

A-441

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4 - 11531

АКУЛИНИЧЕВ  
Сергей Всеволодович

ПОЛУМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

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.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук  
профессор В. Г. СОЛОВЬЕВ

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник Л. А. МАЛОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник И. Н. МИХАЙЛОВ

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник Ю. Н. ШУБИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, Москва.

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.

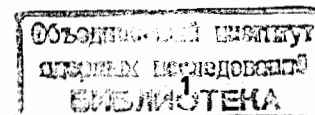
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук В. И. ЖУРАВЛЕВ

Общая характеристика работы

Актуальность проблем. Среди проблем ядерной физики одно из центральных мест занимает сейчас вопрос, связанные с гигантскими мультипольными резонансами. Эти резонансы являются общим свойством всех атомных ядер и поэтому описание резонансов представляет собой принципиально важную задачу любой ядерной модели, рассматривающей область малых и средних энергий возбуждения ядра. По своим характеристикам гигантские резонансы в различных ядрах проявляют как общие закономерности, так и индивидуальные особенности. Поэтому наибольшее значение для описания резонансов имеют различные микроскопические модели, которые позволяют полно и всесторонне исследовать гигантские резонансы для конкретных атомных ядер. Единое и завершенное микроскопическое описание различных свойств сложных атомных ядер как в области низколежащих состояний, так и в области гигантских резонансов было бы важным шагом в развитии теории атомного ядра. За последнее время сверхтекучая модель ядра  $^{1/}$ , иначе называемая полумикроскопическим подходом, достигла значительных успехов в описании свойств низколежащих состояний сложных ядер. Эта модель позволила получить количественные результаты, объясняющие многие экспериментальные данные для низколежащих возбужденных состояний и сделать предсказания, что, в свою очередь, стимулировало экспериментальные исследования.

В связи с успехами сверхтекучей модели ядра при описании низколежащих состояний сложных ядер весьма актуальной стала задача применить эту модель и для описания гигантских мультипольных резонансов. В ряде работ разрабатывался математический аппарат для полумикроскопического описания высоковозбужденных состояний ядер с учетом различных сложных конфигураций. Однако численный расчет такой задачи провести очень трудно даже с учетом лишь одно- и двухфонных конфигураций, особенно для гигантских резонансов в деформированных ядрах, где очень велика плотность состояний. Поэтому для приближенного описания гигантских резонансов в деформированных ядрах в рамках сверхтекучей модели необходимо опираться на однофонное приближение.



Кроме того, если для изучения E1-резонансов часто достаточно знания приведенной вероятности возбуждения состояний, которую легко связать с сечениями фотоядерных процессов, то для исследования других мультипольных резонансов важно рассматривать также различные реакции неупругого рассеяния частиц на ядрах. Использование различных типов таких реакций обычно позволяет выделять вклад в сечения реакций от интересующих нас резонансов. Поэтому для решения задачи о полумикроскопическом описании мультипольных резонансов нужно еще применить модельные волновые функции для непосредственного расчета сечений реакций. Заметим, что обратная задача о нахождении из эксперимента волновых функций ядра по сечениям реакций обладает большой неоднозначностью и не дает возможности строго проверить модельное описание гигантских резонансов.

Цель работы. Взяв за основу сверхтекучую модель ядра, единым образом описать процессы возбуждения широкого класса неротационных состояний деформированных ядер при взаимодействии с фотонами, электронами и протонами. Исследовать проявление в данных процессах гигантских мультипольных резонансов.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации реализуются широкие возможности использования сверхтекучей модели ядра для описания различных типов возбужденных состояний в деформированных ядрах.

В рамках сверхтекучей модели проведено исследование основных свойств гигантских резонансов в деформированных ядрах.

Впервые для широкой области деформированных ядер с использованием микроскопической модели проведено совместное исследование реакций фотопоглощения и фоторассеяния.

Новым вкладом является также применение полумикроскопических волновых функций для расчета сечений неупругого рассеяния электронов и протонов на деформированных ядрах. Использование этих реакций позволило проверить модельное описание гигантских резонансов и сделать предсказания относительно свойств неизученных пока резонансов высокой мультипольности.

