

C-902

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2 - 11047

СУРОВЦЕВ
Юрий Степанович

ПРОЦЕССЫ ТИПА ФОТОРОЖДЕНИЯ π -МЕЗОНОВ
НА НУКЛОНАХ
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СТРУКТУРА АДРОНОВ

Специальность 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:
доктор физико-математических наук
профессор

В.А. Мещеряков,

кандидат физико-математических наук
доцент

Ф.Г. Ткебучава.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
кандидат физико-математических наук

Р.Н. Фаустов,

В.А. Петрунькин.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт
ядерных исследований АН СССР, Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1977 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1977 года
на заседании Специализированного ученого совета К-047.01.01 Лабо-
ратории теоретической физики Объединенного института ядерных
исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь Совета

В.И. Журавлев

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Исследование электромагнитной структуры адронов является важной задачей физики элементарных частиц. Это объясняется, с одной стороны, тем, что теоретический анализ связанных с этой структурой формфакторов позволяет прояснить механизм взаимодействия наиболее хорошо изученной частицы - фотона с адронами. С другой стороны, при отсутствии в настоящее время детальной динамической теории адронов экспериментальное знание их электромагнитных формфакторов дает возможность практически проводить расчеты различных процессов с участием фотонов и адронов, а также осущестлять учет влияния сильных взаимодействий на чисто электромагнитные процессы.

Прямым источником информации об электромагнитной структуре адронов при пространственно-подобных значениях передач импульса ($k^2 < 0$) в принципе является упругое рассеяние лептона l на соответствующем адроне h , а в области времениподобных передач $k^2 > 4m_h^2$ - процессы $l+l \rightarrow h+h$. Однако остается интервал времениподобных передач импульса: $0 < k^2 < 4m_h^2$ - недоступный для измерений в этих процессах. Но именно в этой области формируются физические состояния, в значительной степени определяющие поведение, например, формфакторов нуклонов.

Поэтому исследование процессов $\pi N \rightarrow e^+e^- N$, амплитуды которых зависят от формфакторов пионов и нуклонов при времениподобных значениях k^2 , изменяющихся практически от нуля ($k^2 \geq 4m_\pi^2$), является важной и неизбежной задачей. Однако анализ экспериментальных данных по образованию (e^+e^-)-пар в πN -соударениях с целью извлечения формфакторов частиц, естественно, наталкивается на модельные неопределенности, связанные с влиянием эффектов перераспределения. Возможность получения модельно-независимой информации об электромагнитной структуре адронов из этого процесса обусловлена такими свойствами его амплитуды, благодаря которым в определенных условиях опыта образование (e^+e^-)-пар происходит посредством борновского механизма.

Для выяснения этого существенного вопроса рассмотрение разумно строить на анализе в рамках единой модели процессов типа фоторождения π -мезонов на нуклонах: фоторождения $\gamma + N \rightarrow \pi + N$, электророждения $e + N \rightarrow e + \pi + N$ и процесса $\pi + N \rightarrow e^+ + e^- + N$, так как в однофотонном приближении все три процесса описываются (с точ-

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

ностью до хорошо известной лептонной части) единым электромагнитным током адронов $J_\mu(s, t, k^2)$, где s и t есть обычные мандельштамовские переменные для адронной части амплитуды. Такой подход тем более целесообразен, что позволяет на основании имеющихся данных по фото- и электророждению судить об особенностях динамики значительно менее изученного процесса $\pi N \rightarrow e^+e^-N$. Это представляет самостоятельный интерес и позволяет решить поставленную выше задачу.

Цель работы. Выявление возможностей получения из данных по процессу $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ модельно-независимой информации об электромагнитной структуре адронов в области времениподобных передач импульса, в том числе и при значениях, недоступных в экспериментах на встречных пучках.

Научная новизна. В диссертации впервые разработана дисперсионная теория процессов $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ в резонансной области.

Впервые показано практически модельно-независимым образом, что в процессе $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ в первой резонансной области рождение (e^+e^-)-пар в окрестности максимальных "масс"*) происходит посредством борновского механизма.

Установлено свойство компенсации амплитуд процессов типа фоторождения пионов на нуклонах, благодаря которому при определенных значениях энергии и угла рассеяния сечение процесса определяется борновскими членами.

