

«УТВЕРЖДАЮ»

**Директор ФГБУ «ГНЦ РФ –
Институт Теоретической и
Экспериментальной Физики»
НИЦ «Курчатовский институт»**



Профессор Козлов Ю.Ф.

« 13 » мая 2014 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации на диссертацию Абрамова Виктора Владимировича
«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**

Диссертация Абрамова В.В. посвящена исследованию спиновых эффектов в процессах образования адронов с известной поляризацией одной частицы в начальном либо в конечном состоянии («односпиновые» процессы). Такие исследования позволяют установить универсальные закономерности, связанные со структурой адронов и динамикой их взаимодействия в адронных реакциях, могут привести к лучшему пониманию природы конфайнмента и механизма адронизации кварков, что является одной из основных задач физики сильных взаимодействий. В связи этим диссертационная работа Абрамова В.В., в которой впервые измерены односпиновые асимметрии π^+ , K^+ , p и \bar{p} - частиц, образующихся в инклюзивных p^1p - и p^1A -соударениях в области энергий ускорителя ИФВЭ, и создана феноменологическая модель, описывающая всю совокупность мировых данных по односпиновым поляризационным процессам, является несомненно актуальной.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения.

Во **введении** обсуждается актуальность темы диссертации, формулируется цель

работы, основные результаты и положения, выносимые на защиту, обосновывается их научная новизна и практическая ценность.

Первая глава посвящена постановке эксперимента для исследования спиновых эффектов в инклюзивных процессах образования π^\pm , K^\pm , p и \bar{p} - частиц поляризованным протонным пучком на протонной, углеродной и медной мишенях при энергии 40 ГэВ. Энергия поляризованного протонного пучка достаточно высока, что позволяет исследовать поляризационные явления при больших значениях поперечных импульсов, когда взаимодействие адронов происходит на уровне составляющих – кварков. В этой главе представлено описание пучка поляризованных протонов ИФВЭ и экспериментальной установки (ФОДС), которая является специализированным двухплечевым магнитным спектрометром, предназначенным для регистрации частиц с большими поперечными импульсами. Для выработки триггера использовались сцинтилляционные счетчики, годоскопы и адронные калориметры. Важным достоинством установки было размещение ее магнита и основных детекторов на подвижных платформах, что позволяло менять угол регистрации частиц в широких пределах. Следует отметить высокую интенсивность поляризованного пучка протонов - до $3 \cdot 10^7$ /сброс. Наличие поглотителя в спектрометрическом магните позволило работать при такой высокой интенсивности пучка и достичь больших значений поперечного импульса - до 3.6 ГэВ. Для идентификации частиц в установке использовались уникальные спектрометры колец черенковского излучения (СКОЧ), позволяющие одновременно и с высокой эффективностью идентифицировать шесть типов адронов (π^\pm , K^\pm , p и \bar{p}). Автором диссертации предложен и реализован новый вариант программы обработки данных со спектрометра СКОЧ, позволивший вдвое увеличить долю идентифицируемых частиц за счет расширения рабочей апертуры. В этой главе рассмотрены также вопросы обработки экспериментальных данных, которые были существенны для получения результатов по односпиновой асимметрии. Приведено определение параметра A_N , характеризующего асимметрию вторичных частиц, вызванную поляризацией протонного пучка. Большое внимание уделено анализу эффектов, которые могли бы приводить к ложной асимметрии. Для минимизации систематических ошибок, связанных с ложной асимметрией, при получении данных осуществлялся реверс поляризации пучка протонов каждые 15 минут. Диссертантом предложен и применен метод выравнивания средних значений координат пучка в экспозициях с поляризацией протонов, направленной «вверх» и «вниз», что позволило понизить уровень систематических ошибок в измерениях односпиновой асимметрии.

Вторая глава посвящена измерениям односпиновой асимметрии A_N для π^\pm , K^\pm , p и \bar{p} - частиц с использованием поляризованного протонного пучка и жидководородной мишени при симметричном расположении плеч спектрометра

под углом 160 мрад. Область кинематических переменных для этих измерений $0,03 \leq x_F \leq 0,12$ и $0,66 \leq p_T \leq 3,4$ ГэВ/с по переменным x_F и p_T , соответственно. Полученные в этих условиях асимметрии A_N отличны от нуля только для π^+ и K^+ -мезонов и протонов, содержащих более легкий u -кварк из налетающего поляризованного протона. Для π^- , K^- и \bar{p} асимметрия A_N равна нулю в пределах точности измерений. Асимметрии для K^\pm и \bar{p} не измерялись ранее при энергиях выше 12 ГэВ.