Такое расширение области применения сверхтекучей модели ядра является важной проверкой модели и служит дальнейшему ее развитию.

#### Следующие результаты выдвигаются для защиты:

- 1) Дальнейшая разработка математических методов описания ангармоничности в нечетных ядрах.
- 2) Развитие соответствующего математического аппарата и расчет усредненных характеристик состояний деформированных ядер в широком диапазоне энергий возбуждения.
- 3) Исследование в рамках сверхтекучей модели ядра реакций фотопоглощения и фоторассеяния с возбуждением E1- и E2-резонансов.
- 4) Применение полумикроскопической модели ядра для расчета сечений неупругого рассеяния электронов средних энергий и быстрых протонов на деформированных ядрах. Исследование угловых зависимостей сечений рассеяния электронов и протонов.

Для рассеяния электронов – анализ и сопоставление с соответствующими экспериментальными данными.

Для рассеяния протонов – предсказания относительно возможности обнаружения гигантских резонансов высокой мультипольности.

Апробация работ. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, а также на Международной конференции по избраным вопросам структуры атомных ядер (Дубна, 1976 г.) и на 27 Советании по структуре атомных ядер (Ташкент, 1977 г.).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано девять статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания и заключения, содержит 119 страниц машинописного текста, 19 рисунков, 6 таблиц и библиографический список литературы из 111 названий.

#### Содержание работ

Введение содержит краткое обсуждение проблемы использования сверхтекучей модели ядра для описания возбужденных состояний сложных ядер при различных энергиях возбуждения.

В основе сверхтекучей модели лежат математические методы, разработанные в теории систем многих частиц Н.Н.Боголюбовым<sup>/2,3/</sup> и Дж.Бардином, Л.Купером и Дж.Шриффером<sup>/4/</sup>, а также ряд новых физических идей, касающихся эффективного взаимодействия нуклонов в ядрах. Теория парных корреляций сверхпроводящего типа в

атомных ядрах была развита независимо В.Г.Соловьевым<sup>/5/</sup> и С.Т.Беляевым<sup>/6/</sup>. Применение этой теории и метода приближенного вторичного квантования Н.Н.Боголюбова<sup>/3/</sup> позволило провести широкое изучение свойств низколежащих состояний в деформированных<sup>/1,7,8/</sup> и сферических<sup>/1,9/</sup> сложных ядрах.

Во введении также ставится задача полумикроскопического описания гигантских мультипольных резонансов. Показана важность использования различных ядерных процессов для проверки модельного описания гигантских резонансов.

В главе I кратко изложены основы сверхтекучей модели ядра. Задачей данной главы является обосновать те формулы сверхтекучей модели, которые в дальнейших главах будут использованы для расчета различных ядерных процессов.

§ I содержит краткое описание теории парных корреляций частиц сверхпроводящего типа<sup>/5/</sup>. В этом параграфе приводятся решения задачи о парных корреляциях на основе вариационного принципа Хартри-Фока-Боголюбова.

В § 2 проводится рассмотрение вибрационных состояний четных деформированных ядер. Для описания таких состояний используется метод приближенного вторичного квантования<sup>/3/</sup>. В качестве остаточного взаимодействия используются мультиполь-мультипольные силы, содержащие как изоскалярную, так и изовекторную составляющие<sup>/11/</sup>. Приведенные в этом параграфе уравнения позволяют описывать однофононные возбужденные состояния четно-четных деформированных ядер в широком диапазоне энергий.

В § 3 рассматриваются коллективные возбужденные состояния нечетных деформированных ядер. Используется предложенный в работе<sup>/12/</sup> способ описания неротационных состояний нечетных ядер с учетом взаимодействия квазичастиц с колебаниями четно-четного остова. Приведенные в данном параграфе уравнения позволяют описывать возбужденные состояния нечетных ядер без введения дополнительных параметров, если предварительно была решена задача для однофононных состояний четно-четного остова. В этом параграфе рассмотрены также некоторые возможности учета ангармоничности в нечетных ядрах. Приводится приближенное решение задачи на собственные значения для нечетного ядра с учетом одно- и двухфононных конфигураций в случае двух близких энергетических полюсов. Предложенная методика может быть полезной при исследовании конкретных возбужденных состояний нечетных ядер.