Впервые установлена возможность и обоснован метод получения из данных по процессу $\pi p \rightarrow e^+e^-n$ модельно-независимых значений электромагнитных формфакторов пиона и нуклона в области времениподобных передач импульса.

Практическая ценность. Метод исследования электромагнитной структуры частиц при времениподобных передачах импульса, теоретически обоснованный в этой работе, успешно реализован в серии экспериментов, выполненных на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Результаты настоящей работы были использованы при планировании совместного эксперимента ОИЯИ и ЛЯФ АН СССР

по измерению формфакторов адронов при больших времениподобных передачах импульса. Для интерпретации новых данных по процессу $\pi p \rightarrow e^+e^-n$ может быть использована предложенная в диссертации дисперсионная модель.

*) Кинематические условия, соответствующие образованию e^+e^- -пар с максимальной "массой", или при остановках нуклона отдачи в с.ц.м. πN -системы, названы нами "квазипороговыми".

Следующие результаты выдвигаются для защиты

1. Установление квазипороговых свойств амплитуды процесса $\pi N \rightarrow e^+e^-N$.

2. Обнаружение свойства компенсации амплитуд процессов типа фоторождения π -мезонов на нуклонах.

3. Единая дисперсионная модель для процессов типа фоторождения пионов на нуклонах в резонансной области.

4. Теоретическое обоснование метода определения модельно-независимых значений электромагнитных формфакторов адронов при времениподобных передачах импульса с помощью процесса $\pi p \rightarrow e^+e^-n$.

5. Дисперсионная модель для процессов типа фоторождения π -мезонов на нуклонах при высоких энергиях и малых $|t|$.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на Международном совещании по взаимодействиям адронов при низких энергиях (Иркутск, 1974), (Новосибирск, 1976) и на Международном семинаре по глубоконеупругим и множественным процессам (Сухуми, 1975).

Публикации. По материалам работы опубликовано пять статей.

Объем работ. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и пяти приложений, содержит 140 страниц машинописного текста, 19 рисунков и 2 таблицы. Список литературы насчитывает 180 наименований.

Содержание диссертации

Во введении указывается на важность изучения электромагнитной структуры адронов в области времениподобных передач импульса $k^2 > 0$ и связанный с этим особый интерес к процессу $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ как источнику информации об электромагнитных формфакторах пионов и нуклонов в области времениподобных передач импульса, в том числе при значениях, недоступных для измерений в экспериментах на встречных пучках. Формулируются основная цель исследования: обоснование возможности модельно-независимого измерения формфакторов адронов с помощью процесса $\pi N \rightarrow e^+e^-N$, и способ рассмотрения проблемы: анализ обширного экспериментального материала по фото- и электророждению пионов на нуклонах и интерпретация этих процессов и реакции $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ в рамках единой реалистической (дисперсионной) модели. Дается краткий обзор используемых в настоящее время методов исследования электромагнитной структуры пионов и нуклонов и встречающихся при этом теоретических трудностей. Обри-

совмещается решение поставленной задачи как при низких энергиях (приведшее к обоснованию нового метода исследования структуры частиц при $k^2 > 0$), так и при высоких энергиях и малых $|t|$. Дается краткий обзор содержания глав диссертации.

В главе I проводится кинематическое рассмотрение и обсуждаются некоторые общие вопросы процессов типа фоторождения пионов на нуклонах.

В § I строится ковариантным образом ортонормированный базис 4-мерного пространства, удобный для получения ковариантного разложения адронного тензора $J_{\mu\nu}$, представляющего в однофотонном приближении адронную часть квадрата модуля матричного элемента, который описывает процесс электророждения ($k^2 < 0$) и $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ ($k^2 > 0$). Проводится такое разложение $J_{\mu\nu}$ единым образом для пространственно- и времениподобных значений k^2 на части (структурные функции $J_i(s, t, k^2), i=1, \dots, 5$), имеющие ясный физический смысл и простую связь с наблюдаемыми величинами процессов типа фоторождения. Подробно обсуждаются три наиболее естественных базиса, являющихся дополнительными в том смысле, что разложение тензора $J_{\mu\nu}$ по каждому из них наиболее удобно при изучении явлений в одном из каналов s, u, t . Устанавливается ковариантная связь между структурными функциями разложения $J_{\mu\nu}$ по любым двум ортонормированным базисам 4-мерного пространства.

