

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА**

В. Д. Буркерт, В. И. Мокеев

СТРУКТУРА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ НУКЛОНА

Препринт НИИЯФ МГУ № 11/855

Москва, 2009 г.

УДК 539.126, 539.125

В. Д. Буркерт, В. И. Мокеев

mokeev@jlab.org

СТРУКТУРА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ НУКЛОНА

Препринт НИИЯФ МГУ № 11/855

Аннотация

В работе представлены и обсуждены результаты по изучению структуры нуклонных резонансов (N^*) при анализе данных, полученных на детекторе CLAS в коллаборации НИИЯФ МГУ и лаборатории им. Джефферсона (JLAB) в США. Данные анализировались в рамках развитой феноменологической модели JM. Были получены электромагнитные формфакторы для большинства возбужденных состояний нуклона с массами меньшими чем 1,8 ГэВ при виртуальностях налетающего фотона от 0,25 до 1,5 ГэВ². Данные по формфакторам, полученные из анализа одно- и двухпионного канала, находятся в согласии между собой. В настоящее время ведется работа по расширению области Q^2 вплоть до $Q^2=5$ ГэВ². После модернизации ускорителя в JLAB будет доступна энергия пучка 11 ГэВ, что позволит продолжить исследования N^* при более высоких виртуальностях фотона.

V. D. Burkert, V. I. Mokeev

THE STRUCTURE OF EXCITED NUCLEON STATE

Preprint MSU SINP N 11/855

Abstract

Major results on the studies of nucleon resonance (N^*) structure from the CLAS data on charged double pion electroproduction, obtained in collaboration between Jefferson Lab and SINP at MSU are presented and discussed. Analysis of the CLAS data within the framework of developed phenomenological approach JM allowed us to obtain preliminary and final results on electrocouplings for almost all excited proton states with masses less than 1.8 GeV in a wide area of photon virtualities from 0.25 to 1.5 GeV². Consistent results on $\gamma_v NN^*$ electrocouplings of low lying N^* 's determined from analyses of $N\pi$ and $N\pi\pi$ electroproduction offer compelling evidence for reliable electrocoupling measure. Extension of $N\pi\pi$ data analysis toward higher photon virtualities up to 5.0 GeV² is in progress. New prospects for N^* studies with CLAS12 detector at 11 GeV electron beam that will be available after completion of "JLAB 12 GeV Upgrade" Project, are outlined.

© В. Д. Буркерт, В. И. Мокеев

© НИИЯФ МГУ, год, <http://www.sinp.msu.ru>

Введение

Исследования структуры возбужденных состояний нуклона N^* в реакциях электророжения пар заряженных пионов на протонах позволяют проследить особенности динамики кварков в формировании адронов. Главной целью этих исследований является определение спиральных амплитуд $A_{1/2}$, $A_{3/2}$ и $C_{1/2}$ электровозбуждения большинства возбужденных состояний нуклона N^* в широкой области виртуальностей фотонов Q^2 от 0,2 до 5,0 ГэВ². Эти исследования также являются одним из наиболее перспективных направлений в поиске новых типов возбужденных состояний нуклона – т.н. “missing” резонансов.

Изучение эволюции динамики сильных взаимодействий в непертурбативной области, где эффективный параметр кварк-глюонного взаимодействия становится сравнимым с единицей, процессов формирования в этих взаимодействиях основных и возбужденных состояний нуклона из кварков и глюонов относятся к наиболее актуальным и перспективным направлениям в современной физике адронов. Исследования структуры N^* в эксклюзивных реакциях электророжения мезонов на протонах являются важным направлением в решении этой актуальной проблемы современной фундаментальной физики и имеют высокий приоритет [1]. Детальная информация о эволюции спиральных амплитуд электровозбуждения большинства N^* в широкой области виртуальностей фотонов Q^2 открывает доступ к активным степеням свободы в структуре нуклонов и их эволюции с расстоянием. Эти данные абсолютно необходимы для надежного определения механизмов сильного взаимодействия, ответственных за формирование спектра состояний нуклона, и связи этих механизмов с лагранжианом КХД. Данные об амплитудах электровозбуждения N^* позволят изучить формирование >97% адронной массы во Вселенной, возникающей в процессах одевания токовых КХД кварков глюонами [2,4]. Перечисленные факторы делают исследования структуры N^* в электромагнитных процессах ключевым направлением в изучении конфайнмента кварков в адронах.

Программа изучения структуры нуклонных резонансов в реакциях фото и электророжения мезонов, выполняемой Международной Коллаборацией в составе более чем 35 исследовательских организаций из 8 стран на установке CLAS Hall B at Jefferson Lab (США). Сочетание непрерывного пучка электронов/фотонов с рекордными в мире величинами энергии, тока, поляризации пучка и установки CLAS с аксептансом близким к 4π открывают уникальные, наилучшие в мире возможности для исследований структуры N^* в совокупности всех открытых каналов фото- и электророжения мезонов на протонах и ядрах. Эти уникальные возможности позволяют получить наиболее полную и наиболее надежную информацию о спиральных амплитудах электровозбуждения N^* в широкой области виртуальностей фотонов $0,2 < Q^2 < 5,0$ ГэВ².

