

---

7 - 18

4-81-648

Чан Зуй Кхыонг

ПРИНЦИП ПАУЛИ И ФРАГМЕНТАЦИЯ  
ОДНОКВАЗИЧАСТИЧНЫХ СОСТОЯНИЙ  
В НЕЧЕТНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

В.В.ВОРОНОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

С.И.ДРОЗДОВ

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

В.И.ФУРМАН

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

Автореферат разослан " " 1981 года.

Защита состоится " " 1981 года на заседании Специализированного совета К047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Московская обл., г.Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

В.И.Журавлев

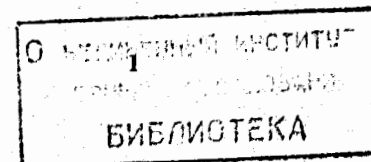
Актуальность проблемы. С ростом энергии возбуждения увеличивается плотность состояний в атомных ядрах и усложняется их структура. Осуществляется переход от простых низколежащих состояний к более сложным при средних и высоких энергиях возбуждения. Этот процесс в разной степени проявляется в различных ядрах, отражая индивидуальность их свойств.

Усложнение структуры возбужденных состояний, т.е. появление в их волновых функциях все большего числа все более сложных компонент, означает, с другой стороны, что оболочечные двух-, трех- и многочастичные конфигурации не проявляются в чистом виде, начиная с некоторой энергии возбуждения. В результате взаимодействия с другими конфигурациями они фрагментируются, "размазываются" по большому числу ядерных состояний. Процесс усложнения структуры и увеличения плотности состояний в нечетных сферических и деформированных ядрах в значительной степени определяется фрагментацией (распределением силы) одноквазичастичных состояний по многим ядерным уровням. Фрагментация является, например, причиной существования больших ширин у гигантских резонансов и глубоколежащих дырочных состояний в сферических ядрах.

Таким образом, роль механизма фрагментации следует признать ключевой для понимания процесса усложнения структуры атомных ядер по мере роста их энергии возбуждения. С этой точки зрения представляется вполне естественным, что первым шагом на пути исследования фрагментации ядерных состояний должно быть изучение фрагментации простейших конфигураций (одночастичных или частично-дырочных).

За последнее десятилетие проведено большое количество экспериментальных исследований фрагментации одноквазичастичных состояний как в деформированных<sup>1,2/</sup>, так и в сферических ядрах<sup>3,4/</sup>. Из экспериментальных данных по спектроскопическим факторам или силовым функциям можно извлечь сведения о величинах одноквазичастичных компонент. Ценная информация получена о фрагментации глубоколежащих дырочных состояний в нечетных сферических ядрах.

Наряду с экспериментальным изучением фрагментации силы простых оболочечных конфигураций ее теоретическому анализу и количественным расчетам в рамках различных моделей также посвящен ряд работ. Однако до недавнего времени теоретическое описание этого физического явления основывалось на упрощенных предположениях<sup>5,6/</sup>. Считается,



например, что сила одночастичного состояния при средних и высоких энергиях возбуждения распределена по брейт-вигнеровскому закону с центром, совпадающим с одночастичной или квазичастичной энергией данного состояния. Обычно исключается какая-либо зависимость фрагментации рассматриваемого состояния от его квантовых характеристик, от того, частичное это состояние или дырочное. Предполагается, что структурные особенности конкретного ядра мало влияют на фрагментацию.

Более строгое рассмотрение<sup>/7/</sup>, проведенное с учетом взаимодействия одночастичных состояний с более сложными, показало, что фрагментация силы состояния — явление весьма сложное. Фрагментация существенно зависит от положения и квантовых чисел одноквазичастичных состояний и от коллективных характеристик возбуждений ядер. Форма распределения в большинстве случаев сильно отличается от брейт-вигнеровской<sup>/8,9/</sup>. Фрагментация одноквазичастичных состояний нечетных ядер при промежуточных и высоких энергиях возбуждения интенсивно изучается в рамках квазичастично-фононной модели<sup>/10,11/</sup>. Успех этой модели в изучении низколежащих состояний большого числа ядер, а также ее возможность единообразно описывать состояния ядра при низких, промежуточных и высоких энергиях возбуждения<sup>/12/</sup>, позволяют применить модель при количественном исследовании фрагментации<sup>/13-15/</sup>. В данной модели основным механизмом фрагментации считается взаимодействие одноквазичастичных состояний с фононными возбуждениями четно-четного остова. При этом сила взаимодействия не является свободным параметром, как в феноменологических моделях, а определяется структурой фононов.

Цель работы. Развить в рамках квазичастично-фононной модели ядра формализм, позволяющий точно учитывать принцип Паули в уравнениях, описывающих фрагментацию одноквазичастичных компонент волновых функций нечетных сферических ядер, и исследовать его влияние на фрагментацию таких компонент. Провести сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными по фрагментации глубоколежащих дырочных состояний сферических ядер и нейтронным силовым функциям.

