

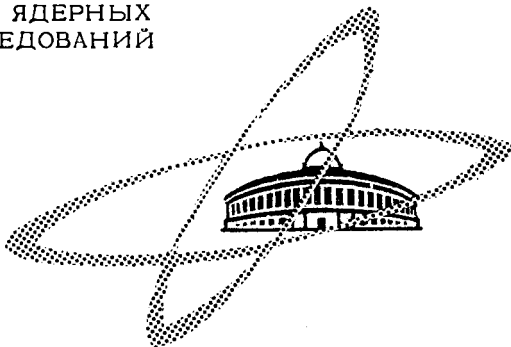
1716

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1716



И. Махунка, Т. Фенеш

ИССЛЕДОВАНИЕ  $\alpha$ -СПЕКТРА  
ИЗОТОПОВ Dy

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1964

P-1716

И. Махунка, Т. Фенеш

ИССЛЕДОВАНИЕ  $\alpha$ -СПЕКТРА  
ИЗОТОПОВ Dy

ОИЯИ  
БИБЛИОТЕКА

## А н н о т а ц и я

Изучен  $\alpha$ -спектр диспрозиевых изотопов, полученных при глубоком отщеплении Та протонами с энергией 660 Мэв. Измерения производились при помощи  $\alpha$ -спектрометра с полупроводниковым детектором.

Полученные результаты приведены в следующей таблице:

Ядро	Измеренный полный период полураспада $T$	Кинетическая энергия $\alpha$ -частиц $E_{\alpha}$ , Мэв	Относительная энергия $\alpha$ -частиц $\frac{E_{\alpha} Dy \dots}{E_{\alpha} Tb149}$	Парциальный период полураспада $T_{\alpha}$
Dy <sup>151</sup>	(17,7 $\pm$ 0,5) мин	4,051 $\pm$ 0,006	1,0256 $\pm$ 0,0004	(5,6 $\pm$ 50%) час
Dy <sup>152</sup>	(2,37 $\pm$ 0,02) час	3,608 $\pm$ 0,006	0,9135 $\pm$ 0,0005	(0,50 $\pm$ 40%) год
Dy <sup>153</sup>	(6,75 $\pm$ 0,15) час	3,451 $\pm$ 0,006	0,8738 $\pm$ 0,0007	-

$\alpha$ -парциальные периоды полураспада вычислялись из обнаруженных интенсивностей  $\alpha$ -линий с помощью относительных выходов  $\gamma$  и  $\alpha$  доли разветвления Dy<sup>153</sup> (3,0 $\pm$ 0,3) $\cdot 10^{-5}$  /7/

В интервале 3,10-3,37 Мэв проводились тщательные исследования для обнаружения возможной  $\alpha$ -линии тонкой структуры Dy<sup>153</sup>. Если такая линия существует, ее интенсивность в указанном интервале меньше, чем 0,25% интенсивности главной  $\alpha$ -линии Dy<sup>153</sup>.

## A b s t r a c t

The  $\alpha$ -spectrum of Dy isotopes produced by spallation of Ta with 660 MeV protons has been studied. The measurements were made by means of a semiconductor  $\alpha$ -spectrometer.

The results obtained are presented in the Table.

Nucleus	Measured total half-life	Kinetic energy of $\alpha$ -particles $E_{\alpha}$ , MeV	Relative energy of $\alpha$ -particles $\frac{E_{\alpha} Dy \dots}{E_{\alpha} Tb149}$	Partial half-life $T_{\alpha}$
Dy <sup>151</sup>	(17,7 $\pm$ 0,5) min	4,051 $\pm$ 0,006	1,0256 $\pm$ 0,0004	(5,6 $\pm$ 50%) h
Dy <sup>152</sup>	(2,37 $\pm$ 0,02) h	3,608 $\pm$ 0,006	0,9135 $\pm$ 0,0005	(0,50 $\pm$ 40%) y
Dy <sup>153</sup>	(6,75 $\pm$ 0,15) h	3,451 $\pm$ 0,006	0,8738 $\pm$ 0,0007	-

