

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию
Короткова Владислава Александровича
«Изучение азимутальных асимметрий в процессах
глубоконеупругого рассеяния электронов (позитронов) на протонах и
дейтронах в эксперименте ГЕРМЕС и спиновая структура нуклона»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий**

Диссертационная работа В.А.Короткова посвящена первому наблюдению и изучению и исследованию эффектов, связанных со спиновой структурой нуклона и, в частности, с изучением эффектов, связанных с распределением поперечно поляризованных кварков в поперечно поляризованном нуклоне.

Актуальность и научная новизна проведенных в этой работе исследований не вызывают сомнения. Направление исследования поляризационных явлений составляет важную область физики высоких энергий. Экспериментальные исследования в этой области позволили получить много интересных результатов в течении нескольких последних десятилетий. Величина спина нуклона определяется спинами кварков только на одну треть, и поляризационные эксперименты дают существенную информацию, которая полезна для решения этой проблемы. Изучение односпиновых асимметрий в адронных взаимодействиях показало, что спиновые эффекты не вымирают с энергией, как предсказывалось ранее в рамках пертурбативной КХД. Для полного описания партонной структуры нуклона в лидирующем порядке требуется три типа кварковых распределений. Два из них изучаются уже много десятилетий, однако экспериментальные данные о третьем типе, распределении поперечно поляризованных кварков в поперечно поляризованном нуклоне, отсутствовали еще несколько лет назад. Большую роль в изучении этого и многих других вопросов играли исследования В.А. Короткова, проведенные в рамках эксперимента ГЕРМЕС.

Диссертация В.А. Короткова состоит из введения, шести глав, заключения и двух приложений. Во Введении диссертации кратко обоснована актуальность, сформулированы цели работы, обоснована актуальность, показана новизна и практическая ценность полученных результатов.

В Первой главе диссертации рассмотрены теоретические и феноменологические подходы к изучаемым в диссертации проблемам. В частности, описываются теоретическое описание вклада двухфотонного обмена в процесс глубоконеупругого рассеяния. Рассмотрены функции распределения и фрагментации кварков в зависимости от поперечного импульса. Рассмотрены процессы образования пар заряженных пионов в глубоконеупругом рассеянии неполяризованных электронов на поперечно поляризованных

протонах. Также рассматриваются возможности эксперимента ГЕРМЕС по проведению экспериментов с поляризованной мишенью.

Вторая глава диссертации посвящена описанию эксперимента ГЕРМЕС. Изложена схема эксперимента с поляризованными пучками электронов и позитронов, принцип работы поляриметров. Приведены параметры газовой поляризованной мишени с накопительной ячейкой. Подробно описан спектрометр установки ГЕРМЕС: трековой системы, предливневого детектора, электромагнитного калориметра, детектора переходного излучения и др. Установка позволяла идентифицировать электроны с эффективностью более 98%, при этом примесь адронов составляла менее 1%. Также дано описание триггера и системы накопления данных. Подробно изложены алгоритмы реконструкции событий, идентификации частиц и анализа экспериментальных данных.

В третьей главе диссертации представлены результаты измерения азимутальных асимметрий рассеяния электронов на поперечно поляризованных протонах и выполнен поиск возможного двухфотонного обмена в процесс грубоконеупругого рассеяния неполяризованных электронов на протонах за счет измерения односпиновой азимутальной асимметрии. В пределах экспериментальных ошибок такой асимметрии обнаружено не было. Были получены структурная функция протона и виртуальная асимметрия. Полученные результаты согласуются с правилом сумм Буркхардта-Коттингема.

Четвертая глава содержит результаты измерений азимутальных асимметрий адронов в полуинклюзивных глубоконеупругих процессах рассеяния неполяризованных электронов на продольно поляризованной водородной (дейтериевой мишени). В частности представлены результаты измерений асимметрий в полуинклюзивном электрождении адронов при рассеянии неполяризованных электронов на продольно поляризованных мишенях в эксперименте ГЕРМЕС. Было получено, что асимметрия $A_{UL}^{sin\phi}$ отрицательных пионов сопоставима с нулевым значением, а асимметрии положительных и нейтральных пионов отличны от нуля. Также представлены результаты измерений односпиновых азимутальных асимметрий в процессе электророждения пионов и положительных каонов на продольно поляризованной дейтериевой мишени.

Пятая глава посвящена измерению односпиновых асимметрий адронов, рожденных при рассеянии поляризованных электронов на неполяризованных мишенях. Было получено, что величина асимметрии для положительных и нейтральных пионов отлична от нуля и сопоставима с нулем для отрицательных пионов. Также детально рассматриваются данные эксперимента CLAS и проводится сравнение с результатами данной работы. Было получено, что односпиновая асимметрия слабо зависит от энергии налетающих лептонов и от переменной x и результаты вполне согласуются с учетом мультипликативного кинематического фактора.