В третьей главе представлены результаты измерений A_N на углеродной и медной мишенях для полярного угла регистрации 90 мрад в л.с.к. Данные перекрывают широкую область по переменным x_F ($0,03 \leq x_F \leq 0,7$) и p_T ($0,6 \leq p_T \leq 2,5$ ГэВ/с). Асимметрия A_N равна нулю только для K^- и \bar{p} , которые не имеют в своем составе валентных кварков из поляризованного протона. Асимметрия A_N растет по абсолютной величине для π^+ и K^+ , достигая 30-40% при максимальных значениях x_F . Знак A_N положительный для π^+ и K^+ , содержащих валентный u -кварк из поляризованного протона, и отрицательный для π^- , образующихся при доминировании фрагментации d -кварка. Зависимость A_N от атомного веса ядра мишени оказалась, в пределах точности измерений, несущественной. Очень интересны результаты по асимметрии для протонов: $A_N(x_F)$ - осциллирует при увеличении x_F от отрицательных значений к положительным при $x_F = 0,43$ с последующим приближением к нулю при x_F около 0,68. Величина асимметрии немного больше на углеродной мишени, чем на медной. Данные других экспериментов, полученные при меньших значениях p_T и x_F , имеют близкую к нулю асимметрию A_N . Большинство существующих моделей предсказывают нулевую асимметрию образующихся протонов в инклюзивных реакциях. Односпиновая асимметрия для K^- и \bar{p} , как и ожидалось, в пределах точности измерений равна нулю, поскольку они не содержат валентных кварков из налетающих поляризованных протонов.

В четвертой и пятой главах диссертации обсуждаются результаты измерений A_N для углов регистрации 160 и 230 мрад на углеродной и медной мишенях. Измерения показали наличие значительной асимметрии только для π^+ и K^+ -мезонов, содержащий более легкий составляющий u -кварк из поляризованного протона. Для других частиц (π^- , K^- , p и \bar{p}) $A_N=0$ в пределах точности измерений. Детальный анализ зависимости A_N от полярного угла в с.ц.м. показал (с учетом данных других экспериментов) наличие порогового угла для образования π^- , равного 73°, выше которого односпиновая асимметрия равна нулю. В процессах образования π^+ -мезонов A_N отлична от нуля вплоть до углов 99° в с.ц.м. Автор указывает на возможную связь величин этих пороговых углов с динамической

массой составляющих u - и d -кварков.

В **шестой главе** представлен обзор наиболее популярных моделей, используемых в настоящее время для объяснения поляризационных явлений, в том числе односпиновой асимметрии адронов и поляризации гиперонов и антигиперонов. Наличие обзора моделей в составе диссертации помогает понять всю сложность и неоднозначность проблемы односпиновых поляризационных явлений. Из изложения следует, что существующие модели, как правило, с успехом описывают отдельные поляризационные явления для небольшого числа реакций в ограниченной кинематической области для достаточно высоких энергий. Однако, они не в состоянии объяснить в рамках единого механизма всю совокупность имеющихся в мире односпиновых поляризационных данных, полученных для 80 инклюзивных реакций. В этой главе представлено также описание феноменологической модели хромагнитной поляризации кварков (ХПК), разработанной автором диссертации. В модели в основе механизма поляризационных явлений лежит гипотеза о наличии в области взаимодействия неоднородного кругового поперечного хромагнитного поля и влиянии эффекта Штерна-Герлаха на кварки, пролетающие через это поле. С помощью ХПК модели автору диссертации удалось успешно описать существующие данные для 80 инклюзивных односпиновых поляризационных процессов, хотя для этого потребовалось довольно большое число свободных параметров - 99. Модель представляет собой обобщение эмпирических закономерностей и позволяет провести глобальный анализ данных для 80 реакций, содержащих 3160 экспериментальных точек. В результате такого анализа поляризационных данных получена первая (модельно зависящая) оценка аномальных хромагнитных моментов составляющих кварков, которая оказалась близка к теоретическим оценкам, полученным в рамках инстантонной модели. Среди качественных результатов ХПК модели можно отметить предсказание осцилляции поляризации антигиперонов $P_N(x_F)$ в барион-барионных соударениях в результате прецессии спина антикварков в сильном хромагнитном поле, характерном для таких реакций. Близкая к линейной зависимость $A_N(x_F)$ ожидается в реакциях $p^1A \rightarrow \pi^\pm X$, для которых согласно модели ХПК прецессия спина в слабых цветовых полях мала. Получено также качественное объяснение слабой зависимости $A_N(x_F \geq 0)$ в этих реакциях от атомного веса мишени.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Новизна проведенных исследований основана на следующих положениях:

Получен обширный массив новых экспериментальных данных по односпиновой асимметрии в неисследованной ранее кинематической области, для шести типов заряженных адронов, трех мишеней и трех значений углов регистрации частиц

Впервые измерена односпиновая асимметрия инклюзивного образования π^{\pm} , K^{\pm} , p и \bar{p} в $p^{\uparrow}p$ - и $p^{\uparrow}A$ - взаимодействиях при столь больших значениях поперечных импульсов ($0,6 \leq p_T \leq 3,6$ ГэВ/с). До этого эксперимента данные по заряженным адронам существовали лишь в области $p_T \leq 2,2$ ГэВ/с. Данные по односпиновой асимметрии антипротонов получены впервые. Измерения на установке ФОДС позволили заполнить пробел в области энергий от 22 до 200 ГэВ., что важно для исследования зависимости A_N от энергии пучка.

Впервые односпиновая асимметрия измерена на одной установке для нескольких мишеней (p, C, Cu).

