

С-905

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

2-93-438

СУСЬКОВ
Сергей Эдуардович

УДК 539.171.016
+539.171.017

**МЕЗОННЫЕ ОБМЕННЫЕ ТОКИ
В ЭЛЕКТРОН-ДЕЙТРОННОМ РАССЕЯНИИ**

Специальность: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1993

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико - математических наук,

Буров В.В.

Официальные оппоненты:

доктор физико - математических наук,

доктор физико - математических наук,

Сафронов А.Н.

Шебеко А.В.

Ведущая организация:

Институт ядерных исследований РАН, Москва.

Защита состоится "26" января 1994г. на заседании специализированного совета К 047.01.01 в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований по адресу г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан "21" декабря 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета


Дорохов А.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Существующие в настоящее время экспериментальные данные по квазиупругому и упругому электрон - дейтронному (eD) - рассеянию ведут к однозначному выводу, что результаты исследований дейтрона как системы нуклонов, взаимодействующих посредством эффективного нуклон - нуклонного (NN) - потенциала V_{NN} не позволяют описывать реакции в области средних и больших $q^2 \geq 1$ ГэВ переданных импульсов. На этой основе строятся модели, где ядро представляется как система нуклонных, так и ненуклонных степеней свободы, включающих мезонные обмены, релятивистские эффекты, кварк - глюонное взаимодействие. Исследованию eD - рассеяния с учетом ненуклонных степеней свободы посвящено значительное число работ, в которых включение ненуклонной экзотики являлось решающим фактором, позволяющим исключить разногласие между теорией и экспериментом.

Однако, в настоящее время нет модели, описывающей eD - рассеяние во всей области измеренных импульсов передачи. Исследования в данном направлении целесообразно проводить поэтапно, последовательно, включая в расчет те степени свободы, которые наиболее адекватно отражают ядерную динамику в рассматриваемой кинематической области.

Предполагается, что область средних импульсов передачи определяется мезонными степенями свободы (МОТ). Поэтому в этой области исследование eD - рассеяния с учетом МОТ имеет первостепенное значение, поскольку является необходимым звеном в изучении кварковых эффектов в ядре.

Проблема расчетов eD - рассеяния с учетом МОТ в настоящее время полностью не решена. Так, если существование перерелятивистских изовекторных МОТ не вызывает сомнений, то роль релятивистских эффектов в МОТ установлено ненадежно. Последние определяются, в первую очередь, изоскалярными МОТ, исследование которых затрагивает плохо определенную область малых межнуклонных расстояний.

В целом исследование eD - рассеяния с учетом МОТ включает ряд проблем, не позволяющих сделать однозначные выводы о роли мезонных степеней свободы в ядре. Это, прежде всего, проблема согласованного учета МОТ с NN - взаимодействием. Другой проблемой является изу-

чение релятивистских эффектов в eD - рассеянии в области больших переданных импульсов, где особое значение приобретает исследование адронных формфакторов, эффективно определяющих динамику мезон - нуклонных вершин. Важной задачей является исследование "модельно - зависимых" токов, связанных, например, с электромагнитными распадами мезонов или с резонансным возбуждением ядра.

В диссертации исследуются реакции электрорасщепления дейтрона на пороге электроразвала и упругого eD - рассеяния с учетом МОТ. Исследования проводятся с учетом нерелятивистских МОТ, релятивистских эффектов, адронных формфакторов для различных моделей NN - взаимодействия.

Цель работы. Разработка феноменологической модели МОТ для исследования роли мезонных степеней свободы в ядре в процессах eD - рассеяния. Применение модели МОТ в реакции электрорасщепления дейтрона на пороге электроразвала и упругом eD - рассеянии.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации на основе метода эффективных преобразований исследована феноменологическая модель МОТ, включающая перерелятивистские изовекторные МОТ, релятивистские изоскалярные МОТ и эффекты запаздывания.

Получены выражения для изовекторного и изоскалярного токов запаздывания.

На основе этой модели исследовано электрорасщепление дейтрона на пороге электроразвала и упругое eD - рассеяние.