$\alpha$ -partial half-lives were calculated from the measured intensities of  $\alpha$ -lines with the aid of the relative yields  $\gamma$  and  $\alpha$ -branching ratio of Dy<sup>153</sup> (3,0 $\pm$ 0,3) $\cdot 10^{-5}$  /7/

In the 3.10 - 3.37 MeV energy interval thorough investigations were carried out to find a possible fine structure  $\alpha$ -line of Dy<sup>153</sup>. If such a line exists, its intensity in the mentioned interval is less than 0,25% of the intensity of the main Dy<sup>153</sup>  $\alpha$ -line.

## В в е д е н и е

Статьи /2,3,4,5,6,7/ сообщают об обнаружении  $\alpha$ -излучения  $Du^{150}$ ,  $Du^{151}$ ,  $Du^{152}$ ,  $Du^{153}$  и  $Du^{154}$ , об измерении энергий  $\alpha$ -частиц, полных и  $\alpha$ -парциальных периодов полураспада.

В настоящей работе дается отчет об исследовании  $\alpha$ -спектра диспрозиевых изотопов, полученных при глубоком отщеплении  $Ta$  протонами с энергией 680 Мэв. Цель исследования — более точное измерение энергий  $\alpha$ -частиц и времен полураспада и определение  $\alpha$ -парциальных периодов полураспада методом, отличным от предыдущих.

Точное измерение энергий производилось полупроводниковым спектрометром. Его разрешение 18 кэв (полуширина пика). Исходящие из источника интенсивное  $\beta^+$  и электронное излучения отклонялись мощным электромагнитом и, таким образом, мешающий фон был существенно меньше, чем при предыдущих измерениях с помощью ионизационной импульсной камеры.

Барановский и Мурин /1/ определили выходы изотопов  $Du$  в реакции глубокого отщепления на  $Ta$  при энергии 680 Мэв, что позволяло относительно точно определить  $\alpha$ -парциальные периоды полураспада из обнаруженных интенсивностей  $\alpha$ -линий и известной доли разветвления в  $Du^{153}$ .

Наконец, были произведены исследования для обнаружения возможной тонкой структуры  $\alpha$ -спектра  $Du^{153}$ .

## Экспериментальная установка и методика измерений

Ниже приводятся основные характеристики использованного нами полупроводникового  $\alpha$ -спектрометра.

В качестве детектора использовался полупроводниковый счетчик, изготовленный из кремния  $p$ -типа с удельным сопротивлением  $\geq 10^4$  ом·см. Эффективная площадь поверхности счетчика 5 мм<sup>2</sup>.  $n$ -слой на передней поверхности счетчика был изготовлен методом диффузии фосфора и имел толщину 0,2 мк. Спектрометр пригоден для анализа  $\alpha$ -частиц с энергией до 16 Мэв.

Предусилитель и главный усилитель - малощумящая система, чувствительная к заряду <sup>18/</sup>.

С помощью этой установки получена полуширина  $\alpha$ -пиков, равная 18 кэв, и разрешение 0,3% на главных  $\alpha$ -группах ThC (около 6 Мэв).

$\alpha$ -спектрометр был изготовлен в Институте ядерных исследований ВАН Дибречен, Венгрия.

Анализ импульсов по амплитудам производился с помощью 128-канального анализатора типа Y-5-2-R, МТА, КФКИ.

После каждого измерения  $\alpha$ -спектра производилась калибровка спектрометра с помощью сигналов от прецизионного импульсного генератора. В этом генераторе реле периодически прерывало напряжение, которое сравнивалось с нормальным элементом и поддерживалось строго постоянным. Сигналы подавались непосредственно на сетку первой лампы предусилителя и, таким образом, измерения практически не зависели от небольшой нестабильности и нелинейности аппаратуры.

