

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

2-96-71

На правах рукописи  
УДК 539.12.01

---

A-67

**АНИКИН**  
Игорь Валерьевич

**ФОРМФАКТОРЫ ЛЕГКИХ И ТЯЖЕЛЫХ БАРИОНОВ  
В РЕЛЯТИВИСТСКИХ КВАРКОВЫХ МОДЕЛЯХ**

Специальность: 01.04.02 — теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1996

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

доктор физико-математических наук М.А.Иванов  
кандидат физико-математических наук В.Е.Любовицкий

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Р.Н.Фаустов  
кандидат физико-математических наук Н.И.Кочелев

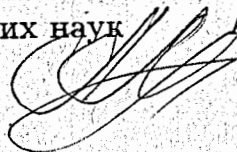
Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Научно-исследовательский институт физики  
Санкт-Петербургского университета, г.С.-Петербург.

Защита диссертации состоится "17" апреля 1996 г.  
на заседании Специализированного совета К 047.01.01  
Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова  
Объединенного института ядерных исследований,  
г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1996 г.

Ученый секретарь Совета,  
доктор физико-математических наук А.Е. Дорохов



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Теоретическое и экспериментальное исследование адронных процессов, протекающих при низких и промежуточных энергиях, играет важную роль в изучении сложной структуры сильновзаимодействующих частиц. Область низких и промежуточных энергий - это та область, где происходит адронизация и конфайнмент кварков, т.е., соответственно, возникновение адронов как бесцветных связанных состояний в результате кварк-глюонных взаимодействий и отсутствие свободных кварков и глюонов в наблюдаемом физическом спектре частиц. Как хорошо известно, адронизация и конфайнмент, на сегодняшний день являются, пожалуй, самыми большими загадками теории взаимодействующих элементарных частиц.

Замечательное свойство асимптотической свободы в КХД - уменьшение константы взаимодействия на малых расстояниях (при высоких энергиях), позволило получить регулярную схему вычислений адронных характеристик, не выходя за рамки хорошо разработанных методов теории возмущений, которые блестяще зарекомендовали себя в КЭД. Однако с увеличением расстояния (уменьшением энергии) эффективная константа взаимодействий растет и, следовательно, теория возмущений в КХД становится неприменимой. Поэтому получили развитие различные подходы, позволяющие проводить вычисления с учетом эффектов, существенно зависящих от динамики на больших расстояниях. Считается, что модели, претендующие на правильное описание низкоэнергетических эффектов адронной физики должны основываться на фундамен-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

ных представлениях КХД.

Одним из наиболее популярных подходов для получения эффективных мезонных лагранжианов является подход, основанный на процедуре бозонизации КХД.

В русле идей бозонизации КХД лежит релятивистская кварковая модель с феноменологическим учетом конфайнмента - модель конфайнмированных кварков (МКК). Модель основана на лагранжианах, описывающих переходы адронов в кварки. Адронизация, т.е. условие того, что адроны состоят из кварков, реализуется с помощью требования равенства нулю константы перенормировки адронных волновых функций. Механизм конфайнмента легких кварков основан на предположении, что существуют вакуумные глюонные конфигурации, создающие среду, в которой кварки не могут находиться как свободные частицы. Реализация механизма конфайнмента состоит в определенной гипотезе об усреднении кварковых диаграмм по глюонному вакууму, обеспечивающей отсутствие мнимых частей в кварковых диаграммах. МКК с хорошей точностью описывает широкий круг явлений низкоэнергетической адронной (как мезонной, так и барионной) физики. Данная модель была обобщена на физику тяжелых кварков. Предполагалось, что пропагаторы тяжелых кварков имеют дираковский вид, в то время как пропагаторы легких кварков определяются гипотезой конфайнмента. Локальный характер кварк-адронных вершин в МКК оказался недостаточным для адекватного описания импульсной зависимости матричных элементов адронных процессов. Именно, было показано, что адронные формфакторы имеют более медленное убывание

в пространственно-подобной области значений квадрата переданного импульса по сравнению с экспериментальными данными и правилами кваркового счета. Данное обстоятельство может служить указанием для того, чтобы строить взаимодействие адронов с составляющими кварками нелокальным образом путем введения формфактора в кварк-адронную вершину. В случае адронов, содержащих тяжелые кварки, существует дополнительная возможность для подавления формфакторов, связанная с моделированием пропагатора тяжелого кварка.

Цель диссертации состоит в том, чтобы исследовать ряд возможностей для подавления формфакторов легких и тяжелых барионов на примере сильного  $\pi NN$ -формфактора и барионных функций Изгура-Вайзе. В случае легких барионов для подавления вводится нелокальный формфактор в кварк-адронную вершину. Для тяжелых барионов используется феноменологический инфрапропагатор тяжелого кварка, характеризующийся инфракрасным параметром  $\nu$ .

