

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Նավասարդյան Տիգրան Համլետի

ՔՎԱՐԿ-ԱԴՐՈՆԱՅԻՆ ԵՐԿՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵԶՈՆՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐՈՍՏՄԱՆ
ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա.04.16-«Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական
ճառագայթների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների
թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան -2007

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А.И. Алиханяна

Навасардян Тигран Гамлетович

КВАРК-АДРОННАЯ ДУАЛЬНОСТЬ ПРИ ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИИ
МЕЗОНОВ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.16 – "Физика ядра,
элементарных частиц и космических лучей»

Ереван-2007

**Ереванский Физический
ИНСТИТУТ
научно-техническая
библиотека**

Ատենախոսության թեման հաստատված է Ա. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում
 գիտական ղեկավար՝ Ֆիզմաթ. գիտությունների թեկնածու
 Հ.Գ.Մկրտչյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ
 Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆ.
 Ա.Ղանազուկյան (ԵՊՀ),
 Ֆիզմաթ գիտ. թեկնածու
 Ա. Է. Ավետիսյան(ԵրՖԻ)

Առաջատար կազմակերպություն Երևանի պետական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է մարտի 29-ին. 2007թ. ժամը 14⁰⁰-ին ԵրՖԻ-ում գործող ԲՈՒՀ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (375036, Երևան, Ալիխանյան Եղբայրների փող. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է փետրվարի 27-ին 2007 թ.

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,

Ֆիզ. մաթ. գիտությունների թեկնածու *Ա.Է. Ավետիսյան* Ա.Թ. Սարգսյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте им. А.И. Аликханяна .

Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук Г.Г.Мкртчян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, проф. А.Данагулян (ЕГУ), кандидат физ.-мат. наук А.Аветисян (ЕрФИ)

Ведущая организация: Ереванский государственный университет

Защита состоится 29 марта 2007г. в 14⁰⁰ч., на заседании специализированного совета ВАК 024, действующего при Ереванском физическом институте им. А.И. Аликханяна, (375036, ул. Братьев Аликханян 2, г. Ереван)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института им. А.И. Аликханяна.

Автореферат разослан 27 февраля 2007 г.

Ученый секретарь спец. совета, к.ф.м.н. *Ա.Թ. Սարգսյան* А.Т. Маргарян

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. В начале 70-ых годов Блум и Гильман сделали феноменологическое наблюдение, что существует дуальность между электрон-адронным взаимодействием в резонансной области и глубоко неупругим рассеянием [1]. Особенно важными были следующие два наблюдения: первое – кривая скейлинга глубоко неупругого процесса ($F_2(x)$ при высоких Q^2) является хорошим приближением усредненным по резонансу ($\nu W_2(\nu, Q^2)$ при малых Q^2), и второе – отношение резонансного фона к нерезонансному – величина постоянная (т.е. они обе уменьшаются на одинаковую величину с уменьшением Q^2).

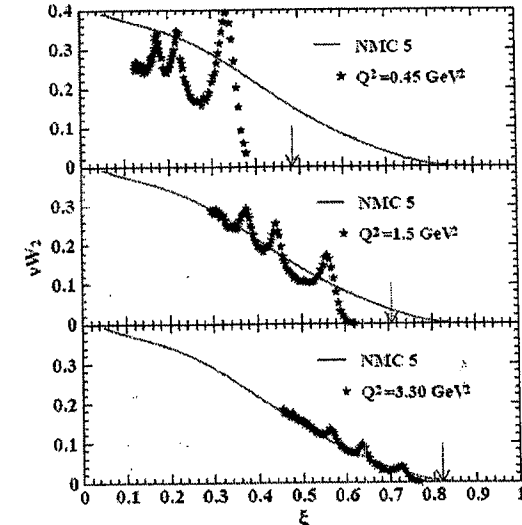


Рис. 1: Зависимость W^2 от ξ для резонансных данных Jefferson Lab-a [20] для трех разных Q^2 . Сплошные линии на рисунке – параметризация NMC [4].

Более детальные измерения, проведенные в JLab-e [20] выявили, что явление дуальности проявляется при значительно более низких энергиях и Q^2 . Как видно из Рис.1 пики структурных функций в области резонансов хорошо усредняются вокруг скейлинговых кривых, базирующих на данных высоких энергий.

Широко известно, что в области высоких энергий (при Q^2 и W^2 порядка нескольких десятков GeV^2), исходя из принципов пертурбативной квантовой хромодинамики, процесс электророждения адронов можно представить в виде двух квази-независимых процессов – взаимодействие виртуального фотона с кварком и последующая адронизация данного кварка. В этом случае сечение процесса можно рассматривать в виде произведения двух множителей $\sigma \sim g(x, Q^2) * f(z)$. Первый из множителей $g(x, Q^2)$ отвечает за

взаимодействие виртуального фотона с кварком, а второй - $f(z)$ за последующую адронизацию кварка. Были проведены ряд экспериментов доказывающих данное утверждение: эксперимент проведенный на ускорителе SLAC-а [8] ($Q^2 \sim 8.0 \text{ GeV}^2/c^2$ и $W^2 \sim 25 \text{ GeV}^2$) и коллаборацией EMC [4] (в области энергий $Q^2 \sim 46.0 \text{ GeV}^2/c^2$ и $16 < W^2 < 200 \text{ GeV}^2$). Является ли такой же подход правомочным при более низких энергиях не однозначно. Группой HERMES на ускорителе DESY был проведен эксперимент [19] в более низкой энергетической области ($Q^2 \sim 2.3 \text{ GeV}^2/c^2$ и $W^2 > 10 \text{ GeV}^2$) для проверки данного утверждения. Как показали результаты в данной области энергий также можно утверждать о факторизации сечения процесса и фрагментации кварка. Несмотря на то, что энергия переданного виртуальному фотону была порядка 2.5 ГэВ, данные HERMES-а находится в глубоко неупругой области. Можно ли перенести принципы высоких энергий в резонансную область и можно ли представить нуклон в виде квази-свободых кварков в области низких энергий? Существует ли кварк-адронная дуальность в резонансной области? Для выяснения этих вопросов впервые был проведен эксперимент в Национальной Лаборатории Томаса Джефферсона (TJNAF), используя процесс семи-инклюзивного электророжения π^\pm мезонов в резонансной области.

