

С 341.1 + С 344.1

У-906

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 3676

В.Г.Чумин

ИЗУЧЕНИЕ АЛЬФА-РАСПАДА ИЗОТОПОВ ДИСПРОЗИЯ,

ТЕРБИЯ, ГАДОЛИНИЯ И ХОЛМИЯ

С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШОГО МАГНИТНОГО АЛЬФА- СПЕКТРОГРАФА.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА АЛЬФА- СПЕКТРОВ

ИЗОТОПОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(специальность - 040, экспериментальная физика)

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1968

В.Г.Чумин

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель - старший научный сотрудник,

кандидат физико-математических наук К.Я.Громов.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук А.Г.Зеленков,

кандидат физико-математических наук Р.Б.Иванов.

Ведущий научно-исследовательский институт: Институт теоретической и экспериментальной физики.

Автореферат разослан " " 1968 г.

Защита диссертации состоится " " 1968 г. на засе-

дании Учёного совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Г.Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Учёный секретарь совета

кандидат физ.-мат.наук

О.А.Займидорога

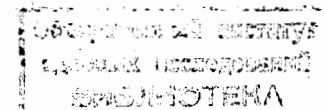
5/21 69

ИЗУЧЕНИЕ АЛЬФА-РАСПАДА ИЗОТОПОВ ДИСПРОЗИЯ,
ТЕРБИЯ, ГАДОЛИНИЯ И ХОЛМИЯ
С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШОГО МАГНИТНОГО АЛЬФА- СПЕКТРОГРАФА.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА АЛЬФА- СПЕКТРОВ
ИЗОТОПОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(специальность - 040, экспериментальная физика)

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук



Исследования радиоактивного распада с помощью различных методов ядерной спектроскопии позволяют установить схемы распада и квантовые характеристики состояний атомных ядер. Среди этих методов широкое применение нашел магнитный анализ. При изучении тонкой структуры альфа-спектров основным прибором является магнитный спектрограф, который позволяет определять как энергию альфа-частиц, так и относительные интенсивности альфа-групп.

В диссертации описываются построенный автором большой магнитный альфа-спектрограф (часть I) и результаты исследования с его помощью альфа-распада изотопов Po , Pu , Tb , Gd , Eu (часть II).

1. Методическая часть

Нами построен магнитный альфа-спектрограф с двойной фокусировкой пучка с широкой апертурой^{/1/}. При его создании использовался богатый опыт, накопленный при сооружении аналогичного прибора в Институте атомной энергии им. И.В.Курчатова^{/2/}. Общий вид магнита показан на рис. 1, вакуумной системы - на рис. 2. Угол фокусировки - $\pi\sqrt{2}$. Радиус равновесной орбиты - 154 см. Максимальный телесный угол, который позволяют использовать размеры вакуумной камеры, равен $9 \cdot 10^{-4}$ от 4π ($-7 \leq \phi_r \leq 2,3^\circ$, $\phi_z = \pm 2^\circ$). Минимальная полуширина альфа-линии ^{212}Bi ($E_\alpha = 6091$ кэв) равна 2,4 кэв при использовании телесного угла $3,7 \cdot 10^{-4}$ от 4π ($-7 \leq \phi_r \leq 2,3^\circ$, $\phi_z = \pm 0,83^\circ$) и размерах источника $1 \times 10 \text{ мм}^2$. При токах в обмотке электромагнита 160+400 А можно изучать альфа-распад, при котором $E_\alpha = 2 \pm 12$ Мэв. Магнитное поле

с точностью $\approx 0,01\%$ измеряется с помощью ядерного магнитометра. В качестве детектора используются фотопластинки с ядерной эмульсией типа А-2. Энергетический диапазон одновременно регистрируемых альфа-частиц составляет $\sim 10\%$. Точность в определении энергий альфа-частиц изотопов редкоземельных элементов составляет < 5 кэВ. Количество альфа-треков на "хвосте" альфа-линии на расстоянии в 150 кэВ от $E_{\alpha_{\max}}$ составляет $\approx 3 \cdot 10^{-6}$ от количества треков на ее максимуме. Счёт альфа-треков производится с помощью микроскопа МБИ-9.

