

С 341.1

A-281

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 4441

И.Адам

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ЯДЕР
В ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ ($A = 145 - 149$)

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук Ж.Т.Желев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Я.А.Сморodinский,

кандидат физико-математических наук Е.П.Григорьев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И.Менделеева, Ленинград.

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г. на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

О.А.Займидорога

6 - 4441

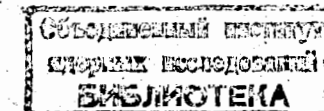
И.Адам

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ЯДЕР
В ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ (А = 145 - 149)

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

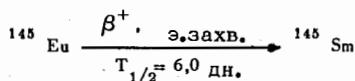
6109 69

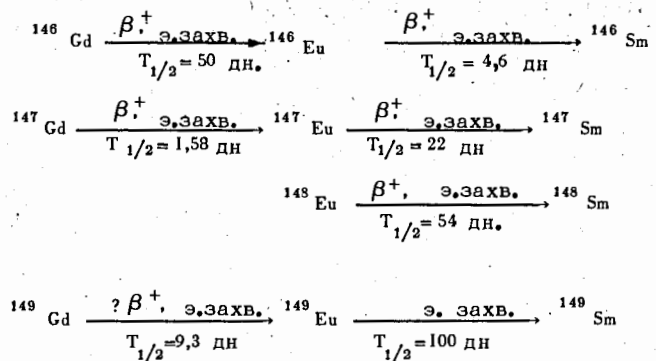


До настоящего времени свойства атомных ядер не удается понять и объяснить полностью. Это связано, во-первых, с недостаточностью наших знаний о природе сил, действующих между нуклонами в ядре, и, во-вторых, с отсутствием точного решения гамильтониана ядерной системы многих тел. В связи с этим теоретики предлагают ряд весьма существенных упрощений: метод самосогласованного поля, адиабатичность коллективного движения, выбор определенной равновесной формы ядерной поверхности — сферической или эллипсоидальной и ряд других.

Естественно, что определить насколько эти упрощения способствуют уходу от действительности могут лишь экспериментаторы. В настоящей работе изучался ряд ядер с $A = 145-149$, которые характерны тем, что имеют число нейтронов (83-87), близкое к магическому числу $N = 82$, и число протонов (60-61), удаленное от магического. Эти ядра находятся в переходной области между сферическими и сильнодеформированными ядрами. Можно предположить, что изучение именно этой области ядер позволит также детально выяснить характер и природу деформируемости атомных ядер.

Были исследованы следующие цепочки радиоактивного распада:





Радиоактивные изотопы гадолиния и европия получались хроматографическим выделением из продуктов реакции глубокого расщепления тантала или эрбия протонами с энергией 660 Мэв. Мишени облучались от 2 до 15 часов на внутреннем пучке синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. В некоторых экспериментах также было использовано разделение изотопов по массам.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Первая глава посвящена методическим вопросам, связанным с построением и эксплуатацией магнитного бета-спектрометра. Нами был создан бесфоновый бета-спектрометр с двукратной и двойной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}/1$. Радиус его равновесной орбиты равен 15 см. Разрешение прибора составляет 0,2% при телесном угле $\approx 0,1\%$. Число фоновых совпадений, зарегистрированных в течение 24 часов, равно нулю. При этом источник ${}^{166}\text{Tm}$, интенсивностью порядка 2мКи , находился на равновесной орбите спектрометра, и величина магнитного поля соответствовала фокусировке электронов с энергией, большей граничной энергии распада данного изотопа тулия.

В этой главе более подробно рассмотрен построенный нами стабилизатор тока обмоток магнита^{/2/}. Он представляет собой собранную на транзисторах двухконтурную систему, состоящую из стабилизатора напряжения с коэффициентом стабилизации

≈ 1000 . Второй контур системы стабилизации передает усиленный разностный сигнал на вход усилителя первого контура. В системе сравнения в качестве нуля-элемента применяется фотоэлектрический усилитель Ф 117/1, отлично подавляющий длительный дрейф стабилизатора. Принципиальная схема прибора показана на рис. 1. Длительные испытания показали, что ток магнита в течение одного часа изменяется не более, чем на $\pm 1 \cdot 10^{-5}$. При изменении температуры в помещении на 10°C ток обмоток изменяется на $5 \cdot 10^{-5}$. Нами была непосредственно проверена стабильность напряженности магнитного поля на равновесной орбите спектрометра. Показано, что $\frac{\Delta H_0}{H_0} / 2 \text{ часа} = (1+4) \cdot 10^{-5}$ и $\frac{\Delta H_0}{H_0} / 24 \text{ часа} = 1,6 \cdot 10^{-4}$.