Получены выражения для матричных элементов дифференциального сечения рассеяния электрорасщепления дейтрона на пороге электроразвала с учетом мезонного и контактного токов для случая адронного формфактора (8), а также эффектов запаздывания, с учетом адронных формфакторов (7) и (8). Исследована роль отдельных вкладов МОТ для различного выбора адронного формфактора и обрезающего параметра Λ_c .

В случае упругого eD - рассеяния структурные функции дейтрона и тензор поляризации T_{20} исследованы для различных моделей NN - взаимодействия и адронных формфакторов.

Проведенное в диссертации исследование МОТ выявило существенную зависимость результатов от вклада как нерелятивистской части МОТ, определяемой изовекторными токами \vec{J}^C , \vec{J}^M , так и релятивист-

ских изоскалярных токов, тока запаздывания J_μ^R .

Полученные результаты стимулируют проведение дальнейших исследований МОТ в eD - реакциях в полном объеме, с учетом релятивистских эффектов, определяемых, во - *первых*, следующими порядками в разложении тока по обратной массе нуклона, во - *вторых*, "модельно - зависимыми" токами, связанными, например, с электромагнитными распадами мезонов, резонансным возбуждением ядра.

Необходимы дальнейшие исследования с учетом МОТ в рамках "точных" феноменологических потенциалов, что позволит провести более согласованный расчет eD - рассеяния с учетом ненуклонных степеней свободы.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики, отдела теоретической и математической физики ДВГУ, на IX-XI международных семинарах по проблемам физики высоких энергий "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика" (Дубна, 1988, 1990, 1992), на международной школе - семинаре "Релятивистская ядерная динамика" (Владивосток, 1991), на международной школе - семинаре "Адроны и ядра в КХД" (Владивосток - Саппоро, 1993).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из 6 глав и 6 приложений. Она содержит 127 страниц наборного текста, 37 рисунков, расположенных в тексте. Список литературы включает 116 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 обосновывается актуальность исследования eD - рассеяния с учетом МОТ. Кратко излагается содержание диссертации и содержится обзор литературы.

В главе 2 диссертации обсуждается уравнение непрерывности, определяющее изовекторные продольные МОТ. Уравнение непрерывности рассматривается для случаев точечных частиц:

$$i\vec{q} \cdot \vec{J}^{\text{МОТ}} = (\vec{\tau}(1) \times \vec{\tau}(2))_3 (V_\tau(\vec{k}_1) - V_\tau(\vec{k}_2)), \quad (1)$$

где $\vec{k}_i = \vec{p}'_i - \vec{p}_i$, $\vec{p}_i^{(l)}$ - импульс i - нуклона до (после) взаимодействия,

$\vec{q} = \vec{k}_1 + \vec{k}_2$ - импульс передачи, \vec{J}^{MOT} - вектор MOT, $V_\tau(\vec{k})$ - потенциал взаимодействия (без фактора $\vec{\tau}(1) \cdot \vec{\tau}(2)$), и с учетом электромагнитной структуры γNN :

$$i\vec{q} \cdot \vec{J}^{MOT} = F_1^V(\vec{\tau}(1) \times \vec{\tau}(2))_3(V_\tau(\vec{k}_1) - V_\tau(\vec{k}_2)). \quad (2)$$

Обсуждается проблема описания электромагнитной γNN и мезон - пуклонной вершин. Вводится в рассмотрение адронный формфактор:

$$g_\alpha \rightarrow g_\alpha K_\alpha(k^2), \quad (3)$$

где g_α - константа связи, $K_\alpha(k^2)$ - адронный формфактор, феноменологически учитывающий структуру ядра в области больших импульсов передачи, α - вид мезона

