

Н-379

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4-85-787

УДК 539.142/143

НГУЕН ДИНЬ ВИНЬ

**ИЗУЧЕНИЕ
ФРАГМЕНТАЦИИ ОДНОЧАСТИЧНЫХ СОСТОЯНИЙ
В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ**

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
профессор

В.Г.СОЛОВЬЕВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор

С.Г.КАДМЕНСКИЙ

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

В.В.ПАШКЕВИЧ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Автореферат разослан "___" _____ 1985 г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1985 года на заседании Специализированного совета КО.47.01.01 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

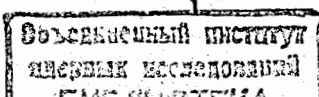
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Микроскопические методы описания структуры сложных ядер в настоящее время представляют одно из наиболее актуальных направлений современной теоретической ядерной физики. Большим достижением в данной области исследований явилось утверждение микроскопических моделей, описывающих на единой физической основе различные характеристики ядра в широком диапазоне энергий возбуждения. Одной из таких моделей является квазичастично-фононная модель ядра (КФМ). КФМ успешно применялась для изучения свойств низколежащих состояний ядер, нейтронных и радиационных силовых функций, электрических и магнитных и зарядово-обменных гигантских резонансов в сферических и деформированных ядрах. В рамках этой модели установлены общие закономерности фрагментации одноквазичастичных и однофононных состояний, выяснена важная роль взаимодействия квазичастиц с фононами в усложнении структуры ядерных состояний по мере возрастания энергии возбуждения. КФМ претендует на описание широкого круга свойств возбужденных состояний ядер в области низких, промежуточных и высоких энергий возбуждения до 20-30 МэВ. Эта модель выгодно отличается простотой и продуктивностью своего практического применения, позволяющими проводить численные расчеты как для анализа уже имеющихся экспериментальных данных, так и для предсказания новых эффектов.

В последние годы большой интерес проявляется к изучению деформированных ядер и в теоретическом, и в экспериментальном плане. Исследование деформированных ядер является одним из самых богатых источников новых сведений об атомном ядре. При этом затрагиваются такие основы теории, как структура среднего поля и остаточных нуклон-нуклонных сил, выделение коллективных степеней свободы. Открытие квадрупольного и октупольного гигантских резонансов, что является одним из крупнейших достижений экспериментальной ядерной физики последнего десятилетия, связано с изучением деформированных ядер.

Одно из важнейших направлений современной ядерной физики - изучение ядер при средних и высоких энергиях возбуждения. В этой области энергии возбуждения существуют некоторые важные явления. Прежде всего это - усложнение структуры ядерных состояний с энергией, обнаружение разного рода подструктур в поведении нейтронных и гигантских резонансов и в плотности уровней, особенности глубоко связанных дырочных состояний и коллективных состояний ядер.

Фрагментация (распределение силы) одночастичных состояний в ядре играет важную роль при выяснении процесса усложнения структуры состоя-



ний на широком интервале энергии. Фрагментация малочастичных состояний является причиной существования больших ширин у гигантских резонансов и разного рода подструктур глубоких дырочных состояний ядра. Фрагментацией этих состояний определяются многие физически наблюдаемые величины, как нейтронные силовые функции, радиационные силовые функции, структуры гигантских резонансов, сечения фотопоглощения и т.д. Изучение фрагментации малочастичных состояний важно для ядерной физики в целом. Оно позволяет продвинуться в качественной и количественной интерпретации непрерывного спектра. Большой интерес представляют изучение механизма фрагментации в ядрах, ее зависимость от массового числа, сравнение фрагментации в сферических и деформированных ядрах, расчеты фрагментации в конкретных ядрах...

Цель работы - изучение фрагментации одночастичных состояний при низких, промежуточных и высоких энергиях в деформированных ядрах редкоземельных элементов и актиноидов: 1. Исследование расщепления сферических подоболочек в деформированном ядре и роли деформации в механизме фрагментации. 2. Изучение изменения фрагментации при переходе от сферических к деформированным ядрам. 3. Получение спектроскопических данных, которые сравниваются с экспериментом или служат некоторым ориентиром для новых экспериментов. 4. Объяснение поведения сечений реакций однонуклонных передач для некоторых ядер.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации продемонстрированы широкие возможности КФМ в описании процесса фрагментации одночастичных состояний в деформированных ядрах при промежуточных и высоких энергиях.

