

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Виктора Владимировича Абрамова «Исследования на поляризованном протонном пучке ИФВЭ и феноменология поляризационных явлений», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

Тема диссертационной работы Виктора Владимировича Абрамова в высшей степени актуальна. Как, в связи с так называемым спиновым кризисом ЕМС, заметил в свое время один из классиков теории глубоконеупругого взаимодействия Джеймс Бьёркен, «поляризационные эксперименты закрыли столько прекрасных теорий, что теоретикам следовало бы, будь это в их власти, чисто из инстинкта самосохранения запретить раз и навсегда проведение спиновых экспериментов».

Роль поперечной поляризации интересна вдвойне. Поперечная поляризация обязана амплитудам с переверотом спиральности. Мы знаем, что в квантовой электродинамике спиральность электронов высокой энергии сохраняется. Квантовая хромодинамика --- общепринятая теория сильных взаимодействий --- в пертурбативном режиме разделяет это свойство КЭД. Отсюда ожидания, что при высоких энергиях поперечные спиновые эффекты должны были исчезнуть (Кэйн, Памплин и Репко, ссылка А1 в автореферате диссертации).

Развитие теории поперечных спиновых явлений шло не без драматических моментов. Ральстон и Сопер в 1979 году ввели новую спиновую структурную функцию, названную впоследствии трансверсити --- распределение поперечного спина в поперечно поляризованном нуклоне --- и указали, что в процессе Дрелла-Яна она может дать неисчезающую двухспиновую асимметрию. Эта работа оставалась незамеченной в течение долгого времени, и через 10 лет Деннис Сиверс сделал революционный шаг, связав распределение поперечного спина в протоне с поперечным импульсом кварков. Кстати, большим стимулом был эксперимент E704, выполненный в лаборатории Ферми с участием и решающим вкладом большой группы из ИФВЭ --- результаты этого эксперимента долго беспокоили беспомощных теоретиков. Через несколько лет Джеймс Коллинз, вначале жестко, почти уничижительно, раскритиковал Сиверса за якобы неправильную работу, сделал следующий шаг, и ввел зависящую от поляризации кварка функцию фрагментации --- названную впоследствии функцией Коллинза.

За прошедшие 20 лет измерение функций Коллинза и Сиверса было предметом многих поляризационных экспериментов как на коллайдере ГЕРА в ДЕЗИ (эксперимент HERMES), так и в ЦЕРНЕ-е (эксперимент COMPASS), так и на В-фабрике BELLE. Сегодня уже нет сомнений в том, что эти функции, как и т.н. корреляционная фрагментационная функция, отличны от нуля и, по всем экспериментальным указаниям, не исчезают с ростом энергии. Группа теоретиков во главе с Мауро Ансельмино в Турине, кстати, с активным участием Алексея Прокудина из ИФВЭ, провела подробную феноменологию этих экспериментальных данных, и заключила, что трансверсити --- поперечная спиновая структурная функция --- отлична от нуля и близка по величине к спиральной структурной функции нуклонов. Наконец, эти функции Коллинза и Сиверса

позволяют разумно связать друг с другом одночастичные спиновые эффекты в полуинклюзивном глубоконеупругом рассеянии и в адронных процессах на коллайдере RHIC в Брукхэйвене.

В то же время огромное сообщество теоретиков и экспериментаторов, работающих сегодня в этой области, вполне осознает, что вся существующая феноменология поперечного спина есть не более чем параметризация экспериментальных данных. Более того, вся эта феноменология зиждется на приближении факторизации --- но в отличие от неполяризованных спектров, это приближение не имеет надежного обоснования, я к этому вернусь ниже.