Произведена автоматизация измерений спектра конверсионных электронов на нашем приборе^{/3/}. Блок-схему установки см. на рис. 2. Система позволяет производить автоматическое монотонное изменение тока обмоток магнита на 256 дискретных значений - "шагов". Начальные значения тока обмоток магнита, направление его изменения и величина "шага" выбираются оператором так же, как и время измерения каждой "точки". Автоматически производится запись количества счёта первого детектора и тройных совпадений. Показано, что точность реализации линейного закона изменения $H_0(I_M)$ и изменения величины шага $\frac{\Delta I_M}{I_M}$ вполне достаточна, чтобы при интерполяции H_0 по числу шагов этими неопределенностями можно было пренебречь, когда полное число шагов не превышает 64, а их относительная величина равна или меньше 0,04%.

В Главе II диссертации дано краткое описание экспериментальных установок, методов обработки результатов, а также приведены результаты измерений.

В таблице 1 для наглядности приводится перечень применяемых методик и исследуемых ядер. "Да" обозначает, что для изучения распада данного ядра нами был использован соответствующий экспериментальный метод.

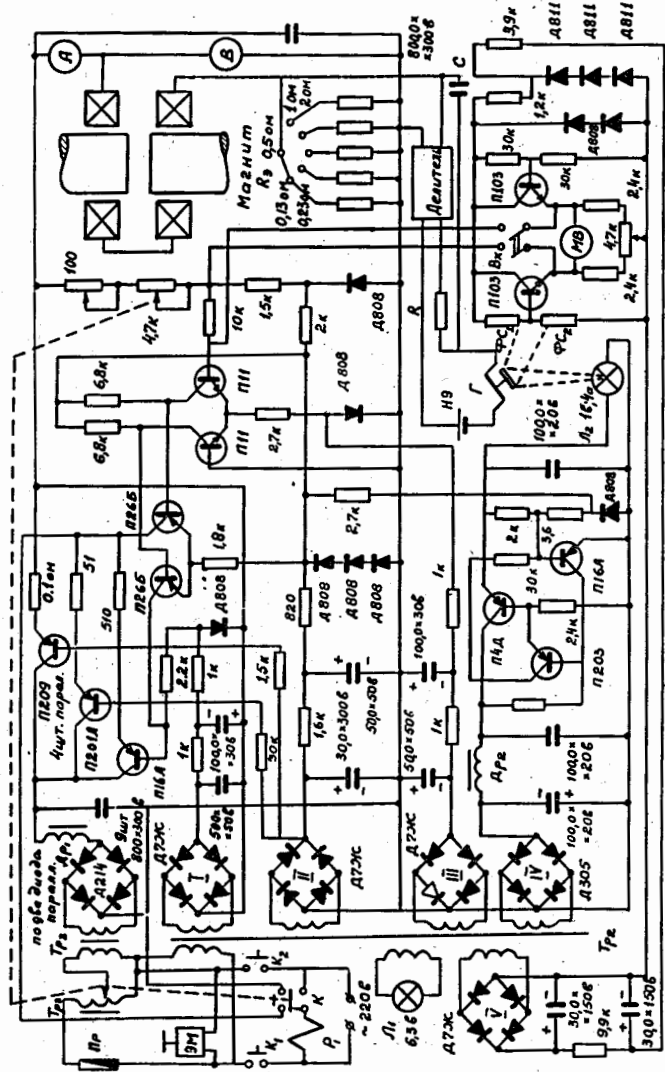


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизатора тока.