Радиоактивные источники для альфа-спектроскопических исследований приготавливались двумя способами. При изучении альфа-распада изотопов, для которых период полураспада больше 20 мин, использовался метод возгонки вещества в вакууме. В этом случае мишень, облученная протонами на синхротроне ОИЯИ, подвергалась химической обработке (растворению, отделению редкоземельных элементов от вещества мишени и других элементов, образовавшихся при облучении.). Разделение самих редкоземельных элементов производилось хроматографическим методом. Для распыления радиоактивного вещества использовалась стандартная установка УВР-2.

Для изучения альфа-распада изотопов, имеющих период полураспада меньше 20 мин, источники приготавливались методом, использующим явление термодиффузии редкоземельных элементов из тантала^{/3/}. В этом случае танталовая мишень, облученная протонами, минуя все химические операции, разогревалась в вакууме до $\approx 2100^\circ\text{C}$.

При этом атомы редкоземельных элементов диффундируют из толши тантала, испаряются с его поверхности и конденсируются на стеклянной подложке. Такой способ позволяет сократить время от конца облучения тантала до начала экспозиции на альфа-спектрографе, до 24 мин.

II. Физические исследования

В области редких земель магнитный анализ альфа-спектров производился практически впервые. В наших работах значения энергий альфа-частиц даются с ошибками ≤ 5 кэВ. Используя относительные интенсивности альфа-линий, обнаруженных в одной фракции, и данные работы Барановского и др.^{/4/} о сечениях образования ядер изотопов редкоземельных элементов в тантале, облученном протонами с $E_p = 680$ МэВ, мы произвели расчёт парциального периода альфа-распада. Большие ошибки (до 80%) вызваны, главным образом, ошибками в определении сечений. Коэффициент запрета альфа-распада F определялся

из отношения экспериментально определенного парциального периода к вычисленному по формуле Таагепера-Нурмия^{/5/}:

$$\log T_\alpha = 1,61 \left[\frac{z_d}{\sqrt{E_\alpha}} - z_d^{2/3} \right] - 28,9,$$

где T_α - парциальный период (в годах), z_d - заряд дочернего ядра, E_α - энергия альфа-частиц (в МэВ).

1. Фракция диспрозия. Исследовалась область альфа-спектра от $E_\alpha = 2680$ кэВ до $E_\alpha = 4250$ кэВ. Результаты сведены в таблице 1. Уточнены значения энергий альфа-частиц основных переходов изотопов с $A = 150 + 154$. Обнаружена новая слабая альфа-группа, интенсивность которой убывала с периодом полураспада ≈ 6 ч. На основании этого периода и разницы энергий обнаруженных альфа-частиц ($E_\alpha = 3303 \pm 5$ кэВ) и частиц из основной альфа-группы ^{153}Dy новую группу мы приписываем распаду ^{153}Dy на уровень 165 кэВ ^{149}Gd . О таком уровне (164,5 кэВ) сообщается в работе К.Вильского и др.^{/6/}. Оценены величины доли альфа-распада и парциального периода альфа-распада обнаруженных альфа-переходов.

В работах Тота и Расмуссена^{/7/} сообщается о существовании альфа-группы ^{154}Dy , интенсивность которой изменяется с периодом полураспада ≈ 13 ч. ($E_\alpha = 3,35 \pm 0,05$ МэВ). Мы такую линию не обнаружили.

Коэффициенты запрета альфа-распада ^{151}Dy , ^{153}Dy и ^{149}Gd в пределах ошибок совпадают с коэффициентами соседних чётно-нечётных изотопов ^{150}Dy , ^{152}Dy и ^{154}Dy . Это обычно означает, что квантовые характеристики основных состояний материнских и дочерних ядер одинаковы. Тогда спины основных состояний ^{149}Gd и ^{153}Dy , как и спин ^{145}Sm ^{/8/}, равны $7/2^-$. Чётность отрицательна. Предположив, что спин основного состояния ^{147}Gd равен $7/2^-$, как и у ^{141}Ce , ^{143}Nd и ^{145}Sm , имеющих тоже 83 нейтрона, мы считаем, что спин основного состояния ^{151}Dy равен $7/2^-$. Основываясь на данных, накопленных при изучении альфа-распада тяжелых деформированных ядер, можно предполагать, что первый возбужденный уровень ^{149}Gd не является уровнем ротационной полосы основного состояния, так как коэффициент запрета альфа-распада на этот уровень слишком велик (на 2 порядка больше, чем для основного перехода).

