

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г - 702

6-82-612

ГОРОЖАНКИН  
Вячеслав Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ  
НЕЧЕТНЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР  
 $^{159}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Er}$  И  $^{165}\text{Er}$

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1982

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук  
ГРОМОВ К.Я.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
ПОПОВ Ю.П.,  
кандидат физико-математических наук  
ИВАНОВА С.П.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт ядерных исследований АН УССР, Киев.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 198\_\_ г.  
в \_\_\_\_\_ час. на заседании специализированного Совета Д047.01.03  
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 198\_\_ г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь специализированного Совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Настоящие исследования выполнены в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с использованием имеющегося в этом отделе комплекса электронной аппаратуры, полупроводниковых спектрометров и безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем.

Актуальность работы. Экспериментальное исследование структуры и свойств возбужденных состояний атомных ядер является одной из важнейших задач ядерной физики. Отсутствие завершенной теории атомного ядра стимулирует получение новых экспериментальных данных с целью уточнения существующих модельных представлений, что в свою очередь повышает требования к качеству и достоверности ядерно-спектроскопической информации.

Изучаемая область сильно деформированных ядер представляет значительный интерес именно с точки зрения проверки полноты описания современными моделями реальных свойств этих ядер.

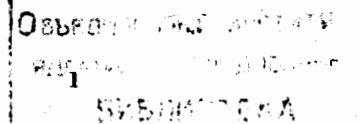
Разработанные в диссертации методы были применены для получения новых и более точных экспериментальных данных о схемах распада радиоактивных ядер, что способствует более полному пониманию закономерностей радиоактивного распада и дальнейшему развитию представлений о характере ядерных взаимодействий в области сильной деформации.

Цель работы. Создание методики прецизионных измерений энергии гамма-квантов при помощи полупроводниковых детекторов (ППД) с использованием ЭВМ для обработки результатов.

Разработка методики измерения малоинтенсивных компонентов позитронов на базе светосильного безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем.

Проведение исследований распада деформированных ядер  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$  на основе разработанных методик для получения максимально возможного объема прецизионной информации о структуре состояний дочерних ядер  $^{159}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$ .

Анализ особенностей схем распада указанных ядер и свойств их возбужденных состояний, а также систематизация и сравнение с результатами модельных расчетов.



**Научная новизна.** Разработаны новые методики прецизионного измерения энергии гамма-квантов с помощью ИЩ и измерения спектров малоинтенсивных компонентов позитронов с использованием безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем, которые позволяют определять энергии гамма-переходов с погрешностями в несколько электрон-вольт и получать сведения (граничные энергии, интенсивности) о позитронах с интенсивностью до  $10^{-5}$  расп. $^{-1}$ .

Впервые обнаружено позитронное излучение  $^{159}\text{Ho}$  и с высокой точностью определена разность масс  $^{159}\text{Ho}$  —  $^{159}\text{Dy}$ . В спектрах позитронов  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$  установлены 5 новых компонентов позитронов, что позволило на порядок улучшить точность определения энергии распада и снять неоднозначности в определении этой величины, существовавшие ранее.

Предложены новые схемы распада исследованных изотопов, отличающиеся высокой точностью определения энергий и хорошим балансом интенсивностей возбужденных состояний. Это обстоятельство позволило дать энергетическое обоснование дублету уровней противоположной четности при энергии 590 кэВ в  $^{165}\text{Er}$ , на существование которого указывалось ранее. Впервые определена разность энергий уровней этого дублета, которая составляет  $154 \pm 13$  эВ.

В исследованиях нечетных изотопов диспрозия впервые получено указание на возбуждение при распаде  $^{159}\text{Ho}$  состояний, имеющих бета-вибрационные примеси. В ядре  $^{163}\text{Er}$  идентифицирована гамма-вибрационная полоса, которая ранее не наблюдалась. Для уровней  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$  с энергиями возбуждения выше 1,3 МэВ обнаружено значительное фрагментирование состояний трехквартичного мультиплета

$$\{p \ 1/2^+ / 411/ + p \ 7/2^- / 523/ + n \ 5/2^- / 523/\}.$$

**Практическая ценность.** Разработанная методика измерения энергий гамма-квантов с успехом была использована для построения полного набора нормалей энергий гамма-квантов, который может быть применен при градуировке спектрометров для фундаментальных и прикладных исследований. Полученные результаты были использованы при создании Государственных стандартных справочных данных (ГССД) многореперных образцовых спектрометрических гамма-источников.