Научная новизна и ценность работы. В диссертации дана лагранжева формулировка релятивистской кварковой модели с сепарабельным взаимодействием (РКМ СВ) для низкоэнергетического описания мезонных и барионных процессов. Данная модель основана на бозонизации модели НИЛ с нелокальным взаимодействием. Показано, что процедура бозонизации полностью эквивалентна использованию эффективных кварк-мезонных лагранжианов юкавского типа при условии равенства нулю константы перенормировки мезонной волновой функции. Впервые, используя данную эквивален-

тность, дано обобщение развиваемого подхода на случай барионов, рассматриваемых как трехкварковые состояния. Таким образом, мезонные и барионные взаимодействия в РКМ СВ описываются с единых позиций. В рамках данной модели получено поведение сильного  $\pi NN$ -формфактора в пространственно-подобной области квадрата переданного импульса пиона.

В пределе, когда масса тяжелого кварка  $m_Q$  стремится к бесконечности, проведены расчеты формфакторов полуплеотонных распадов тяжелых  $\Lambda_Q$ - и  $\Sigma(\Omega)_Q$ -барионов в рамках релятивистской кварковой модели с учетом конфайнмента легких кварков и инфракрасного поведения тяжелого кварка. Показано, что для значений параметра  $\nu \geq 0.2$  барионные функции Изгура-Вайзе удовлетворяют ограничению, полученному из правил сумм, которые основаны на кварк-адронной дуальности.

**Апробация работы.** Результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова ОИЯИ, НИИ физики Санкт-Петербургского университета, на международных рабочих совещаниях "Тяжело-легкие кварковые связанные системы и симметрии" (Дубна, 8-12 декабря 1993), "Мезон-барионные взаимодействия в проблеме многих тел" (Дубна, 28-30 апреля, 1994), "Физика промежуточных и высоких энергий ОИЯИ-РОК (Тайвань)" (Дубна, 26-28 июня 1995), на международной школе "Мезоны и дикварки" (Санкт-Петербург, 5-18 декабря 1995), на международных конференциях "Адроны 95" (Манчестер, 9-15 июля 1995), "Проблемы фундаментальной физики" (Москва, 26

августа-3 сентября, 1995), "Барионы 95" (Санта-Фе, 3-7 октября 1995).

**Публикации.** Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в пяти печатных работах.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Объем диссертации — 98 страниц, в том числе 12 рисунков, 3 таблицы. Библиография содержит 99 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы и кратко изложено содержание диссертации.

**В первой главе** сформулирована релятивистская кварковая модель с сепарабельным взаимодействием. Показано, что процедура бозонизации в обобщенной модели НИЛ с сепарабельным взаимодействием полностью эквивалентна формулировке теории в терминах эффективных кварк-адронных лагранжианов при условии равенства нулю константы перенормировки волновой функции поля. На основе этого дано обобщение на случай взаимодействия барионов как трехчастичных состояний. Электромагнитное взаимодействие введено неминимальным способом при помощи экспоненты Мандельштама-Тернинга в нелокальном кварковом токе. Данное введение электромагнитного взаимодействия обеспечивает градиентную инвариантность матричных элементов на каждом этапе вычислений.

**Во второй главе** вычислены фундаментальные характеристики низкоэнергетической физики легких кварков: слабая константа  $f_\pi$  распада  $\pi \rightarrow \mu\nu$  и константа распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ . Параметры модели (размерный параметр  $\Lambda$ , характеризующий протяженную область взаимодействия и конституентная масса кварка  $m_q$ ) определены с помощью фитирования по экспериментальным данным. Вычислен электромагнитный формфактор пиона и формфактор перехода  $\pi^0\gamma^* \rightarrow \gamma$  для пространственно-подобных значений квадрата переданного импульса. Рассмотрены четыре вида вершинных формфакторов: монополюсно- и дипольно-убывающая функция, гауссовская экспонента и экспонента типа "экранированный кулон". Исследована чувствительность физических наблюдаемых к различному выбору формфакторов в вершине. Показано, что результаты слабо зависят от выбора вершинных функций. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Для случая вершинного формфактора типа "гауссовская экспонента" вычислен сильный  $\pi NN$ -формфактор в пространственно-подобной области значений квадрата переданного импульса пиона. Показано, что в области  $Q^2 \leq 1.5\text{ГэВ}^2$  данный формфактор имеет "мягкое" поведение, согласующееся с поведением соответствующих формфакторов, которые описывают экспериментальные данные по глубоконеупругому  $\ell N$ -рассеянию. При значении параметра  $\Lambda_N \approx 2\Lambda_\pi = 2\text{ГэВ}$  вычислена константа пион-нуклонного взаимодействия, равная  $g_{\pi NN}^2/4\pi = 14.4$ , что находится в согласии с результатами

анализа  $NN$ -взаимодействия.