Сигналы импульсного генератора калибровались по  $\alpha$ -частицам следующих ядер (см. табл. I).

Т а б л и ц а I  
Калибровочные источники

Идро	Кинетическая энергия $\alpha$ -частиц (Мэв)	Ссылки
Gd <sup>148</sup>	3,18 ± 0,01	/9/
Tb <sup>151</sup>	3,399±0,006	/10/
Tb <sup>149</sup>	3,950±0,008	/10/
Po <sup>210</sup>	5,30481±0,00062	/11/
ThC $\alpha_1$	6,05060±0,00066	/11/
ThC $\alpha_0$	6,08977±0,00066	/11/

В процессе измерений температура детектора поддерживалась постоянной. Колебания температуры не превышали  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Изменения температуры в помещении были не больше  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Давление воздуха в вакуумной камере было меньше  $5 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст.

Между источником и детектором создавалось сильное магнитное поле. Это затрудняло попадание на детектор вылетающих из источника электронов и позитронов и, таким образом, существенно понижался уровень шума.

В качестве источника была использована диспрозиевая фракция, т.е. сумма изотопов диспрозия, образующихся при облучении тантала протонами с энергией 660 Мэв на синхротриклотроне Объединенного института ядерных исследований. Редкоземельные элементы отделялись друг от друга хроматографическим методом. С целью точного определения энергий  $\alpha$  - частиц изотопов Dy, было добавлено к источнику небольшое количество фракции Tb.  $\alpha$  - спектр тербиевой фракции раньше уже детально исследовался нами <sup>/10/</sup>.

Диспрозий и тербий электролитически <sup>/12/</sup> наносились на тщательно отполированную платиновую пластинку диаметром 13 мм.

### Результаты измерений

Мы получили 23 спектра от двух различных источников Dy. Обе диспрозиевые фракции были получены глубоким отщеплением Ta протонами с энергией 660 Мэв. Время облучения первой мишени составляло 5 часов, а второй мишени - 50 минут.

Измерения начинались не раньше, чем через 3,5 часа после окончания облучения (столько времени понадобилось для химической очистки и изготовления источника). Нами прослеживался спад  $\alpha$ -активности Dy <sup>151</sup> в течение пяти периодов полураспада, Dy <sup>152</sup> - в течение семи периодов полураспада и Dy <sup>153</sup> - в течение четырех периодов полураспада.

Для того, чтобы измерить период полураспада отдельных пиков и избежать возможное расширение пиков из-за небольшой нестабильности системы, каждое измерение спектра длилось только два часа или, обычно, еще меньше. Затем производилась калибровка с помощью импульсного генератора.

Несколько характерных спектров приведены на рис. 1, 2.

Определение параметров прямой: величина импульса - энергия и определение начальной интенсивности  $I_0$  и периода полураспада  $T$ , принадлежащих кривым распада отдельных изотопов, производилось методом максимального правдоподобия с помощью электронной цифровой вычислительной машины.

Парциальный период полураспада для испускания  $\alpha$ -частиц рассчитывался следующим образом. Сначала с помощью формул Рудстама <sup>/13/</sup> и Барановского и Мурина <sup>/1/</sup> мы вычислили относительные коммулятивные выходы отдельных изотопов Dy, используя параметры, полученные Барановским и Муриным для глубокого отщепления тантала протонами подходящей энергии. Затем, используя известную величину  $\alpha$  доли разветвления Dy <sup>153</sup>  $(3,0 + 0,3) \cdot 10^{-5/7/}$  и интенсивности линий в моменты окончания облучений ( $I_0$ ), легко было получить  $\alpha$ -парциальные периоды полураспада отдельных изотопов Dy.