Новым вкладом являются исследование роли статической деформации в механизме фрагментации одночастичных состояний в деформированных ядрах и изучение зависимости фрагментации от формы ядра. Получены формулы, описывающие распределение одночастичной силы в нечетных деформированных ядрах, спектроскопические факторы реакций однонуклонных передач типа (d,p) и (d,t) при одновременном учете деформации и взаимодействия квазичастиц с фонами. На основании этих формул проведены численные расчеты фрагментации одночастичных состояний в нечетных деформированных ядрах, которые позволяют выявить основные закономерности процесса фрагментации, особенности фрагментации низколежащих и глуболежащих дырочных состояний и получить спектроскопические факторы для многих состояний. Результаты этих расчетов удовлетворительно воспроизводят экспериментальные данные и могут служить некоторым предсказанием при изучении реакции однонуклонных передач.

Большой интерес представляют исследования фрагментации в некоторых ядрах, дающие возможность объяснить поведение сечений реакций нуклонных передач. Показано, что на основании изучения фрагментации одночастичных состояний в ряде ядер можно получить важную информацию о деформации ядер.

В целом, приведенные в диссертации исследования являются дальнейшим развитием КФМ ядра в описании возбужденных состояний деформированных ядер.

Для защиты выдвигаются следующие результаты:

1. Выяснена важная роль стабильной деформации в процессе фрагментации подоболочек в деформированных ядрах. Показано, что стабильная деформация играет определяющую роль в механизме возбуждения подоболочек, например, ею определяется $2/3$ области локализации силы подоболочки, в взаимодействие квазичастиц с фонами дополнительно расширяет эту область на 30-40%.

2. Исследовано в однофоновом приближении изменение фрагментации одночастичных состояний при переходе от сферических к деформированным ядрам. Показано, что подоболочки с орбитальными моментами $l \geq 2$ в деформированных ядрах фрагментированы сильнее, чем в сферических. Различные механизмы фрагментации одночастичной силы в деформированных и сферических ядрах приводят к существенно иному поведению силовой функции внутри области локализации силы подоболочек: В деформированном ядре сила распределена относительно равномерно, в сферическом ядре подавляющая часть силы остается сконцентрированной в узком интервале.

3. Проведены расчеты фрагментации большого числа подоболочек в ядрах редкоземельной и актиноидовой областей: $^{151,153}\text{Sm}$, ^{151}Eu , ^{155}Gd , ^{171}Yb , ^{173}Lu , ^{239}U и ^{237}Np . Получены спектроскопические факторы для многих подоболочек в этих ядрах. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Часть этих результатов может служить некоторым предсказанием для новых экспериментов.

4. Расчеты фрагментации низкоспиновых состояний в изотопах W и Re позволяют объяснить экспериментально обнаруженную аномалию в сечениях реакций однонуклонных передач типа (d,p) , (α,t) для состояний $1/2^-$ и $3/2^-$ в этих ядрах. Показано, что для ядер данной области нет необходимости брать аномально большую гексадекапольную деформацию β_4 , как это делалось в работах других авторов (в других теоретических подходах).

5. Представленные в диссертации результаты служат дальнейшему развитию квазичастично-фононной модели ядра в описании возбужденных состояний деформированных ядер.

Апробация диссертации. Результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, 34 и 35 Советских по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Алма-Ата, 1984; Ленинград, 1985).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано шесть работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав основного содержания и заключения, содержит III страниц машинописного текста, 24 рисунка, 8 таблиц и библиографический список литературы из 98 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит краткую характеристику микроскопического подхода, в рамках которого сформулирована квазичастично-фононная модель ядра. Перечислены основные достижения модели. Представлен сжатый обзор исследований, посвященных фрагментации одночастичных состояний в деформированных ядрах. Сформулирована задача изучения фрагментации одночастичных сил в рамках КФМ для деформированных ядер.

Глава I носит преимущественно вводный характер. Кратко сформулированы основные положения КФМ применительно к деформированным ядрам.

В § I строится гамильтониан КФМ. Гамильтониан включает среднее поле в форме потенциала Саксона-Вудса, короткодействующую часть остаточного взаимодействия, приводящую к парным корреляциям сверхпроводящего типа, дальнедействующую часть остаточного взаимодействия в виде мультипольных сил. Приведены основные уравнения модели для описания однофононных возбуждений в четно-четных деформированных ядрах.