Новые возможности детектора CLAS для определения параметров N^*

Амплитуды электровозбуждения N^* извлекаются из измеренных наблюдаемых в различных эксклюзивных каналах электророждения мезонов $N\pi$, $N\pi\pi$, $N\eta$, $K\Lambda$, $K\Sigma$ Σ и др. Для извлечения этих амплитуд необходимо надежное разделение резонансных и нерезонансных вкладов в сечения и/или соответствующие амплитуды различных эксклюзивных каналов. В настоящее время разделение резонансных и нерезонансных вкладов может быть выполнено лишь в рамках моделей реакций, проверенных в сравнении с измеренными наблюдаемыми. Таким образом, возникает задача оценки модельной зависимости извлеченных из данных амплитуд электровозбуждения N^* и уменьшения влияния модельных допущений. Исследования всей совокупности эксклюзивных каналов электророждения мезонов, впервые проведенные на установке CLAS, открывают качественно новые возможности для минимизации модельных допущений при извлечении амплитуд электровозбуждения N^* . Нерезонансные механизмы в различных эксклюзивных каналах электророждения мезонов являются полностью отличающимися друг от друга. В то же время амплитуды электровозбуждения N^* одинаковы во всех эксклюзивных каналах в следствии того, что электромагнитная и адронная вершины резонансных амплитуд разнесены в пространстве-времени. Таким образом, совместное описание наблюдаемых в различных эксклюзивных каналах с одинаковыми величинами амплитуд электровозбуждения N^* обеспечивает убедительную проверку надежности полученных результатов. В настоящее время в Jefferson Lab создан Excited Baryon Analysis Center (EBAC). Этот международный центр активно развивает методы определения амплитуд электровозбуждения N^* из совместного анализа всей полученной на установке CLAS информации о наблюдаемых различных эксклюзивных каналах электророждения мезонов на протонах в формализме связанных каналов [3-5]. Используемые в этом подходе экспериментальные данные систематизированы в CLAS Physics Data Base [6] созданной в коллаборации между Hall B at Jefferson Lab и ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ.

Исследования N^* в реакциях электророждения $\pi^+\pi^-$ пар на протонах на детекторе CLAS

Каналы электророждения одиночных пионов $N\pi$ и пар пионов $N\pi\pi$ являются доминирующими в области энергий возбуждения N^* . Их совокупный вклад исчерпывает около 90% полного сечения электророждения мезонов. Два этих канала чувствительны к вкладам большинства N^* . Они также сильно связаны адронными взаимодействиями в конечных состояниях (FSI). Сечение реакции $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ является вторым по величине эксклюзивным сечением в процессах πN взаимодействии. Из-за взаимодействий в конечном состоянии лидирующие $N\pi$ и $N\pi\pi$ эксклюзивные каналы электророждения мезонов могут оказывать существенное влияние на другие реакции электророждения мезонов с меньшими сечениями $K\Lambda$, $K\Sigma$, $\eta\pi$ и др.

В исследованиях нуклонных резонансов в эксклюзивном канале электророждения пар заряженных пионов $p\pi^+\pi^-$ [7-18] получены наиболее детальные данные по сечениям электророждения пар заряженных пионов на протонах в

всей области энергий возбуждения N^* и при виртуальностях фотонов (Q^2) от 0,2 до 1,5 ГэВ^2 [7-11]. Впервые получены девять независимых дифференциальных сечений этой реакции в указанной выше кинематической области. На Рис. 1а,б в качестве примеров показаны измеренные на установке CLAS дифференциальные сечения электророждения пар заряженных пионов для двух величин W и Q^2 . Столь детальные экспериментальные данные позволили установить все значимые механизмы $N\pi\pi$ электророждения в исследованной кинематической области из их проявлений в наблюдаемых в виде пиков в распределениях по инвариантным массам конечных адронов, кинематических зависимостях угловых распределений, а также используя данные по корреляциям форм сечений в различных наблюдаемых. Была развита JM модель описания фото и электророждения пар заряженных пионов в резонансной области. Эта модель предназначена для определения спиральных амплитуд электровозбуждения N^* из условия наилучшего описания всех измеренных наблюдаемых [2,12-18]. В рамках JM модели достигнуто хорошее описание всех имеющихся данных по электророждению пар заряженных пионов в области энергий возбуждения N^* при $Q^2 < 1,5 \text{ ГэВ}^2$. Примеры описания данных показаны на Рис. 1а,б.

