

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БАГДАСАРЯН АРТЕМ САМВЕЛОВИЧ

РАДИАЦИОННЫЕ ПЕРЕХОДЫ НУКЛОНОВ И НУКЛОННЫХ РЕЗОНАНСОВ
В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАРКОВОЙ МОДЕЛИ

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

Редактор Л.Н.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 409

ВФ – 05339

Тираж 170 ((

Формат издания 60 x 84/16

Подписано к печати 27.07.82г.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркаряна 2

ЕРЕВАН 1982

Работа выполнена в Ереванском физическом институте
Научные руководители - член - корр. АН АрмССР, доктор физ.-
мат.наук, профессор Матинян С.Г.,
кандидат физ.-мат.наук, старший на-
учный сотрудник Азнаурян И.Г.

Официальные оппоненты- доктор физ.-мат.наук, старший науч-
ный сотрудник А.Т.Филиппов (ОИЯИ,
Дубна), кандидат физ.-мат.наук,
старший научный сотрудник А.А.Григо-
рян (ЕрФИ, Ереван)

Ведущая организация - Физический институт им.П.Н.Лебедева
АН СССР, Москва.

Защита диссертации состоится "29" октября 1982 г. в 14-00
час. на заседании Специализированного совета Д 034.03.01
по присуждению ученой степени доктора физико-математических
наук при Ереванском физическом институте (375036, г.Ереван,
ул. Маркаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕФИ.
Автореферат разослан "9" сентября 1982 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета, *В.А.Шахбазян* (В.А.Шахбазян)
канд. физ.-мат.наук

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Представление адронов как связан-
ных состояний пространственно-разделенных составляющих квар-
ков, получило подтверждение в описании многих соотношений меж-
ду амплитудами и сечениями эксклюзивных реакций, ряда особен-
ностей многочастичных реакций, адрон-ядерных столкновений при
высоких энергиях, магнитных моментов октета барионов ($\frac{1}{2}^+$), со-
отношений между зарядовыми и магнитными радиусами нуклонов и
многих радиационных переходов мезонов и нуклонных резонансов.
Однако все эти результаты модели составляющих кварков получе-
ны в рамках нерелятивистского приближения.

В то же время при получении спектра масс барионных резо-
нансов по нерелятивистским формулам оказывается, что средне-
квадратичный импульс кварка в нуклоне $\langle Q^2 \rangle$ не мал и сравним
с квадратом его массы m^2 . При попытке получить абсолютные
величины электромагнитных радиусов нуклона по нерелятивистс-
ким формулам также оказывается, что $\langle Q^2 \rangle / m^2$ не мало. Не-
применимость нерелятивистского приближения особенно очевидна
при рассмотрении радиационных распадов мезонов и нуклонных
резонансов, когда импульс излучаемого фотона сравним или боль-
ше массы кварка, и кварк, взаимодействующий с фотоном, с не-
обходимостью оказывается релятивистским. При получении пред-
сказаний кварковой модели для этих распадов расчеты проведены
по формулам нерелятивистской квантовой механики, но с реляти-
вистскими параметрами. Поэтому для выяснения вопроса на самом
ли деле представление адронов как связанных состояний прост-

ранственно-разделенных составляющих кварков применимо к описанию их радиационных переходов необходимы корректные вычисления с учетом релятивистского движения кварков в адронах.

Попытки учета релятивистского движения кварков в адронах проводились во многих работах, однако все они не выходили по существу за рамки нерелятивистского приближения, поскольку соответствовали лишь учету вклада диаграммы рис. 1а нековариантной теории возмущений, в то время как для релятивистских кварков необходим также учет диаграмм, соответствующих вакуумным флуктуациям, а именно, диаграмм рис. 1 б, в, ...

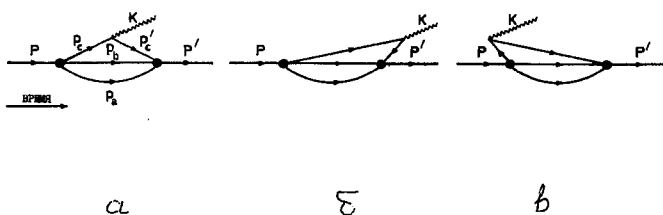


Рис. 1.