2. Фракция тербия. Альфа-спектр изотопов тербия исследовался в области $E_\alpha = 2780-4020$ кэВ. Результаты исследований представлены в таблице 2. Уточнены значения энергий известных ранее альфа-переходов. Оценены величины

долей и парциальных периодов альфа-распада. Наблюдается расхождение в величине доли альфа-распада ^{151}Tb , полученной в работах Тога, Макфарлайна, Кормицкого и др. /7,9,10/ с одной стороны, и в работах наших и группы Фенеша - с другой /11,12/. По данным первой группы, $\alpha_{\text{Tb}}^{151} = (3-6) \cdot 10^{-6}$, второй - $(2-10) \cdot 10^{-5}$. Обнаружена новая слабая альфа-группа, интенсивность которой изменялась с периодом полураспада $3,15 \pm 0,20$ ч. Энергия альфа-частиц равна 3492 ± 5 кэВ. В соответствии с периодом полураспада эту группу мы приписали альфа-распаду ^{150}Tb . Альфа-группу ^{152}Tb обнаружить не удалось. Дается верхний предел доли альфа-распада ^{149}Tb из изомерного состояния. Он равен $5 \cdot 10^{-4}$. Приводятся верхние пределы доли альфа-распада для α_2 -групп ^{149}Tb и ^{151}Tb . Установлено существование тонкой структуры альфа-спектров ^{149}Tb и ^{151}Tb . Альфа-распад ^{151}Tb и ^{149}Tb происходит на возбужденные уровни 229 кэВ ^{147}Eu (рис. 3) и 331 кэВ ^{145}Eu соответственно. На основании имеющихся в литературе данных и величин коэффициентов запрета альфа-распада ^{149}Tb и ^{151}Tb высказывается предположение, что спин основного состояния ^{151}Tb равен $3/2$, а спин первого возбужденного состояния ^{149}Tb равен $7/2$.

При изучении короткоживущих альфа-распадчиков была обнаружена группа альфа-частиц ($E_{\alpha} = 3933 \pm 5$ кэВ, $T_{1/2} = 9$ мин), принадлежащих, вероятно, ^{154}Ho или ^{153}Ho /13/.

3. Фракция гадолиния. Альфа-спектр изотопов гадолиния исследовался в области $mE_{\alpha} = 2630-3200$ кэВ. Уточнены значения энергий альфа-частиц ^{149}Gd , ^{149}Gd и накопившегося из гадолиния ^{147}Eu . Даны оценки доли альфа-распада, $T_{\alpha}^{149}\text{Gd}$ и ^{147}Eu . Не удалось обнаружить α -линии ^{150}Gd и α_1 -линии ^{147}Eu . Приводятся нижние пределы их парциальных периодов альфа-распада. Все полученные данные сведены в таблицу 3.

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались на XVI и XVII Всесоюзных ежегодных конференциях по ядерной спектроскопии и опубликованы в работах /1,11,14,15/.

Л и т е р а т у р а

1. Н.А.Головков, К.Я.Громов, Ю.Н.Денисов, Б.С.Джелепов, Ж. Желев, С.А.Ивашкевич, В.М.Лачинов, Б.Махмудов, В.И.Прилипко, Ю.И.Сусов, В.Г.Чумин, П.Т.Шишляников. Препринт ОИЯИ, P13-3340, Дубна, 1967 г.