Предложенные схемы распада  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$  и сведения об излучениях этих изотопов расширяют экспериментальную основу проведения исследований нейтронодефицитных ядер, еще более удаленных от полосы бета-стабильности.

Получение точных данных о дублете уровней противоположной чет-

ности в  $^{165}\text{Er}$  представляет интерес с точки зрения возможного изучения несохранения четности в электромагнитных переходах между ядерными состояниями.

#### На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Методика прецизионных измерений энергий гамма-квантов с помощью полупроводниковых детекторов.
2. Методические решения проблемы измерений малоинтенсивных компонентов позитронного излучения с помощью безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем.
3. Экспериментальные результаты изучения спектров позитронов и энергии бета-распада деформированных ядер  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ .
4. Экспериментальные данные об энергиях и интенсивностях гамма-квантов и ЭВК, мультипольностях гамма-переходов и  $e - \gamma$  - совпадениях при распаде  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ .
5. Схемы распада  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ . Выводы о квантовых характеристиках возбужденных состояний  $^{159}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$ .
6. Результаты анализа и интерпретации свойств возбужденных состояний деформированных ядер  $^{159}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$ .
7. Выводы о закономерностях бета-силовых функций распада нечетных изотопов гольмия и тулия.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на XXVII (1977 г., Ташкент), XXVIII (1978 г., Алма-Ата), XXIX (1979 г., Рига), XXX (1980 г., Ленинград) и XXXII (1982 г., Киев) Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на XIU (1975 г.) и XV (1978 г.) Международных совещаниях по ядерной спектроскопии и теории ядра в Дубне, на Международной конференции по физике ядра в Беркли (1980 г., США), на семинарах по физике атомного ядра ЛЯП ОИЯИ.

**Публикации.** Основные результаты исследований, полученные в диссертации, представлены в 10 работах, опубликованных в центральных изданиях и в виде препринтов ОИЯИ.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения и содержит 85 страниц текста, 21 таблицу на 39 страницах, 65 рисунков на 44 страницах и список литературы из 99 наименований на 11 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности темы исследования: сформулированы цели, научная новизна и основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе описаны результаты методических разработок для проведения прецизионных исследований гамма-излучения и ЭВК с помощью ПЩ и измерений спектров малоинтенсивных компонентов позитронов с использованием безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем.

Изложены способы получения и приготовления радиоактивных источников, использовавшихся в измерениях. Подробно описана методика измерения энергий и интенсивностей гамма-квантов и ЭВК с помощью полупроводниковых спектрометров. Рассмотрены особенности применения различных комбинаций ПЩ, спектрометрических каналов и анализирующей аппаратуры для исследования спектров гамма-квантов и ЭВК при решении конкретных задач. Здесь же приведены характеристики использованных спектрометров и сформулированы требования к их параметрам и условиям прецизионных исследований.

Точность измерения энергий и интенсивностей дискретных излучений радиоактивных нуклидов определяется характеристиками спектрометров с ПЩ, методикой измерений и, главным образом, применением ЭВМ для обработки спектральных линий. Рассмотрены форма аппаратного спектра и вопросы обработки спектральной линии с помощью ЭВМ. Изучено влияние наиболее важных параметров аппаратного спектра на точность и воспроизводимость получаемых результатов; сделан вывод о возможности получения значений позиций пиков и их площадей с погрешностями, соответственно,  $\sim 10^{-3}$  канала и  $0,3 \div 0,5\%$  при соблюдении определенных требований, вытекающих из исследованных зависимостей.

Дан подробный анализ эффектов различной природы, которые приводят к искажению аппаратного спектра. Сформулированы требования к условиям эксперимента для проведения прецизионных измерений и сделаны выводы о достижимой точности результатов.

Описан метод определения энергий и интенсивностей гамма-квантов из спектров, получаемых с помощью ПЩ. Отличительной особенностью разработанной методики измерения энергий гамма-квантов является получение точных значений энергий во всем исследуемом диапазоне спектра гамма-излучения радионуклидов. Использование для энергетической калибровки шести реперов обеспечивает минимальные искажения аппаратного спектра и высокую достоверность получаемых результатов. Эта осо-

бенность оказалась решающей при проведении поточных измерений сложных спектров гамма-квантов.