В § 2 обсуждается выбор инвариантных амплитуд. Рассматриваются способы удовлетворения условий градиентной инвариантности при постулировании представления Мандельштама. Делается вывод, что ни один из способов не приводит к однозначной рецептуре.

В § 3 записываются дисперсионные соотношения (ДС) по s при фиксированном t для инвариантных амплитуд $A_i^{(s, t)}(s, t, k^2) (i=1, \dots, 6)$. При этом, в соответствии с требованиями асимптотического поведения амплитуд A_i при $s \rightarrow \infty$ и малых $|t|$, полученного в модели полюсов Редже, делаем одно вычитание в случае амплитуды $A_5^{(s)}$, а для остальных амплитуд используются ДС без вычитаний. Обсуждаются ненаблюдаемые области дисперсионных интегралов. Обобщается на случай наличия вычитания в ДС для $A_5^{(s)}$ процедура Адлера для устранения в физическом матричном элементе кинематической особенности при $t = m_\pi^2 + k^2$.

В § 4 определяются амплитуды $F_i (i=1, \dots, 6)$ в с.ц.м. πN -системы и приводится для них разложение по мультипольным состояниям. Выводится полное поведение мультипольных амплитуд при 3-

импульсах пиона (q) и виртуального фотона $\gamma^* (k)$, стремящихся к нулю, на основе принципа максимальной аналитичности первой степени. Такой метод, не требующий (в отличие от принятого) использования ДС по t и формул проектирования на мультипольные состояния, помимо простоты, наглядно демонстрирует кинематический характер получаемого поведения мультиполей и связей между ними на квазипороге ($p_{10} \rightarrow m$) и при $p_{10} \rightarrow -m$, где p_{10} - энергии нуклона (m - его масса) в γ^*N -системе. Указывается, что, тогда как соотношения между мультипольными амплитудами при $p_{10} \rightarrow -m$ выполняются в реакции $\pi N \rightarrow e^+e^-N$ при покоящемся нуклоне отдачи в с.ц.м. πN -системы, связи при $p_{10} \rightarrow -m$ реализуются в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi N \bar{N}$ при остановке антинуклона в с.ц.м. пиона и нуклона.

В главе II рассматриваются процессы типа фоторождения π -мезонов на нуклонах в резонансных областях и теоретически обосновывается метод исследования электромагнитной структуры адронов при времениподобных переданных импульсах, а также приводится результаты реализации этого метода в эксперименте, проведенном на Дубненском синхротронном циклотроне.

В § I вводится параметризация $\gamma^*N N_J^*$ -вершины (N_J^* - изобара со спином J) удобными формфакторами, не имеющими кинематических сингулярностей и ограничений.

В § 2 предлагается единая дисперсионная модель для процессов типа фоторождения π -мезонов на нуклонах во всех резонансных областях. Эта модель, основанная на ДС для $A_i(s, t, k^2)$, выписанных в гл. I, § 3, является фактически обобщением на произвольные k^2 (в том числе и времениподобные) уже известных дисперсионных моделей для фото- и электророждения, в которых абсорбтивная часть амплитуды в резонансных областях параметризуется в определенном соответствии с изобарной моделью и эффективно учитываются высокоэнергетические вклады. При этом аналитическое продолжение абсорбтивных частей $\text{Im} A_i(s, t, k^2)$ в ненаблюдаемые области дисперсионных интегралов $(m+m_\pi)^2 < s < s_\pm$ осуществляется, как обычно, с помощью разложения по полиномам Лежандра; однако при $k^2 > m_\pi^2$, в отличие от случая фото- и электророждения ($k^2 \leq 0$), требуется решить проблему аналитического продолжения в интервал $(m+m_\pi)^2 < s < (m+\sqrt{k^2})^2$. Доказана возможность такого продолжения, причем в случае разложения $\text{Im} A_i(s, t, k^2)$ по мультиполям необходим явный учет квазипорогового поведения мультипольных амплитуд и связей

между ними при $p_{10} \rightarrow m$; в модели также существенно используются введены в § I переходные формфакторы. Такая модель могла бы послужить для анализа экспериментальных данных по процессу $\pi p \rightarrow e^+e^-n$ во второй резонансной области и при более высоких энергиях.