В § 2 приведены основные уравнения модели для описания возбужденных состояний и фрагментации одночастичных состояний в однофононном приближении за счет взаимодействия квазичастиц с фононами.

В § 3 рассмотрен метод силовых функций, использованный в КФМ для расчетов фрагментации одночастичных состояний при промежуточных и высоких энергиях. Получены формулы, описывающие фрагментацию подболочки и спектроскопические факторы реакций однонуклонных передач типа (d, t) и (d, p) . При этом использован следующий вид волновой функции A -нечетного ядра:

$$\Psi_i(K^\pi) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{\sigma} \left\{ \sum_{\rho} C_{\rho}^i \alpha_{\rho\sigma}^+ + \sum_{\rho} D_{\rho}^i (\alpha^+ Q^+)_{\rho} \right\} \Psi_0; \quad (1)$$

Ψ_0 - фононный вакуум, α^+, Q^+ - операторы рождения квазичастицы и фонона; i - номер состояния в нечетном ядре; $\rho = vt$, $t = \lambda \mu_j$, j - номер однофононного состояния мультипольности λ с проекцией μ . Совокупность квантовых чисел для любого одночастичного состояния обозначена через $(\nu\sigma)$, а для состояний с данной проекцией углового момента на ось симметрии ядра K и четностью π - через $(\rho\sigma)$; σ - знак этой проекции ($\sigma = \pm 1$). C_{ρ}^i, D_{ρ}^i - весовые коэффициенты квазичастичной компоненты и компоненты "квазичастица \otimes фонон".

Формула, описывающая фрагментацию подболочки $n1J$ в деформированном ядре имеет вид

$$S_{n1J}(\eta) = \sum_{\rho K} (a_{n1J}^{\rho K})^2 C_{\rho K}^2(\eta). \quad (2)$$

Спектроскопическая силовая функция реакций типа (d, t) - реакций подхвата имеет вид

$$\tilde{S}_{n1J}(\eta) = \sum_{\rho K} (a_{n1J}^{\rho K})^2 v_{\rho}^2 C_{\rho K}^2(\eta). \quad (3)$$

Для реакций типа (d, p) - реакций срыва такая функция выглядит

$$\tilde{\tilde{S}}_{n1J}(\eta) = \sum_{\rho K} (a_{n1J}^{\rho K})^2 u_{\rho}^2 C_{\rho K}^2(\eta). \quad (4)$$

В (2-4) $a_{n1J}^{\rho K}$ - коэффициенты в разложении одночастичной волновой функции $\varphi_{\rho K}$ аксиально-симметричного потенциала по оболочечным функциям φ_{n1J} сферически-симметричного потенциала

$$\varphi_{\rho K} = \sum_{n1J} a_{n1J}^{\rho K} \varphi_{n1J}; \quad (5)$$

u_{ρ} и v_{ρ} - коэффициенты канонического преобразования Боголюбова, а $C_{\rho K}^2(\eta)$ - силовая функция, описывающая фрагментацию одночастичного состояния ρ (с данным K^π) за счет взаимодействия квазичастиц с фононами, она имеет вид

$$C_{\rho K}^2(\eta) = \frac{1}{\pi} \text{Im} \left\{ \frac{1}{F_{\rho}(\eta + i\Delta/2)} \right\}, \quad (6)$$

где $F_{\rho}(\eta) = 0$ - секулярное уравнение для определения энергии η состояния; Δ - параметр усреднения силовой функции.

Глава II посвящена выяснению роли стабильной деформации в механизме фрагментации состояний и изучению зависимости фрагментации от формы ядра.

В § I исследовано расщепление сферических подболочек в деформированном потенциале из-за стабильной деформации. Типичное распределение сил подболочек по внутренним состояниям деформированного ядра показано на рис. 1.

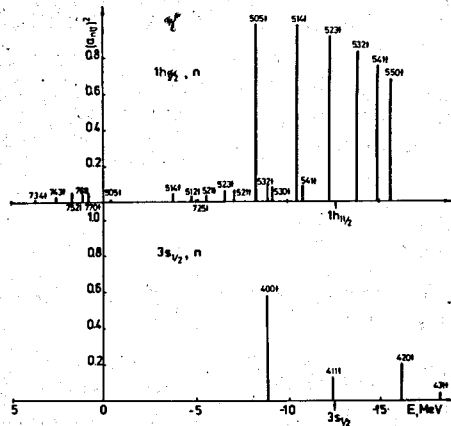


Рис. 1

Распределение силы нейтронных подболочек $1h_{11/2}$ и $3s_{1/2}$ по одночастичным состояниям в потенциале Вудса-Саксона с аксиально-симметричными квадрупольной и гексадекапольной деформациями. Стрелками указано положение подболочек в сферически-симметричном потенциале с теми же параметрами (параметры зоны $A=155$).

