

IMS-42--012

Уз 9500024

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи
УДК 539.121.3

БУТАБАЕВ ЮНУСКАН САЛБЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
 ^{167}Uv , ^{164}Tm , ^{225}Ac , ^{221}Fr . БЕТА-СПЕКТ-
РОГРАФ С ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ДЕТЕК-
ТОРОМ

Специальность 01.04.16 - физика ядра и
элементарных частиц

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Ташкент - 1994

VOL 27 № 03

Работа выполнена в научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и Ташкентском Государственном Университете.

Научные руководители:

Член корреспондент АН Республики Узбекистан,
доктор физико-математических наук, профессор

А.А.АБДУРАЗАКОВ

Кандидат физико-математических наук,
стажрый научный сотрудник

А.Х.ХОЛМАТОВ

Официальные оппоненты:

Академик БЕГЖОНОВ Р.Б.

Кандидат физико-математических наук

ИНОЯТОВ А.Х.

Ведущая организация:

Самаркандский Государственный университет

Защита состоится "15" декабря 1994 г. в 13 часов
на заседании специализированного совета Д 015.15.21 по защите
диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-мате-
матических наук в Институте ядерной физики АН РУз по адресу:
702132, г.Ташкент, Мирзо Улугбекский район, пос. Улугбек.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЯФ АН РУз

Автореферат разослан "14" ноября 1994 г.

Ученый секретарь специализированного
совета, доктор физико-математических наук


Е.И.ИСМАТОВ

Актуальность темы исследования.

В настоящее время развитие теории атомного ядра происходит, главным образом, на основе модельных представлений, когда, сделав определенные предположения о силах действующих в ядре, удается объяснить отдельные свойства ядер.

Особый интерес представляет изучение неадиабатических эффектов в октупольных ротационных полосах деформированных ядер. Отклонение экспериментальных данных в деформированных ядрах от адиабатического приближения вызвано смешиванием состояний и модели, учитывающие кориолисово смешивание ротационных полос, удачно объясняют неадиабатичности. Смешивание состояний и неадиабатичности значительно усложняют классификацию уровней по квантовому числу K - проекции углового момента на ось симметрии ядра и делает актуальными теоретические исследования в этой области ядер.

Не менее интересно изучение свойств ядер, расположенных между сферическими и деформированными ядрами. В этой области ядер с $A \approx 222$ наблюдаются октупольные деформации, в связи с этим свойства этих ядер крайне сложны и модельные представления этой области менее развиты по сравнению с деформированной областью ядер. В связи с этим, в настоящее время идет накопление экспериментальных данных о спектроскопических свойствах ядер этой области. Изученные нами ядра ^{221}Fr и ^{217}At находятся именно в этой области.

Среди приборов предназначенных для исследования спектров ЭВК только магнитные β -спектрографы с однородным полем являются одновременно высокоразрешающими и многоканальными. Фотопластинка используемая до настоящего времени в β -спектрографах в качестве детектора электронов не позволяет получать качественные изображения линии ЭВК за короткие времена экспозиции. В связи с этим при создании экспериментальной установки для изучения свойств ядер сильно удаленных от полосы бета-устойчивости, актуальной проблемой всегда остается разработка новых типов детектора с высокой эффективностью регистрации.

Цель работы. Экспериментально исследовать распад изотопов ^{164}Tm , ^{167}Yb , ^{223}Ac , ^{221}Fr . Провести анализ особенностей схем распада указанных ядер и свойств их возбужденных состояний.

дополнить и уточнить схему распада, и квантовые характеристики уровней возникающих при распаде изучаемых ядер.

На основе бета-спектрографа СП-2 создать многоканальный бета-спектрограф с высокой эффективностью регистрации ЭВК.

Измерить спектры КЭ для некоторых изотопов, с целью определения регистрационных характеристик новой установки.

Провести теоретические расчеты величин пропускания (Ω) и разрешения (R) МЭС при использовании в них сепарированных источников и найти оптимальные условия положения источника в "он-лайн" экспериментах.

Научная новизна.

В результате проведенных исследований спектров ЭВК ^{167}Yb обнаружено 32 γ -перехода, из них 6 переходов наблюдались впервые. Для 9 γ -переходов впервые определены мультипольности.

Получены новые экспериментальные данные для распада ^{164}Tm и проведены теоретические расчеты для октупольных состояний. В результате исследования спектров ЭВК идентифицировано и размещено в схеме уровней ^{164}Er 23 новых γ -перехода, введено 4 новых уровня. Найдена новая октупольная вращательная полоса с $K^\pi=1^-$ в ^{164}Er . Подтверждено, проведенными расчетами, существование октупольной ротационной полосы с $K^\pi=2^-$. Объяснено отклонение отношений приведенных вероятностей E1-переходов от правила Аяга для переходов из состояния отрицательной четности.

Создана новая установка МЭС с ПЧД для исследования спектров КЭ короткоживущих ядер. Изучены регистрационные характеристики новой установки.

Впервые разработана и использована методика обработки результатов α - γ -совпадений, позволяющая получать количественную информацию о заселенности уровней. При исследовании распада ^{226}Ac однозначно установлено размещение в схеме уровней ^{221}Fr 86-ти γ -переходов, 24 из которых обнаружены нами впервые. Введен новый уровень 157,3 кэВ, подтверждено существование еще 4-х уровней. Рассчитаны полные заселенности уровней ^{221}Fr .

При исследовании распада ^{221}Fr обнаружили и разместили в схеме распада 13 новых γ -переходов. Введено два новых уровня

и подтверждено существование еще 4-х уровней. Рассчитаны полные заселенности уровней ^{217}At .

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы для разработок теоретических моделей ядер. Созданная экспериментальная установка, аналогов которой в мире пока нет, может использоваться в "он-лайн" и "офф-лайн" экспериментах для изучения свойств короткоживущих ядер.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Данные об исследовании спектров ЭВК ^{167}Yb и ^{164}Tm .
2. Схема распада ^{167}Yb и ^{164}Tm . Выводы о квантовых характеристиках и возбужденных состояниях ^{167}Tm и ^{164}Er .
3. Результаты теоретических расчетов октупольных состояний ^{164}Er .
4. Созданный новый многоканальный бета-спектрограф для изучения спектров КЭ короткоживущих ядер.
5. Результаты измерений регистрационных характеристик новой установки.
6. Результаты теоретических расчетов пропускания (Ω) и разрешения (R) МБС при использовании широкого источника.
7. Методика обработки α - γ -совпадений.
8. Результаты исследований спектров γ -лучей и α - γ -совпадений в цепочке распада $^{225}\text{Ac} \rightarrow ^{221}\text{Fr} \rightarrow ^{217}\text{At}$. Схема распада цепочки, результаты анализа и интерпретации свойств возбужденных состояний ^{221}Fr , ^{217}At .

Апробация работы и публикации по теме диссертации.

Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на международных совещаниях (42,43,44) по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Алма-Ата 1992, Дубна 1993, С.Петербург 1994); на VIII семинаре по точным измерениям в ядерной спектроскопии (Ужгород, 12-14 июня 1990 г.); доложены на семинарах: физики атомного ядра Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ; кафедры ядерной физики низких энергий физфака ТашГУ, опубликованы в 7 работах (в виде Препринтов ОИЯИ, статей в Российских и Узбекистанских изданиях и в тезисах докладов).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения трех глав и заключения изложенных на страницах машинописного текста. Для иллюстрации изложенного материала

использованы 51 рисунок и 13 таблиц. Список использованной литературы включает 127 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении указана актуальность исследования изучаемых ядер, необходимость создания новой установки, сформулированы цели работы и описана структура диссертации.

Первая глава посвящена исследованиям свойств возбужденных состояний ^{167}Tm и ^{164}Er , и методике обработки бета-спектрограмм получаемых на комплексе β -спектрографов установленных в ЛЯП ОИЯИ.

