

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С341.2 + С341.1
Б-817

6 - 5412

Н.А. Бонч-Осмоловская

ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕТОДАМИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ЯДЕР
В ОБЛАСТИ СТАБИЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ
(^{160}Dy , ^{170}Yb , ^{169}Yb)

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1970

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук Е.П. Григорьев

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук С.М. Поликанов
кандидат физико-математических наук Н.И. Пятов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе.

Автореферат разослан " " 1970 года.

Защита диссертации состоится " " 1970 года
на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

И.о. Ученого секретаря Совета
канд. физико-математических
наук

Ю.А. Батусов

6 - 5412

Н.А. Бонч-Осмоловская

ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕТОДАМИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ЯДЕР
В ОБЛАСТИ СТАБИЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ
(¹⁶⁰Dy, ¹⁷⁰Yb, ¹⁶⁹Yb)

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

7298 бр

Достигнутые в последние годы усовершенствования ядерно-спектроскопических методов исследований (и прежде всего появление Ge(Li) -детекторов) позволили получать более полные и точные сведения о свойствах ядер. Оказалось, что целый ряд свойств возбужденных состояний деформированных ядер не укладывается в рамки обобщенной модели и ее модификаций, в которых адиабатически разделяется одночастичное и коллективные движения в ядре. В связи с этим появилось много новых теоретических расчётов, учитывающих взаимодействие различных движений в ядре. В свою очередь, развитие теории требовало дальнейших экспериментальных исследований как для проверки гипотез и предсказаний, так и для определения феноменологических параметров, на которые опираются современные модели. Однако экспериментальных данных о возбужденных состояниях деформированных ядер пока явно недостаточно вследствие сложности и трудоемкости подобных исследований.

Данная диссертация посвящена исследованию ядер в области стабильной деформации (^{160}Dy , ^{170}Yb и ^{169}Yb).

В I главе рассматриваются методические вопросы эксперимента.

1) Радиоактивные источники ^{160}Er , $^{160+160m}\text{Ho}$, ^{169}Lu и ^{170}Lu получались как продукты реакции глубокого расщепления тантала при облучении его протонами ($E_p = 660 \text{ МэВ}$) на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Из цепочки $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160+160m}\text{Ho}$ исследовалось излучение гольмия. Из сложного

источника $^{160+160m}$ Но методом отдачи был получен гольмий в основном состоянии. Источником 169 Lu служила лютециевая фракция, источник 170 Lu выделялся из гафниевого фракции.

2) Излучение исследуемых изотопов измерялось при помощи нескольких спектрометров с Ge(Li) -детекторами объемом 5,6,10,12, 20 и 30 см³ и разрешающей способностью от 4 до 7 кэВ на половине высоты линии 1332 кэВ 60 Co. Наилучшими данными по линейности энергетической калибровки обладал спектрометр Института физики Орхусского университета (Дания), что позволило определить энергии γ -переходов с хорошей точностью (170 Lu).

3) Каскады γ -переходов, возникающие при разрядке уровней 170 Yb, исследовались методами e^-e^- , γ - γ и e^- - γ -совпадений. Измерения проводились на установке Института ядерных исследований в Варшаве^{/1/}. Использовалась следующая аппаратура: тороидальный шестизазорный β -спектрометр (типа "апельсин"), спектрометры с Si(Li) - и Ge(Li) -детекторами и сцинтилляционная техника.

II глава посвящена исследованию 170 Yb. К началу нашей работы в схеме уровней 170 Yb надежно установленными были только два состояния основной ротационной полосы. Однако, исходя из большой разности масс 170 Lu - 170 Yb, сложного спектра излучения 170 Lu и спина 0^+ материнского 170 Lu, можно было ожидать в 170 Yb возбуждения большого числа состояний с малыми спинами, что встречается в одном ядре весьма редко. Выявление подобной схемы могло представить несомненный интерес для теоретических исследований.

Экспериментальные результаты

1) Спектр γ -лучей 170 Lu впервые измерен на γ -спектрометрах с Ge(Li) -детекторами. Определены энергии и интенсивности около 160 переходов. Для интенсивностей остальных 100, известных из спектров конверсии, сделаны оценки. Вычислены коэффициенты внутренней конверсии (с привлечением данных об интен-

сивностях конверсионных электронов, известных из литературы) и определены мультипольности γ -переходов.

