

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

K-244

На правах рукописи

УДК 539.12

КАРНАКОВ

Владимир Агафангелович

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АДРОНОВ С ФОТОНАМИ
МАЛОЙ ВИРТУАЛЬНОСТИ ($Q^2 \approx 1 \text{ ГэВ}^2$)

Специальность : 01.04.02 теоретическая и
математическая физика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Дубна 1987

Работа выполнена в Иркутском государственном университете
им. А.А.Жданова и Институте математики СО АН СССР

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Ачасов Николай Николаевич - доктор физико-математических
наук (Институт математики
СО АН СССР, г.Новосибирск)

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ

Герасимов Серго Борисович - доктор физико-математических
наук (ОИЯИ, г.Дубна)
Ландсберг Леонид Григорьевич - доктор физико-математических
наук (ИФВЭ, Протвино)

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Физический институт Академии наук им. П.Н.Лебедева, г.Москва

Защита диссертации состоится "25" ~~ноября~~ 1987г.
в ~~16~~¹⁵ час. на заседании Специализированного совета К047.01.01
при Лаборатории теоретической физики Объединенного института
ядерных исследований, г.Дубна, Московская область

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Автореферат разослан " " " 1987г.

Ученый секретарь Специализированного
совета

А.Е.Дорохов А.Е.Дорохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Электромагнитные взаимодействия занимали и занимают фундаментальное положение в физике, являясь по своей природе уникальным инструментом исследования объектов, простирающихся от размеров Вселенной до размеров элементарной частицы. Квантовая электродинамика, а теперь и теория электрослабого взаимодействия, позволяют рассчитать произвольный электрослабый процесс практически с любой наперед заданной точностью, что указывает на логическую завершенность этих теорий. Что же касается исследования взаимодействий адронов с фотонами, то здесь построение теории (электродинамики адронов) еще не завершено, и поэтому используются различные модельные и феноменологические подходы. Такая ситуация связана с незавершенностью квантовой хромодинамики (КХД), единственно приемлемой теории сильных взаимодействий.

Основными экспериментально исследуемыми процессами, в которых изучается взаимодействие адронов с фотонами, являются процессы e^+e^- -аннигиляции и электро(лепто)рождения адронов, а также фоторождение адронов (γp -рассеяние), взаимно дополняющие друг друга.

Экспериментальное исследование e^+e^- -аннигиляции, электро(лепто)-рождения адронов оказали сильное стимулирующее воздействие на развитие теории элементарных частиц. Достаточно вспомнить обнаружение таких эффектов как резонансные состояния в области энергий выше 3 ГэВ (семейство ψ -частиц) и скейлинговое поведение сечения неупругого e^+p -рассеяния.

e^+p - рассеяние характеризуется тем, что фотон имеет "массу" q^2

(виртуальность фотона $q^2 = -Q^2 < 0$). Значения $Q^2 \lesssim 1 \text{ ГэВ}^2$ несут информацию о взаимодействии на больших расстояниях (расстояния порядка 1 fm). При $Q^2 \gg 1 \text{ ГэВ}^2$ фотон проникает глубоко в адрон и "прощупывает" его структуру на малых расстояниях.

Предсказания КХД относятся к явлениям, происходящим на малых расстояниях. Область больших расстояний (область конфайнмента) остается все еще за пределами досягаемости прямых расчетных методов, что, как известно, связано с большой величиной константы сильной связи $\alpha_s(Q^2)$, и, следовательно, неприменимости теории возмущений. Широкое использование методов КХД не обходится без дополнительных предположений. Среди них можно отметить предположение факторизации вкладов, обусловленных малыми и большими расстояниями, т.е. разбиение структурных функций на непертурбативную часть, содержащую информацию о больших расстояниях, и часть, соответствующую малым расстояниям, где применимость КХД определяется асимптотической свободой. Именно эффекты, связанные с большими расстояниями, являются "камнем преткновения" КХД, ибо даже в процессах с большой передачей импульса между кварками и глюонами в экспериментах наблюдаются адроны, а не кварки и глюоны. Поэтому в рамках КХД должен быть строго описан процесс перехода от языка кварков и глюонов к языку физических адронных состояний (который происходит на достаточно больших расстояниях).