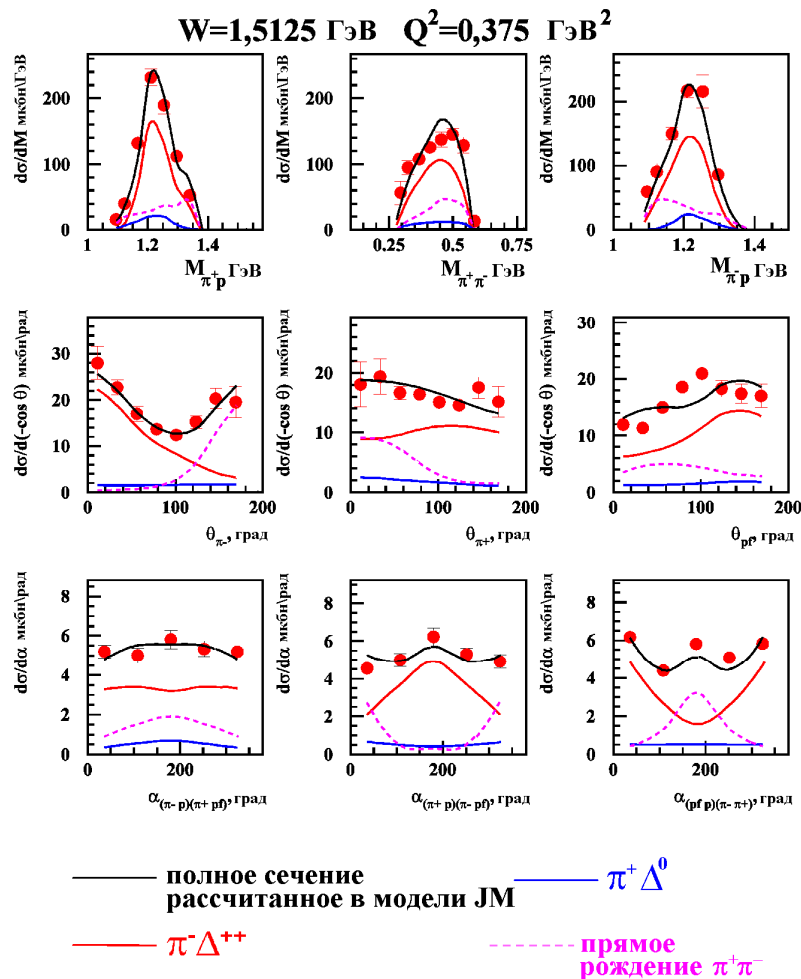


Рис. 1а. Описание дифференциальных сечений электророждения пар заряженных пионов в модели JM и вклады в сечения от различных механизмов.

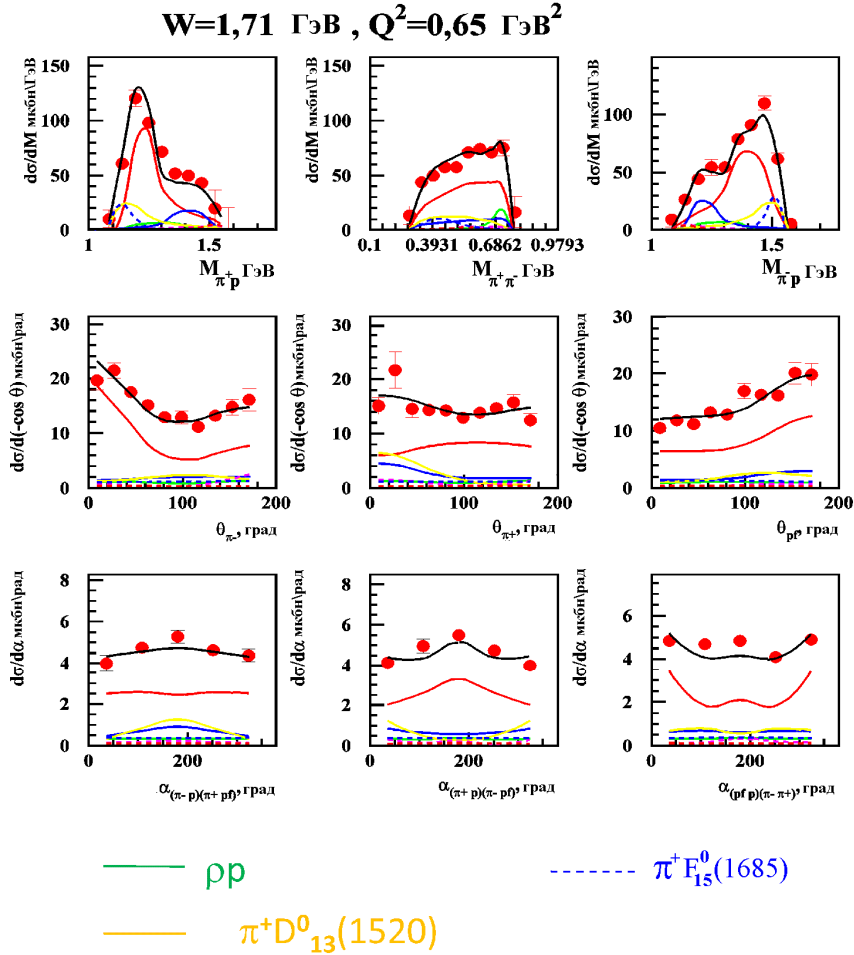


Рис. 16. Описание дифференциальных сечений электророжения пар заряженных пионов в модели JM и вклады в сечения от различных механизмов.