2. С.А.Баранов, А.Г.Зеленков, Г.Я.Шепкин, В.В.Беручко, А.Ф.Малов. Атомная энергия 7, 262 (1959). Изв. АН СССР, сер. физ., XXIII 1402 (1959).
3. Andersen M.L., Nielsen O.B., Scharff B. Nucl.Instr.Meth., 38, 303 (1965).
4. В.И.Барановский, А.Н.Мурин, Б.К.Преображенский. Радиохимия, 4, 407 (1962).
5. Taagerera R, Nurmia M., Ann.Acad.Sci.Fennicae, SerA, VI Physica N 78, 1 (1961).
6. К.Вильский, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.В.Кузнецов, Г.Музиоль, О.Б.Нильсен, О.Скилбрайт. Препринт ОИЯИ, P6-3128, Дубна, 1967 г.
7. Toth K.S., Rasmussen J.O., Nucl.Phys., 16, 474 (1960) Nucl. Phys., 109, 121 (1958).
8. Ж.Т.Желев. Диссертация. Дубна, ОИЯИ, 1964.
9. Macfarlane R.D., Seegmiller D.W., Nucl. Phys., 53, 449 (1964).
10. Kormicki J., Niewodniczanski H., Stachura Z., Zubek K., Budzlak A., Nucl. Phys., A100, 297 (1967).
11. Н.А.Головков, К.Я.Громов, Н.А.Лебедев, Б.Махмудов, А.С.Руднев, В.Г.Чумин, Изв.АН СССР, сер.физ., XXXI № 10, 1618 (1967).
12. К.Я.Громов, И.Махунка, М.Махунка, Т.Фенеш, Изв.АН СССР, сер. физ., 29, 194. (1965).
13. Hahn R.L., Toth K.S., Handley T.H., Phys. Rev. Lett., 19, N 12 (1967) A10.
14. В.Г.Чумин, Ж.Т.Желев, К.Я.Громов, Б.Махмудов, Изв.АН СССР, сер.физ., XXXI № 1, 146 (1967).
15. Н.А.Головков, К.Я.Громов, Н.А.Лебедев, Б.Махмудов, А.С.Руднев, В.Г.Чумин, Препринт ОИЯИ, 6-3036, Дубна, 1966, стр.29.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 января 1968 года.

ИЗОТОПЫ Dy

Таблица №1

A	α -группа	E_{α} кэВ	$T_{1/2}$	Интенсивность λ	T_{α}	Доля α -распада	Кэфф. запрета	Примечание
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I50	α_0	4232 \pm 5	6 - 7 мин	-	10 \pm 8 мин	0,75 \pm 0,60	0,8 \pm 0,6	-
I51	α_0	4067 \pm 5	15 - 17 мин	I	4,3 \pm 3,1 ч.	0,07 \pm 0,05	1,8 \pm 1,3	-
	α_1	-	-	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$	> 170 дн.	$< 3,6 \cdot 10^{-5}$	-	$E_{\alpha} = 3860-4160$ кэВ
I52	α_0	3630 \pm 5	2,3 \pm 0,2 ч.	I	200 \pm 120 дн.	(5 \pm 3) $\cdot 10^{-4}$	2,0 \pm 1,2	-
	α_1	-	-	$\leq 3 \cdot 10^{-4}$ $\leq 2 \cdot 10^{-5}$	> 730 лет > 10^3 лет	$< 2,4 \cdot 10^{-7}$ $< 1,6 \cdot 10^{-8}$	-	$E_{\alpha} = 3500-3600$ кэВ $E_{\alpha} = 3150-3500$ кэВ
I53	α_0	3464 \pm 5	7,0 \pm 0,2 ч.	I	24,4 \pm 3,2г. ^{9/}	(3,0 \pm 0,3) $\cdot 10^{-5}$	4,8 \pm 1,0	-
	α_1	3305 \pm 5	6 \pm 1 ч.	(3 \pm 2) $\cdot 10^{-4}$	(8 \pm 6) $\cdot 10^{-4}$ лет	(9 \pm 6) $\cdot 10^{-9}$	770 \pm 580	-
	α_2	-	-	$\leq 3 \cdot 10^{-5}$	> $7 \cdot 10^5$ лет	$< 1 \cdot 10^{-9}$	> 120 ^{xx)}	$E_{\alpha} = 3000-3300$ кэВ
I54	α_0	2872 \pm 5	-	-	(7,3 \pm 4,4) $\cdot 10^6$ лет	-	5,4 \pm 3,4	-

* Интенсивность α_1 и α_2 указывается относительно α_0 того же изотопа
 ** Для α_2 - перехода на уровень 352 кэВ ^{149}Gd