Именно поэтому развернута программа спиновых экспериментов в числе основных не только на коллайдере RHIC в Брукхэйвене, но и на коллайдере НИКА, который будет строиться в ОИЯИ, Дубна, ускорение поляризованных протонов обсуждается на JPARC в Японии, FAIR в Дармштадте, проверка теоретического предсказания смены знака эффекта Сиверса при переходе от полуинклюзивного глубоконеупругого рассеяния планируется и в лаборатории Ферми и коллаборацией COMPASS в ЦЕРНе-е. Как хорошо известно членам Диссертационного совета ИФВЭ, поляризационные эксперименты были в центре экспериментальной программы УНК, если бы он был достроен до конца --- но не будем о грустном. Зависимость односпиновых эффектов от энергии, поперечного импульса, фейнмановской переменной и сорта частиц принципиально важна для будущей теории явления. Составившие диссертационную работу В.В.Абрамова результаты есть достойный вклад в общую картину односпиновых явлений, вклад во многих аспектах пионерский.

Перейду к обсуждению собственно диссертационной работы В.В.Абрамова. Досадно, что в чрезмерно лаконичном Введении автор не дал достаточно обстоятельного обзора литературы по физике явлений с поперечным спином. В частности, следовало бы обсудить подробнее экспериментальные данные и с коллайдера RHIC, и данные с установки COMPASS в ЦЕРНе.

Последующее содержание диссертации можно условно разбить на две части.

В первой части, это главы 2,3,4 и 5, изложены оригинальные данные, полученные с 1994 года с прямым участием диссертанта на спектрометре ФОДС-2 в ИФВЭ. Эти данные есть главный, и по сути единственный вклад в эту область физики высоких энергий, полученный на ускорителях в России. Впервые на российском ускорителе создан интенсивный пучок поляризованных протонов с высокой степенью поперечной поляризации, полученных в распаде лямбда-гиперонов. В главе 2 сгруппированы результаты для водородной мишени, в главах 3, 4 и 5 для ядерных мишеней (углерод, медь) и для разных углов рождения вторичных частиц. Я остановлюсь в деталях на только самых ярких из выносимых на защиту основных положений диссертационной работы В.В.Абрамова.

По сравнению с экспериментом E704 существенно расширена область кинематических переменных. Что еще важнее, использование на ФОДС-2 детектора черенковских колец сделало возможным одновременное измерение односпиновых асимметрий для отрицательных и положительных пионов, каонов, антипротонов и протонов. Для отрицательных каонов и антипротонов при энергиях выше 12 ГэВ такие данные получены впервые в мировой литературе. Принципиально важный вывод из сравнения всей совокупности полученных результатов для разных сортов частиц и из зависимости асимметрий (анализирующей способности) от угла рождения и фейнмановской переменной

вторичных частиц: асимметрия отлична от нуля только для частиц, содержащих в качестве валентных поляризованные валентные кварки из протонов поляризованного пучка.

По полноте сравнения односпиновых асимметрий для водородной и ядерных мишеней, измеренных в идентичных кинематических областях, диссертационная работа В.В. Абрамова не имеет аналогов в литературе. Эти данные однозначно подтверждают роль поляризованных валентных кварков. Совершенно неожиданный для теоретиков в этой области результат представлен в главе 3: это осцилляционная зависимость от фейнмановской переменной анализирующей способности для протонов. Эффект наблюдается впервые в мире. Он сильнее всего выражен на углеродной мишени. Статистическая значимость эффекта вне сомнений.

Показано, что для положительных пионов зависимость асимметрии от фейнмановской переменной имеет хорошо выраженный пороговый характер. В пределах статистических ошибок, близкое поведение найдено и для положительных каонов, что автор связывает с доминирующим вкладом поляризованных валентных u -кварков протонов, которые одновременно являются валентными и в положительно заряженных пионах и каонах.

Предмет главы 6 — полуклассические модели спиновых асимметрий, инспирированные квантовой хромодинамикой. Как я уже подчеркивал в вводной части отзыва, модный формализм функций Сиверса и Коллинза позволяет параметризовать наблюдаемые сечения и односпиновые эффекты, но сами функции, и в особенности их зависимости ни от поперечного импульса, ни от фейнмановской и бьеркеновской переменной, из первых принципов не вычисляются. Более того, обычно используемый факторизационный подход не более чем приближение с сомнительной точностью.