2) На основании этих данных и результатов измерений совпадений построена схема уровней 170 Yb, в которую вошло 30 новых состояний. На рис. 1-3 представлена окончательная схема, включающая, помимо наших данных, уровни, введенные в работе^{/2/} и подтверждаемые нашими результатами. Как видно из рисунков, в 170 Yb возбуждается уникально большое число состояний с малыми спинами. (4 состояния с $1^\pi = 0^+$, 10 с $1^\pi = 1^+$ и 20 с $1^\pi = 1^-$).

3) Вычислены вероятности β -переходов 170 Lu. Следует отметить, что вероятности β -переходов на возбужденные состояния 0^+ имеют близкие значения $\log ft$ (рис. 1) к значению $\log ft = 9,5$ для запрещенного по изоспину β -перехода на основное состояние 170 Yb.

Результаты анализа возбужденных состояний 170 Yb.

1) Согласно обобщенной модели в обоих ее вариантах - аксиальных и неаксиальных ядер - в чётно-чётных деформированных ядрах возможно существование не более двух 0^+ -состояний. Из существования в 170 Yb четырех 0^+ -состояний следует, что возбуждение подобных состояний обязано не только коллективным движениям в ядре. Микроскопические модели, согласно которым 0^+ -возбуждения более сложны и многообразны, лучше описывают реальную картину. На основании расчёта параметра $X = \frac{B(E0)}{B(E2)}$ и сравнения его значения с предсказаниями различных микроскопических моделей^{/3-6/}, а также исходя из найденных значений моментов инерции ядра в 0^+ -состояниях, мы предполагаем, что структура 0^+ -состояний в 170 Yb следующая: первое (1069 кэВ) является коллективным, обязанным спин-квадрупольным силам, второе (1228 кэВ) - коллективным β -вибрационным, третье (1479 кэВ) и четвертое (1565 кэВ) имеют большие примеси двухквартичных компонент и обязаны возбуждениям за счёт пар-

% logft I[±]K E(keV)
 <0.7 ≥8.5 (2⁺) 25243±0.6

<0.4 ≥9.0 2⁺⁽¹⁾ 211317±0.25

<0.6 ≥9.0 2⁻⁽²⁾ 17576±0.4

<1.6 ≥8.7 (2⁺)(2) 13441±0.2

<2.7 ≥8.6 2⁺ 2 1138.27±0.13

4⁺ 0 277.8±0.2

2⁺ 0 84.26±0.02

0⁺ 0

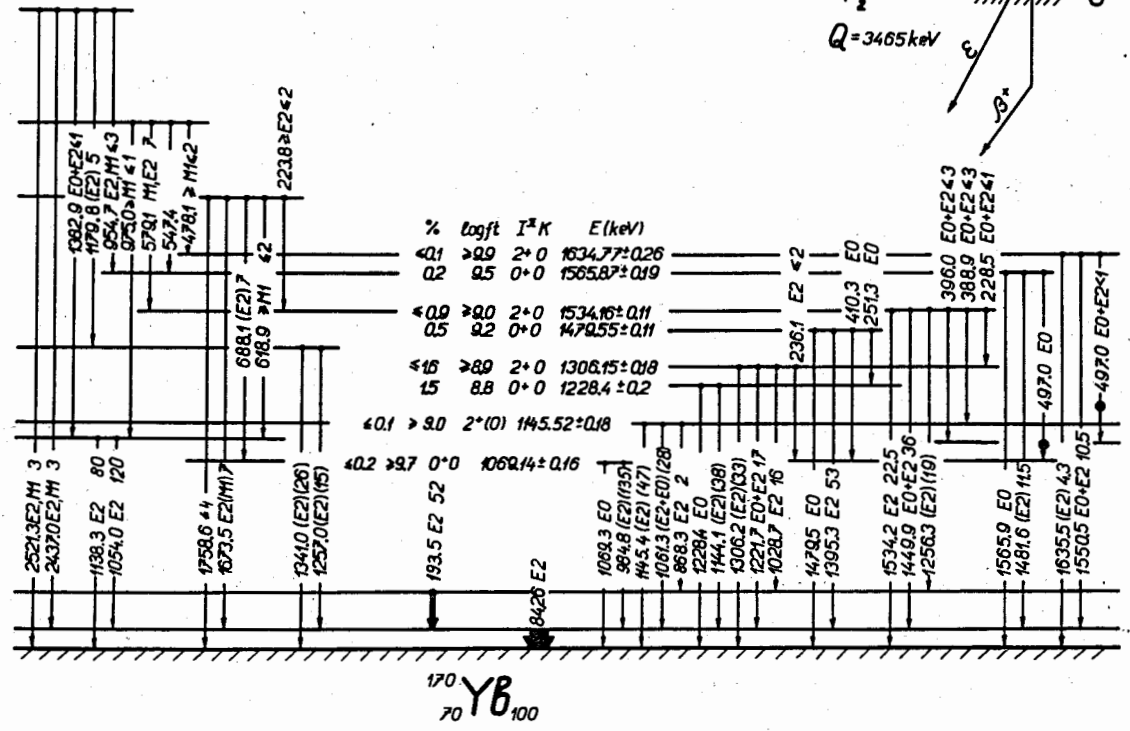


Рис. 1. Фрагмент схемы возбужденных состояний ¹⁷⁰Yb с I^π = 0⁺, 2⁺.