Дуальность между инклюзивным электрон-адронным рассеянием в резонансной области и в глубоко неупругих рассеяниях (Блум-Германовская кварк-адронная дуальность [1]) хорошо изучена, но о существовании похожей дуальности при семи-инклюзивном электророжении π мезонов в резонансной области энергий не было никаких данных. Существует ряд теоретических работ [2,3], в которых есть предположения, что в данном случае дуальность тоже должна иметь место, но до сих пор не было проведено экспериментальных работ с целью доказать или опровергнуть данный факт.

Цели и основные задачи работы: Для исследования вышеизложенной проблемы был проведен эксперимент E00-108 на ускорителе CEBAF в экспериментальном зале Hall C. Целью данной работы являлось изучение кварк-адронной дуальности при электророжении заряженных π мезонов в области резонансных энергий. Данная работа преследовала две основные цели. Первая – факторизуется ли сечение данной реакции при малых энергиях и второе – могут ли полученные нами результаты описывать фрагментационные функции, предсказанные при высоких энергиях. И соответствуют ли полученные нами результаты данным экспериментов, проведенных при высоких энергиях. Для достижения вышеуказанных целей решались следующие задачи:

- Расчет фрагментационных функций и сопоставление их с уже существующими данными экспериментов в области высоких энергий (HERMES, SLAC, EMC).
- Сравнение полученных результатов с имеющимися теоретическими предсказаниями [16,17].
- Объяснение полученных результатов с помощью кварк-партоновой модели и явлением фрагментации сечения.

Для достижения поставленной цели был разработан, а в некоторых случаях доработан программный комплекс обработки экспериментальных данных [10,21] и пакетов Монте Карло симуляций Hall C (для понимания возможных механизмов влияния аппаратурных эффектов и воспроизведения поведения реального эксперимента).

Было проведено сравнение полученных результатов с теоретическими предсказаниями и измерениями, проведенными ранее в иной кинематической области [22]. В пределах статистических и систематических ошибок наши данные хорошо согласуются как с теоретическими моделями, так и с результатами предыдущих измерений.

Научная новизна: Результаты представленные в данной диссертации, являются новыми. Аналогичные результаты ранее были получены в области глубоко неупругого рассеяния в экспериментах HERMES, SLAC, EMC и как видно полученные нами результаты, в резонансной области, сопоставимы с результатами данных работ. До проведения данной работы времени не было никаких экспериментальных данных доказывающих или опровергающих существование кварк-адронной дуальности при семи-инклюзивном рождении мезонов в резонансной области.

Практическая значимость полученных результатов: Основным результатом данной работы является экспериментальное измерение сечения π^\pm мезонов на мишенях протона и дейтрона, и на их основании доказательство существования факторизации в резонансной области. Важным и актуальным свойством представленного результата является оценка поведения отношения «favored» и «unfavored» фрагментационных функций в зависимости от переменных X и z в данной кинематической области (Рис 8). Одним из значимых результатов является также отношение суммы сечений π^+ и π^- мезонов на протонной мишени к сумме сечений на дейтронной мишени (Рис 7). В рамках эксперимента E00-108 был улучшен метод отбора и воссоздания треков пролетающих частиц, который был введен в стандартный пакет обработки данных Hall C и используется по сей день. Также была улучшена коррекция длины пути пролетающей частицы в спектрометрах HMS (High Momentum Spectrometer) и SOS (Short Orbit Spectrometer), что привело к независимости положения пика времени совпадения от кинематических параметров измерения и улучшение разрешения времени совпадения.

На основании полученных результатов были представлены к рассмотрению и утверждены ряд экспериментов, в том числе: Semi-Inclusive Spin Asymmetries on the Nucleon Experiment [14], Higher Twist Effect in Fragmentation Sector And Its Experimental Extraction и т.д. Данная работа послужила также иницирующим фактом для ряда теоретических работ, объясняющих данное явление.

Автор выносит на защиту следующие результаты и выводы:

Краткое содержание работы.

1. Первые экспериментальные измерения и на их основании правомочность объяснения поведения кварк-адронной дуальности электроорождения заряженных π мезонов в резонансной области энергий.
2. Получены сечения электророждения семи-инклюзивных π^\pm мезонов и их сравнение с теоретическими предсказаниями [22] на основе представлений из области глубоко неупругих процессов, предполагающих факторизацию процесса.
3. Представлены результаты так называемого супер-отношения (отношения сумм(разностей) сечения на мишени протонов к сумам на дейтроне положительного и отрицательного пиона (Формула 2)) [23]. Данные отношения позволяют нам исследовать принцип факторизации более детально.
4. Поведение отношения так называемых "unfavored" к "favored" фрагментационных функций в зависимости от переменных X и z. А также их последующее сравнение с экспериментальными результатами, проведенными при больших переданных импульсах виртуального фотона.
5. Улучшена методика отбора частиц при воссоздании треков частиц [10], а также модернизирована методика коррекции длины пути пройденной частицы в обоих спектрометрах [21].

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на следующих семинарах и конференциях:

1. *Users Meeting: "Quark-Hadron Duality in Meson Electroproduction", Jefferson Lab, USA, 2006 January*
2. *Collaboration Meeting "Analysis Status of Experiment E00-108", Jefferson Lab, USA, 2005 January*
3. *"Factorization studies in SIDIS at JLab", 9th Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics AIP Conf. Proc. 870, 636 (2006)*
4. *Семинар в ЕрФИ: представление диссертации «Кварк-адронная дуальность при электророждении мезонов» на заседании отделения экспериментальной физики, Май 2006г*

Публикации По материалам работы опубликованы 4 научных труда, список которых приведен в конце автореферата.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из 5 глав, из коих первая является введением, а последняя – заключением и списка использованной литературы, в которой использованы ссылки на 80 работ. Данная работа состоит из 146 страниц, 76 рисунков и 18 таблиц.