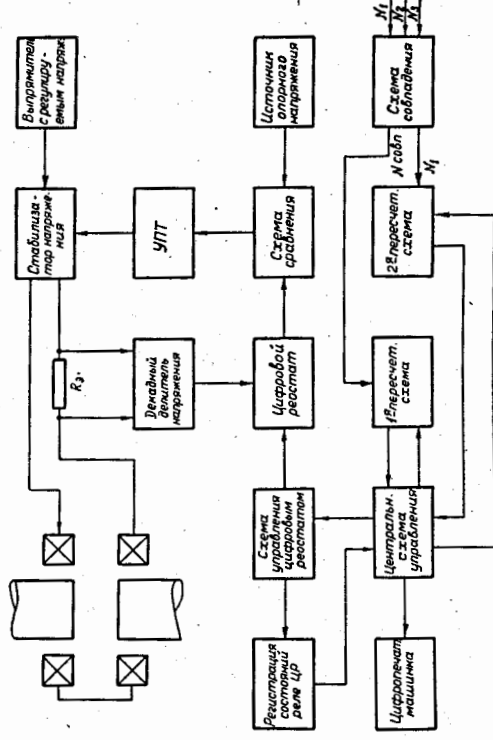


Рис. 2. Блок-схема стабилизации тока магнита бета-спектрометра и системы автоматического измерения спектров конверсионных электронов.

Таблица I

Измерено	Распад							
	¹⁴⁵ Eu	¹⁴⁶ Gd	¹⁴⁶ Eu	¹⁴⁷ Gd	¹⁴⁷ Eu	¹⁴⁸ Eu	¹⁴⁹ Gd	¹⁴⁹ Eu
Спектр конверсионных электронов	да		да		да			да
Спектр гамма-излучения	да	да	да		да	да	да	да
$e-\gamma$ совпадения	да	да	да		да			да
$\beta^+, \beta^+-\gamma$ совпадения	да	да	да	да	да		да	

В области средних энергий (от 500 до 1500 кэв) и высоких энергий (выше 1500 кэв) для измерения спектров конверсионных электронов был использован наш магнитный бета-спектрометр типа $2 \times \pi\sqrt{2}$; Шестизазорный магнитный бета-спектрометр с разрешающей способностью 1,2 и 0,5% при используемом телесном угле 8 и 1,2% применялся для измерения спектров в области низких энергий электронов (ниже 500 кэв). Эти эксперименты проводились в Институте Нильса Бора в Копенгагене.

Исследования спектров гамма-излучения выполнялись с помощью Ge(Li) - детекторов: двух плоскопараллельных с размерами 2 мм x 2,5 см² и 7 мм x 0,7 см² (разрешения 8 и 7 кэв для энергии гамма-квантов ≈ 1 Мэв) и одного коаксиального объемом 9,5 см³ с разрешением ≈ 6 кэв для той же области энергий гамма-квантов. Эти измерения проводились в Институте Датской Комиссии по атомной энергии в Рисо.

Спектры $e-\gamma$ [NaJ(Tl)], $e-\gamma$ [Ge(Li)], $\beta^+-\gamma$ [NaJ(Tl)] совпадения изучались с помощью двух шестизазорных бета-спектрометров (Рисо и Копенгаген). При этом NaJ(Tl) - детектор имел длину 7,5 см и диаметр 7,5 см, разрешение $\approx 7\%$, объем Ge(Li) детектора - 2,1 см³, разрешение ≈ 9 кэв для энергий гамма-лучей ≈ 1 Мэв.

Основные результаты этой части работы состоят в том, что:

1. С помощью бесфонового спектрометра $2 \times \pi\sqrt{2}$ впервые проведены измерения спектров конверсионных электронов в области энергий выше 750 кэв для распада ¹⁴⁵Eu, выше 1550 кэв для ¹⁴⁶Eu и выше 600 кэв для ¹⁴⁷Eu. Обнаружено свыше ста новых переходов/4,5,6/.

2. Впервые с помощью Ge(Li) - детекторов для распада ¹⁴⁵Eu, ¹⁴⁶Eu и ¹⁴⁷Eu исследованы спектры гамма-излучения/7,8,9/. Следует заметить, что обнаруженные нами в спектрах конверсионных электронов новые переходы в подавляющем большинстве случаев идентифицированы также в спектрах гамма-лучей; найдено несколько новых переходов.

3. Для распада ¹⁴⁶Gd, ¹⁴⁸Eu, ¹⁴⁹Eu и ¹⁴⁹Gd исследовалось их гамма-излучение с помощью Ge(Li) - детекторов. Результаты наших измерений сравниваются с ранее опубликованными данными и в ряде случаев их дополняют и уточняют/10,11/12/.