Выполненный в JM модели феноменологический анализ данных по сечениям электророжения пар заряженных пионов позволил получить информацию о резонансных частях сечений с точностью достаточной для определения спиральных амплитуд электровозбуждения N^* . В настоящее время JM модель является единственным подходом для определения спиральных амплитуд электровозбуждения N^* из реакций электророжения пар заряженных пионов и принята Международной коллаборацией CLAS в качестве основного инструмента для исследований N^* в эксклюзивном $N\pi\pi$ канале [2].

На Рис.2 приведены $A_{1/2}$ спиральные амплитуды электровозбуждения резонансов $P_{11}(1440)$ и $D_{13}(1520)$, полученные из анализа реакций электророжения одиночных и пар пионов [2,18,21]. Наблюдается хорошее согласие между амплитудами электровозбуждения этих резонансов, полученных из двух основных эксклюзивных каналов электророжения мезонов в резонансной области с совершенно разными нерезонансными механизмами. Это является убедительным

доказательством надежности извлеченных спиральных амплитуд электровозбуждения N^* , а также надежности JM модели.

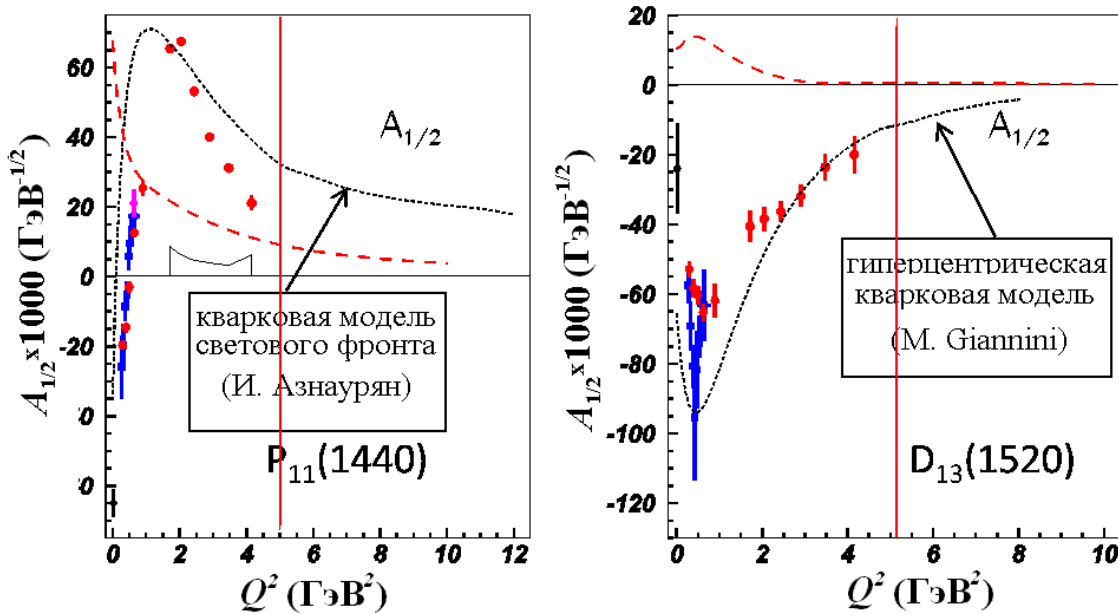


Рис. 2. Амплитуды $A_{1/2}$ электровозбуждения резонансов $P_{11}(1440)$ и $D_{13}(1520)$, полученные из данных детектора CLAS по реакциям электророждения одиночных [21] и пар пионов [18]. Показано сравнение с расчетом в кварковых моделях на световом конусе (пунктирные линии) и расчетов [2,5] для абсолютных величин амплитуд от мезон-барионного облака.

На Рис. 2 также сравниваются результаты расчетов спиральных амплитуд электровозбуждения этих резонансов в рамках кварковых моделей [19,20] с полученными из экспериментов данными. Кварковые модели удовлетворительно воспроизводят основные черты Q^2 -эволюции этих амплитуд при $Q^2 > 2,0$ ГэВ^2 , что свидетельствует о значительном вкладе кварковых компонент в структуру N^* на расстояния отвечающих этим виртуальностям фотонов. В тоже время на расстояниях сравнимых с размерами нуклона при $Q^2 < 1,0$ ГэВ^2 , предсказания кварковых моделей значительно отличаются от экспериментальных данных. Исследования [2,5] показали что описание данных может быть существенно улучшено, если наряду с вкладами от кварковых степеней свободы, т.н. внутреннего кваркового ядра, также учитывать вклады и от мезон-барионного облака, окружающего нуклон снаружи. Выполнены расчеты абсолютных величин амплитуд мезон-барионного одеваия. Расчеты суперпозиции вкладов кваркового ядра и мезон-барионного облака выполняются в настоящее время. Как следует из представленных на Рис. 2 расчетов [2,5], абсолютные величины вкладов мезон-барионного облака максимальны при $Q^2 < 1,0$ ГэВ^2 и их учет может позволить улучшить описание спиральных амплитуд электровозбуждения N^* при $Q^2 < 1,0$ ГэВ^2 . С ростом виртуальностей фотонов происходит уменьшение относительных вкладов от мезон-барионного облака сопровождаемое ростом относительных вкладов от

