

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН ИЯИ РАН,

доктор технических наук

Л.В. Кравчук


«03» «*гит*» 2015 г.

О Т З Ы В

ведущей организации

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт ядерных исследований Российской академии наук»**

на диссертацию **БАРНЯКОВА Александра Юрьевича**

**«ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ
ЧЕРЕНКОВСКИХ СЧЁТЧИКОВ АШИФ ДЕТЕКТОРА КЕДР»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

На протяжении последних нескольких десятилетий и в настоящее время в Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН (г. Новосибирск) проводятся уникальные фундаментальные исследования в области физики элементарных частиц и ядерной физики. Эксперименты мирового уровня по исследованию свойств элементарных частиц выполняются на прецизионных установках со встречными электрон-позитронными пучками коллайдеров ВЭПП-2, ВЭПП-4. Недавно вступил в строй модернизированный e^+e^- -коллайдер ВЭПП-4М. Хотя коллайдер ВЭПП-4М значительно и уступает в светимости современным В-фабрикам, он обладает такими важными преимуществами как большой диапазон энергий: $2E = 2 - 11$ ГэВ и возможностью прецизионного измерения энергии с точностью 5×10^{-7} благодаря уникальной технологии, разработанной в ИЯФ СО РАН на основе методов резонансной радиационной деполяризации и обратного комптоновского рассеяния лазерного излучения.

Внедрение новых технологий и технических решений позволило на ВЭПП-2 и ВЭПП-4 выполнить обширную экспериментальную программу. Среди основных достижений

мирового уровня в экспериментах на встречных пучках (ОЛЯ, КМД-1, МД-1, КМД-2, КМД-3, НД, СНД, КЕДР) можно выделить такие как открытие явления множественного рождения адронов в электрон-позитронной аннигиляции; исследования характеристик векторных мезонов; прецизионные (с рекордной точностью) измерения массы элементарных частиц – К, ро, омега, фи., пси-мезонов и ипсилон-мезонов; прецизионные измерения в области энергии $2E = 2 - 11$ ГэВ величины $R = \sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}) / \sigma_B(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$, используемой в расчётах для вычисления вклада адронной поляризации вакуума в величину аномального магнитного момента мюона – одного из самых чувствительных тестов Стандартной модели.

Наиболее многоцелевым детектором на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М в области энергии $2E = 2 - 11$ ГэВ является универсальный магнитный детектор КЕДР с калориметром на основе жидкого криптона с высоким энергетическим и пространственным разрешением и системой измерения рассеянных электронов и позитронов для изучения $\gamma\gamma$ -процессов. Параметры детектора КЕДР находятся на уровне параметров лучших детекторов, существующих в мире в этой области энергии. В программу физических экспериментов с детектором КЕДР на встречном пучке входят такие уникальные эксперименты как измерение массы элементарных частиц: J/ψ , Ψ' , Ψ'' , D^0 , D^\pm - мезонов, τ -лептонов (низкая энергия) и $\Upsilon(1s)$, $\Upsilon(2s)$, $\Upsilon(3s)$, $\Upsilon(4s)$ – мезонов (высокая энергия), прямое измерение произведения лептонной ширины на вероятность распада в пару мюонов J/ψ -мезона, исследование радиационного магнитно-дипольного перехода $J/\psi \rightarrow \gamma \eta_c$, измерение инклюзивных браничингов $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ и $J/\psi \rightarrow K^+K^-\gamma$, измерение R в области энергии $2E = 3.08 - 3.72$ ГэВ.

