

2017

«НАУКА из первых рук», № 2/3(74)



А. Н. СКРИНСКИЙ

Я узнал об Андрее Михайловиче Будкере и его лаборатории новых методов ускорения в Институте атомной энергии, когда заканчивал 4-й курс физфака МГУ. Пора было решать, куда идти на преддипломную практику. Семья одной моей одногруппницы дружила с профессором И. И. Гуревичем, который и посоветовал мне защищать диплом у Андрея Михайловича.



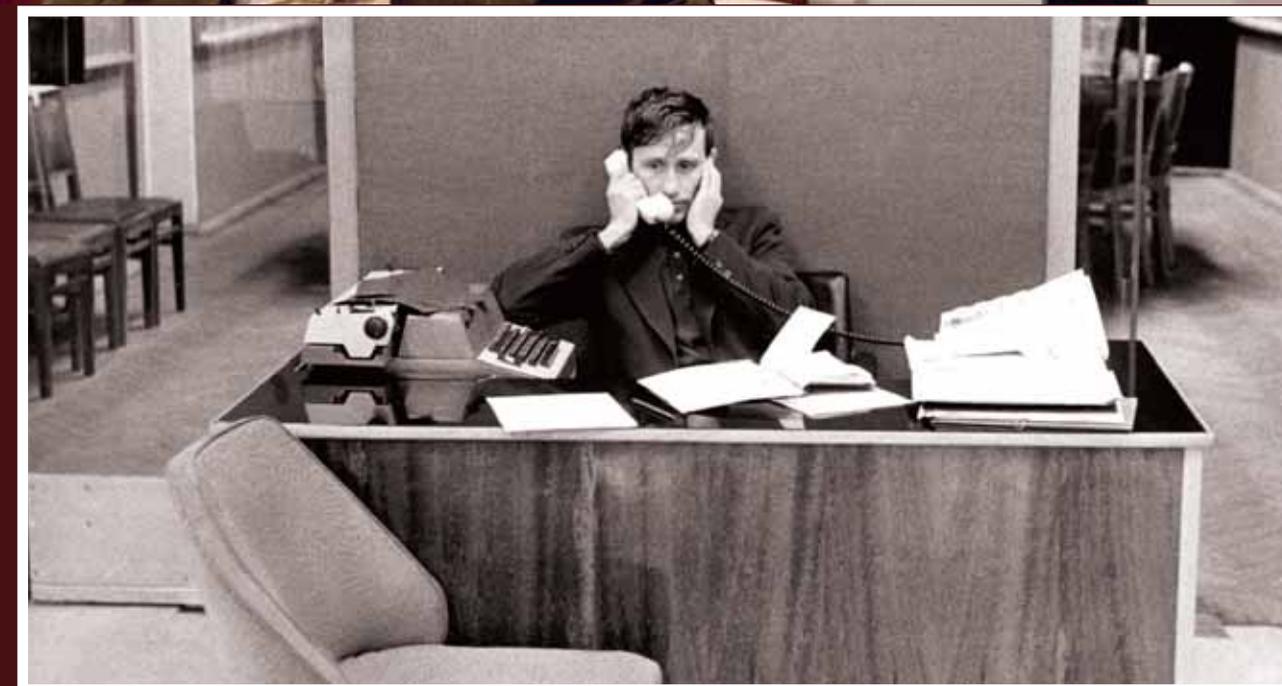
Академик
А. Н. Скринский

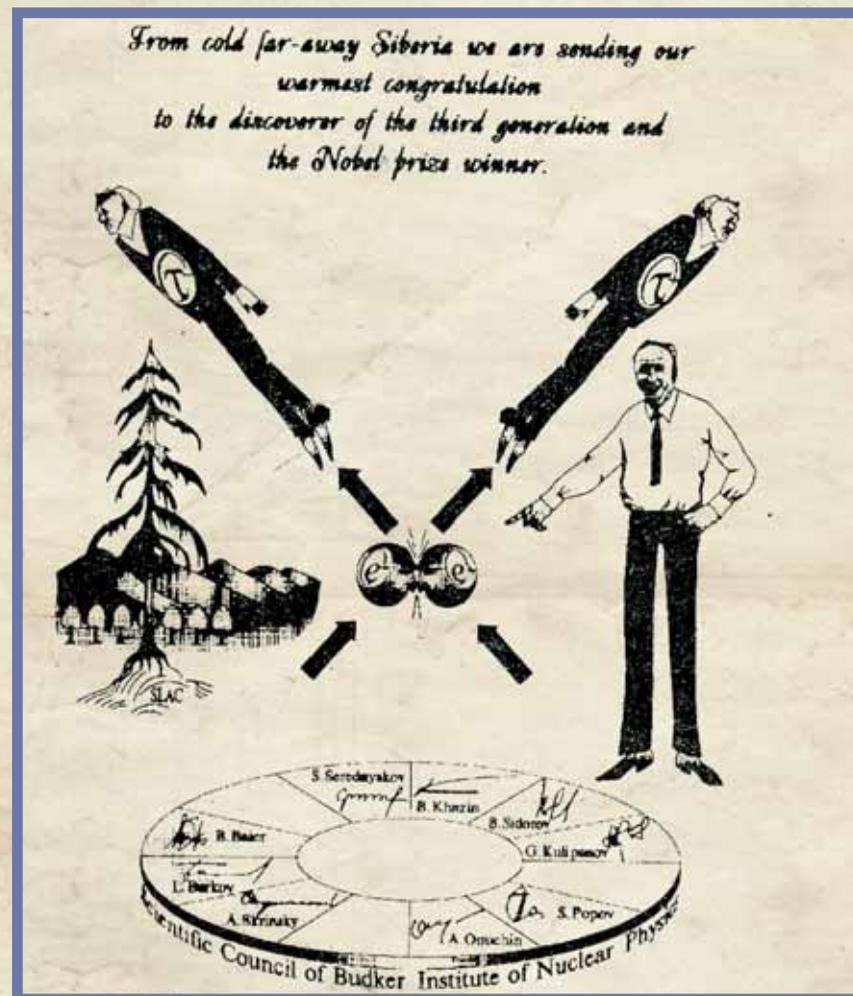
ИЯФ ВЫРОС ИЗ ЛЕСА ВМЕСТО ГРИБОВ

В середине XX в. физики впервые заговорили об ускорителе на встречных пучках. Однако подавляющее большинство ученых всего мира, уверенные в фантастичности этой концепции, встретили ее скептически. Но Андрей Михайлович Будкер, в то время работавший в московском Институте атомной энергии АН СССР, вернулся с Международной конференции по физике высоких энергий, проходившей в Женеве в 1956 г., вдохновленный этой идеей. Была организована группа молодых ученых, которые занялись созданием электрон-электронного ускорителя-коллайдера ВЭП-1. Ускоритель начал строиться еще в Москве, но первые встречные электронные пучки были получены уже в Институте ядерной физики СО АН СССР в Новосибирске

Ключевые слова: Институт ядерной физики, Будкер, ускорители частиц, ВЭП-1, ВЭП-2, Большой адронный коллайдер, ЦЕРН.