Метод включает в себя предварительную коррекцию результатов обработки аппаратных спектров (позиций пиков и их площадей) и последующее линейное преобразование "позиция пика - энергия", "площадь пика - интенсивность". При определении энергии гамма-квантов предварительно проводится исследование нелинейности спектрометра. Нелинейность спектрометра  $\delta(P)$  определяется как отклонение позиции пика  $P$  с энергией  $E$  от произвольно выбранной прямой  $P = A + BE$ .

На практике измеряется спектр калибровочных источников, по двум линиям  $P_1$  и  $P_2$  с энергиями  $E_1$  и  $E_2$  проводится прямая и по отклонениям

$$\delta_1 = P_1 - \left[ \frac{P_2 - P_1}{E_2 - E_1} \cdot E_1 + \frac{P_1 \cdot E_2 - P_2 \cdot E_1}{E_2 - E_1} \right]$$

степенным рядом вида

$$\delta(P) = \sum_{n=1}^M A_n \cdot P^{n-1} \quad (M \leq 5)$$

аппроксимируется нелинейность. Параметры  $A_n$  сохраняются при неизменных условиях измерений (спектрометр, энергетический диапазон и т.д.) и используются при расчете корректирующей поправки к позициям пиков в исследуемых спектрах.

Метод требует наличия в исследуемых спектрах всего шести реперных линий с точно известными энергиями. После коррекции позиций линий исследуемого спектра на нелинейность методом наименьших квадратов по шести реперам определяются параметры преобразования "позиция пика - энергия"  $E = V_1 + V_2 P$  и проводится расчет энергий всех линий исследуемого спектра.

Для определения интенсивностей гамма-квантов предварительно исследуется эффективность спектрометра. С помощью источников с известными интенсивностями (абсолютными или относительными) гамма-квантов определяются экспериментальные значения  $\epsilon(E_1)$ , по которым методом наименьших квадратов аппроксимируется зависимость

$$\ln \epsilon(E) = \sum_{n=1}^M C_n \cdot (\ln E)^{n-1} \quad (M \leq 5).$$

Экспериментально полученные значения площадей пиков корректируются на эффективность и с помощью линейного коэффициента преобразования, полученного по известной (либо произвольно задаваемой в случае относительных измерений) интенсивности одного из гамма-переходов в исследуемом спектре.

дуемом спектре, переводятся в интенсивности (абсолютные или относительные).

В диссертации приводятся формулы, используемые при расчете энергий, интенсивностей и их погрешностей в случаях однократных и многократных измерений; дано описание программ.

В последнем разделе главы изложена методика измерения малоинтенсивных компонентов позитронов с помощью безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем. Сечение прибора схематически изображено на рис. 1. Расстояние между источником излучения (2) и сцинтилляционным детектором (6) равно

700 мм; апертура прибора ограничена круглыми неподвижными (4) и подвижными (5) диафрагмами, задающими диапазон углов входа частиц  $30^\circ$  (при максимальной светосиле  $20\% \pm 75^\circ$ ; разрешающая способность спектрометра  $0,5 \pm 1,1\%$  (по импульсу) при светосиле  $10 \pm 20\%$ , соответственно.

В исследовании искажающих факторов аппаратного спектра, определяемых конструктивными особенностями используемого бета-спектрометра, установлено, что:

а) кастрированием прибора достигнута хорошая симметрия формы спектральной линии при максимальной трансмиссии;

б) верхняя оценка рассеяния электронов с  $E_e \geq 35$  кэВ на молекулах газа, получающаяся из установленной зависимости рассеяния от величины остаточного давления в объеме камеры, составляет  $\leq 0,01\%$

при рабочем давлении  $5 \cdot 10^{-5} + 10^{-4}$  торр;

в) при достигнутом уровне компенсации внешних магнитных полей ( $< 0,01$  гаусс) не наблюдается искажений формы спектральной линии при энергиях ЭВК, больших 10 кэВ;

г) в условиях принудительного охлаждения токовой катушки влияние температурной деформации витков и соответствующего изменения конфигурации магнитного поля не превышает

$0,003 \text{ A}^\circ\text{C}$  на положение спектральной линии;  
 $0,06\%/\text{C}$  на разрешающую способность прибора;  
 $0,05 \text{ } \%/^\circ\text{C}$  на трансмиссию.

Исследованы фоновые условия проведения измерений позитронов с помощью тороидального бета-спектрометра, зависимости эффективности регистрации от энергии позитронов и электронов, а также влияние обратного рассеяния позитронов от подложки источника на форму непрерывных бета-спектров.