**В третьей главе** исследованы полуплеетонные распады  $\Lambda_Q$ - и  $\Sigma_Q$ -барионов ( $Q = b, c$ ). Тяжелые барионы рассмотрены как трехкварковые состояния в релятивистской кварковой модели с феноменологическим учетом конфайнмента легких степеней свободы. В данной модели сделано предположение о том, что кварк-адронные вершины являются локальными. Пропагатор тяжелого кварка выбран в виде, учитывающем инфракрасное поведение. Данная модель имеет два параметра:  $\bar{\Lambda}$ , являющаяся разностью масс тяжелого адрона и тяжелого кварка, и инфракрасный параметр  $\nu$ . В пределе  $m_Q \rightarrow \infty$  вычислены барионные функции Изгура-Вайзе. Исследована зависимость данных формфакторов от параметров  $\bar{\Lambda}$  и  $\nu$ . Показано, что для  $\bar{\Lambda} = (0.45, 0.5)$  и  $\nu = (0.2, 1.0)$  барионные функции Изгура-Вайзе удовлетворяют ограничению, полученному из правил сумм, которые основаны на кварк-адронной дуальности.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

**В приложениях** приведены точные аналитические выражения для формфакторов легких и тяжелых барионов.

### Основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту

1) Сформулирована релятивистская кварковая модель с сепарабельным взаимодействием (РКМ СВ) для низкоэнергетического описания мезонных и барионных процессов.

2) Вычислены фундаментальные низкоэнергетические характеристики:

– слабая константа  $f_\pi$  распада  $\pi \rightarrow \mu\nu$  и константа распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ;

– электромагнитный формфактор пиона и формфактор перехода  $\pi^0\gamma^* \rightarrow \gamma$  для пространственно-подобной области значений квадрата переданного импульса;

3) Исследована чувствительность физических наблюдаемых к различному выбору формфакторов в вершине. Показано, что результаты слабо зависят от выбора вершинных функций.

4) Вычислена константа сильного  $\pi NN$ -взаимодействия и получено поведение  $\pi NN$ -формфактор в пространственно-подобной области значений квадрата переданного импульса пиона.

5) Предложено обобщение МКК на физику тяжелых барионов с учетом инфракрасного поведения пропагатора тяжелого кварка.

6) В пределе  $m_Q \rightarrow \infty$  вычислены барионные функции Изгура-Вайзе, характеризующие матричные элементы полупетонных распадов тяжелых  $\Lambda_Q$ - и  $\Sigma(\Omega)_Q$ -барионов.

7) Показано, что для  $\bar{\Lambda} = (0.45, 0.5)$  и  $\nu = (0.2, 1.0)$  барионные функции Изгура-Вайзе удовлетворяют неравенству, полученному из правил сумм, которые основаны на кварк-адронной дуальности.

### Результаты диссертации опубликованы в работах

1. I. Anikin, M. Ivanov, N. Kulimanova, V. Lyubovitskij  
The extended NJL model with separable interaction: low

energy pion physics and pion-nucleon form factor.  
Z. Phys. C, v.65, pp.681-690, 1995

2. И.Аникин, М.Иванов, В.Любовицкий  
Проверка неравенства Бьеркена-Ху для функции Изгура-Вайзе тяжелых барионов.

Препринт ОИЯИ-Р-2-95-33, Дубна, 1995;  
ЯФ, т.58, No.12, сс.2241-2251, 1995;

3. I. Anikin, M. Ivanov, N. Kulimanova, V. Lyubovitskij  
To the Lagrangian formulation of NJL-model with separable interaction.

Preprint JINR-E2-93-257, JINR, 28p., 1993  
Yad. Fiz., v.57, No.6, pp.1082-1090, 1994

4. I. Anikin, M. Ivanov, N. Kulimanova, V. Lyubovitskij  
Sensitivity to form factors in the extended Nambu-Jona-Lasinio model with separable interaction.

Preprint PSI-PR-93-08, Villigen, 18p., 1993

5. I. Anikin, M. Ivanov, N. Kulimanova, V. Lyubovitskij  
The low energy physics of pion in the relativistic model with a separable interaction.

In: Proceedings of the Joint Workshop JINR-ROC (Taiwan) on Intermediate and High Energy Physics, Chinese Journal of Physics, 1996 (in print).

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 февраля 1996 года.