Key words: Institute of Nuclear Physics, Budker, particle accelerators, VEP-1, VEPP-2, Large Hadron Collider, CERN

© А. Н. Скринский, 2017



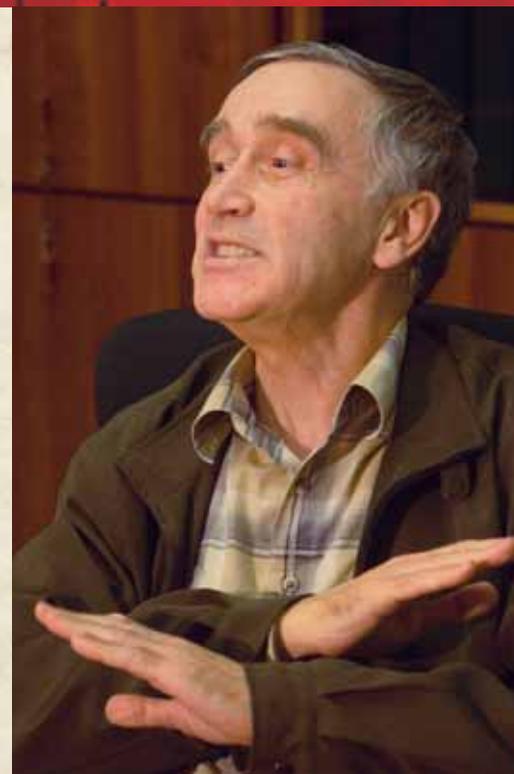


«Из далекой холодной Сибири шлем самые теплые поздравления открывателю третьего поколения лептонов в связи с присуждением Нобелевской премии» – такое поздравление вместе с рисунком Ефима Бендера отправил ученый совет ИЯФ американскому физика Мартину Перлу, открывшему ряд элементарных частиц, включая кварки

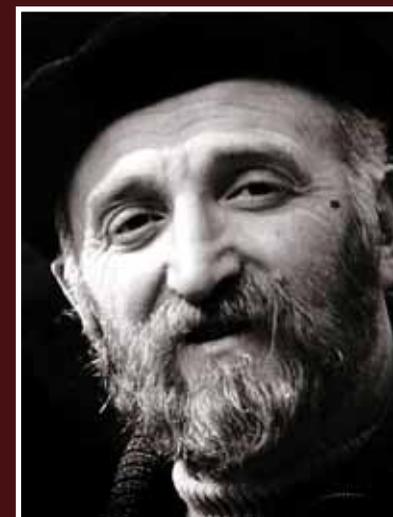
Я решил, что в конце лета пойду на собеседование к Будкеру в его лабораторию, а пока вместе с друзьями отправился в туристический поход на Северный Байкал. Поход был трудным и занял три недели, так что я еле успел на собеседование. Но в лабораторию практикантом меня взяли.

Три месяца я проработал с Борисом Валериановичем Чириковым, а потом Андрей Михайлович пригласил меня в микрогруппу заниматься встречными пучками. Как раз в то время Будкер подбирал молодежь для работы над созданием первого в мире ускорителя на встречных электронных пучках. Так я и еще несколько человек стали активно заниматься всеми задачами, которые пришлось решать при развитии направления встречных пучков.

Тогда за подобную работу – создание ускорителя на встречных пучках – взялся десяток лабораторий по всему миру, но к финишу пришли только мы и Стэнфордский университет.