В главе II диссертации проводится полумикроскопическое описание усредненных характеристик высоковозбужденных состояний четных и нечетных деформированных ядер. Возбужденные состояния ядер рассматриваются в гармоническом (однофононном) приближении. Для описания среднего поля ядер в этой главе, как и в последующих, используется потенциал Саксона-Вудса с параметрами из работ<sup>/7,8/</sup>. Константы парного взаимодействия  $G_N$  и  $G_Z$  подобраны по экспериментальным значениям парных энергий. Константы изоскалярного мультипольного взаимодействия  $\mathcal{E}_0^{(2)}$ ,  $\mathcal{E}_0^{(3)}$  подбираются по экспериментальному положению первых вибрационных состояний. Константы изовекторного мультипольного взаимодействия  $\mathcal{E}_1^{(4)}$  определяются по экспериментальному положению соответствующих изовекторных резонансов.

В § I рассмотрены четно-четные ядра редкоземельной и трансурановой областей. Основной рассчитываемой величиной являются силовые функции

$$B(EL) = \frac{\Delta}{2\pi} \sum_i \frac{B_i(EL)}{(\omega - \omega_i)^2 + (\Delta/2)^2}, \quad (I)$$

где  $B_i(EL)$  - приведенные вероятности электромагнитного или "изоскалярного"<sup>/13/</sup> возбуждения индивидуальных уровней,  $\omega$  - энергия, при которой рассчитывается силовая функция,  $\Delta$  - свободный параметр, который играет роль ширины распределения однофононных состояний. В диссертации используется то, что такие общие характеристики резонансов, как ширина области локализации резонансов  $\Gamma_{рез}$  и интегральная структура не зависят от  $\Delta$  при условии  $\Delta \ll \Gamma_{рез}$ .

Для расчета  $B(EL)$  использовался метод непосредственного расчета силовых функций без определения конкретных возбужденных состояний, который предложен О.Бором и Б.Моттельсоном<sup>/14/</sup>. Конкретные выражения для силовой функции в случае четно-четных ядер получены, например, в работе<sup>/11/</sup>. Часть результатов расчетов силовых функций приведена на рис. I, где показанные для некоторых ядер изоскалярные ( $T=0$ ) и изовекторные ( $T=1$ ) резонансы мультипольностей  $L = 1, 2, 3$ . Силовые функции для  $L = 2, 3$  были рассчитаны также в работах<sup>/15/</sup>.

Знание соответствующих силовых функций очень важно для расчета сечений фотопоглощения, фоторассеяния и неупругого рассеяния частиц. Кроме того, в этом параграфе представлены результаты

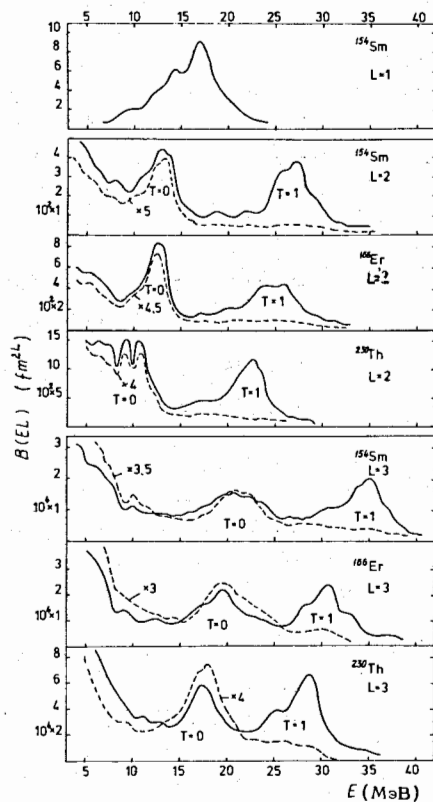


Рис. 1. Электромагнитные и "изоскалярные" (показаны пунктиром) силовые функции для возбуждения состояний различной мультипольности в деформированных ядрах.

расчета приведенных вероятностей "изоскалярного" возбуждения нижайших уровней некоторых деформированных ядер. Пока не имеется экспериментальных данных для этих величин, однако их исследование было бы весьма полезно для проверки модельного описания низлежащих состояний.