Поясню это на примере фрагментации поляризованного очарованного кварка. Вне сомнения, в полулептонном распаде его фрагментов — очарованных мезонов — полностью доминирует бета-распад очарованного кварка. Одна из хорошо известных догм теории тяжелых кварков — сохранение их поляризации. Поэтому, казалось бы, эффекты связывания тяжелых s -кварков несущественны и поляризацию первичного очарованного кварка можно однозначно восстановить по асимметрии углового распределения заряженного лептона в его полулептонном распаде, как это делается в распаде мюона. Увы, адронизация s -кварка неизбежно заканчивается скалярным D -мезоном, и медленный полулептонный распад происходит только когда адронизация полностью завершена. А в скалярном D -мезоне поляризация s -кварка равна нулю независимо от первичной поляризации s -кварка после его образования, так что первичная поляризация очарованного кварка посредством его полулептонного распада оказывается принципиально неизмеримой.

Именно поэтому, при всех оговорках о буквальной применимости полуклассического рассмотрения, я считаю представленную в главе 6 непертурбативную феноменологию очень полезной ввиду ее предсказательной силы для зависимости эволюции первичного спина от кинематических переменных. Единственное замечание: стоило бы упомянуть и Френкеля — в отличие от Томаса, он получил Томас-Френкелевскую половинку в формализме, практически идентичном современному формализму Баргманна-Мишеля-Телегди. Непертурбативный подход В.В. Абрамова дает не просто экономную параметризацию спиновых асимметрий — это пока единственный подход, в котором есть место для обнаруженной диссертантом осцилляционной зависимости асимметрии для конечных протонов. Кстати, недавно в литературе, с 2010 года, на примерно таком же полуклассическом уровне, бурно обсуждался эффект сильного поперечного электрического поля, возникающего в столкновении ультрарелятивистских ионов. Еще пожелание на будущее: было бы интересно сравнить

следствия из подхода диссертанта с предсказаниями из непertурбативного рекурсионного подхода Ксавьера Артру, [arXiv:1001.1061](https://arxiv.org/abs/1001.1061).

Подведу итоги. В диссертационной работе Виктора Владимировича Абрамова представлены результаты единственной серии успешно проведенных на отечественном ускорителе в ИФВЭ экспериментов по односпиновым асимметриям в инклюзивном рождении протонов, антипротонов, положительных и отрицательных пионов и каонов. Серии экспериментов на оригинальной установке мирового класса, результаты которых не просто сопоставимы по значимости с общемировыми результатами, но и являются пионерскими в ряде подчеркнутых выше аспектов. Основные результаты, вынесенные диссертантом на защиту, надежно обоснованы как по собственно результатам измерений, так и по их феноменологической интерпретации.

Единственная претензия к диссертации В.В. Абрамова — Введение следовало бы иметь более обстоятельным, от этого диссертация только выиграла бы. Но, в конце концов, задача оппонента оценивать не литературные достоинства текста диссертации, а значимость полученных диссертантом результатов — в этом отношении диссертационная работа Виктора Владимировича полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 — физика высоких энергий, а ее результаты можно квалифицировать как выдающееся научное достижение в области поляризационной физики высоких энергий.

Все результаты диссертации опубликованы в ведущих международных физических журналах, автореферат диссертации адекватно отображает ее содержание.

Заключение: диссертация Виктора Владимировича Абрамова полностью соответствует требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ (п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842), а ее автору следует присудить заслуженную им ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Официальный оппонент
Главный научный сотрудник
отдела квантовой теории поля
Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау
Российской академии наук, д.ф.-м.н.,



Николаев Николай Николаевич

16 мая 2014 г.

Адрес: 142432, Московская область, Ногинский район, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д. 1-А, ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, тел. (495)702-93-17, (496)522-1958, e-mail: nikolaev@itp.ac.ru.

Подпись г.н.с. Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, д.ф.-м.н. Н.Н. Николаева заверяю

Ученый секретарь Института теоретической
физики им. Л.Д. Ландау РАН
к.х.н.



С.А. Крашаков

16 мая 2014