ных вибраций: Анализ значений X в ^{170}Yb и ядрах ^{184}Er , ^{176}Hf , ^{178}Hf , имеющих также несколько 0^+ -состояний, показал, что параметр X увеличивается с ростом энергии возбужденных состояний, что, очевидно, отражает общую закономерность: нижние 0^+ -состояния соответствуют наиболее коллективным – спин-квадрупольным и β -вибрационным, более высокие 0^+ -состояния – двухквазичастичным, возбуждающимся за счёт парных вибраций.

2) Сравнение наблюдаемых свойств 1^+ -состояний с теоретическими предсказаниями Габракова и др.^{/7/}, согласно которым структура возбуждений типа 1^+ двухквазичастичная с небольшой коллективизацией за счёт осцилляции магнитного дипольного момента ядра, показало, что подобная теория хорошо описывает свойства состояний 1^+ . В частности, эти расчёты позволяют понять большие значения вероятностей разрешенных $(0^+ - 1^+) \beta$ -переходов ^{170}Lu .

3) В теоретической работе Пятова и Чернея^{/8/} предсказывается, что спин-квадрупольные взаимодействия, помимо мультимоль-мультипольных, должны существенно влиять на энергетическое положение состояний $K^\pi = 2^+$. Из наших результатов следует достаточно хорошее согласие эксперимента с расчётами Пятова и Чернея.

4) В настоящее время теория предсказывает возбуждение уровней с отрицательной четностью различной природы: октупольных, двухквазичастичных, двухфоонных.

Мы полагаем, что первые два состояния 1364 и 1511 кэВ являются коллективными октупольными, что следует из сравнения их свойств с расчётами по модели Соловьева^{/9/}. Несколько состояний, возможно, имеют двухквазичастичную структуру, что следует из сравнения их свойств с расчётами двухквазичастичных состояний Галлахера и Соловьева^{/10/}, проведенных на базе потенциала Нильссона, и расчётами Федотова и др.^{/11/}, проведенных на базе потенциала Саксона-Вудса. Мы полагаем также, что в ^{170}Yb

возбуждаются двухфоонные состояния 2363 и 2939 кэВ (рис. 3), являющиеся суперпозицией октупольных и квадрупольных вибраций. Однако всей совокупности наблюдающихся в ^{170}Yb состояний с отрицательной четностью имеющиеся теоретические представления объяснить не могут. По-видимому, для этого требуется их дальнейшее развитие.

III глава посвящена исследованию ^{160}Dy .

Вследствие различия спинов материнских ядер (3^- ^{160}Tb) и (5^+ ^{160}Ho и 2^- ^{160m}Ho) для схемы уровней ^{160}Dy характерны хорошо развитые ротационные полосы самой разной природы. В этом смысле ядро ^{160}Dy можно рассматривать как "демонстрационное" деформированное ядро, на котором удобно проверять предсказания обобщенной и других моделей. Исследование ^{160}Dy привлекало многих авторов. Однако сложность спектра материнского $^{160+160m}\text{Ho}$ и отсутствие сведений о мультипольности жесткого γ -излучения позволяли нам надеяться, что наши измерения помогут создать физически более обоснованную базу для построения схемы уровней ^{160}Dy .

Экспериментальные результаты

1) Спектр γ -лучей $^{160+160m}\text{Ho}$ впервые измерен при помощи γ -спектрометров с Ge(Li) -детекторами. Определены энергии и интенсивности около 150 γ -переходов, для интенсивности остальных 65, известных из спектров конверсии, сделаны оценки. Вычислены коэффициенты внутренней конверсии (с использованием данных об интенсивностях конверсионных электронов, известных из литературы) и определены мультипольности γ -переходов.

