

Г-707

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.В. ГОРЧАКОВ

СТРУКТУРА ЯДРА И РАССЕЙАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ БОЛЬШИХ  
ЭНЕРГИЙ

( 055 - физика атомного ядра и космических лучей )

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

( диссертация написана на русском языке )

Дубна, 1971 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.В. ГОРЧАКОВ

СТРУКТУРА ЯДРА И РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ БОЛЬШИХ  
ЭНЕРГИЙ

( 055 - физика атомного ядра и космических лучей )

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(диссертация написана на русском языке)

Дубна, 1971 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ  
1971

Работа выполнена в Дальневосточном Государственном университете.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук Г.М. ВАГРАДОВ

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук С.И. ДРОЗДОВ  
кандидат физико-математических наук В.К. ЛУКЬЯНОВ

Описывающее предприятие - НИИЯФ ИГУ

Автореферат представлен "28" декабря 1971г.

Защита состоится " " декабря 1972г. на заседании

Ученого Совета Лаборатории теоретической физики ОИЯИ (Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ (Дубна)

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

Р.А. АСАНОВ

В последние годы частицы высоких энергий все шире используются для изучения структуры ядра /1/. Помимо результатов в спектроскопической области низлежащих возбуждений удалось получить первые данные в совершенно неисследованной ранее области глубоких возбуждений атомных ядер /2/. Эксперименты с частицами высоких энергий способны дать информацию о границах применимости различных ядерных моделей, выявить роль межчастичных корреляций в ядре /3/. Использование быстрых электронов имеет ряд преимуществ перед аналогичными экспериментами с протонами и мезонами. /4/. Во-первых, взаимодействие электронов с ядром достаточно хорошо известно, что позволяет сравнительно легко извлекать из экспериментальных данных информацию о ядре-мишени. Во-вторых, это взаимодействие относительно слабо, поэтому можно изучать свойства ядра без значительного разрушения его структуры.

В реакциях квазиупругого рассеяния быстрых электронов ( $E > 300$  мэв) была получена информация об энергиях отделения сильносвязанных нуклонов ( $1S, 1P$ ), о свойствах глубоких дырочных состояний, о характере импульсного распределения нуклонов в ядре /5/.

Интерпретация экспериментальных данных проводилась до сих пор в рамках оболочечной модели /6,7/. Однако экспериментальные данные по квазиупругому рассеянию как электронов, так и протонов обнаруживают недостаточность традиционных оболочечных представлений о ядре. С одной стороны эти данные подтверждают "оболочечность": сечения ( $e, e'p$ ) реакций имеют четкие максимумы при определенных энергиях, картина углового распределения протонов характеризуется определенным  $\ell$ . С другой стороны, одночастичные уровни оболочечной модели и центры резонансов в сече-

нии не совпадают друг с другом. Особенно резко это проявляется для сильносвязанных нуклонов. Другой важный факт, который трудно понять в рамках оболочечной модели - это значительные ширины дырочных состояний, которые образуются в результате реакций  $(e,e'p)$ .

Предлагаемая диссертация посвящена применению методов первой теории многих тел [8,9] для описания неупругого рассеяния быстрых электронов на ядрах в области квазиупругого пика и прилегающей к ней области монополюсных коллективных возбуждений. Основное внимание будет уделено поведению ядра в таких реакциях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения.

Во введении обсуждаются особенности экспериментов по квазиупругому рассеянию электронов. Выделяются три типа экспериментов в области квазиупругого пика и анализируется полученная при этом информация. Рассмотрена коротко сущность оболочечного описания этих экспериментов. Обсуждается использование нелокальных потенциалов для получения положения глубоколежачих уровней, отмечаются недостатки такого подхода. Показана необходимость перехода к описанию этой группы процессов в рамках многочастичного подхода.