4. Методом $e-\gamma$ совпадений впервые исследован распад ^{145,146,147,149}Eu и ¹⁴⁶Gd. На основе части этих измерений полностью подтвержден ряд результатов разных авторов по гамма-гамма-совпадениям/8,9,10,12,13/.

5. С помощью наших измерений по $e-\gamma$ совпадениям установлена последовательность каскада 111 \rightarrow 542 \rightarrow 894 кэв и отсюда определена энергия второго возбужденного уровня ¹⁴⁵Sm.

6. Нами впервые наблюдались совпадения K 894 - 1079 (¹⁴⁵Sm), ряд гамма-квантов, совпадающих с K 271, K 297, K 411, K 430, K 522, K 533 (¹⁴⁶Sm). Впервые указано на су-

существование совпадений K121 с γ -1351 ; 1429 и, вероятно, 942, 1107 кэв, K 197 с γ -809 , 1275 кэв и обнаружено, что переходы с энергией 799, 1077, 1180, 1319 и 1450 кэв идут прямо на основное состояние ^{147}Sm .

7. Позитронный распад ^{145}Eu , ^{146}Eu , ^{147}Eu , ^{146}Gd , ^{147}Gd и ^{149}Gd исследовался впервые с помощью β^+ - γ -совпадений, когда позитроны анализировались магнитным спектрометром. На основе этих измерений существенным образом уточнена энергия распада ^{147}Eu и ^{147}Gd . Обнаружен позитронный распад ^{146}Gd и, вероятно, также ^{149}Gd . Измерены интенсивности позитронных переходов, во многих случаях установлен их предел.

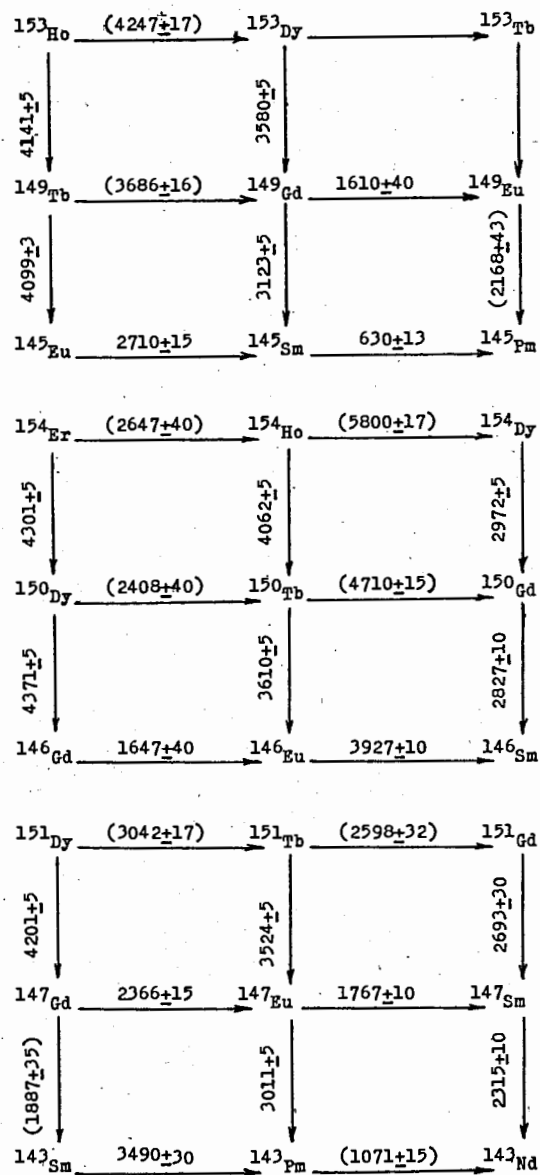
8. Нами вычислены экспериментальные отношения интенсивности K-захвата к интенсивности позитронов для неуникальных переходов первого порядка запрещения. В некоторых случаях эти отношения, несмотря на их значительную неопределенность, существенно отличаются от теоретического значения (таблица II). Это можно объяснить влиянием тензорного матричного элемента на величину отношения $\frac{K}{\beta^+}$. Для детального анализа необходимы теоретические расчёты рассматриваемых переходов.