Рассмотрено влияние формы спектральной линии на аппаратное распределение непрерывного бета-спектра. С этой целью проведено изучение формы спектральной линии тороидального бета-спектрометра, выбрано модельное представление её в виде:

гауссовское распределение + экспоненциальный "хвост"

и установлены зависимости параметров этого представления от импульса (энергии) частиц. Получено выражение для коэффициента коррекции аппаратных бета-спектров, учитывающего влияние реальной формы спектральной линии.

Приведено описание программы обработки многокомпонентных бета-спектров.

Во второй главе изложены результаты экспериментальных исследований спектров излучений при распаде деформированных ядер  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$  методами бета- и гамма-спектроскопии.

В серии последовательных измерений спектра гамма-излучения  $^{159}\text{Ho}$  определено значение периода полураспада этого изотопа:  $T_{1/2} = 33,05 \pm 0,11$  мин.

Позитронное излучение  $^{159}\text{Ho}$  наблюдалось нами впервые; на рис. 2 приведен один из экспериментальных

$\beta^+$ -спектров и его график Ферми-Кюри. Обнаруженные три компонента позитронов  $^{159}\text{Ho}$  с суммарной интенсивностью  $0,251 \pm 0,017\%$  распадов позволили надежно установить его энергию распада:  $Q_{\beta^+} = 1838 \pm 3$  кэВ.

В спектрах гамма-квантов и ЭВК  $^{159}\text{Ho}$  идентифицировано 108 гамма-переходов и для 65 из них установлены мультипольности. Впервые для  $^{159}\text{Ho}$  измерена интенсивность испускаемого при распаде ха-

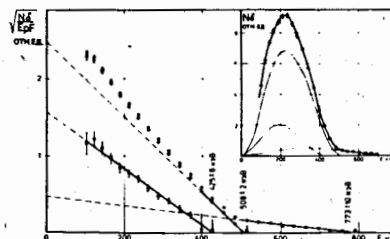


Рис. 2

рактистического КХ-излучения и проведена экспериментальная оценка вероятности бета-распада на основное состояние  $^{159}\text{Dy}$ . По сравнению с предыдущими работами объем полученных сведений о гамма-переходах  $^{159}\text{Dy}$  во вдвое больше, при этом точность измерения интенсивностей гамма-квантов и ЭВК в 3-4 раза, а энергий гамма-переходов на порядок выше.

При измерении спектров совпадений гамма-квантов с ЭВК в распаде  $^{159}\text{Dy}$  получены сведения об интенсивностях совпадений для 30 гамма-переходов, позволившие дать убедительное обоснование предложенной схеме распада.

Измерено значение периода полураспада  $^{163}\text{Tm}$   $T_{1/2} = 1,810 \pm 0,005$  часа, что примерно в 10 раз точнее ранее известного.

При исследовании спектра позитронов  $^{163}\text{Tm}$  установлены 5 компонентов (из них 3 новых) с суммарной интенсивностью  $0,424 \pm 0,016\%$  распадов. Наблюдение новых компонентов в совокупности с уточнением вероятности электронного захвата для состояний  $^{163}\text{Er}$  позволило надежно определить значение разности масс  $^{163}\text{Tm} \rightarrow ^{163}\text{Er}$ :  $Q_{\beta^+} = 2439 \pm 2$  кэВ и снять противоречия, существовавшие ранее. Однако расхождения экспериментальных и расчетных отношений  $\varepsilon/\beta^+$  служат указанием на еще более сложный характер  $\beta^+$ -спектра  $^{163}\text{Tm}$ .

При изучении спектров гамма-квантов и ЭВК  $^{163}\text{Tm}$  идентифицировано 254 гамма-перехода и для 174 из них определены мультипольности. Погрешности определения энергий и интенсивностей большинства гамма-переходов составляют, соответственно,  $10 \pm 50$  эВ и  $3 \pm 10\%$ . На основании полученной в измерениях интенсивности рентгеновского КХ-излучения, сопровождающего распад  $^{163}\text{Tm}$ , проведена оценка вероятности электронного захвата на основное состояние  $^{163}\text{Er}$  и найдены коэффициенты перенормировки относительных интенсивностей излучений в проценты распадов. При этом необходимо отметить, что найденное отношение  $I(\gamma \text{ I}04,3)/I(\text{KX}) = 0,135 \pm 0,003$  в отличие от измеренного ранее  $\gamma \text{ (I}04,3)/\text{KX} = 0,08$  позволяет хорошо сбалансировать интенсивности гамма-переходов в схеме распада  $^{163}\text{Tm}$ .

