

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Кирякова Андрея Алексеевича на тему "Исследование процессов образования очарованных частиц в рА-взаимодействиях при 70 ГэВ/с", по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

Семидесятые годы прошлого столетия открыли эпоху физики тяжелых кварков, когда с интервалом в три года были обнаружены  $c/b$ -кварки. Открытый позднее самый тяжелый  $t$ -кварк переходит в  $b$ -кварк, прежде чем сформируется содержащий его адрон, поэтому частицы, содержащие  $c/b$ -кварки являются самыми тяжелыми из экспериментально доступных адронов. Изучение свойств и структуры очарованных адронов в настоящее время в значительной мере уступило место их использованию в качестве инструмента при исследовании более тяжёлых прелестных частиц, тем не менее физика самих очарованных кварков полна еще белых пятен.

Диссертация Кирякова Андрея Алексеевича, как раз и относится к тем разделам физики очарованных частиц, где экспериментальные данные немногочисленны и их согласование с предсказаниями теоретических моделей оставляет желать лучшего. В основе диссертации, как отмечается в автореферате, лежат результаты работ, выполненных лично автором, либо при его определяющем участии в период с 2003 по 2015 годы в эксперименте SERP-E-184, изучавшем образование очарованных частиц в рА-взаимодействиях при импульсе протонного пучка 70 ГэВ/с ( $\sqrt{s} = 11,5$  ГэВ). Результаты эксперимента SERP-E-184 дополняют исследования сотрудничества БИС-2, выполненные 10-20 годами ранее, но так и не ответившие на многие вопросы. Таким образом научная проблематика диссертационной работы А.А.Кирякова, в свете выше изложенного, является, несомненно, важной и актуальной.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и выводов по теме исследования. Результаты диссертационной работы изложены на 169 страницах.

Во **Введении** формулируется цель и основные задачи работы, представлены три кита добротного научного исследования: актуальность, новизна и практическая ценность, подкрепленные очень детальным цитированием личного вклада автора. По непонятным причинам при такой детализировке упоминание о вкладе в написание статей и докладов отсутствует. Хотя полнота и ясность изложения материала в диссертации характеризует Андрея Алексеевича, как уже грамотного физика, умеющего представлять выполненную работу.

В **первой главе** диссертации приводится обзор экспериментальных данных по образованию очарованных частиц в рр- и рА- взаимодействиях. Хорошо изложенный материал, содержит четыре подробные таблицы с результатами экспериментов различных поколений,

выполненных в данной области. Качество этого обзора, позволяет его рекомендовать для учебной литературы.

Во **второй главе** диссертации приводится краткое описание основных элементов установки СВД-2, без отягощающих деталей, ограничившись информацией, необходимой для анализа данных. Ничего лишнего.

В **третьей главе** самой объемной по представленному в диссертации материалу, подробно изложено описание методов первичного анализа экспериментальных данных и фильтрации событий. Согласно автореферату "подавляющая часть методов была разработана автором, либо при его участии в процессе работы над анализом экспериментальных данных". Это самая "детализированная" глава, которая демонстрирует полное согласие с личным вкладом диссертанта цитированным во **Введении**. В исследованиях по физике тяжелых кварков наличие вершинного детектора является решающим фактором успеха, который также невозможен без точной координатной информации взаимного расположения детекторов. Андреем Алексеевичем была проделана впечатляющая работа по восстановлению координат пролета частиц в кремневых пучковом/вершинном телескопах, а также по alignment кремневых детекторов и пропорциональных камер. Материал изложен очень дотошно и квалифицировано.

**Следующие три главы** посвящены физическим результатам исследования очарованных частиц, детектировавшихся по классическим модам распада:  $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ ,  $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-$ ,  $D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$ ,  $D^- \rightarrow K^+\pi^-\pi^-$ ,  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ . В каждой из глав последовательно излагается анализ нейтральных и заряженных D-мезонов, завершая  $\Lambda_c^+$ -барионом. На защиту вынесены и подробно изложены следующие физические результаты:

– Измерение сечений инклюзивного образования очарованных частиц:  $D^0$ ,  $\bar{D}^0$ ,  $D^+$ ,  $D^-$ ,  $\Lambda_c^+$  при энергии ( $\sqrt{s} = 11,5$  ГэВ) в pA - взаимодействиях на углероде, кремнии и свинце.

– Экспериментальная оценка полного сечения образования очарованных частиц на углероде, кремнии, свинце и на нуклоне ядра.

– Оценка относительных выходов очарованных частиц:  $D^0$ ,  $\bar{D}^0$ ,  $D^+$ ,  $D^-$ ,  $\Lambda_c^+$ .

Вне всякого сомнения диссертантом проделана большая и продуктивная работа по анализу данных. Однако при прочтении диссертации возникает вопрос о конечной статистике, и в каждом случае она представлена по-разному. Так в последней главе посвященной  $\Lambda_c^+$  "сырой" спектр инвариантных масс показывает значимость сигнала менее 3 сигма, а после "критериев отбора событий на пост-обработку" более 3 сигма. А для нейтральных D-мезонов "сырой" спектр инвариантных масс не показан, зато после "критериев отбора событий на пост-обработку" и визуального отбора указано наличие 51 одного события. В случае нейтральных D-мезонов широко использовано Монте-Карло для сравнения характеристик зарегистрированных событий и сгенерированных характеристик  $D^0$ -мезонов.

Следующие важные заключения, почему-то не вынесены на защиту, хотя и указаны в

научной новизне. Вклады заряженных и нейтральных D-мезонов в полные сечения образования открытого чарма в pA-взаимодействиях меняются с изменением энергии взаимодействия. Так, вклады  $D^0$ - и  $D^+$ -мезонов проявляют тенденцию к снижению с уменьшением энергии взаимодействия до 70 ГэВ, а вклады  $\overline{D}^0$ - и  $D^-$ -мезонов растут. Кроме того, растёт разница во вклады частиц и античастиц в сечения образования открытого чарма в pA-взаимодействиях с уменьшением энергии взаимодействия. Значительный относительный выход  $\Lambda_c^+$ -барионов, сравнимый с выходом  $\overline{D}^0$ , указывает на их преимущественно парное рождение в около пороговой области, что подтверждает выводы сделанные ранее.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной ценности диссертации, а являются скорее пожеланиями в совершенствовании представления результатов.

В целом Киряковым Андреем Алексеевичем проделана впечатляющая работа, как по методической части, так и по анализу данных, включая моделирование. Научные положения, сформулированные в диссертации, обоснованы, а результаты и выводы диссертации достоверны. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в российских и зарубежных научных журналах. Автореферат диссертации и публикации по ней полностью отражают научную новизну и содержание работы. Наличие достаточного числа публикаций в сочетании с широкой апробацией работы подтверждают вывод об актуальности, научной новизне, достоверности и научно-практической значимости, выносимых на защиту результатов.

Диссертация Кирякова А.А. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, "Положения о порядке присуждения учёных степеней", утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N842, а её автор, несомненно, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий.

Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник Научно-экспериментального отдела спиновой структуры адронов и редких процессов Лаборатории Физики Высоких Энергий Международной межправительственной организации Объединённый Институт Ядерных Исследований

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц Кузнецов Олег Михайлович

Адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6

Тел. (496)216-29-81

E-mail: Oleg.Kouznetsov@cern.ch

Подпись Кузнецова О.М. удостоверяю  
Учёный секретарь ЛФВЭ ОИЯИ



Кузнецов О.М.

Пешехонов Д.В