Изотопы Tb

Таблица №2

A	α -группа	E_{α} кэВ	$T_{1/2}$	Интенсивность	T_{α}	Доля α -распада	коэфф. запрета	Примечание
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I49 ^m	α	-	-	-	> 6 дн.	$< 5 \cdot 10^{-4}$	> 60	$E_{\alpha} = 3970-4015$ кэВ
I49	α_0	3967 \pm 3	4,10 \pm 0,05 ч.	I	-	0,16	8,7 \pm 2,3	-
	α_1	3644 \pm 5	4,1 \pm 0,1 ч.	(3 \pm 1) $\cdot 10^{-4}$	9,4 \pm 3,7 года	(5 \pm 2) $\cdot 10^{-5}$	170 \pm 67	-
	α_2	-	-	$< 1 \cdot 10^{-6}$ $< 1,5 \cdot 10^{-5}$ $< 2,5 \cdot 10^{-6}$	$> 3 \cdot 10^{-3}$ лет > 230 лет > $1 \cdot 10^3$ лет	$< 1,5 \cdot 10^{-7}$ $< 2 \cdot 10^{-6}$ $< 4 \cdot 10^{-7}$	-	$E_{\alpha} = 2780-3100$ кэВ $E_{\alpha} = 3100-3270$ кэВ $E_{\alpha} = 3270-3640$ кэВ
I50	α_0	3492 \pm 5	3,15 \pm 0,20 ч.	-	94 \pm 70 лет	(3,9 \pm 3,0) $\cdot 10^{-6}$	124 \pm 92	-
	α_0	3409 \pm 5	18 \pm 2 ч.	I	34 \pm 24 года	(6,2 \pm 4,5) $\cdot 10^{-5}$	9,5 \pm 6,7	-
	α_1	3183 \pm 5	25.2 ^h ч.	(1,0 \pm 0,2) $\cdot 10^{-3}$	(3,4 \pm 2,5) $\cdot 10^4$ лет	(6,2 \pm 4,5) $\cdot 10^{-8}$	120 \pm 90	-
I51	α_2	-	-	$< 1,4 \cdot 10^{-4}$ $< 2,0 \cdot 10^{-4}$	$> 2,3 \cdot 10^5$ лет $> 1,2 \cdot 10^5$ лет	$< 0,9 \cdot 10^{-8}$ $< 1,0 \cdot 10^{-8}$	-	$E_{\alpha} = 2780-3100$ кэВ $E_{\alpha} = 3100-3180$ кэВ
I52	α_0	-	-	-	$> 4 \cdot 10^5$ лет $> 2 \cdot 10^5$ лет	$< 6 \cdot 10^{-9}$ $< 1 \cdot 10^{-8}$	-	$E_{\alpha} = 2780-3100$ кэВ $E_{\alpha} = 3100-3420$ кэВ
	α_0	-	-	-	$> 8,5 \cdot 10^5$ лет	$< 7,5 \cdot 10^{-9}$	-	$E_{\alpha} = 2780-3100$ кэВ

Изотоп	α-группа	E _α кэВ	Интенсивность	T _α	Доля α-распада	коэф. запрета	Примечание	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Gd	I48	α ₀ α ₁	3183±5	I ≤ 4·10 ⁻⁴ < 1·10 ⁻⁵	84±9 лет ≥ 2,2·10 ⁻⁵ лет > 9·10 ⁶ лет	I ≤ 4·10 ⁻⁴ < 1·10 ⁻⁵	1,2±0,2 - -	- E _α =2940-3170 кэВ E _α =2630-2940 кэВ
	I49	α ₀	3018±5	I	(5,7±4,0)10 ³ лет	(4,3±2,9)·10 ⁻⁶	2,6±1,8	-
		α ₁	-	≤ 2·10 ⁻² < 1·10 ⁻²	≥ 1,5·10 ⁵ лет > 7,5·10 ⁵ лет	≤ 1,7·10 ⁻⁷ < 3,3·10 ⁻⁸	- -	E _α =2940-3000 кэВ E _α =2630-2940 кэВ
I50	α ₀	-	-	> 5,6·10 ⁶ лет	I	> 1,3	E _α =2630-2940 кэВ	
Eu	I47	α ₀	2908±5	I	(6,2±5,0)·10 ³ лет	(1,1±0,8)·10 ⁻⁵	1,1±0,9	-
		α ₁	-	≤ 5·10 ⁻³	> 7,2·10 ⁵ лет	< 9,5·10 ⁻⁸	-	E _α =2630-2900 кэВ