В главе 3 рассматривается общий формализм построения MOT. В рамках метода эффективных преобразований и уравнения непрерывности определены двухчастичные токи: контактный ток J_μ^C (рис. 1), мезонный ток J_μ^M (рис. 2), ток запаздывания J_μ^R (рис. 4). Изовекторные J_μ^C , J_μ^M - токи определены как нерелятивистская часть MOT. Релятивистские эффекты определяются током запаздывания, изоскалярными парным J_μ^{Pair} (рис. 3), $\rho\pi\gamma$ (рис. 5) - токами и рассматриваются как приближение к нерелятивистской части полного MOT. Определен полный MOT. Изовекторный MOT:

$$\vec{J}^{MOT} = \vec{J}^C + \vec{J}^M + \vec{J}^R. \quad (4)$$

Изоскалярный MOT:

$$\vec{J}^{MOT} = \vec{J}^{Pair} + \vec{J}^{\rho\pi\gamma} + \vec{J}^R, \quad (5)$$

$$\rho^{MOT} = \rho^{Pair} + \rho^{\rho\pi\gamma} + \rho^R. \quad (6)$$

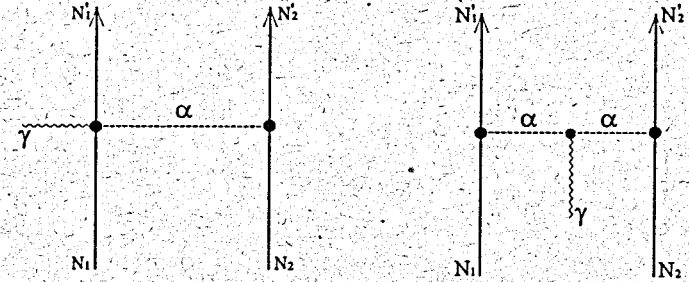


Рис 1: Контактный ток J_μ^C . Рис 2: Мезонный ток J_μ^M .

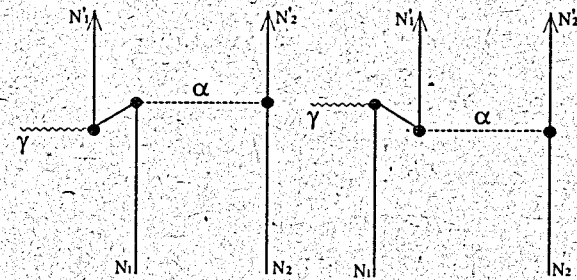


Рис 3: Парный ток J_μ^{Pair} .

В главе 4 исследуется электрорасщепление дейтрона на пороге электроразвала. Проведен расчет дифференциального сечения рассеяния и матричных элементов с учетом MOT (4). Исследования проводятся в зависимости от выбора адронных формфакторов и обрезающих параметров:

$$K_\alpha(k^2) = \left(\frac{\Lambda_\alpha^2 - m_\alpha^2}{\Lambda_\alpha^2 + k^2} \right)^{n_\alpha} \quad (7)$$

с $\Lambda_\pi = 1.25$ ГэВ, $\Lambda_\pi = 0.85$ ГэВ, $\Lambda_\rho = 1.5$ ГэВ, $n_{\pi(\rho)} = 1$;

$$K_\alpha(k^2) = \frac{1}{(1 + k^2/\Lambda_{1,\alpha}^2)(1 + k^4/\Lambda_{2,\alpha}^4)}, \quad (8)$$

где $\Lambda_{1,\pi} = 0.99$ ГэВ, $\Lambda_{2,\pi} = 2.58$ ГэВ.

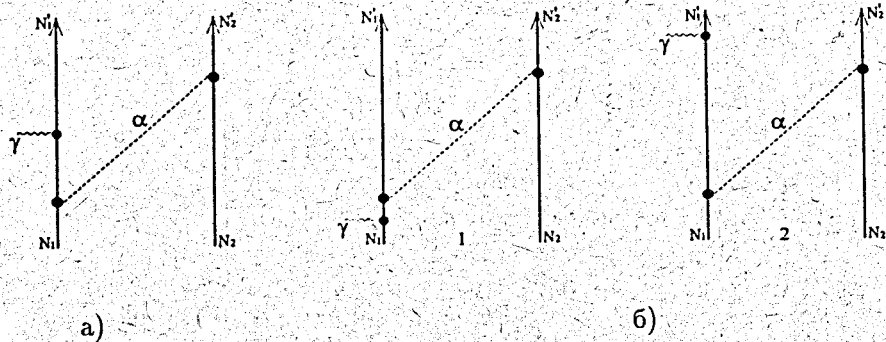


Рис 4: Ток запаздывания J_μ^R : диаграмма отдачи а) и диаграммы перенормировки б) (1, 2).