Первая глава диссертации посвящена динамическому потенциалу для квазичастиц [10-12]. Рассматривается поведение ядра из  $(A-1)$  нуклонов. Для выделения квазичастичного движения в такой системе используются проекционные операторы. С их помощью осуществляется разделение по различным степеням свободы. При этом используется представление вторичного квантования, что позволяет точно учитывать принципы Паули. В результате

получается уравнение, описывающее поведение в ядре квазидырочного состояния с учетом коррелятивных эффектов в системе.

$$(\epsilon_\lambda - \hat{T}_\lambda) \varphi_\lambda(x) = \int dx' M(x, x'; \epsilon_\lambda) \varphi_\lambda(x') \quad (1)$$

Роль волновой функции такого состояния выполняет матричный элемент, который можно рассматривать как амплитуду вероятности  $\varphi(x)$  найти в основном состоянии ядра с  $A$ -нуклонами нуклон в точке  $x$ , а остальные  $(A-1)$  нуклонов - в некотором состоянии  $\lambda$ . Показывается, что в случае оболочечной модели, где нуклоны движутся в некотором статическом среднем поле без коррелятивных взаимодействий между собой, этот матричный элемент переходит в волновую функцию дырки в оболочке. Квазидырки движутся в динамическом среднем поле, которое описывается нелокальным, зависящим от энергии оператором. Последний играет роль нового обобщенного, динамического потенциала. По своему физическому смыслу он эквивалентен массовому оператору теории поля. Из-за взаимодействия квазичастицы с другими возбуждениями (колебательными, вращательными и т.д.) обобщенный потенциал зависит от энергии  $M = M(x, x'; \epsilon_\lambda)$ .

В силу такой сложной природы массового оператора для квазичастичных состояний уравнение Шредингера становится нелинейным. Зависимость от энергии проявляется тем значительней, чем дальше от поверхности Ферми лежит интересующее нас возбуждение. Показывается, что зависящий от энергии массовый оператор можно представить в виде ряда вблизи поверхности Ферми по величине энергии отклонения от  $\epsilon_F$ . В общем случае произвольных возбуждений динамический потенциал представляется в виде суммы. Первое слагаемое есть часть массового оператора вблизи поверхности Ферми

(ее можно отождествить с эмпирическим средним полем для дырки вблизи  $\epsilon_F$ ). Второе слагаемое содержит существенную зависимость от энергии в виде сумм полюсных слагаемых. Вид динамического добавка таков, что эффективный потенциал с ростом энергии возбуждения будет "углубляться" для дырочных состояний, что находится в соответствии с опытными данными.

Вторая глава посвящена описанию некоторых свойств динамического потенциала. Обсуждается связь динамического потенциала с эффективным взаимодействием квазичастиц в ядре. Рассматриваются диаграммы, дающие вклад в эффективное взаимодействие. Особо рассматривается случай парных корреляций, соответствующий приближению Бракнера. Кроме того, изучаются эффекты спаривания, приводящие к сверхпроводимости в системе нуклонов.

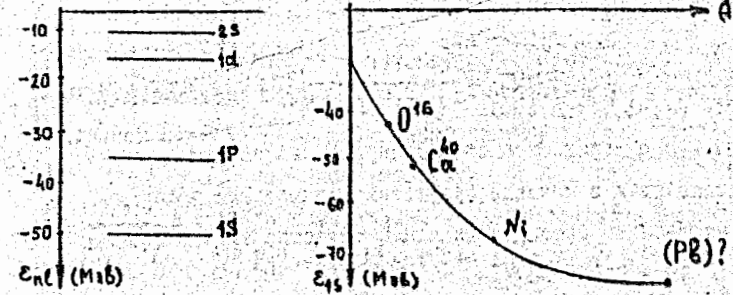
Дырочные состояния анализируются исходя из свойств массового оператора. Обращается внимание на мнимую часть массового оператора, которая связана с затуханием квазидырочного состояния. Обсуждается характер энергетической зависимости мнимой части, определяемый в основном плотностью состояний многочастичных конфигураций. В качестве иллюстрации рассматриваются решения уравнения Шредингера с действительным и комплексным динамическим потенциалом для связанных состояний.

$$(\hat{T}_x + R_e M(x, \epsilon) + i J_m M(x, \epsilon)) \Psi_0(x, \epsilon) = E_0(\epsilon) \Psi_0(x, \epsilon) \quad (2)$$

$$E_0(\epsilon) = \epsilon_0(\epsilon) + i \frac{\Gamma_0(\epsilon)}{2}; \quad J_m M(\epsilon) = a e^{-\beta(\epsilon)}$$

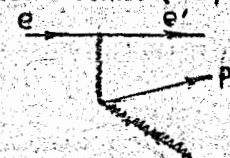
Для реальной части потенциала используется линейная энергетическая зависимость, которая передает основной эффект влияния динамических связей в системе. Получающиеся собственные значения

хорошо соответствуют наблюдаемым в опытах по квазиупругому рассеянию положения уровней для сильно связанных нуклонов.