В §1 дается обзор методики проведения измерений на β -спектрографах и обработки бета-спектрограмм.

Результаты измерения спектров ЭВК ^{167}Yb изложены в §2. При распаде ^{167}Yb нами [5] обнаружено 32 γ -перехода, из них 6 переходов наблюдались впервые. Для 15 γ -переходов, которые ранее наблюдались в γ -лучах, впервые обнаружены линии конверсионных электронов. Для 9 γ -переходов впервые определены мультипольности. Определение мультипольностей γ -переходов были осуществлены на основании экспериментальных значений α_{γ} .

Определение мультипольностей γ -переходов позволили нам дополнительно определить спин и четности ряда уровней: 171,7 - $1/2^-$; 282,4 - $3/2^-$; 292,79 - $7/2^-$; 383,6 - $9/2^-$, 470,7 - $3/2^+$, 557,8 - $5/2^+$, 1216 - $7/2^+$.

В §3 приведены исследования возбужденных состояний ^{164}Er при распаде ^{164}Tm . На комплексе β -спектрографов были измерены спектры ЭВК ^{164}Er . Информации о слабых линиях были получены после автордиографического усиления изображения на фотопластинке. Таким образом было обнаружено 23 новых γ -перехода. В схему распада введены новые уровни 1495,0 кэВ 2^- , 1631,5 кэВ 3^- , 1715,2 кэВ 2^- и 1960 кэВ 3^- .

Полученные экспериментальные данные позволили вычислить отношения приведенных вероятностей E1-переходов с уровнями отрицательной четности на уровни 0_1^+ основного состояния (см. табл. 1) $R_{IK} = B(E1; IK \rightarrow (+1)0_1^+) / B(E1; IK \rightarrow (-1)0_1^+)$. Эти значения сильно отличаются от значений предсказываемых правилом Алага, что свидетельствует о сильном смешивании октупольных полос в ядре ^{164}Er .

Нами были проведены теоретические расчеты в рамках

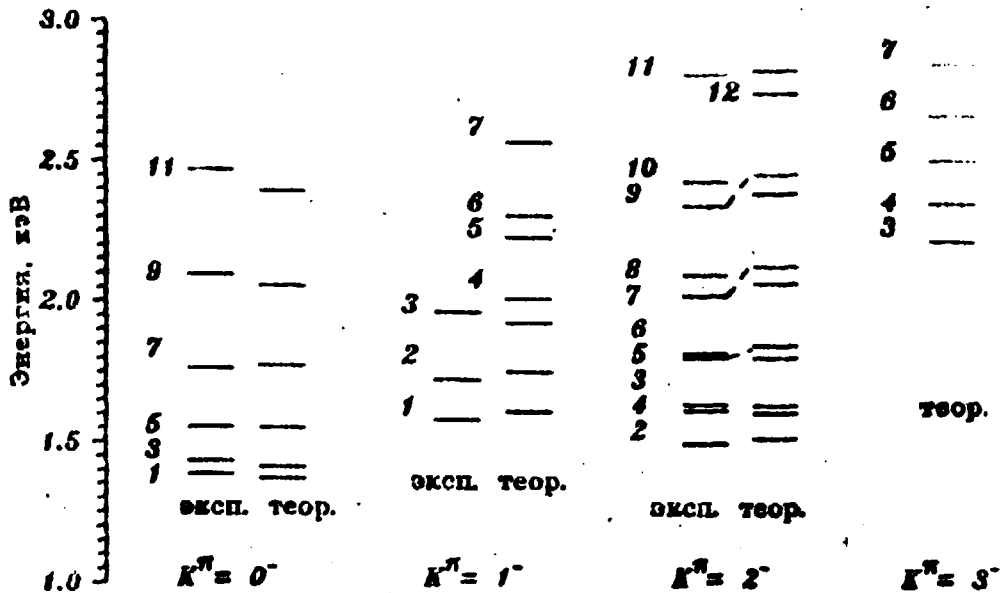


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и теоретических энергий октупольных состояний в ^{164}Er .

вращательной неадиабатической модели в которой рассматривалось кориолисово-смешивание состояний октупольных полос с $K^\pi=0^-$, 1^- , 2^- и 3^- . На рис.1 сравниваются вычисленные и экспериментальные значения энергий.

Далее были рассчитаны отношения приведенных вероятностей $E1$ - переходов из октупольных состояний.

$$R_{IK}^T = \frac{B(E1; IK (I+1)0_{gr}^-)}{B(E1; IK (I-1)0_{gr}^-)} = \left(\frac{\psi_{OK}^I - Z \cdot \psi_{IK}^I \sqrt{\frac{I}{I+1}}}{\psi_{OK}^I \sqrt{\frac{I}{I+1}} + Z \psi_{IK}^I} \right)^2; \quad (1)$$

где ψ_{OK}^I - амплитуды смешивания состояний октупольных полос и $Z = \langle 0_{gr}^- | M(1; -1) | 1^- \rangle / \langle 0_{gr}^- | M(1; 0) | 0^- \rangle$ - параметр введенный Кокбачем и Фогелем. Здесь $\langle K_1^+ | M(1; K_1 - K_2) | K_2 \rangle$ - матричный элемент от оператора $E1$ -перехода между внутренними волновыми функциями.

Теоретические значения R_{IK}^T , вычисленные по формуле (1) в табл.1 сравниваются с экспериментальными R_{IK}^E , а также с

Таблица 1. Отношения приведенных вероятностей E1-переходов R_{ik} из состояний октупольных полос

1^{π}	R_{10}^{-}			R_{11}^{-}			R_{12}^{-}	
	Экспер.	Теор	Ала-Га	Экспер.	Теор	Ала-Га	Экспер.	Теор
1^{-}	1387 кэВ			1578 кэВ				
	1.80(18) ^A	1.62	2.0	3.9(6) ^H	6.3	0.5	-	-
	1.88(17) ^H			5.5 ^C				
3^{-}	1434 кэВ			1961 кэВ				
	0.82(12) ^A	0.91	1.33	>2,8 ^H	3.3	0.75	-	1.57
	1.16(24) ^H							
5^{-}	1553 кэВ						1798 кэВ	
	1.8(14) ^H	0.77	1.2	-	2.6	0.83	1.3(7) ^B	1.3
7^{-}	-	0.71	1.14	-	2.3	0.86	-	1.19
9^{-}	-	0.67	1.11	-	2.2	0.9	-	1.13
11^{-}	-	0.65	1.1	-	2.1	0.92	-	1.09

Примечание: H-настоящая работа.

A. De Boer F.W.N. et al. Nucl. Phys., A169, 1971, p.577-507.

B. Fields C.A. et al. Nucl.Phys. 1984, v.A422, p.215.

C. Бондаренко В.А. и др. Изв АН СССР, сер. физ., т.45, № 11, 1981.

вычисленными по формуле алага R_{ik}^A .

Результаты расчетов и анализ экспериментальных позволили сделать следующие выводы: подтверждаем существование $K^{\pi}=2^{-}$ полосы; найдена впервые октупольная вращательная полоса с $K^{\pi}=1^{-}$ в ^{164}Er и состояния 1^{-} , 2^{-} и 3^{-} с энергиями 1577,5, 1715,2 и 1960,5 кэВ относятся к этой полосе; уровни 1715,2 - 2^{-} и 1960,5 - 3^{-} кэВ экспериментально установлены впервые; отклонение R_{ik} от адиабатического правила алаги для переходов из состояния отрицательной четности связано с сильным смешиванием уровней $K^{\pi}=0^{-}, 1^{-}, 2^{-}$ и 3^{-} октупольных полос.