В экспериментальном исследовании  $e - \gamma$ -совпадений при распаде  $^{163}\text{Tm}$  получены интенсивности совпадений для 118 гамма-переходов, которые дали возможность введения и убедительного обоснования 42 возбужденных состояний  $^{163}\text{Er}$ . Данные качественно хорошо согласуются с имевшимися результатами изучения  $\gamma - \gamma$ -совпадений.

Измерен период полураспада  $^{165}\text{Tm}$   $T_{1/2} = 30,22 \pm 0,08$  часа.

В результате исследования спектра позитронов  $^{165}\text{Tm}$  установлено 3 компонента с общей интенсивностью  $(9,4 \pm 0,8) \cdot 10^{-3}\%$  распадов.

Значения верхних границ энергий компонентов достоверно определяют величину энергии распада  $^{165}\text{Tm}$ :  $Q_{\beta^+} = 1591 \pm 2$  кэВ.

При изучении спектров гамма-квантов и ЭВК к распаду  $^{165}\text{Tm}$  отнесены 142 гамма-перехода; для 101 перехода сделаны выводы о мультипольности. Особое внимание было сосредоточено на определении энергий и интенсивностей низкоэнергетического гамма-излучения и характеристического КХ-рентгеновского излучения, которые ранее экспериментально не исследовались. Полученные сведения о гамма-переходах  $^{165}\text{Tm}$  значительно дополняют и существенно превосходят по точности имевшиеся данные.

Интенсивности совпадений 57 гамма-переходов определены в экспериментах по изучению  $e - \gamma$ -совпадений при распаде  $^{165}\text{Tm}$ , что позволило дать дополнительное обоснование 13 возбужденным состояниям  $^{165}\text{Er}$ . Эти данные качественно согласуются с результатами выполненных ранее измерений  $\gamma - \gamma$ -совпадений и разрешают практически все противоречия, имевшиеся в предыдущих работах.

Третья глава посвящена анализу предложенных схем распада изученных изотопов и обсуждению свойств возбужденных состояний деформированных ядер  $^{159}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$ .

Схема распада  $^{159}\text{Dy}$  включает 16 возбужденных состояний, между которыми размещены 76 гамма-переходов. Суммарная интенсивность незаторможенных переходов составляет  $0,84 \pm 0,04\%$  распадов.

В спектре низколежащих уровней ( $0 \pm 505$  кэВ)  $^{159}\text{Dy}$  идентифицированы три вращательные полосы, основанные на состояниях с преобладающим вкладом волновых функций одночастичных компонентов  $3/2^- / 521/$ ,  $5/2^+ / 642/$  и  $5/2^- / 523/$ . В рамках адиабатической ротационной модели определены параметры инерции этих вращательных полос и проведен анализ вероятностей электромагнитных переходов между их уровнями. Для вращательной полосы положительной четности подтверждено аномальное поведение её уровней, обусловленное кориолисовым взаимодействием состояний подоболочки  $1/2^- / 523/$ . Заселение состояний вращательных полос  $3/2^- / 521/$  и  $5/2^+ / 642/$  в бета-распаде заторможено ( $\lg ft = 6,0 + 7,2$ ) из-за нарушения правил отбора по асимптотическим квантовым числам.

Более 87% распадов  $^{159}\text{Dy}$  осуществляется разрешенными незадержанными ( $a_u, p / 523/1 \rightarrow n / 523/1$ ) бета-переходами на уровни вращательной полосы  $5/2^- / 523/$ . Эта особенность прослеживается для распада всех нечетных изотопов гольмия с  $A = 157 \div 169$  при анализе их силовых функций бета-распада. Для нейтронодефицитных изотопов гольмия обнаружено также заметное (в  $1,5 \pm 2$  раза) ускорение бета-пе-

переходов на состояние  $5/2^- / 5I2/$ . Показано, что введение поправок по сверхтекучей модели и учет статистического множителя не объясняют наблюдаемых для этих бета-переходов значений  $lg ft$ .

Получено убедительное подтверждение идентификации наблюдаемых в распаде уровней  $5/2^- I0I6,2$  кэВ и  $7/2^- I090,5$  кэВ как состояний вращательной полосы  $5/2^- / 5I2/$ . В результате тщательного анализа обнаружена E0-компонента в гамма-переходах с уровнями этой полосы на уровни вращательной полосы основного состояния, что позволило сделать вывод о наличии примесей бета-вибрационной природы в этих состояниях, а также в состоянии  $5/2^- I075,8$  кэВ.

