

Ш-59
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4 - 11530

ШИЛОВ
Виктор Михайлович

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ АТОМНЫХ ЯДЕР
В РЕАКЦИЯХ С ЭЛЕКТРОНАМИ, ПРОТОНАМИ
И ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1978

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Г.Н.АФАНАСЬЕВ.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

В.Б.БЕЛЯЕВ,

кандидат физико-математических наук
доцент

М.Г.УРИН.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Харьковский Физико-технический институт АН УССР

Автореферат разослан "___" _____ 1978 года.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1978 года
на заседании Специализированного ученого совета К-047.01.01
Лаборатории теоретической физики Объединенного института
ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

В.И.ЖУРАВЛЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Проверка возможности описания статических и динамических свойств атомных ядер, предсказываемых различными микроскопическими моделями, представляет большой интерес. Такое описание стало возможным в связи с появлением быстродействующих электронных вычислительных машин, позволяющих проводить детальные микроскопические расчеты статических свойств ядер^{/1/}, структуры возбужденных состояний^{/2/} и процесса перестройки оболочечной структуры индивидуальных ядер в единую структуру составного ядра при столкновении двух сложных ядер^{/3/}. Основным инструментом проверки предсказаний микроскопических моделей ядра служат эксперименты по рассеянию различных частиц, что позволяет изучать различные аспекты структуры ядер.

Упругое и неупругое рассеяние электронов из-за электромагнитного характера взаимодействия является одним из наиболее эффективных методов для изучения статических и переходных зарядовых плотностей в ядрах. Эти исследования дополняют появившиеся в последнее время экспериментальные работы по упругому и неупругому рассеянию протонов с энергией ≈ 1 ГэВ, выполненные с очень хорошей точностью^{/4/}. В отличие от электронов протоны являются сильно взаимодействующими частицами, и это позволяет получить информацию не только о распределении протонов в ядре, но и о нейтронной компоненте статической и переходной ядерных плотностей.

Совместное описание экспериментов по рассеянию электронов и протонов с использованием плотностей, рассчитанных в рамках одной и той же модели, позволяет проверить и уточнить параметры микроскопических моделей. В связи с этим представляет интерес исследовать изменение зарядовой, нейтронной и протонной плотностей при изменении параметров микроскопических моделей, а также вариации сечений упругого и неупругого рассеяния электронов и протонов.

Экспериментальные данные обычно анализируются на основе феноменологических плотностей. При этом важно исследовать однозначность извлекаемых параметров, прежде чем проводить сравнение с соответствующими микроскопическими расчетами.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Аналогичные проблемы при описании упругого рассеяния и возбуждения коллективных состояний ядер стоят и в физике тяжелых ионов. Однако в отличие от процессов рассеяния электронов и протонов, где эти каналы реакции оказываются основными, при столкновении сложных ядер главную роль играют каналы полного слияния двух ядер с образованием составного ядра и глубоководноупругих передач, составляющих большую часть полного сечения реакции. Предложенный в работе^{/5/} квазиклассический рецепт вычисления сечения полного слияния и широко используемый в настоящее время требует обоснования с точки зрения правил квантовой механики. Этой цели служит предложенная в диссертации простая модель, являющаяся синтезом модели Галина и др.^{/5/} и известной модели Блатта-Вайскопфа-Томаса^{/6/}. Квантовомеханическая постановка задачи позволит расширить область применимости квазиклассических рецептов на околобарьерные и подбарьерные энергии, наиболее интересные с точки зрения синтеза новых элементов в реакциях полного слияния.

Цель работы - исследование некоторых свойств структуры ядра, проявляющихся в реакциях с электронами, протонами и тяжелыми ионами.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации изучается влияние на сечения упругого рассеяния электронов электромагнитной структуры нуклонов при микроскопических вычислениях статических зарядовых плотностей для изотопов железа, никеля и цинка, исследования которых проводятся на ускорителе КФТИ^{/13/}.