кваркового ядра. Анализ амплитуд электровозбуждения N^* позволил впервые обнаружить эволюцию степеней свободы в структуре N^* с расстоянием: переход от суперпозиции вкладов мезон-барионного облака и кваркового ядра на расстояниях сравнимых с размером нуклона к доминированию кварковых степеней свободы на малых расстояниях, отвечающих проникновению фотонов высокой виртуальности в кварковое ядро.

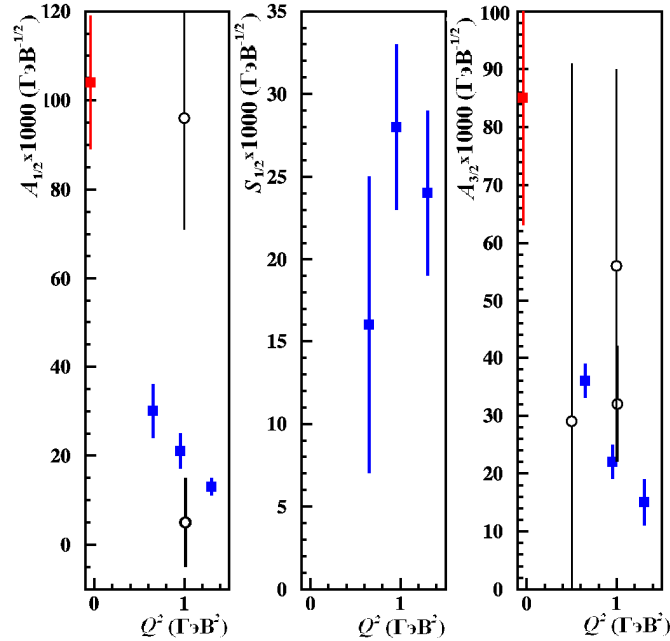


Рис. 3. Зависимости амплитуд электровозбуждения $A_{1/2}$, $A_{3/2}$ и $S_{1/2}$ для резонанса $D_{33}(1700)$ от Q^2 . Синими квадратами показаны результаты анализа канала $N\pi\pi$. Данные полученные при анализе канала $N\pi$ показаны красными квадратами (фотонная точка) и чёрными окружностями (виртуальные фотоны).

Из анализа данных электророжения пар заряженных пионов [18] в рамках JM модели были впервые определены спиральные амплитуды электровозбуждения высоколежащих N^* с массами $> 1,6$ ГэВ $S_{31}(1620)$, $S_{11}(1650)$, $F_{15}(1685)$, $D_{33}(1700)$, $P_{13}(1720)$. На Рис. 3 приведены амплитуды электровозбуждения состояния $D_{33}(1700)$, полученные из анализа данных эксклюзивных каналов электророжения $N\pi$ и $N\pi\pi$. Доля адронных распадов этого состояния по каналу $N\pi$ составляет $< 20\%$. $N\pi$ канал не обладает достаточной чувствительностью к резонансу $D_{33}(1700)$. С этим связаны большие неопределенности спиральных амплитуд электровозбуждения этого состояния извлеченные из данных каналов $N\pi$. В тоже время анализ двухпионного электророжения позволяет определить амплитуды электровозбуждения состояния $D_{33}(1700)$ с хорошей точностью. Таким образом, анализ реакций двухпионного электророжения является особо важным для определения спиральных амплитуд электровозбуждения высоколежащих N^* , большая часть которых распадается с преимущественным испусканием пар пионов.

Перспективы исследований N^* на пучке электронов с энергией 6,0 ГэВ

Данные по сечениям электророждения пар заряженных пионов на протонах во всей области энергий возбуждения N^* ($W < 2.0$ ГэВ) и при виртуальностях фотонов $2.0 < Q^2 < 5.0$ ГэВ² [22] и последующий анализ этих данных в рамках JM модели позволит впервые в мире определить спиральные амплитуды электровозбуждения большинства N^* при максимально достижимых в настоящее время виртуальностях фотонов. Тем самым, впервые окажется возможным исследовать структуру и механизмы формирования N^* во всей области расстояний, отвечающей переходу от суперпозиции кварковых и мезон-барионных степеней свободы к доминированию кварковых степеней свободы. Эта область расстояний переставляет большой интерес для изучения проявлений кварковых степеней свободы в нерезонансных механизмах [23].