В § 3 показано, что при некоторых значениях s и t , соответствующих непрерывным кривым на плоскости (s, t) , дифференциальные сечения для процессов типа фоторождения π -мезонов в случае неполяризованных фотонов, а также асимметрия в сечении, обусловленная поляризацией γ -квантов, полностью определяются борновскими членами. Это связано с взаимной компенсацией при указанных значениях s и t вкладов πN -взаимодействия в конечном состоянии и их интерференции с борновскими членами амплитуды. На рис. I приведены кривые компенсации на плоскости (E_γ, θ^*) (E_γ - лабораторная энергия γ -кванта, θ^* - угол рассеяния в с.ц.м.) для сечений процессов $\gamma N \rightarrow \pi^\pm N$, полученные из анализа экспериментальных данных. Вдоль этих кривых сечения определяются электрическими борновскими членами. Делается вывод, что по крайней мере в наиболее интересных для нас случаях (в первой резонансной области и при энергиях выше резонансной области) кривые компенсации для всех трех процессов типа фоторождения приблизительно совпадают. Недавно этот эффект получил экспериментальное подтверждение: при полной энергии в с.ц.м. начальных частиц $W = 1296$ МэВ, на основании кривой компенсации для процесса $\gamma n \rightarrow \pi^+ p$ (рис. I) и вышесказанного заключения, предсказывается компенсация для процесса $\pi^+ p \rightarrow e^+e^-n$ при угле $\theta^* \approx 70^\circ$; эксперимент же дает значение $70^\circ \pm 7^\circ$.

В § 4 обсуждаются свойства амплитуды процесса $\pi N \rightarrow \ell \bar{\ell} N$ в области квазипорога. Формулируются квазипороговые правила отбора, вследствие которых при $k \rightarrow 0$ в амплитуде "выживают" лишь резонансы с $J^P = 1/2^-, 3/2^-$. Устанавливается практически модельно-независимым образом, что в первой резонансной области сечение (с точностью до 10±15%) определяется только борновскими членами:

$$\lim_{k \rightarrow 0} \frac{d^2\sigma}{k dA^2 d\cos\theta} \approx \frac{e^2 m^2}{12\pi (V_3 - m)^2} \frac{1}{2} \left\{ (1 + \cos^2\theta) |E_{0+}^{\text{борн}}|^2 + E_{2-}^{\text{борн}}|^2 + \sin^2\theta |E_{0+}^{\text{борн}} - 2E_{2-}^{\text{борн}}|^2 \right\},$$

где θ - угол между электроном и нуклоном отдачи в с.ц.м. (e^+e^-)-пары. На основе квазипороговых свойств амплитуды в области изобары $P_{33}(1236)$ указывается на заметную чувствительность асиммет-

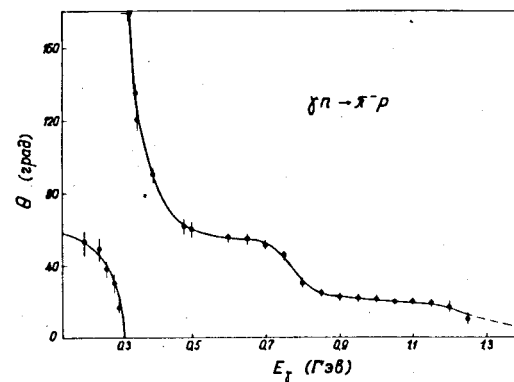
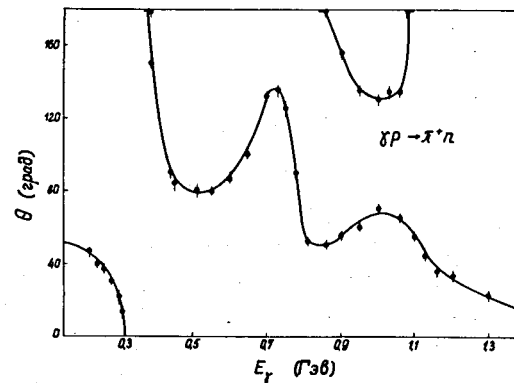


Рис. I. Кривые компенсации для процессов $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$ и $\gamma n \rightarrow \pi^- p$. Вдоль этих кривых дифференциальное сечение описывается электрическими борновскими членами. При более высоких энергиях кривые для обоих процессов проходят через углы рассеяния, определяемые значением $t \approx -0,04$ (ГэВ/с)².