Впервые в исследованиях асимметрии A_N от угла образования вторичных адронов обнаружено, что A_N в реакциях $p^{\uparrow}A \rightarrow \pi^{\pm}X$ имеют пороговую зависимость от полярного угла в с.ц.м. реакции. Величина порогового угла зависит от массы поляризованного составляющего кварка, переходящего из протона в наблюдаемый адрон.

Впервые наблюдается значительная асимметрия $A_N(x_F)$ в реакции $p^{\uparrow}A \rightarrow pX$ и обнаружена осцилляция $A_N(x_F)$ в зависимости от фейнмановской переменной x_F . Это явление объяснено автором в рамках модели хромомагнитной поляризации кварков, как проявление прецессии спина кварков в сильном хромомагнитном поле. Отметим, что в рамках других моделей объяснения этих данных пока нет.

Создана модель хромомагнитной поляризации кварков, которая описывает с высокой точностью, сравнимой с точностью самих данных, наблюдаемые односпиновые эффекты в инклюзивном образовании адронов для 80 реакций.

Создана уникальная база данных, содержащая практически всю доступную экспериментальную информацию по 80 инклюзивным односпиновым поляризационным процессам.

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов работы базируется на использовании современной экспериментальной аппаратуры, проведении контрольных измерений, исследовании фона и зависимости ложной асимметрии от условий постановки эксперимента. Полученные на установке ФОДС результаты сопоставимы с данными других экспериментов и хорошо согласуются с ними, с учетом зависимости поляризационных эффектов от кинематических переменных и атомного веса ядра мишени. Основные результаты диссертации опубликованы в 21 научной работе, в том числе 12 работ опубликовано в ведущих рецензируемых журналах и изданиях из Перечня ВАК. Результаты, сформулированные в

диссертации, докладывались на многих международных конференциях и симпозиумах по спиновым явлениям, на конференциях Секции ядерной физики Отделения физических наук РАН, а также на семинарах в ИФВЭ и ОИЯИ.

Значимость полученных в диссертации результатов

Результаты проведенных автором диссертации исследований представляют несомненную ценность и высокую научную значимость для физики сильных взаимодействий, в частности, для выяснения структуры адронов и динамики их взаимодействия в адронных реакциях. Полученные в диссертации экспериментальные результаты и собранная автором уникальная база данных по поляризационным явлениям могут использоваться для проверки теоретических моделей поляризационных явлений. Идеи систематического (глобального) подхода к исследованию поляризационных явлений могут и уже используются при подготовке новых экспериментов в этой области физики высоких энергий. В эксперименте СПАСЧАРМ (ИФВЭ) планируется измерить односпиновую асимметрию, а также поляризацию гиперонов и антигиперонов и векторных мезонов для десятков различных реакций, Предсказания значительных спиновых эффектов, полученные в рамках ХПК модели, могут быть проверены на строящемся коллайдере НИКА в ОИЯИ (Дубна), а также на коллайдере RHIC (Брукхэйвен, США) и в экспериментах на ускорительном комплексе ФАИР (Германия).

В качестве **замечаний** по диссертации необходимо отметить следующее.

1. Представляется, что в диссертации стоило бы более подробно раскрыть смысл сравнения данных по поляризации протонов, рожденных в pA - взаимодействиях неполяризованными протонами и односпиновой асимметрии протонов в инклюзивных реакциях, в частности, наличие A -зависимости для этих наблюдаемых.

2. В тексте диссертации содержится повторения, например, определение параметра характеризующего асимметрию вторичных частиц встречается в тексте 4 раза, также как и описание некоторых деталей установки ФОДС. В автореферате на стр. 17 и 18 содержатся одинаковые предложения.

Данные замечания не влияют на общую высокую оценку работы Абрамова В.В. и не ставят под сомнение основные результаты и выводы, полученные в диссертации. В целом диссертационная работа Абрамовым В.В. представляет законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Полученные в диссертации результаты являются фундаментально важными для понимания природы поляризационных явлений. Проведенная диссертантом работа является существенным вкладом в науку и имеет перспективы как в научном, так и в практическом плане.

Оформление рукописи соответствует принятым правилам и стандартам.

Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации. В опубликованных автором работах полно отражены основные результаты и положения диссертации.

Диссертация Абрамова В.В. безусловно соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Абрамов Виктор Владимирович, за результаты экспериментальных исследований односпиновой асимметрии в неизученной ранее кинематической области и разработку феноменологической модели, описывающей всю совокупность мировых данных по односпиновым поляризационным процессам, которые могут быть квалифицированы как крупное научное достижение, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Результаты диссертации обсуждались и были одобрены на научном семинаре ИТЭФ 26 марта 2014 года.

Отзыв составил
доктор физ.-мат.наук
начальник лаборатории 112
ФГБУ «ГНЦ РФ – ИТЭФ»
НИЦ «Курчатовский институт»



Долголенко А.Г.

г. Москва « 10 » мая 2014 г.

Почтовый адрес:

117218, Москва, ул. Большая Черемушкинская, д. 25

тел. +7-495-1274742, e-mail: dolgolenko@itep.ru