ref. - DOI 10.24411/9999-011A-2019-00022.
1104	<b>Solyankin P., Shkurinov A., Knyazev V., Kameshkov O.</b> Reconfigurable terahertz optics made of thin films with phase transition [Электронный ресурс] // The 27th International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'19), Prague, Czech Republic, 15-20 September 2019 : book of abstracts. - Moscow : Center of Laser Technology and Material Science, 2019. - Art.nr THz-O-5. - P. 217. - Bibliogr.: 2 ref. - DOI 10.24411/9999-011A-2019-00175.
1105	<b>Petrov D.V., Garmashev A.Yu., Dolgikh S.M., Smirnov E.B., Prueel E.R., Ten K.A., Kashkarov A.O., Tolochko V.P., Badretdinova L.Kh.</b> Synchronous diagnostics for the processes of twofold shock compression // XXXIV International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter (ELBRUS 2019), Elbrus, Kabardino-Balkaria, 1-6 March 2019 : book of abstracts. - Chernogolovka : IPCP RAS, 2019. - P. 108.

1106	<b>Ten K.A., Prueel E.R., Rubtsov I.A., Arakcheev A.S., Tolochko B.P.</b> The project station “Fast Processes” based on the Siberian Ring Source of Photons // XXXIV International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter (ELBRUS 2019), Elbrus, Kabardino-Balkaria, 1-6 March 2019 : book of abstracts. - Chernogolovka : IPCP RAS, 2019. - P. 109.
1107	<b>Глинский В.В., Тимофеев И.В., Анненков В.В., Аржанников А.В.</b> Численное моделирование электромагнитной эмиссии при инжекции электронного пучка в плазму с сильными поперечными градиентами плотности // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 4. - С. 5-16. - Библиогр.: 21 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-5-16.
1108	<b>Труфанов Д.Ю., Зобов К.В., Бардаханов С.П., Завьялов А.П., Чакин И.К.</b> Применение метода испарения вещества высокоэнергетическим пучком электронов для получения нанопорошка вольфрама // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 4. - С. 17-27. - Библиогр.: 3 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-17-27.
1109	<b>Андышева Е.В., Чапкина О.В., Храмова Е.П., Крестов П.В., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.</b> Сравнительный анализ элементного состава представителей рода Dasiphora из Приморского Края и Республики Бурятия // Сибирский физический журнал. - 2019. - Т. 14, № 4. - С. 103-116. - Библиогр.: 20 назв. - DOI 10.25205/2541-9447-2019-14-4-103-117.
1110	<b>Корнеев В.Н., Шлектарёв В.А., Забелин А.В., Ланина Н.Ф., Толочко Б.П., Вазина А.А.</b> Инструментально-методические разработки для исследования биологических структур с использованием синхротронного излучения // Актуальные вопросы биологической физики и химии. - 2019. - Т. 4, № 2. - С. 259-269. - Библиогр.: 33 назв.
1111	<b>Bagryansky P.A., Korobeynikova O.A., Lizunov A.A., Maksimov V.V., Murakhtin S.V., Prikhodko V.V., Savkin V.Ya., Soldatkina E.I., Solomakhin A.L., Yakovlev D.V.</b> Axial electron conductivity in open magnetic trap // 46th EPS Conference on Plasma Physics, EPS 2019, Milan, 8–12 July 2019. - S.I. : European Physical Society, 2019. - Art.nr P4.1069. - (Europhysics Conference Abstracts ; Vol. 43C). - Bibliogr.: 10 ref.
1112	<b>Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Штарклев Е.А.</b> Высокочастотные промышленные ускорители ИЛУ и их применение // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: сборник статей международной научно-практической конференции, Севастополь, 23-26 сентября 2019 г. - Севастополь : СГУ, 2019. - С. 264-268. - Библиогр.: 11 назв.
1113	<b>Брызгин А.А., Итэсь Ю.В., Коробейников М.В., Леонов С.В., Леонова М.А., Юшков Ю.Г.</b> Экспериментально проверенные возможности электронно-лучевой деконтаминации готовых кормовых смесей для птиц и их ингредиентов // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: сборник статей международной научно-практической конференции, Севастополь, 23-26 сентября 2019 г. - Севастополь : СГУ, 2019. - С. 315-319. - Библиогр.: 7 назв.