СКРИНСКИЙ Александр Николаевич – академик РАН, доктор физико-математических наук, научный руководитель Института ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск). Действительный член Американского физического общества и иностранный член Королевской академии наук Швеции. Лауреат Ленинской премии (1967), Государственной премии СССР (1989), Государственной премии РФ (2001), Демидовской премии (1997), а также премий им. Р. Р. Вилсона Американского физического общества и им. А. П. Карпинского (Фонд Топфера, Германия). Награжден золотыми медалями РАН им. В. И. Векслера (1991) и им. П. Л. Капицы (2004), орденами Трудового Красного Знамени (1975), Октябрьской Революции (1982), «За заслуги перед Отечеством» IV степени (1996), «За заслуги перед Отечеством» III степени (2000), «За заслуги перед Отечеством» II степени (2007). Лауреат Государственной премии Российской Федерации (2006). Автор и соавтор более 300 публикаций по физике ускорителей и физике высоких энергий



ВЭП-1 – теперь историческая реликвия и музейный экспонат. Рядом – участники запуска первого ускорителя на встречных пучках (слева направо): Г. Н. Кулипанов, С. Г. Попов, А. Н. Скринский, Г. М. Тумайкин

А. М. Будкер:

«Одна из основных тенденций в развитии современной физики – получение все более и более высоких энергий на ускорителях заряженных частиц, чтобы повысить энергию реакции взаимодействия частиц. Со времен Резерфорда схема таких экспериментов не менялась: пучок быстрых частиц бомбардировал неподвижную мишень. Но эта схема очень неэффективна при высоких энергиях, когда частицы разгоняются до околосветовых скоростей. Масса “частиц-снарядов” при такой скорости резко увеличивается и становится существенно больше массы частиц мишени. Когда тяжелый снаряд ударяет в легкую частицу мишени, то лишь незначительная часть его энергии, полученной такой дорогой ценой, идет на саму реакцию. “Львиная доля” расходуется просто на движение обеих частиц.

Мы решили идти по другому пути: сделать мишень подвижной и сталкивать два пучка частиц, разогнанных до одинаковой энергии. В этом случае массы “снаряда” и “мишени” остаются равными, и они могут всю свою энергию превратить в энергию взаимодействия.

Очень важно, что при скоростях частиц, близких к скорости света, эффект взаимодействия встречных частиц увеличивается не вчетверо, как следовало бы по механике Ньютона, а в значительно большее число раз. Например, при столкновении двух электронов, мчащихся навстречу друг другу с энергией в миллиард электронвольт, эффект взаимодействия оказывается таким же, как у обычного ускорителя на энергию в 4 000 миллиардов электронвольт. Сама по себе идея ускорителей на встречных пучках не нова, и в ней нет никаких научных откровений. Это простое следствие теории относительности Эйнштейна. Многие высказывали эту идею и до нас, но, как правило, пессимистически относились к возможности ее реализации. И это понятно. Ведь плотность “подвижной мишени” – пучка частиц в обычных ускорителях – в сотни миллионов миллиардов (единица с семнадцатью нулями) раз меньше плотности неподвижной мишени. Столкнуть две частицы – задача по сложности примерно такая же, как “устроить” встречу двух стрел, одну из которых выпустил бы Робин Гуд с Земли, а вторую – Вильгельм Телль с планеты, вращающейся вокруг Сириуса. Но выгоды встречных пучков по сравнению с обычными методами столь велики, что мы решили все-таки преодолеть трудности. Для этого потребовалось увеличить плотность пучков и заставить их много раз проходить друг через друга».

Газета «За науку в Сибири». 14 янв. 1970 г.



Г. И. Будкер
и И. В. Курчатов
(стоят слева
направо)
подписывают
важные
документы
в Москве.
1957 г.
Фотоархив
СО РАН



«Андрей Михайлович горит желанием немедленно приступить к осуществлению всех своих идей. Однако идеи слишком сложны, почти фантастичны, а сам он – всего лишь теоретик. И тогда он делает, вероятно, самый важный в своей жизни шаг, очень смелый и необычный, лучше сказать, не шаг, а “прыжок” в неизвестность – он решается возглавить группу энтузиастов, экспериментаторов и инженеров, которые готовы осуществлять его идеи. Андрей Михайлович сделал этот шаг не без внутренних колебаний и даже страха, и все-таки он решился, решил вопреки настойчивым советам и увещаниям многих близких друзей. Не имея никакого опыта в организации экспериментальных исследований, но и не скованный традициями, Андрей Михайлович выдвигает свои оригинальные идеи и в этой области: как должен жить и развиваться творческий научный коллектив. Так родилась школа Будкера. Вначале, в 1953 г., это была небольшая группа, всего из 8 человек. Но результаты не заставили себя ждать – уже через несколько лет был создан ускоритель бетатронного типа с током до 100 А, что на два порядка превышало токи лучших ускорителей того времени. Маленькая группа Андрея Михайловича разрастается в одну из самых больших лабораторий (лабораторию новых методов ускорения) Института атомной энергии, а в 1958 г. превращается

в самостоятельный Институт ядерной физики молодого Сибирского отделения Академии наук СССР. И все же создать стабилизированный пучок не удалось – технические трудности оказались непреодолимыми; эта задача еще ждет своего решения в будущем. Андрей Михайлович понял это, вероятно, раньше всех. Что делать? Довольно большой уже коллектив напряженно работает с полной отдачей. Как быть? Куда направить этот поток творческой энергии? И он находит решение – встречные пучки!»