#### Научная новизна и практическая ценность

В диссертации продемонстрированы широкие возможности квазичастично-фононной модели по изучению фрагментации одноквазичастичных состояний в различных средних и тяжелых сферических ядрах. Исследование фрагментации глубоколежащих дырочных состояний ядер нечетных изотопов олова позволило количественно объяснить существование обнаруженной в эксперименте подструктуры в сечении дипольного фотопоглощения в этих ядрах.

Новым вкладом является дальнейшее развитие модели, заключающееся в разработке более последовательного способа учета принципа Паули, который основывается на точных коммутационных соотношениях между квазичастичными и фононными операторами. Получены основные уравнения и формулы модели, в которых строго учитывается фермионная структура фононов. С помощью этих уравнений и формул на примере конкретных ядер изучено влияние принципа Паули на структуру низколежащих состояний и фрагментацию одноквазичастичных состояний. Сопоставлены два способа учета принципа Паули: точный и приближенный. Подчеркнута важность точного учета принципа Паули при описании низколежащих состояний и показана эффективность приближенной процедуры учета в исследовании фрагментации одноквазичастичных состояний при промежуточных и высоких энергиях возбуждения.

Рассчитаны  $S$  - и  $p$  - нейтронные силовые функции для обширного круга нечетных сферических ядер. Результаты расчетов хорошо воспроизводят экспериментальные данные.

Апробация работы. Результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, IV Международной школе по физике атомного ядра, нейтронной физике и ядерной энергетике (г. Варна, НРБ, 1979 г.), XУШ Международной зимней школе по ядерной физике (Бельско-Бяла, ПНР, 1980 г.), У Всесоюзной конференции по нейтронной физике (Киев, 1980 г.).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано семь работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения; она содержит 121 страницу машинописного текста, 17 рисунков, 13 таблиц и библиографический список из 114 названий.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обрисовывается процесс усложнения структуры и увеличения плотности состояний сложных ядер по мере роста их энергии возбуждения, раскрывается роль механизма фрагментации простейших конфигураций как ключевая для понимания этого процесса. Подчеркивается актуальность изучения фрагментации малоквазичастичных компонент волновых функций ядер (одноквазичастичных компонент в случае нечетных ядер и однофононных в случае четно-четных) как первого шага на пути исследования фрагментации ядерных состояний. Далее дается краткий обзор экспериментального материала и теоретических исследований по фрагментации в рамках различных моделей. Отмечаются недостатки старых подходов и ограниченности феноменологических моделей. Особое внимание уделяется результатам изучения фрагментации одно-

квазичастичных состояний в деформированных и сферических ядрах, полученным в рамках квазичастично-фононной модели. Подчеркиваются достоинства этой модели по сравнению с феноменологическими моделями. Перечисляются достигнутые успехи, упоминаются существующие проблемы и в общих чертах намечается путь их разрешения. Сформулирована основная задача диссертации: разработать в рамках квазичастично-фононной модели формализм, позволяющий точно учитывать влияние принципа Паули на фрагментацию одноквазичастичных состояний в нечетных сферических ядрах; провести расчеты фрагментации таких состояний, а также нейтронных силовых функций нечетных сферических ядер и сравнить их с экспериментальными данными.

Первая глава носит преимущественно вводный характер. В ней кратко сформулированы основные положения квазичастично-фононной модели применительно к сферическим ядрам.

Введение к этой главе содержит краткую характеристику квазичастично-фононной модели. Отмечается, что современное состояние модели позволяет применить ее к изучению обширного круга ядерных процессов в широком интервале энергий возбуждения.

В § I описывается гамильтониан квазичастично-фононной модели. Гамильтониан включает среднее поле (потенциал Саксона-Вудса) для нейтронов и протонов; короткодействующую часть остаточного взаимодействия, приводящую к парным корреляциям сверхпроводящего типа; дальнедействующую часть остаточного взаимодействия, состоящую из изоскалярных и изовекторных мультипольных и спин-мультипольных сил. Данный вид гамильтониана в терминах операторов рождения и уничтожения квазичастиц и фононов. Используемый в расчетах спектр фононных возбуждений весьма широк и включает наряду с обычными квадрупольными и октупольными фононами также мультипольные и спин-мультипольные фононы с моментами и четностями  $\lambda^{\pi} = 1^{-}, 4^{+}, 5^{-}, 6^{+}, 7^{-}$  и  $L^{\pi} = 1^{+}, 2^{-}, 3^{+}, \dots, 7^{+}$  соответственно. При переходе к нечетным ядрам гамильтониан не содержит свободных параметров.

В § 2 из вариационного принципа выведены основные уравнения модели для определения энергий и волновых функций нечетных сферических ядер. При этом учитывается взаимодействие одноквазичастичных состояний только с конфигурациями типа "квазичастица плюс фонон".

В § 3 получены формулы для приведенных вероятностей электромагнитных переходов в нечетных сферических ядрах.

В § 4 кратко изложен метод силовых функций, являющийся эффективным инструментом при изучении фрагментации малоквазичастичных компонент волновых функций ядер и вычислении усредненных по некоторому энергетическому интервалу ядерных характеристик, непосредственно связанных с такими компонентами.