1114	<b>Брызгин А.А., Коробейников М.В., Михайленко М.А., Пупков Ю.А., Вихров И.А., Здвижков А.Т.</b> Исследование пределов радиационной стойкости отверждённых смол и композитных материалов // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: сборник статей международной научно-практической конференции, Севастополь, 23-26 сентября 2019 г. - Севастополь : СГУ, 2019. - С. 320-324. - Библиогр.: 9 назв.
1115	<b>Глушак, А. А.</b> Модуль сбора данных регистрирующей электроники электромагнитного калориметра Супер с-т фабрики // Сборник научных трудов ИГТУ. - 2019. - № 3-4. - С. 64-74. - Библиогр.: 15 назв. - DOI 10.17212/2307-6879-2019-3-4-64-74.
1116	<b>Rashchenko, S. V.</b> Synchrotron Radiation in Geoscience: Current State and Future Perspectives // XIX International Meeting on Crystal Chemistry, X-ray Diffraction and Spectroscopy of Minerals. Dedicated to the memory of Academician E.S. Fedorov (1853 – 1919), Apatity, 1-5 July 2019 : Abstracts. - Apatity : Kola Science Center, 2019. - P. 16.
1117	<b>Lubsandorzhev N., Collab. TAIGA, Garmash A., Kirilenko P., Kravchenko E., Sokolov A.</b> The hybrid installation TAIGA: Design, status and preliminary results // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 358: 36th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2019), Madison, United States, 24 July - 1 August 2019. - Art.nr PoS(ICRC2019)729. - Bibliogr.: 19 ref.
1118	<b>Sagan Y., Collab. TAIGA, Garmash A., Kirilenko P., Kravchenko E., Sokolov A.</b> TAIGA observatory: IACT fabrication and tests // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 358: 36th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2019), Madison, United States, 24 July - 1 August 2019. - Art.nr PoS(ICRC2019)776.
1119	<b>Balakin A.V., Shkurinov A.P., Solyankin P.M., Kotelnikov I.A.</b> Terahertz Wave Generation from Liquid Nitrogen // Terahertz Science and Applications 2019 (TSA 2019), Wuhan, China, 11–14 November 2019. - Washington : OSA, 2019. - Art.nr TTu3G.2. - Bibliogr.: 3 ref. - DOI 10.1364/TSA.2019.TTu3G.2.
1120	<b>Дробчик, А. Н. Лемзяков А.Г.</b> Разработка установки для изучения микроструктуры и акустических свойств гидратосодержащих и мерзлых образцов // Трофимукские чтения – 2019: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых, Новосибирск, 7–12 октября 2019 г. - Новосибирск : ИНГГ, 2019. - С. 70-72. - Библиогр.: 3 назв.
1121	<b>Samokhin A., Korel A., Kuznetsov V., Zemlyakova E., Tkachenko V., Nesterov D., Pestov A.</b> Preparation and evaluation of gels based on poly(trimethylene carbonate) for regenerative medicine applications // International conference «Chemistry of Organoelement Compounds and Polymers 2019», Moscow, 18-22 November 2019 : Abstracts. - Moscow : NIOC, 2019. - P. 355. - Bibliogr.: 3 ref.
1122	<b>Levichev, E.</b> Low energy e <sup>+</sup> e <sup>-</sup> collider to search and study of μ <sup>+</sup> μ <sup>-</sup> bound state (dimuonium) // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 5.
1123	<b>Levichev, E.</b> Super Charm-Tau Factory in Novosibirsk // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 5.
1124	<b>Shatilov D., Levichev E., Jensen E., Zimmermann F., Oide K., Benedikt M., Brunner O.</b> The FCC-ee Lepton Collider: Design Status and Operation Concept // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 7.
1125	<b>Longo S., Roney M., Cecchi C., Ferber T., Fodor A., Hearty C., Kuzmin A., Meier F., Miyabayashi K., Nakamura I., Remnev M., Shebalin V., Sibidanov A., Unno Y., Zhulanov V.</b> A new particle identification method with the Belle II calorimeter using pulse shape discrimination in CsI(Tl) // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 123.
1126	<b>Podberezko, P. Collab. ATLAS</b> The ATLAS Electron and Photon Trigger // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 286.
1127	<b>Nishida, S. Vorobyev V.</b> Measurement of cos2beta = cos2phi_1 in B(0) to D(0) h(0) with D to K(0)_S pi(0) pi(0) decays by a time-dependent Dalitz analysis using BaBar and Belle combined data // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 360-361.
1128	<b>Nishida, S. Krokovny P.</b>