Последовательная релятивистски-инвариантная кварковая модель, в которой мезоны и барионы рассматриваются как связанные состояния релятивистских кварков, была построена в работах Берестецкого В.Б., Терентьева М.В. и Кондратика Л.А. в динамике на световом фронте. В работах Франкфурта Л.Л. и Стрикмана М.И. на примере формфактора пиона было показано, что результаты этой модели более наглядно могут быть получены рассмотрением графиков старой теории возмущений в системе бесконечного импульса (СБИ). Использование СБИ (также как и динамики све-

тового фронта) имеет своей целью минимизацию вакуумных флуктуаций, при этом пространственно-временная картина взаимодействия аналогична картине взаимодействия в нерелятивистской квантовой механике. Это делает возможным определение вершинных функций перехода адрона в кварки по аналогии с нерелятивистскими волновыми функциями связанного состояния.

В работах Азнаурян И.Г., Багдасаряна А.С., Тер-Исаакяна Н.Д. в диаграммном подходе в СБИ был предложен вариант построения волновых функций адронов в релятивистской кварковой модели, соответствующий наблюдаемой на эксперименте классификации адронов по группе $SU(6) \times O(3)$.

Цель и задачи работы формулируются следующим образом:

1. Проанализировать данные по магнитным моментам, электромагнитным радиусам и отношению G_M/G_V для нуклонов в рамках релятивистской кварковой модели.
2. Получить значения основных параметров модели: массу составляющих u - и d -кварков, их среднеквадратичные импульсы и аномальные магнитные моменты.
3. Проанализировать данные по магнитным моментам странных барионов ($\frac{1}{2}^+$) с использованием полученного набора параметров для u - и d -кварков и получить значения параметров для s -кварка.
4. Получить предсказания для амплитуд радиационных переходов резонансов $P_{11}(1470)$, $D_{13}(1520)$, $S_{11}(1535)$, $S_{11}(1700)$, $D_{13}(1700)$, $P_{11}(1780)$, $P_{33}(1232)$, $S_{31}(1650)$, $D_{33}(1670)$, и $P_{33}(1690)$.
5. Проанализировать экспериментальные данные по фоторождению пионов на нуклонах в резонансной области энергий. Полу-

чить набор амплитуд радиационных переходов нуклонных резонансов, значения которых особенно важны для проверки предсказаний кварковой модели.

Научная новизна работы. В диссертации впервые в рамках единого подхода, основанного на релятивистской кварковой модели, получено самосогласованное описание всех хорошо измеренных параметров радиационных переходов барионов ($\frac{1}{2}^+$) и нуклонных резонансов, входящих в мультиплеты $/56, 0^+/, /56, 0^+/_2$ и $/70, 1^-/$.

Проведен качественный анализ экспериментальных данных по фоторождению пионов на нуклонах во II и III резонансных областях. Выделено два набора решений (I) и (II), наиболее соответствующих особенностям резонансного поведения экспериментальных данных.

Предложен новый способ использования дисперсионных соотношений, позволяющий существенно уменьшить неопределенность, связанную с нерезонансным фоном. На основе этого способа проведены анализ экспериментальных данных по фоторождению пионов на нуклонах в I, II, III - резонансных областях со значениями параметров, соответствующими решениями (I) и (II). Показано, что решение (I) гораздо лучше решения (II), и набор значений амплитуд $N^* \rightarrow N\gamma$ в решении (I) предпочтительнее при проведении проверки предсказаний кварковых моделей.

Практическая ценность. В рамках представления адронов как связанных состояний релятивистских кварков, которое, как показано в настоящей диссертации, подтверждается по всем хорошо измеренным характеристикам радиационных переходов барионов ($\frac{1}{2}^+$) и нуклонных резонансов, входящих в мультиплеты $/56, 0^+/, /56, 0^+/_2$, $/70, 1^-/$, с определенными в диссертации значениями

параметров составляющих кварков могут быть получены предсказания для нуклонных резонансов, входящих в другие мультиплеты, и для странных резонансов.

Полученные в диссертации предсказания для плохо измеренных амплитуд радиационных переходов, например, $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma$,

$P_{33}(1690) \rightarrow N\gamma$, $S_{31}(1650) \rightarrow N\gamma$ и т.д. могут быть проверены в более точных экспериментах.