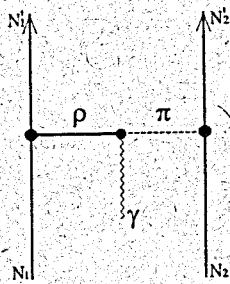


Рис 5: $\rho\pi\gamma$ ток $J_\mu^{\rho\pi\gamma}$.

Особое внимание уделено току запаздывания в MOT (рис. 4). Исследуется роль ρ -мезона в MOT. Рассмотрена радиальная зависимость матричных элементов с учетом эффектов запаздывания. Исследования проведены в модели Парижского потенциала с учетом взаимодействия в конечном состоянии (ВКС).

Установлено, что:

1. MOT необходимо учитывать полностью, включая эффекты запаздывания.
2. Эффекты запаздывания наиболее существенны в области средних и больших импульсов передачи $t > 12 \text{ фм}^{-2}$ ($t = -q^2$).

3. Результаты находятся в сильной зависимости от выбора обрезочных параметров и вершинных формфакторов.
4. Вклад эффектов запаздывания существенно уменьшает влияние ρ -мезонного обменного тока.
5. Мезонные обменные токи доминируют в области относительных расстояний $r = 1 - 1.5 \text{ фм}$ ($t < 30 \text{ фм}^{-2}$).

Результаты расчетов двойного дифференциального сечения рассеяния в реакции электрорасщепления дейтрона на пороге электроразвала с учетом MOT требуют проведения дальнейших исследований в области больших импульсов передачи, где, по всей видимости, могут играть роль иные эффекты, например, резонансное возбуждение ядра, кварк-глюонные обмены. Кроме того, необходимы расчеты не только с учетом различных вкладов в J_μ , но и исследование в рамках "точных" не феноменологических потенциалов, что позволит провести более согласованный расчет электрорасщепления дейтрона на пороге электроразвала с учетом ненуклонных степеней свободы.

В главе 5 исследуется упругое eD -рассеяние с учетом MOT (5), (6). Проведен расчет структурных функций $A(q^2)$, $B(q^2)$ и тензора поляризации дейтрона $T_{20}(q^2)$ для различных моделей NN-взаимодействия: потенциала "бохумской" группы, Парижского потенциала, Боннского потенциала - релятивистской (БРМ) и полной (БПМ) моделей. Расчеты даны с различным выбором формфакторов: (7), (8) ($\Lambda_{1,\rho} = 0.77 \text{ ГэВ}$, $\Lambda_{2,\rho} = 2.58 \text{ ГэВ}$) и

$$K_{1,2}(k^2) = \frac{\Lambda_1^2}{\Lambda_1^2 + Q^2} \left(\frac{\Lambda_2^2}{\Lambda_2^2 + Q^2} \right)^{1,2}, \quad (9)$$

где

$$Q^2 = k^2 \frac{\log \left(\frac{\Lambda_2^2 + k^2}{\Lambda_{\text{КХД}}^2} \right)}{\log \left(\frac{\Lambda_2^2}{\Lambda_{\text{КХД}}^2} \right)}. \quad (10)$$

В (9) и (10) $\Lambda_1 = 0.8 \text{ ГэВ}$ - определяет мезон-барийную динамику; $\Lambda_2 = 2.85 \text{ ГэВ}$, $\Lambda_{\text{КХД}} = 0.29 \text{ ГэВ}$ - включает кварк-глюонную структуру. Адронный формфактор $K_1(k^2)$ определен для πNN , $\pi N\Delta$, $\rho N\Delta$

- вершин и векторной части ρNN - взаимодействия. $K_2(k^2)$ отвечает за их тензорную часть.