Все уравнения и формулы, приведенные в §§ 2-4 данной главы, были получены в приближении случайных фаз (RPA) и при предположении о том, что нечетная квазичастица не влияет на структуру фононных возбуждений четно-четного остова. Соответственно принцип Паули в этих уравнениях и формулах учитывается приближенно в ходе проведения численных расчетов на ЭВМ.

Вторая глава посвящена разработке в рамках квазичастично-фононной модели формализма, позволяющего точно учитывать принцип Паули в уравнениях для нечетных сферических ядер. На примерах конкретных ядер с помощью вновь полученных уравнений изучено влияние точного учета принципа Паули на структуру низколежащих уравнений и фрагментацию одноквазичастичных состояний в нечетных сферических ядрах; проведено сравнение результатов точного и приближенного учета принципа Паули.

Глава начинается с введения, в котором кратко излагается сущность проблемы и показана актуальность ее исследования. Описывается приближенная процедура учета принципа Паули, отмечаются ее эффективность и ограниченность. Подчеркивается необходимость более строгого и последовательного подхода. Упоминаются основные работы в этом направлении.

В § I на основе точных коммутационных соотношений между квазичастичными и фононными операторами из вариационного принципа выведены основные уравнения для нечетного сферического ядра, в которых принцип Паули учитывается явным образом. После некоторого упрощения получена система приближенных уравнений, прямо реализуемая на ЭВМ. Эти уравнения проанализированы и сопоставлены с теми, которые были получены в гл. I. Показано, что уравнения, выведенные в первой главе, являются частным случаем уравнений, полученных при строгом учете принципа Паули. Отмечается, что хотя точный учет принципа Паули приводит к более сложным с вычислительной точки зрения уравнениям, принципиальных трудностей при их решении не возникает. Получены также модифицированные формулы для силовых функций и приведенных вероятностей электромагнитных переходов, содержащие поправки на принцип Паули.

В § 2 исследовано влияние точного учета принципа Паули на структуру низколежащих состояний и фрагментацию одноквазичастичных состояний в ядрах  $^{57, 59}Ni$ ,  $^{119}Sn$  и  $^{205}Pb$ . Показано, что точный учет принципа Паули приводит к заметному сдвигу полюсов "квазичастица плюс фонон" и существенному изменению в энергиях и структуре некоторых низколежащих состояний указанных нечетных

сферических ядер. Следовательно, при описании таких состояний приближенный учет принципа Паули оказывается недостаточным и его следует учесть точно. Что касается фрагментации одноквазичастичных состояний в этих ядрах при промежуточных и высоких энергиях возбуждения, то два способа учета принципа Паули (приближенный и точный) дают для них почти одинаковый результат (см. рис. I).

Глава заканчивается обсуждением причины наиболее вероятного нарушения принципа Паули в компонентах "квазичастица плюс фонон" в волновых функциях низколежащих состояний нечетных сферических ядер. Сделан вывод о важной роли точного учета принципа Паули при описании структуры низколежащих состояний и вычислении вероятностей электромагнитных переходов между ними. Отмечено, что в расчетах фрагментации одноквазичастичных состояний при промежуточных и высоких энергиях возбуждения можно ограничиться приближенной процедурой учета принципа Паули как эффективной и экономной с точки зрения реализации на ЭВМ.

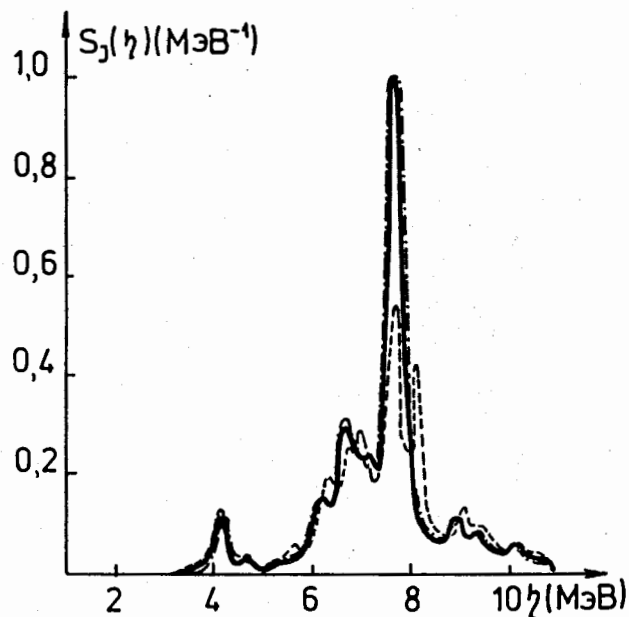


Рис. I. Фрагментация дироного состояния  $1h_{11/2}$  в  $^{205}Pb$ : сплошная линия - приближенный учет принципа Паули; штрих - пунктирная линия - точный учет принципа Паули, штриховая линия - случай, когда принцип Паули не учитывается.