рии в сечении процесса $\pi N \rightarrow \mu^* \mu N$, обусловленной поляризацией мюона, к формфактору $G_M^*(k^2)$ $\gamma^* N N_{\frac{1}{2}}(1236)$ - вершин.

В § 5 предлагается дисперсионная модель для процессов типа фоторождения пионов на нуклонах в первой резонансной области. Успешное описание этих процессов при низких энергиях стало возможным благодаря классическим работам [1-3], в которых были выяснены основные черты процесса фоторождения пионов. При этих энергиях применение теоремы о взаимодействии в конечном состоянии и результатов фазового анализа πN - рассеяния позволило разработать последовательную низкоэнергетическую дисперсионную теорию. При построении модели учитываются результаты этих исследований и квазипороговое поведение амплитуды. Модель основана на ДС для амплитуд $A_i(s, t, k^2)$; при этом принимается, что абсорбтивная часть определяется магнитным дипольным возбуждением изобары $P_{33}(1236)$; изоскалярная часть амплитуды берется в борновском приближении, за исключением мультиполя E_{0+}^{ω} , который, в соответствии с результатами мультипольных анализов фоторождения, полагается выше резонанса равным нулю. Проводится сравнение результатов расчетов в модели с экспериментальными данными по фотоэлектророждению и процессу $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$ [4, 5]. Согласие хорошее. Для примера на рис. 2 и 3 приведены угловые распределения для процесса $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$ по $\cos \theta$ (θ - угол между электроном и нейтроном в с.ц.м. $e^+ e^-$ -пары) и по $\cos \theta^*$ (θ^* - угол вылета виртуального фотона в с.ц.м. пиона и протона) при кинетической энергии пионов $E_{\pi} = 275$ МэВ, рассчитанные по модели с учетом условий опыта [4], из которого взяты экспериментальные распределения событий. В связи с важностью для проводимых рассмотрений предположения об однофотонном обмене, имеющего хорошие подтверждения в области пространственно-подобных передач импульса, из хорошего согласия теоретических и экспериментальных угловых распределений для $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$ по $\cos \theta$ (рис. 2) и по косинусу угла ϕ между плоскостью реакции $\pi p \rightarrow n \gamma^*$ и плоскостью распада $\gamma^* \rightarrow e^+ e^-$ делается вывод о справедливости этого предположения и для времениподобных переданных импульсов.

На базе модельно-независимых соображений § 3, 4, результатов расчетов и сравнения с данными теоретически обосновывается метод определения электромагнитных формфакторов пиона $F_{\pi}^V(k^2)$ и нуклона $F_1^V(k^2)$ в области времениподобных переданных импульсов $k^2 > 0$. Этот метод успешно реализован в эксперименте, выполненном на

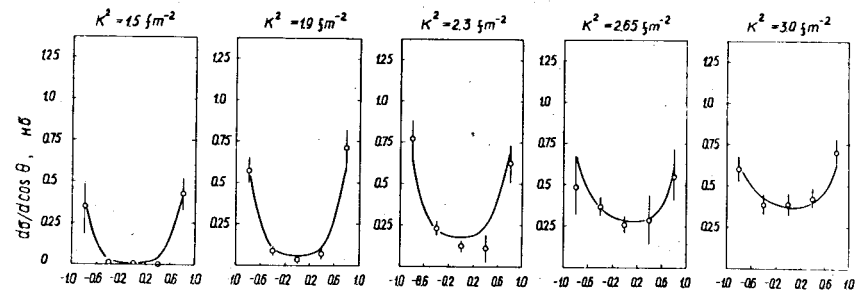


Рис. 2. Распределения для процесса $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$ по косинусу угла θ между электроном и нейтроном в с.ц.м. ($e^+ e^-$ -пары) при кинетической энергии пионов $E_{\pi} = 275$ МэВ, рассчитанные по модели с учетом условий опыта [4], из которого взяты экспериментальные распределения событий.