Решения в комплексной яме дают как положение квазидырочных уровней, так и их ширину.

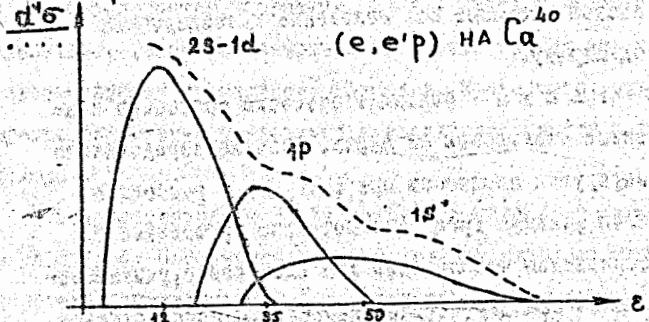
Третья глава содержит описание процессов квазиупругого рассеяния электронов на ядрах. Вначале определяется полное сечение неупругих процессов при  $(e, e')$  рассеянии через двухчастичную функцию Грина. Рассмотрение проводится в плосковолновом Борновском приближении для электронов, учитывается только кулоновское взаимодействие электрона с ядром, отдачей пренебрегается. Затем выделяется интересный канал квазиупругого возбуждения нуклонов. Сечение реакции  $(e, e' N)$  определяется при этом матричным элементом от вершинной функции. В простейшем случае, когда вершинная функция вырождается в  $\delta$ -функцию, анализируется сечение  $(e, e' p)$  реакции.



Получается аналитическое выражение для сечения, которое содержит резонансный множитель. Волновая функция положения квазидыроч-

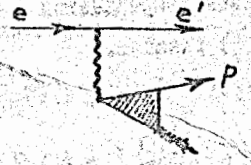
$$\frac{d^4\sigma}{d\varepsilon_2 d\Omega_2 d\varepsilon_p d\Omega_p} = \pi \epsilon_M \left(\frac{Q_M}{Q}\right)^4 \rho \varepsilon_p \frac{1/2 \Gamma_0(\varepsilon)}{(\varepsilon - \varepsilon_p(\varepsilon))^2 + \frac{\Gamma_0^2(\varepsilon)}{4}} \left| \int dx e^{i\vec{q}\vec{r}} \chi_{p'}^+ \chi_{p''} \right|^2 \quad (3)$$

ного состояния и его ширина зависят от переданной энергии и поэтому резонансные пики в сечении будут нелоренцовскими, деформированными. В приложении рассматривается в качестве примера сечение  $(e, e'p)$  на  $^{12}\text{C}$  и  $^{40}\text{Ca}$ .



Видно, что огибающая резонансных пиков хорошо воспроизводит ход сечения, наблюдаемый на опыте.

Интересные особенности ядерного матричного элемента обнаруживаются при его анализе с полной вершинной функцией. Вершинная



функция изучалась при двух предположениях: большие переданные импульсы, пренебрежение конечными размерами ядра (т.е. приближение ядерной материи). При этом показывается, что вследствие корреляции уменьшается выход протонов в реакциях  $(e, e'p)$ .

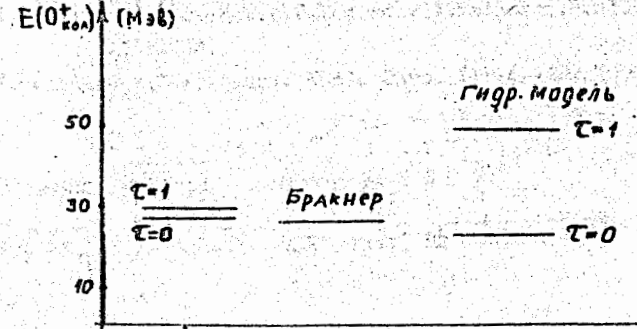
Квадрат протонной вершинной функции в таком приближении играет роль редуцированного фактора в сечении. Кроме того, как результат

эффективного взаимодействия в канале частица-дырка открываются нейтронный канал, т.е.  $(e, e'n)$ . Оценки показывают, что выход нейтронов в таких реакциях достигает до 80% от выхода протонов

$$\frac{d^4\sigma(n)}{d^4\sigma(p)} \equiv \left| \frac{J_n}{J_p} \right|^2 \equiv \left| \frac{\rho U_{3\pi} \cdot \varepsilon_q}{\omega^2 - \varepsilon_q^2 - \varepsilon_q \rho U_{3\pi}} \right|^2 \quad (4)$$

Таким образом, анализ квазиупругого рассеяния в рамках полевой теории многих тел позволяет получить известные на сегодня результаты как частные случаи при соответствующих предположениях. В целом же такой подход содержит гораздо больше информации и менее всего связан с различными модельными допущениями.