Исследование упругого рассеяния протонов выявило неоднозначность извлекаемых параметров статического нейтронного распределения в зависимости от используемых входных данных зарядового распределения, однако относительные изменения найденных параметров оказались устойчивыми по отношению к вариациям зарядового распределения и могут оказаться полезными для сравнения с предсказаниями микроскопических моделей.

В рамках полумикроскопической модели ядра при учете изоскалярной и изовекторной компонент мультиполь-мультипольных сил и при достаточно большом одночастичном базисе впервые получено удовлетворительное описание сечений неупругого рассеяния электронов и протонов с возбуждением нижайших квадрупольных состояний в ядрах с заполненной протонной оболочкой без привлечения подгоночных параметров.

Для изотопов кальция и ^{48}Tl впервые обработаны экспериментальные данные по неупругому рассеянию протонов на основе феноменологических плотностей и извлечены параметры нейтронных переходных плотностей.

Предложена простая квантовомеханическая модель для выделения канала полного слияния из полного сечения реакции при столкновении тяжелых ионов. На основе этой модели рассчитаны полное сечение и сечение слияния для реакции $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$, $^{16}\text{O} + ^{40}\text{Ca}$, $^{40}\text{Ar} + ^{109}\text{Ag}$.

Следующие результаты выдвигаются для защиты

1) Исследование поправок к дифференциальным сечениям упругого рассеяния электронов на изотопах железа, никеля и цинка, обусловленных учетом электрической структуры нейтронов и спин-орбитального взаимодействия с нуклонами незаполненных оболочек, и сравнение их с поправками, вызванными учетом остаточного спаривательного взаимодействия.

2) Выявление неоднозначностей при использовании обычной процедуры извлечения параметров нейтронного распределения из экспериментов по упругому рассеянию протонов; влияние входных данных по упругому рассеянию электронов. Определение однозначных параметров при используемом способе анализа экспериментальных данных.

3) Исследование зависимости дифференциальных сечений неупругого рассеяния электронов и протонов от изменения некоторых параметров полумикроскопической модели ядра. Обработка экспериментальных данных по неупругому рассеянию протонов на изотопах кальция и ^{48}Tl с целью извлечения параметров нейтронных переходных плотностей и сравнения с предсказаниями полумикроскопической модели ядра. Доказательство необходимости учета изовекторной компоненты мультиполь-мультипольных сил и выбора достаточно большого одночастичного базиса для описания возбуждения нижайших квадрупольных состояний в ядрах с заполненной протонной оболочкой.

4) Обобщение модели Блатта-Вайскопфа-Томаса для выделения канала полного слияния в реакциях с тяжелыми ионами. Возможность удовлетворительного описания сечений слияния и полных сечений реакции для ядер $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$, $^{16}\text{O} + ^{40}\text{Ca}$, $^{40}\text{Ar} + ^{109}\text{Ag}$.

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований и на Международной летней школе по ядерной физике (Предел, Румыния, 1976).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано семь статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания и заключения, содержит 117 страниц машинописного текста, 20 рисунков, 3 таблицы и библиографический список литературы из 142 наименований.

Содержание работы

Введение содержит краткий обзор основных каналов реакции взаимодействия электронов, быстрых протонов и тяжелых ионов с ядрами. Обсуждаются возможности исследования различных свойств структуры ядра при использовании налетающих частиц, различающихся по характеру их взаимодействия с ядром-мишенью.

В главе I рассматривается формализм упругого и неупругого рассеяния электронов и быстрых протонов на ядрах. Обсуждаются приближения, которые необходимо сделать для того, чтобы свести задачу рассеяния к простым вычислениям, содержащим только одночастичные статические и переходные ядерные плотности. Приведенные формулы показывают, что возможность удовлетворительного описания экспериментальных данных обусловлена только выбором модели, предсказывающей величину и форму соответствующей одночастичной плотности. Для рассеяния электронов обсуждаются некоторые другие подходы к решению задачи, их преимущества и недостатки.

В § I описывается процедура анализа упругого и неупругого рассеяния электронов с помощью метода парциальных волн^{1/7/}, который является наиболее точным методом для описания процесса рассеяния этих частиц.