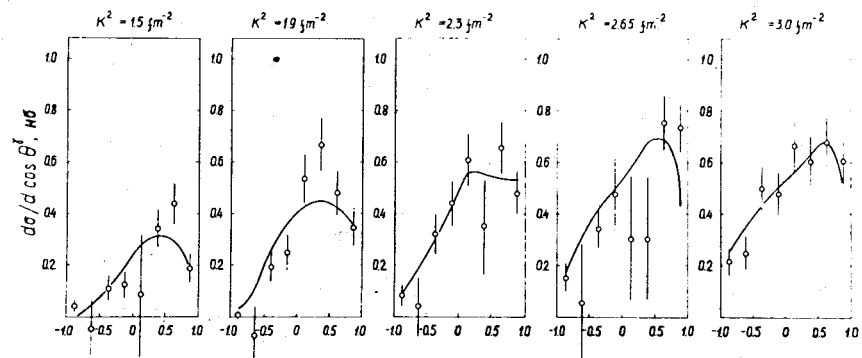


Рис. 3. Распределения по $\cos \theta^*$ для процесса $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$, рассчитанные по модели с учетом условий опыта [4], из которого взяты экспериментальные распределения событий.

Дубненском синхротронном /4,5/. Демонстрируются его результаты. Например, электромагнитные радиусы пиона и нуклона, определенные из данных по формфакторам, полученным в этом опыте, равны

$$r_\pi = \langle r^2 \rangle^{1/2} = (0,60 \pm 0,11) \text{ ф}, \quad r_p = \langle r^2 \rangle^{1/2} = (0,73 \pm 0,11) \text{ ф}.$$

В главе III рассматриваются процессы типа фоторождения пионов на нуклонах при энергиях выше резонансной области и малых $|t|$ с точки зрения использования их для получения информации о формфакторах адронов.

В § I обсуждаются феноменологические особенности процессов типа фоторождения π -мезонов при больших s и малых $|t|$ и подчеркивается возможность их модельно-независимой интерпретации. Демонстрируется справедливость теорем Штихела /6/ для произвольных, в том числе и времениподобных, k^2 . Обсуждается формулирование модели векторной доминантности на основе предположения о единичной k^2 -зависимости (гладкости) инвариантных амплитуд Болла $B_i(s,t,k^2) (i=1, \dots, 8)$, не имеющих кинематических сингулярностей.

В § 2 рассматривается дисперсионная модель для процессов типа фоторождения π -мезонов на нуклонах при больших s и малых $|t|$, являющаяся, фактически, обобщением известной модели Берендса на произвольные k^2 . Предлагается путь уточнения такой модели, абсорбция в которой определяется лишь возбуждением резонанса $P_{33}(1236)$, посредством включения в дисперсионную поправку вкладов от других барионных резонансов и высокоэнергетических "хвостов", а также рассмотрением абсорбтивных частей амплитуд; при этом проблема k^2 -зависимости указанных дополнительных вкладов решается с помощью применения к ним предположений векторной доминантности. В такой модели, за исключением формфакторов, не вводится дополнительных в сравнении со случаем фоторождения параметров. Обсуждаются пределы применимости модели. На основании сравнения результатов расчетов с данными по фотоэлектророждению и процессу $\pi p \rightarrow \rho^0 n$ и некоторых благоприятных моментов (уменьшения абсорбции с ростом k^2 , возможности уточнения модели без введения дополнительных параметров) делается вывод о реалистичности дисперсионной модели, предлагаемой для интерпретации процесса $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$ при больших s и малых $|t|$ с целью (поставленной в работе /7/) измерения формфакторов $F_\pi(k^2)$ и $F_N^V(k^2)$ при $k^2 > 0$.

В заключении формулируются основные результаты, полученные в диссертации.

