

Д-706

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.12.172

4-86-443

ДОСТОВАЛОВ
Валерий Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЯДРАМИ
С УЧЕТОМ
МЕЗОННЫХ И КВАРКОВЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ**

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1986

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник В. В. Буров

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник Р. А. Эрамбян

кандидат физико-математических
наук С. В. Трубников

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Научно-исследовательский институт ядерной физики
МГУ, Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1986 года

Защита диссертации состоится " " _____ 1986 года
на заседании Специализированного совета КО 47.01.01
Лаборатории теоретической физики Объединенного института
ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук А. Е. Дорохов

Актуальность проблемы. К настоящему времени существует целый ряд процессов, для понимания которых необходимо вводить в ядрах наряду с нуклонными также мезонные и кварковые степени свободы. Это кумулятивные реакции, глубоконеупругое рассеяние лептонов на ядрах, формфакторы легчайших ядер, фоторазвал дейтрона и др. В этом плане изучение электромагнитных формфакторов ядер, которые к настоящему времени измерены в широкой области передач импульса, позволяет получить наиболее достоверную информацию об этих компонентах волновой функции ядра. В электрон-ядерном взаимодействии первые признаки вкладов ненуклонных степеней свободы проявились как радиальные вариации плотности заряда при феноменологическом анализе экспериментов в упругом рассеянии электронов при сравнительно небольших передачах импульса $q \sim 4 \text{ фм}^{-1}$. Уже одно это указывает на необходимость проверки проявления таких вариаций не только в упругом, но и в неупругом рассеянии электронов ядрами, для исследования которого необходимо строить радиальные вариации переходной плотности заряда. Однако наиболее четкие заключения о вкладе нуклонных, мезонных и кварковых степеней свободы можно получить для простейшей ядерной системы - дейтрона, структурная функция которого измерена вплоть до очень больших передач импульса $q \leq 14 \text{ фм}^{-1}$. В этих условиях эффекты релятивизации являются одними из главных для рассмотрения. Они включают в себя учет изоскалярных мезонных обменных токов, определяемых диаграммами парного тока, $\rho\pi\pi$ - процесса, отдачи и перенормировки, которые дают поправки к нуклон-нуклонному каналу в дейтроне. Несмотря на то, что эти эффекты ранее уже изучались, за прошедшие десять лет была существенно развита теория элементарных взаимодействий, что привело к новым теоретически обоснованным мезон-нуклонным вершинным формфакторам, появились новые прецизионные экспериментальные данные, возникли представления о кварках в ядрах и др. Из общих соображений следует ожидать, что вклад мезонных обменных токов должен проявляться, в первую очередь, при средних передачах импульса, а при больших передачах импульса должны играть роль кварковые степени свободы. Только комплексное изучение всех этих вопросов может дать четкий ответ об истинной роли различных компонент полной волновой функции ядра.

Цель работы состоит в том, чтобы, во-первых, развить феноменологию неупругого электрон-ядерного рассеяния и получить информацию о структуре ядра на малых расстояниях и, во-вторых, исследовать природу этой структуры для простейшей ядерной системы дейтрона с учетом реляти-

вистских эффектов, мезонных обменных токов и шестикварковой примеси.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации впервые проведены модельно-независимый анализ неупругого рассеяния электронов ряда легких и средних ядер. Получены радиальные вариации переходной плотности заряда этих ядер.

Впервые изучено влияние шестикварковой примеси в волновой функции дейтрона на поляризацию дейтронов отдачи с учетом интерференции нуклонного и кваркового каналов. Предсказана сильная чувствительность поляризационных характеристик к кварковым степеням свободы в дейтроне.

Впервые проведен совместный учет мезонных и кварковых степеней свободы в формфакторах дейтрона. Развита модель, согласно которой дейтрон с некоторой вероятностью состоит из нуклонов, обменивающихся мезонами, и с малой вероятностью находится в шестикварковом состоянии. Впервые произведен расчет вкладов мезонных обменных токов с мезон-нуклонными формфакторами, поведение которых в пределе больших передач импульса определяется квантовой хромодинамикой. На основе развитой модели получено описание структурной функции дейтрона во всей измеренной области передач импульса. При этом вероятность шестикварковой примеси в дейтроне оказывается равной $3,5 \pm 4\%$.

Предлагаемый подход к анализу формфакторов дейтрона необходим в предасимптотической области передач импульса, где правила кваркового счета еще не выполняются. Аналогичное рассмотрение может быть предпринято для реакций электро- и фоторазвала дейтрона.

Предсказательные расчеты поляризации дейтронов отдачи могут быть учтены при планировании поляризационных экспериментов.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 работ.

Апробация работы. Основные результаты диссертации обсуждались и докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, в Институте ядерных исследований АН СССР, на XXIX Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Рига, 1979), на Всесоюзном семинаре "Электромагнитные взаимодействия адронов в резонансной области энергий" (Харьков, 1981), на 1-й Всесоюзной школе по физике многочастичных и кварк-адронных систем (Бологое, 1982), на Международной школе по структуре ядра (Алушта, 1985), на Всесоюзной конференции по теории систем нескольких частиц с сильным взаимодействием (Киев, 1985).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав основного текста, заключения и двух приложений. Текст диссертации изложен на 114 страницах, содержит 34 рисунка, одну таблицу. Список литературы включает 99 наименований.