«Памяти академика Будкера», 1978

За горячей наукой – в холодную Сибирь

Совсем скоро Андрей Михайлович настоял на том, чтобы все мы перебрались в Новосибирск. В Москве «поводок» власти, который держал и науку, был коротким, а в Сибири нас ждала большая научная свобода и самостоятельность. И все-таки большая часть лаборатории осталась в Москве, не многие решились на переезд в Сибирь.

К этому времени вернулся в Москву молодой физик Вениамин Сидоров, проработав год в Институте Нильсона Бора. Андрей Михайлович предложил

ему возглавить московскую часть лаборатории, пока он с небольшой группой поедет в Новосибирск за еще не понятными перспективами. На что Сидоров ответил, что не собирается торчать в Москве и заниматься «старьем», когда группа Будкера будет делать передовую науку в Сибири. В конечном счете В. А. Сидоров стал заведующим лабораторией в будущем ИЯФе, а я его заместителем.

Однако далеко не все коллеги разделяли нашу позицию: большинство считали, что мы совершаем большую глупость, ведь в Москве огромные возможности, а мы уезжаем «в лес». Один очень хороший физик и ехидный человек сказал мне: «Собираешься в Новосибирск? С ума сошел. Ну, езжай, а через 2–3 года, когда у вас все загнетса, возвращайся, мы тебя обратно возьмем в институт». Через 3 года мы получили первые встречные пучки, а еще через 15 лет этот коллега приезжал к нам защищать докторскую. Я злорадствовать не стал.

ИЯФ очень быстро стал ведущим центром по физике элементарных частиц в СССР, можно сказать, мы из леса выросли вместо грибов.

Еще во время строительства ВЭП-1 у Будкера появилась идея создать установку с электрон-позитронными встречными пучками, гораздо более сложную и интересную. Будкер отправился к И. В. Курчатову и принес несколько листков «проекта», которые Игорь

Васильевич отослал трем ведущим физикам СССР. Среди них был и академик АН СССР Владимир Иосифович Векслер. Все трое, прочитав эти несколько страниц, дали примерно одинаковые заключения: идея блестящая, но реализовать ее невозможно ни сейчас, ни в будущем. Андрей Михайлович повесил голову, а Курчатов, погладив свою знаменитую бороду, сказал: «Ну, теперь давай готовить постановление ЦК и Совету министров». Игорю Васильевичу было важно, что идею оценили как интересную, а вопрос реализации для него стоял на втором месте. Курчатов не побоялся сделать ставку не на высококлассных физиков, а на группу «зеленых» ученых-энтузиастов (старшие из нас лишь несколько лет как окончили университет, а самому Будкеру тогда было всего 37 лет).

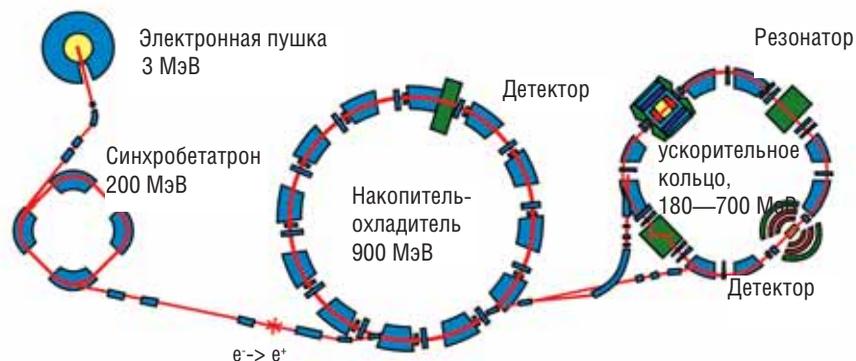
Так лаборатория новых методов ускорения превратилась в Институт ядерной физики Сибирского отделения РАН. Кстати, в будущем только один из рецензентов признал свою неправоту. В. И. Векслер приехал в Новосибирск, когда на ВЭП-1 уже заработали первые пучки, а ВЭП-2 находился в процессе создания. Он своими глазами увидел синхротронное излучение пучков, увидел, как они накапливаются, как

1964 Создан первый ускоритель на встречных пучках ВЭП-1



Первый ускоритель ИЯФ на встречных пучках ВЭП-1

1965 Запущен электрон-позитронный коллайдер ВЭП-2



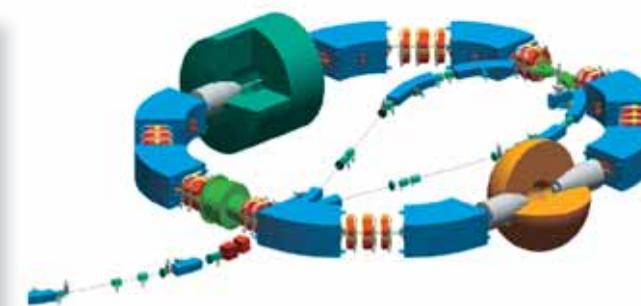
Комплекс ВЭП-2М работал в диапазоне энергий 0,4 —1,4 ГэВ. Максимальная достигнутая светимость — $5 \times 10^{30} \text{ см}^{-2} \times \text{сек}^{-1}$ на энергии 510 МэВ. В 1972 г. заработал новый ускоритель ВЭП-2М. Внизу – поворотный магнит ускорителя ВЭП-2, ставший музейным экспонатом

