

7-755

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4 - 12309

ЧОРИЕВ
Базор

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОСВЯЗАННЫХ ПОЛОС
НЕЧЕТНЫХ И ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

И.Н.МИХАЙЛОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

Г.Ф.ФИЛИППОВ

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

В.И.ФУРМАН

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-исследовательский институт физики ЛГУ, Ленинград.

Защита диссертации состоится " " _____ 1979 года на заседании Специализированного ученого совета К 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Московская область, Дубна).

Автореферат разослан " " _____ 1979 года.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

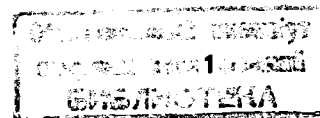
В.И.ЖУРАВЛЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В несферических четно-четных ядрах неротационные возбуждения можно исследовать в большинстве случаев в адиабатическом приближении, считая, что при возбуждении вращения ни одночастичные, ни коллективные состояния не меняются. Однако адиабатическое приближение в нечетных ядрах мало оправдано, так как энергия одночастичных состояний в этих ядрах одного порядка с энергией вращения. Вращательные спектры таких ядер исследуются в рамках модели "остов плюс частица", в которой предполагается, что нечетный нуклон движется в несферическом поле четного остова. Аналогичное рассмотрение проводится при анализе октаупольно-возбужденных вращательных полос в четно-четных ядрах, в которых энергетические интервалы между начальными состояниями полос с разными числами K (K - проекция внутреннего углового момента на ось симметрии ядра) сравнимы с энергией возбуждения нижайшего вращательного состояния.

Изучение высоковозбужденных и высокоспиновых вращательных полос, которые экспериментально были получены в $(\alpha, x\eta)$ - и $(n, x\eta)$ -реакциях, реакциях кулоновского возбуждения и в других процессах, дают качественно новые результаты, не укладывающиеся в рамки простой модели ядра, и это может служить отправной точкой для уточнения данных о ядерной структуре. Отсутствие достаточно корректной теории вращательного движения ядер, которая имела бы успех при низких и при высоких спинах, а также увеличение возможности получения экспериментального материала о вращательных состояниях с большими угловыми моментами и разнообразными физическими свойствами, являются причиной актуальности исследований вращательного движения в атомных ядрах.

Основная цель работы. Целью работы является исследование сильновозмущенных вращательных полос нечетных и четно-четных ядер в рамках полумикроскопической модели ядра, развитой в работах В.Г.Соловьева, а также разработка более корректных методов учета влияния неадиабатических эффектов "остова" на вращательные свойства состояний.



Научная новизна и практическая ценность. Впервые применена полумикроскопическая теория при описании вращательных спектров и других свойств деформированных ядер:

а) исследованы влияния фононных компонент на величину матричных элементов оператора внутреннего углового момента, которые определяют взаимодействие Кориолиса вращательных полос нечетных ядер;

б) использована структура фононных волновых функций для вычисления матричных элементов вибрационного углового момента при описании взаимодействия Кориолиса октапольно-вращательных полос четно-четных ядер.

Разработан новый метод вычисления энергии и структуры волновых функций сильновозмущенных вращательных состояний, в рамках которого проведены расчеты для ядер $^{159,161}\text{Dy}$, ^{235}U , ^{232}Th , $^{236,238}\text{U}$.

Впервые обсуждается структура волновых функций вращательных состояний в представлении коллективного углового момента. Это представление оказалось удобным для анализа качественных характеристик высокоспиновых состояний нечетных ядер.

Впервые показана роль смешивания состояний с $\Delta K \geq 2$ на примере вычисления энергии вращательных состояний.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были доложены на XXVII (Ташкент, 1977) и XXVIII (Алма-Ата, 1978) Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомных ядер, на конференции молодых ученых, организованной ИТФ АН УССР (Киев, 1978), на семинарах отдела теории атомного ядра ЛТФ, а также сектора № 2 ЛТФ, Лаборатории ядерной спектроскопии ИЯФ АН УзССР и отдела теории атомного ядра ИТФ АН УССР.

Публикация. По результатам диссертации опубликовано пять статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав с тремя приложениями и заключения, содержит 79 страниц машинописного текста, 11 рисунков, 21 таблицу и библиографический список из 65 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит краткое обсуждение проблемы описания свойств вращательных спектров атомных ядер. Сформулирована задача диссертации и способ ее решения. Обсуждается актуальность рассматриваемых вопросов в связи с последними достижениями экспериментальной возможности изучения высоковозбужденных и высокоспиновых состояний ядер. Изложен план диссертации.