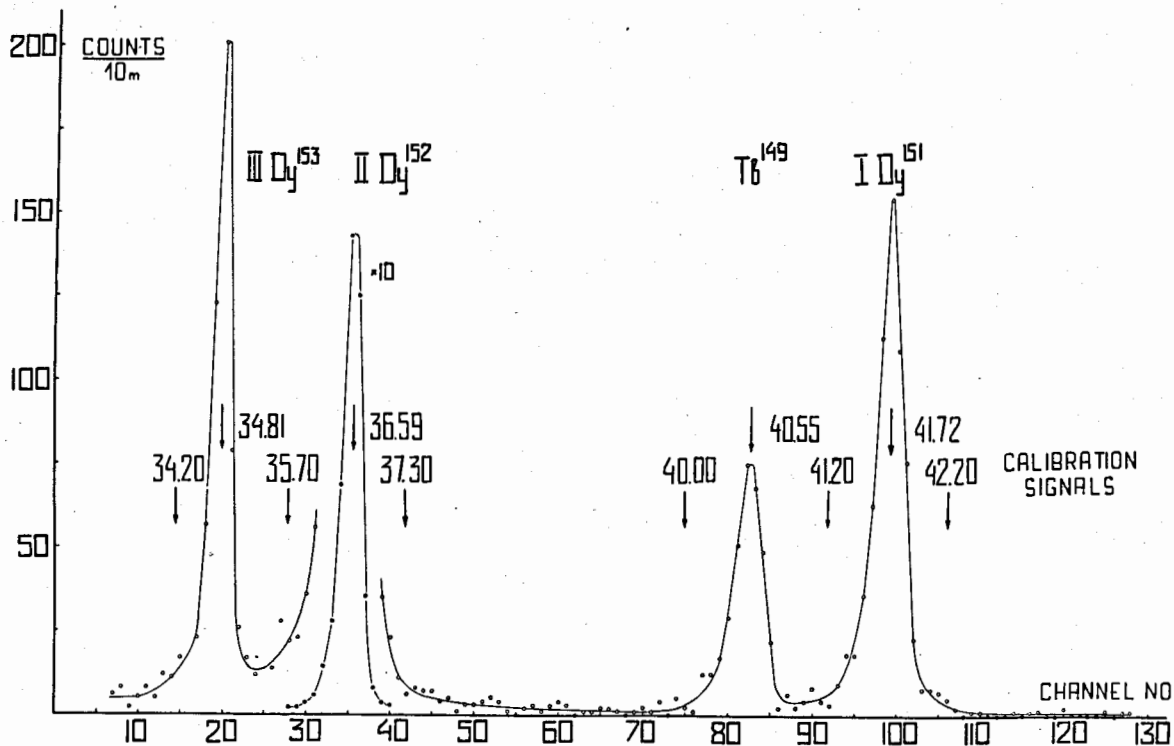


Рис. 1. а -спектр второго Dy источника. Спектр - результат 10-минутного анализа, начавшегося через 3,5 часа после окончания 50-минутного облучения танталовой мишени протонами с энергией 860 Мэв. Линия Tb<sup>149</sup> служит калибровочным пиком. Калибровочные сигналы взяты с прецизионного импульсного генератора.