§ 2 главы II посвящен расчету силовых функций в нечетных ядрах. Здесь также используется метод непосредственного расчета силовых функций. В данном параграфе приводится подробный вывод расчетной формулы для силовой функции, поскольку это представляет самостоятельный интерес. Приведены результаты расчета силовых функций для некоторых нечетных ядер в области энергий от нижайших возбужденных состояний до гигантских резонансов. Получено хорошее согласие с экспериментом, например, для изоскалярного квадрупольного резонанса в ядре  $^{165}\text{Ho}$ , для которого имеются соответствующие экспериментальные данные. В целом расчет показал, что гигантские резонансы в нечетных ядрах не сильно отличаются от соответствующих резонансов в соседних четных ядрах.

В главе III диссертации рассмотрены процессы взаимодействия фотонов с ядрами.

§ I посвящен исследованию процесса фотопоглощения с возбуждением E1-резонансов в деформированных ядрах. Как показано в монографии <sup>14/</sup>, сечения фотопоглощения в длинноволновом приближении могут быть легко связаны с силовыми функциями электромагнитного возбуждения. Таким образом, рассчитанные в рамках сверхтекучей модели силовые функции дадут возможность непосредственно получать модельные сечения фотопоглощения.

На рис. 2 показаны некоторые результаты расчетов сечений фотопоглощения. Как следует из этого рисунка, получено хорошее описание основных свойств E1-резонансов в деформированных ядрах. Результаты расчета сечений фотопоглощения позволяют сделать вывод, что сверхтекучая модель ядра хорошо описывает не только интегральные характеристики E1-резонансов, но и макроструктуру этих резонансов.

В § 2 главы III исследованы сечения квазиупругого и неупругого рассеяния фотонов на деформированных ядрах. При этом учитывалось возбуждение на промежуточном этапе ядерных состояний, образующих E1- и E2-резонансы. Для расчета сечений использовался формализм длинноволнового приближения, развитый в работе <sup>18/</sup>. Амплитуды рассеяния, содержащие всю ядерную информацию, рассчи-

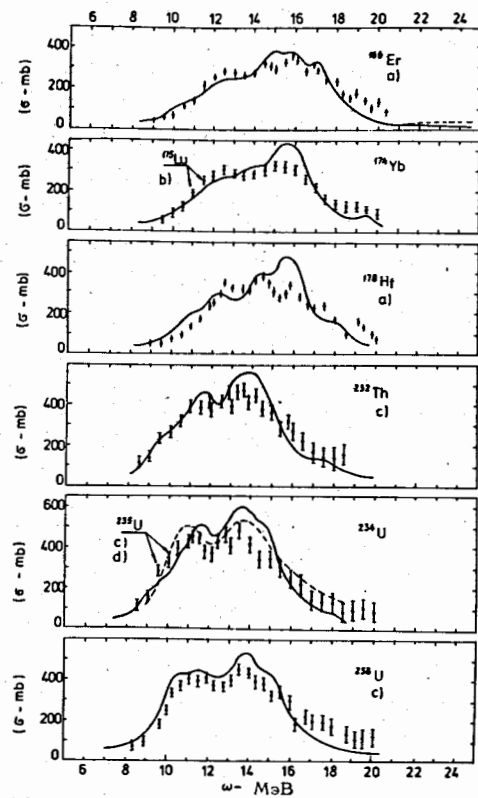


Рис. 2. Сечения фотопоглощения. Ссылки по экспериментальным данным можно найти в работе /17/.

тывались для случая возбуждения однофононных состояний в рамках сверхтекучей модели.

В данном параграфе получено хорошее описание основного дипольного рассеяния неполяризованных фотонов.

Исследование угловой зависимости сечений фоторассеяния, а также использование рассеяния поляризованных фотонов позволило рассмотреть неупругое фоторассеяние и влияние квадрупольных резонансов на сечение данного процесса. Для неупругого рассеяния рассматривался тот случай, когда конечное состояние ядра соответствует первому вращательному состоянию  $I^{\pi} = 2^{+}$ . В диссертации, в частности, было показано, что при определенных условиях изовекторный квадрупольный резонанс вносит заметный вклад в сечения рассеяния фотонов.