В четвертой главе рассматриваются области возбуждений, непосредственно примыкающая к квазиупругому пику — монополярные коллективные возбуждения. Монополярные возбуждения связаны со сферически-симметричными осцилляциями плотности ядерного вещества. Они могут возбуждаться в реакциях  $(e, e')$  при больших энергиях электронов. Рассчитываются положения  $0^+$  уровней в ферми-жидкостном приближении и проводится сравнение с другими моделями. Важно иметь в виду, что используемые в расчетах ядерные состояния лежат гораздо глубже, чем что ранее



предполагалось и, кроме того, они обладают значительной шириной. Все это скажется на положении коллективных уровней и их ширине. Обсуждаются возможные следствия для старых частично-дирочных расчетов (например, гигантский дипольный резонанс) от учета ширины дирочных состояний, поскольку диагонализации должно под- лозать уравнение вида

$$(\omega_c - i\Gamma_c - \Delta E_{\lambda_1, \lambda_2} - i(\lambda_{\lambda_1} + \lambda_{\lambda_2}) + \sum_{\lambda_3, \lambda_4} \langle \lambda_1, \lambda_2 | \hat{F} | \lambda_3, \lambda_4 \rangle) = 0 \quad (6)$$

В заключении суммируются основные результаты, полученные в диссертации.

В приложении приведен расчет сечения ( $e, e'p$ ) реакции на  $O^{12}$  и  $Ca^{40}$ . Результаты расчетов приведены на графиках, кото- рые хорошо соответствуют опытным данным.

Результаты, полученные в диссертации были представлены на XII Съезде физиков по ядерной спектроскопии и структуре ядра (Москва 1971) и опубликованы в работах /11-13/.

1. IV Международная конференция по физике высоких энергий и структуре ядра. Дубна, 1971.
2. U. Amaldi, jr. Status of Some Relevant Problems in Nuclear Physics, ISS, 70/17, Roma, 1970.
3. G. Jacob. Th. Maris, Nucl. Phys. 31, 139, 1962.
4. T. de Forest. Ann. Phys. 45, 365, 1967.
5. U. Amaldi, jr. Proc. Inter. School of Physics, 38, 284, 1967. B. Hiramatsu et al. Report INS, I-122, Tokyo, 1970. G. Schule. Доклад на XXI Съезде физиков по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Москва, 1971.
6. V. V. Balashov, N. M. Kabachnik, V. I. Markov, Nucl. Phys. A129, 369, 1959.
7. D. Jackson. Adv. in Nuclear Physics, vol. 4, I, 1970.
8. Д. А. Кирилюк. Полевые методы многих частиц. Атомиздат, М. 1963.
9. А. Б. Мигдал. Теория конечных ферми систем и свойства атомных ядер. М. 1965.
10. Г. М. Ваградов, В. Н. Калинин. Препринт ОИЯИ, Р4-5084, 1970.
11. Г. М. Ваградов, В. В. Горчаков. Сообщения по физике ФИАИ, 8, 26, 1970.
12. Г. М. Ваградов, В. В. Горчаков. Сообщения по физике ФИАИ, 8, 66, 1970.
13. В. В. Горчаков. Ученые записки ДВГУ (физ.) 51, 102, 1970.
14. Г. М. Ваградов, В. В. Горчаков. Изв. АН СССР (физ.) в печати 1971.
15. Г. М. Ваградов, В. В. Горчаков. Материалы XIX Съезда физиков по ядерной спектроскопии и структуре ядра. Ереван, 1969.
16. Г. М. Ваградов, В. В. Горчаков. Материалы XX Съезда физиков по ядерной спектроскопии и структуре ядра. Киев, 1972.
17. I. Damgaard, V. Gortchakov, G. Vagradov, A. Molinari, Nucl. Phys. A121, 625, 1968.
18. V. Gortchakov, G. Vagradov. Nucl. Phys. (in press), 1972.

-----  
 Отпечатано областной лабораторией Д В Г У

-----  
 Бак. № 54 24/XII-71 200 экз. ВД 02897