Во введении: дана общая характеристика работы, обоснована актуальность, определены цели и задачи, научная новизна и практическая ценность работы, приведены основные положения выносимые на защиту. Также во введении представлены пути решения целей данной работы.

В первой главе: кратко описана теория относящаяся к данной работе. Более детально, в первом параграфе описана кинематика данного эксперимента (Таблица 1). Для проведения данной работы была использована семи-инклюзивная реакция электророждения заряженного π мезона:

$$e(k) + N \rightarrow e'(k') + \pi^\pm + X$$

θ_e deg.	E' GeV	ν GeV	Q^2 (GeV/c) ²	x	W^2 GeV ²	$ \vec{q}_T $ GeV/c	θ_{π^\pm} deg.	θ_m deg.	z	p_m GeV/
28.71	1.702	3.794	2.30	0.32	5.70	4.09	11.54	11.54	0.37	1.397
									0.42	1.606
									0.49	1.846
									0.55	2.123
									0.64	2.436
									0.74	2.808
									0.85	3.222
									0.97	3.703
28.71	1.702	3.794	2.30	0.32	5.70	4.09	11.54	11.54	0.55	2.082
31.75			2.80	0.39	5.20	4.15	12.47			12.47
34.55			3.30	0.46	4.70	4.21	13.27			13.27
37.17			3.80	0.53	4.20	4.27	13.95			13.95
28.71	1.702	3.794	2.30	0.32	5.70	4.09	11.54	13.54	0.55	2.082
								15.54		2.15C
								19.54		
28.0	1.30	4.00	1.61	0.21	6.77	4.20	8.86	10.5	0.50	2.00
45.0	1.40	3.90	4.35	0.59	3.85	4.42	18.50			1.95
54.0	1.20	4.10	5.24	0.68	3.33	4.70	18.21			2.05
29.48	1.67	4.33	2.60	0.32	6.40	4.82	10.27	10.27	0.55	2.37
								15.5	0.35	1.51
								15.5	0.45	1.95
								15.5	0.65	2.81
								15.5	0.75	3.24
								15.5	0.85	3.68
								15.5	0.95	4.11

Таблица 1 : Значения основных кинематических параметров эксперимента E00-108.

Представлены основные кинематические переменные и их описание, которыми мы будем в дальнейшем оперировать.

Во втором параграфе дается краткое описание глубоко неупругих процессов в аспекте проведенной работы. Далее следует описание феноменологии кварк партонной модели, описана кварк партонная модель Феймана. В данную модель вовлечен набор функций распределения партонов (PDF [5]), которые были использованы в процедуре обработки полученных данных.

В четвертом параграфе описаны глубоко неупругие процессы для семи-инклюзивного случая. Изучения были сконцентрированы на лучшем описании PDF, распознавании вклада кварка и антикварка и в понимании адронизации кварка [6]. Неотъемлемой частью данной работы является понятие кварк-адронной дуальности и поэтому далее следует параграф с представлением принципа дуальности. Объясняется принцип дуальности на примерах контраста между пертурбативной и обычной квантовой хромодинамики [7]. Далее описываются понятия фрагментации и факторизации. Фрагментация объясняется на основе модели независимой фрагментации, разработанной Фильд и Фейманом [9] в начале 1970-ых. И в заключении данной главы описывается, на основе вышесказанного, дуальность в случае семи-инклюзивных процессов.

Во второй главе: описывается экспериментальная аппаратура, на которой проводился данный эксперимент. Эксперимент E00-108, "Duality in meson electroproduction", был проведен в экспериментальном зале Hall C, Национальной Лаборатории имени Томаса Джефферсона (TJNAF) в Августе 2003 года. Данный эксперимент проводился с использованием тока в области от 20 до 60 микро Ампер и энергии набегающего электронного пучка в 5.496 ГэВ. В течении всего времени получения данных использовались оба спектрометра: HMS (спектрометр высокого момента) и SOS (спектрометр с короткой орбитой). В спектрометре HMS регистрировались пионы в совпадении с электронами в SOS. В качестве мишеней использовались две криогенные мишени – жидкий водород и дейтерий длиной 4 см, а также алюминий толщиной порядка 2мм (для расчета вклада от стенок криогенных мишеней). Схемы спектрометров HMS и SOS похожи, они отличаются только "импульсным" разрешением и аксептансом, и поэтому мы вкратце опишем только один из них, например HMS.

HMS состоит из трех квадрупольных линз (Q_1, Q_2, Q_3), за которыми следует дипольный магнит (D) с наклоном 25° , через который частица пролетает к детекторному домику (Рис. 2).

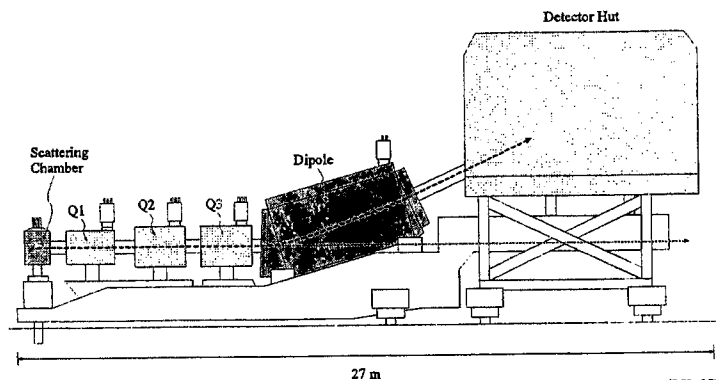


Рис. 2 : Схематичное представление Спектрометра Высоких Импульсов (HMS).

Стандартные пакеты детекторов HMS и SOS почти что идентичны. Каждый спектрометр состоит из пары систем дрейфовых камер отвечающих за восстановление трека пролетающей частицы, двух комплектов сцинтилляционных годоскопов x-y (формирующих триггерную систему и определяющих время пролета частицы), а так же газового и азрогель Черенковских детекторов и калориметра из свинцовых стекол – отвечающих за идентификацию частиц. Различие состоит в том, что в состав пакета детекторов в спектрометре SOS не входит азрогель Черенковский детектор.