Полученные в диссертации результаты качественного и количественного анализа полезны при сравнении с результатами экспериментальных данных по фоторождению пионов на нуклонах в резонансной области энергий и помогают при планировке экспериментов на пучке фотонов ЕРФИ.

Апробация работы. Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на семинарах ЕРФИ в течение 1975 - 1981 гг., на сессиях ОЯФ АН СССР в 1980 и 1981 гг., на сессиях Совета по электромагнитным взаимодействиям в 1976, 1978, 1980 и 1981 гг., представлялись на XVIII (Тбилиси, 1976), XIX (Токио, 1978), XXI (Париж, 1982) Международные конференции по физике высоких энергий, на У Международном семинаре по физике высоких энергий и теории поля (Протвино, 1982), были включены в отчетные доклады по исследованию фоторождения пионов на нуклонах в резонансной области энергий на XVIII и XIX Международных конференциях по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976, Токио, 1978) и приведены в обзоре элементарных частиц за 1980 г. - Review of Particles Properties/ Particle Data Group.- Rev. Mod. Phys., 1980, v.52, No. 2.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано семь работ. Список приведен в конце автореферата.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 91 страницу машинописного текста, 7 таблиц, 20 рисунков и список литературы из 93 наименований.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность проблем, затронутых в работе, сформулирована цель исследования и кратко излагается содержание диссертации.

Первая глава диссертации посвящена рассмотрению роли релятивистских эффектов в описании магнитных моментов, электромагнитных радиусов и отношения G_A/G_V для нуклонов в предположении, что нуклон принадлежит мультиплету $1/56, 0^+$, и магнитных моментов странных барионов $(\frac{1}{2}^+)$.

В § I.1, носящем вводный характер, дано описание релятивистской кварковой модели и метода построения вершинных функций перехода барионов в кварки, допускающих классификацию адронов по неприводимым представлениям группы $SU(6) \times O(3)$.

В § I.2 в рамках релятивистской кварковой модели проведен анализ экспериментальных данных по магнитным моментам, электромагнитным радиусам и отношению G_A/G_V для нуклонов и получено их самосогласованное описание. Определены основные параметры модели: масса u - и d -кварков (m), среднеквадратичный импульс кварков в нуклоне (α), аномальные магнитные моменты кварков. Они оказались равными:

$$m = 271 \pm 28 \text{ МэВ}, \quad \alpha = 379 \pm 61 \text{ МэВ}, \quad \kappa^{qn} = 0,012 \pm 0,030 \\ \kappa^{qn} = -0,059 \pm 0,020. \quad (1)$$

Показано, что релятивистские эффекты не малы, но они нигде

не нарушают соотношений, предсказываемых нерелятивистской кварковой моделью. Успех нерелятивистской кварковой модели в описании μ_p/μ_n и соотношений между радиусами нуклонов носит, по-видимому, случайный характер и связан с тем, что для этих отношений (в отличие от самих величин μ_p, μ_n, \dots) релятивистские эффекты численно малы.

В § I.3 с использованием определенных в § I.2 значений параметров для u - и d -кварков проведен анализ магнитных моментов странных барионов $(\frac{1}{2}^+)$. Показано, что хорошее описание этих данных получается при следующем способе нарушения симметрии $SU(3)$: для безразмерных массами кварков величин $\kappa_q^{qn} = \mu_q^{qn}/\mu_n$ и $\beta = \alpha/\sum m_q$ $SU(3)$ -симметрия не нарушается. При этом безразмерный параметр β является единственным для всего октета, а для величин κ_q^{qn} имеет место условие $\kappa_s^{qn} = \kappa_d^{qn}$. При этом для единственного свободного параметра модели - массы странного кварка (m_s) - получилась величина $m_s = 450 \text{ МэВ}$, что хорошо согласуется с соответствующей величиной, полученной из нерелятивистских массовых формул.

Вторая глава диссертации посвящена рассмотрению роли релятивистских эффектов в описании радиационных переходов нуклонных резонансов.