Во второй главе описывается возможность решения проблемы дальнейшего использования β -спектрографа в экспериментах по изучению основных и возбужденных состояний короткоживущих ядер. В целях нахождения путей дальнейшего использования β -спектрографов в экспериментах по исследованиям короткоживущих радионуклидов предложен единый комплекс, включающий в

себя ускоритель, масс-сепаратор и многоканальный бета-спектрограф (МБС) с ПЧД на основе МКП, работающие в "он-лайн" режиме. Для выбора оптимальных условий метода применения широкого источника в МБС проведены расчеты зависимости разрешения и пропускания МБС от различных параметров прибора. Результаты расчетов показали, что разрешение МБС при использовании наклонного источника с шириной $2Q = 2+4$ мм составляет $0.2+0.5\%$, что близко к разрешению прибора (0.1%), получаемому от источника в виде проволоки диаметром 0.1 мм. Этот вывод имеет решающее значение для возможности изучения спектров ЭВК короткоживущих радионуклидов на бета-спектрографе работающих "в линию" с масс-сепаратором, так как диаметры ионных пучков на выходе масс-сепаратора ЯСНАПП-2 не менее 1 мм, что на порядок величины больше обычных размеров источника, используемого в бета-спектрографах.

В 53 изложено о ПЧД на основе МКП созданной установки. При изготовлении детектора установки использовались стандартные МКП, которые собирались в "шевронную" сборку. Схема шевронной сборки ПЧД показана на рис.3. Детектор состоит из двух или более пар МКП (3,7), размерами соответствующими входному окну (1), и резистивного анода (9), расположенного за сборкой МКП. Ширина зазора между МКП (3) и (7) составляет 0.3 мм. Шевронная конфигурация, т.е. наклоны каналов МКП (3) и МКП (7) в разные стороны по отношению к лицевой части ПЧД - наклоны типа " \searrow ", позволяет резко уменьшить вероятность появления ионной обратной связи, ограничивающей коэффициент усиления МКП. В данном случае первая МКП (3) с лицевой стороны детектора работает как регистратор первичных электронов, а вторая (7) - как усилитель. Входные МКП (3) установлены в фокальной плоскости бета-спектрографа. На рисунке также изображены медные контакты (2,4,6,8) и изолятор (5), с помощью которых подаются к торцам МКП постоянные потенциалы, необходимые для работы ПЧД. Напряжение подаваемое на каждую МКП и напряжение, прикладываемое между МКП и анодом составляет 910 В. и 200 В. соответственно. Анод представляет собой резистивную полосу размером 57×12 мм, полученную в результате нагрева, испарения и осаждения никрома на сеталовую подложку в

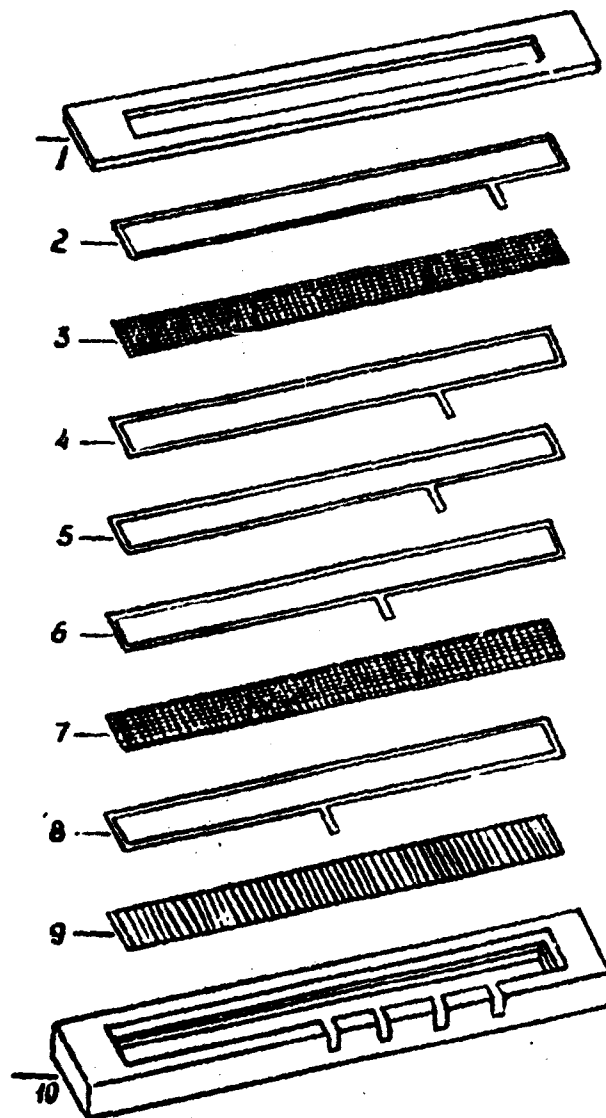


Рис. 3. Схема шевронной сборки ПЧД.

замкнутой камере в условиях вакуума. Сопротивление анода составляет 240 кОм. При использовании такого анода координату частицы определяем методом деления заряда.

Электронно-измерительная система для получения координатной информации и обработки ее создавалась на основе широко используемых в лабораторной практике электронных блоков стандарта КАМАК.

Система откачки установки состоит из двух "линий";

форвакуумной и линии "высоковакуумной откачки". Форвакуумная линия подключена к ленточно-роторному насосу - 2НВР-5ДМ. Для исключения дрейфа паров масел в вакуумной системе предусмотрены азотные ловушки. Высокий вакуум создается работой турбо-молекулярного насоса ВМН-150. Время откачки камеры до уровня необходимого давления составляет 10 мин. Такая система откачки позволяет достичь разреженности остаточных газов в объеме камеры МБС до 10^{-7} мм.рт.ст., что вполне достаточно для стабильной работы МКП в ПЧД.

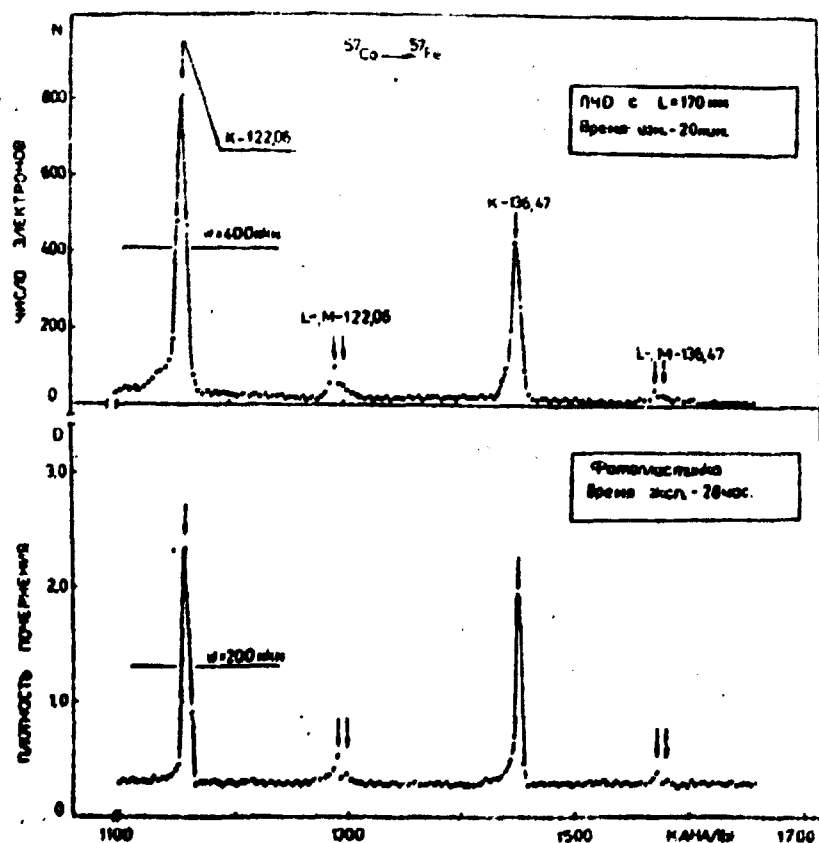


Рис. 4. Участок спектра ЭВК ^{57}Co измеренный при помощи ПЧД и ФМЧ

На новой установке МБС с ПЧД были проведены измерения спектров ЭВК нуклидов ^{57}Co , ^{167}Tm , ^{169}Yb . Участок спектра ЭВК ^{57}Co , измеренный при помощи МБС с ПЧД на основе МКП, изображен на рис. 4. Приборное разрешение для линии К-122,06