Явления, характерные для больших расстояний (малые значения Q^2), имеют богатое физическое содержание, и в настоящее время представляют важнейшую теоретическую проблему сильных взаимодействий. Несомненную важность поэтому приобретают модельные и феноменологические подходы, адекватно описывающие процессы, происходящие на больших расстояниях.

Наряду с $e\bar{p}$ -рассеянием большой интерес представляет также теоретическое и экспериментальное исследование фотон-фотонных взаимодействий. Причем в $\gamma\gamma$ -столкновениях в области больших расстояний лежит целый круг вопросов, касающихся, например, рождения резонансов. В $\gamma\gamma$ -столкновениях, как и в $e\bar{p}$ -рассеянии, несомненно, важным является возможность вариации, как энергии, так и виртуальности фотона. Это дает возможность изучать сильные взаимодействия на больших расстоя-

ниях.

Цель работы. Цель данной работы состоит в изучении явлений, происходящих на больших расстояниях. Более конкретно она реализуется в следующем:

- рассмотрение применимости модели векторной доминантности (VDM) для описания Q^2 -зависимости сечений неупругого $e\bar{p}$ и $\gamma\gamma$ -рассеяний в области малых значений Q^2 ($Q^2 \lesssim 1 \text{ ГэВ}^2$);

- изучение экспериментальных данных по электро(лепто)рождению векторных мезонов и измерению параметра ξ_V , равного отношению сечений рождения векторных мезонов с продольной и поперечной поляризацией, $\xi_V = \sigma_{Vp}^{\lambda=0} / \sigma_{Vp}^{\lambda=\pm 1}$;

- применение модели векторной доминантности к рождению тензорного мезона $f(1270)$ в $\gamma\gamma$ -столкновениях;

- изучение запрещенных по G -четности распадов ψ -мезона. Расчет относительных вероятностей распадов $\psi \rightarrow \pi\omega$ и $\psi \rightarrow \rho\pi\pi$, а также распада $\psi \rightarrow \pi\pi$ и интерференционных кривых, по которым эти распады можно наблюдать.

Научная новизна и практическая ценность. Показано, что простейшая модель векторной доминантности (учитывается только ρ -мезон) и предположение о независимости сечений рассеяния векторных мезонов от спирального состояния векторного мезона ($\xi_V = 1$) хорошо описывают экспериментальные данные $e\bar{p}$ и $\gamma\gamma$ -рассеяний при виртуальностях фотонов $Q^2 \lesssim 1 \text{ ГэВ}^2$. Это соответствует важной роли вклада продольного фотона в рождение адронов вопреки мнению, сложившемуся в общепринятой модели векторной доминантности. Поэтому практическая ценность данного результата состоит в том, что он остро ставит задачу экспериментального исследования $e\bar{p}$ и $\gamma\gamma$ -рассеяний при $Q^2 \lesssim 1 \text{ ГэВ}^2$ [1].

Построена модель векторной доминантности для процесса $\gamma\gamma(Q^2) \rightarrow f(1270, 2^+) \rightarrow \pi\pi$. Определена Q^2 -зависимость спиральных амплитуд и сечения этого процесса. Предложена также модель для описания Q^2 -зависимости процесса $\gamma\gamma(Q^2) \rightarrow \pi\pi$ в окрестности f -ме-

зона. Как показано в работе [2] построение VDM для рождения f -мезона в $\gamma\gamma$ -столкновениях является нетривиальной задачей, а предпринимавшие ранее попытки теоретической интерпретации первых экспериментальных данных о процессе $\gamma\gamma^*(Q^2) \rightarrow f$ были неудачными. Поэтому большое практическое значение приобретает вопрос об экспериментальном исследовании рождения f -мезона в $\gamma\gamma$ -столкновениях и сравнение результатов этого исследования с построенной моделью.

Впервые вычислены относительные вероятности запрещенных по G -четности распадов $\varphi \rightarrow \pi\omega$, $\varphi \rightarrow \rho\pi\pi$. Проведен анализ перехода $\varphi \rightarrow \rho$, полностью определяющий распад $\varphi \rightarrow \pi\pi$. Более аккуратно анализируется последовательный переход $\varphi \rightarrow \omega \rightarrow \rho$, в котором учтены эффекты, ранее не рассматривавшиеся.