§ 2 содержит формализм теории Глаубера^{1/8/}, необходимый в дальнейшем для описания дифференциальных сечений упругого и неупругого рассеяния протонов с энергией ≈ 1 ГэВ.

В главе II диссертации рассматривается упругое рассеяние электронов и протонов на ядрах с целью получения информации о распределении заряда и материи в основном состоянии ядер.

§ I посвящен решению прямой задачи упругого рассеяния электронов. В рамках простейшей оболочечной модели рассчитаны протонные и нейтронные статические плотности для четных изотопов железа, никеля и цинка. На основе плотностей строится "эффективная" зарядовая плотность, учитывающая не только отличие электрического формфактора протона от 1, но и также отличие электрического формфактора нейтрона от 0, и, кроме того, релятивистские поправки, обусловленные спин-орбитальным взаимодействием с протонами и нейтронами незаполненных оболочек^{1/9/}. При энергии электронов 225 МэВ ускорителя ХФТИ^{1/13/} рассчитаны дифференциальные сечения упругого рассеяния и исследованы относительные изменения сечений, вызванные включением того или иного вида поправок.

Аналогичный анализ был проведен также в рамках оболочечной модели с остаточным взаимодействием, приводящим к парным корреляциям сверхпроводящего типа^{1/2/}. Выяснено, что включение такого остаточного взаимодействия приводит к гораздо меньшим изменениям в сечениях, чем учет электромагнитной структуры нуклонов.

В § 2 при использовании экспериментальных данных по упругому рассеянию протонов^{1/4/}, а также входных данных по упругому рассеянию электронов, приведенных в двух различных работах^{1/10,11/}, нами были извлечены параметры нейтронного статического распределения для каждого из двух наборов параметров зарядового распределения. Использовалась следующая параметризация нейтронных распределений:

$$\rho(r) = \rho_0 (1 + W r^2 / R^2) / [1 + \exp(-\frac{r-R}{a})],$$

при этом для удобства сравнения с соответствующими зарядовыми параметрами параметризовалось "свернутое" нейтронное распределение. Результаты расчетов приведены в табл. I.

Обнаружена сильная зависимость полученных параметров нейтронного распределения от используемых входных данных для зарядового распределения. Однако относительные приращения параметров оказались довольно стабильными и могут быть использованы для сравнения с предсказаниями микроскопических моделей. Обсуждаются возможные причины выявленной неоднозначности абсолютных значений параметров.

Таблица I. Полученные параметры нейтронного распределения. Параметры зарядового распределения, отмеченные буквой F, взяты из работы /10/, буквой H - из работы /11/.

Ядра		$R_{зар}$	$a_{зар}$	R_H	a_H	W	$\langle r^2 \rangle_{зар}^{1/2}$	$\langle r^2 \rangle_H^{1/2}$	χ^2
^{40}Ca	F	3,676	0,585	3,720	0,557	-0,102	3,486	3,453	2,9
	H	3,777	0,589	3,704	0,564	-0,158	3,497	3,406	3,5
^{42}Ca	F	3,728	0,591	3,645	0,631	-0,116	3,516	3,538	1,0
	H	3,840	0,595	3,622	0,645	-0,172	3,525	3,466	1,2
^{44}Ca	F	3,748	0,572	3,661	0,624	-0,095	3,515	3,556	0,9
	H	3,850	0,575	3,644	0,631	-0,151	3,531	3,490	1,3
^{48}Ca	F	3,744	0,526	3,954	0,531	-0,03	3,476	3,623	2,0
^{48}Ti	F	3,855	0,563	3,826	0,601	-0,076	3,585	3,639	1,4
	H	3,956	0,566	3,817	0,601	-0,132	3,605	3,573	2,1

Глава III диссертации посвящена неупругому рассеянию электронов и протонов. Основное внимание уделено возможностям полумикроскопической модели ядра /2/ (обычно используемой для описания энергий и приведенных вероятностей электромагнитных переходов) при расчете дифференциальных сечений неупругого рассеяния электронов и протонов с возбуждением нижайших квадрупольных состояний в ядрах с заполненной протонной оболочкой.