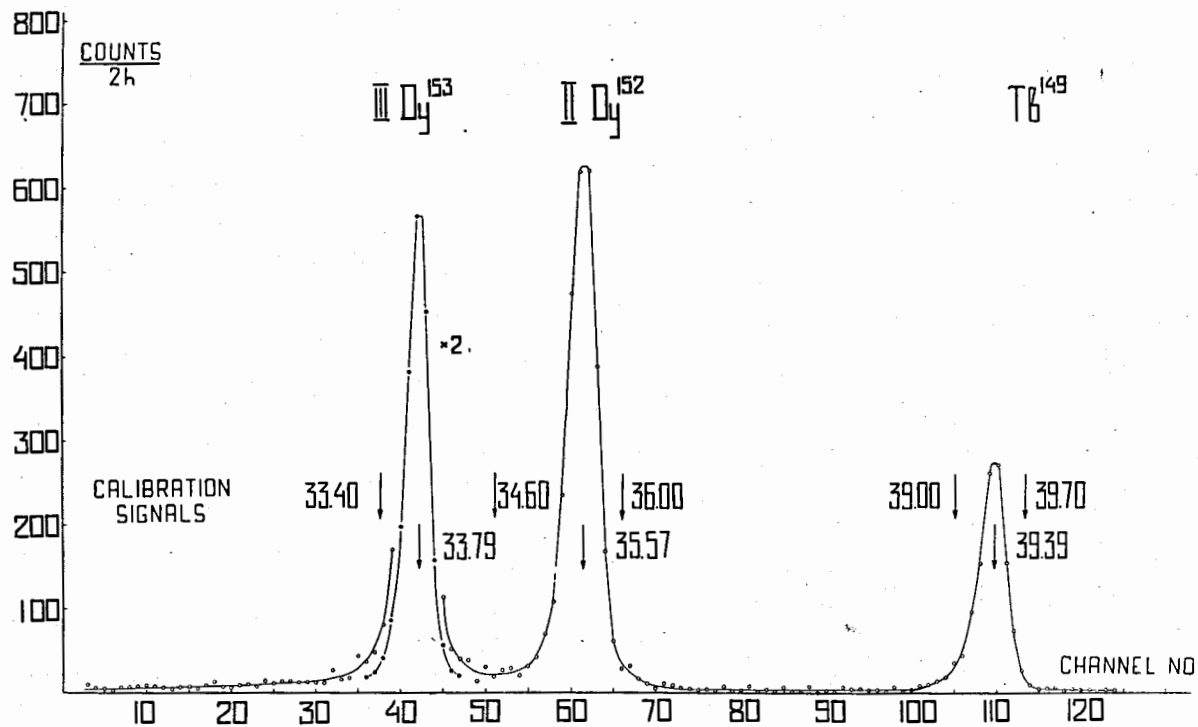


Рис. 2. а - спектр второго Dy источника. Спектр - результат 2-часового анализа, начавшегося через 17 часов после окончания 50-минутного облучения танталовой мишени протонами с энергией 660 Мэв. Tb<sup>149</sup> служит калибровочным пиком. Калибровочные сигналы взяты с прецизионного импульсного генератора.



Расчеты производились на основе следующей формулы:

$$T_{\alpha} = \frac{\sigma \cdot T_{153} I_{0\alpha} \{1 - \exp(-0,693 t \cdot T_{153}^{-1})\}}{\sigma_{153} T_{153} I_{0\alpha} \{1 - \exp(-0,693 t \cdot T_{153}^{-1})\}} T_{\alpha 153}$$

где  $T_{\alpha}$  - парциальный период полураспада,

$\sigma$  - поперечное сечение для образования данного изотопа,

$T$  - период полураспада,

$I_{0\alpha}$  - интенсивность  $\alpha$ -излучения данного изотопа в момент окончания облучения,

$t$  - время облучения,

(153) - значок обозначает, что указанная величина принадлежит  $Dy^{153}$ .

Полученные результаты приведены в таблице II.

Т а б л и ц а II  
Результаты измерений

№ пиков	Обнаруженный полный период полураспада $T$	Кинетическая энергия $\alpha$ -частиц ( $E_{\alpha}$ Мэв). В скобках - полная энергия $\alpha$ -распада ( $Q_{\alpha}$ Мэв)	Относительная энергия $\alpha$ -частиц $\frac{E_{\alpha} Dy}{E_{\alpha} Tb 149}$	Парциальный период полураспада $T_{\alpha}$	$\alpha$ - доля разветвления	Идентификация
I	17,7±0,5 мин	4,051±0,008 /4,184/	1,0256±0,0004	(5,6±50%) час	0,053±50%	$Dy^{151}$
II	2,37±0,02 час	3,608±0,008 /3,728/	0,9135±0,0005	(0,50±40%) год	$5,4 \cdot 10^{-4}$ ±40%	$Dy^{152}$
III	6,75±0,15 час	3,451±0,008 /3,568/	0,8738±0,0007	-	-	$Dy^{153}$