Во многих экспериментах на установке КЕДР, например, в прецизионных измерениях инвариантной массы D-мезона в распадах $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ и $D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$, повышенные требования предъявляются к качеству разделения (идентификации) π и K мезонов. С этой целью при модернизации детектора КЕДР в 2013 г. была в полном объеме (160 счётчиков) установлена и введена в эксплуатацию система идентификации частиц на основе пороговых черенковских счетчиков, построенная по уникальной схеме светосбора АШИФ (Аэрогель ШИФтер Фотоумножитель). В настоящее время эта система, разработанная в ИЯФ СО РАН, обеспечивает π/K -разделение в диапазоне импульсов от 0.6 до 1.5 ГэВ/с на уровне 4σ , что не уступает по качеству разделения в этом же диапазоне импульсов таким детекторам, как BaBar (США), Belle (Япония), BESIII (Китай).

Диссертационная работа А.Ю. Барнякова посвящена разработке, созданию и измерению основных параметров системы пороговых черенковских счётчиков АШИФ. Предложенные автором и реализованные на практике новые методы построения системы

пороговых черенковских счётчиков АШИФ, результаты исследований долговременной стабильности счётчиков в условиях работы детектора КЕДР определяют **актуальность темы диссертации** А.Ю. Барнякова.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы (95 ссылок). Работа изложена на 107 страницах машинописного текста, включая 77 рисунков и 6 таблиц.

Во введении автор даёт краткую информацию об основных преимуществах детектора КЕДР по сравнению с другими универсальными детекторами. Основное внимание уделено новой системе идентификации частиц на основе пороговых черенковских счётчиков АШИФ. С целью повышения качества π/K разделения в прецизионных экспериментах, проводимых на установке КЕДР, **автор обосновывает актуальность** измерения основных параметров этой системы, в частности исследований долговременной стабильности счётчиков. Во введении также представлены положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе приводятся обзор конструкции и характеристик черенковских счётчиков различного типа в экспериментах на встречных электрон-позитронных пучках. Обсуждаются преимущества и недостатки этих систем, качество разделения пионов, каонов и протонов в достижимых диапазонах импульсов частиц. В обзоре охарактеризованы как пороговые счётчики, в том числе с радиаторами на основе аэрогеля, так и модификации детекторов черенковских колец (ДЧК). Значительный интерес представляет описание конструкций ДЧК с фокусирующими аэрогелевыми радиаторами (ФАРИЧ-счётчики). Отмечено, что в г. Новосибирске ведется разработка технологии производства аэрогеля с непрерывно меняющимся по толщине показателем преломления («градиентный» аэрогель). В счётчиках подобного типа точность измерения черенковского угла должна зависеть только от размера пикселя фотонного детектора и точности реконструкции трека.

Вторая глава диссертации посвящена подробному описанию детектора КЕДР и его систем: координатной системы на основе вершинного детектора и дрейфовой камеры, системы пороговых аэрогелевых черенковских счётчиков, времяпролётной сцинтилляционной системы, электромагнитного калориметра, системы мюонных камер и системы регистрации рассеянных электронов. Приведены основные характеристики системы идентификации частиц на основе пороговых аэрогелевых черенковских счётчиков с уникальной схемой собирания света АШИФ. Дано краткое описание электронной системы сбора данных и триггерной системы для отбора событий.

Обсуждаются преимущества детектора КЕДР в сравнении с другими универсальными детекторами.

В третьей главе диссертации автор подробно описывает конструкцию аэрогелевых счётчиков детектора КЕДР и процедуру сборки счётчиков. Охарактеризована схема собирания света методом АШИФ, в разработке, испытаниях и оптимизации которого автор принимал непосредственное личное участие. Показано, что использование метода АШИФ позволяет увеличить размер счетчиков и уменьшить количество фотоприемников во всей системе. Необходимой процедурой при установке счётчиков в детектор КЕДР являлось их тестирование на космических частицах. Приведенные в главе результаты испытаний свидетельствуют, что амплитуда сигнала для основной массы счётчиков находится в пределах от 7 до 10 фотоэлектронов, при среднем значении – 8.9 фотоэлектронов. Обсуждаются результаты измерений качества идентификации частиц (пионов и каонов) и временного разрешения в счётчиках АШИФ, впервые полученные в 2000 г. в испытаниях на вторичных пучках протонного синхротрона в ЛВЭ ОИЯИ (г. Дубна).