В третьей главе представлены расчеты фрагментации одноквазичастичных состояний для средних и тяжелых нечетных сферических ядер, параллельно проводится сравнение результатов этих расчетов с экспериментальными данными.

Во введении к этой главе изложена методика проведения численных расчетов в рамках квазичастично-фононной модели. Приведены параметры среднего поля (потенциала Саксона-Вудса) для нейтронов и протонов, с которыми вычисляется одночастичный базис (одночастичные энергии и матричные элементы); описан способ определения других параметров модели: констант спаривательных сил, мультипольных и спин-мультипольных констант. Расчеты проведены на основе формул, полученных в гл. I и II, с помощью программы *PHOQUS* /16/.

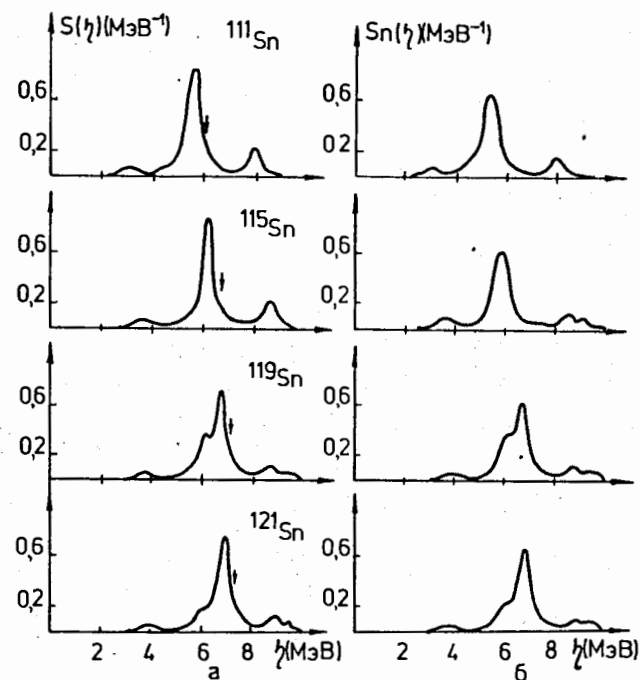


Рис. 2. Силовая функция  $S_{g/2}(\eta)$  для изотопов Sn: а) расчет с использованием только квадрупольных и октупольных фононов; б) расчет с использованием большего фононного пространства. Стрелки - положение одноквазичастичного уровня  $1g_{7/2}$ .

§ I посвящается исследованию фрагментации глубоколежащих нейтронных дырочных состояний в нечетных изотопах  $Sn$ . Интерес к этой проблеме возник в связи с обнаружением рядом экспериментальных групп резонансно-подобных структур в сечениях реакций подхвата на различных ядрах. В недавних экспериментах по  $(d, t)$  - реакциям на изотопах  $Sn$  наблюдался пик при энергиях возбуждения 5 - 7 МэВ, связанный с возбуждением глубоколежащих дырочных состояний  $1g_{9/2}$ ,  $2p_{1/2}$  и  $2p_{3/2}$ . В области пика исчерпывается 15 - 25 % полной силы состояния  $1g_{9/2}$ . В данном параграфе рассчитана фрагментация этих состояний (рис. 2 и 3), проведено сравнение с экспериментальными данными и другими теоретическими расчетами.

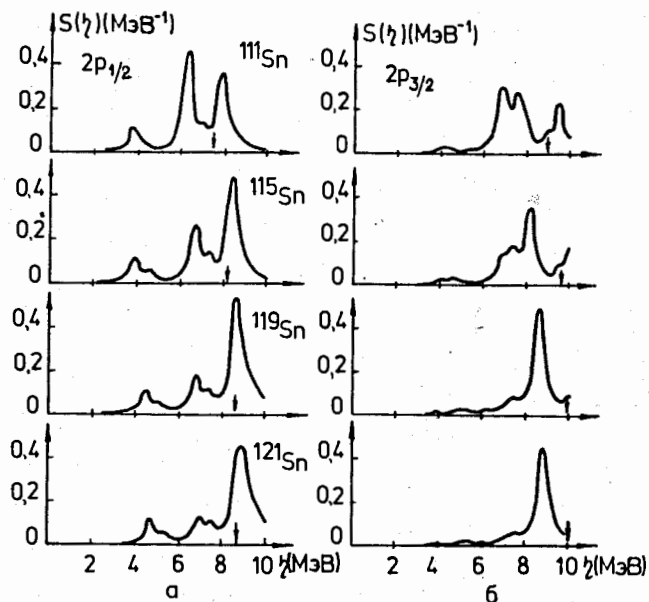


Рис. 3. Силовые функции состояний  $2p_{1/2}$  и  $2p_{3/2}$  для изотопов  $Sn$ . Расчет с использованием большого фоновго пространства:

а -  $S_{1/2}(\eta)$ ;

б -  $S_{3/2}(\eta)$ .

Стрелки - положение одноквазичастичных уровней  $2p_{1/2}$  (а) и  $2p_{3/2}$  (б).