Далее в данной главе следует детальное описание отдельных детекторов, системы триггеров и их настройка для целей данного эксперимента, а в заключении дается описание метода сбора данных.

В третьей главе диссертации приведен метод анализа данных, полученных во время эксперимента E00-108. Обсуждается метод реконструкции событий, трекинга и методика отбора из многих траекторий наиболее "правильных" и "физически" возможных. Приведены алгоритмы, которые были использованы при отборе вышеуказанных треков. Приведен метод измерения времени пролета частицы. Кроме он-лайн проверки качества полученных данных, осуществлялась также проверка качества и стабильность окончательных (off-line) данных. Одной из методик проверки стабильности и качества данных, приведенных в диссертации, является - run-by-run проверка взаимосогласованности нормированных выходов для семи-инклюзивных π^+ и π^- случаев.

Так как рассеянные электроны были зарегистрированы в совпадении с пионам, то для контроля качества данных был так же проведен анализ инклюзивного (e, e^x) сечения. Для измерения положения электронного пучка на мишени и контроля его стабильности был использован BPM (Beam Position Measurement). Далее следует параграф, в котором описываются методы калибровки детекторов спектрометров HMS/SOS.

Для получения достоверных и точных результатов необходима детальная калибровка детекторов. Калибровка включает в себя: преобразование значения TDC дрейфовой камеры в расстояние пролета, калибровки выходных сигналов ФЭУ от модулей калориметра и Черенковского детектора на энергию и число фото-электронов соответственно и т.д.

Первостепенной важностью задачи идентификации частиц – это отобрать пионы и электроны в спектрометрах HMS и SOS соответственно. Триггер уменьшает число фоновых частиц, но не исключает их, и для этих целей был использован метод идентификации и разделения частиц. С этой целью была использована комбинация сигналов сцинтиляторов (для определения времени пролета частиц) газовых и азрогельных Черенковских детекторов, а также данные полученные от калориметра. В течении данного анализа важным фактором было разделение «реальных» частиц от фоновых. Основной вклад в фон в электронном плече составляли π^- мезоны, а в адронном плече - позитроны, протоны и каоны. Если для избавления от фона первых двух типов частиц использовались критерии отбора на кинематические параметры

детекторов, то для каонов данная операция не давала ощутимого результата. Для этого было проведено фитирование каонного пика и нахождение примерного количества «реальных» каонов, фоновых событий под каоновым пиком, а также реальных событий, которые были примешаны к каонному пику.

Далее следует список общепринятых стандартных коррекций, которые были использованы во время анализа данных большинства экспериментов HALL C.

Однако, как показали более детальные исследования, некоторые пакеты программ обработки данных (например, трекинга и время пролета частиц) требовали существенных модификаций и доработок. Учитывая специфику данного эксперимента (высокая частота регистрируемых частиц из-за высокой интенсивности электронного пучка и малым углом между спектрометром и пучком) стандартный программный пакет отбора треков иногда выбирал «ложный» трек. Стандартная программа отбора треков сначала выбирала частицы с наименьшим χ^2 и только после этого реагировала на отклики остальных детекторов. Это приводило к тому, что при одновременно возникающем большом количестве треков в дрейфовой камере, иногда мог выбираться физически нереальный трек. Далее применяя критерии отбора кинематических параметров детекторов так или иначе отбрасывался данный ложный трек, что и приводило к потере реального трека уже с самого начала отбора. Для устранения данного негативного эффекта был модернизирован стандартный пакет программ для отбора трека частиц [10].

Усовершенствованная методика сначала выбирала физически возможный трек, исходя из откликов детекторов, и только после этого выбирался трек с минимальным χ^2 . Также в логику отбора частиц был введен кластер калориметра и система годоскопов. Данное нововведение позволило улучшить критерий отбора треков ~ 4%. Данный пакет в последствии был включен в стандартный комплект программ обработки данных Hall-a C.

Время совпадения являлось одним из важнейших кинематических параметров используемого при процедуре обработки данных, и поэтому было проведено детальное исследование времени совпадения. Было обнаружено, что при разных кинематических измерениях наблюдался сдвиг между пиками времени совпадения (Рис. 3).

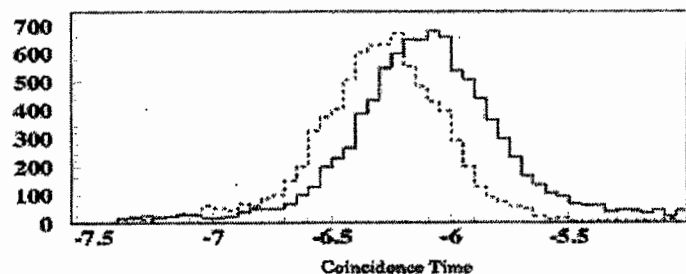


Рис. 3 : Разность местонахождения пика совпадения при разных центральных импульсах в спектрометре HMS ($P_{HMS}=1.397$ GeV/c (сплошная линия) и $P_{HMS}=3.703$ GeV/c (пунктирная линия)).

Данный сдвиг происходил из-за того, что частицы с разными импульсами пролетают разный путь в спектрометре и вследствие этого имеют разную величину времени пролета. Для устранения данного эффекта была разработана новая методика и написана программа коррекции длины пути пролетающей частицы [21].

Новая программа рассчитывала множество систем уравнений, зависящих от кинематических параметров спектрометров и детекторов, для достижения максимальной независимости пика совпадения от кинематических параметров измерения. Нововведение позволило получить стабильность позиции времени совпадения (Рис. 4), а также было улучшено разрешение времени совпадения в пределах 5%(Рис. 5)

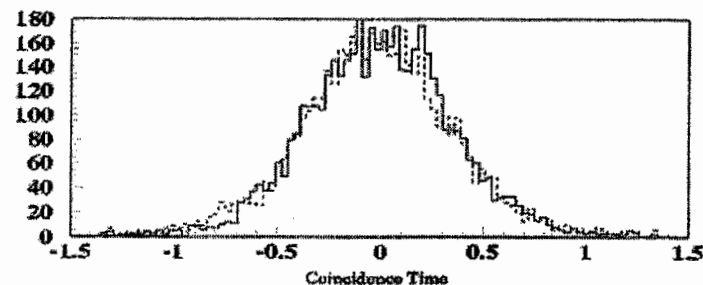


Рис. 4 : Сравнение пика времени совпадения после применения новой программы коррекции длины пути пройденной частицы при различных центральных импульсах в спектрометре HMS ($P_{HMS}=1.397$ GeV/c (сплошная линия) и $P_{HMS}=3.703$ GeV/c (пунктирная линия)).