2) Впервые из сложного источника $^{160+160m}\text{Ho}$ методом отдачи выделен ^{160}Ho и измерен его спектр γ -лучей на спектрометре с Ge(Li) -детектором. Это позволило нам получить ценные для построения схемы уровней ^{160}Dy сведения – с какого состояния гольмия: основного или изомерного – возбуждаются определенные

уровни ^{160}Dy , вычислить вероятности β -переходов ^{160}Ho и $^{160\text{m}}\text{Ho}$ и уточнить квантовые характеристики состояний.

3) На основе полученных данных была проанализирована известная схема уровней ^{160}Dy /12,13/. Данные этих работ значительно уточнены. Определены квантовые характеристики многих состояний с высокой энергией. Ряд состояний не подтвердился нашими результатами. Схема уровней ^{160}Dy существенно дополнена. Было введено 10 новых возбужденных состояний и определены их квантовые характеристики. Большинство из них, наиболее интенсивно заселяющихся, в дальнейшем подтверждено γ - γ -совпадениями на Ge(Li)-спектрометрах /14/. Предполагается, что введенное нами состояние 1263 кэВ - β -вибрационное, а уровень 1349 кэВ - его ротационный $I^\pi, K = 2^+0$. Схема уровней, являющаяся результатом нашей работы и данных /12,13/, подтверждаемых нами, представлена на рис. 4 и 5. В нее включены также уровни, обнаруженные по совпадениям /14/.

Результаты анализа свойств состояний ^{160}Dy

1) Из энергетики ротационных полос ^{160}Dy (основной и γ -вибрационной) убедительно следует, что ротационная модель плохо описывает положение уровней с высоким спином, а также следует, что учёт взаимодействия вращения ядра с колебанием его поверхности (RV-модель /15/) приводит к хорошему согласию с экспериментом. В модели неаксиальных ядер Давыдова-Чабана неплохо передается положение уровней основной полосы, но положение уровней γ -вибрационной полосы имеет значительное расхождение с экспериментом. По-видимому, это связано с тем, что модель Давыдова-Чабана не предусматривает изменения параметров "мягкости" и неаксиальности ядра для разных полос.

2) Расчёт приведенных вероятностей γ -переходов, разряжающих возбужденные состояния на уровни вращательных полос, подтвердил, что учёт смешивания волновых функций состояний по квантовому числу K существенно улучшает согласие теоретических и экспериментальных значений.