Другим важным результатом, станут первые данные по фоторождению пар заряженных пионов в резонансной области, полученные с рекордными в мире статистическими, систематическими точностями и разрешениями по кинематическим переменным [24]. Будут получены не корреляционные дважды дифференциальные сечения по всем возможным парам кинематических переменных, описывающих конечное $p\pi^+\pi^-$ состояние. Эта информация откроет доступ к механизмам фото и электророждения пар заряженных пионов на качественно новом уровне. Ожидается, что совместный анализ фото- и электророждения пар заряженных пионов позволит однозначно установить природу структуры при $W \sim 1.7$ ГэВ впервые обнаруженной в полностью проинтегрированных сечениях электророждения пар заряженных пионов [7]. В этих исследованиях может быть впервые обнаружено новое состояние-кандидат $3/2^+$ (1720), что станет первым наблюдением новых типов возбужденных состояний нуклона, т.н. "missing" резонансов. Поиск таких состояний является одной из наиболее приоритетных задач в современной физике адронов.

Анализ всей совокупности данных по фото и электророждению пар заряженных пионов, полученных на детекторе CLAS, и мировых данных в рамках JM модели, позволит впервые уставить индивидуальные вклады от всех механизмов NPP каналов во все измеренные сечения и спиральные амплитуды, а также определить резонансные и нерезонансные составляющие этих вкладов в рамках подходов представленных в работе [17]. Эта информация будет использоваться для определения амплитуд электровозбуждения N^* в совместном анализе $N\pi$ и $N\pi\pi$ эксклюзивных каналов в формализме связанных каналов [2,4,5]. Использование извлеченной из эксперимента информации об амплитудах электророждения мезонов в различных эксклюзивных каналах является важным условием для надежного извлечения параметров резонансов в глобальном анализе данных по фото- электро- и адронному рождению мезонов на протонах в наиболее развитом в настоящее время формализме связанных каналов разрабатываемом в рамках международной коллаборации теоретиков в EBAC.

Новый этап в изучении нуклонных резонансов на детекторе CLAS12

В 2015 г. энергия непрерывного пучка электронов в Jefferson Lab будет увеличена до 12 ГэВ в рамках Проекта JLAB 12 GeV Upgrade [25]. В Hall-B будет создан новый детектор CLAS12, который откроет качественно новые возможности в исследованиях структуры адронов, обеспечивая 3D доступ к структуре нуклона в рамках новой концепции обобщенных партонных распределений GPD. Программным комитетом PAC34 одобрено предложение PR-09-003 “Nucleon Resonance Studies with CLAS12” по изучению структуры N^* в эксклюзивных реакциях рождения одиночных и пар пионов на 11 ГэВ пучке электронов [26]. Эта обширная программа экспериментов будет выполняться в коллаборации между Национальными лабораториями и Университетами США, ЕС, России и Китая. ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ является лидером этой программы исследований. Руководителями этой Программы являются Prof. R.W.Gothe (Univ. of South Carolina) и д.ф.м.н. В.И.Мокеев (Jefferson Lab./НИИЯФ МГУ).

После реализации Проекта JLAB 12 GeV Upgrade, детектор CLAS12 станет единственной в мире установкой, на которой можно будет получить информацию о спиральных амплитудах электровозбуждения N^* в еще полностью неисследованной области максимальных виртуальностей фотонов когда-либо достигавшиеся в экспериментах $5,0 < Q^2 < 14 \text{ ГэВ}^2$. Эта область расстояний отвечает качественно новому режиму в электровозбуждении резонансов. Согласно оценкам вкладов мезон-барионных и кварковых степеней свободы в структуру N^* , показанным на Рис. 2, при $Q^2 > 5,0 \text{ ГэВ}^2$ относительные вклады от мезон барионных степеней свободы становятся минимальными и доминирующий вклад вносят одетые кварки. Таким образом, исследования спиральных амплитуд электровозбуждения N^* на детекторе CLAS12 при $5,0 < Q^2 < 14 \text{ ГэВ}^2$ впервые обеспечат прямой доступ к непертурбативным механизмам сильного взаимодействия между одетыми кварками, приводящими к формированию N^* при минимальных вкладах от мезон-барионных степеней свободы.

Непертурбативный режим во взаимодействиях одетых кварков характеризуется: а) возникновением динамической массы одетого кварка и б) связанного с формированием этой массы нарушением киральной симметрии. Две этих черты не могут быть получены в любом порядке теории возмущений из Лагранжиана КХД. Они являются результатом непертурбативных сильных взаимодействий и в существенной мере определяют всю физику сильного взаимодействия в непертурбативной области [2,27]. На Рис. 4 показаны результаты расчетов динамической массы одетого s-кварка в зависимости от модуля 3-импульса переданного кварку [2,28]. Расчеты выполнены в двух концептуально различных подходах, основанных на использовании Лагранжиана КХД: вычислениях на решетках и в формализме уравнений Дайсона-Швингера. Совпадение результатов двух подходов свидетельствует о надежности оценок зависимости динамической массы одетых кварков. При импульсах выше 3,0 ГэВ происходит медленное уменьшение массы одетого кварка с ростом импульса. Эти расстояния отвечают пертурбативному режиму со степенными коррекциями. В то же время при