В § I приведен вывод формул для нейтронных и протонных переходных плотностей, описывающих возбуждение коллективных однофоновых состояний электронами и быстрыми протонами в рамках используемого формализма.

В § 2 для изотопов олова проведено исследование зависимости величины и формы переходных плотностей от изменения некоторых параметров полумикроскопической модели. Рассматриваются два значения для величины изовекторной константы мультиполь-мультипольного взаимодействия: $\alpha_0 = 0$ и $\alpha_0 = -1,5 \alpha_0$. Величина

изоскалярной константы α_0 в обоих случаях выбиралась так, чтобы получить экспериментальное значение энергии уровня. Выяснено, что подобное изменение α_0 приводит к значительному изменению общей нормировки вычисленного дифференциального сечения рассеяния электронов, не меняя при этом формы углового распределения. Зависимость сечения неупругого рассеяния протонов от изменения α_0 оказалась довольно слабой, хотя при

$\alpha_0 = -1,5 \alpha_0$ происходит уменьшение нейтронной и увеличение протонной переходных плотностей по сравнению со случаем, когда $\alpha_0 = 0$. Показано, что увеличение количества учитываемых уровней одночастичного базиса приводит не только к увеличению амплитуды зарядовой переходной плотности, но и к существенному изменению формы, приближающейся к обычно используемой в феноменологическом анализе форме гидродинамической модели Тасси.

Используя значение $\alpha_0 = -1,5 \alpha_0$ (такой набор констант удовлетворительно описывает энергии нижайших квадрупольных уровней и положения гигантских изовекторных квадрупольных резонансов /2/) и выбирая достаточно большой одночастичный базис с включением квазистационарных состояний вплоть до энергии 20 МэВ, удалось описать дифференциальные сечения неупругого рассеяния электронов на ядрах ^{116}Sn и ^{58}Ni и протонов на ядре ^{58}Ni без привлечения подгоночных параметров. Результаты расчетов для ядра ^{58}Ni продемонстрированы на рис. 1, 2.

В § 3 для изотопов кальция и ^{48}Ti проведена обработка экспериментальных данных по неупругому рассеянию протонов /4/ с целью извлечения параметров нейтронных переходных плотностей. Использовалась феноменологическая гауссовская форма переходных плотностей, удовлетворительно описывающая неупругое рассеяние электронов на этих ядрах /11/:

$$\rho_L(z) \sim \exp\left[-\left(\frac{z-R}{a}\right)^2\right].$$

Нормировка зарядовой переходной плотности выбрана обычным способом:

$$\int \rho_L^{зар}(z) z^{L+2} dz = \sqrt{B(EL)},$$

а для нейтронной плотности постулировалось:

$$\int \rho_L^H(z) z^{L+2} dz = \frac{N}{Z} \sqrt{B(EL)},$$

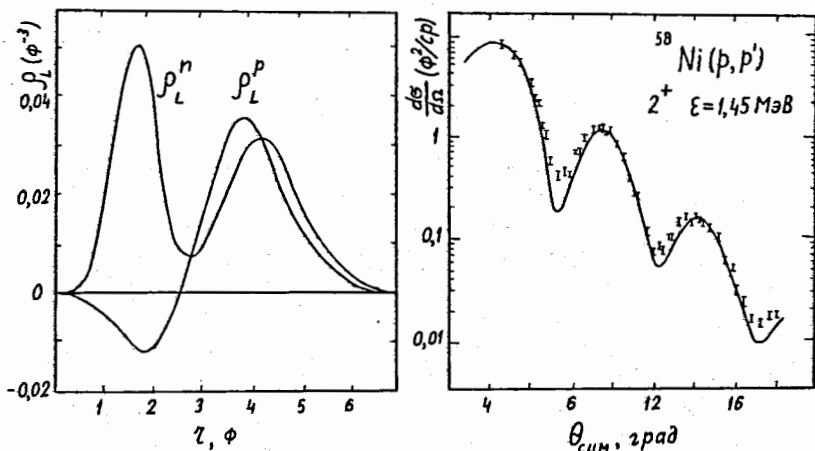


Рис. 1. Протонная и нейтронная переходные плотности и дифференциальное сечение неупругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ на ядре ^{58}Ni . Экспериментальные данные взяты из работы /12/.