В приложениях А устанавливаются связи структурных функций J_1, \dots, J_5 с инвариантными амплитудами $A_i(s,t,k^2)$ и с амплитудами в с.д.м. $F_i(W, \cos\theta^*)$.

В приложении Б рассматриваются спиральные амплитуды в t -канале для виртуального фоторождения пионов, их связи с матрицей плотности виртуального фотона и с амплитудами $B_i(s,t,k^2)$, кинематические ограничения на спиральные амплитуды при $t = 0; 4m^2; (m_\pi \pm \sqrt{k^2})^2$. Приводится асимптотическое поведение спиральных амплитуд в модели полюсов Редже. В таблице указаны известные траектории Редже, дающие доминирующий вклад в разные изоспиновые компоненты спиральных амплитуд в t -канале. Получены ограничения на вклады в амплитуды $B_i(s,t,k^2)$ t -канальных обменов натуральной и ненатуральной четности.

В приложении В приводятся связи спиральных амплитуд в s -канале с амплитудами $F_i(W, \cos\theta^*)$ и элементами матрицы плотности виртуального фотона в H -системе.

В приложении Г записываются связи между амплитудами $A_i(s,t,k^2)$ и $F_i(W, \cos\theta^*)$.

В приложении Д выписывается явный вид коэффициентов, используемых в гл. II, § 2.

Основные результаты, полученные в диссертации

1. Предложена единая дисперсионная модель для процессов типа фоторождения пионов на нуклонах в резонансных областях. Показана возможность аналитического продолжения амплитуды в ненаблюдаемую область $(m+m_\pi)^2 \leq s \leq (m+\sqrt{k^2})^2$ и явно выполнено в модели такое продолжение.

2. Показано, что при некоторых значениях s и t , определяемых из данных по фоторождению и соответствующих непрерывным кривым на плоскости (s,t) , дифференциальные сечения процессов типа фоторождения пионов полностью определяются борновскими членами.

3. Показано, что в процессе $\pi N \rightarrow e^+ e^- N$ в первой резонансной области рождения $e^+ e^-$ -пар на квазипороге происходит посредством борновского механизма.

4. Предложена дисперсионная модель для процессов типа фоторождения π -мезонов на нуклонах в области резонанса $P_{33}(1236)$.

5. Теоретически обоснован метод исследования электромагнит-

ной структуры пиона и нуклона при времениподобных переданных импульсах на основе анализа процесса $\pi p \rightarrow e^+ e^- n$.

6. Указано на возможность получения информации о факторе $G_M^*(k^2)$ $\gamma^* N N$ вершины при $k^2 > 0$ посредством измерения асимметрии в сечении процесса $\pi N \rightarrow \mu^+ \mu^- N$, обусловленной поляризацией мюона.

7. Предложена дисперсионная модель для процессов типа фоторождения пионов на нуклонах при высоких энергиях и малых $|t|$.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. ОИИ, Р2-4561, Дубна, 1969.

Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. Труды Юбилейной научной конференции Тбилисского госуниверситета. Тбилиси, 1971, стр.55.

Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. ЯФ, 16, 1204, 1972.

Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. ЯФ, 21, 753, 1975.

Т.Д.Блохинцева, Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава, ЯФ, 21, 850, 1975.

Литература

1. A.A.Logunov, A.N.Tavkhelidze, L.D.Solovyov. Nucl.Phys., 4, 427, 1957.

2. G.E.Chew, M.L.Golberger, F.E.Low, Y.Nambu. Phys.Rev., 106, 1345, 1957.

3. A.M.Балдин. ЖЭТФ, 38, 579, 1960.

A.M.Baldin, A.I.Lebedev. Nucl.Phys., 40, 44, 1963.

4. С.Ф.Бережнев, Т.Д.Блохинцева, А.В.Демьянов и др. ЯФ, 24, 1127, 1976.

5. С.Ф.Бережнев, Т.Д.Блохинцева, А.В.Демьянов и др. ЯФ, 26, 547, 1977.

6. P.Stichel. Z.Phys., 180, 170, 1964.

7. A.M.Baldin, V.A.Suleymanov. Phys.Lett., 37B, 305, 1971; ОИИ, Р2-7096, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 октября 1977 года.