Данные усовершенствования были введены в стандартный пакет программ обработки данных Hall-a C, и могут использоваться при анализе данных последующих экспериментов.

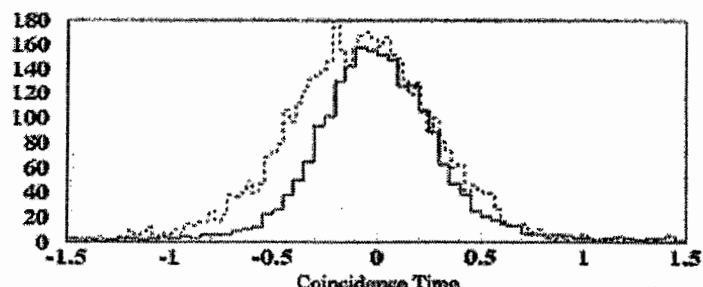


Рис. 5 : Сравнение ширины спектров «реального» времени совпадения до (пунктирная линия) и после (сплошная линия) коррекции.

Было также учтено мертвое время, которое состоит из двух типов: триггерной системы и системы сбора данных. Первый тип – более известен как мертвое время электроники, а второй тип – получается из времени простоя компьютера. Имеется также другой скрытый источник потерь реальных событий – блокинг Черенкова и времени совпадения, которые тоже были приняты в расчет. Время совпадения играет критическую роль в разделении «реальных» событий от «случайного» фона. Данное время определяется интервалами, которые начинают отсчитывать когда прибывает сигнал из HMS-а и останавливают когда следующий сигнал приходит из SOS-а. Потери при отборе событий по времени совпадения может происходить по двум причинам. Во - первых: фоновое событие из SOS-а проходит до того как реальная частица времени совпадения остановит отсчет времени. Критерий отбора на время совпадения удалит большинство таких событий. Во вторых: поздний триггер SOS-а может спутать логику определения времени таким образом, что время старта и остановки будет решать сигнал из SOS-а. Величина данной коррекции достигала до 4% в нашем случае и зависела от частоты триггера.

Другой источник коррекции – газовый Черенковский детектор в HMS-е, который использовался для режекции электронов. Потеря пионов из-за блокинга Черенкова состоит в том, что возникают случаи, когда электроны пролетают непосредственно за пионами и находятся в пределах «ворот» ADC детектора. В данном случае сигнал от электрона будет привязан к пионному триггеру и пион будет идентифицирован как электрон. Количество пионов потерянных из-за блокинга Черенковского детектора зависит от интенсивности попадания электронов в спектрометр:

$$Blocking = 1 - R_e * \mathcal{R}_{Cer}$$

где R_e означает интенсивность электронов, измеряемую триггером ELCELAN (количество «чистых» электронов), а \mathcal{R}_{Cer} - ширину ворот TDC Черенковского детектора (в нашем случае ~ 120 нс). При загрузках данного эксперимента максимальный коэффициент от блокинга Черенковского детектора составлял ~ 5%.

Дальнейшая процедура анализа данных требовала детального Монте Карло симуляции как эксперимента с целью получения сечений независимого от аппаратурных эффектов, так и для расчета вкладов физических фонов в данную реакцию. Для этих целей был использован стандартный пакет симуляции Hall-а С. Для моделирования семи-инклюзивного рождения пионов в стандартном пакете использовалось сечение в простейшей форме:

$$\sigma_{e,e'\pi} \approx \sigma_{e,e'} \frac{dN}{dz} * b e^{-b p^2}, \text{ где } \frac{dN}{dz} \rightarrow \frac{\sum_i q_i^2 U_i(x, Q^2) D_i(z, Q^2)}{\sum_i q_i^2 U_i(x, Q^2)}$$

$D_i(z, Q^2)$ - параметризация фрагментационных функций, а $U_i(x, Q^2)$ - параметризация СТЕQ5 для функции распределения партонов. Монте Карло программа моделировала оптику обоих спектрометров, многократные

рассеяния, потерю энергии при прохождении через вещество, распад пиона, радиационные процессы и т.д.

При больших значениях z основной физической фон исходил из распадов когерентных ρ^0 мезонов [13] и от вклада эксклюзивных пионов. Для определения фонов также использовался пакет SIMC, с подходящими моделями для расчета сечений ρ^0 и эксклюзивных π .

В заключении этой главы описывается расчет систематических ошибок. Доминирующий вклад в систематическую ошибку составляет модельная зависимость оценки физического фона.

В четвертой главе обсуждаются полученные результаты. В результатах представлены сечения $^{1,2}H(e, e' \pi^\pm)X$, измеренных при $x=0.32$ в зависимости от переменной z на протоне и дейтроне [22]. Данные сечения сравниваются с теоретическими предсказаниями высоких энергий на основании принципа факторизации. И как видно из Рисунка 6 результаты эксперимента находятся в хорошем согласии с теоретическим предсказанием до значения $z < 0.65$. В области $z > 0.65$ видно несогласие предсказания с полученными результатами. В данной кинематической области существенную роль играет Δ резонанс, вклад которого не учитывается при обработке данных.