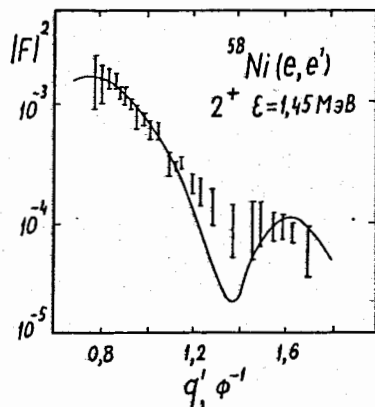


Рис. 2. Квадрат фактора неупругого рассеяния электронов с энергией 225 МэВ. Экспериментальные данные взяты из работы /13/.

где N и Z - числа нейтронов и протонов в ядре. Параметры $B(EL)$, R_H и a_H считались свободными. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Полученные параметры нейтронных переходных плотностей. Параметры зарядовых плотностей взяты из работы /11/.

Ядра	I^π	$R_{зар}$	$a_{зар}$	R_H	a_H	$\frac{B(EL)}{B(EL)_{эл}}$	χ^2
^{40}Ca	3^-	3,536	1,483	3,511	1,213	0,772	20
^{42}Ca	2^+	3,541	1,459	3,207	1,679	1,09	2,4
^{44}Ca	2^+	3,671	1,428	3,192	1,719	1,0	5,2
^{48}Ti	2^+	3,777	1,340	3,280	1,698	1,32	5,7

Параметр $B(EL)$ для полумагических ядер ^{42}Ca и ^{44}Ca оказался близок к приведенной вероятности электромагнитных переходов $B(EL)_{эл}$, извлекаемой из экспериментов по неупругому рассеянию электронов /11/. Это указывает на примерно одинаковые величины протонных и нейтронных переходных плотностей, что при расчетах этих плотностей в рамках полумикроскопической модели возможно только при $a_i \neq 0$.

Подробный анализ экспериментальных данных для ядра ^{40}Ca продемонстрировал слабую чувствительность рассчитанных дифференциальных сечений неупругого рассеяния протонов от изменения формы внутренней части переходных плотностей. С другой стороны, использование более реалистичной экспоненциальной асимптотики переходных плотностей позволяет уменьшить χ^2 для этого ядра в 1,5 раза, улучшая при этом описание эксперимента в области малых углов рассеяния.

Глава IV диссертации посвящена выделению канала полного слияния двух ядер при столкновении тяжелых ионов с ядрами. Рассматриваются реакции с участием налетающих частиц с массой $A \leq 40$ и с энергией $E \approx (2-10)$ МэВ/нуклон, для которых канал полного слияния составляет большую часть полного сечения реакции.

В § 1 приводится классификация различных каналов реакции, сопровождающих взаимодействие тяжелых ионов с ядрами. Обсуждается широкий круг современных теоретических моделей, позволяющих выделить различные каналы реакции, их достоинства и недостатки.

В § 2 предлагается модель, являющаяся синтезом моделей Галина и др.^{/5/} и модели Блатта-Вайскопфа-Томаса^{/6/}. Оптический потенциал взаимодействия двух ядер выбирается в виде

$$U(r) = \begin{cases} \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r}, & r > R, \\ -V(r) - iW(r), & a < r < R. \end{cases}$$

Постулируется, что при $r \leq a$ имеет место полное поглощение, т.е. решение уравнения Шредингера имеет в этой области вид только сходящейся сферической волны (рис. 3).

$$\chi_e = A e^{i k_0 r} h_e^{(2)}(k_0 r),$$

где

$$k_0 = \sqrt{2\mu[E + V(a)]/\hbar^2}.$$

Непрерывность волновой функции и ее производной при $r = a$ и в асимптотической области позволяет однозначно определить коэффициенты A_e и S_e - парциальные элементы S -матрицы. Сечения слияния и полное сечение реакции определяются следующим образом:

$$\sigma_{cn} = \frac{\pi}{k^2} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) |A_e|^2 \frac{k_0}{k},$$

$$\sigma_p = \frac{\pi}{k^2} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) (1 - |S_e|^2)$$

Для потенциала $U(r)$, выбранного в виде прямоугольной ямы, получено аналитическое решение и исследован ряд важных предельных случаев.