Было тщательно исследовано, появляется ли в спектре линия возможной  $\alpha$ -линии тонкой структуры  $Dy^{153}$ . На основе рис. 2 и подобного спектра первого диспрозиевого источника сделан вывод о том, что если в интервале энергии 3,10-3,37 Мэв такая линия существует, то интенсивность ее меньше, чем 0,25% интенсивности главной  $\alpha$ -линии  $Dy^{153}$ .

Появления  $\alpha$ -линии с энергией 3,35±0,05 Мэв и периодом полураспада (13±2) час отмеченной в /3/ не было обнаружено ни в одном источнике  $Dy$ . Точнее, если вообще существует такое излучение, то в момент окончания облучения отношения интенсивностей пиков должны быть следующими:

$$\frac{I_{0\alpha 3,35}}{I_{0\alpha \text{Dy}^{153}}} < 10^{-3}$$

при первом источнике (5 часовое облучение) в интервале энергий 3,10-3,37 Мэв;

$$\frac{I_{0\alpha 3,35}}{I_{0\alpha \text{Dy}^{153}}} < 4 \cdot 10^{-3}$$

при втором источнике (50 минутное облучение) в интервале энергий 3,10 - 3,42 Мэв.

### Обсуждение результатов

Обнаруженные пики I, II, III (см. рисунки) принадлежат изотопам Dy. Это подтверждается тем, что, во-первых, эти пики обнаружены в диспрозиевой фракции, к которой мы добавили только небольшое количество фракции Tb с целью калибровки. Во-вторых, мы исследовали  $\alpha$ -спектр чистой тербиевой фракции и отдельно фракцию Ho. В этих источниках количество Tb было, по крайней мере, на порядок, а количество Ho приблизительно на два порядка величины больше, чем во фракциях Dy, но линии I, II, III не усиливались: они были более слабыми или вообще не появились. Итак, упомянутые линии не могут принадлежать изотопам Ho и Tb.

На основе систематики энергий  $\alpha$ -распада можно ожидать, что пики I, II, III принадлежат таким изотопам Dy, в которых число нейтронов последовательно увеличивается.

Полученные данные находятся в согласии с результатами работ<sup>/2,3,14/</sup>, где линии с соответствующей энергией и периодом полураспада идентифицировались следующим образом: Dy<sup>151</sup> (I), Dy<sup>152</sup> (II) и Dy<sup>153</sup> (III).

Из сравнения данных таблиц II и III видно, что результаты настоящей работы совпадают (в пределах ошибок) с результатами других авторов. Небольшие расхождения наблюдаются только с данными работы<sup>/7/</sup> при сравнении энергий  $\alpha$ -частиц Dy<sup>152</sup> и Dy<sup>153</sup>.

Из данных таблицы II следует, что полученные энергии  $\alpha$ -частиц Dy<sup>151</sup>, Dy<sup>152</sup>, Dy<sup>153</sup> и период полураспада Dy<sup>152</sup> имеют ошибки меньшие, чем при предыдущих измерениях.

В таблице II в отдельной колонке приведены энергии  $\alpha$ -частиц диспрозиевых изотопов относительно энергии  $\alpha$ -частиц Tb<sup>149</sup>. Если энергия  $\alpha$ -частиц Tb<sup>149</sup> (период полураспада 4,1 ч) будет определена точнее, можно будет также

Т а б л и ц а III

Данные  $\alpha$ -распада  $Dy^{151}$ ,  $Dy^{152}$ ,  $Dy^{153}$  и  $Dy^{154}$  на основе измерений других авторов