Получено, что в области пика сосредоточено 45 % силы состояния  $1g_{9/2}$ , что лучше согласуется с экспериментом /17/, чем у авторов работы /18/. Результаты расчетов фрагментации состояний  $2p_{1/2}$  и  $2p_{3/2}$  в ядре  $^{115}Sn$  находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными /17/ (в указанной области энергий теоретически исчерпывается ~ 13 % суммарной силы  $2p$  - состояний, а в эксперименте ~ 11 %). Показано, что главную роль в фрагментации глубоколежащих дырочных состояний играет взаимодействие квазичастиц с квадрупольными и октупольными фононами.

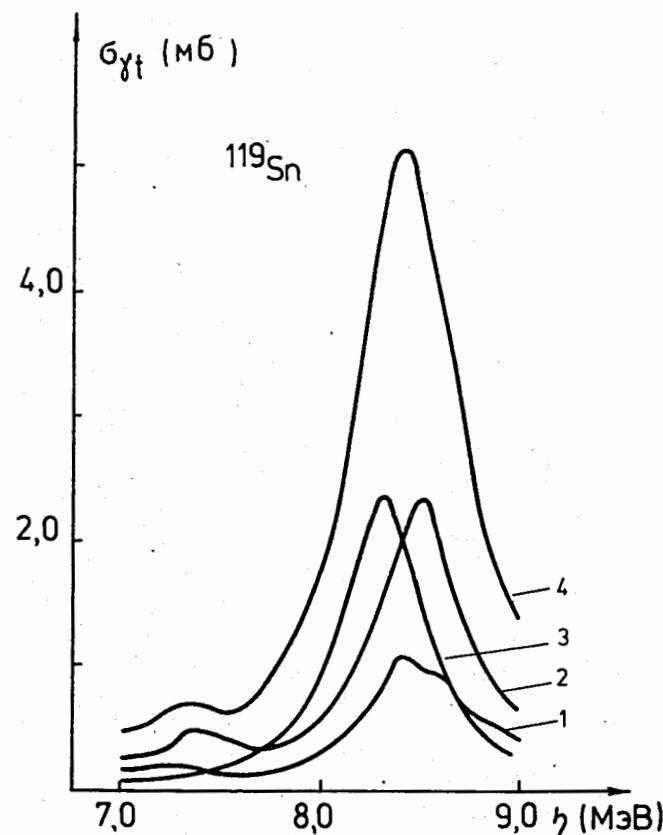


Рис. 4. Сечение дипольного фотопоглощения  $\sigma_{\gamma t}$  для  $^{119}Sn$

1 -  $\sigma_{\gamma t}(E1)$  для перехода  $3s_{1/2} \rightarrow 2p_{1/2}$ ;

2 -  $\sigma_{\gamma t}(E1)$  для перехода  $3s_{1/2} \rightarrow 2p_{3/2}$ ;

3 -  $\sigma_{\gamma t}(M1)$ ;

4 -  $\sigma_{\gamma t} = \sigma_{\gamma t}(E1) + \sigma_{\gamma t}(M1)$ .

Таблица . Суммарные спектроскопические факторы для нейтронных дырочных состояний в  $^{205}\text{Pb}$  и  $^{207}\text{Pb}$

| $n_j$       | $^{207}\text{Pb}$                                |                                      |  |                                      | $^{205}\text{Pb}$                              |                                      |  |                                      |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
|             | Эксперимент                                      |                                      | Расчет                                   |                                      | Эксперимент                                    |                                      | Расчет                                   |                                      |
|             | $\Delta E, \text{МэВ}$                           | $\sum_i C_i^2 S$                     | $\Delta E, \text{МэВ}$                   | $\sum_i C_i^2 S$                     | $\Delta E, \text{МэВ}$                         | $\sum_i C_i^2 S$                     | $\Delta E, \text{МэВ}$                   | $\sum_i C_i^2 S$                     |
| $1i_{11/2}$ | 0-4,0<br>4,0-6,63                                | 10,1<br>3,6<br>13,7                  | 0-4,0<br>4,0-6,7                         | 12,84<br>0,44<br>13,28               | 0-3,15<br>3,15-5,97                            | 8,35<br>3,40<br>11,75                | 0-3,2<br>3,2-6,0                         | 12,25<br>0,53<br>12,78               |
| $2f_{7/2}$  | 0-4,0<br>4,0-6,63                                | 7,1<br>0,45<br>7,55                  | 0-4,0<br>4,0-6,7                         | 6,28<br>0,96<br>7,24                 | 0-3,15<br>3,15-5,97                            | 6,4<br>0,45<br>6,85                  | 0-3,2<br>3,2-6,0                         | 6,17<br>1,06<br>7,23                 |
| $1h_{9/2}$  | 0-4,0<br>4,0-6,63                                | 5,0<br>3,5<br>8,5                    | 0-4,0<br>4,0-6,7                         | 8,67<br>0,73<br>9,40                 | 0-3,15<br>3,15-5,97                            | 4,85<br>2,40<br>7,25                 | 0-3,2<br>3,2-6,0                         | 8,37<br>0,85<br>9,22                 |
| $1h_{11/2}$ | 6,63-7,27<br>7,27-7,75<br>7,75-8,38<br>8,38-9,75 | 0,95<br>0,88<br>1,15<br>2,25<br>5,23 | 6,6-7,2<br>7,2-7,6<br>7,6-8,3<br>8,3-9,8 | 0,88<br>0,82<br>3,40<br>4,36<br>9,46 | 5,97-6,7<br>6,7-7,18<br>7,18-7,65<br>7,65-9,21 | 1,20<br>0,85<br>0,80<br>2,05<br>4,90 | 6,0-6,6<br>6,6-7,1<br>7,1-7,6<br>7,6-9,2 | 1,23<br>1,50<br>0,80<br>3,51<br>9,04 |