В § 2.1 рассматриваются амплитуды переходов $N^* \rightarrow N\gamma$ и $N^* \rightarrow N\pi$ для резонансов с $J^P = \frac{1}{2}^+, \frac{1}{2}^-, \frac{3}{2}^+, \frac{3}{2}^-$. Для этих амплитуд получены правила отбора. Оказалось, что правила отборе для матричных элементов перехода $N^* \rightarrow N\pi$ совпадают с соответствующими правилами, полученными Меллошем в модели свободных кварков из преобразования между генераторами групп $SU(6)_{w, const}$ и $SU(6)_{w, cur}$. В правилах отбора для матричных элементов

переходов $N^* \rightarrow N\gamma$ наряду с членами, получающимися из преобразования Меллоша, содержатся члены, которые не могут быть получены из преобразования Меллоша и не классифицируются по группе $SU(6)$. На примере отношения μ_p/μ_n показана важность учета этих членов.

В § 2.2 получены предсказания для амплитуд радиационного перехода $P_{33}(I232) \rightarrow N\gamma$ в рамках релятивистской кварковой модели. Показано, что учет релятивистских эффектов не нарушает предсказываемого наивной кварковой моделью и подтвержденного экспериментом эффекта подавления амплитуды E_{1+} . Предсказываемые нами значения амплитуд $A_{1/2}^P(P_{33}(I232) \rightarrow p\gamma)$ и $A_{3/2}^P(P_{33}(I232) \rightarrow p\gamma)$ лучше согласуются с экспериментом, чем в нерелятивистской кварковой модели. Их отклонение от экспериментальных значений составляет 14% и 19%, соответственно, в то время как в нерелятивистской кварковой модели эти отклонения составляют 23% и 28%.

В § 2.3 получены предсказания для амплитуд радиационных переходов $P_{11}(I470) \rightarrow N\gamma$, $P_{33}(I690) \rightarrow N\gamma$ и $P_{11}(I780) \rightarrow N\gamma$. Получен правильный знак для амплитуды $A_{1/2}^P(P_{11}(I470))$. Величина же $A_{1/2}^P(P_{11}(I470))$ оказалась меньше экспериментальной, что возможно указывает на необходимость смешивания резонанса $P_{11}(I470)$ с нуклоном.

В § 2.4 рассмотрены амплитуды радиационных переходов резонансов, входящих в мультиплет $70, I^-$. Для двух значений параметра α_{N^*} , характеризующего квадрат среднего импульса кварка в нуклонных резонансах, входящих в $70, I^-$, получено хорошее согласие с экспериментом, в частности:

(I) правильно предсказываются абсолютные знаки амплитуд $A_{3/2}^N$,

(II) полученные нами значения амплитуд для резонансов $S_{11}(I535)$ и $D_{13}(I520)$ удовлетворяют соотношению $A_{1/2}^P(S_{11}(I535)) < A_{3/2}^P(D_{13}(I520))$, которое хорошо согласуется с экспериментом и не могло быть получено в нерелятивистской кварковой модели.

Проведено сравнение с предсказаниями, следующими из преобразования Меллоша. Показано, что для совместного описания хорошо определенных амплитуд радиационных переходов резонансов $S_{11}(I535)$ и $D_{13}(I520)$ необходим учет членов, которые невозможно получить из преобразования Меллоша.

Третья глава диссертации посвящена выделению амплитуд радиационных переходов $N^* \rightarrow N\gamma$, которые определены наиболее надежно и могут быть рекомендованы для сравнения с предсказаниями кварковой модели.

В § 3.1, носящем вводный характер, рассмотрены модели, применяемые при анализе фоторождения пионов на нуклонах в резонансной области энергий. Обсуждены неоднозначности этих моделей.

В § 3.2 на качественном анализе экспериментальных данных по фоторождению π^+ и π^0 -мезонов на протонах в резонансной области энергий выделена довольно большая группа амплитуд $A(N^{*+} \rightarrow p\gamma)$, значения которых не зависят от неоднозначностей, присутствующих в различных анализах. К ним относятся все амплитуды $A_{1/2}^P, A_{3/2}^P$ во II резонансной области и практически все амплитуды $A_{3/2}^P$ в III резонансной области. Для значений амплитуд $A_{3/2}^P$ из III резонансной области получено два набора решений (I) и (II), наиболее соответствующих особенностям резонансного поведения экспериментальных данных в I, II, III резонан-

сных областях.