	Время полураспада <sup>x)</sup>	Энергия $\alpha$ -частиц $E_{\alpha}$ , Мэв	Парциальный период полураспада $T_{\alpha}$
$Dy^{151}$	18,0±0,2 м /7/	4,06±0,04 /2/ 4,06±0,02 /7/	5,4±0,2 час /5/ (5,1±10%) час /7/
	$Dy^{152}$		
$Dy^{152}$	2,3±0,1 ч /7/	3,61±0,08 /2/	≈ 1,45 г /15/
	2,3±0,2 ч /2/	3,66±0,05 /3/	
	2,6±0,3 ч /18/	3,65±0,02 /7/	(0,52±20%) г /7/
$Dy^{153}$	6,4±0,2 ч /7/	3,48±0,05 /3/ 3,48±0,02 /7/	20±1 лет /5/ ≈ 13,4 лет /15/ (24,3±10%) лет /7/
	$Dy^{154}$		
$Dy^{154}$	10 лет /6/ (13±2) ч /3/	2,85±0,05 /6/ (3,35±0,05) /3/	1,10 <sup>6</sup> лет /6/ (с точностью с множ.3)

уменьшить ошибки  $\alpha$ -энергий диспрозиевых изотопов. Полученные нами  $\alpha$ -парциальные периоды полураспада  $Dy^{151}$  и  $Dy^{152}$  хорошо совпадают с результатами других авторов.

На рис. 3 изображена зависимость энергий  $\alpha$ -распада от массового номера ядра для известных  $\alpha$ -излучателей Tb, Dy и Ho.

В спектре диспрозиевой фракции обнаружена  $\alpha$ -группа с энергией 2,89 Мэв. Это излучение, вероятно, принадлежит  $Dy^{154}$  /6/. Исследование  $\alpha$ -спектра  $Dy^{154}$  в деталях мы опубликуем позже.

Авторы выражают глубокую благодарность К.Я.Громову, руководителю отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ и профессору А.Салак, директору Института ядерных исследований Венгерской Академии Наук, за поддержку работы и за ценные дискуссии, В.А.Халкину, Н.А.Лебедеву и другим сотрудникам радиохимического отдела ЛЯП ОИЯИ за выделение фракции Dy, М.Махунка за помощь при измерениях и Е.Рупп за вычисление параметров методом максимального правдоподобия.

x) Дальнейшие данные см. в /17/ и /18/.

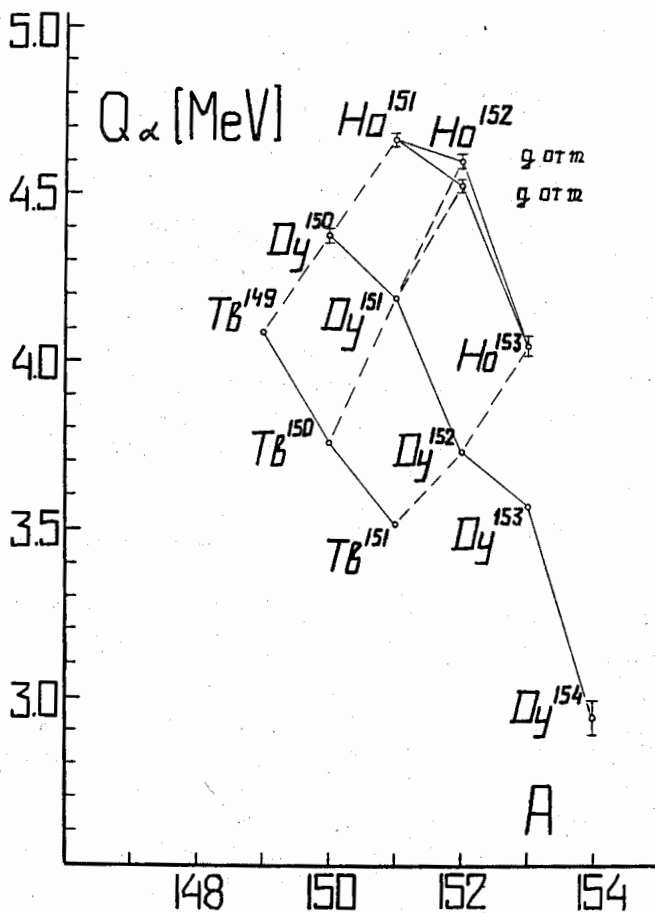


Рис. 3. Зависимость энергии  $\alpha$ -распада ( $Q_\alpha$ ) от массового числа (A).