Первая глава начинается изложением модифицированной модели Кермана, используемой в диссертации. Внутренние состояния в этой модели рассматриваются в рамках модели В.Г. Соловьева "квазичастица + фонон". Приведены формулы вычисления матричных элементов внутреннего момента.

Далее излагаются различные способы учета влияния неадиабатических эффектов остова на спектр нечетных ядер, обсуждаются их достоинства и недостатки. Предложены новые методы нахождения собственных значений и собственных функций полного гамильтониана. Вращательный гамильтониан определяется решением матричного уравнения

$$\sum_n b_n \hat{H}_{\text{op}}^n = \hat{R}^2 \quad (1)$$

с дополнительным условием

$$[\hat{H}_{\text{op}}, \hat{R}^2] = 0, \quad (2)$$

которое автоматически выполняется в модели Кермана в ее простейшем варианте:

$$\hat{H}_{\text{op}} = A \hat{R}^2, \quad (A = \hbar^2/2\mathcal{I} = \text{const}).$$

В формуле (1) коэффициенты b_n имеют следующую физическую интерпретацию: $\mathcal{I} = b_1/2$ - момент инерции остова; b_2/b_1 - параметр неадиабатичности и т.п. Коллективный угловой момент \hat{R}^2 определяется через полный \hat{I} и внутренний \hat{j} угловые моменты:

$$\hat{R}^2 = (\hat{i} - \hat{j})^2.$$

Модель Кермана дает разумные результаты только при малых значениях углового момента. При больших угловых моментах необходимо учитывать неадиабатические эффекты в остове (члены с $n > 1$ в формуле (I)). Сходимость ряда (I) лучше, чем сходимость простого разложения Бора-Моттельсона. Практически оказывается достаточным учет двух членов ряда (I). При $b_n = 0$ для $n > 2$, обсуждаются приближенные и точные решения и сравниваются результаты различных вариантов расчета на примере спектра ядра ^{161}Dy .

Анализ результатов позволяет сделать выводы о роли различных эффектов в формировании спектра, таких как смешивание состояний силами Кориолиса ($\Delta K = 1$), прямое смешивание состояний с $\Delta K \geq 2$, неадиабатические эффекты остова, перенормировка моментов инерции состояний нечетных ядер и т.п. Отмечается приближенный характер учета вышеперечисленных эффектов в рамках модели Кермана.

Вторая глава посвящена описанию и обоснованию подхода, в котором модель Кермана уточняется для учета неадиабатических эффектов и перенормировки моментов инерции.

Для описания нескольких вращательных полос состояний нечетных ядер требуется перенормировка моментов инерции для различных внутренних состояний, что вынуждает рассматривать момент инерции b_1 в формуле (I) как оператор.

Таким образом, в самом простом случае вращательный гамильтониан необходимо определить как

$$\hat{H}_{\text{вп}} = \hat{A} \hat{R}^2, \quad (3)$$

тогда из условия (2) следует

$$[\hat{A}, \hat{R}^2] = 0. \quad (4)$$

Параметризация матрицы \hat{A} выполняется особенно просто, если найти унитарное преобразование, диагонализующее оператор коллективного углового момента \hat{R}^2 . В рассматриваемых нами случаях спектр \hat{R}^2 не вырожден, что позволяет написать соотношения:

$$\hat{H}_{\text{вп}} \psi_y^{\text{IM}} = [h_y] \psi_y^{\text{IM}}; \quad \hat{A} \psi_y^{\text{IM}} = [a_y] \psi_y^{\text{IM}},$$

где ψ_y^{IM} - собственная функция оператора \hat{R}^2 :

$$\hat{R}^2 \psi_y^{\text{IM}} = [r_y] \psi_y^{\text{IM}};$$

$[h_y]$, $[a_y]$ и $[r_y]$ - диагональные матрицы соответствующих операторов, в представлении оператора \hat{R}^2 .

Следует отметить, что в представлении функций с фиксированными значениями проекции углового момента на внутреннюю ось ядра функции ψ_y^{IM} имеют вид

$$\psi_y^{\text{IM}} = \sum_{\mu} a_{y\mu}^{\text{I}} |IMK_{\mu}\rangle.$$

Если $\hat{H}_{\text{вп}}$ определяется через более сложные функции оператора \hat{R}^2 (например, как в уравнении (I)), то h_y тоже будет такой сложной функцией величины r_y .