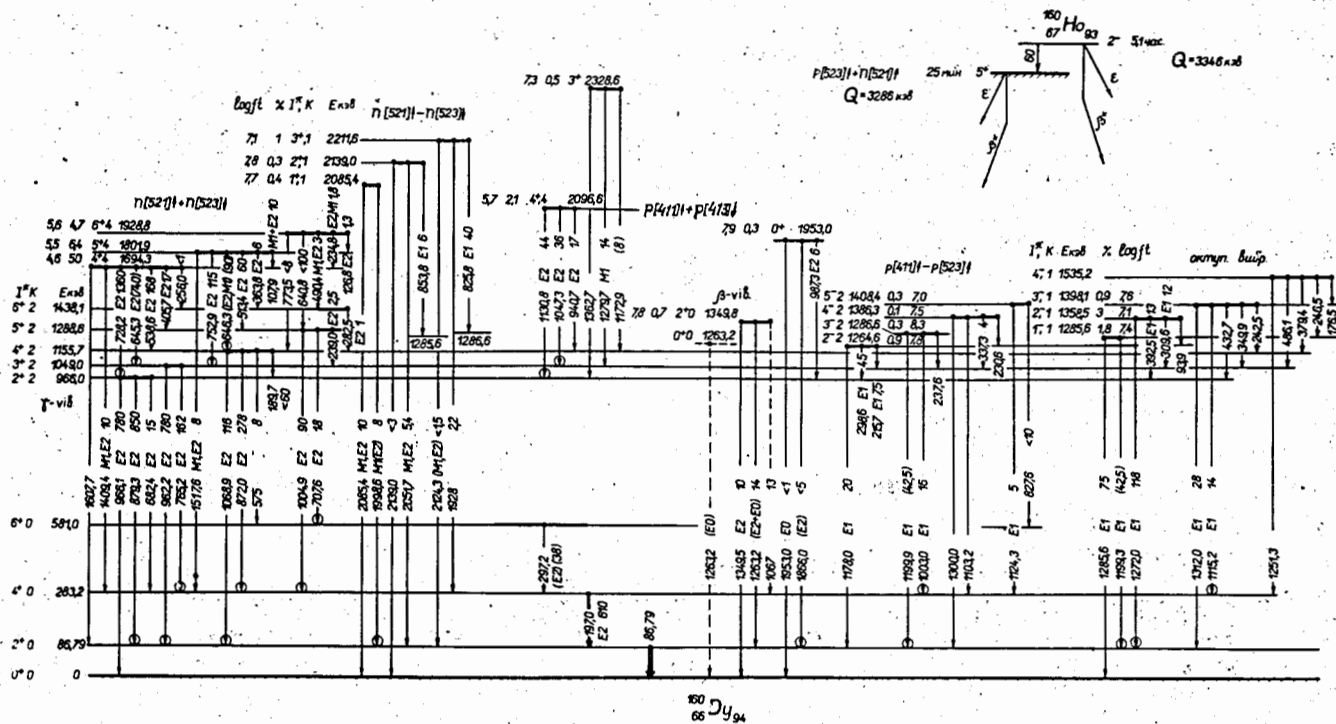


Рис. 4. Схема возбужденных состояний 160 Ду (1-ая часть).

Кружки на стрелках означают, что размещение соответствующего γ -перехода подтверждено совпадениями/14/.

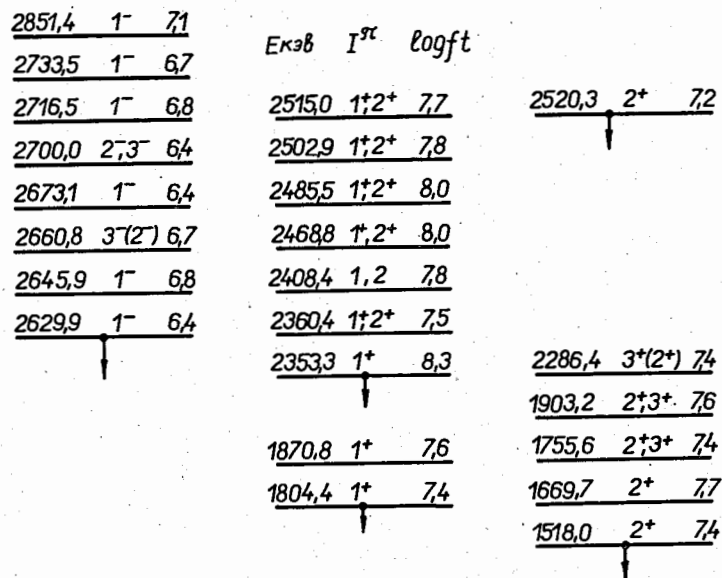


Рис. 5. Схема возбужденных состояний ^{160}Dy (2-ая часть).

3) Определив вероятности β^- -переходов с изомерного состояния гольмия на уровни ^{160}Dy и зная структуру возможных двухквaziчастичных состояний ^{160}Dy , рассчитанную Галлахером и Соловьевым /10/, можно высказать предположение, что структура изомерного состояния гольмия $^{\pi}41\zeta+521\uparrow$.

4) Среди наблюдаемых уровней $I^{\pi}=1^{+}$ часть, по-видимому, соответствует двухквaziчастичным со слабой коллективизацией /7/.

IV глава посвящена исследованию нечётного ядра ^{169}Yb . Схема уровней ^{169}Yb сложна и интересна тем, что в ней наблюдается много одночастичных и коллективных состояний и ротационных полос, основанных на этих состояниях. Это позволяет проводить широкое сравнение экспериментальных данных с различными современными моделями. В частности, представляют интерес состояния сложной структуры, коллективные состояния как свидетельство единой природы возбуждения уровней как в чётных, так и в нечётных ядрах, роль взаимодействия одночастичного и вращательного движения в ядре. Обширность имеющихся к началу нашей работы сведений о схеме уровней ^{169}Yb из ядерных реакций (n, γ), не исключала необходимости исследовать ее из β^- -распада ^{169}Lu , т.к. результаты обоих исследований должны дополнять друг друга (спин материнского ^{169}Lu $7/2^{-}$, спин захватного состояния ^{169}Yb $1/2^{+}$).

Экспериментальные результаты

1) Спектр γ -лучей ^{169}Lu впервые измерен при помощи спектрометров с Ge(Li) -детекторами. Определены энергии и интенсивности около 100 γ -переходов, оценена интенсивность более слабых переходов, известных из спектров конверсии. Вычислены коэффициенты внутренней конверсии (с учётом данных об интенсивностях конверсионных электронов, известных из литературы) и определены мультипольности γ -переходов.