1971 Построен электрон-позитронный накопитель ВЭП-3



Бустерный синхротрон Б-4, где происходит предварительное ускорение электронных (позитронных) пучков до энергии инжекции (360 МэВ) в накопитель ВЭП-3

1999 Модернизация комплекса ВЭП-2М – комплекс ВЭП-2000



Детектор элементарных частиц СНД в экспериментальном промежутке ускорительного кольца ВЭП-2000



НАУКА из первых рук <https://scfh.ru/papers/iyaf-vyros-vmesto-gribov/>

1979 Введен в эксплуатацию электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4



Празднование рождения ипсилон-мезонов на ускорителе ВЭПП-4. 30 апреля 1982 г.

сжимается их поперечный размер, как растет яркость свечения... С ростом энергии пучки из оранжевых становились голубоватыми, и они жили долго! Владимир Иосифович пришел на круглый стол в ИЯФ и сказал: «Я дал отрицательный отзыв на возможность осуществления ваших проектов, и я был не прав. Поздравляю вас с этим успехом!».

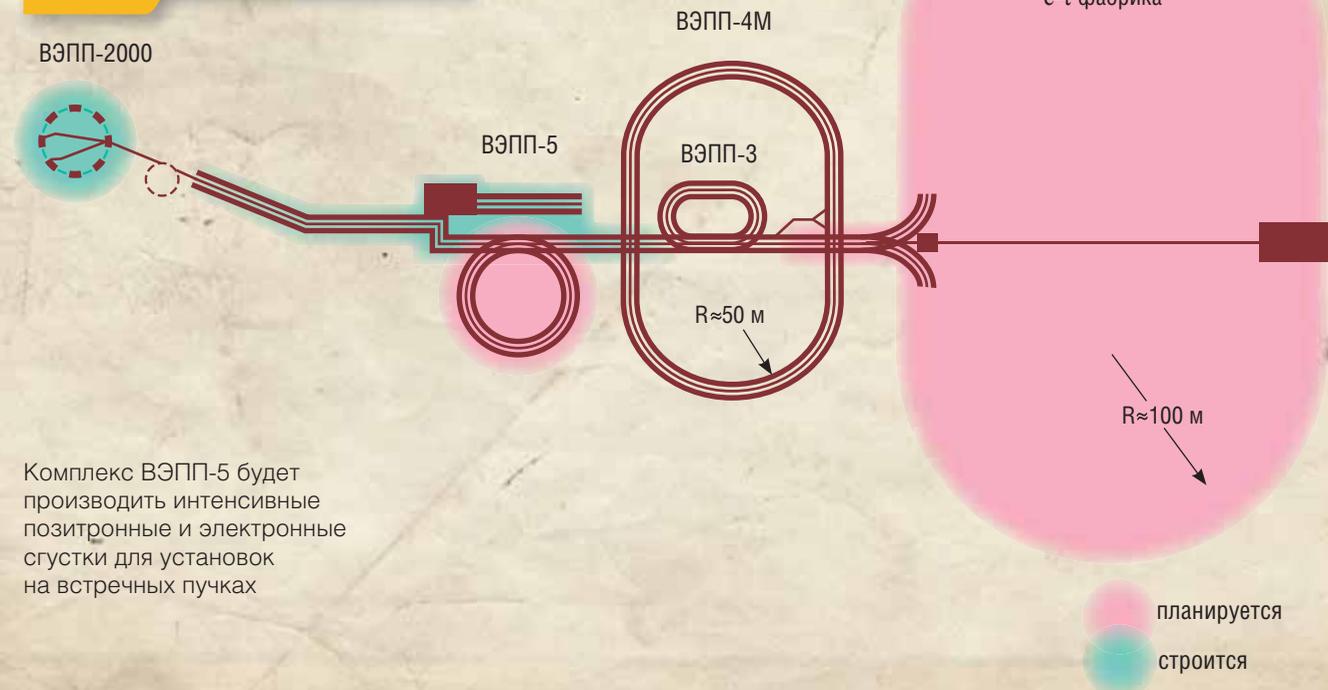
Когда мы получили первые электрон-позитронные пучки, это было что-то невероятное! Описать наши чувства невозможно. Сейчас кажется, что все случилось очень быстро, но тогда мы работали день и ночь, а ощущения, что есть хоть какое-то продвижение, не было. Что-то все время ломалось, приходилось переделывать еще и еще...

В 1967 г. мы получили Ленинскую премию за свои эксперименты со встречными пучками. А годом ранее, в 1966 г., мы с Андреем Михайловичем поехали в США, где посетили все институты и лаборатории, занимающиеся физикой элементарных частиц. Целый месяц мы ездили по стране и рассказывали о поведении пучков в условиях столкновения.

Началась совсем другая жизнь: ИЯФ стал мировым центром ядерной физики, а мы активно начали преподавать в ФМШ, НГУ и НЭТИ. С тех пор 90% наших сотрудников – выпускники этих двух вузов.