Сравнение имеющихся расчетных сведений о структуре волновых функций и энергиях возбужденных состояний  $^{159}Du$  с полученными данными свидетельствует об удовлетворительном согласии теории с экспериментом в пределах точности расчетов.

В схеме распада  $^{163}Tm$ , включающей 44 возбужденных состояния, размещено 220 гамма-переходов, установлены спины и четности для 42 состояний; суммарная интенсивность неразмещенных гамма-переходов составляет  $4,44 \pm 0,10\%$  на распад.

I7 низколежащих уровней ( $< 700$  кэВ)  $^{163}Er$  интерпретируются как состояния вращательных полос  $5/2^- / 523/$ ,  $5/2^+ / 642/$ ,  $3/2^- / 52I/$ ,  $I/2^- / 52I/$ ,  $3/2^+ / 402/$ ,  $I/2^+ / 400/$  и  $3/2^+ / 65I/$ . На основе ротационной модели определены параметры инерции и параметры развязывания (для полос с  $K = I/2$ ) этих вращательных полос.

Установлено возбуждение в распаде  $^{163}Tm$  трех уровней гамма-вибрационной полосы  $\{ / 523/ + Q_{22} \}$ :  $I/2^- 683,8$  кэВ,  $3/2^- 7I7,4$  кэВ и  $5/2^- 779,7$  кэВ. Не равное нулю значение параметра развязывания  $a = -0,054$  этой полосы объяснено наличием примеси волновой функции состояния  $I/2^- / 5I0/$ . Приведен анализ зависимости энергии гамма-вибрационных состояний в четных и нечетных изотопах эрбия.

Два состояния  $^{163}Er$   $3/2^+ I538,73$  кэВ и  $I/2^+$ ,  $3/2^+ I80I,53$  кэВ отнесены к трехквaziчастичному мультиплету  $\{ p/4I1/n/523/ + p/523/ \}$  с  $K^\pi = 3/2^+$  и  $I/2^+$ , соответственно, на основании установленных разрешенных  $au$  бета-переходов на эти состояния. В то же время для всей совокупности состояний  $^{163}Er$  с энергиями выше I МэВ обнаруживаются две особенности:

а) заметное ускорение бета-переходов на все уровни этой области энергий возбуждения ( $lg ft = 5,3 + 6,5$ ); 75% распадов  $^{163}Tm$  осуществляется на эти уровни;

б) аномально высокая плотность уровней с  $K^\pi = 3/2^+$ . Наблюдаемые особенности спектра уровней  $^{163}Er$  объяснены фрагментацией состояний трехквaziчастичного мультиплета.

Предлагаемая схема распада  $^{165}Tm$  включает 28 состояний и I28 гамма-переходов; для всех состояний установлены спины и четности; суммарная интенсивность неразмещенных в схеме распада гамма-переходов составляет  $0,4I9 \pm 0,0I6\%$  распадов.

На рис. 3 приведен фрагмент схемы возбужденных состояний  $^{165}Er$ , относящийся к дублету уровней противоположной четности при энергии 590 кэВ. Более высокая точность результатов в настоящем исследовании позволила впервые дать убедительное энергетическое обоснование этим уровням, провести дифференцирование гамма-переходов, заселяющих и разряжающих каждое из этих состояний, и определить разность энергий между ними:  $\Delta E = I54 \pm I3$  эВ. Уточнено также значение спина состояния отрицательной четности:  $I^\pi = 3/2^-$ . Полученные сведения позволяют рассматривать наблюдаемый дублет как исключительно удобный кандидат для постановки экспериментов по изучению несохранения четности в электромагнитных переходах между ядерными состояниями.

При интерпретации свойств I7 низколежащих уровней  $^{165}Er$  подтверждены вращательные полосы 9 одночастичных состояний со следующими асимптотическими квантовыми характеристиками:  $5/2^- / 523/$ ,  $5/2^+ / 642/$ ,  $3/2^- / 52I/$ ,  $I/2^- / 52I/$ ,  $5/2^- / 5I2/$ ,  $I/2^+ / 660/$ ,  $3/2^+ / 402/$ ,  $I/2^+ / 400/$  и  $3/2^+ / 65I/$ . Определены параметры этих ротационных полос. Идентификация согласуется с результатами исследований свойств этих состояний в ядерных реакциях. Уточнены вероятность заселения в бета-распаде и значение  $lg ft$  трехквaziчастичного состояния  $3/2^+ I427,4$  кэВ  $^{165}Er$ . Относительно высокая вероятность возбуждения в распаде  $^{165}Tm$  уровня с энергией I528,II кэВ объяснена

примесью компонента, обусловленного фрагментацией состояния трехквaziчастичного мультиплета.