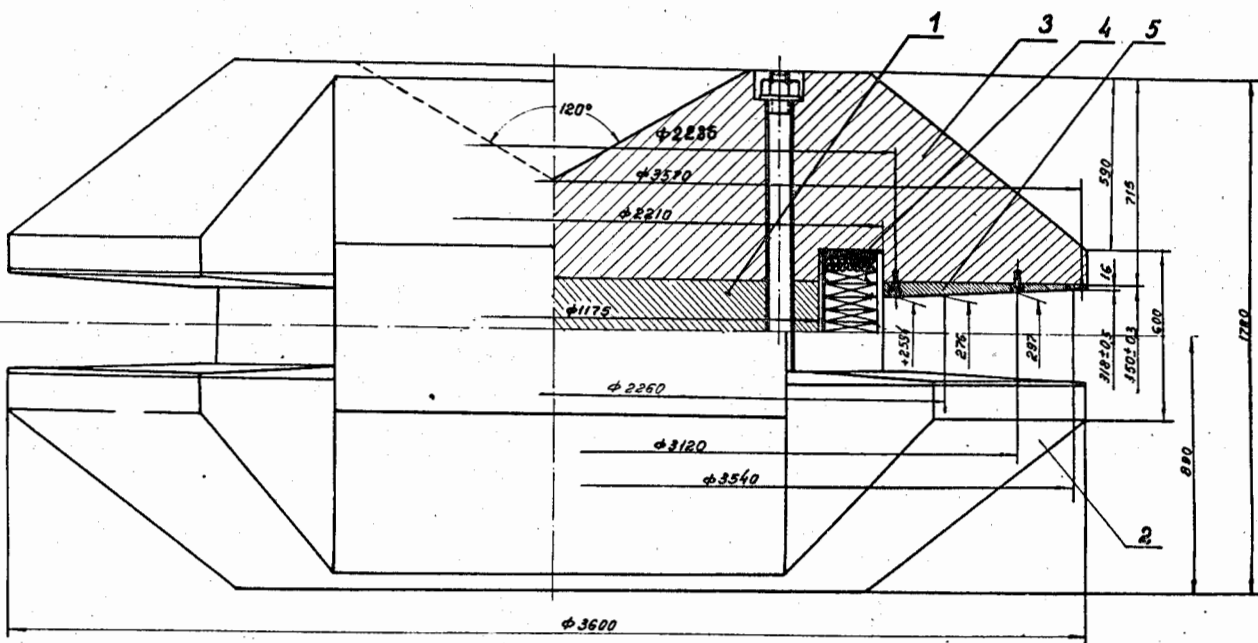


Рис. 1. Магнит альфа-спектрографа. 1- сердечник; 2 - нижняя "шляпа"; 3 - верхняя "шляпа"; 4 - обмотки возбуждения магнита; 5 - полюсная накладка.