на стр. 36

2015 Введена в эксплуатацию первая часть ускорительного комплекса ВЭПП-5



Комплекс ВЭПП-5 будет производить интенсивные позитронные и электронные сгустки для установок на встречных пучках

СИ В ИЯФ

Создание коллайдера-фабрики – это дело будущего, но уже сейчас ввод в эксплуатацию инжекционного комплекса ВЭПП-5 дает возможность повысить производительность работающих сегодня в институте ускорителей. И как следствие – повышение уровня и производительности исследований в очень актуальной области использования синхротронного излучения, которое можно назвать «микроскопом» современной науки. Такие работы в Новосибирском научном центре проводятся в рамках ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения», созданного при ИЯФ, где работают химики, геологи, физики и другие специалисты из различных российских городов. По словам старшего научного сотрудника лаборатории синхротронного излучения к. ф. – м. н. А. Д. Николенко, «наше синхротронное излучение – это мощный современный инструмент для исследований в области химии, биологии, археологии, медицины и других наук. Как это работает? К примеру, в нашем ускорителе на встречных пучках ВЭПП-4 вращается пучок электронов. Его скорость вращения немногим меньше скорости света. Двигаясь по криволинейной траектории в магнитном

поле, пучок становится источником излучения, в котором присутствуют фотоны всевозможных энергий, от инфракрасного до спектрального диапазона. Мы вырезаем из спектра пучка «кусочек», который требуется в конкретном эксперименте, и используем его для исследования различных объектов.

В синхротронном излучении присутствует ультрамягкая рентгеновская компонента, которая не проходит сквозь атмосферу. Поэтому на одной из наших станций – уникальной в стране – мы можем тестировать и калибровать детекторы и оптику спутников, так что наши клиенты иногда называют результаты калибровок «билетом на спутник». Среди направлений работы нашего центра – калибровка аппаратуры для наблюдения за термоядерной плазмой, что очень актуально для создания термоядерной энергетики, и диагностика оборудования для ЭУФ-нанолитографии – способа массового изготовления интегральных схем со сверхмалыми электронными компонентами, где используется экстремальный ультрафиолет».

Источниками синхротронного излучения в институте сейчас служат ускорители ВЭПП-3 (созданный в 1972 г.) и ВЭПП-4М (запущенный в работу в начале 1980-х гг.

и впоследствии модернизированный), на которых также проводятся исследования по физике элементарных частиц. В результате на долю экспериментов с синхротронным излучением приходится лишь около 15% общего времени работы ускорителей. Таким образом, хотя эксперименты с использованием пучков синхротронного излучения ведутся в ИЯФе еще с 1973 г., для этих целей до сих пор (спустя более 40 лет!) используются не слишком яркие источники СИ 1-го поколения, работающие в рентгеновском диапазоне (длина волны от 0,01 до 1 нм) и с энергией пучка 2 или 4 ГэВ.

С запуском в 2003 г. 1-й очереди лазера на свободных электронах, источника мощных пучков терагерцового излучения, исследовательский арсенал института принципиально расширился, однако это не сняло проблемы создания более мощного источника СИ нового поколения, позволяющего проводить работы в рентгеновском диапазоне. Ввод в работу нового инжекционного комплекса ВЭПП-5 означает, что пучки электронов станут интенсивнее, а значит, будет мощнее и излучение, используемое на станциях центра, и ученые смогут улавливать более тонкие эффекты.

По: (Золотарев, Пиминов, 2015)



Большой адронный коллайдер, построенный в ЦЕРНе, имеет длину окружности главного тоннеля 27 км. В одной связке с ним работает целое семейство ускорителей, где частицы последовательно разгоняются до скоростей, предельно близких к скорости света



СХЕМА СКРИНСКОГО

«В начале 1990-х мне, как и всем остальным коллегам по физике высоких энергий, было ясно, что единственный шанс для России остаться на передних рубежах этой науки – равноправное участие в проекте LHC. Конечно, наше государство не могло тогда просто вложить более 100 миллионов долларов из своего бюджета в бюджет ЦЕРНа, как это делали остальные страны. Тогда у меня и родилась нестандартная схема участия России, которая должна была удовлетворить все заинтересованные стороны.

Суть схемы такова: Россия поставляет высокотехнологичное научное оборудование на сумму 150 миллионов долларов по мировым ценам. Российские институты-исполнители соглашаются сделать его за 100 миллионов, которые они получают в равных долях из бюджета ЦЕРНа и бюджета России. В этой схеме всем хорошо: ЦЕРН получает оборудования на «чистых» 100 миллионов как вклад России в проект, Россия за 50 миллионов обеспечивает для своей науки участие в самом амбициозном на сегодня проекте и одновременно поддерживает этими же деньгами свои научные институты, а последние получают хороший заработок и гарантированное участие в будущих экспериментах на комплексе LHC. Несмотря на очевидные плюсы этой

схемы, в то время практически никто не верил, что из этого что-нибудь получится. Представляете, в 1994-м договариваться о том, что мы будем делать в России в следующие 10 лет, в начале 2000-х, да еще с таким изощренным механизмом финансирования!