кэВ составило 0,17%, а АЕ-200 эВ. Тот же участок спектра измерен при помощи фотопластинки. Как видно, приборное разрешение с ПЧД в два раза хуже, чем с фотопластинкой. Однако, исходя из времен измерений ^{57}Co с помощью ПЧД - 20 мин. и фотопластинки - 1680 мин., и из набранной статистики в спектрах ЭВК, эффективность регистрации электронов ПЧД по отношению к фотопластинке примерно на 2 порядка выше. Ответственным за ухудшение разрешения является совокупность электронных блоков, при помощи которых определяются координаты события.

Фрагменты спектров ЭВК ^{157}Tm и ^{169}Yb , измеренные при помощи бета-спектрографа с ПЧД на основе МКП, изображены на рис.5 и 6 соответственно. Для определения координатной нелинейности ПЧД, линия ЭВК К-207 ^{167}Tm измерялась 8 раз по 20 минут. При каждом часовом измерении детектор передвигался на 5 мм в сторону возмещения ρ , что позволило осуществить регистрацию линии К-207 на различных участках детектора.

Исследования показали, что точность определения координаты максимума пика линии КЗ лучше 20 мкм, соответственно, нелинейность детектора составила 0,04 % [5]. На рис.7 представлена координатная нелинейность ПЧД. По оси абсцисс отложены измерения координаты пика на шноде (внизу) и соответствующий ей вычисленный номер канала (вверху). По оси ординат отложены разности измеренных и вычисленных координат пика в каналах. Линейная функция, связывающая координаты пика Y и номер канала имеет вид $Y=73,1356 \cdot X+0,5945$.

Зависимости разрешения и эффективности регистрации линий ЭВК от координаты детектора была построена с использованием линий К-130 ^{169}Yb , К-177 ^{169}Yb , К-207 ^{167}Tm . Эти зависимости интерполируются полиномами типа:

$$Y=2,44637-0,163103 \cdot X+0,00408493 \cdot X^2 \quad \text{для эффективности};$$

$$Y=7,63063+3,5609 \cdot X+0,0558996 \cdot X^2-0,0026027 \cdot X^3 \quad \text{для разрешения}.$$

Зависимость эффективности регистрации электронов при свершенной сборке МКП от энергии была построена для диапазона Е=50+250 кэВ с использованием линий К-109, К-130, L-133, L-109, К-177, К-197, L-177, L-197, M-197 и К-307 кэВ изотопа ^{169}Yb . Полученные данные показывают, что величина эффектив-

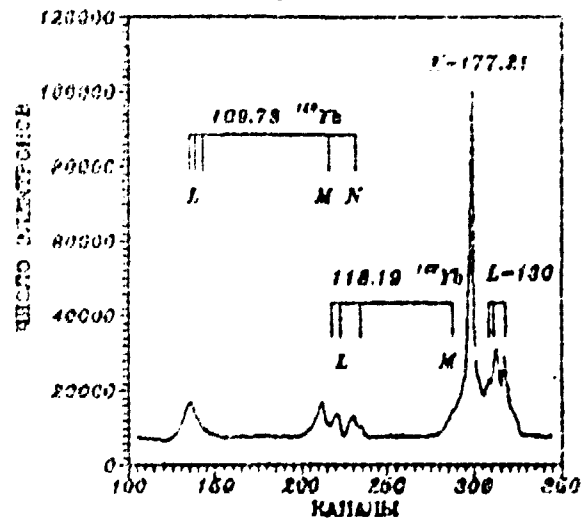
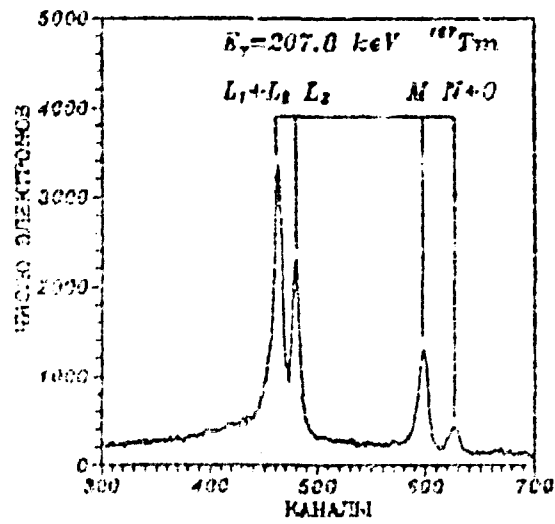


Рис. 6, 7. Участки спектров КЭ ^{167}Tm и ^{169}Yb , измеренные на ЖЭС с ПЧД.

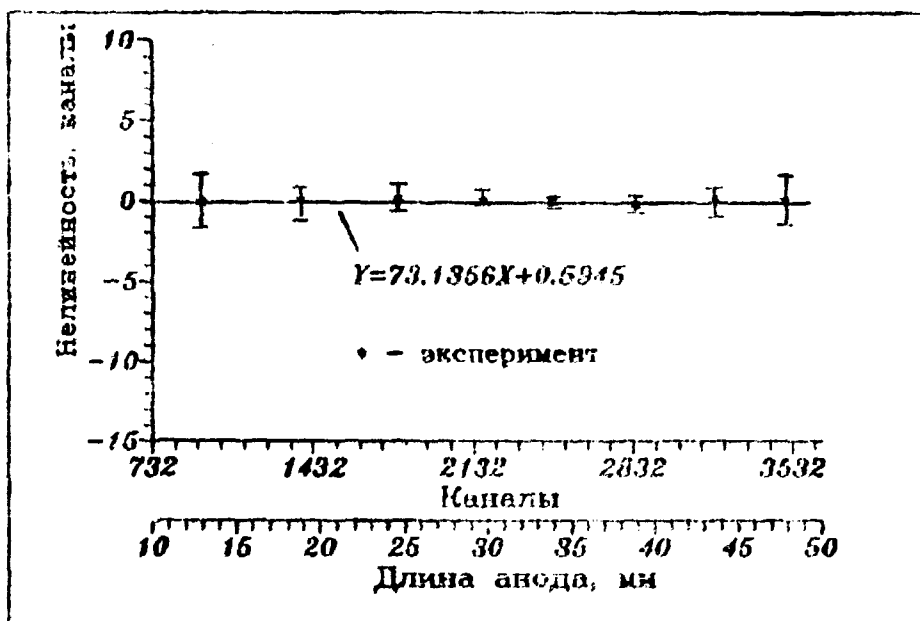


Рис. 7 Координатная нелинейность ПЧД на основе МКП.

ность практически не изменяется в диапазоне энергий 50+120 кэВ, далее при энергиях 140+250 кэВ увеличивается в 2-3 раза.

Светосила прибора определялась по линии К-198 ^{160}Yb и с учетом многоканальной регистрации спектра эффективная светосила составила примерно 1.3% [5].

Значение собственного фона для чувствительной области детектора площадью $10 \times 57 \text{ мм}^2$ составляет 2-3 имп./час см^2 . В среднем на площадь МКП, соответствующей отдельному спектральному пику приходится порядка 0.09 имп./час.