9. Используя замкнутые циклы энергий распада, основанные на результатах измеренных нами энергий позитронных переходов и энергий альфа-распада, определенных в работах других авторов, удалось вычислить энергию распада ядер (см. рис. 3). Накопление новых данных по энергиям распада ядер и их уточнение важно для проверки полуэмпирических формул масс ядер, на основе энергий распада нескольких ядер можно вычислить парные энергии, и отсюда константы парного взаимодействия, которые используются при учёте сверхтекучих свойств ядер. Следующей важной физической величиной, которая определяется также из нескольких разностей масс ядер, является величина нейтрон-протонного взаимодействия.

ТАБЛИЦА 2

Отношение интенсивности K-захвата к интенсивности позитронного перехода $\frac{K}{\beta^+}$.

Распад ядра	Переход	$\Delta I, \Delta \pi$	$\frac{E_{\beta^+}}{E_{\beta^+}} \text{ (кэв)}$	$\left(\frac{E_{\beta^+}}{\beta^+}\right) \text{ разреш.}$	$\left(\frac{E_{\beta^+}}{\beta^+}\right) \text{ эксл.}$
^{145}Eu	$5/2^+ \rightarrow 3/2^-$	1, да	794 ± 15	42 ± 3	99 ± 19
	$5/2^+ \rightarrow 7/2^-$	1, да	1688 ± 15	$3,3 \pm 0,1$	5,5
^{146}Eu	$4^- \rightarrow 2^+$	2, да	2158 ± 15	$1,51 \pm 0,02$	7 ± 6
	$4^- \rightarrow 6^+$	2, да	1096 ± 15	$14,0 \pm 0,5$	24 ± 8
^{147}Eu	$5/2^+ \rightarrow 3/2^-$	1, да	548 ± 10	171 ± 12	300 ± 100
	$5/2^+ \rightarrow 5/2^-$	0, да	624 ± 10	104 ± 6	260 ± 100
	$5/2^+ \rightarrow 7/2^-$	1, да	745 ± 10	53 ± 3	260 ± 140
^{147}Gd	$7/2^- \rightarrow 5/2^+$	1, да	1344 ± 15	$7,4 \pm 0,3$	22 ± 10
	$7/2^- \rightarrow 7/2^+$	0, да	1115 ± 15	$14,0 \pm 0,4$	60 ± 30



3. Замкнутые циклы энергий распада. Определены энергии бета-распада ядер ¹⁴⁸Pm, ¹⁴⁹Tb, ¹⁵⁰Tb, ¹⁵⁰Dy, ¹⁵³Ho, ¹⁵⁴Er, ¹⁵⁴Ho, ¹⁵⁴Dy, ¹⁵⁰Dy, ¹⁵⁰Tb, ¹⁵⁰Gd, ¹⁴⁶Gd, ¹⁴⁶Eu, ¹⁴⁶Sm, ¹⁵¹Dy, ¹⁵¹Tb, ¹⁵¹Gd, ¹⁴⁷Gd, ¹⁴⁷Eu, ¹⁴⁷Sm, ¹⁴³Sm, ¹⁴³Pm, ¹⁴³Nd.

Глава III посвящена построению схем распада и сравнению экспериментальных результатов с теорией. Основные результаты этой главы перечислены ниже:

1. На основе результатов наших измерений интенсивностей K - конверсионных электронов и интенсивностей гамма-лучей были вычислены коэффициенты внутренней конверсии на K -оболочке. Там, где известны результаты других авторов, вычислялись α_k по средним значениям соответствующих интенсивностей. Сравнением экспериментальных значений α_k с теоретическими удалось для десятков переходов определить их мультипольность, причём для большинства из них - впервые.

2. В схему распада ¹⁴⁵Eu, ¹⁴⁶Eu, ¹⁴⁷Eu на основе наших экспериментов по e - γ совпадениям и анализа сумм-разностей энергий переходов введено около 20 новых уровней (см. рис. 4,5,6).

3. Из данных об интенсивностях γ - и β -переходов рассчитан баланс их интенсивностей, определены величины $\log ft$ электронного захвата, идущего на возбужденные уровни ^{145,146,147}Sm (рис. 4,5,6).

4. Определены спины и чётности для многих возбужденных уровней ¹⁴⁵Sm, ¹⁴⁶Sm и ¹⁴⁷Sm (рис. 4,5,6).