Основным содержанием шестой главы является исследование азимутальных асимметрий адронов, которые были образованы в результате рассеяния неполяризованных электронов на поперечно поляризованных протонах. В процессах $ep^{\uparrow} \rightarrow e'hX$ удалось разделить механизм Сиверса, связанный с T-нечетной функцией Сиверса, описывающей распределение неполяризованных кварков в поперечно поляризованном нуклоне, и

механизм Коллинза, вызывающий асимметрию благодаря T -нечетной функции фрагментации Коллинза H_1^\perp и функцией распределения кварков трансверсита h_1 . Было получено, что величина симметрия Коллинза для K^+ существенно больше аналогичной асимметрии для положительных пионов, что возможно указывает на больший вклад морских кварков в изучаемый процесс. В Заключении диссертации сформулированы основные результаты, которые выносятся на защиту.

Следует особо подчеркнуть, что в диссертации представлено большое количество полученных впервые экспериментальных данных, процедуры получения которых подробно описаны. Например, были впервые экспериментально изучены односпиновые азимутальные асимметрии в глубоконеупругом рассеянии и полуинклюзивном образовании пионов на продольно поляризованных водородной и дейтериевой мишенях. Также впервые измерены односпиновые азимутальные асимметрии в полуинклюзивном образовании пионов и каонов при рассеянии продольно поляризованных электронов на неполяризованной и поперечно поляризованной протонных мишенях. В.А. Коротков являлся лидером разработки экспериментальной программы с использованием поперечно поляризованной мишени.

К замечаниям работы можно отнести следующие. 1. Не совсем понятна чувствительность полученных данных к различным теоретическим моделям. Например, на рисунке 4.11 три модели (киральная кварк-солитонная, кварк-дикварковая, пертурбативная КХД pQCD) практически показывают одинаковую зависимость асимметрии от параметра x . Таким образом, измеренная асимметрия $A_{UL}^{\sin\phi}$ не позволяет сделать какого либо выбора между этими моделями даже при существенной уменьшении статистических и систематических ошибок. Возникает вопрос, какую значимую физическую информацию можно получить из этих измерений? В тоже время на рисунке 4.12 для асимметрии $A_{UL}^{\sin 2\phi}$ показаны расчеты только для кварк-солитонной модели. Предсказания других моделей почему-то не приводятся. 2. На стр. 182-184 приводятся значения асимметрии Коллинза для положительных и отрицательных пионов. Указаны только величины статистических ошибок. На рисунке 6.3 также отсутствуют систематические ошибки, и в тексте не обсуждаются их величины, а также их возможная зависимость от параметров x и z . Утверждение о первом доказательстве существовании T -нечетной функции распределения партонов, сделанное на основе величины асимметрии Сиверса на стр.184, кажется не очень убедительным. Без систематических ошибок эффект составляет 4σ . Какая величина эффекта будет после правильного учета систематических погрешностей – вопрос открытый. Удивительным является то, что и оригинальная статья коллаборации ГЕРМЕС (Phys.Rev.Lett. 94 (2005) 012002) не приводит систематической ошибки. 3. На стр.208, рис.6.14 показан спектр инвариантных масс $\pi^+\pi^-$ в эксперименте ГЕРМЕС и результат моделирования с использованием РУТНИА6. В эксперименте не наблюдается пик распада короткоживущего нейтрального каона на два пиона, а в моделировании он присутствует. Это различие не пояснено в тексте диссертации. 4. Ряд рисунков выполнены в довольно мелком формате, что затрудняет понимание показанных результатов. Например, рисунки 5.10 и 5.11, хотя они и взяты из журнальных публикаций, можно было бы увеличить. Сейчас кривые на этих рисунках, соответствующие различным моделям, практически неотличимы.

Однако перечисленные выше недостатки не могут изменить общего положительного впечатления от работы и существенным образом повлиять на итоговую оценку

диссертации, которая представляет собой логически законченное исследование, которое проводилось на протяжении многих лет и привело к важным результатам. Качество работы, уровень и объем исследований, выполненный В.А.Коротковым, оставляют в целом хорошее впечатление. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Диссертация представляет собой объемную работу с изложением многих экспериментальных деталей, методов анализа данных и моделирования физических процессов, что отражает высокий экспериментальный уровень автора и его глубокое понимание проблемы. Результаты, представленные в диссертации, полезны для дальнейших исследований структуры нуклона и могут быть использованы при проведении экспериментов в различных лабораториях, занимающихся этой тематикой. Работа оформлена довольно аккуратно, хорошо проиллюстрирована, основные положения и полученные результаты ясно изложены, выводы четко сформулированы. Основные результаты и положения, вошедшие в диссертацию, доложены автором на международных конференциях и опубликованы в реферируемых журналах. Библиография полно представляет исследования в этой области и насчитывает 358 публикаций. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Принимая во внимание вышеизложенное, считаю, что диссертация В.А.Короткова «Изучение азимутальных асимметрий в процессах глубоконеупругого рассеяния электронов (позитронов) на протонах и дейтронах в эксперименте ГЕРМЕС и спиновая структура нуклона» полностью удовлетворяет всем требованиям Высшей аттестационной комиссии предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Доктор физ.-мат. наук, профессор
Заведующий отделом физики высоких энергий
Институт ядерных исследований РАН,
Адрес: 117312 Москва, пр-кт 60-летия Октября 7А
Тел: +7(495)8504248
Эл. почта: kudenko@inr.ru

Ю.Г. Куденко

Подпись Ю.Г. Куденко заверяю.
Зам. директора по научной работе,
доктор физ.-мат. наук



А.В. Фещенко

4 сентября 2017г.