Полученные эксплуатационные характеристики бета-спектрографа с ПЧД на МКП позволяют сделать вывод о необходимости использования прибора в точных спектроскопических измерениях с высоким разрешением и с учетом таких характеристик, как многоканальность и эффективность регистрации электронов, и определяют широкие возможности для изучения спектров ЭВК и бета-частиц ядер короткоживущих изотопов.

В третью главу включены полученные результаты исследований α - γ -совпадений при распаде ^{225}Ac и ^{221}Fr .

Измерения α - γ -совпадений проводились в два этапа. В

первом этапе исследовались совпадения α -лучей с γ -излучением в мягкой области энергий. В этом случае для регистрации α - и γ -лучей использовался детектор из сверхчистого германия объемом 2 см^3 , $\varnothing=12 \text{ мм}$ и $\text{fwhm}=0,8 \text{ кэВ}$ на γ -линии с энергией 150 кэВ . Во втором этапе исследовались α - γ -совпадения с более жестким γ -излучением с помощью HgGe -детектором объемом 84 см^3 и $\text{fwhm}=1,03 \text{ кэВ}$ на $E_\gamma=150 \text{ кэВ}$. И в том и в другом случае альфа-частицы регистрировались с помощью поверхностно-барьерного $\text{Si}(\text{Au})$ -детектора ($\varnothing=10 \text{ мм}$, $\text{fwhm}=30 \text{ кэВ}$). Разрешающее время схемы совпадения составило 50 нс .

Отбор совпадений осуществлялся путем установки цифровых окон на спектре α -частиц. Одновременно записывались одиночные спектры α - и γ -лучей и интегральные спектры совпадений с обеих детекторов. Время набора спектров совпадений составило ≈ 160 часов для каждого этапа.

Жесткая часть спектра показана на рис. 8. Там же наряду с одиночным γ -спектром приведен и интегральный спектр совпадений α -лучей.

На рис. 9 показаны γ -спектры, полученные в совпадениях с α -частицами $E_\alpha=5286, 5321, 5443 \text{ кэВ}$.

Анализ результатов исследования α - γ -совпадений мы проводим, используя отношения площадей фотопиков γ -лучей определенной энергии в спектрах совпадений в окне $E_{\alpha i}$ и в одиночном γ -спектре [6,7]: $R_{\gamma k}^{\alpha i} = S_{\gamma k}^{\alpha i} / S_{\gamma k}$ (2)

где $S_{\gamma k}$, $S_{\gamma k}^{\alpha i}$ - экспериментально измеренные площади пика γ_k в одиночном спектре и в спектре совпадений окна α_i .

После тривиальных преобразований получим выражение (3) тождественное (2)

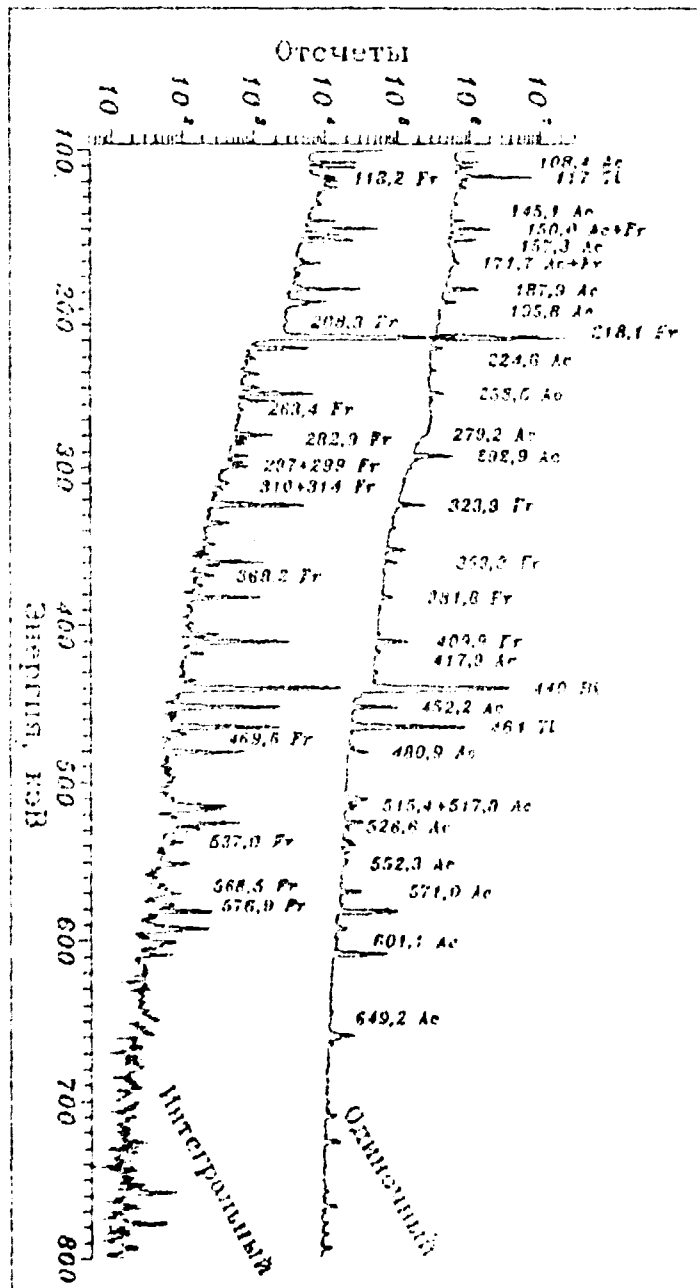
$$R_{\gamma k}^{\alpha i} = \frac{S_{\gamma k}^{\alpha i}}{S_{\gamma k}} = \epsilon_\alpha \cdot K_k^i \cdot W \cdot \frac{I_{\alpha i}}{\sum_{j < i} I_{\alpha j}} \quad (3)$$

где: $I_{\alpha i}$ и ϵ_α - интенсивность и эффективность регистрации α -частиц; W - эффективность регистрации совпадений;

K_k^i - коэффициент связи уровней i и k , при $i=k$ $K_k^i=1$.

$\sum_{j < k} I_{\alpha j}$ - полная интенсивность распада уровня k ;

Рис. 8. Импульсно-спектры измерения на ^{238}Pu — детекторе с $V = 24 \text{ см}^3$