В § 2 дано количественное объяснение экспериментально наблюдавшегося локального пика в сечении  $(\gamma, n)$  - реакции на изотопах  $^{117,119}\text{Sn}$  при энергии  $\sim 8 \text{ МэВ}$ . Расчеты показали, что эти пики связаны с двумя факторами. Во-первых, в этой энергетической области согласно результатам, полученным в § I данной главы, локализовано от 40 до 50 % силы глубоколежащих дырочных состояний  $2p_{1/2}$  и  $2p_{3/2}$  (см. рис. 3), что приводит к усилению  $E1$  - переходов на эти уровни из основного состояния  $3s_{1/2}$  (основная сила частичных уровней  $3p_{1/2}$  и  $3p_{3/2}$  сосредоточена при более низких энергиях, и поэтому они дают вклад в сечение  $\sigma_{\text{рт}}$  около 20 - 30 %). Во-вторых, в соответствии с расчетами  $^{119}\text{Sn}$  в четных изотопах олова при энергиях  $\sim 8 \text{ МэВ}$  находится  $M1$  - гигантский резонанс. В результате в нечетных изотопах также происходит усиление для этих энергий  $M1$  - переходов из основного состояния. На рис. 4 изображены относительные вклады различных процессов в полное сечение дипольного фотопоглощения в  $^{119}\text{Sn}$  и суммарное сечение.

В § 3 проведены расчеты фрагментации нейтронных дырочных состояний ядер  $^{205,207}\text{Pb}$ . Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными  $^{207}\text{Pb}$  показало, что квазичастично-фононная модель удовлетворительно описывает не только концентрацию одноквазичастичных сил дырочных состояний в этих ядрах, но и положение главных пиков силовой функции  $S_J(\eta)$ , а также правильно передает усиление фрагментации с ростом энергии возбуждения. Как видно из таблицы, величины теоретических суммарных спектроскопических факторов для рассмотренных нейтронных дырочных состояний обоих ядер в указанных областях энергий возбуждения находятся в достаточно хорошем согласии с экспериментальными значениями. Точный учет принципа Паули оказывает слабое влияние на фрагментацию этих состояний.

§ 4 имеет преимущественно методический характер. В нем для средних сферических ядер  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{55,57}\text{Fe}$  и  $^{59}\text{Ni}$  рассчитана фрагментация одноквазичастичных состояний с точным и приближенным учетом принципа Паули. Сопоставлены два способа учета и проводится сравнение расчетов с экспериментом. Показано, что точный учет принципа Паули, хотя и приводит по сравнению с приближенным учетом к некоторому перераспределению сил одноквазичастичных состояний и, в отдельных случаях, к лучшему согласию расчетных результатов с экспериментальными данными  $^{21}$ , существенно не меняет картины фрагментации этих состояний. Продемонстрировано также, что с ростом энергии возбуждения влияние точного учета принципа Паули уменьшает-

ся. Приведены суммарные значения спектроскопических факторов для одноквазичастичных состояний:  $2p_{3/2}$ ,  $1f_{5/2}$ ,  $2p_{1/2}$ ,  $1g_{9/2}$  и  $2d_{5/2}$  в  $^{59}\text{Ni}$ , рассчитанные в интервале энергий возбуждения от 0 до 4,5 МэВ с двумя наборами констант: гармонических и ангармонических. Получено, что значения, соответствующие гармоническим константам, мало отличаются от тех, которые были вычислены с помощью ангармонических констант; и теоретические результаты достаточно хорошо воспроизводят экспериментальные данные.

В последнем параграфе (§ 5) представлены результаты расчетов  $S$  - и  $P$  - нейтронных силовых функций для широкого круга нечетных сферических ядер. В расчетах наряду с изоскалярными учитывались также и изовекторные компоненты остаточных дальнедействующих сил, которые весьма существенны для описания характеристик резонансов и распределения силы электромагнитных переходов. Расчеты достаточно хорошо описывают экспериментальные данные <sup>/22/</sup> и в целом правильно передают зависимость силовых функций от массового числа  $A$ . Для ядер в области  $A \sim 60$ ,  $120$  одновременно удается описать максимум  $S$  - силовой и минимум  $P$  - силовой функции. Проведенное методическое изучение влияния изовекторных компонент остаточных дальнедействующих сил на величины нейтронных силовых функций показывает, что это влияние оказывается довольно слабым. Таким образом, в рамках квазичастично-фононной модели с одним и тем же набором параметров удается одновременно получить вполне удовлетворительное описание экспериментальных данных по нейтронным силовым функциям в четно-четных <sup>/23/</sup> и нечетных сферических ядрах.