На рис. I сравниваются экспериментальные данные и результаты теории для состояний отрицательной четности ядра ^{235}U . Структура внутренних волновых функций, определенных в рамках модели "квaziчастица + фонon", и параметры a_y подробно обсуждаются в диссертации.

На примере ядер $^{159}, ^{161}\text{Dy}$ исследованы качественные характеристики высокоспиновых состояний. Вычислены значения $B(E2)$ -факторов в рамках реалистической модели и сравнены с аналитическими результатами, справедливыми для случая одного вырожденного j уровня.

Ниже приведены теоретические и экспериментальные значения $B(E2)$ -факторов в единицах $e^2 \cdot \text{барн}^2$.

Ядро (A)	$2I_i(\gamma_i) \rightarrow 2I_f(\gamma_f)$		$B(E2, I_i \gamma_i \rightarrow I_f \gamma_f)$	
			теор.	эксп.
^{159}Dy	7(1)	5(1)	1,56	1,6
^{161}Dy	7(1)	5(1)	1,6	1,6
^{161}Dy	9(1)	5(1)	0,50	0,35
^{161}Dy	3(2)	5(1)	0,077	0,048

Здесь (1) означает $5/2^+$ [642], а (2) - $3/2^+$ [65I]. Расчеты проведены при $Q_0 = 7,0$ барн для обоих ядер (Q_0 - квадрупольный момент).

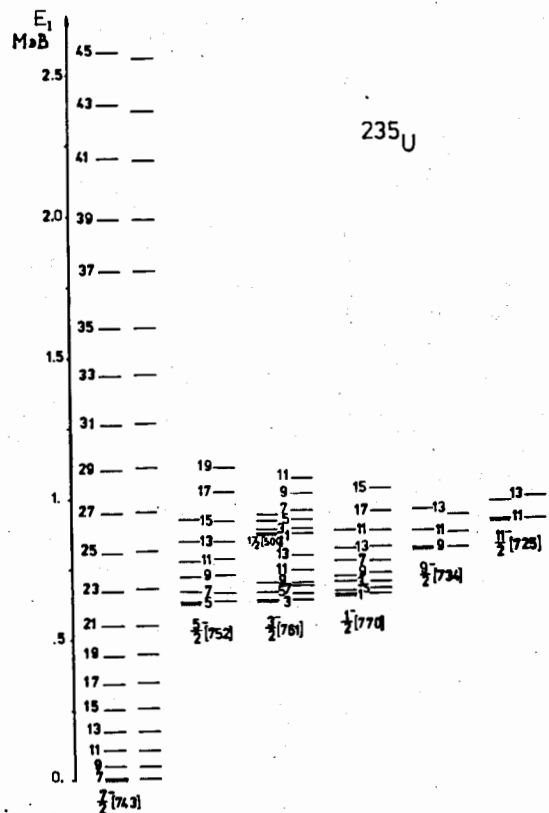


Рис.1. Сравнение экспериментальных (-----) и теоретических данных для вращательных полос с отрицательной четностью в ядре ^{235}U . Вращательный гамильтониан определен из соотношения (3).

Пример смешивания внутренних состояний в четно-четных ядрах рассматривается в третьей главе. Обсуждается аномалия моментов инерции октупольно-вращательных состояний при низких спинах и ее связь с взаимодействием Кориолиса. Исследованы значения матричных элементов вибрационного углового момента в рамках полумикроскопической модели ядра.

На рис.2 сравниваются экспериментальный спектр октупольно-вращательных полос (-----) с результатами расчета для ядра ^{236}U (вращательный гамильтониан определен в формуле (3)).

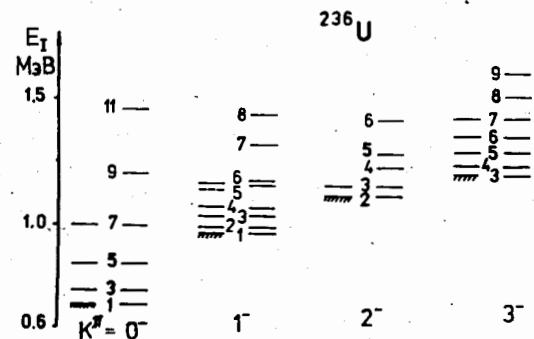


Рис.2. Сравнение экспериментальных и теоретических данных для октупольно-вращательных полос ^{236}U .