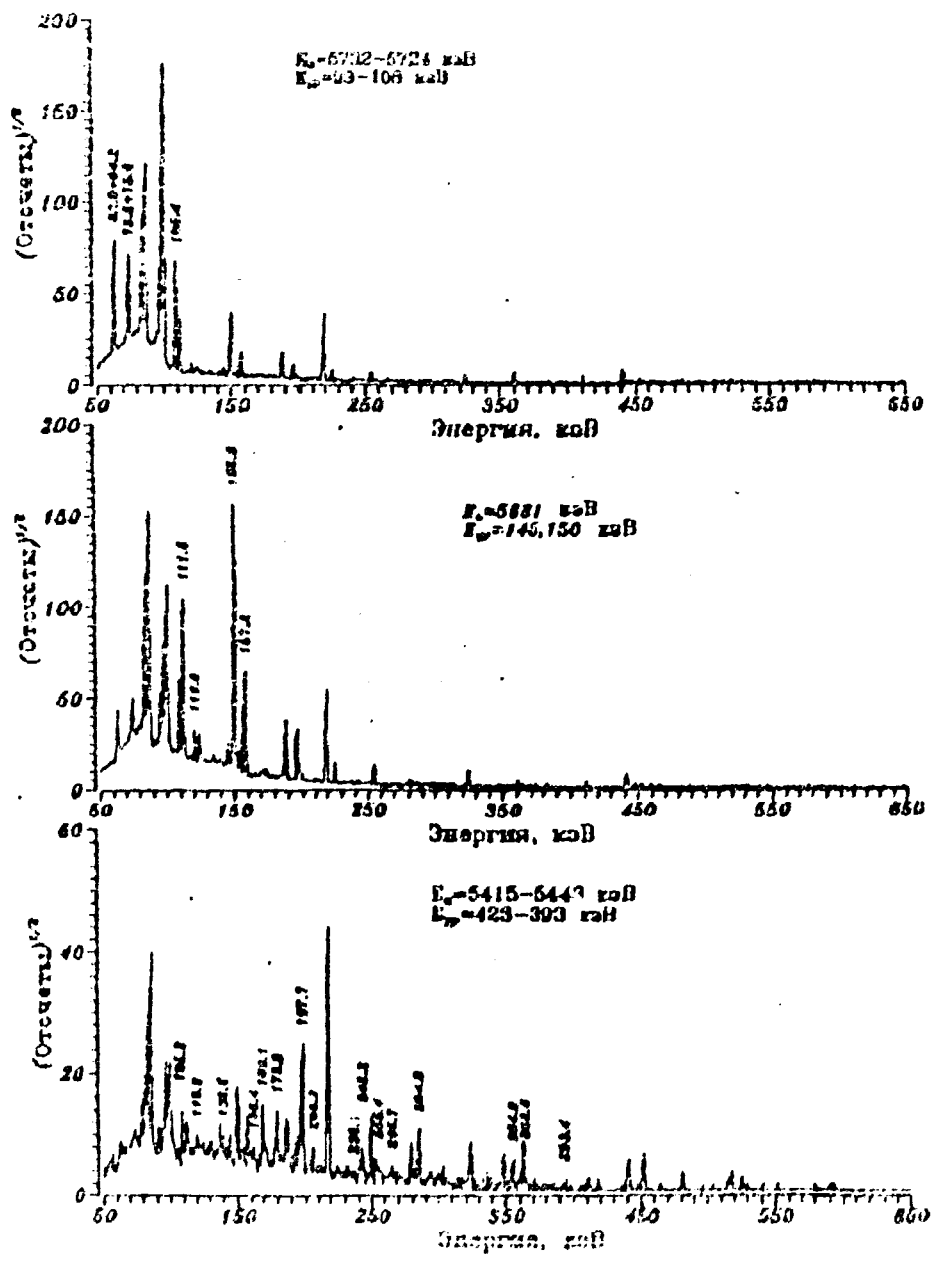


Рис.9. Спектры совпадений γ -лучей с α -лучами тонкой структуры ^{225}Ac .

Если уровень γ_k не заселяется сверху γ -лучами, то значение $I_{\alpha i} / \sum_{j < i} I_{\beta j} = 1$ и $R_{\gamma k}^{\alpha i} = \epsilon_{\alpha} \cdot K_k^i \cdot W$ (4).

Необходимо отметить, что эффективность регистрации α -детектора в измеряемом нами диапазоне (5-6,4 МэВ) постоянна.

Из формул 2, 3, 4 можно сделать следующие выводы:

а) равенство отношений $R_{\gamma k}^{\alpha i}$ в окне α_i для разных переходов (γ_k) указывает на возможность, что эти переходы (γ_k) идут с одного уровня, но их различие исключает такую возможность;

б) большая величина $R_{\gamma k}^{\alpha i}$ позволяет связать переходы γ_k с уровнем, на который идет α -распад ($i=k$);

в) если мы знаем в одном случае из схемы распада отношение $I_{\alpha i} / \sum_{j < i} I_{\beta j}$ (например 100%) при соответствующей нормировке величины $R_{\gamma k}^{\alpha i}$ имеется возможность определять величину $I_{\alpha i} / \sum_{j < i} I_{\beta j}$

- долю (%) заселения уровня прямым α -распадом.

Таблица 2. Баланс интенсивностей α - и γ -переходов уровней ^{221}Fr

$E_{ур}$, кэВ	$I_{\alpha} \cdot 100$ %	$I_{\beta_{ур}} \cdot 100$ эксп.	$I_{\beta_{ур}} \cdot 100$ расч.	1	2	3	4
1	2	3	4				
36,64	1810(20)	1352(184)	2321(620)	294,7	1,5)		
38,53	860(90)	888(241)	1653(448)	310,1	0,7(3)		5,4(4)
99,60	800(50)	900(112)	1403(115)	348,5	0,20(7)	0,3(1)	0,2(1)
99,87	132(10)	130(50)	227(21)	393,3	14(1)	19(2)	18(3)
100,9	87(23)	65(9)	280(82)	401,1		4,8(3)	
108,4	310(50)	340(92)	378(76)	446,7	0,10(5)	0,4(1)	0,3(1)
145,8		1,5(1)		482,7	<0,1	0,2(1)	<0,5
150,0	130(20)	135(31)	158(27)	496,9	<0,1	0,3(1)	
195,8	435(20)	425(110)	620(61)	517,8	7(1)	7,2(5)	7,2(1)
224,7	110(10)	117(20)	136(17)	552,0	23(1)	20(1)	23(1)
234,5	4	7(1)	7(2)	571,0	1,4(5)	1,2(1)	1,6(5)
253,5	120(10)	157	156(17)	601,1	0,30(8)	0,4(1)	0,5(2)
279,3	10	9,4(14)		630,8	2,7(3)	2,3(5)	3,8(3)
				712,3	0,20(8)	0,2(1)	0,3(1)
				779,6	0,3(1)	0,2(1)	0,4(2)

Таким образом использование отношений $R_{\gamma k}^{\alpha i}$ позволяет сделать достаточно определенные количественные выводы о схеме распада ядра.

В результате проведенного анализа, вышеизложенным методом однозначно установлено размещение в схеме уровней ^{221}Fr 86-ти γ -переходов 23 из которых обнаружены впервые. Введен новый уровень 157,3 кэВ. Подтверждено существование уровней 310,0; 317,8; 423,0; 447,1 и 482,7 кэВ, ранее введенных только на основании наблюдения слабых α -линий ^{225}Ac

С учетом введенных в схему распада новых γ - переходов был проведен баланс интенсивностей. В табл.2 проводится сравнение экспериментальных значений заселенности уровней и рассчитанных по формуле (3). Как видно из таблицы достигается хорошее согласие, что говорит о правильности метода обработки спектров совпадений.

Таким же способом были проведены исследования α - γ -совпадений при распаде ^{221}Fr . В качестве источника в измерениях использовался ^{225}Ac , полученный вакуумным напылением на алюминиевую фольгу толщиной 0.3 мм. В источнике быстро накапливались и содержались в равновесии радиоактивные изотопы, следующие за распадом ^{225}Ac .

Анализ результатов совпадений позволил существенно дополнить схему распада ^{221}Fr (рис.10). На рис.10 крестиками обозначены введенные нами новые γ - переходы и звездочкой ("*") - новые уровни.

Для вычисления интенсивностей γ - переходов в процентах на распад за основу принята интенсивность α - распада на уровень 218,1 кэВ : $I_{\alpha_{6126}} = 15,1(1) \%$ на распад. Расчет баланса интенсивностей на уровне 218,1 кэВ позволил определить интенсивность γ - лучей 218,1 кэВ - $I_{\gamma_{218,1}} = 11,6(4)\%$. Возможным, неизвестным заселением уровня 218,1 кэВ γ -переходами пренебрегаем; оно мало.

Были получены экспериментальные значения отношений $R_{\gamma_{ij}}^{\text{оп}}$ по формуле (2) для совпадающих переходов и определены их средневзвешенные значения для соответствующих уровней. Затем рассчитывались заселенности уровней по (5) используя средневзвешенные значения $R_{\gamma_{ij}}^{\text{оп}}$ уровней. Рассчитанные значения заселенностей уровней показаны в табл.3.