Глава заканчивается выводами, сделанными на основе выполненных расчетов.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

#### Основные результаты, выдвигаемые для защиты:

1. Продемонстрировано, что в рамках квазичастично-фононной модели можно последовательно учесть принцип Паули в случае нечетных сферических ядер, основываясь на точных коммутационных соотношениях между квазичастичными и фононными операторами. Введена соответствующая система уравнений для определения энергий и волновых функций. Найдены также модифицированные выражения для силовых функций.

2. Получены формулы для приведенных вероятностей электромагнитных переходов в нечетных сферических ядрах, содержащие поправки, связанные с точным учетом принципа Паули.

3. Проведено исследование фрагментации одноквазичастичных состояний в различных нечетных сферических ядрах. Теоретические расчеты удовлетворительно воспроизводят эксперимент.

4. На основе изучения фрагментации глубоколежащих дырочных состояний в нечетных изотопах олова дано количественное объяснение обнаруженной на опыте подструктуры в сечениях дипольного фотопоглощения в ядрах  $^{117}\text{Sn}$ ,  $^{119}\text{Sn}$ . Установлены причины появления таких подструктур.

5. Показано, что точный учет принципа Паули, важный для изучения низколежащих ядерных состояний, малосуществен в расчетах фрагментации одноквазичастичных состояний при промежуточных и высоких энергиях возбуждения. Подтверждена эффективность приближенной процедуры учета принципа Паули.

6. Рассчитаны  $S$  - и  $P$  - нейтронные силовые функции для широкого круга нечетных сферических ядер. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

#### Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Вдовин А.И., Стоянов Ч., Чан Зуи Кхонг. Фрагментация глубоколежащих дырочных состояний ядер изотопов олова. Изв. АН СССР /сер. физ./, 1979, т. 43, № 5, с. 999-1005; Сообщение ОИЯИ, Е4-12012, Дубна, 1978.

Chan Zuy Khuong, Soloviev V.G. and Voronov V.V. Description of the substructure in the radiative strength function of  $^{117}\text{Sn}$  and  $^{119}\text{Sn}$ . J.Phys.G: Nucl.Phys., 1979, v.5, No 4, p. L79-L81; препринт ОИЯИ, P4-12057, Дубна, 1978.

Voronov V.V., Chan Zuy Khuong. Calculation of the neutron strength functions of odd spherical nuclei within the quasiparticle - phonon model. Preprint JINR, E4-13005, Dubna, 1980.

Chan Zuy Khuong, Soloviev V.G. and Voronov V.V. The effect of the Pauli principle on the fragmentation of one-quasiparticle states in spherical nuclei. J.Phys.G: Nucl.Phys., 1981, v.7, No 2, p. 151-163.

Чан Зуи Кхонг, Воронов В.В. Принцип Паули и фрагментация одноквазичастичных состояний в нечетных сферических ядрах с  $A \sim 55$ . Изв. АН СССР /сер. физ./, 1981, т. 45, № 5, с. 833-843; препринт ОИЯИ, P4-80-62, Дубна, 1980.

Воронов В.В., Чан Зуи Кхонг. Фрагментация нейтронных дырочных состояний в ядрах  $^{205}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ . Препринт ОИЯИ, P4-81-69, Дубна, 1981.

Стоянов Ч., Чан Зуи Кхонг. Вычисление энергий и структуры возбужденных состояний и вероятностей электромагнитных переходов в нечетных сферических ядрах. Сообщение ОИЯИ, P4-81-234, Дубна, 1981.