В четвертой главе диссертации автор приводит очень важные результаты, полученные им в детальных исследованиях причин уменьшения амплитуды в счетчиках АШИФ и их долговременной стабильности. Зависимость амплитуды сигнала от времени для нескольких счётчиков, которые в течение 14 лет периодически тестировались автором на космических мюонах в специализированном стенде, показала, что амплитуда счетчика плавно уменьшилась на 35% за первые 3 года и в течении последних 10 лет не меняется в пределах 5% точности измерений. В главе обсуждаются основные вклады возможных процессов, протекающих в счётчиках, в общее уменьшение амплитуды сигнала. Впервые автором были проведены эксперименты по влиянию воды на оптические параметры аэрогеля: длину поглощения света, показатель преломления, длину рассеяния света; получена временная зависимость параметров после адсорбции аэрогелем воды из атмосферы. Полученные экспериментальные данные по длине поглощения после насыщения водой были заложены в моделирование светосбора в торцевом счетчике АШИФ методом Монте-Карло. Приведённые в главе результаты расчётов показывают, что вклад в общее уменьшение амплитуды в счетчиках АШИФ от ухудшения светосбора в аэрогеле можно объяснить уменьшением длины поглощения света в аэрогеле после адсорбции воды.

Пятая глава посвящена измерению эффективности регистрации и параметров идентификации частиц в системе счетчиков АШИФ детектора КЕДР. Предложено несколько подходов при работе с системой счетчиков АШИФ: получение информации с

каждого слоя системы независимо, использование совпадения сигналов с двух слоев по «И», по «ИЛИ» или анализ суммарной амплитуды с двух слоев, то есть рассмотрение детектора в качестве «Толстого счетчика». Для каждого подхода были получены параметры π/K -разделения при помощи космических мюонов с соответствующими импульсами.

В заключении приведены основные научные результаты, полученные А.Ю. Барняковым в диссертационной работе.

Научная новизна диссертации А.Ю. Барнякова определяется как постановкой актуальной задачи при выборе темы научной работы, так и полученными результатами, среди которых наиболее значимым является создание и измерение основных параметров новой системы идентификации частиц для детектора КЕДР на основе пороговых аэрогелевых черенковских счетчиков, построенных по оригинальной схеме АШИФ. Автором впервые исследована долговременная стабильность амплитуды сигнала и измерена зависимость длины поглощения света в аэрогеле от времени после адсорбции воды в счётчиках АШИФ. Результаты, полученные в диссертационной работе А.Ю. Барнякова, показывают, что качество идентификации частиц в счетчиках АШИФ сравнимо с системой DIRC в детекторе BaBar (США) и существенно выше, чем в аэрогелевых счетчиках детектора Belle (Япония) и времяпролетной системе детектора BESIII (Китай).

Научная и практическая значимость диссертации А.Ю. Барнякова заключается в том, что разработанная система счетчиков АШИФ будет активно использоваться в экспериментах с детектором КЕДР и позволит повысить качество получаемых физических результатов. Результаты исследования долговременной стабильности аэрогелевых счетчиков, методические разработки, предложенные А.Ю. Барняковым, могут быть использованы в системах идентификации частиц новых детекторов или для модернизации уже существующих систем в научных центрах: ИЯФ СО РАН (Новосибирск), ОИЯИ (Дубна) и за рубежом: J-Lab (США), CERN (Швейцария–Франция), FAIR (Германия).