	Recent results on charmonium(-like) states and search for pentaquark at Belle // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 372-373.
1129	<b>Anulli, F. Kozyrev E.</b> Study of $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\eta'$ in the double-tag mode at BABAR // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 376.
1130	<b>Nishida, S. Gabyshev N.</b> Recent results on charmed baryons at Belle // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 385.
1131	<b>Logashenko, I. Ivanov V.</b> Measurement of hadronic cross sections at CMD-3 // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 365.
1132	<b>Anulli, F. Todyshev K.</b> Measurement of hadronic cross sections with the BABAR detector // The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018 : Book of abstracts. - 2019. - P. 390-391.
1133	<b>Kozyrev, E. A. Druzhinin V.P.</b> Study of $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\eta'$ in the double-tag mode at BABAR // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 340: The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018. - Art.nr PoS(ICHEP2018)552. - Bibliogr.: 15 ref. - DOI 10.22323/1.340.0552.
1134	<b>Gabyshev, N. Collab. Belle</b> Recent results on charmed baryons at Belle // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 340: The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018. - Art.nr PoS(ICHEP2018)549. - Bibliogr.: 10 ref. - DOI 10.22323/1.340.0549.
1135	<b>Ivanov V. L., Akhmetshin R.R., Amirkhanov A.N., Anisenkov A.V., Aulchenko V.M., Banzarov V.Sh., Bashtovoy N.S., Berkaev D. E., Bondar A.E., Bragin A. V., Eidelman S. I., Epifanov D.A., Epshteyn L.B., Erofeev A.L., Fedotov G. V., Gayazov S. E., Grebenuk A.A., Gribov S.S., Grigoriev D.N., Ignatov F.V., Karpov S.V., Kazanin V.F., Koop I.A., Kirpotin A.N., Korobov A.A., Kozyrev A.N., Kozyrev E.A., Krokovny P.P., Kuzmenko A.E., Kuzmin A.S., Logashenko I.B., Lukin P. A., Mikhailov K.Yu., Okhapkin V.S., Othoiev A.V., Pestov Yu.N., Popov A. S., Razuvaev G.P., Rogovsky Yu. A., Ruban A.A., Ryskulov N. M., Ryzhenkov A.E., Senchenko A.I., Shatunov Yu.M., Shatunov P.Yu., Shebalin V.E., Shemyakin D.N., Shwartz B.A., Shwartz D. B., Sibidanov A.L., Solodov E.P., Titov V.M., Talyshev A.A., Vorobiov A.I., Zemlyansky I.M., Yudin Yu.N.</b> Measurement of hadronic cross sections at CMD-3 // Proceedings of Science. - 2019. - Vol. 340: The 39th International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018), Seoul, Korea, 4-11 July 2018. - Art.nr PoS(ICHEP2018)647. - Bibliogr.: 14 ref. - DOI 10.22323/1.340.0647.
1136	<b>Solodov, E. P. Collab. CMD-3, Collab. SND</b> Recent results from the VEPP2000 e+e- Collider // Proceedings of the 54th Rencontres de Moriond. 2019 QCD and High Energy Interactions, La Thuile, Aosta Valley, Italy; 23 - 30 March 2019. - Paris : ARISF, 2019. - P. 167-170. - Bibliogr.: 28 ref.