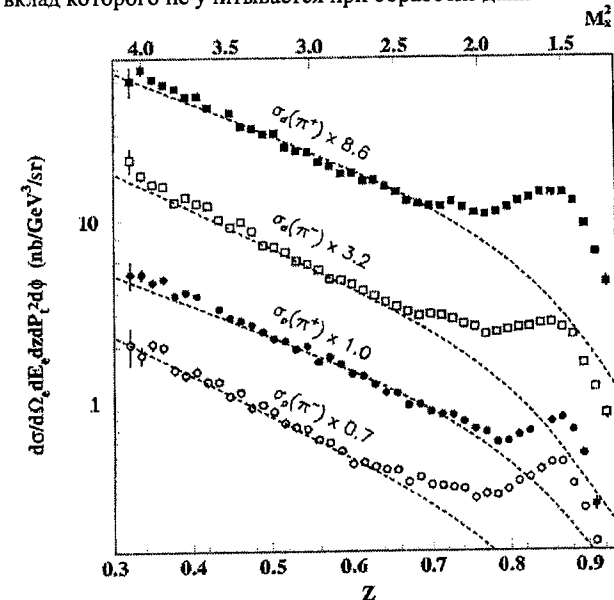


Рис. 6 : Сечения $^{1,2}H(e, e' \pi^\pm)X$ измеренных при $x=0.32$ в зависимости от переменной z в сравнении с Монте Карло симуляцией (пунктирные линии) использующей явление фрагментации.

Имея только данный результат можно уже утверждать, что принцип факторизации применим при семи-инклюзивном электророжении мезонов в области резонансных энергий. Но в добавок также было рассчитано супер-отношение, для более детального понятия характера и достоверности факторизации.

При достаточно больших энергиях, предполагается факторизация сечения, т.е. квази-независимость между взаимодействием виртуального фотона с кварком и последующей адронизацией кварка. Выше сказанное можно представить в виде:

$$\sigma^{\pi^{\pm}} \sim \sum_i e_i^2 \left[q_i(x) D_{q_i}^{\pi^{\pm}} + \bar{q}_i(z) D_{\bar{q}_i}^{\pi^{\pm}} \right] \quad (1)$$

Чтобы показать поразительное сходство данных электророжения семи-инклюзивных пионов в области нуклонных резонансов с предсказаниями высоких энергий (Формула 1) были составлены супер-отношения измеренных сечений. Пренебрегая вкладом странных кварков и полагая симметрию заряда кварков, в функциях распределения партонов, основываясь на Формуле 1 данные отношения (супер-отношения) могут быть выражены в виде комбинации партонных распределений u и d :

$$\frac{\sigma_p(\pi^+) + \sigma_p(\pi^-)}{\sigma_d(\pi^+) + \sigma_d(\pi^-)} = \frac{4u(x) + 4\bar{u}(x) + dx + \bar{d}(x)}{5(u(x) + d(x) + \bar{u}(x) + \bar{d}(x))} \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_p(\pi^+) - \sigma_p(\pi^-)}{\sigma_d(\pi^+) - \sigma_d(\pi^-)} = \frac{4u_v(x) - d_v(x)}{3(u_v(x) + d_v(x))}$$

Как видно супер-отношения зависят только от переменной x и не зависят от z . То есть, если вышепринятые допущения и предположения верны, то наши результаты должны быть независимы от переменной z . Что и видно из представленных на Рис. 7 результатов [23]. Видно, что наши данные независимы от переменной z до $z < 0.65$, за этой областью виден эффект от вклада Δ резонанса. Наиболее интересным фактом является то, что результаты, полученные нами в области низких энергий, хорошо описываются теоретическими предсказаниями высоких энергий основанных на функциях распределения партонов. Из Рисунка 7 так же видно, что супер-отношения чувствительны к вкладу ρ . Эти результаты еще раз свидетельствуют в пользу существования явления дуальности и факторизации сечения в резонансной области.

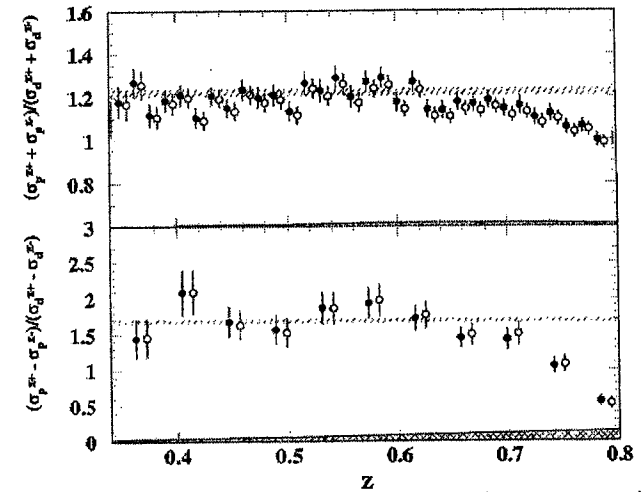


Рис. 7 : Отношение суммы (верхний рисунок) и разности (нижний рисунок) супер-отношений в зависимости от переменной z , при $x=0.32$. Закрашенные (полые) символы отображают события после (до) вычитания вклада от распада когерентных ρ мезонов. Заштрихованная область внизу рисунка отображает систематическую ошибку, темные полые отображают совокупность теоретических предсказаний (LO and NLO) при высоких энергиях основанных на функциях распределения партонов [16, 17].

Одним из следующих важных результатов является зависимость «favored» и «unfavored» фрагментационных функций от переменных x и z . Пренебрегая вкладом странных кварков и используя только данные на мишени дейтерия, можно извлечь отношение фрагментационных функций в виде:

$$\frac{D^-}{D^+} = \frac{\left(4 - \frac{\sigma_d(\pi^+)}{\sigma_d(\pi^-)} \right)}{\left(4 \frac{\sigma_d(\pi^+)}{\sigma_d(\pi^-)} - 1 \right)}$$

Как гласит принцип факторизации в области высоких энергий данное выражение должно исключительно зависеть от переменной z (и Q^2), а не от x (Рис. 8).