$Q_\alpha$  - содержит энергию  $\alpha$ -частиц, энергию ядра отдачи и коррекцию на экранирование электронной оболочки. Данные о тербиевых изотопах взяты из работ /10/, о Dy<sup>150</sup> - из /7/, о Dy<sup>154</sup> - из /6/, о гольмиевых изотопах - из /19/ и данные о Dy<sup>151</sup>, Dy<sup>152</sup>, Dy<sup>153</sup> - результаты настоящей работы. Ошибки в оценке энергий тербиевых изотопов, Dy<sup>151</sup>, Dy<sup>152</sup> и Dy<sup>153</sup> меньше, чем размеры кружков.

## Л и т е р а т у р а

1. В.И.Барановский, А.Н.Мурин. Изв. АН СССР, сер. физ. XXV, 882 (1961),  
В.И.Барановский, А.Н.Мурин, В.К.Преображенский, Радиохимия, IV, 470 (1962).
2. J.O.Rasmussen, S.G.Thompson, A.Ghiorso Phys. Rev., 89, 33 (1953).
3. K.S.Toth, J.O.Rasmussen, Phys. Rev., 109, 121 (1953).
4. J.Olkowsky, M.le Pape, I.Gratot, L.Cohen, J.Phys. Rad., 20, No. 5, 549 (1959).
5. R.D.Macfarlane, UCRL-9566 (1961), Chemistry division, annual report, 1960, p.46.
6. R.D.Macfarlane, J.Inorg. Nucl. Chem., 19, 9 (1961).
7. R.D.Macfarlane, D.W.Seegmiller, Nucl. Phys., 53, 449 (1964).
8. I.Nahunka, T.Lakatos, T.Fényes, Atomki Közlemények V., 65, (1963).
9. A.Siivola, Ann. Acad. Sci. Fennicae, Ser. A., VI. Physica, No. 109, 1 (1962).
10. К.Я.Громов, И.Махунка, М.Махунка, Т.Фенеш, Изв. АН СССР (в печати).  
Препринт ОИЯИ Р-1687, Дубна (1964).
11. A.Rytz, Helv. Phys. Acta., 34, 240 (1961).
12. А.Ф.Новгородов, В.Л.Кочетков, Н.А.Лебедев, В.А.Халкин, Радиохимия 6, № 1,  
73, (1964).
13. Gösta Rüdström, Spallation of Medium Weight Elements, Uppsala, Appelbergs Boktrickery AB, 1956.
14. K.S.Toth, J.O.Rasmussen, J.Inorg. Nucl. Chem., 10, 198 (1959).
15. K.S.Toth, J.O.Rasmussen, Nucl. Phys., 16, 474 (1960).
16. Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, В. Звольска, И.Звольский, И.Адам, В.А.Халкин,  
Материалы III Совещания по нейтронодефицитным изотопам, Дубна I, 206 (1960).
17. И.Звольский, Исследования радиоактивного распада изотопов  $^{160}\text{Dy}$ ,  $^{157}\text{Dy}$ ,  $^{155}\text{Dy}$   
 $^{153}\text{Dy}$  и  $^{152}\text{Dy}$ , кандидатская диссертация, Дубна, 1964.
18. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекер, В.О.Сергеев, Схемы распада радиоактивных ядер  
 $A \geq 100$ , , Изд. АН СССР, Москва, Ленинград, 1963.
19. R.D.Macfarlane, R.D.Griffioen, Phys. Rev., 130, 1491 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел

16 июня 1964 г.