**Соглашения о сотрудничестве между ИЯФ  
и зарубежными лабораториями**

Название лаборатории		Область сотрудничества	Год	Координатор(ы)
№	1	2	3	4
1	<i>Daresbury</i> <i>Англия</i>	Генерация и использование СИ.	1977	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>И. Мунро (Daresbury)</i>
2	<i>BESSY</i> <i>Германия</i>	Создание вигглеров для BESSY-2.	1993	<i>Н. Мезенцев (ИЯФ);</i> <i>Э. Яшке (BESSY)</i>
3	<i>Иссл. центр</i> <i>Россендорф</i> <i>(Германия)</i>	Физические исследования источника нейтронов на базе магнитной ловушки.	1994	<i>А. Иванов (ИЯФ);</i> <i>К. Ноак (Германия)</i>
4	<i>Ядерный центр</i> <i>"Карлсруэ"</i> <i>(Германия)</i>	1. Разработка концептуального проекта и базы данных для нейтронного источника на основе ГДЛ. 2. Моделирование процессов в диверторе ИТЕР.	1994	<i>А. Иванов,</i> <i>А. Бурдаков (ИЯФ);</i> <i>Г. Кесслер (Германия)</i>
5	<i>GSI</i> <i>(Германия)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, электронные коллайдеры.	1995	<i>Ю. Шатунов,</i> <i>В. Пархомчук (ИЯФ);</i> <i>Х. Эйкхоф (GSI)</i>
6	<i>DESY</i> <i>(Германия)</i>	Физика элементарных частиц, синхротронное излучение, физика и технология ускорителей, электроника и экспериментальное оборудование.	1995	<i>А. Скринский,</i> <i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>А. Вагнер,</i> <i>К. Шерф (DESY)</i>
7	<i>CIEMAT</i> <i>(Испания)</i>	Ускорительные технологии и физика плазмы.	2007	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>Ж. Рубио (CIEMAT)</i>
8	<i>CELLS</i> <i>(Испания)</i>	Сотрудничество в области использования нового оборудования для источников СИ.	2008	<i>Е. Левичев (ИЯФ),</i> <i>Джоан Бордас</i> <i>и Орпинелл (CELLS)</i>
9	<i>INFN</i> <i>(Италия)</i>	Разработка интенсивного источника радиоактивных ионных пучков для экспериментов по физике ядра.	1984	<i>П. Логачев (ИЯФ);</i> <i>Л. Теккио (INFN)</i>
10	<i>Унив. Милана</i> <i>(Италия)</i>	Теоретические и численные исследования динамического хаоса в классической и квантовой механике.	1991	<i>А. Скринский (ИЯФ);</i> <i>Т. Монтегацца,</i> <i>Дж. Казати (Италия)</i>
11	<i>INFN-LNF</i> <i>(Италия)</i>	Разработка проекта коллайдера DAFNE-II	2004	<i>Е. Левичев (ИЯФ);</i> <i>С. Бискари (INFN-LNF)</i>
12	<i>Унив. Падуи</i> <i>(Италия)</i>	Разработка криогенных детекторов для экспериментов по физике нейтрино.	2008	<i>А. Бондарь (ИЯФ);</i> <i>А. Гудлиелми (Италия)</i>
13	<i>Национальный</i> <i>ядерный центр.</i> <i>Парк ядерных</i> <i>технологий</i> <i>(Казахстан)</i>	Разработка и использование промышленных ускорителей, генерация и использование нейтронных пучков, разработка источников СИ, ВЧ-генераторов.	2007	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>К. Кадыржанов,</i> <i>А. Кусаинов</i> <i>(Казахстан)</i>
14	<i>Национальный</i> <i>ядерный центр.</i> <i>Национальный</i> <i>университет</i> <i>им. Аль-Фараби</i> <i>(Казахстан)</i>	Создание и развитие многоцелевого научно-исследовательского комплекса радиационных технологий и терагерцового излучения.	2009	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ);</i> <i>К. Кадыржанов,</i> <i>Б. Жумагулов</i> <i>(Казахстан)</i>