2) Путем сравнения разрядки состояний, проявляющихся в (n, γ) - реакции и при β^- -распаде, было показано, что в

некоторых случаях наблюдается возбуждение одних и тех же состояний. Обнаружено, что при β -распаде также возбуждаются наблюдавшиеся ранее только в реакциях частично коллективизированные состояния $3/2^- [521] + [521]$ γ -виб., $3/2^+ [633]$ γ -виб. + $[651]$, уровень 1616,2 кэв, состояние $5/2^+ [642]$. Предположено, что ротационные состояния $5/2^+ [642]$ со спинами $7/2^+$ и $9/2^+$ имеют энергию 647,2 и 728,6 кэв.

3) Проанализирована известная из β -распада схема уровней ^{169}Yb /16/, которая строилась без учёта мультипольностей жестких γ -переходов. Наши данные привели к довольно значительному ее уточнению, а также к дополнению ее состояниями 1074,6 и 2237,5 кэв.

4) В результате этой работы построена схема уровней ^{169}Yb , возбуждаемых при β -распаде, и определены вероятности β -переходов (рис. 6,7). В схему включен также ряд состояний с высокой энергией, обнаруженных впоследствии авторами /17/ и подтвержденных нашими данными.

Результаты анализа свойств возбужденных состояний ^{169}Yb и β -распада ^{169}Lu .

1) Проведено сравнение наблюдаемых свойств состояний с их структурой, рассчитанной Соловьевым и др. /18,11/ на базе потенциалов Нильссона и Саксона-Вудса, и Михаэлисом и др. /19/, использующими те же предпосылки, что и в работе /18/, но учитывающими взаимодействие одночастичного и вращательного движения в ядре. Показано, что экспериментальные данные лучше согласуются с расчётами Михаэлиса и др., т.е. учёт взаимодействия Кориолиса приводит к весьма существенным уточнениям структуры состояний.

2) Сравнение относительного положения уровней полосы $5/2^+ [642]$, испытывающей сильное кориолисово взаимодействие с другими полосами положительной чётности, с расчётами Пятова и Чернея /20/ и расчётами Михаэлиса и др. /19/, проведенными методом теории возмущения, показало, что метод Пятова и Чернея дает много лучшее согласие с экспериментом.

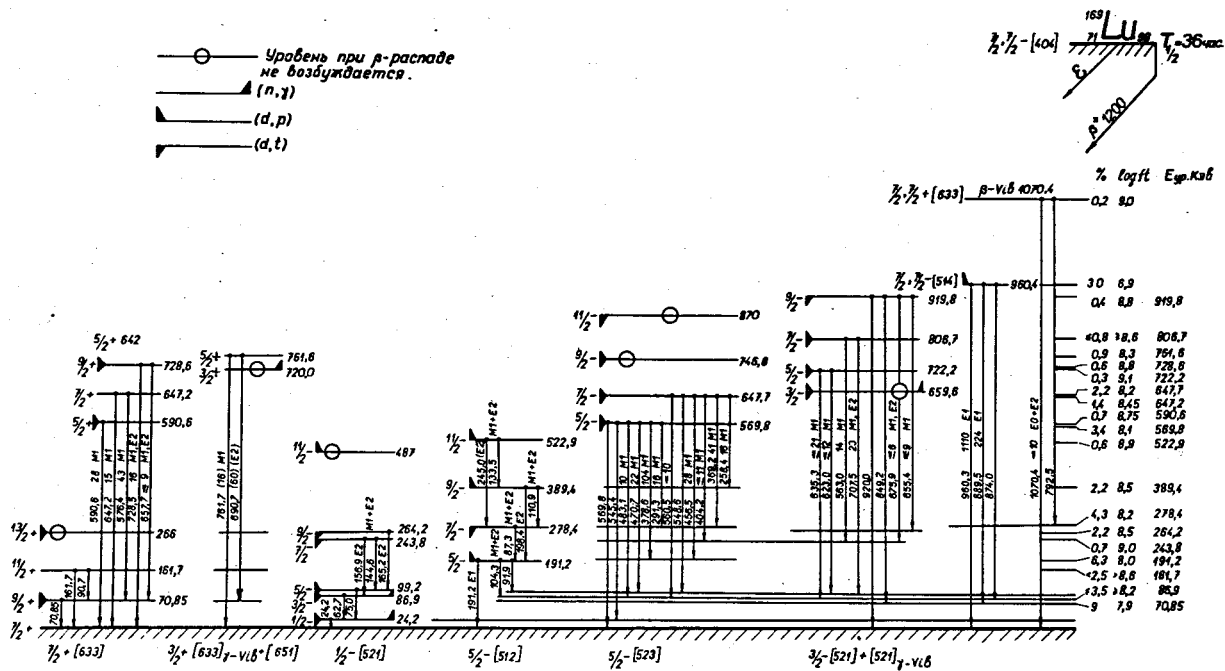


Рис. 6. Схема возбужденных состояний ^{169}Yb с энергией до 1100 кэВ.