Показано, что учет MOT - парного тока, $\rho\pi\gamma$ тока, эффектов запаздывания - в структурной функции $A(q^2)$ не позволяет описать экспериментальные данные в области больших импульсов передачи ($q^2 > 50 \text{ фм}^{-2}$). В этой области q^2 наблюдается сильная зависимость результатов расчетов от используемой модели NN - взаимодействия и выбора адронного формфактора. Вклад эффектов запаздывания в $A(q^2)$ носит деструктивный характер.

Для структурной функции $B(q^2)$ наилучшее согласие с экспериментальными данными достигается для БРМ с адронным формфактором (7). Однако наблюдаемая здесь, как и в первом случае, сильная зависимость результатов от модели NN - взаимодействия и выбора адронного формфактора не позволяет сделать определенного вывода о роли MOT в структурной функции.

В случае тензора поляризации дейтрона $T_{20}(q^2)$ учет MOT приводит к согласию с экспериментальными данными в измеренной области импульсов передачи.

Сделаны выводы, что:

1. Исследование упругого eD - рассеяния необходимо проводить с учетом MOT в полном объеме, включая эффекты запаздывания.
2. Результаты расчетов структурных функций $A(q^2)$, $B(q^2)$ и тензора поляризации дейтрона $T_{20}(q^2)$ с учетом MOT в области больших импульсов передачи находятся в сильной зависимости от выбора модели NN - взаимодействия.
3. Вклад MOT существенно зависит от выбора адронного формфактора.
4. В области больших q^2 настоящая схема вычислений в принципе позволяет дискриминировать различные подходы не только с учетом MOT, но и с учетом других эффектов, например, кварковых обменных токов.

В главе 6 приведены основные результаты диссертации.

В приложении А получены изовекторные MOT: \vec{J}^M , \vec{J}^C .

В приложении В приводится вывод выражения для изоскалярного MOT \vec{J}^{Pair} .

В приложении С получены выражения для изоскалярных и изовекторных токов запаздывания \vec{J}^R .

В приложении Д рассматривается электрорасщепление дейтрона. Для дифференциального сечения рассеяния получены матричные элементы: без учета MOT, с учетом \vec{J}^C - тока, \vec{J}^M - тока, тока запаздывания \vec{J}^R . Вывод дан для различного выбора адронного формфактора ((7) и (8)).

В приложении Е рассматривается упругое eD - рассеяние. Получен упругий формфактор дейтрона F_M для парного тока \vec{J}^{Pair} . Рассмотрен F_M для тока запаздывания \vec{J}^R .

В приложении F рассматривается волновая функция конечного состояния.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследована феноменологическая модель MOT в реакциях eD - рассеяния: электрорасщеплении дейтрона на пороге электроразвала и упругом eD - рассеянии.

Определены электромагнитные ядерные MOT: изовекторный MOT; изоскалярный MOT. Изовекторный MOT представлен двухчастичным контактным током (рис. 1), мезонным током (рис. 2) и током запаздывания (рис. 4). Изоскалярный MOT включает парный ток (рис. 3), "модельно - зависимый" $\rho\pi\gamma$ - ток (рис. 5), ток запаздывания.

Изовекторные контактный и мезонный токи определяют вклад перелативистских MOT. Релятивистскую область определяют изоскалярные парный и $\rho\pi\gamma$ - токи, ток запаздывания. В диссертации выражения для изоскалярного и изовекторного токов запаздывания получены как перелативистский предел J_μ^R - тока $O(1/M^3)$ - малости.

Изовекторные MOT исследовались в реакции электрорасщепления дейтрона на пороге электроразвала. Расчеты проведены в зависимости от адронных формфакторов и обрезających параметров. Показано, что:

1. Учет MOT необходимо проводить в полном объеме, включая эффекты запаздывания.
2. Вклад MOT находится в сильной зависимости от выбора адронного формфактора и обрезающего параметра.
3. Учет эффектов запаздывания в MOT необходим в области ($t > 12 \text{ фм}^{-2}$).
4. Включение эффектов запаздывания ведет к уменьшению влияния ρ - мезонного вклада.
5. Включение MOT существенно в области $r = 1 - 1.5 \text{ фм}$ при $t \leq 30 \text{ фм}^{-2}$.