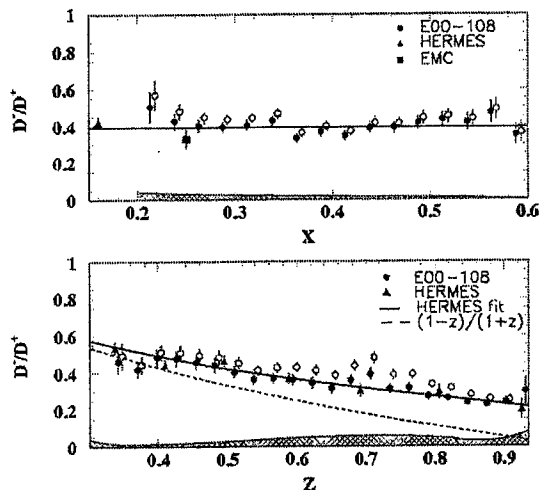


Рис. 8 : Верхний рисунок: Зависимость отношения «unfavored» к «favored» фрагментационной функции D/D^* от переменной x при $z=0.55$. Сплошные линии отображают фит к данным HERMES-а [19] для данного отношения. Пунктирная линия – предсказания Филд и Феймана ($(1-z)/(1+z)$) для независимой фрагментации [9]. Закрашенные треугольники (квадраты) представляют собой данные HERMES-а (коллорабации EMC) [15,16]. Нижний рисунок: Тоже, что и верхний рисунок, но в зависимости от переменной z при $x=0.32$.

И как видно из данного рисунка наши результаты согласуются с предсказаниями факторизации сечения [22]. Интересен так же факт того, что результаты хорошо описываются фитом данных эксперимента HERMES и результатами EMC. Следует также отметить факт того, что если по отдельности в D^+ и D^- вклад Δ резонанса хорошо виден, но при расчете отношения фрагментационных функций этот вклад почти не был замечен. Такое поведение можно объяснить принимая во внимание теоретическую работу Клоза и Изгура[3], на основе $SU(6)$ симметричной модели кварков.

Выводы:

1. Впервые получены детальные измерения и анализ сечения семи-инклюзивного электророждения π^+ мезонов на протоне и дейтроне в области нуклонных резонансов.
2. Получены неопровержимые результаты о существовании дуальности в процессе электророждения заряженных π мезонов в энергиях близких к резонансным и области энергий глубоко неупругих процессов.
3. x и z зависимости измеренных сечений, супер-отношений, и отношений фрагментационных функций являются первыми в указанной области энергий и находятся в хорошем согласии с теоретическими предсказаниями и данными из области высоких энергий.

4. Проведен анализ данных эксперимента “Quark Hadron Duality in Meson Electroproduction”, в течении которого, учитывая специфику данного эксперимента, был улучшен стандартный набор программ online и off-line анализа данных Hall-a C.
5. Улучшена методика отбора реальных треков при воссоздании траектории частиц, а также была усовершенствована методика коррекции длины пути пройденной частицы в спектрометрах HMS/SOS.
6. Проведено отсеивание фоновых частиц, используя как математические модели, детекторные пакеты обеих спектрометров, так и моделирование поведения физических фонов при кинематике данного эксперимента.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. T. Navasardyan, P. Bosted, M. Jones, HMS/SOS Tracking Code Enhancement, Jefferson Lab Tech Note , JLAB-TN-06-036, Apr 2006
2. Т. Навасардян, Анализ Временного Разрешения Магнитных Спектрометров, Известия НАН Армении, Физика, т.41. N2, с.104-112 (2006)
3. T. Navasardyan, H. Mkrtchyan, P. Bosted, R. Ent et al., The Onset of Quark-Hadron Duality in Pion Electroproduction, Phys. Rev. Lett. 98, (2007) pp. 022001-022012
4. P. Bosted, R. Ent, D. Gaskell, H. Mkrtchyan, T. Navasardyan, V. Tadevosyan, Factorization studies in SIDIS at JLab (JLAB-PHY-06-532), Proceedings: 9th Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics (AIP v 870)AIP (2006) pp. 636-640

Литература.

- [1] E. D. Bloom and F. J. Gilman, Phys. Rev. Lett. 25, 1140 (1970)
- [2] C. E. Carlson and N. C. Mukhopadhyay, Phys. Rev. Lett. D 41 (1990) 2343
- [3] F. E. Close and N. Isgur, Phys. Lett. B 509 (2001) 81
- [4] M. Arneodo et al., Phys. Lett. B 364, 107 (1995)
- [5] A. Afanasev, C.E. Carlson and C. Wahlquist, Phys. Rev. D 62 (2000) 074011
- [6] W-Y. P. Hwang, Toward Understanding the Quark Parton Model of Feynman, Chinese Journal of Physics, Vol. 30 (1992) 5.
- [7] M. Anselmino, A. Efremov and E. Leader , The Theory and Phenomenology of Deep-Inelastic Scattering, Phys. Rep., 261 (1995) 1.
- [8] J.T. Dakin, G.J. Feldman Phys.Rev.D10:1401,1974
- [9] R. D. Field and R. P. Feynman, A parametrization of the Properties of Quark Jets, Nucl. Phys., B 136 (1978) 1.
- [10] HMS/SOS Tracking Code Enhancement, T. Navasardyan, P. Bosted, M. Jones, JLABPHY-06-482, 2006.

[11] D. Gaskell, "Pion Production in SIMC", May 29 (2001), Internal HALL C Note.
 [12] Binnewies et. al., PRD 52, p.4947 (1995).
 [13] A. Hebecker, Phys. Rep. 331 (2001) 1.
 [14] P. Bosted, M. Jones, X. Jiang et. al., The Semi-Sane Experiment, http://www.jlab.org/exp_prog/proposals/04/PR04-113.pdf, Jefferson Lab. 2006.
 [15] B. Hommez, Ph.D. Dissertation, Gent University (2003).
 [16] M. Gluck, E. Reya, and A. Vogt, e-print hep-ph/98064404 (1998).
 [17] H. Lai et al., Eur. Phys. J. C12 (2000) 375 (hep-ph/9903282)
 [18] S. Albino, B.A. Kniehl and G. Kramer, Nucl. Phys. B725 (2005) 181.
 [19] P. Geiger, Measurement of Fragmentation Functions at HERMES, Ph.D. thesis, Ruprecht Karl Universität, Heidelberg, Germany, February 1998; HERMES internal note #98-005
 [20] I. Niculescu et al., Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 1186; ibid. 85 (2000) 1182.
 [21] Т. Навасардян, «Анализ временного разрешения спектрометров», Известия НАН Армении, Физика, т. 41, #2, с. 104-112(2006)
 [22] T. Navasardyan, H. Mkrtychyan, P. Bosted, R. Ent et al., The Onset of Quark-Hadron Duality in Pion Electroproduction, Phys. Rev. Lett. 98, 022001 (2007)
 [23] P. Bosted, R. Ent, D. Gaskell, H. Mkrtychyan, T. Navasardyan, V. Tadevosyan, Factorization studies in SIDIS at JLab (JLAB-PHY-06-532), Proceedings: 9th Conference on the Intersections of Particle and Nuclear Physics (AIP v 870) AIP (2006) Page(s) 636-640