2297,2	$(5/2, 7/2, 9/2^+)$	6,1
2286,1	$7/2, 9/2^-$	6,2
2246,3	$5/2^-$	6,0
2237,5	$5/2^-(7/2, 9/2^-)$	6,0
2096,6	$7/2, 9/2^-$	6,5
↓		
1616,2	$5/2^-(3/2, 7/2^-)$	7,7
↓		
1353,7	$5/2^+$	7,7
1311,6	$5/2^+(7/2^+)$	8,0
↓		

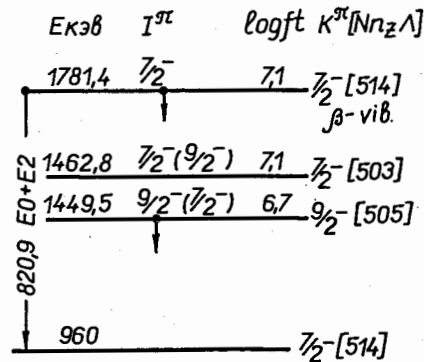


Рис. 7. Схема возбужденных состояний ^{169}Yb с энергией выше 1100 кэв.

3) Сделан краткий обзор свойств, типичных для коллективных состояний в нечётных деформированных ядрах, на основании которого рассмотрены коллективные состояния, известные из ядерных реакций, и идентифицированы β -вибрационные состояния $7/2^+ [633]$ 1074,6 кэв и $7/2^- [514]$ 1781 кэв, проявляющиеся только при β -распаде.

4) Рассчитаны вероятности β -переходов ^{169}Lu на уровни ^{169}Yb с учётом сверхтекучих поправок. Отмечено, что сверхтекучие поправки значительны для β -переходов на "дырочные" состояния ^{169}Yb .

5) Проведен анализ наблюдаемых β -переходов в рамках имеющейся систематики β -распада $^{21/}$, из которого последовало, что экспериментальные значения вероятностей β -переходов с поправками на сверхтекучесть несколько лучше согласуются с систематикой Громова, чем со значениями, предсказанными Соловьевым.

6) В рамках систематики Громова и Моттельсона-Нильссона $^{21/}$ определен возможный тип β -переходов на уровни ^{169}Yb неизвестной структуры.

Общие выводы

Из проведенного анализа видно, что наблюдаемые свойства возбужденных состояний деформированных ядер хорошо описываются моделями и теориями, учитывающими взаимодействие различных движений в ядре.

1. Весьма существенно взаимодействие вращения ядра и колебания его поверхности. Расчёты по соответствующей RV-модели неплохо передают энергетическое положение уровней (^{160}Dy), в то время как расчёты по ротационной формуле обобщенной модели Бора-Моттельсона дают существенное отклонение от эксперимента.

2. Согласно теории Доннера-Грайнера $^{22/}$, взаимодействие октупольных и квадрупольных вибраций должно приводить к образованию состояний сложной структуры - двухфононным состояниям. Предполагается, что два таких состояния обнаружены (^{170}Yb).

3. Значительна роль взаимодействия одночастичного и вращательного движения в ядре, влияющего как на структуру возбужденных состояний в нечётных ядрах, так и на их энергетическое положение (^{169}Yb).

4. Учёт смешивания состояний по квантовому числу K значительно улучшает согласие теоретических приведенных вероятностей γ -переходов и экспериментальных (^{160}Dy).

5. Микроскопические модели являются весьма плодотворными. В рамках этих моделей возможна интерпретация природы нескольких 0^+ -состояний в одном ядре, интерпретация многих возбужденных состояний 1^+ , 1^- , 2^+ (^{170}Yb). Весьма важным является учёт спин-квадрупольных сил, помимо мультиполь-мультипольных (^{170}Yb). Взаимодействие квазичастиц с фононами объясняет появление состояний сложной структуры и коллективных состояний в нечётных ядрах (^{169}Yb).

Основные результаты данной диссертации докладывались на ежегодных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре ядра (XVII-XX), симпозиуме стран-участниц ОИЯИ (X), Международном симпозиуме по структуре ядра (Дубна, 1968) и опубликованы в печати /23-30/.