Глава IV диссертации посвящена описанию неупругого рассеяния электронов и протонов на деформированных ядрах с возбуждением различных гигантских резонансов.

В § I проводится полумикроскопический расчет переходных плотностей, которые могут быть использованы для исследования неупругого рассеяния различных частиц. Для перехода с возбуждением однофононного состояния в четном деформированном ядре в рамках используемой модели получено выражение

$$\rho_L^{n(p)} = \sum_{\alpha, \beta} \langle \beta | M_{L\mu}(z) | \alpha \rangle \frac{\langle \beta | f^L | \alpha \rangle u_{\alpha\beta}^2 [\epsilon(\alpha) + \epsilon(\beta)]}{\sqrt{N_g^{n(p)}} [(\epsilon(\alpha) + \epsilon(\beta))^2 - \omega_g^2]}, \quad (2)$$

где

$$M_{L\mu}(z) = \sum_{\alpha} \frac{\delta(z - z_{\alpha})}{z_{\alpha}^2} Y_{L\mu}^*(\hat{z}_{\alpha}), \quad f^{L\mu \neq 0} = \frac{z^L}{\sqrt{2}} (Y_{L\mu} + (-1)^{\mu} Y_{L, -\mu}),$$

$\epsilon(\alpha)$  - квазичастичная энергия,  $u_{\alpha\beta}$  - комбинация коэффициентов преобразования Боголюбова,  $\omega_g$  - энергия фонона,  $N_g$  - нормировочные множители, выражения для которых можно найти, например, в работе /11/.

Рассчитанные переходные плотности ведут себя весьма индивидуально во внутренней области ядра, но все они имеют максимум на границе ядра, что является общим свойством переходных плотностей.

В § 2 с использованием полумикроскопических переходных плотностей рассчитаны сечения неупругого рассеяния электронов с энер-

гией 60–105 МэВ для случая деформированного ядра  $^{152}\text{Sm}$ . Расчет сечений производился в рамках приближения коаксиальных волн  $\text{DWBA}$ , которое хорошо работает в рассматриваемом интервале энергий электронов. Сопоставление результатов расчетов с некоторыми экспериментальными данными показано на рис. 3. Расчет показал, что используемая модель дает правильное соотношение между E1- и E2-резонансами. Подтвердилось также правильное энергетическое положение этих резонансов. С ростом переданного импульса, как известно, усиливается возбуждение резонансов с высокой мультипольностью. Как видно из нижнего графика на рис. 3, уже при  $E_0 = 105$  МэВ, и  $\theta = 75^\circ$  заметный вклад в сечение дает изовекторный E3-резонанс. Полученные в данном параграфе угловые зависимости сечений рассеяния электронов могут быть полезны при анализе вкладов в сечения от различных гигантских резонансов.

В § 3 главы IV рассматривается неупругое рассеяние протонов с энергией 1 ГэВ. В последнее время существенно возрос интерес к этой реакции и был проведен ряд экспериментов в Сакле и в Гатчине. Рассеяние быстрых протонов обладает рядом преимуществ по сравнению с рассеянием протонов малых и средних энергий. В частности, существенно упрощается теоретическое описание данной реакции. В диссертации используется модель Глаубера  $^{21/}$ , которая хорошо описывает данную реакцию для рассматриваемой области энергии. Информацию о возбужденных состояниях ядра несут по-прежнему полумикроскопические переходные плотности. На примере деформированного ядра  $^{154}\text{Sm}$  были рассчитаны интегральные и дифференциальные сечения для возбуждения гигантских резонансов мультипольности  $L = 1, \dots, 5$ . На рис. 4 показано, что для любого рассмотренного изоскалярного резонанса можно подобрать угол рассеяния, позволяющий наблюдать преимущественно данный резонанс. Предсказанные в этом параграфе закономерности проявления гигантских резонансов и их свойства могут быть полезны при анализе экспериментальных данных для ряда деформированных и сферических ядер.

В заключении диссертации перечисляются основные результаты и кратко обсуждаются их физические следствия.