15	<i>Институт современной физики, Ланчжоу (КНР)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: электронное охлаждение, ВЧ-системы.	2000	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); С. Янг (КНР)</i>
16	<i>Компания Воер, г. Шеньжень (КНР)</i>	Использование электронного ускорителя ИЛУ-10, обмен специалистами, информацией и экспериментальным оборудованием.	2005	<i>А. Брызгин (ИЯФ); Лео Ли (КНР)</i>
17	<i>SINAP (КНР)</i>	Исследования в области промышленных электронных ускорителей.	2006	<i>А. Брызгин (ИЯФ); Ху Хонкью (КНР)</i>
18	<i>ИНЕР (КНР)</i>	Работа китайских учёных на установках ИЯФ, работа учёных из ИЯФ на установках ИНЕР.	2007	<i>А. Скринский (ИЯФ); Х. Чен (ИНЕР)</i>
19	<i>Центр кооперации с Россией и Белоруссией пров. Хейлуцзян (КНР)</i>	Обмен информацией о разработках ИЯФ и потребностях китайских предприятий в технологиях и продукции.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Чжан Хун-Вей (КНР)</i>
20	<i>POSTECH (Корея)</i>	Создание ускорителей пучков, дополнительных устройств, эксперименты по СИ.	1992	<i>А. Скринский, Н. Мезенцев (ИЯФ); Х. Ким (POSTECH)</i>
21	<i>KAERI (Корея)</i>	Создание ЛСЭ и ускорителя-рекуператора.	1999	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Б.С. Ли (KAERI)</i>
22	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	1. Измерение магнитной аномалии мюона. 2. Совместные работы по спину.	1991	<i>Дж. Банс, Ю. Шатунов (ИЯФ); С. Озаки (BNL).</i>
23	<i>ANL, Аргонн (США)</i>	1. Эксперименты с поляризованной газовой мишенью. 2. Аппаратура для синхротронного излучения (СИ).	1988 1993	<i>Р. Холт (ANL) Г. Кулипанов, А. Скринский (ИЯФ); Шеной (США)</i>
24	<i>Унив. Питтсбурга (США)</i>	Эксперименты на ВЭПП-2М и $\phi$ -фабрика.	1989	<i>С. Эйдельман, Е. Солодов (ИЯФ); В. Савинов (США)</i>
25	<i>Унив. Дюка (США)</i>	Лазеры на свободных электронах.	1992	<i>Н. Винокуров (ИЯФ); Й. Ву (Duke)</i>
26	<i>BNL, Брукхевен (США)</i>	Сотрудничество по электрон-ионным коллайдерам.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); И. Бен-Зви (США)</i>
27	<i>FERMILAB (США)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей: охлаждение, системы конверсии.	1993	<i>В. Пархомчук (ИЯФ); О. Финли (FERMILAB)</i>
28	<i>FERMILAB (США)</i>	Обмен учёными и инженерами для проведения исследований.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); П. Оддоне (FERMILAB)</i>
29	<i>SLAC, Стэнфорд (США)</i>	Получение субмикронных пучков, получение интенсивных позитронных пучков, разработка элементов В-фабрики, детекторов, ВЧ-генераторов на базе магнитонов.	1994	<i>А. Скринский (ИЯФ); Персис Дрэл (SLAC)</i>
30	<i>Институт физики плазмы АНЧР (Чехия)</i>	Сотрудничество в области исследований по физике плазмы и диагностики плазмы.	2008	<i>А. Иванов (ИЯФ); П. Храска (ЧР)</i>

31	<i>CERN (Швейцария)</i>	1. Научно-исследовательские и конструкторские работы по детекторам для большого адронного коллайдера LHC.  2. Создание элементов комплекса LHC.	1992  1996	<i>А. Бондарь, Ю. Тихонов (ИЯФ); Т. Накада, П. Йенни (CERN) В. Анашин (ИЯФ); Л. Эванс (CERN)</i>
32	<i>Институт Поля Шерера (Швейцария)</i>	Сотрудничество в области физики частиц.	2009	<i>Д. Григорьев (ИЯФ); Д. Месот (Институт Поля Шерера)</i>
33	<i>CERN (Швейцария)</i>	Исследования и развитие технологии микро-структурных детекторов.	2009	<i>Ю. Тихонов (ИЯФ); С. Бертоллуччи (CERN)</i>
34	<i>CERN (Швейцария)</i>	Совместные работы по разработке электрон-позитронных коллайдеров со сверхвысокой светимостью.	2009	<i>Е. Левичев (ИЯФ); С. Маерс (CERN)</i>
35	<i>RIKEN Spring-8 (Япония)</i>	Сотрудничество в области физики ускорителей и синхротронного излучения.	1996	<i>Г. Кулипанов (ИЯФ); Х. Камицубо (Япония)</i>
36	<i>КЕК (Япония)</i>	Проведение исследований в области физики ускорителей и смежных областях, разработка детекторов элементарных частиц.	1995	<i>А. Скринский (ИЯФ); А. Сузуки (КЕК)</i>
37	<i>Центр плазменных исследований Унив. Цукуба (Япония)</i>	Исследования на открытых ловушках.	2007	<i>А. Иванов (ИЯФ); Т. Имай (Япония)</i>

# Научное руководство ИЯФ СО РАН

## Члены Российской академии наук

### Академики:

Диканский Николай Сергеевич  
Кулипанов Геннадий Николаевич  
Логачев Павел Владимирович  
Пархомчук Василий Васильевич  
Скринский Александр Николаевич