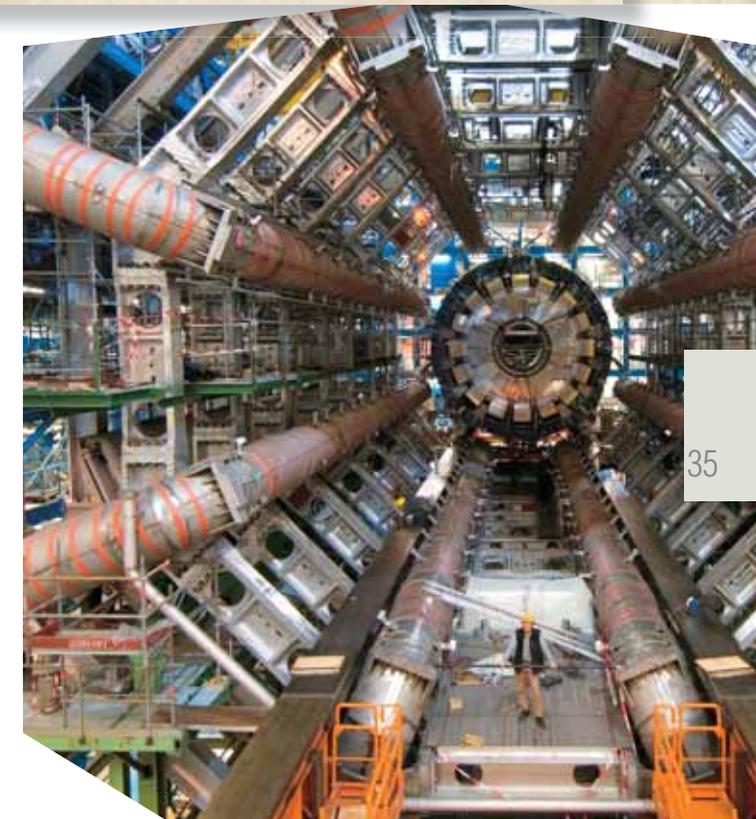
Потребовалось два года для того, чтобы объяснить выгоды для них, выгоды для нас, выгоды для всего научного сообщества. И Министерство науки нас поддержало. Мы организовали комитет «Россия – ЦЕРН», в который входили 5 человек от руководства ЦЕРНа и 5 от России: один из руководителей Министерства атомной энергии и трое из научного сообщества под председательством министра науки. Мы добились специального решения от Совета ЦЕРНа, чтобы он финансировал наши работы. (Европейские коллеги резонно задавали вопросы: почему эти работы должны вести не их центры, не их институты и промышленность?)

Схема (ее так и называют – «схема Скринского») оказалась действенной. Кстати, за все эти годы ни одного похожего предложения от представителей других наук в наше министерство так и не поступило».

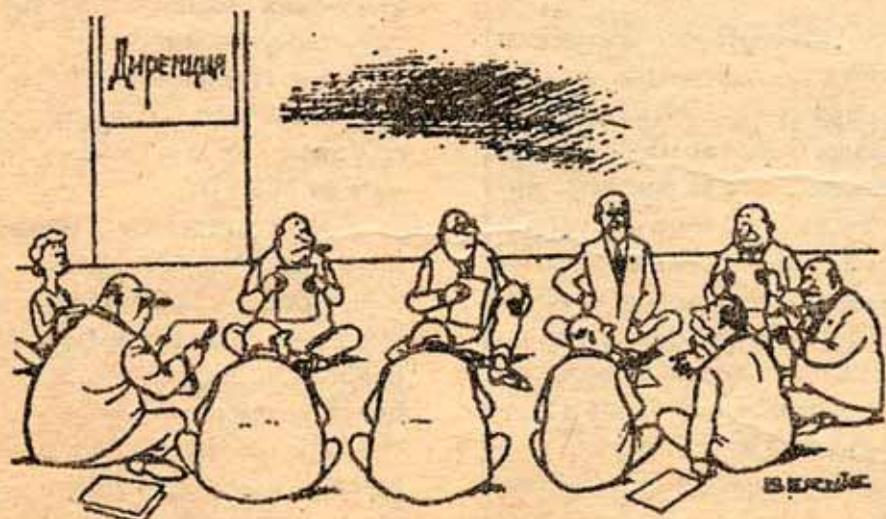
Скринский, 2006

Сотрудники ИЯФ СО РАН разработали, изготовили, установили и наладили 360 дипольных и 180 квадрупольных магнитов для инжекционных каналов коллайдера, сверхвысоковакуумное оборудование, электронный охладитель тяжелых ионов и множество другой высокотехнологичной аппаратуры суммарным весом около 5000 т! На всех уровнях руководящих органов Европейского центра ядерных исследований неоднократно подчеркивалось, что вклад ученых, специалистов, институтов и предприятий России в проработку и реализацию проекта Большого адронного коллайдера исключительно велик. Это касается не только материально-технического обеспечения ряда ключевых позиций, но также использования передовых идей и достижений в физике частиц и технике ускорителей, ранее выдвинутых и развитых нашими учеными. Не случайно две улицы в ЦЕРНе носят имена российских физиков, внесших основополагающий вклад в мировую ускорительную науку, – академиков В. И. Векслера и Г. И. Будкера.

Бондарь, 2009



Политические события, происходящие в России, действительно, наводят на грустные размышления. Но 1 апреля, к счастью, еще по-прежнему остается Днем смеха. И несмотря на то, что всем нам сейчас не до веселья, давайте хотя бы улыбнемся — оптимистам во все времена живется легче.