В § 3 обсуждается выбор параметров модели и их связь со структурой участвующих в реакции ядер. Для реальной части оптического потенциала используется параметризация^{/14/} потенциала типа бракнеровского, получаемого из соотношений между плотностью энергии и плотностью массы в теории ядерной материи.

Для мнимой части используется феноменологический потенциал

$$W(r) = (W_0/\mu)(E - V_e) \frac{d}{dr} [1 + \exp(-\frac{r - R_w}{d_w})]^{-1},$$

где V_e - кулоновский барьер, определяемый реальной частью потенциала. С единым набором параметров мнимой части потенциала:

$$W_0 = 0,367 \text{ МэВ} \cdot \text{фм}, \quad d_w = 0,5 \text{ фм}, \quad R_w = 1,4 (A_1^{1/3} + A_2^{1/3}) \text{ фм}$$

получено удовлетворительное согласие с экспериментальными данными для реакций $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$, $^{16}\text{O} + ^{40}\text{Ca}$ и $^{40}\text{Ar} + ^{109}\text{Ag}$. В качестве примера на рис. 4 для $^{16}\text{O} + ^{40}\text{Ca}$ показаны сечения слияния и полное сечение реакции.

В § 4 обсуждаются некоторые приближения, используемые в модели, границы ее применимости и перспективы дальнейшего развития. Рассматривается связь канала глубоконеупругих передач с каналом полного слияния двух ядер. Отмечается важность совместного анализа нескольких каналов реакции в рамках единой модели.

В заключении обсуждаются физические следствия полученных результатов и некоторые дальнейшие проблемы.

Основные результаты, полученные в диссертации

1) Установлено, что для изотопов железа, никеля и цинка релятивистские поправки к сечениям упругого рассеяния электронов при энергии 225 МэВ, обусловленные спин-орбитальным взаимодействием электрона с протонами и нейтронами ядра, в значительной степени взаимно компенсируются. Поправки, вызванные учетом электрической структуры нейтрона, приводят к изменениям сечений на 20-30%. Показано, что величины поправок увеличиваются с возрастанием числа нейтронов у изотопов.

2) Извлечены параметры статического распределения нейтронов для изотопов кальция и ^{48}Ti из экспериментов по упругому рассеянию электронов и протонов. Выявлена их сильная зависимость от используемых входных параметров зарядового распределения, однако относительные изменения от ядра к ядру оказались устойчивыми и могут быть использованы для сравнения с предсказаниями микроскопических моделей.

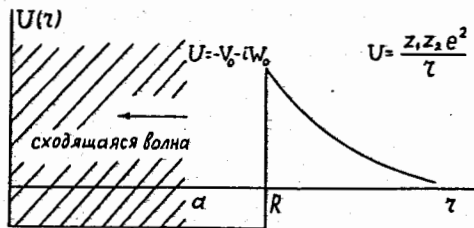


Рис. 3. Схематическое изображение рассматриваемой модели.

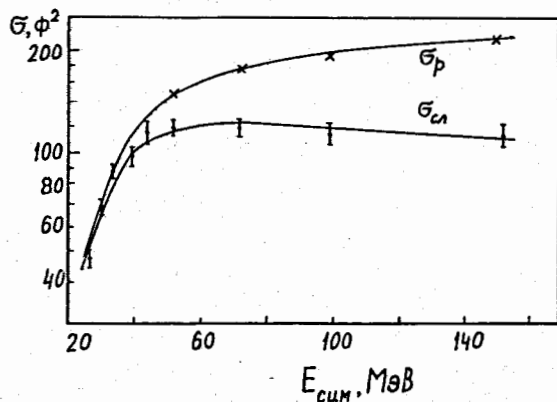


Рис. 4. Полное сечение и сечение слияния для реакции $^{16}\text{O} + ^{40}\text{Ca}$. Экспериментальные данные взяты из работы /15/.