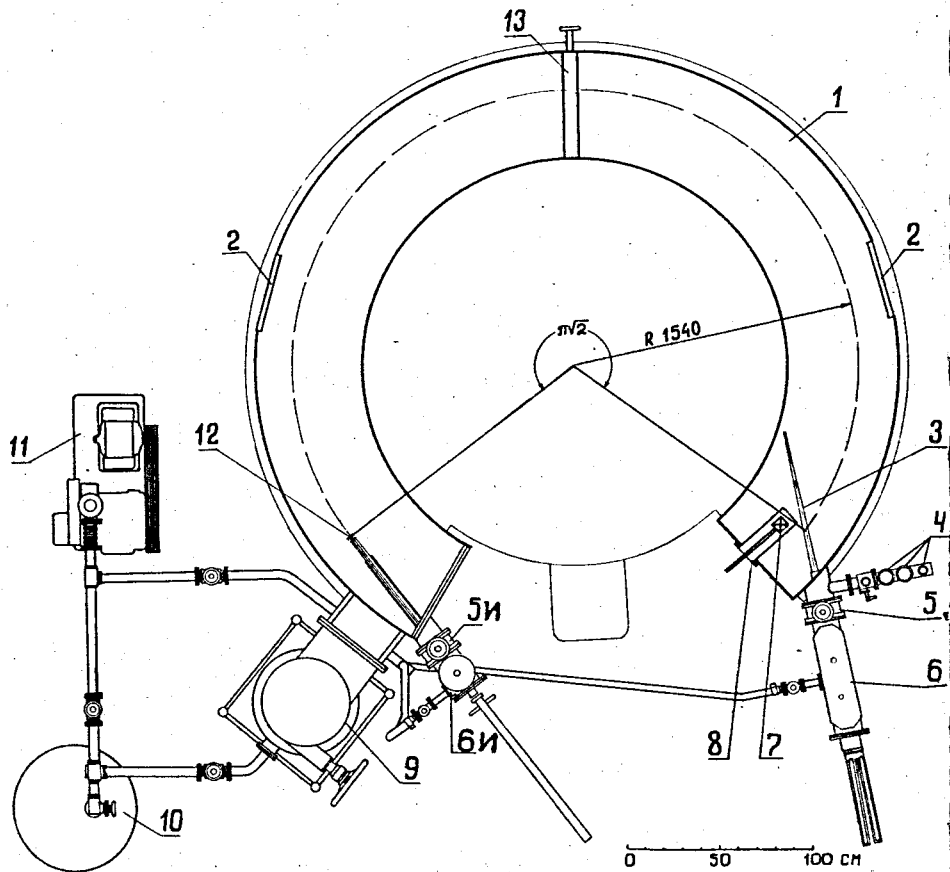


Рис. 2. Схема вакуумной системы спектрографа. 1 - камера; 2 - люки; 3 - фотокассета; 4 - манометрические лампы; 5 - шиберы; 6 - шлюзы; 7 - датчик магнитного поля; 8 - стакан; 9 - вакуумный агрегат ВА-5-4; 10 - балластный форвакуумный бак; 11 - форвакуумный насос ВН-1; 12 - источник; 13 - подвижная диафрагма.

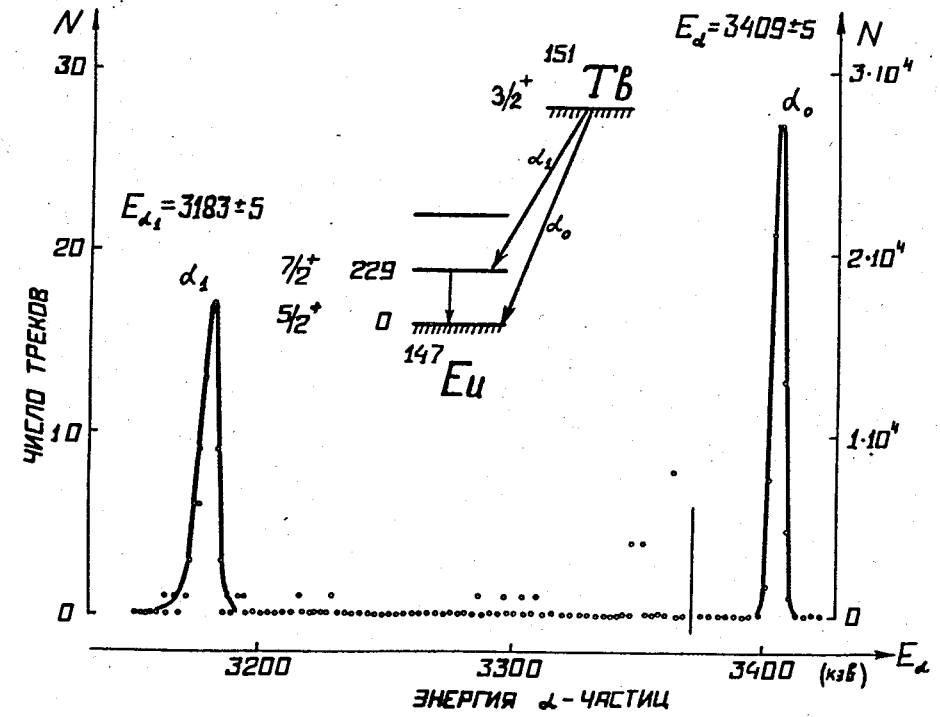


Рис. 3. Альфа-спектр и схема альфа-распада ¹⁵¹Tb.