— Я думаю, вряд ли нам следует продолжать режим экономии...
 «Пари-латч», Франция.

Сделано в ИЯФ

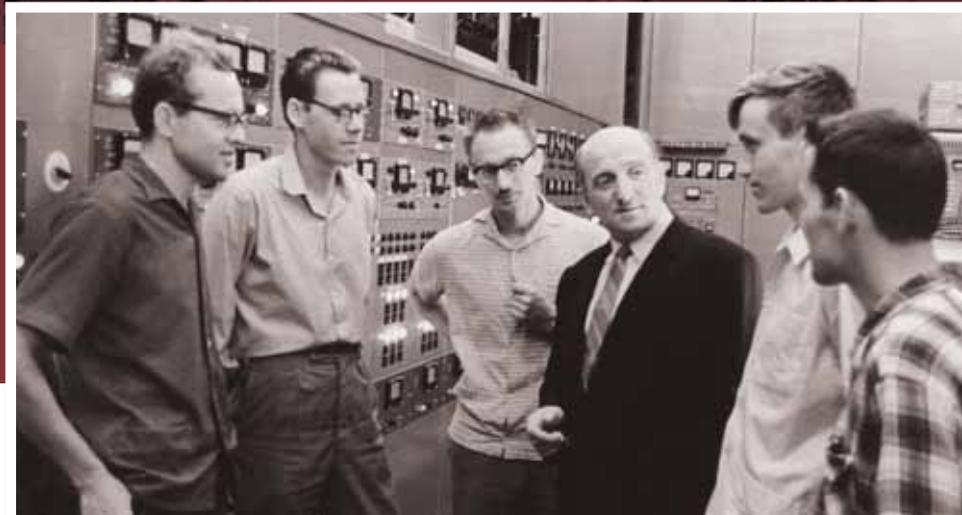
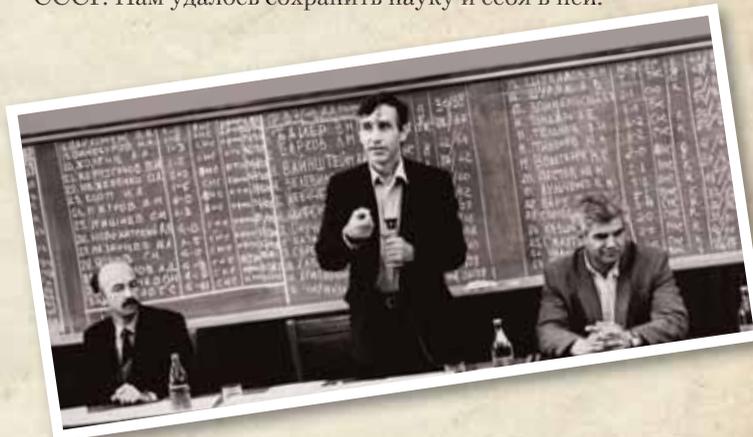
Андрей Михайлович Будкер создавал институт, отличный от других. У нас все было иначе: от иерархической системы до финансирования. Только представьте: я стал заведующим лабораторией через три года после окончания университета! А в 1966 г. Будкер пошел к А. Н. Косыгину и договорился с ним лично, чтобы правительство издало постановление в качестве исключения разрешить Институту ядерной физики СО АН СССР заключать договоры не по смете. Это вызвало сначала бурные насмешки: «Ишь, чего захотели – зарабатывать в России!», а потом негодование: «Им можно, а нам нельзя?».

Но мало иметь юридическую возможность зарабатывать, нужно еще уметь делать то, чего не умеет никто другой. Мы работали и жили в Новосибирске, а строили ЦЕРН в Швейцарии, Брукхейвен в США, делали установки для Японии и Китая. Если расставить на карте мира флажки, где работали и работают наши физики или установки, сделанные в ИЯФе, то они покроют все города и страны, от Австралии до Канады.

И мы продолжаем так жить: принимать участие в самых разнообразных международных проектах. Так, зна-

чительная часть «железа» в проектах того же ЦЕРНа сделана в ИЯФе.

Андрей Михайлович, который очень любил спорт и в молодости занимался боксом и волейболом, всегда нам говорил, что мы не лаборатория, а команда, у которой должен быть хороший капитан. И весь институт действительно был одной командой и оставался ею в любые, даже самые сложные времена: и когда не стало Андрея Михайловича, и когда не стало самого СССР. Нам удалось сохранить науку и себя в ней.



В пультовой ВЭПП-2
 слева направо:
 В. Сидоров,
 И. Протопопов,
 С. Попов,
 А. М. Будкер,
 А. Скринский,
 В. Петров

Литература
 Скринский А. Н. Рыцари круглого стола // НАУКА из первых рук. 2006. № 1(7). С. 26–37.

Бондарь А. Е. Перед стартом в микрокосм. Коллайдер готовится к запуску // НАУКА из первых рук. 2009. № 4(28). С. 148–159.

Золотарев К. В., Пиминов П. А. СИ в ИЯФ. Формула успеха // НАУКА из первых рук. 2015. № 2(62). С. 10–18.

В публикации использованы рисунки Е. Бендера