В § 3.3 для сравнения решений (I) и (II) проведен количественный анализ (основанный на использовании дисперсионных соотношений с вычитанием при фиксированном квадрате переданного импульса) экспериментальных данных по фоторождению π^+, π^-, π^0 -мезонов в I, II, III - резонансных областях. Получено, что решение (I), согласующееся со всеми имеющимися анализами фоторождения пионов на нуклонах, гораздо лучше решения (II), и набор значений амплитуд $N^* \rightarrow N\gamma$ в решении (I) рекомендован для проверки предсказаний кварковых моделей.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, которые выдвигаются для защиты.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В рамках релятивистской кварковой модели проведен совместный анализ экспериментальных данных по магнитным моментам, электромагнитным радиусам и отношению G_M/G_V для нуклонов и получено их самосогласованное описание. Определены основные параметры модели: масса составляющих u - и d -кварков, их среднеквадратичные импульсы и аномальные магнитные моменты.

2. С использованием имеющихся параметров модели для нестранных кварков проведен анализ магнитных моментов странных барионов ($\frac{1}{2}^+$). Показано, что для обезразмерных массами кварков величин аномального магнитного момента кварка и параметра α , связанного со средним квадратом импульса кварков в барионе, симметрия $SU(3)$ не нарушается. Получено описание магнитных моментов странных частиц в пределах экспериментальных

ошибок. Определен последний свободный параметр модели-масса странного кварка.

3. В рамках релятивистской кварковой модели проведен анализ амплитуд радиационных переходов нуклонных резонансов $P_{11}(1470)$, $D_{13}(1520)$, $S_{11}(1535)$, $S_{11}(1700)$, $D_{13}(1700)$, $P_{11}(1780)$, $P_{33}(1232)$, $S_{31}(1650)$, $D_{33}(1670)$, и $P_{33}(1690)$. Получено хорошее согласие с экспериментом.

4. С использованием преобразования Меллоша проведен анализ амплитуд радиационных переходов нуклонных резонансов, входящих в мультиплет $70, 1^-$. Проведено сравнение с релятивистской кварковой моделью. Показано, что для совместного описания амплитуд радиационных переходов $S_{11}(1535) \rightarrow N\gamma$ и $D_{13}(1520) \rightarrow N\gamma$ необходим учет членов, которые не могут быть получены из правил отбора, следующих из преобразования Меллоша.

5. Проведен качественный анализ экспериментальных данных по фоторождению π^+, π^0 -мезонов на нуклонах.

6. Предложен метод использования дисперсионных соотношений для анализа экспериментальных данных, позволяющий существенно уменьшить неопределенность, связанную с нерезонансным фоном.

7. На основе предложенного метода проанализированы данные по фоторождению π^+, π^-, π^0 на нуклонах в резонансной области энергий. Получены константы радиационных распадов нуклонных резонансов.

IV. ПУБЛИКАЦИИ

1. Азнаурян И.Г., Багдасарян А.С. Преобразование Мелоса и радиационные распады $/\gamma, I^{-}/ - /56, 0^{+}/ + \gamma$.
Изв. АН АрмССР, Физика, 1977, т.12, вып.6, с.416-426.
2. Aznauryan I.G., Bagdasaryan A.S., Ter-Isaakyan N.L. Relativistic Quark Model in Infinite Momentum Frame and Static Properties of Hadrons.- Preprint EFI-550(37)-82.
3. Aznauryan I.G., Bagdasaryan A.S., Ter-Isaakyan N.L. Relativistic Quark Model in Infinite Momentum Frame and Static Properties of Nucleons.- Phys.Lett.B, 1982, v.112, No 4,5, p. 393-396.
4. Aznauryan I.G., Akopov N.Z., Bagdasaryan A.S. Analysis of Pion Photoproduction on Nucleons in the Resonance Region.- Preprint EFI-264(57)-77.
5. Aznauryan I.G., Bagdasaryan A.S. Analysis of Pion Photoproduction on Proton in II and III Resonance Regions.- Preprint EFI-502(45)-81.
6. Aznauryan I.G., Akopov N.Z., Bagdasaryan A.S. Analysis of $\pi^{+}, \pi^{-}, \pi^{0}$ Photoproduction on Nucleons in Resonance Region.-Preprint EFI-535(22)-82.
7. Aznauryan I.G., Bagdasaryan A.S., Ter-Isaakyan N.L. Magnetic Moments of Baryon Octet in Relativistic Quark Model.- Preprint EFI-551(38)-32.