Изоскалярные MOT исследованы в упругом eD - рассеянии. Исследование проводилось в рамках различных моделей NN - взаимодействия с использованием потенциала "бохумской" группы, Парижского и Боннского потенциалов. Расчеты даны для различной параметризации αNN - вершин. Показано, что:

1. Учет MOT необходимо проводить в полном объеме, включая эффекты запаздывания.
2. Учет эффектов запаздывания особенно важен для структурной функции $A(q^2)$.
3. В случае структурной функции $B(q^2)$ эффекты запаздывания важны для сильно убывающего формфактора (8).
4. Вклад MOT в тензор поляризации $T_{20}(q^2)$ в области $q < 4.5 - 5 \text{ фм}$ одинаков и не зависит от выбора адронного формфактора.
5. Результаты расчетов при больших импульсах передачи находятся в зависимости от модели NN - взаимодействия и параметризации αNN - вершин.

В целом можно сказать, что исследование MOT в рамках феноменологического подхода с использованием феноменологических потенциалов NN - взаимодействия позволяет определить роль MOT в области

больших импульсов передачи и ставит вопрос о включении дополнительных степеней свободы (Δ - изобарных, кварковых и др.) для дальнейшего исследования eD - рассеяния в области больших переданных импульсов.

Основные результаты диссертации опубликованы
в следующих работах:

1. Буров В.В., Достовалов В.Н., Суськов С.Э. "Мезонные обменные токи и магнитный формфактор дейтрона". Письма в ЖЭТФ, 1986, т.44, вып.8, с.357-359.
2. Burov V.V., Dostovalov V.N., Sus'kov S.Eh. "Magnetic form factor of the deuteron in the elastic eD - scattering with allowance for retardation effects in exchange meson currents". JINR Rapid Communication, 1989, N4[37]-89, p.24-29, Dubna.
3. Burov V.V., Dostovalov V.N., Sus'kov S.Eh. "Magnetic form factor of the deuteron with allowance for meson exchange currents". JINR Preprint E4-89-542, 1989, Dubna.
4. Burov V.V., Dostovalov V.N., De Pace A., Saracco P., Sus'kov S.Eh. "Structure functions of the deuteron and mesonic and quark degrees of freedom". Proceedings of the X International Seminar on High Energy Physics Problem, Dubna, 24-29 September, 1990. p.266-275, World Scientific, Singapore, 1991.
5. Burov V.V., Dostovalov V.N., Sus'kov S.Eh. "Structure functions of the deuteron and meson exchange currents". Czech. J. Phys., 1991, v.41, N11, p.1139-1152.
6. Burov V.V., Dostovalov V.N., Sus'kov S.Eh. "Elastic eD - scattering with allowance for exchange meson currents within QCD - VMD model". JINR Rapid Communication, 1992, N1[52]-92, p.21-27, Dubna.
7. Burov V.V., Goy A.A., Sus'kov S.Eh. "Retardation effects in $ed \rightarrow e'np$ reaction". JINR Rapid Communication, 1992, N6[57]-92, p.9-17, Dubna.
8. Буров В.В., Достовалов В.Н., Суськов С.Э. "Мезонные обменные токи и упругое рассеяние электронов". ЭЧАЯ, 1992, т.23, вып.3, с.721-766.

9. Burov V.V., Goy A.A., Sus'kov S.Eh. "Electrodisintegration of the deuteron near threshold with allowance for meson exchange currents. Retardation effects". JINR Preprint E2-92-424, 1992, Dubna.
10. Буров В.В., Достовалов В.Н., Суськов С.Э. "Эффекты запаздывания и магнитный формфактор дейтрона". Тверь, Тверской университет, Теории квантовых систем с сильным взаимодействием, 1992, с. 98-102.
11. Burov V.V., Dostovalov V.N., Sus'kov S.Eh. "Structure functions of the deuteron with allowance for meson exchange currents within QCD-VMD model". ЯФ, 1993, т.56, вып.5, с.17-25.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 декабря 1993 года.