Л и т е р а т у р а

1. Z. Preibisz, W. Kurcewicz, A. Zglinski. *Nucleonica* 14, 743 (1969).
2. В.А. Балалаев, Б.С. Джелепов, А.И. Медведев, В.Е. Тер-Нерсесянц, И.Ф. Учеваткин, С.А. Шестопалова. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 31, 1633 (1967); 32, 730 (1968); 33, 2 (1969).
3. V.G. Soloviev. *Nucl. Phys.*, 69, 1 (1965).
4. Н.И. Пятов, А.А. Кулиев. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 32, 831 (1968).
5. A. Bohr. *Congress Int. de Phys. Nucl., Paris*, 1, 487 (1964).
6. С.Т. Беляев. *Ядерная физика*, 4, 936 (1966).
7. С.И. Габраков, А.А. Кулиев, Н.И. Пятов. Препринт ОИЯИ Е4-4774, Дубна, 1969.

8. Н.И. Пятов, М.И. Черней. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 31, 1689, (1967).
9. К.М. Железнова, А.А. Корнейчук, В.Г. Соловьев, П. Фогель, Г. Юнгклауссен. Препринт ОИЯИ Д-2157, Дубна, 1966.
10. C.J. Gallagher, V.G. Soloviev. *Mat. Fys. Skr. Dan. Selsk.*, 2, No 2 (1962).
11. S.I. Fedotov, V.G. Soloviev, L.A. Malov. *Contr. Int. Conf. on Nucl. States*, Montreal, Canada (1969), p. 36, 2-38.
12. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, Б.С. Джелепов, А.В. Золотавин, В.О. Сергеев. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 30, 530, 1966.
13. Е.П. Григорьев, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, Т.А. Исламов, В.Г. Калинин, У.К. Назаров, С.С. Сабиров. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 33, 635, 1969.
14. Е.П. Григорьев, И. Звольски, Н.А. Тихонов, В.И. Фоминых. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 34, №10, 1970.
15. A. Fessler, W. Greiner, R.K. Sheline. *Nucl. Phys.*, 70, 33 (1965).
16. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. "Схемы распада радиоактивных ядер". Изд. АН СССР, М-Л., 1963.
17. В.А. Балалаев, Б.С. Джелепов, А.И. Медведев, В.Е. Тер-Нерсесянц, И.Ф. Учеваткин, С.А. Шестопалова. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 34, 2, 1970.
18. В.Г. Соловьев, П. Фогель, Г. Юнгклауссен. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 31, 518, 1967.
19. W. Michaelis, F. Weller, M. Schmidt, G. Markus, U. Fanger. *Nucl. Phys.*, 119, 609 (1969).
20. Н.И. Пятов, М.И. Черней. Препринт ОИЯИ, Р4-4966, Дубна, 1970.
21. К.Я. Громов, Обзор в книге "Структура сложных ядер", стр. 299, Москва, Атомиздат, 1966.
22. W. Donner, W. Greiner. *Z.f. Phys.*, 197, 440 (1966).
23. Н.А. Бонч-Осмоловская, Я. Врзал, Е.П. Григорьев, Я. Липтак, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р-2817, Дубна, 1968.
24. Н.А. Бонч-Осмоловская, Я. Врзал, Е.П. Григорьев, Н.Г. Зайцева, Я. Липтак, В.Г. Тишин, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-3452, Дубна, 1967. *Czech. J. Phys.* B19, 254 (1969).

25. N.A. Bonch-Osmolovskaya, A. Plochocki, Z. Preibisz, AZglinski. Int. Symp. on Nucl. Str. (Dubna, 1968), D-3893 p42.
26. N.A. Bonch-Osmolovskaya, E.P. Grigoriev, J. Liptak, J. Urbanec. Int. Symp. of Nucl. Str. (Dubna, 1968), D-3893, p. 43.
27. Н.А. Бонч-Осмоловская, Я. Врзал, Е.П. Григорьев, Я. Липтак, Г. Пфреппер, Я. Урбанец, Д. Христрв. Изв. АН СССР, сер. физ., 32,98, 1968.
28. Н.А. Бонч-Осмоловская, Е.П. Григорьев, Я. Липтак, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-4243, Дубна, 1969.
29. Н.А. Бонч-Осмоловская, Х. Баллунд, А. Зглиньский, А. Плохоцкий, З. Прейбыш. Препринт ОИЯИ Р6-4773, Дубна, 1969.
30. Н.А. Бонч-Осмоловская, Е.П. Григорьев, Я. Липтак, Я. Урбанец, Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 12, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 октября 1970 года.