В приложении А обсуждаются и уточняются методы определения моментов инерции из экспериментальных данных; предлагается простой способ извлечения данных о моментах инерции четно-четных ядер в случае слабой связи внутренних состояний.

В приложении Б приведены собственные функции и значения коллективного углового момента R^2 в зависимости от спина I.

Формулы вычисления $B(E2)$ -факторов в случае сильного смешивания состояний приведены в приложении В.

В заключении просуммированы основные результаты, полученные в диссертации, которые представляются к защите:

1. Изучена роль фононных компонентов во внутренних состояниях нечетных ядер в формировании полос, сильно искаженных силами Кориолиса. Показано, что основной причиной ослабления взаимодействия Кориолиса является смешивание одноквазичастичных состояний нечетного ядра с колебательными возбуждениями четного остова.

2. Исследовано влияние неадиабатических эффектов остова на свойства вращательных состояний, а также на прямое смешивание состояний с $\Delta K \geq 2$. Показано, что неадиабатические эффекты остова перенормируют кинетическую энергию вращения (диагональные элементы $\hat{H}_{вр}$) и взаимодействие Кориолиса (недиагональные элементы $\hat{H}_{вр}$), а также порождают прямое смешивание состояний с $\Delta K \geq 2$.

3. Предлагается новый подход для изучения связи вращательных полос нечетных ядер. Подход основан на оригинальной параметризации гамильтониана связи. Он также позволяет учитывать перенормировку моментов инерции и неадиабатические эффекты остова, не теряя математической корректности задачи диагонализации полного гамильтониана ядра.

4. Проанализированы качественные характеристики высокоспиновых состояний и вероятности E2-переходов в условиях сильного кориолисова смешивания ограниченного числа внутренних состояний. Показано, что волновые функции состояний нечетных ядер имеют очень простую структуру в представлении коллективного углового момента \hat{R}^2 .

5. Предлагаемый подход применен также для октупольно-вращательных полос, которые являются примером полос, сильно связанных взаимодействием Кориолиса в четно-четных ядрах. Показано, что аномальное поведение момента инерции в октупольных полосах связано с эффектами взаимодействия Кориолиса. Дано сравнение эмпирических значений матричных элементов внутреннего углового момента с теоретическими, которые вычисляются в полумикроскопической модели ядра.

6. Показана необходимость уточнения процедуры определения моментов инерции по данным эксперимента. Предлагается простой способ такого уточнения, который основан на методах вычисления производных от таблично-заданной функции.

7. Исследована структура собственных функций коллективного углового момента \hat{R}^2 и показано, что при больших угловых моментах эта структура очень проста и зависит лишь от четности величины $(-1)^{I+1/2}$.

8. Проведены расчеты спектров и структуры волновых функций вращательных полос нечетных ядер $^{159,161}\text{Dy}$, ^{235}U октупольно-вращательных полос четно-четных ядер ^{232}Th , $^{236,238}\text{U}$. Рассчитаны также B(E2)-факторы и перенормировка моментов инерции в ядрах $^{159,161}\text{Dy}$. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными и находятся с ними в хорошем согласии в широкой области значений углового момента.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Бегжанов Р.Б., Сафаров Р.Х. и Чориев Б. Изв. АН УзССР (сер. физ.-мат. наук), 4, 65 (1977); В сборнике: Тезисы докладов XXVII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ташкент, 22-25 марта 1977 г., Наука, Л., 1977, стр.452.
2. Квасил Я., Михайлов И.Н., Сафаров Р.Х. и Чориев Б. ОИЯИ, Р4-11066, Дубна, 1977; Czech. Jour. of Phys. v. B28, 843 (1978).
3. Михайлов И.Н., Сафаров Р.Х. и Чориев Б. ОИЯИ, Р4-11247, Дубна, 1978; Изв. АН СССР (сер. физ.), 42, 2338 (1978); В сборнике: Тезисы докладов XXVIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Алма-Ата, 28-31 марта 1978 г., Наука, Л., 1978, стр.402.
4. Акбаров А., Михайлов И.Н., Сафаров Р.Х. и Чориев Б. ОИЯИ, Р4-11969, Дубна, 1978.
5. Бегжанов Р.Б., Михайлов И.Н., Сафаров Р.Х., Чориев Б. ОИЯИ, Р4-11982, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 марта 1979 года.