5. Обнаружены возбужденные состояния с положительной чётностью в ¹⁴⁵Sm: 1436 кэВ - $3/2^+$ или $5/2^+$, 1548 кэВ - $3/2^+$, 1629 кэВ - $3/2^+$, $5/2^+$, $7/2^+$, 1806 кэВ - $5/2^+$ или $7/2^+$, 2277 кэВ $5/2^+$ или $7/2^+$. Все эти состояния не были обнаружены в ¹⁴⁴Sm(d,p) - реакции. Однозначно определить их природу невозможно ввиду отсутствия детальных теоретических расчётов для этого ядра. Однако возможно, что некоторые из них являются членами септета уровней, возникающих при расщеплении октупольных вибраций и одночастичного состояния со спином $7/2^-$.

6. Проведено сравнение возбужденных уровней ¹⁴⁶Sm с теоретической схемой уровней, вычисленной на основе учёта промежуточного взаимодействия между остовом ядра и двумя

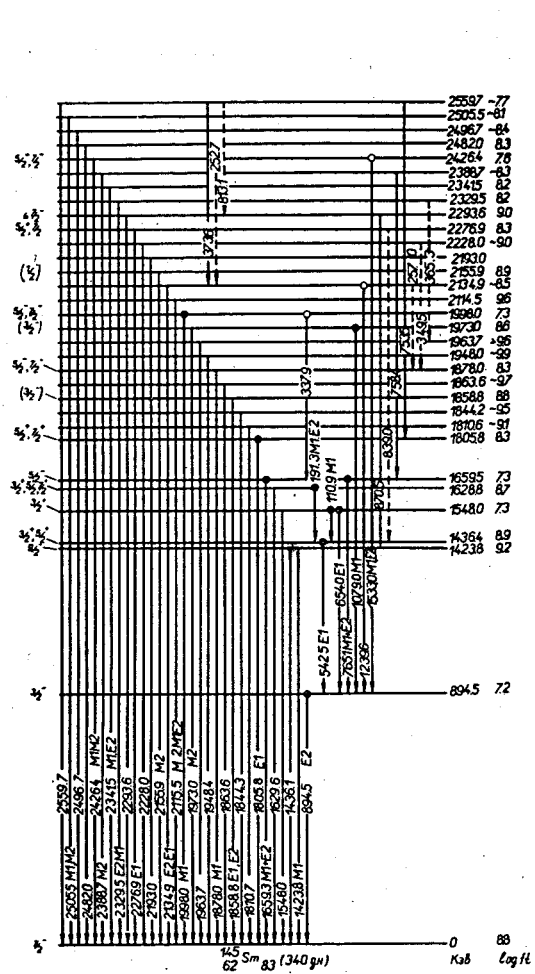


Рис. 4. Схема распада $^{145}\text{Eu} \rightarrow ^{145}\text{Sm}$

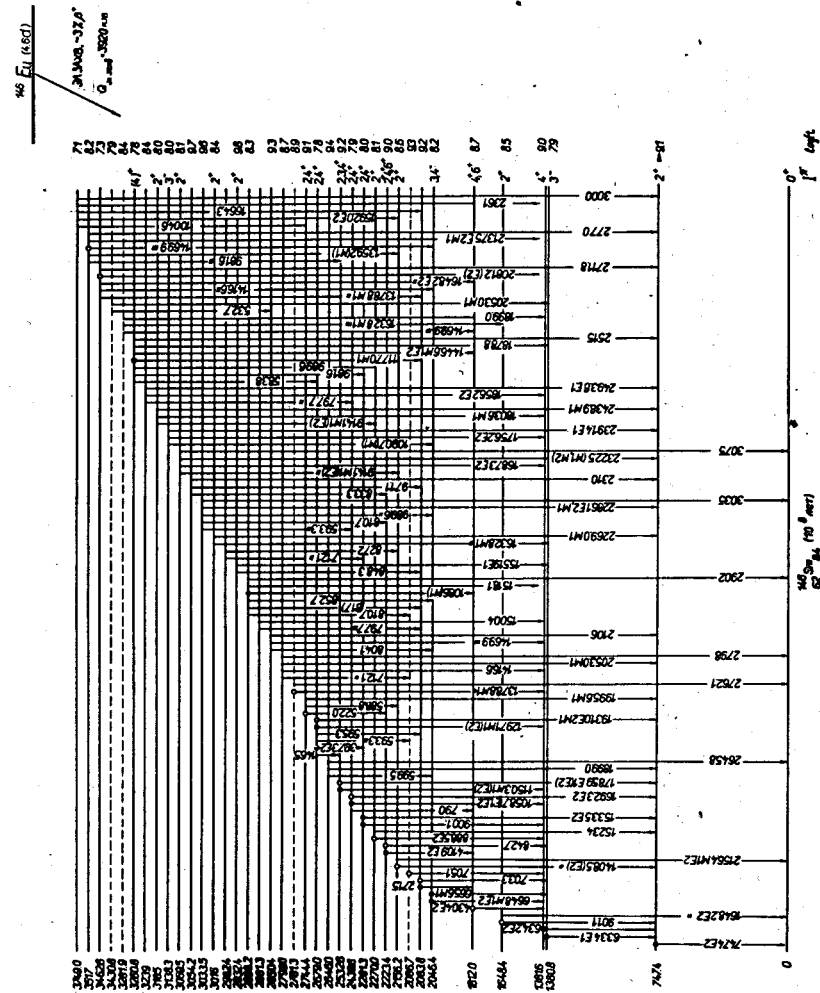


Рис. 5. Схема распада $^{146}\text{Eu} \rightarrow ^{146}\text{Gd}$

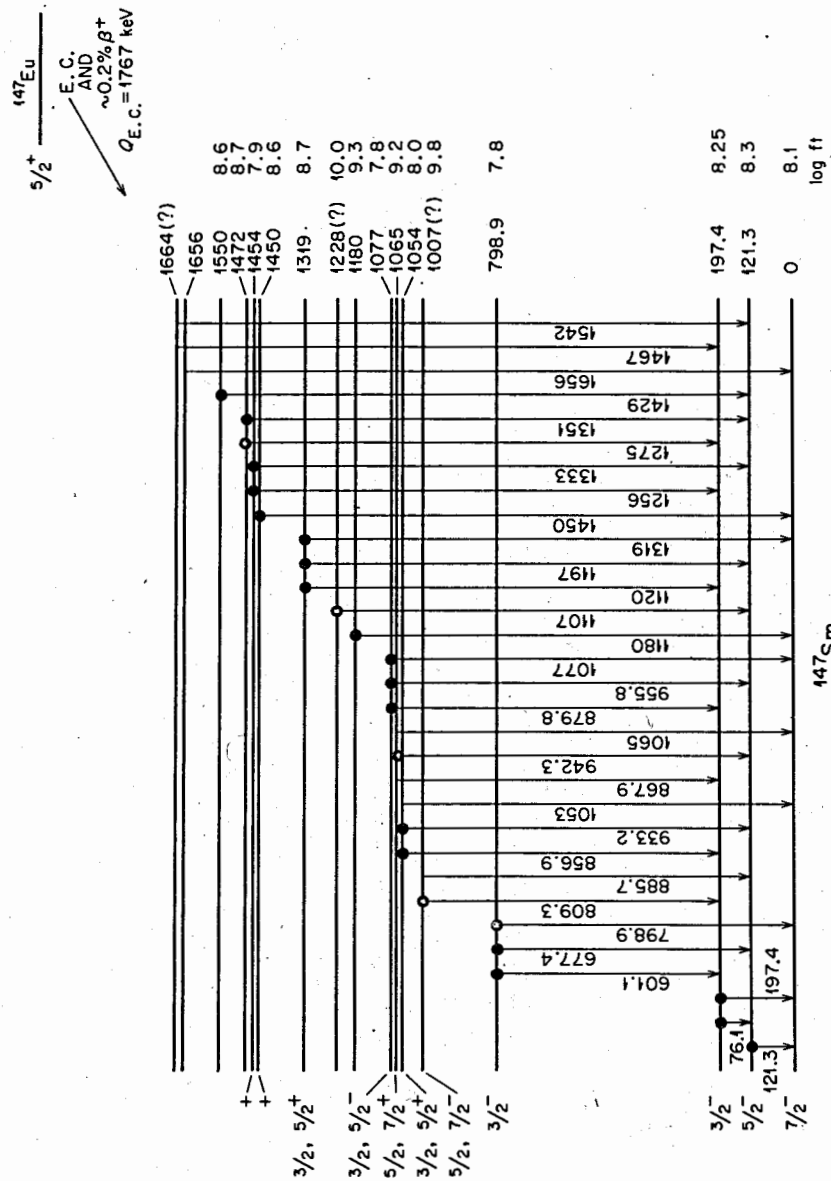


Рис. 6. Схема распада $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$.