### Литература

1. Bunker M.E., Reich C.W. A survey of nonrotational states of deformed odd- A nuclei ( $150 < A < 190$ ). Rev. Mod.Phys., 1971, v. 43, No.3, p. 348-423.
2. Chasman R.R. et al. Survey of single-particle states in the mass region  $A > 228$ . Rev. Mod.Phys., 1977, v. 49, No. 4, p.833-891.
3. Sakai M., Kubo K.I. Deeply-bound neutron hole states studied by (p,d)-reaction. Nucl.Phys., 1972, v. A185, No.1, p.217-228.
4. Siemssen R.H. Deeply-bound hole states and the distribution of subshell strengths. В кн.: Тр. Международной конф. по избранным вопросам структуры ядра, ОИЯИ, Д-9920, т. II, с.106-125, Дубна, 1976.
5. Бор О., Мотгельсон Б. Структура атомного ядра. "Мир", М., 1971, т. I.
6. Lynn J.E. The theory of neutron resonance reaction. Oxford, Clarendon Press, 1968.
7. Brown G.E., Evans J.A. and Thouless D.J. Single-particle strength in nuclei. Nucl.Phys., 1963, v. 45, No. 1, p.164-176.
8. Fامery A.J. On the study of hole states by the continuum shell-model formalism. J.Phys.G: Nucl.Phys., 1979, v. 5, No. 2, p. 241-250.
9. Ring P., Werner E. Distribution of the single-particle strengths in the nuclei  $^{207}\text{Tl}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{209}\text{Bi}$  and  $^{209}\text{Pb}$ . Nucl.Phys., 1973, v. A211, No.1, p. 198-210.
10. Соловьев В.Г. Теория сложных ядер. "Наука", М., 1971.
11. Соловьев В.Г. Квазичастично-фононная модель ядра. ЭЧАЯ, 1978, т. 9, вып. 4, с. 580-622;  
Соловьев В.Г., Малов Л.А. Квазичастично-фононная модель ядра. ЭЧАЯ, 1980, т. II, вып.2, с. 301-341.
12. Соловьев В.Г. Структура высоковозбужденных состояний сложных ядер. ЭЧАЯ, 1972, т.3, вып. 4, с. 770-821;  
Soloviev V.G. Simple configurations in the capture states and the general picture of nuclear states complications. In: Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy/Reactor Centrum Nederland, Petten, 1975, p. 99-117.
13. Soloviev V.G., Malov L.A. A model for describing the structure of highly excited states in deformed nuclei. Nucl.Phys., 1972, v. A196, No. 3, p. 433-451.
14. Вдовин А.И., Соловьев В.Г. Модель для описания фрагментации однокластических и многокластических состояний по уровням нечетного сфе-

- рического ядра. ТМФ, 1974, т. 19, № 2, с. 275-282;  
Soloviev V.G., Stoyanov Ch. and Vdovin A.I. The description of the fragmentation of one-quasiparticle states in spherical nuclei. Nucl.Phys., 1980, v. A 341, No.2, p. 261-282.
15. Соловьев В.Г. Изучение фрагментации однокластических и однокластических состояний в квазичастично-фононной модели ядра. В сб.: Структура ядра, Дубна, 1980, с. 57-88 ОИЯИ, Д4-80-388, Дубна, 1980.
16. Стоянов Ч., Чан Зуй Кхюнг. Вычисление энергий и структуры возбужденных состояний и вероятностей электромагнитных переходов в нечетных сферических ядрах. Сообщение ОИЯИ, Р4-81-234, Дубна, 1981.
17. Tanaka M. et al. Gross structure of deeply-bound hole states in odd tin isotopes observed with the ( $^3\text{He}, \alpha$ ) reaction. Phys.Lett., 1978, v. 78B, No. 2/3, p. 221-225;  
Berier-Ronsin G. et al. Study of the fine structure in the deeply-bound hole states in  $^{115}\text{Sn}$ . Phys.Lett., v.67B, No.1, p. 16-18.
18. Koeling T., Iachello F. Calculation of the spreading widths of the deeply-lying hole states in the odd tin isotopes. Nucl.Phys., 1978, v. A 295, No 1, p. 45-60.
19. Winhold E.I. et al. Structure in the gamma-ray strength function of  $^{119}\text{Sn}$  and  $^{117}\text{Sn}$ . Phys.Lett., 1970, v. 32B, No 7, p. 607-609.
20. Guilliot J. et al. Neutron hole states in  $^{207}, ^{206}, ^{205}\text{Pb}$  isotopes via the ( $^3\text{He}, \alpha$ ) reaction at 100 MeV. Phys.Rev. C., 1980, v. 21, No.3, p. 879-895;  
Gales et al. Inner hole states in  $^{207}\text{Pb}$  via the  $^{208}\text{Pb}$  ( $^3\text{He}, \alpha$ )  $^{207}\text{Pb}$  reaction at 70 MeV. Phys.Rev. C., 1978, v.18, No. 6, p. 2475-2485.
21. Kocher D.C. Nuclear data sheets for  $A = 55$ . Nucl.Data Sheets, 1976, v.18, No.4, p. 463-551;  
Kim H.J. Nuclear data sheets for  $A = 59$ . Nucl. Data Sheets, 1976, v. 17, No. 4, p. 485-517;  
Taylor T. and Cameron J.A.  $^{54}\text{Cr}$ ,  $^{54}, ^{58}\text{Fe}$ ,  $^{58}\text{Ni}$  (d, p)  $^{55}\text{Cr}$ ,  $^{55}, ^{59}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Ni}$  vector analysing power measurements. Nucl. Phys., 1980, v. A337, No 3, p. 389-400.
22. BNL - 325, 3d-Ed. Neutron Cross Sections, v.1, Mughabghab S.F. and Garber D.J., Resonance Parameters, 1973;  
Musgrove A.R. De L. A compilation of s and p wave neutron

strength function data. Report AAEC/E277, Lucas Heights, 1973, 29 p.

23. Воронов В.В., Соловьев В.Г., Стоянова О. Расчеты нейтронных силовых функций четно-четных сферических ядер. ЯФ, 1980, т. 31, вып. 2, с. 327-333.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 октября 1981 года.