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались на семинарах отдела теоретической физики ИМ СО АН СССР, отдела элементарных частиц и нейтринной астрофизики ИГУ им. А.А. Жданова, на экспериментальном семинаре ИФ СО АН СССР и на сессиях отделения ядерной физики АН СССР (1983-1985 г.г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений. Изложена на 98 страницах машинописного текста, насчитывает 28 рисунков и одну таблицу. Библиографический список литературы содержит 97 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается роль электромагнитных взаимодействий как инструмента при исследовании адронов и свойств сильного взаимодействия в процессах $e\bar{p}$ и $e\bar{e}$ -рассеяний. Рассмотрены теоретические подходы к описанию этих процессов в области малых и больших расстояний. Кратко излагается содержание диссертации.

В первой главе рассматривается применение модели векторной доми-

нантности для описания инклюзивного процесса $e\bar{p} \rightarrow e\bar{X}$ и двухфотонного рождения адронов $\gamma\gamma^*(Q^2) \rightarrow X$ в области малых виртуальностей фотона Q^2 [1].

В § 1.1. обсуждается рождение адронов продольным фотоном в процессе $e\bar{p} \rightarrow e\bar{X}$ в области $Q^2 \leq 1$ ГэВ² и достаточно больших энергий W ($W > 2$ ГэВ, W - энергия γp системы в с.ц.м.). Рассмотрение этой задачи представляет интерес в связи с тем, что в настоящее время отсутствует какая-либо достоверная экспериментальная информация о параметре $R = \sigma_L / \sigma_T$ при $Q^2 \leq 1$ ГэВ² (поведении структурных функций $W_1(\nu, Q^2)$ и $W_2(\nu, Q^2)$), так как не проводились измерения продольного σ_L и поперечного σ_T сечений γp -рассеяния. С теоретической точки зрения ситуация также не ясна. Поэтому при анализе этой области Q^2 используются различные модельные подходы, ибо на больших расстояниях (соответствующих малым Q^2), провести какие-либо расчеты в рамках КХД не удастся, так как методы теории возмущений неприменимы. Непертурбативные подходы все еще далеки от конкретных приложений.

Применение простейшей модели векторной доминантности с учетом предположения о независимости сечения рассеяния от спирального состояния векторного мезона для описания экспериментальных данных по процессу $e\bar{p} \rightarrow e\bar{X}$ в риджевой области процесса $\gamma p \rightarrow \gamma p$ дает очень хорошие результаты. Важность вклада продольного фотона в рождение адронов следует также из ряда естественных соображений, отмеченных в диссертации, что в целом противоречит мнению, сложившемуся в обобщенной модели векторной доминантности, в которой роль продольного фотона незначительна.

В § 1.2. обсуждается экспериментальная информация относительно параметра $\xi_V = \sigma_{Vp}^{z=0} / \sigma_{Vp}^{z=1}$, получаемая в лепторождении векторных мезонов ρ , φ и ψ . Проведенный анализ относительно численного значения ξ_V показывает, что предположение $\xi_V = 1$ не противоречит экспериментальным данным по лепторождению векторных мезонов.

В § 1.3. рассматривается двухфотонное рождение адронов в случае,

когда один, либо оба фотона виртуальные. Анализ экспериментальных данных по полному сечению процесса $\gamma\gamma^*(q^2) \rightarrow \chi$, основанный на подходе, использованном в § 1.1. для $e\bar{p}$ -рассеяния, показывает, что и в этом процессе, по-видимому, продольный фотон играет важную роль в рождении адронов. Во всяком случае, простейшая модель векторной доминантности с предположением о независимости сечения рождения от спиральности векторного мезона прекрасно описывает экспериментальные данные.

Вторая глава посвящена двухфотонному рождению тензорного мезона $f(1270)$, наблюдаемому в процессе $e\bar{e} \rightarrow e\bar{e} f \pi\pi$, в котором была измерена двухфотонная ширина распада $f \rightarrow \gamma\gamma$ [2].

В § 2.1 дан краткий обзор двухфотонных взаимодействий; активно исследуемой на встречных электрон-позитронных пучках области физики.

В § 2.2. строится модель векторной доминантности для рождения тензорного мезона $f(1270)$ в фотон-фотонных взаимодействиях. Процессы двухфотонного рождения адронов при сравнительно небольших виртуальностях фотонов привлекают к себе значительное внимание и в настоящее время широко исследуются на ускорителях.