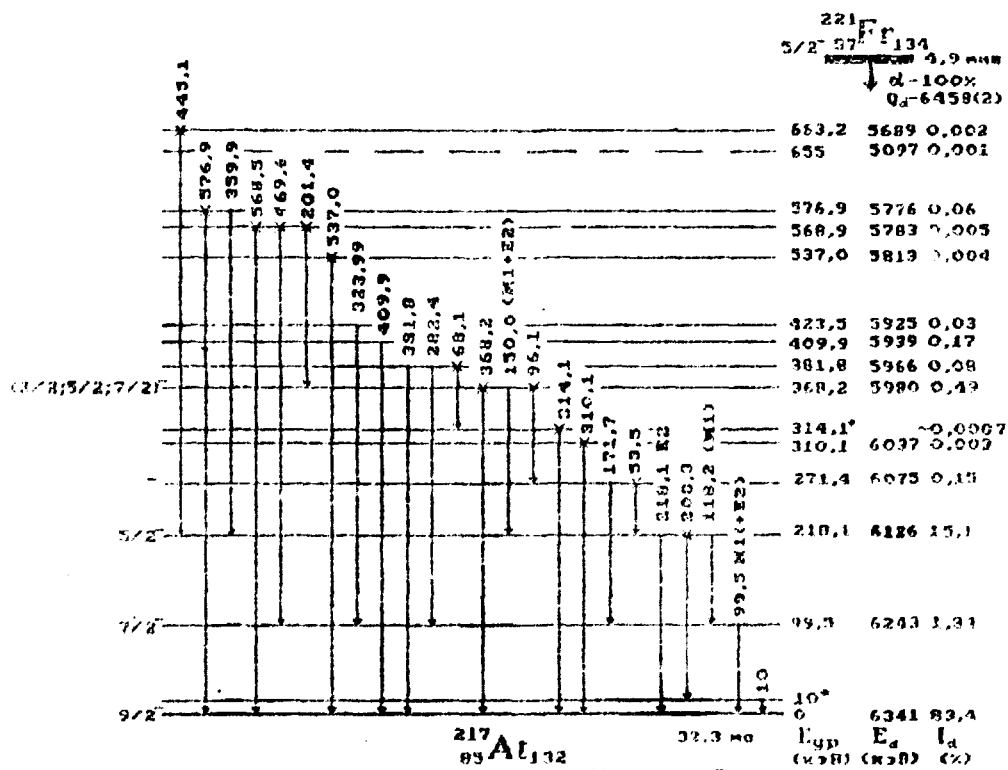


Рис. 10. Схема распада $^{221}\text{Fr} \rightarrow ^{217}\text{At}$

Анализ этих данных вместе с данными о интенсивностях γ -лучей позволяет сделать следующие выводы:

а) для γ -переходов 53,5; 68,1; 96,1 и 171,7 исключаются мультипольности E1, т.е. они вероятно типа M1+E2;

б) уровень 368,2 кэВ должен иметь дополнительную разрядку γ -переходами с суммарной интенсивностью не менее $0,5(2) \cdot 10^{-2}\%$ на распад. Такая возможность — переход 263,4 кэВ ($I_{263,4} = 0,21(5) \cdot 10^{-2}\%$), на уровень 10,18 кэВ отмечена выше.

в) для баланса интенсивностей на уровень 368,2 кэВ необходимо дополнительное заселение его γ -переходами с интенсивностью $\sim 0,5 \cdot 10^{-2}\%$ на распад.

г) с учетом этих замечаний баланс интенсивностей α - и γ -переходов в схеме распада ^{221}Fr выполняется.

Таблица 2. Полные заселенности уровней ^{217}At при распаде ^{221}Fr

Энергия уровня (кэВ)	I_{α} %	$R_{ур\ i}$ среднее	$I_{Eur\ i}^{**}$ %
99,52(18)	1,34(10)	71(5)	1,9(2)
218,13(3)	15,1(2)	100(5)	15,1(8)
271,43(13)	0,15(3)	60(6)	0,25(6)
310,14(16)	0,003(2)	70(20)	0,005(3)
314,11(17)	-0,0007 ⁿ	30(10)	-0,0015
368,16(5)	49(3)	49(7)	1,0(2)
381,82(4)	0,08(1)	64(5)	0,13(2)
409,93(7)	0,17(3)	86(22)	0,19(6)
423,5(2)	0,03(1)	70(5)	0,043(15)
537,0(2)	0,004(2)	57(18)	0,007(4)
568,9(2)	0,005(2)	42(8)	0,012(5)
576,9(4)	0,06(1)	102(18)	0,06(1)
663,2(2)	0,002(1)	74(40)	0,003(2)

Примечание: * - средневзвешенные значения отношения $R_{ур\ i}^{\alpha}$ для переходов с уровня i

** - полная заселенность уровня α - распадом и γ - переходами с более высоких уровней.

n - интенсивность α - распада на уровень 314,11 кэВ определена по результатам α - γ - совпадений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты настоящей диссертационной работы заключаются в следующем:

1. При исследовании распада ^{167}Yb нами обнаружено 32 γ -перехода, из них 6 переходов наблюдались впервые. Для 15 γ -переходов, которые ранее наблюдались в γ - лучах, впервые обнаружены линии конверсионных электронов. Для 9 γ - переходов впервые определены мультипольности, что позволило дополнительно снять и четности ряда уровней: 171,7 - $1/2^-$; 282,4 - $3/2^-$; 292,79 - $7/2^-$; 383,6 - $9/2^-$; 457,8 - $5/2^+$; 1216,5 - $7/2^+$.

2. Проведены экспериментальные исследования спектров ЭВК

и теоретические исследования октупольных состояний при распаде ^{164}Tm . На основе результатов расчета и полученных экспериментальных данных для распада ^{164}Tm , сделаны следующие выводы: проведенными расчетами подтверждено существования $K^\pi=2^-$ полосы; найдена впервые октупольная вращательная полоса с $K^\pi=1^-$ в ^{164}Er и состояния 1^- , 2^- и 3^- с энергиями 1577,5, 1715,2 и 1960,5 кэВ относятся к этой полосе, уровни 1715,2 - 2^- и 1960,5 - 3^- кэВ экспериментально установлены впервые; отклонение R_{ik} от адиабатического правила Алаги для переходов из состояния отрицательной четности связано с сильным смешиванием уровней октупольных полос.

3. На базе магнита бета-спектрографа СП-2 создана новая экспериментальная установка с электронно-измерительной и высоковакуумной системой. На созданной установке возможна работа в "оф-лайн" и "он-лайн" режимах с масс-сепаратором ISOL комплекса ЯССНАПП-2. В качестве регистратора ЭВК использовали ПЧД с напыленным РС-алюбом и длиной 60 мм.

4. При помощи МБС с ПЧД измерены спектры ЭВК при распаде ^{57}Co , ^{167}Tm , ^{169}Yb . Ширина линии на полувысоте для К-линии перехода 207 кэВ ^{167}Tm составила 320 мкм, что соответствует приборному разрешению 0,11 %. Необходимо подчеркнуть, что этот результат является рекордным для приборов такого типа.

5. Изучены регистрационные характеристики МБС с ПЧД. Показано, что эффективность МБС с ПЧД более чем на два порядка выше по сравнению с фоторегистрацией. Определена светосила установки - 1,3 %. Нелинейность детектора составила 0,04%.

6. Выполнены теоретические расчеты по определению оптимальных значений разрешающей способности и светосилы (пропускания) прибора при использовании широкого наклонного источника. Показано, что разрешение бета-спектрографа при использовании источника шириной 2+4 мм составляет 0,2+0,5%, что близко к разрешению (0,1%), получаемому от источника в виде проволоки диаметром 0,1 мм. Этот вывод имеет решающее значение для изучения спектров ЭВК короткоживущих радионуклидов, разделяемых на масс-сепараторах. ТАКИМ ОБРАЗОМ создан магнитный бета-спектрограф с позиционно-чувствительным детектором на базе МКП, который является

перспективной установкой для изучения свойств ядер, удаленных от стабильных.