### Члены-корреспонденты РАН:

Бондарь Александр Евгеньевич  
Винокуров Николай Александрович  
Тихонов Юрий Анатольевич  
Фадин Виктор Сергеевич  
Шатунов Юрий Михайлович

### Директор:

Логачев Павел Владимирович

### Научный руководитель:

Скринский Александр Николаевич

### Советник РАН:

Кулипанов Геннадий Николаевич

### Учёный секретарь:

Аракчеев Алексей Сергеевич

### Заместители директора по научной работе:

Бондарь Александр Евгеньевич  
Иванов Александр Александрович  
Левичев Евгений Борисович  
Тихонов Юрий Анатольевич

## Ученый совет

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. Академик РАН, председатель                          | Логачев П.В.    |
| 2. Член-корр. РАН                                      | Бондарь А.Е.    |
| 3. Доктор физ.-мат. наук                               | Бурдаков А.В.   |
| 4. Доктор физ.-мат. наук                               | Иванов А.А.     |
| 5. Доктор физ.-мат. наук                               | Левичев Е.Б.    |
| 6. Доктор физ.-мат. наук                               | Мезенцев Н.А.   |
| 7. Академик РАН  | Скринский А.Н.  |
| 8. Член-корр. РАН                                      | Тихонов Ю.А.    |
| 9. учёный секретарь                                    | Аракчеев А.С.   |
| 10. Кандидат тех. наук, председатель проф. организации | Брызгин А.А.    |
| 11. Младший научный сотрудник, председатель СМУ        | Сурин И.К.      |
| 12. Доктор физ.-мат. наук                              | Багрянский П.А. |
| 13. Доктор технических наук                            | Батраков А.М.   |
| 14. Кандидат физ.-мат. наук                            | Беклемишев А.Д. |
| 15. Кандидат физ.-мат. наук                            | Беркаев Д.Е.    |
| 16. Доктор физ.-мат. наук                              | Блинов В.Е.     |
| 17. Член-корр. РАН                                     | Винокуров Н.А.  |
| 18. Кандидат физ.-мат. наук                            | Григорьев Д.Н.  |
| 19. Академик РАН                                       | Диканский Н.С.  |
| 20. Доктор физ.-мат. наук                              | Дружинин В.П.   |
| 21. Кандидат физ.-мат. наук                            | Золотарев К.В.  |

22. Кандидат физ.-мат. наук
23. Доктор технических наук
24. Доктор физ.-мат. наук
25. Кандидат физ.-мат. наук
26. Доктор технических наук
27. Академик РАН
28. Кандидат физ.-мат. наук, доцент
29. Доктор физ.-мат. наук, доцент
30. Доктор физ.-мат. наук
31. Доктор физ.-мат. наук, профессор
32. Член-корр. РАН
33. Кандидат физ.-мат. наук
34. Кандидат физ.-мат. наук
35. Доктор физ.-мат. наук, профессор
36. Кандидат физ.-мат. наук
37. Член-корр. РАН
38. Член-корр. РАН
39. Кандидат физ.-мат. наук
40. Кандидат физ.-мат. наук
41. Кандидат технических наук
42. Доктор физ.-мат. наук

Иванов И.А.  
Колмогоров В.В.  
Кооп И.А.  
Краснов А.А.  
Куксанов Н.К.  
Кулипанов Г.Н.  
Логашенко И.Б.  
Лотов К.В.  
Мешков О.И.  
Мильштейн А.И.  
Пархомчук В.В.  
Пиминов П.А.  
Полосаткин С.В.  
Середняков С.И.  
Старостенко А.А.  
Фадин В.С.  
Шатунов Ю.М.  
Шварц Д.Б.  
Шевченко О.А.  
Шиянков С.В.  
Эйдельман С.И.



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. БУДКЕРА  
Сибирского отделения Российской академии наук

ЕЖЕГОДНЫЙ ОТЧЕТ  
2019

Обложка Е.Д. Бендер

Ответственный за выпуск А.С. Аракчеев  
Работа поступила 26.10.2020 г.

---

Сдано в набор 2.11.2020 г.

Подписано в печать 2.11.2020 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 14 печ.л., 12 уч.-изд.л.

Тираж 130 экз. Бесплатно. Заказ № 11

---

Обработано на РС и отпечатано  
на ротапинтере «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,  
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11