Применение VDM к полному сечению $\gamma\gamma^*(q^2) \rightarrow \chi$ (§ 1.3.), при высоких энергиях $s (s \gg q^2)$, понятно и оправдано. Что же касается двухфотонного рождения резонансов, то в этом случае применение VDM к сечению процесса не может быть адекватным, ибо $s \sim q^2$, и VDM должна применяться к инвариантным амплитудам, не имеющим кинематических особенностей.

Правильное применение VDM к процессу $\gamma\gamma^*(q^2) \rightarrow f \rightarrow \pi\pi$ нетривиально, так как в общем случае этот процесс описывают три инвариантные амплитуды. При построении VDM для процесса $\gamma\gamma^*(q^2) \rightarrow f$ предполагается, что f -мезон имеет связь с тензором энергии-импульса электромагнитного поля. Это предположение означает, что в случае реальных фотонов f -мезон рождается фотонами, имеющими противоположные спиральности. По-видимому, эксперимент не противоречит такому предположению. Точно такая же ситуация, возможно, имеет место и при двухфотонном рождении $A_2(1320)$ -мезона: с одной стороны, кварковые составы

f и A_2 -мезонов одинаковы, а с другой, анализ углового распределения пионов в процессе $\gamma\gamma \rightarrow A_2 \rightarrow 3\pi$ указывает на доминирование амплитуды со спиральностью $\lambda=2$. Построенная модель хорошо согласуется с первым весьма предварительным экспериментом.

В § 2.3. рассмотрена интерференция в процессе $\gamma\gamma^*(q^2) \rightarrow \pi\pi$ между амплитудой резонансного рождения f -мезона и фоном, описываемым борновской амплитудой. Вычислена q^2 -зависимость изучаемого процесса.

В третьей главе рассматриваются запрещенные по G -четности распады φ -мезона: $\varphi \rightarrow \pi\pi$, $\varphi \rightarrow \pi\omega$ и $\varphi \rightarrow \rho\pi\pi$ [3,4]. Основную роль в механизмах рассматриваемых распадов играет амплитуда перехода $\varphi \rightarrow \rho$ (отметим, что этот переход полностью определяет распад $\varphi \rightarrow \pi\pi$). Изучение этих распадов представляет значительный интерес, связанный с исследованием электромагнитной структуры φ -мезона, выяснением роли непертурбативных эффектов КХД, критичных для всех вариантов кварковой модели и с разностью масс кварков. Практический интерес связан с проводимыми в настоящее время на установке ВЭПП-2М экспериментами с нейтральным детектором, а также в связи с планированием экспериментальных работ на проектируемом детекторе.

§ 3.1. посвящен рассмотрению теоретических аспектов механизмов распада $\varphi \rightarrow \pi\pi$ (из обсуждаемых в этой главе распадов, только по распаду $\varphi \rightarrow \pi\pi$ имеются экспериментальные данные). Этот распад наблюдается в реакции $e\bar{e} \rightarrow \pi\pi$ по интерференции между резонансным вкладом φ -мезона и нерезонансным фоном. Основное внимание в этом параграфе уделяется расчету последовательного перехода $\varphi \rightarrow \omega \rightarrow \rho$. Расчет последовательного перехода с учетом рассмотренных в диссертации эффектов (самый существенный эффект состоит в том, что ширина мезона резко возрастает с увеличением энергии), приводит к уменьшению на 30% реальной части этого перехода и возникновению мнимой части, которая составляет 15% вклада промежуточных состояний $K\bar{K}$, η и η' .

В § 3.2. рассматривается распад $\varphi \rightarrow \pi\omega$. Рассчитывается его относительная вероятность, $B(\varphi \rightarrow \pi\omega) = 0.82 \cdot 10^{-4}$ и интерферен-

сионная картина в реакции $e^+e^- \rightarrow \pi\omega$ в области ψ -мезона.

В § 3.3. рассматривается распад $\psi \rightarrow \rho\pi\pi$. Рассчитывается его относительная вероятность, $B(\psi \rightarrow \rho\pi\pi) = 0.35 \cdot 10^{-6}$ и интерференционная картина в реакции $e^+e^- \rightarrow \rho\pi\pi$ в области ψ -мезона. В этом распаде обнаружен эффект [3,4], заключающийся в том, что электромагнитный механизм является главным. Он усилен более чем в четыре раза по сравнению с другими механизмами за счет малости характерной инвариантной массы пионной пары.