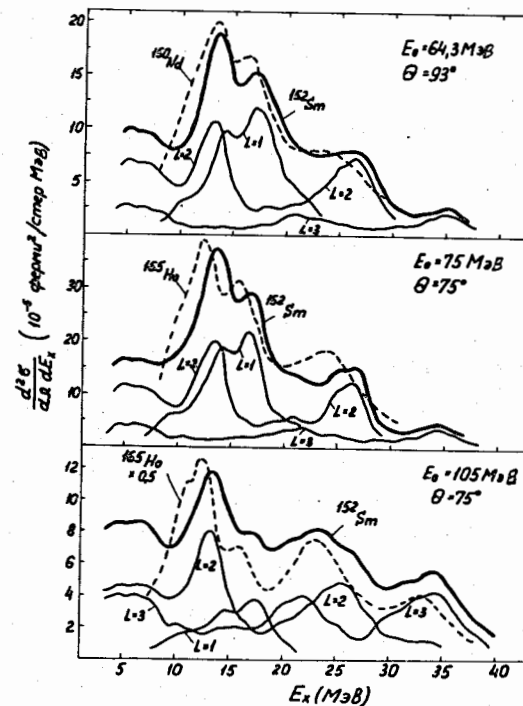


Рис. 3. Дифференциальные сечения рассеяния электронов с возбуждением гигантских резонансов в ядре  $^{152}\text{Sm}$  (непрерывные линии). Экспериментальные данные (показаны пунктиром) взяты из работ  $^{19/}$  — для ядра  $^{150}\text{Nd}$  и из работ  $^{20/}$  — для ядра  $^{165}\text{Ho}$ .

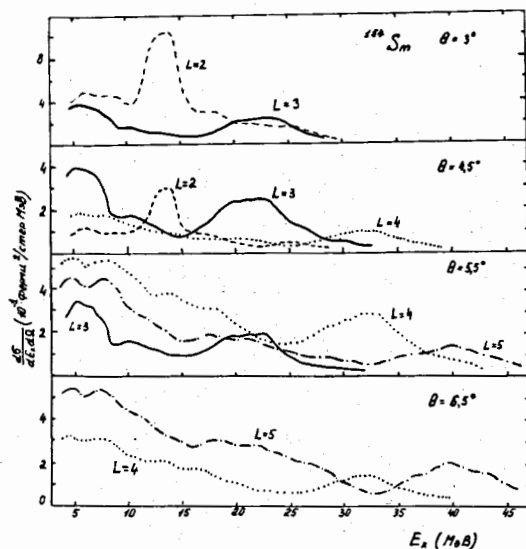


Рис. 4. Дифференциальные сечения возбуждения гигантских резонансов при рассеянии протонов с энергией 1 ГэВ на различные углы

#### Основные результаты, полученные в диссертации

1. Получен способ приближенного решения задачи на собственные значения с учетом ангармоничности вибрационных состояний в нечетных ядрах для случая двух близких энергетических полюсов.

2. Рассчитаны силовые функции для широкой области возбужденных состояний в четных ядрах с учетом изоскалярного и изовекторного остаточного мультиполь-мультипольного взаимодействия.

3. Получены формулы для силовых функций в нечетных ядрах и произведен соответствующий расчет для возбужденных состояний нечетных ядер, включая область изоскалярных E2-резонансов. Для E2-резонанса в ядре  $^{165}\text{Sm}$  получено хорошее согласие с экспериментом.

4. Для широкой области деформированных ядер исследованы сечения фотопоглощения с возбуждением E1-резонансов. Получено хорошее описание экспериментальных данных.

5. Рассчитаны сечения рассеяния неполяризованных и поляризованных фотонов на деформированных ядрах. Получено правильное описание вклада от E1-резонанса в сечение квазиупругого фоторассеяния. Проанализировано влияние неупругого рассеяния и рассеяния с возбуждением E2-резонансов.

6. С использованием полумикроскопических переходных плотностей для ядра  $^{152}\text{Sm}$  рассчитаны в рамках DWBA сечения неупругого рассеяния электронов с энергией 60–105 МэВ. Показано, что используемая ядерная модель дает правильное соотношение между E1- и E2-резонансами. Рассмотрено также проявление E3-резонанса в данном процессе.