внешними нейтронами^{/13/}. Показано, что для этого ядра использовать теорию Давыдова и Филиппова^{/14/} не удается и что также невозможно использование систематики Сакай, Пекера^{/15,16/}.

7. Предложенная нами схема возбужденных уровней сравнивается с результатами (d,d') и (d,t) реакций^{/17/}. На основе наших результатов и результатов ядерных реакций можно предположить, что в ^{147}Sm взаимодействие между одночастичным и коллективным движением значительно сильнее, чем в сферических ядрах.

Диссертационная работа выполнена в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в Дубне и в Институте Нильса Бора в Копенгагене, а также в Институте Датской Комиссии по атомной энергии в Рисо.

Результаты исследований, описанных в диссертации, доложены на VIII Совещании по ядерной спектроскопии нейтрондефицитных изотопов и теории деформированных ядер (Дубна, 1965), на XV, XVI, XVIII, XIX ежегодных Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (1965, 1966, 1968, 1969 г.г.), на Международном симпозиуме по структуре ядра (Дубна, 1968), на конференциях американского Физического общества (Вашингтон, 1967, 1968), а также опубликованы в печати^{/1-12/}.

Л и т е р а т у р а

1. И.Адам, В.Г.Чумин, Ю.Н.Денисов, М.Фингер, К.Я.Громов, М.Я.Кузнецова, Лу Си-тин. Препринт ОИЯИ 2494, Дубна 1965.
2. И.Адам, Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич, М.Фингер. Приборы и техника эксперимента. №2, (1965) 136. Препринт ОИЯИ, 1589, Дубна 1964.

3. И.Адам, Ю.Н.Денисов, А.Кокеш, В.Г.Чумин, П.Т.Шишляни-ков. Изв. АН СССР, сер. физ., XXIX (1965) 2147. Препринт ОИЯИ 2169, Дубна 1965.
4. И.Адам, Ж.Т.Желев, М.И.Кривоустанов, М.Фингер. Препринт ОИЯИ 2412, Дубна 1965, стр. 53.
5. И.Адам, Ж.Т.Желев, М.Я.Кузнецова, Лу Си-тин, Н.А.Лебедев, М.Фингер, Препринт ОИЯИ 2412, Дубна 1965, стр. 58.
6. И.Адам, Ж.Т.Желев, Лу Си-тин, Э.Херманн, В.Г.Чумин. Препринт ОИЯИ 2412, Дубна 1965, стр. 61.
7. И.Адам, К.Вильский, Ж.Желев, М.Йоргенсен, М.Кривоустанов, В.Кузнецов, О.Б.Нильссен, М.Фингер, Изв. АН СССР, сер. физ., XXXI (1967) 122. Препринт ОИЯИ Р-2581, Дубна 1966.
8. I. Adam, O.B.Nielsen, K.S.Toth, J.Zylicz. Contributions Int. Symp. on Nuclear Structure, Dubna 1968.
9. I.Adam, K.S.Toth, R.A.Meyer. Phys. Rev., 159, 985 (1967). Bull. Amer. Soc., Phys., 12, 566 (1967).
10. I.Adam, K.S.Toth, R.A.Meyer, E.V.Hungerford. Preprint, Oak Ridge 1969, Bull. Amer. Phys. Soc., 13, 626 (1968).
11. И.Адам, К.С.Тот. Программа и тезисы докладов XIX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ереван 1969.
12. I.Adam, K.S.Toth, R.A.Meyer. Nucl. Phys., A106, 275 (1968).
13. K.Heyde, T.J. Brussaard. Nucl. Phys., A104, 81 (1967).
14. А.С.Давыдов, Г.Ф.Филиппов. ЖЭТФ 35, (1958), 440.
15. M.Sakai. Nucl. Phys., A104, 301 (1967).
16. Л.К.Пекер. Изв. АН СССР, сер. физ., 31 (1967) 1584.
17. E.Veje. Nucl. Physics, A103, 188 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел

22 апреля 1968 года.