импульсах переданных кварку $<2,5$ ГэВ происходит резкое возрастание динамической массы кварка с уменьшением импульса от ~ 30 МэВ для почти голого кварка до ~ 400 МэВ для полностью одетого кварка, используемого в конституентных кварковых моделях. Этот скачок отвечает переходу от непертурбативного к пертурбативному режиму в сильных взаимодействиях одетых кварков. Поведение массы одетого кварка свидетельствует о том, что механизм Хиггса определяет лишь $<3\%$ массы адронной материи во Вселенной. Доминирующая часть адронной массы $>97\%$ определяется динамическим одеванием токовых КХД кварков глюонами. Резкое изменение динамической массы одетых кварков должно находить свое отражение в Q^2 эволюции спиральных амплитуд электровозбуждения N^* . В настоящее время теоретической группой ANL (Argonne National Lab) развиваются подходы, позволяющие связать Q^2 зависимости спиральных амплитуд электровозбуждения N^* с эволюцией массы одетых кварков [2,28]. Эти подходы являются последовательным полевым релятивистским описанием взаимодействий одетых кварков приводящих к формированию основного и возбужденных состояний нуклона. Они основаны на решении уравнений Фаддеева для одетых трех кварков, масса, структура и взаимодействия которых определены из Лагранжиана КХД в формализме уравнений Дайсона-Швингера. Тем самым удастся исследовать всю цепочку формирования структуры N^* , исходя из фундаментального Лагранжиана КХД. На детекторе CLAS12 впервые окажется возможным перекрыть область виртуальности фотона, отвечающей изменению массы одетого кварка во всей области перехода от непертурбативного к пертурбативному режимам (область слева от вертикальной линии на Рис. 4). Таким образом, данные по спиральным амплитудам электровозбуждения N^* при $5,0 < Q^2 < 14,0$ ГэВ² впервые откроют доступ к эволюции структуры и механизмов сильного взаимодействия одетых кварков, приводящих к формированию N^* , во всей области перехода от пертурбативного к непертурбативному режимам. Эволюция массы одетого кварка в этой области оказывается однозначно связанной с β -функцией КХД [2,27]. Это делает программу исследований структуры N^* при больших виртуальностях фотона центральным направлением в изучении конфайнмента кварков в барионах. Эти исследования позволят понять происхождение $>97\%$ адронной массы во Вселенной. Физика исследований структуры N^* при больших Q^2 обсуждена в деталях в документах [2,29], подготовленных международной группой теоретической поддержки экспериментов по изучению структуры N^* в Hall B at Jefferson Lab после увеличения энергии пучка ускорителя JLAB до 12 ГэВ.

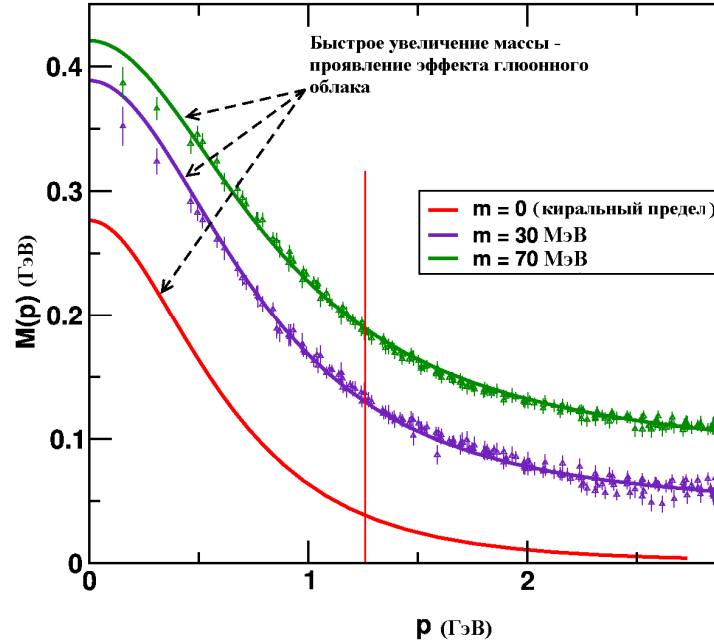


Рис. 4. Эволюция массы одетого s-кварка с величиной импульса, переданного кварку, для двух значений затравочной массы и в киральном пределе безмассового токового кварка. Сравниваются результаты расчетов на решетках (точки) и в формализме Дайсона-Швингера из лагранжиана КХД [2, 27-29]. Область слева от красной вертикальной линии отвечает импульсам, доступным при изучении структуры N^* при виртуальностях фотонов до 14 ГэВ^2 на детекторе CLAS12 [26,29].