ԱՍՓՈՓԱԳԻՐ

Հայտնի է, որ բարձր էներգիաների տիրույթում, երբ Q^2 -ի և W^2 -ի արժեքները կազմում են մի քանի տասնյակ GeV^2 , ելնելով պերտուրբատիվ քվանտային քրոմադինամիկայի սկզբունքից, հադրոնների էլեկտրաժամանակային կարելի է ներկայացնել երկու քվազի-անկախ պրոցեսների տեսքով՝ քվարկի հետ վիրտուալ ֆոտոնի փոխազդեցության և տվյալ քվարկի հետազա հադրոնացում: Այդ դեպքում պրոցեսի կտրվածքը կարելի է դիտարկել երկու արտադրիչների արտադրյալի տեսքով՝ $\sigma \sim g(x, Q^2) * f(z)$: Արտադրիչներից առաջինը $g(x, Q^2)$ համապատասխանում է քվարկի հետ վիրտուալ ֆոտոնի փոխազդեցությանը, իսկ երկրորդը՝ $f(z)$ -ը քվարկի հետազա հադրոնացմանը: Կատարվել են մի շարք գիտափորձեր, որոնք ապացուցում են տվյալ պնդումը: Գիտափորձերը անց են կացվել SLAC-ի ($Q^2 \sim 8.0 \text{ GeV}^2/c^2$ և $W^2 \sim 25 \text{ GeV}^2$) [8] և CERN-ի ($Q^2 \sim 46.0 \text{ GeV}^2/c^2$ և $16 <$

$W^2 < 200 \text{ GeV}^2$) [4] արագացուցիչներում: Իրավագործ է արդյոք նման մոտեցումը նաև ավելի ցածր էներգիաների դեպքում դա միանշանակ չէ: Այդ պնդումը ստուգելու համար HERMES խմբի կողմից DESY արագացուցիչում կատարվել է գիտափորձ [19]՝ ավելի ցածր էներգիական տիրույթում ($Q^2 \sim 2.3 \text{ GeV}^2/c^2$ և $W^2 > 10 \text{ GeV}^2$): Ինչպես ցույց տվեցին արդյունքները, էներգիաների այդ տիրույթում նույնպես կարելի է պնդել պրոցեսը ֆակտորացնելու և կտրվածքը հատվածավորելու սկզբունքի մասին: Համեմայնդեալ, HERMES-ի տվյալները գտնվում են խորը ոչ առանձազային կինեմատիկական տիրույթում: Կարելի է արդյոք բարձր էներգիաների սկզբունքները փոխադրել ռեզոնանսային ոլորտ և կարելի է արդյոք նուկլոնը ներկայացնել քվազի-ազատ քվարկների տեսքով ցածր էներգիաների տիրույթում: Այդ խնդիրը պարզաբանելու համար Թովմաս Ջեֆերսոնի ազգային լաբորատորիայում (JNAF) կատարվել է գիտափորձ՝ օգտագործելով π^\pm մեզոնների սեմի-ինկլյուզիվ էլեկտրաժամանակային պրոցեսը: Այդ նպատակով կատարվել է հետևյալը՝

- Առաջին անգամ նուկլոնային ռեզոնանսների տիրույթում ստացվել են պրոտոնի և դեյտրոնի թիրախների վրա π^\pm մեզոնների սեմի-ինկլյուզիվ էլեկտրաժամանակային կտրվածքները:
- Մշակվել է նոր մեթոդիկա և ստեղծվել են համապատասխան ծրագրեր HMS և SOS սպեկտրաչափերով անցած մասնիկի ուղու երկարության ճշտման համար [21]:
- Ստեղծվել է և մինչ այժմ օգտագործվում է Hall C-ում ծրագրերի փաթեթ՝ մասնիկների իրական հետքերի ջոկումը հետազոծող վերականգնելիս HMS և SOS սպեկտրաչափերում [10]:
- Կատարվել է ֆոնային մասնիկների ջոկումը օգտագործելով ինչպես մաթեմատիկական մոդելներ, զույգ սպեկտրաչափերի դետեկտորային փաթեթներ, այնպես էլ ֆիզիկական ֆոնների վարքի մոդելավորում տվյալ գիտափորձի կինեմատիկայի դեպքում:

- Կատարվել է “Quark Hadron Duality in Meson Electroproduction” գիտափորձի տվյալների վերլուծություն, որի ընթացքում, հաշվի առնելով տվյալ գիտափորձի առանձնահատկությունը, բարելավվել է Hall C -ի տվյալների online վերլուծության ծրագրերի ստանդարտ լրակազմը:
- Չափված կտրվածքների, հատվածավորման ֆունկցիաների առնչությունների և գերառնչությունների x և z կախումները էներգիաների նշված տիրույթում առաջինն են և ներդաշնակ են բարձր էներգիաների բնագավառի տվյալներին և տեսական կանխատեսումներին [22 , 23]:



Տպագրության եղանակը՝ ռիզոգրաֆիա:
Ֆորմատ՝ 60x84 1/16, թուղթ՝ օֆսեթ, N 1:
Տպաքանակ՝ 60:

Տպագրված է «ԼԻՄՄԻՇ» ՍՊԸ-ի տպարանում:
Ք. Երևան, Տերյան 72
Հեռ. 58.22.99, 56.24.52
E-mail: info@limush.am