Подавляющая часть силы подболочек распределена по нескольким состояниям в интервале энергии $\sim 5 \pm 7$ МэВ. Но сила подболочек с большими l (на рис. 1: $1h_{11/2}$) оказывается распределенной по большему числу состояний и большему энергетическому интервалу, чем у подболочек с малыми l (например $3s_{1/2}$).

В § 2 в однофононном приближении изучена зависимость фрагментации от формы ядер. Путем сравнения фрагментации одних и тех же подболочек в разных типах ядер показано, что подболочки с большими орбитальными моментами ($l \gg 2$) в деформированных ядрах фрагментированы сильнее, чем в сферических. На рис. 2 представлено такое сравнение для нейтронной подболочки $1g_{7/2}$ в ядрах ^{151}Sm (деформированном) и ^{147}Sm (сферическом). Видно, что область локализации силы подболочки в ^{151}Sm значительно шире, чем в ^{147}Sm ($\Delta E_x = 12 \pm 13$ МэВ и $\Delta E_x = 8$ МэВ). Расчеты показывают, что только за счет стабильной деформации подболочка $1g_{7/2}$ расщепляется по внутренним состояниям в ^{151}Sm на интервале $\Delta E_x \approx 9$ МэВ. С другой стороны, из рис. 2 видно, что взаимодействие с фононами распределяет силу каждого из этих внутренних состояний по интервалу $\Delta E_x \approx 4 \pm 5$ МэВ (см. отдельно выделенные кривые на рис. 2 для ^{151}Sm). Следовательно, только деформация

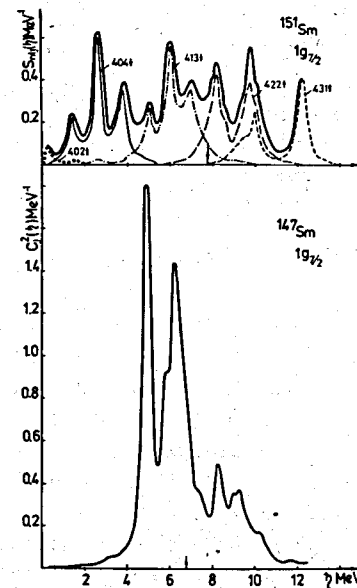
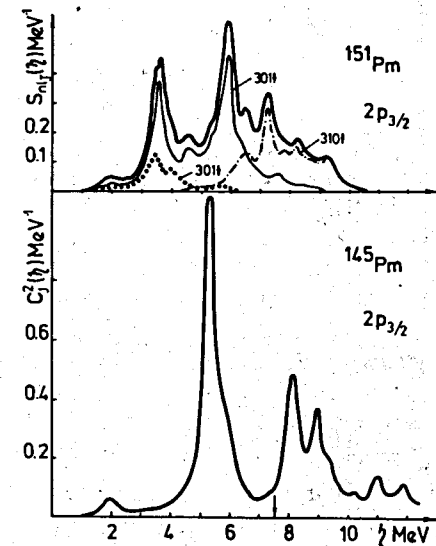


Рис. 2

Силловые функции нейтронной подболочки $1g_{7/2}$ в ^{151}Sm и ^{147}Sm (сплошные толстые линии). Тонкой сплошной, пунктирной, штрихпунктирной и т.д. линиями обозначены силловые функции $C^2_{jk}(\eta)$ отдельных одноквантовых состояний, на которых сконцентрирована основная сила подболочки $1g_{7/2}$, умноженные на соответствующие факторы $(a_{nl}^k)^2$. Стрелками указано положение подболочки в обоих ядрах.

Рис. 3

То же, что и на рис. 2, для протонной дырочной подболочки $2p_{3/2}$ в ^{151}Pm и ^{145}Pm .



уже определяет в основном область локализации силы подболочки в деформированном ядре, а взаимодействие квазичастиц с фононами расширяет эту область дополнительно на 4 ± 5 МэВ.