Литература:

1. The Frontiers of Nuclear Science. 2007 Long Range Plan. Nuclear Science Advisory Committee for Department of Energy Office of Science and National Science Foundation of USA. <http://www.science.doe.gov/np/nsac/nsac.html>.
2. Theory Support for the Excited Baryon Program at the Jlab 12 GeV Upgrade, ed. by V. D. Burkert, T.-S. H. Lee and V. I. Mokeev, Jefferson Lab document JLAB-PHY-09-993, arXiv:0907.1901[nucl-th], [nucl-ex], [hep-lat].
3. V. D. Burkert and T. S.-H. Lee, in "Electromagnetic interactions and hadronic structure", ed. by F. Close, (2007), p. 77.
4. A. Matsuyama, T. Sato and T.-S. H. Lee, Phys. Rep. **439**, 193 (2007).
5. B. Julia-Diaz et al., Phys. Rev. **C80**, 025207 (2009).
6. http://www.jlab.org/Hall-B/CLAS_Physics_DB_operated_in_collaboration_between_Hall_B_at_Jefferson_Lab_and_OEPVAYa_at_NIIYaF_MGU.
7. M. Ripani, V. D. Burkert, V. I. Mokeev, E. N. Golovatch et al., CLAS Collaboration, Phys. Rev. Lett. **91**, 022002 (2003).
8. M. Battaglieri, V. I. Mokeev, E. N. Golovatch et al., CLAS Collaboration, Phys. Rev. Lett. **87**, 172002 (2001).
9. G. V. Fedotov, V. I. Mokeev, V. D. Burkert, B. S. Ishkhanov et al., CLAS Collaboration, Phys. Rev. **C79**, 015204 (2009).
10. G. V. Fedotov, V. I. Mokeev, V. D. Burkert, B. S. Ishkhanov et al., Bulletin. of Russian Acad. of Science **71**, 328 (2007).
11. G. V. Fedotov, V. I. Mokeev, V. D. Burkert, B. S. Ishkhanov et al., Phys. Atom. Nucl. **71**, 1309 (2008).
12. M. Ripani, V. I. Mokeev, E. N. Golovatch et al., Nucl. Phys. **A672**, 220 (2000).
13. V. I. Mokeev, M. Ripani, E. N. Golovatch, B. S. Ishkhanov et al., Phys. Atom. Nucl. **66**, 1322 (2003).
14. I. G. Aznauryan, V. D. Burkert, G. V. Fedotov, B. S. Ishkhanov and V. I. Mokeev, Phys. Rev. **C72**, 045201 (2005).
15. V. D. Burkert, N. V. Shvedunov et al., Phys. Atom. Nucl. **70**, 427 (2007).

16. V. I. Mokeev and V. D. Burkert, J. Phys. Conf. Ser, **69**, 012019 (2007).
17. V. I. Mokeev, V. D. Burkert, T-S. H. Lee, L. Elouadrhiri G. V. Fedotov, B. S. Ishkhanov, arXiv:0809.4158, accepted by PRC.
18. V. I. Mokeev, V. D. Burkert, L. Elouadrhiri, G. V. Fedotov, E. N. Golovatch and B. S. Ishkhanov, arXiv:0906.4081[hep-ex] to appear in the proceedings of Workshop on the Physics of Excited Nucleon:NSTAR2009, Beijing, China, 19-22 Apr 2009.
19. S. Capstick and B. D. Kaister, Phys. Rev. **D51**, 3598 (1995).
20. I. G. Aznauryan, Phys. Rev. **C76**, 025212 (2007).
21. I. G. Aznauryan, V. D. Burkert et al., CLAS Collaboration, arXiv:0909.2349[nucl-ex], accepted by PRC
22. E. Isupov, "Nucleon Resonance Studies in $\pi^+\pi^-$ Electroproduction off Protons at High Photon Virtualities." to be published in proceedings of XII International Seminar on Electromagnetic Interactions of Nuclei.
23. N*-GPD Meeting at Jefferson Lab, September 11 2009
http://www.jlab.org/~mokeev/react_models_highq2/highq2.html
24. E. N. Golovach, private communication.
25. 12 GeV Upgrade. Future Science at Jefferson Lab. <http://www.jlab.org/12GeV/>
26. PAC34 at Jefferson Lab. http://www.jlab.org/exp_prog/proposals/09prop.html
27. C. Roberts et al., Eur. Phys J. Special Topics **140**, 53 (2007).
28. L. Chang et al., arXiv:0906.4304[nucl-th] to appear in the proceedings of Workshop on the Physics of Excited Nucleon:NSTAR2009, Beijing, China, 19-22 Apr 2009.
29. Electromagnetic N-N* Transition Form Factors Workshop. October 13-15, Newport News VA. <http://conferences.jlab.org/EmNN/program.html>

Волкер Дитрих Буркерт

Мокеев Виктор Иванович

СТРУКТУРА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ НУКЛОНА

Препринт НИИЯФ МГУ № 11/855

Работа поступила в ОНТИ *11. декабря. 2009*