

## ОТЗЫВ

официального оппонента Смирновой Лидии Николаевны, доктора физ.-мат. наук, профессора Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, стр. 2, Физический факультет, тел. (495)932-89-72, Lidia.Smirnova@cern.ch) на диссертацию Абрамова Виктора Владимировича на тему: «Исследования на поляризованном протонном пучке ИФВЭ и феноменология поляризационных явлений» по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук.

Поляризационные явления составляют важную область физики элементарных частиц. Экспериментальное исследование этих явлений представляет высокие требования к аппаратуре и методикам создания поляризованных пучков частиц и измерения разностных эффектов, определяющих анализирующую способность реакций и величину параметров асимметрии. Большие спиновые эффекты, наблюдаемые в адронных взаимодействиях при энергиях пучков 10-200 ГэВ, связаны со структурой цветовых полей, не описываемой с помощью аппарата теории возмущений квантовой хромодинамики (КХД). Описание поляризационных эффектов осуществляется с помощью феноменологических моделей, учитывающих многокомпонентную цветовую структуру области взаимодействия, различную роль валентных и морских кварков, динамику цветовых струн и особенности описания кварков в области конфаймента. Диссертация Виктора Владимировича Абрамова посвящена исследованиям поляризационных эффектов во взаимодействиях поляризованных протонов с протонами и ядрами. Пучок поляризованных протонов получен на ускорителе ГНЦ ИФВЭ, Протвино. Энергия пучка (40 ГэВ) оптимальна для изучения явлений односпиновой асимметрии инклюзивных реакций для взаимодействий с относительно небольшими переданными импульсами. Информация, получаемая при исследовании эффектов поляризации в таких процессах, позволяет прояснить спиновую структуру адронов и выяснить свойства цветовых хромомагнитных полей, возникающих в области взаимодействия адронов. Энергия проведения эксперимента создает благоприятные условия, как показано автором диссертации, для наблюдения эффекта фокусировки кварков в процессе взаимодействия адронов. Это определяет **актуальность темы диссертации В.В. Абрамова.**

Большой объем полученного экспериментального материала по характеристикам инклюзивных реакций взаимодействий адронов с протонами и ядрами углерода и меди и идентификацией природы конечных адронов (пионов, каонов, протонов и антипротонов) определяет **новизну и ценность** приведенных в диссертации **результатов.** Сопоставление характеристик различных реакций позволило автору диссертации создать **новую феноменологическую модель** описания поляризационных явлений. Модель включает

описание не только явлений, установленных в диссертационной работе, но и результаты экспериментов, полученных на других ускорителях. Это определяет значимость предложенной В.В. Абрамовым модели хромагнитной поляризации кварков и является **достоинством** диссертации.

**Достоверность результатов исследования** определяется использованной экспериментальной методикой, совместным анализом данных, полученных автором диссертации, и имеющихся мировых данных по поляризационным измерениям в физике частиц. Собранный статистический материал достаточен для обоснования выводов диссертации. Полученные результаты перекрывают важную энергетическую область реакций при энергиях пучков от двух десятков до двухсот ГэВ. В этой области отчетливо проявляются динамические свойства цветных полей, формирующих при неупругих взаимодействиях адронов. Сравнение полного набора инклюзивных реакций позволило прояснить их особенности и выявить общие закономерности динамики струн, структуры цветных полей, возникающей в результате сложения эффектов от нескольких кварков, участвующих во взаимодействии, роли эффектов ядерной среды. Разработанная В.В.Абрамовым феноменологическая модель позволила не только обобщить имеющиеся данные, но и указать направления будущих экспериментов. Это определяет перспективность развития изучения поляризационных явлений в ИФВЭ и на строящемся ускорительном комплексе НИКА, ОИЯИ, и демонстрирует **практическую ценность** результатов диссертации.

**Достоинством диссертации** является тот факт, что её автор непосредственно участвовал в планировании исследовательских задач, создании установки и проведении экспериментов. Для выполнения исследований была создана экспериментальная установка ФОДС-2 со сложной многокомпонентной структурой. Двухплечевой магнитный спектрометр, на котором проводились исследования, имеет в своем составе 14 модулей дрейфовых камер, два сцинтилляционных счетчика, адронный калориметр, детекторы черенковского излучения (СКОЧ). Этот комплекс детекторов позволил идентифицировать заряженные пионы, К-мезоны, протоны и антипротоны и обеспечить точность измерения импульса частиц 2-3% во всем кинематическом диапазоне. В.В.Абрамов внес определяющий вклад в разработку программного обеспечения системы идентификации частиц СКОЧ установки.

**Несомненным достижением** диссертации В.В.Абрамова является создание модели для описания комплекса поляризационных явлений во взаимодействиях адронов с адронами и ядрами. Она включает разработки предложений ранее моделей и дополняет их учетом прецессии спина кварков в хромагнитном поле цветовой струны.

Аналитические выражения, полученные автором, демонстрируют нерегулярную структуру поляризационных эффектов в зависимости от кинематических переменных  $x_F$  и  $p_T$ .