7. Предсказаны закономерности проявления изоскалярных резонансов мультипольности  $L = 2, \dots, 5$  в реакции неупругого рассеяния протонов с энергией 1 ГэВ. Для этого использованы полумикроскопические переходные плотности и описание реакции в рамках модели Глаубера.

#### Результаты диссертации опубликованы в работах:

С.В.Акулиничев, Л.А.Малов. ОИЯИ Р4-8433, Дубна, 1974.

С.В.Акулиничев, Л.А.Малов. ОИЯИ Р4-9672, Дубна, 1976.

С.В.Акулиничев, Л.А.Малов. ОИЯИ Е4-9753, Дубна, 1976.

S.V.Akulonichev, L.A.Malov, J. Phys. G: Nucl. Phys., **3**, 625 (1977); ОИЯИ Р4-9873, Дубна, 1976.

С.В.Акулиничев. Изв. АН СССР, сер. физ., **41**, 1676 (1977); ОИЯИ Е4-10346, Дубна, 1976.

С.В.Акулиничев, В.М.Шилов. ЯФ, **27**, 670 (1978); ОИЯИ Р4-70602, Дубна, 1977.

S.V.Akulonichev, V.M.Shilov, J. Phys. G: Nucl. Phys., **3**, 1213 (1977); ОИЯИ Р4-10603, Дубна, 1977.

С.В.Акулиничев, В.М.Шилов. ОИЯИ Р4-10742, Дубна, 1977.

С.В.Акулиничев, В.М.Шилов. ОИЯИ Р4-10940, Дубна, 1977.



### Л и т е р а т у р а

1. В.Г.Соловьев. Теория сложных ядер. М., Наука, 1971.
2. Н.Н.Боголюбов. ЖЭТФ, 34, 73 (1958).
3. Н.Н.Боголюбов. Докци по квантовой статистике. Киев, Изд. "Радянська школа", 1947.
4. J.Vardeen, L.Cooper, J.Schrieffer. Phys. Rev., 108, 1175 (1957).
5. В.Г.Соловьев. ЖЭТФ, 35, 825 (1958); 36, 1869 (1959).  
В.Г.Соловьев. Докл. АН СССР, № 3,4 (1958).
6. S.T.Belyaev. Mat. Fys. Medd. Dann. Vid. Selsk., 31, N 11 (1959).
7. Е.П.Григорьев, В.Г.Соловьев. Структура четных деформированных ядер. М., Наука, 1974.
8. С.П.Иванова, А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев. ЭЧАЯ, 7, 450 (1976).
9. L.S.Kisslinger, R.A.Sorensen. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. 32, N 9 (1960).  
Б.Л.Бирбраир, К.И.Ерохина, И.Х.Лемберг. Изв. АН СССР сер. Физ., 27, 150 (1963).  
А.И.Вдовин и др. ЭЧАЯ, 7, 952 (1976).
10. V.G.Soloviev, L.A.Malov. Nucl. Phys., A196, 433 (1972).  
Г.Кирчев, В.Г.Соловьев. ТМФ, 22, 244 (1975).
11. Л.А.Малов, В.О.Нестеренко, В.Г.Соловьев. ТМФ, 32, 134 (1977).
12. V.G.Soloviev. Phys. Lett., 16, 308 (1965).
13. В.В.Балашов. Труды УШ зимней школы ЛИЯФ по ядерной физике, Ленинград, ч. II, с. 255, 1973.
14. О.Бор, Б.Моттальсон. Структура атомного ядра, М., Мир, 1971.
15. Л.А.Малов, В.О.Нестеренко, В.Г.Соловьев. Phys. Lett., 64B, 249 (1976).  
Г.Кирчев и др. ЯФ, 25, 951 (1977).
16. Дж. Левинджер. Фотоядерные реакции, М., ИИЛ, 1962.
17. S.V.Akulinichev, L.A.Malov. J. Phys. G. Nucl. Phys. 3, 625 (1977).
18. H.Arenhövel, W.Greiner. Progr. Nucl. Phys., 10, 167 (1969).
19. A.Schwierczinski et al. Phys. Lett., 55B, 171 (1975).
20. G.L.Moore et al. Naval Postgraduate School, California, 1975.
21. R.J.Glauber. Lectures in Theoretical Physics, Inter Publ., New York, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 апреля 1978 года.