Во введении кратко излагается физическая постановка задачи, обсуждается актуальность вопросов, рассмотренных в диссертации, и полученные результаты.

В главе 1 на основе высокоэнергетического приближения проведен модельно-независимый анализ неупругого рассеяния электронов ядрами.

В § 1 сформулирована постановка задачи. В § 2 аналитически вычисляется формфактор неупругого рассеяния электронов с помощью разложения переходной плотности заряда в ряд по производным от симметризованной ферми-плотности. В § 3 обсуждаются полученные из сравнения с экспериментом переходные плотности заряда, содержащие радиальные вариации, для ядер ${}^6\text{Li}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{32}\text{S}$, ${}^{56}\text{Fe}$.

В главе II исследуется влияние небольшой ($5 \pm 8\%$) примеси шестикваркового состояния в дейтроне, необходимой для описания упругого рассеяния электронов при больших передачах импульса $q^2 > 1$ (ГэВ/с)², на тензор поляризации T_{20} и отношение R векторной поляризации P_x к тензорной P_{xz} .

В § 1 изложена постановка задачи. В § 2 вычисляются зарядовый F_c и квадрупольный F_q формфакторы, определяющие электрический формфактор дейтрона $F_E^2(q^2) = F_c^2(q^2) + F_q^2(q^2)$ в импульсном приближении.

§ 3 содержит описание модели дейтрона с включением шестикваркового состояния S^6 . С помощью матрицы плотности дейтрона получены формулы для компоненты тензора поляризации T_{20} и отношения $R = P_x/P_{xz}$:

$$T_{20} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1+X}{1+X^2/8}, \quad R = \frac{2}{9} \frac{\sqrt{1+\eta} \sin \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1+\eta \sin^2 \frac{\theta}{2}}} (1+X),$$

где

$$X = 2\sqrt{2} (c_0^2 F_c + c_1^2 F_{6q} + 2c_0 c_1 F_{int}^{\ell=0}) \cdot (c_0^2 F_c + 2c_0 c_1 F_{int}^{\ell=2})^{-1},$$

$\eta = q^2/4M_d^2$, θ - угол рассеяния электрона. Интерференционные формфакторы $F_{int}^{\ell=0,2}$ возникают из-за перекрытия волновых функций нуклонного и кваркового каналов. Формфактор шестикварковой системы F_{6q} , присутствующей в дейтроне с вероятностью c_1^2 , рассчитан в кварковой модели релятивистского гармонического осциллятора. В § 4 из сравнения с экспериментом структурной функции дейтрона $A(q^2) \approx F_E^2(q^2)$ при

больших переданных импульсах извлекается значение вероятности $C_1^2 = 7 \pm 8,5\%$. Кварковые степени свободы качественно меняют зависимость компонент тензора поляризации от переданного импульса. Обращается внимание на важность постановки экспериментов по измерению поляризации дейтронов отдачи с целью проверки предсказаний модели, включающей шестикварковую примесь в дейтроне.

Третья глава посвящена изучению мезонных и кварковых степеней свободы в упругом eD -рассеянии. Развивается модель, согласно которой дейтрон с некоторой вероятностью C_0^2 состоит из двух нуклонов, обменивающихся мезонами, и с вероятностью C_1^2 дейтрон находится в шестикварковом состоянии.

В § 1 изложена постановка задачи. В § 2 обсуждаются вершинные формфакторы, входящие в диаграммы мезонных обменных токов. В § 3 выводится формула для двухчастичного кулоновского оператора, который определяет поправки от мезонных обменных токов к зарядовому и квадрупольному формфакторам дейтрона. В § 4 детально исследуются вклады парного тока и $\rho\pi\gamma$ -процесса в упругое eD -рассеяние с мезон-нуклонными вершинными формфакторами, обладающими в пределе больших передач импульса поведением, предписываемым квантовой хромодинамикой. Оказалось, что область больших передач импульса в структурной функции $A(q^2)$ мезонными токами не описывается. Кроме того, наблюдается превышение над экспериментальными данными в области небольших передач импульса. В § 5 обсуждается роль эффектов запаздывания в упругом eD -рассеянии. Показано, что эффекты запаздывания дают существенный вклад в квадрупольный форм-

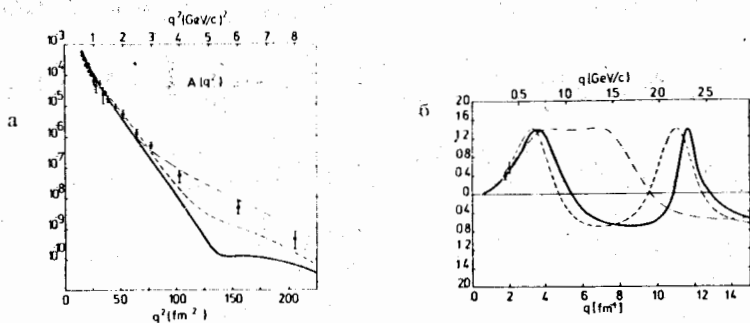


Рис. 1. Структурная функция дейтрона $A(q^2)$ (а) и компонента тензора поляризации T_{20} (б). Сплошные кривые - расчеты в импульсном приближении, пунктирные кривые - учтены вклады мезонных обменных токов, штрихпунктирные кривые - учтены вклады мезонных обменных токов и шестикварковой примеси с вероятностью 3,5%.