Для подболочек с небольшими l и J размеры областей локализации силы в сферических и деформированных ядрах близки. Примером может служить распределение силы протонной дырочной подболочки $2p_{3/2}$ в ^{151}Pm и ^{145}Pm (рис. 3). Сравнение кривых на рис. 2 и 3

показывает, что по-разному распределена сила подболочек внутри области ее локализации. Так, если в деформированных ядрах распределение относительно равномерно, то в сферических ядрах выделяются довольно узкие области, где сконцентрирована заметная часть силы подболочки.

Результаты расчетов удовлетворительно воспроизводят экспериментальные данные. На рис. 4 представлено сравнение теории с экспериментом для подболочки $1h_{11/2}$ в ^{147}Sm и ^{151}Sm .

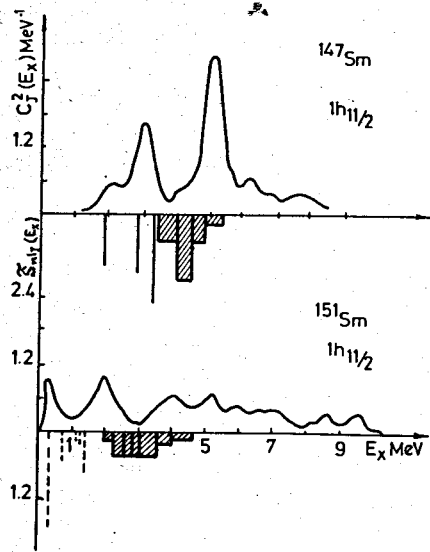


Рис. 4

Экспериментальные данные о распределении силы нейтронной подболочки $1h_{11/2}$ в $^{147},^{151}\text{Sm}$ и рассчитанные в КФМ силовые функции $C_{1h_{11/2}}^2(\eta)$ и $\tilde{S}_{1h_{11/2}}(\eta)$.

Глава III диссертации посвящена расчетам фрагментации в конкретных деформированных ядрах.

В § I представлены и подробно проанализированы силовые функции распределения силы ряда низколежащих и глубоколежащих нейтронных и протонных подболочек в ядрах ^{155}Gd , ^{171}Yb и ^{173}Lu . Показано, что рассчитанная картина распределения сил подболочек качественно соответствует типичному поведению сечений реакций однонуклонных передач для ядер данной области.

В § 2 изучена фрагментация низкоспиновых состояний с $K^\pi = 1/2^-$ и $3/2^-$ в ядрах $^{183},^{185},^{187}\text{W}$ и ^{183}Re . Анализ полученных результатов позволяет заметить тенденцию к уменьшению фрагментации этих состояний с увеличением массового числа A , что соответствует экспериментальным данным, полученным из реакций типа (d,p) , (α,t) для данных ядер. На рис. 5 показаны силовые функции $S_{nlj}(\eta)$ и спектроскопические силовые функции $\tilde{S}_{nlj}(\eta)$ для нейтронной подболочки $3p_{1/2}$

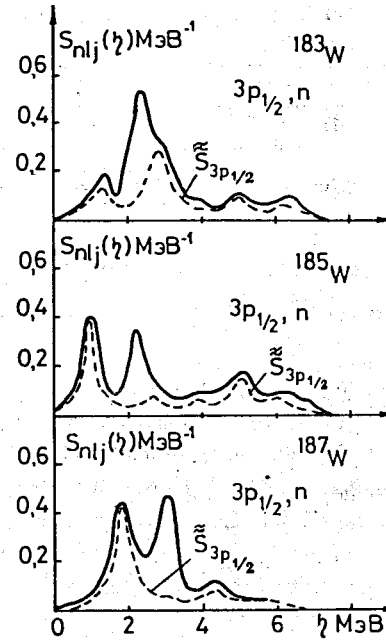


Рис. 5

Силовые функции $S_{nlj}(\eta)$ и спектроскопические функции $\tilde{S}_{nlj}(\eta)$ подболочки $3p_{1/2}$ в изотопах $^{183},^{185},^{187}\text{W}$.