Диссертация изложена на 151 странице, состоит из введения, шести глав, заключения и шести приложений. **Во введении** приведены цель работы, объект исследования, результаты, выдвигаемые на защиту, новизна и практическая ценность работы. **Первая глава** представляет описание экспериментальной установки ФОДС-2, на которой выполнены измерения поляризационных эффектов. **Во второй главе** приведены результаты измерений асимметрии вылета заряженных частиц во взаимодействиях поляризованных протонов с импульсом 40 ГэВ/с в жидководородной мишени. Измерения выполнены для угла рассеяния 160 мрад. Проведено сравнение результатов измерений асимметрии вылета пионов с положительным зарядом с данными для пучков поляризованных протонов с импульсами 13,3 и 18,5 ГэВ/с, полученных в Брукхейвенской лаборатории (США). Приведены первые данные для односпиновой асимметрии вторичных частиц разной природы: пионов с отрицательным зарядом,  $K^+$  и  $K^-$  мезонов, антипротонов. **В третьей, четвертой и пятой** главах представлены результаты измерения поляризационных явлений в соударениях поляризованных протонов с импульсом 40 ГэВ/с с мишенями из углерода и меди при разных углах размещения спектрометра. Различия конфигурации установки позволили исследовать разные области по фейнмановской переменной  $x_F$  и поперечному импульсу  $p_T$  измеряемых реакций. Полученные результаты измерений объясняются автором диссертации с использованием понятий о роли начальных валентных кварков в составе вторичных адронов. Модели поляризационных явлений описаны **в шестой главе** диссертации. В ней представлены десять таких моделей. Указаны области их применимости. Рассмотренные модели оказалось невозможным применить к анализу полученных в диссертации экспериментальных результатов. Это послужило основанием для разработки В.В.Абрамовым **новой феноменологической модели**, использующей полуклассический подход. В этой модели учитывается структура цветовых полей, зависимость этой структуры от числа создающих их кварков и антикварков, прецессия спинов кварков, влияние кинематических переменных, атомного номера ядра мишени и другие факторы. Оригинальным является использование микроскопического эффекта Штерна-Герлаха для кварка-пробника, движущегося в неоднородном поперечном хромоманнитном поле, созданном кварками-спектаторами при взаимодействии. Дополнительный поперечный импульс, приобретаемый кварком-пробником в результате взаимодействия с неоднородным хромоманнитным полем, зависит от направления спина кварка. Это

обеспечивает наблюдаемые односпиновые асимметрии инклюзивных реакций, вызываемых поляризованными протонами на неполяризованной мишени. Особенно впечатляют предсказания и описание нерегулярностей в поведении величины поляризации, например, для анти- $\Xi^+$ -гиперона во взаимодействиях протонов с ядрами (рис. 6.23 диссертации и рис.15 автореферата). В **Заключении** приведены основные результаты диссертации. Среди этих результатов можно выделить следующие.

1. В области фрагментации поляризованных протонов  $x_F > 0.35$  обнаружена большая односпиновая асимметрия вторичных адронов, в составе которых присутствуют валентные кварки налетающего протона. При отсутствии таких кварков в составе вторичного адрона эффект асимметрии не наблюдается.
2. Обнаружено явление осцилляции односпиновой асимметрии для вторичных адронов в зависимости от кинематических переменных реакции взаимодействия поляризованного протона с ядрами. Измерена значительная величина параметра асимметрии  $A_N$  для области углов менее  $70^\circ$  в системе центра масс сталкивающихся нуклонов. Эффект имеет объяснение в модели хромомагнитной поляризации кварков.
3. Обнаружен эффект пороговой зависимости параметра асимметрии  $A_N$  для взаимодействий поляризованных протонов с ядрами в реакции с образованием вторичных  $\pi^-$ -мезонов. Пороговый угол составляет  $73^\circ$ .
4. Показано отсутствие существенной зависимости параметра асимметрии реакции  $A_N$  от атомного номера ядра мишени для вторичных заряженных адронов, за исключением протонов.
5. Предложена феноменологическая модель хромомагнитной поляризации кварков, обобщающая имеющиеся мировые данные по поляризационным явлениям в физике частиц в области промежуточных энергий.

**Достоинством диссертации** следует считать тот факт, что экспериментальные исследования выполнены на российском ускорителе, приложения диссертации содержат полные таблицы полученных результатов по величине асимметрии реакций.

**В качестве замечаний** следует отметить следующее.

1. В разных главах используются понятия односпиновой асимметрии и анализирующей способности, обозначаемых одним символом  $A_N$ . Не приведено пояснений особенностей использованной терминологии, если они имеются.
2. При анализе зависимости инклюзивных сечений от атомного номера ядра мишени в разделе 6.11 (стр.99-100) используются значения сечений, отнесенные к инклюзивным сечениям на протонной мишени, умноженным на  $A$  (атомный

номер мишени), хотя сечения инклюзивных реакций следуют поведению неупругих сечений на ядрах, пропорциональных  $A^{2/3}$ . Такая нормировка соответствует более близкому учету числа нуклон-нуклонных взаимодействий в рА соударениях.

3. При изложении диссертации автор нередко отсылает к оригинальным работам или обзорам, что затрудняет ознакомление с материалом.

Указанные замечания не снижают высокого качества проведенных исследований. В диссертации практически отсутствуют опечатки. Результаты опубликованы.

Личный вклад автора не вызывает сомнений. Автореферат отражает содержание диссертации.

Результаты, полученные автором диссертации хорошо известны мировому сообществу. Они могут быть использованы при проведении, планировании и анализе экспериментов как в нашей стране в Национальном Исследовательском Центре «Курчатовский институт», ОИЯИ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, ИЯИ РАН, так и за рубежом.

Таким образом, диссертация Виктора Владимировича Абрамова на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены достоверные и научно-обоснованные результаты, использование которых вносит значительный вклад в развитие научного потенциала страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент

Профессор, доктор физ.-мат. наук



Л.Н. Смирнова

Декан физического факультета МГУ

Профессор

24 апреля 2014 г.



Н.Н. Сысоев