7. Впервые разработана и использована методика обработки результатов α - γ -совпадений, при котором возможно определение заселенности уровня на котором происходят совпадения.

8. Проведены исследования γ -лучей и α - γ -совпадений при распаде ^{225}Ac . В результате однозначно установлено размещение в схеме уровней ^{221}Fr 86-ти γ -переходов 23 из которых обнаружены впервые. Введен новый уровень 157,3 кэВ, подтверждено существование еще 4-х уровней. С учетом новых γ -переходов проведен расчет баланса интенсивностей. Рассчитаны полные заселенности уровней которые хорошо согласуются с экспериментальными значениями.

8. При исследовании распада ^{221}Fr было обнаружено 13 новых γ -переходов. Введено новые уровни с энергией 9,8 кэВ и 314,1 кэВ. Подтверждено существование еще 4-х уровней Предлагаются, но требуют подтверждения, уровни с энергиями 104,8; 297,1 и 299,6 кэВ. Проведен баланс интенсивностей и рассчитаны заселенности уровней ^{217}At .

Содержание диссертации отобразено в следующих публикациях:

1. А.А.Абдуразаков, Ю.С.Бутабаев, Р.А.Ниязов, А.Х.Холматов, В.Г.Чумин. - Разрешающая способность и пропускание многоканального бета-спектрометра. Изв. АН УзССР, сер. физ., №1, 1990, 29-34.
2. А.А.Абдуразаков, В.С.Блинные, Ю.С.Бутабаев, Н.А.Лебедев, Р.А.Ниязов, Ш.Д.Пайзиев, М.С.Ходжаев, А.Х.Холматов. - Многоканальный бета-спектрометр с позиционно-чувствительным детектором на основе микроканальных пластин. В кн.: - Вопросы точности ядерной спектроскопии. Вильнюс, 1990, 37-42.
3. К.Я.Громов, П.Н.Усманов, А.Х.Холматов, Т.А.Исламов, Ю.С.Бутабаев, Р.А.Ниязов. - Исследование свойств октупольных состояний в ^{164}Er .
 - а) Изв.РАН, сер. физ., 1992, №11, 36-42.
 - б) Препринт ОИЯИ Р6-92-97, Дубна, 1992.
4. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, А.Х.Холматов, П.Н.Усманов, Ю.С.Бутабаев, Р.А.Ниязов, В.Г.Чумин, Н.А.Лебедев. - Исследование свойств бета-спектрографа с позиционно-чувствительным детектором.

- а) Изв. РАН, сер. физ., т. 57, № 9, с. 104-107.
- б) Препринт ОИЯИ, Р6-93-139, Дубна 1993.
5. А. А. Абдуразаков, М. А. Баратова, Ю. С. Бутабаев, Т. А. Исламов, Ю. Зайнутдинов, А. Тангабаев, А. Х. Холматов, - Конверсионные электроны при распаде ^{167}Yb . В кн.: Тезисы докладов 43-го совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Дубна), С. Петербург, 1993, с. 93-94.
6. К. Я. Громов, М. Я. Кузнецова, Ю. В. Норсеев, Н. И. Рухадзе, В. И. Фоминих, В. В. Цупко-Ситников, В. Г. Чумин, М. Б. Юлдашев, Ю. С. Бутабаев, Р. А. Ниязов - Исследования α - γ - совпадений при распаде ^{225}Ac .
- а) Препринт ОИЯИ Р6-93-233, Дубна, 1993.
- б) Известия РАН, сер. физ., т. 58, № 1, с. 35-42, 1994 г.
7. Ю. С. Бутабаев, И. Адам, К. Я. Громов, С. С. Елисеев, Р. А. Ниязов, Ю. В. Норсеев, В. И. Фоминих, А. Х. Холматов, В. В. Цупко-Ситников, В. Г. Чумин, М. Б. Юлдашев - Исследования α - γ - совпадений при распаде ^{221}Fr .
- а) Препринт ОИЯИ, Р6-94-173, Дубна 1994.
- б) Направлено в Изв. РАН.

Ю. С. Бутабаев

Деформацияланган ^{167}Yb , ^{164}Tm , ^{225}Ac , ^{221}Fr ядроларининг парчаланишини тадқиқ этиш. Позицион-сезгир детекторли бета-спектрограф.

Қисқача назмуни

Назкур ишда деформацияланган ^{167}Yb , ^{164}Tm , ^{225}Ac , ^{221}Fr ядроларнинг парчаланиши урганилган. ^{167}Yb ва ^{164}Tm парчаланишида конверсия электрон (КЭ) нинг спекторлари ўлчанди. ^{167}Yb парчаланишида 6 таси илк бор топилган 32 γ -ўтиш аниқланди. 9 та γ -ўтишлар учун биринчи марта мультиполлик қийматлари аниқланди. ^{164}Tm нинг парчаланишида 23 та янги γ -ўтишлар топилди. Парчаланиш схемасига 4 та янги сатҳ киритилди. ^{164}Er ядросининг коллектив ҳолатлари назария ҳисобидан урганилди. ^{164}Er ядросида илк бор $k = 1^-$ октупол - айланма банд (полоса) топилди. Қисқа яшовчи ядроларнинг КЭ спекторлари ўлчаш учун янги қурилма яратилди. Қурилманинг нолчизимлиги 0,04% ни, ажратиш қобилияти $\Delta B\rho/B\rho = 0,11\%$ ни, эффектив еруғлик кучи 1-2% ни ташкил этади. ^{225}Ac ва ^{221}Fr ядроларнинг парчаланиши урганилди. Альфа-гамма мос тушишлар усули ёрдамида ^{225}Ac учун 24 та ва ^{221}Fr учун 13 та янги γ -ўтишлар аниқланди ва янги ўнгонган ҳолатлар киритилди. Энергия ва интенсивликларнинг қийматлари аниқлаштирилди.

The investigation of the decay of the deformed
 ^{167}Yb , ^{164}Tm , ^{225}Ac , ^{221}Fr nuclei.

Beta-spectrograph with positional-sensitive detector

Abstract

The decay of the deformed ^{167}Yb , ^{164}Tm , ^{225}Ac , ^{221}Fr nuclei is investigated at this work. ^{167}Yb and ^{164}Tm decay the spectors of the conversion electrons of this nuclei are measured. 32 γ -changes were found out while ^{167}Yb decay. 6 of which were found out for the first time for 9 γ -changes. 23 new γ -changes were found out. 4 new levels were put to the decay scheme while ^{164}Tm decay. The theoretical investigations of the collective states in the nucleus were carried out. Octuplerotatory line with $k = 1^-$ were found out for the measurement of conversion electrons spectors of the short-living nuclei was made. Device nonlinearity was 0,04%. Resolution was $\Delta B\rho/B\rho = 0,11\%$. Effective illumination was 1-2%.

The decay of ^{225}Ac and ^{221}Fr nuclei was investigated. The investigations of α - γ - coincidence, α -, γ - rays carried out.

24 new γ -changes for ^{225}Ac and 13 ones for ^{221}Fr were found out. The new levels were put values of energy and intensity was defined more exactly. Intensity balance calculations were carried out. The full population of the nuclear levels were calculated.

Подписано к печати **21.10.84** Заказ № **442**
Тираж **100** экз. Объем **1** л. л. Формат бумаги
60×84 1/16.

Отпечатано на ротационных в типографии ТашГУ
им. В. И. Ленина.
Адрес: 700095, г. Ташкент, ГСП, Вузгородок, ТашГУ.