фактор и в целом улучшают согласие с экспериментом в области малых и средних передач импульса. В § 6 проводится совместный учет кварковых и мезонных степеней свободы в дейтроне (рис. 1). Основным результатом здесь состоит в том, что учет мезонных обменных токов уменьшает значение вероятности шестикварковой примеси с $7 \div 8\%$ до 3,5%. При этом вклад в зарядовый формфактор шестикварковой примеси преобладает над вкладами мезонных обменных токов. Кварковые степени свободы с вероятностью 3,5 + 4% качественно меняют поведение компоненты тензора поляризации T_{20} , что подтверждает выводы главы II.

В Приложении А приводится вывод аналитических выражений для моментов симметризованной ферми-плотности, возникающих при расчете приведенных вероятностей перехода и переходных радиусов.

В Приложении Б приводится расчет вкладов эффектов запаздывания в зарядовый и квадрупольный формфакторы дейтрона.

Основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту

1. Создан метод модельно-независимого анализа неупругого рассеяния электронов на основе высокоэнергетического приближения. Извлечены из экспериментальных данных радиальные вариации переходных плотностей ряда легких и средних ядер и показано, что природа этих вариаций связана с проявлением на малых расстояниях ненуклонных степеней свободы.

2. Проведено детальное исследование мезонных обменных токов с современными мезон-нуклонными вершинами и реалистическим "парижским" нуклон-нуклонным потенциалом. Дан подробный анализ вкладов πNN -, $\rho\pi\gamma$ -диаграмм, токов отдачи и перенормировки (эффект запаздывания) в зарядовый и квадрупольный формфакторы и структурную функцию $A(q^2)$ упругого eD -рассеяния. Показано, что учет мезонных обменных токов позволяет описать $A(q^2)$ в области передач импульса $q^2 < 75 \text{ фм}^{-2}$.

3. Исследовано влияние релятивистских эффектов и шестикварковой примеси с учетом интерференции с нуклон-нуклонным каналом на структурную функцию $A(q^2)$. Показано, что только включение шестикварковой примеси без учета мезообменных токов позволяет описать экспериментальные данные при всех измеренных передачах импульса $q^2 \leq 200 \text{ фм}^{-2}$. При этом вероятность шестикварковой примеси оказывается равной 8,5%, а влияние интерференции нуклон-нуклонного и шестикваркового каналов пренебрежимо мало.

4. Получено, что при совместном учете вкладов мезонных обменных токов и шестикварковой примеси в волновой функции дейтрона поведение $A(q^2)$ также может быть объяснено во всей области измеренных $Q^2 \leq 200 \text{ фм}^{-2}$, но при этом вероятность шестикварковой примеси оказывается равной 3,5%.

5. Предсказана сильная зависимость тензора поляризации T_{20} и отношения R векторной поляризации P_x к тензорной P_{xz} от малых шестикварковых примесей в волновой функции дейтрона. При этом учет мезонных обменных токов не меняет качественно поведение T_{20} .

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Буров В.В., Достовалов В.Н. "Безмодельная" информация из неупругого рассеяния электронов. - Тезисы докладов XXIX Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, 1979, стр.410. Л.: Наука, 1979.
2. Буров В.В., Достовалов В.Н. Модельно-независимый анализ неупругого рассеяния высокоэнергетических электронов легкими и средними ядрами. - ЯФ, 1980, т.31, вып.4, с.922-929.
3. Burov V.V., Dorkin S.M., Dostovalov V.N. Polarization in Elastic eD-Scattering at Large Transfer Momenta and Quark Structure of the Deuteron. /Поляризация в упругом eD-рассеянии при больших переданных импульсах и кварковая структура дейтрона/. Zeit.Phys., Ser.A: Atoms and Nuclei, 1984, vol.315, p.205-211.
4. Буров В.В., Достовалов В.Н. Проявление обменных мезонных токов и кварковой структуры дейтрона в упругом eD-рассеянии. - Дубна, 1985, - 14 с. /Препринт ОИЯИ P2-85-928/.
5. Буров В.В., Достовалов В.Н. Эффекты запаздывания в обменных мезонных токах и упругое eD-рассеяние. - Дубна, 1986, - 10 с. /Препринт ОИЯИ P2-86-127/.
6. Буров В.В., Достовалов В.Н. Формфакторы и поляризация в упругом eD-рассеянии с учетом мезонных и кварковых степеней свободы в дейтроне. - Дубна, 1986, - 20 с. /Препринт ОИЯИ P2-86-163/.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 июля 1986 года.