Достоверность результатов, полученных А.Ю. Барняковым при создании системы счетчиков АШИФ, подтверждается уникальными физическими данными, полученными в настоящее время детектором КЕДР на комплексе ВЭПП-4М. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Вклад автора в представленные исследования является значимым, приведенные результаты получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

Работа прошла достаточную **апробацию**. Результаты диссертации были представлены в виде докладов на следующих российских и международных конференциях:

Instrumentation on Colliding Beam Physics (Новосибирск, 2008, 2014), Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН (Москва, 2012, 2014), 13th PisaMeeting on Advanced Detectors (La Biodola Isola d'Elba (Italy), 2015). Материалы диссертации опубликованы в 43 печатных работах, включая статьи в российских и зарубежных журналах и в сборниках трудов всероссийских и международных конференций. Основные результаты диссертации содержатся в 7 публикациях, перечисленных в Автореферате.

По содержанию и тексту диссертации А.Ю. Барнякова необходимо сделать следующие замечания:

1. Как уже отмечено, в работе получены очень важные методические результаты, необходимые для функционирования системы счетчиков АШИФ в экспериментах с детектором КЕДР, в частности для повышения качества получаемых физических данных. Однако, сами физические эксперименты в тексте диссертации упомянуты всего в нескольких предложениях (перечислениях). На наш взгляд, диссертация, выполненная по специальности 01.04.16, только бы выиграла, если одна из глав текста была бы посвящена обработке и анализу физических данных (с учётом результатов методических исследований), полученных в настоящее время детектором КЕДР в одном из экспериментов.

2. В тексте диссертации практически все рисунки, за исключением 7 шт. (подписи под осями, пояснения на рабочем поле) выполнены на английском языке. В этом случае должны даваться более подробно подрисуночные подписи на русском языке. Однако во многих случаях в тексте диссертации это не соблюдается. Например, для Рис. 4.15 надо было указать: «... для отожденного аэрогеля (кривая красного цвета) и для насыщенного водой (кривая зелёного цвета)»

3. В Разделе 3.2 диссертации (10 строка снизу) написано: «При показателе преломления 1.05 порог для пионов составляет 0.45 ГэВ/с, а при 0.6 ГэВ/с пионы излучают не меньше 50% от максимума». Однако, для $n = 1.05$ и массы пиона $139.57 \text{ МэВ}/c^2$ порог по импульсу составляет 0.436 ГэВ/с. Или реальные образцы аэрогеля в системе счётчиков АШИФ имеют показатель преломления $n = 1.047$?

4. На стр. 16 диссертации (3 строка снизу) в тексте написано: «...в процессе $D^0 \rightarrow K\pi$ (см. рис. 1.7)». Однако, в подрисуночной подписи к этому рисунку написано правильно: «...в процессе $D^0 \rightarrow K+\pi^-$ ».

Сделанные замечания и выделенные отдельные небрежности в тексте не снижают научную значимость диссертации А.Ю. Барнякова и не влияют на основные защищаемые положения диссертации.

Заключение

Диссертация А.Ю.Барнякова на тему «Измерение основных параметров системы черенковских счетчиков АШИФ детектора КЕДР» является законченным научно-исследовательским трудом и выполнена на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По объему проведенных исследований и важности полученных результатов диссертация А.Ю. Барнякова, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам соискатель, Барняков Александр Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв рассмотрен и утверждён на заседании Научно-технического совета Отдела экспериментальной физики ИЯИ РАН от 02.12.2015 г., протокол № 5.

Отзыв составил:

заведующий Лабораторией исследований редких процессов

Института ядерных исследований Российской академии наук,

кандидат физико-математических наук  Титов Никита Андреевич

Электронный адрес: titov@inr.ru

Подпись Титова Никиты Андреевича заверяю.

Ученый секретарь Института ядерных исследований Российской Академии Наук,

кандидат физико-математических наук  Селидовкин Андрей Дмитриевич

Электронный адрес: ss@inr.ru



117312, Москва, В-312, проспект 60-летия октября, 7а.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт Ядерных Исследований Российской Академии Наук»

Тел.: +7 (499)135-77-60 Факс: +7(495) 135-22-68

Электронный адрес: inr@inr.ru