Для распадов $\psi \rightarrow \pi\omega$ и $\psi \rightarrow \rho\pi\pi$ приводятся наиболее интересные, с точки зрения эксперимента, угловые распределения.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В приложении А рассмотрена кинематика неупругого e^+e^- -рассеяния.

В приложении В приводится вывод формулы, описывающей поляризацию виртуального фотона в реакции $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Показано, что простейшая модель векторной доминантности и предположение о независимости сечений рассеяния от спирального состояния векторного мезона дает хорошее описание экспериментальных данных по неупругому e^+e^- -рассеянию в реджевской области процесса $\gamma^*p \rightarrow \gamma^*p$ и по двухфотонному рождению адронов (процесса $\gamma\gamma^* \rightarrow \chi$) при виртуальностях фотонов $Q^2 \leq 1 \text{ ГэВ}^2$.

2. В результате анализа экспериментальных данных по лепторождению векторных мезонов при виртуальностях фотона $Q^2 \leq 0.6 + 1.0 \text{ ГэВ}^2$ получено, что вклад продольного фотона составляет значительную величину и предположение $\xi_V = 1$ является непротиворечивым (что означает независимость сечений рассеяния от спирального состояния векторного мезона).

3. Построена модель векторной доминантности для рождения тензорного мезона $f(1270)$ в процессе $\gamma\gamma^*(Q^2) \rightarrow f \rightarrow \pi\pi$. Вычислена за-

висимость от Q^2 интерференции в процессе $\gamma\gamma^*(Q^2) \rightarrow \pi\pi$ между амплитудой резонансного рождения f -мезона и фоном, определенным борновскими амплитудами пионного и векторного обменов.

4. Проведен анализ амплитуды последовательного перехода $\psi \rightarrow \omega \rightarrow \rho$ и вычислен вклад этого перехода в параметр интерференции реакции $e^+e^- \rightarrow \pi\pi$, в котором наблюдается распад $\psi \rightarrow \pi\pi$.

5. Рассчитаны относительная вероятность распада $\psi \rightarrow \pi\omega$, $B(\psi \rightarrow \pi\omega) = 0.82 \cdot 10^{-4}$ и интерференция в реакции $e^+e^- \rightarrow \pi\omega$ в области ψ -мезона.

6. Рассчитаны относительная вероятность распада $\psi \rightarrow \rho\pi\pi$, $B(\psi \rightarrow \rho\pi\pi) = 0.35 \cdot 10^{-6}$ и интерференция в реакции $e^+e^- \rightarrow \rho\pi\pi$ в области ψ -мезона.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ачасов Н.Н., Карнаков В.А. Рождение адронов продольным фотоном (несколько q^2) // ЯФ.-1983.-Т.38, Вып.5.-С. 1218-1226.

2. Achasov N.N., Karnakov V.A. Vector meson dominance model in $\gamma^*\gamma^*(Q^2) \rightarrow f(1270, 2^+) \rightarrow \pi\pi$ // Zeitschrift f. Phys.-1986.- Vol. C30, No 1.- P. 141-144.

3. Ачасов Н.Н., Карнаков В.А. К исследованию реакции $e^+e^- \rightarrow \rho\pi\pi$ // Письма в ЖЭТФ.- 1984.- Т.39, Вып.6.- С. 285-288.

4. Карнаков В.А. Нарушающие G -четность распады $\psi \rightarrow \pi\pi$, $\psi \rightarrow \rho\pi\pi$ и $\psi \rightarrow \pi\omega$ // ЯФ.- 1985.- Т.42, Вып.4.- С. 1001-1009.

Карнаков Владимир Агафангелович

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АДРОНОВ С ФОТОНАМИ МАЛОЙ ВИРТУАЛЬНОСТИ ($0^2 \leq 1 \text{ ГэВ}^2$)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ответственный за выпуск Г.Н. Шестаков

Подписано к печати 13.01.87г. МН 03012

Формат бумаги 60x90 1/16. Усл. 0,8 печ.л., 0,7 уч.-изд.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 20 Бесплатно.

Ротапринт ИМ СО АН СССР, г. Новосибирск-90.