При анализе силовой функции бета-распада нечетных изотопов туля с  $A = I63+I75$  сделан вывод о том, что единственным каналом,

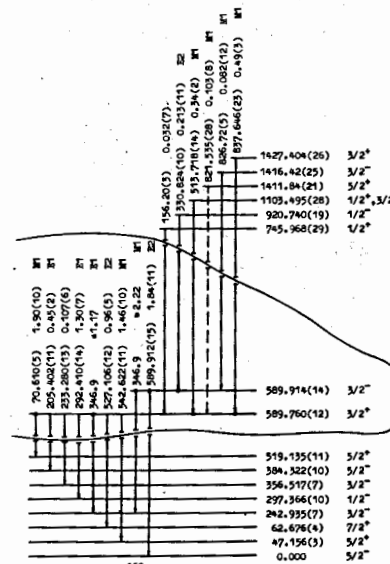


Рис. 3

приводящим к заметному ускорению бета-переходов в распаде этих ядер, является возбуждение уровней, по которым фрагментированы (в большей или меньшей степени) состояния трёхквaziчастичного мультиплета.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации:

1. Разработана методика прецизионных измерений энергии гамма-квантов радиоактивных нуклидов при помощи спектрометров с ПЩ. Сформулированы основные критерии, предъявляемые к электронной аппаратуре в задачах прецизионной спектрометрии. С целью определения требований к условиям эксперимента проведено исследование эффектов, искажающих форму аппаратурных спектров, рассмотрены особенности формы аппаратурных спектров гамма-квантов, измеряемых с помощью ПЩ, и способы обработки спектральной линии, а также проанализирована зависимость результатов обработки спектров с помощью программы "Каток" от параметров аппаратурной линии.

Разработаны алгоритмы градуировочных процедур, определения энергий и интенсивностей гамма-квантов и осуществлена их программная реализация на ЭВМ.

2. Разработана методика измерений многокомпонентных спектров позитронов малой интенсивности (до  $10^{-5}$  расп. $^{-1}$ ) с помощью безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем. При этом детально исследованы характеристики и параметры прибора; изучено влияние наиболее важных факторов, искажающих форму аппаратурных бета-спектров; проведено изучение аппаратурной формы линии бета-спектрометра и выполнен расчет поправки, которая учитывает искажение непрерывных бета-спектров, обусловленное реальной формой линии. Разработана методика автоматизированной обработки многокомпонентных бета-спектров.

3. При помощи тороидального бета-спектрометра получены наиболее точные значения энергий и интенсивностей  $\beta^+$ -переходов в распадах  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ . Существенно уточнены энергии распада этих радионуклидов. Впервые проведено измерение спектра позитронов  $^{159}\text{Ho}$  и определена его энергия распада.

4. С помощью разработанной методики на спектрометрах с ПЩ проведены измерения спектров гамма-квантов, ЭВК, КХ-лучей  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ . Впервые получены сведения более чем о 120 гамма-переходах в этих ядрах. Энергии большинства переходов уточнены на порядок, а интенсивности гамма-квантов и ЭВК - в 3-4 раза по сравнению с известными данными.

5. Изучены  $e - \gamma$  - совпадения в распаде  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ .

Впервые получены количественные сведения о совпадениях свыше 200 гамма-переходов в распаде этих ядер.

6. Предложены новые схемы распада  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{163}\text{Tm}$  и  $^{165}\text{Tm}$ , в которые введено 27 новых уровней из 88, возбуждаемых при распаде. Проведен анализ силовых функций бета-распада этих ядер.

7. Впервые прямыми измерениями убедительно доказано существование в  $^{165}\text{Er}$  двух состояний противоположной четности с энергией 590 кэВ, разница энергий которых составляет  $154 \pm 13$  эВ.