в указанных ядрах. Уменьшение фрагментации состояний $1/2^-$ и $3/2^-$ в этих ядрах с увеличением массового числа можно объяснить тем, что состояния $50I\uparrow$ и $50I\downarrow$, на которых сосредотачивается основная часть силы подболочек $3p_{1/2}$ и $3p_{3/2}$ в этих ядрах являются частичными и они находятся в $2+3$ МэВ от уровня ферми в ^{183}W . С увеличением массового числа они приближаются к этому уровню, фрагментируя все слабее и слабее. Используя спектроскопические факторы \tilde{S}_{nlj} и рассчитав суммарные сечения (d,p) - реакции для возбуждения состояний $1/2^-$ и $3/2^-$ в ядрах $^{183},^{185},^{187}\text{W}$ по формуле

$$\sigma = \sum_{\frac{1}{2}, \frac{3}{2}} 3 \tilde{S}_{nlj} \frac{\sigma_{L_{z,j}}^{\text{DWUCK}}}{2j+1} \quad (7)$$

можно объяснить некоторую аномалию в поведении сечений этой реакции, наблюдаемую в экспериментах. (См. табл. I, где даны отношения сечений в разных ядрах; экспериментальные данные представлены в двух случаях; а) сечения просуммированы по всем пикам, большим или равным 100 мкб /ср б) сечения просуммированы по всем пикам с $l=1$).

Таблица 1. Сравнение теоретических расчетов с экспериментом для отношений сечений (d,p) -реакций в разных ядрах ($E_d = 12$ МэВ, $\Theta = 90^\circ$)

Отношение сечений	Эксперимент		Расчеты
	а)	б)	
$\frac{\sigma(183_W)}{\sigma(185_W)}$	0,57	< 0,80	0,52
$\frac{\sigma(183_W)}{\sigma(187_W)}$	0,41	0,62	0,37

Показано, что для этих ядер нет необходимости брать аномально большую гексадекапольную деформацию β_4 , как это делалось в многих работах других теоретических подходов. Расчеты спектроскопических факторов протонного состояния $54I\downarrow$ в ядре ^{183}Re с $\beta_4 = -0,03$ тоже подтверждают это (см. табл. 2).

Таблица 2. Спектроскопические факторы состояния $54I\downarrow$ в ^{183}Re

j	Эксперимент		Теория
	$(^3\text{He}, d)$	(α, t)	
1/2	0,03	-	0,02
3/2	0,04	-	0,01
5/2	0,49	0,31	0,21
7/2	0,11	0,08	0,05
9/2	1,35	1,16	0,78

В § 3 представлены результаты расчетов фрагментации нескольких нейтронных и протонных подболочек в ядрах ^{239}U и ^{237}Np . Обсуждено и объяснено поведение силовых функций этих подболочек. Получены спектроскопические факторы для многих подболочек, которые могут быть измерены в экспериментах.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Л и т е р а т у р а

1. Вдовин А.И., Малов Л.А., Нгуен Динь Винь; Соловьев В.Г., Стоянов Ч. Фрагментация дырочных состояний в сферических и деформированных изотопах Sm и Pm. Тезисы докладов XXXIV Собрания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 1984, с. 169.
2. Нгуен Динь Винь, Соловьев В.Г. Фрагментация одночастичных состояний в ядрах редкоземельной области. Тезисы докладов XXXV Собрания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 1985, с. 157.
3. Вдовин А.И., Малов Л.А., Нгуен Динь Винь, Соловьев В.Г., Стоянов Ч. Изменение фрагментации при переходе от сферических к деформированным ядрам. Изв. АН СССР, сер. физ., 1985, т. 49, № 5, с. 834-842.
4. Нгуен Динь Винь. Фрагментация подболочек в ядрах редкоземельной области. Изв. АН СССР, сер. физ., 1985, т. 49, № 11, с. 2213-2217.
5. Nguyen Dinh Vinh, Soloviev V.G. The fragmentation of subshells in tungsten isotopes. Dubna, 1985, preprint JINR, E4-85-439. (Нгуен Динь Винь, Соловьев В.Г. Описание фрагментации подболочек в изотопах вольфрама. ИФ, 1986, т. 43, вып. 2, стр. . .).
6. Nguyen Dinh Vinh. Damping of spherical subshells in the ^{239}U and ^{237}Np nuclei. Dubna, 1985, communication JINR, E4-85-446. (Нгуен Динь Винь. Затухание сферических подболочек в ядрах ^{239}U и ^{237}Np . Дубна, 1985, сообщение ОИЯИ, E4-85-446).

Рукопись поступила в издательский отдел
1 ноября 1985 года.