3) Показано, что только суммарный эффект ($\alpha \neq 0$ и учет далеких от поверхности Ферми одночастичных состояний) позволяет получить экспериментальные значения дифференциальных сечений неупругого рассеяния электронов с возбуждением низайших квадрупольных состояний в ядрах с заполненной протонной оболочкой.

4) Извлечены параметры нейтронных переходных плотностей для изотопов кальция и ^{48}Ti . Полученные данные также указывают на необходимость включения изовекторной компоненты мультиполь-мультипольных сил для выравнивания вклада протонной и нейтронной переходных плотностей для рассмотрения полумагических ядер.

5) Предложена простая квантовомеханическая модель выделения канала полного слияния в реакциях с тяжелыми ионами. С единственным набором параметров мнимой части оптического потенциала получено удовлетворительное описание экспериментальных данных по полным сечениям реакции и сечениям слияния для ряда ядер.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

Афанасьев Г.Н., Шилов В.М., Елисеев С.М. ЯФ, 25, 301 (1977); ОИЯИ, P2-9415, Дубна, 1975.

Afanasyev G.N., Galperin A.G., Shilov V.M., JINR, E4-10495, Dubna, 1977.

Афанасьев Г.Н., Шилов В.М. Изв. АН СССР, сер. физ., 42, 181 (1978); ОИЯИ, P4-10497, Дубна, 1977.

Афанасьев Г.Н., Шилов В.М. Избранные вопросы структуры ядра, ОИЯИ, Д-9682, с. 155, Дубна, 1976.

Афанасьев Г.Н., Шилов В.М. ЯФ, 26, 92 (1977);

ОИЯИ, P4-9890, Дубна, 1976.

Afanasyev G.N., Dobromyslov M.B., Kim Eung Poong, Shilov V.M. JINR, E4-9926, Dubna, 1976.

Афанасьев Г.Н., Добромислов М.Б., Ким Ынг Пхунг, Шилов В.М.

Изв. АН СССР, сер. физ., 41, 1650 (1977);

JINR, E4-10494, Dubna, 1977.

Л и т е р а т у р а

- I. Negele J.W. Phys. Rev. C1, 1260 (1970).
Vautherin D., Brink D.M. Phys. Lett. 32 B, 149 (1970).
Гончар В.Ю., Инопин Е.В., Куприков В.И. ЯФ, 25, 46 (1977).
2. Соловьев В.Г., Теория сложных ядер, М., Наука, 1971.
Soloviev V.G., Stoyanov Ch., Vdovin A.I., JINR, E4-10397,
Dubna, 1977.
3. Glas D., Mosel U. Nucl. Phys. A264, 268 (1976).
Вершинин Г.А., Черданцев П.А. ЯФ, 19, 1019 (1974)
4. Alkharov G.D., et al., Nucl. Phys. A274, 443 (1976).
5. Galin J. et al. Phys. Rev. C9, 1018 (1974).
6. Блатт Дж., Вайскопф В. Теоретическая ядерная физика,
МИИ, 1954.
Thomas T.D. Phys. Rev., 116, 703 (1959).
7. Tuan S.T., Wright L.E., Onley D.S., Nucl. Instr. and Meth.
60, 70 (1968).
8. Стародубский В.В., Шагинян В.Р., Шолохов Ю.И.
ЯФ, 25, 306 (1977).
9. Bertozzi W. et al. Phys. Lett. 41B, 408 (1972).
10. Frosch R.F., et al. Phys. Rev. 174, 1380 (1968).
11. Heisenberg J.H., McCarthy J.S., Sick I., Nucl. Phys. A164,
353 (1971).
12. Bertini R., et al. Phys. Lett. 45B, 119 (1973).
13. Афанасьев В.Д. и др. ЯФ, 10, 33 (1969).
14. Ngo C. et al. Nucl. Phys. A252, 237 (1975).
15. Vigdor S.E., Macroscopic Features of Heavy-Ion Collisions,
v. 1, Proceedings of the Symposium, Argonne, 1976, p. 95.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 1978 года.