8. Проведен анализ свойств возбужденных состояний  $^{159}\text{Dy}$ ,  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$  в рамках квазичастично-фонной модели. У состояний  $^{159}\text{Dy}$  с энергией  $\sim 1$  МэВ впервые обнаружена примесь бета-вибрационного характера. В ядре  $^{163}\text{Er}$  установлено возбуждение вращательной полосы гамма-вибрационной природы. Показано, что волновая функция гамма-вибрационного состояния содержит примесь одночастичной конфигурации  $5/10/1$ .

Для возбужденных состояний  $^{163}\text{Er}$  и  $^{165}\text{Er}$  с энергиями выше 1,3 МэВ получено экспериментальное подтверждение значительного фрагментирования состояний трёхквaziчастичного мультиплета, которое приводит к заметному ( $\sim 10^2$ ) ускорению бета-переходов на эти состояния и существенному возрастанию плотности уровней с одинаковыми  $K^\pi$ .

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Вылов Ц., Егшин И.Н., Кондрат Е.Т., Осипенко Б.П., Фоминих М.И., Юрковски Я., Авдейчиков В.В., Александров В.С., Васильев С.К., Горожанкин В.М., Оманов Ш. Спектрометрия излучений радиоактивных нуклидов с помощью полупроводниковых детекторов. I. Спектрометрическая аппаратура. - в сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып. 6. - М.: Атомиздат, 1976, с. 3-25.
2. Вылов Ц., Вылова Л.А., Егшин И.Н., Новгородов А.Ф., Орманджиев С. Осипенко Б.П., Юрковски Я., Фоминих М.И., Александров В.С., Горожанкин В.М., Иванов А.И., Оманов Ш. Спектрометрия излучений радиоактивных нуклидов с помощью полупроводниковых детекторов. 2. Эффекты, искажающие форму аппаратурного спектра. - В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып. 6. - М.: Атомиздат, 1976, с. 26-58.
3. Вылов Ц., Вылова Л.А., Головкин Н.А., Осипенко Б.П., Фоминих М.И., Чумин В.Г., Александров В.С., Горожанкин В.М., Оманов Ш. Спектрометрия излучений радиоактивных нуклидов с помощью полупроводниковых детекторов. 3. Спектрометрия гамма-квантов. - В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып. 6. - М.: Атомиздат, 1976, с. 59-78.



4. Вылов Ц., Александров В.С., Вылова Л.А., Горожанкин В.М., Еникова М., Желев Ж., Оманов Ш., Осипенко Б.П., Чумин В.Г., Спектрометрия излучений радиоактивных нуклидов с помощью полупроводниковых детекторов. Организация экспериментов по измерению спектров гамма-квантов. - В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып. 8.- М.: Атомиздат, 1978, с. 43-58.
5. Громов К.Я., Крецу Т., Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Горожанкин В.М. Макарие Г. Анализ сложных бета-спектров, измеряемых на магнитном спектрометре. - В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып. 8. - М.: Атомиздат, 1978, с. 59-96.
6. Вылов Ц., Горожанкин В.М., Громов К.Я., Калинин В.Г., Крецу Т., Кузнецов В.В., Изучение распада  $^{159}\text{Ho} \rightarrow ^{159}\text{Dy}$ . Изв. АН СССР, сер.физ., 1982, т. 46, № 1, с. 16-29.
7. Вылов Ц., Горожанкин В.М., Громов К.Я., Кузнецов В.В., Крецу Т., Лебедев Н.А., Юшкевич Ю.В., Радиоактивный распад  $^{163}\text{Tm} \rightarrow ^{163}\text{Er}$ . I. Экспериментальные результаты исследований. - Препринт ОИЯИ, Р6-81-454, Дубна, 1981, 13 с.
8. Вылов Ц., Горожанкин В.М., Громов К.Я., Кузнецов В.В. Радиоактивный распад  $^{163}\text{Tm} \rightarrow ^{163}\text{Er}$ . 2. Схема распада и свойства возбужденных состояний. - Препринт ОИЯИ, 6-81-551, Дубна, 1981, II с.
9. Вылов Ц., Горожанкин В.М., Громов К.Я., Кузнецов В.В., Исследование распада  $^{165}\text{Tm} \rightarrow ^{165}\text{Er}$ . - Изв. АН СССР, сер.физ., 1982, т. 46, № 5, с. 834-848.
10. Gorozhankin V.M., Gromov K.Ya.  $3/2^- - 3/2^+$ , 150 eV Level Doublet at the Energy of 590 Kev in  $^{165}\text{Er}$ . - Proc. of Int. Conference on Nuclear Physics, Berkeley, 1980, v.1, p.806.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 августа 1982 года.