

1148

13
587



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

И. Брандштетер, И. Звара, Т. Зварова, В. Кюблех, М. Крживанек,
Я. Малы, Су Хун-гуй

P-1148

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДОВ
НЕКОТОРЫХ ОСКОЛКОВ
ПРИ ДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР
МНОГОЗАРЯДНЫМИ ИОНАМИ.

2. ДЕЛЕНИЕ U^{238} ИОНАМИ Ne^{22}

Радиохимия, 1964, т. 6, в. 4, с. 479-484.

И. Брандштетт, И. Звара, Т. Зварова, В. Киоблох, М. Крживанек,
Я. Малы, Су Хун-гуй

P-1148

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДОВ
НЕКОТОРЫХ ОСКОЛКОВ
ПРИ ДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР
МНОГОЗАРЯДНЫМИ ИОНАМИ.
2. ДЕЛЕНИЕ U^{238} ИОНАМИ Ne^{22}

Дубна 1962 год

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1751/3

А н н о т а ц и я

Определены выходы продуктов деления при облучении U^{238} ионами Ne^{22} в области массовых чисел от 72 до 179 и построена кривая распределения заряда. Среди изотопов Tu был найден новый изотоп Tu^{173} с периодом полураспада $7,8 \pm 0,5$ час и $E_\gamma 0,40 \pm 0,02$ Мэв.

I.Brandstetr, M.Krivanek, J.Maly,
I.Zvara, T.S.Zvarova, Shu Hung-guei

YIELDS OF SOME FRAGMENTS IN BOMBARDMENT OF HEAVY NUCLEI WITH MULTICHARGED IONS II. FISSION OF U^{238} BY Ne^{22} IONS

Abstract

The yields of the fission products in irradiating U^{238} with Ne^{22} ions were determined in the region of the mass numbers from 72 up to 179, and the curve of the charge distribution was plotted. A new isotope of Tu^{173} with the half-life $7.8 + 0.5$ and the gamma line with the energy $E = 0,40 \pm 0.02$ MeV was found among the Tu isotopes.

Важными продуктами реакций тяжелых ядер с многозарядными ионами являются транс-урановые элементы с высоким Z . В большинстве случаев составное ядро, образующееся при слиянии бомбардирующей частицы с ядром мишени, делится. Деление сопровождается испусканием большого числа нейтронов и, возможно, заряженных частиц. Кривая зависимости выходов продуктов деления от массового числа имеет одnogорбый вид ^{/1,2/} и большую полуширину. Определению выходов продуктов деления при облучении мишеней с $Z \geq 90$ многозарядными ионами были посвящены только три работы: изучалось деление U^{238} ионами C^{13} ^{/1/}, U^{238} ионами N^{14} ^{/2/} и Th^{232} ионами O^{18} и Ne^{22} ^{/3/}. В первых двух работах определялись выходы продуктов деления только в средней части кривой, в последней работе - только выходы редкоземельных элементов. Из формы кривых видно, что с ростом массового числа делящегося ядра увеличиваются выходы в области тяжелых осколков.

В настоящей работе были определены делительные выходы некоторых изотопов в области массовых чисел от 72 до 179. Большое внимание уделялось определению выходов тяжелых редкоземельных элементов.

Экспериментальная часть

Облучение:

Мишень из металлического урана размером $10 \times 20 \text{ мм}^2$ и толщиной 30 мг/см^2 облучалась ионами Ne^{22} на внутреннем пучке циклотрона многозарядных ионов ОИЯИ. В некоторых случаях применялась мишень в виде слоя U, O_2 , нанесенного на толстую медную охлаждаемую подложку, расположенную под острым углом к пучку ^{/4/}. При облучении урановых фольг ток ионов (Ne^{22}) ⁴⁺ был около 1 мка, при облучении наклонной мишени с U, O_2 он достигал нескольких десятков мка. Максимальная энергия ионов равнялась 145-150 Мэв. Продолжительность облучения была от 1,5 до 8 часов.

Химическая обработка

Во всех случаях кроме осколков деления выделялись также тяжелые актинидные элементы - Cf, Fm, Mv ^{/5,6/}. Поэтому методики выделения продуктов деления были приспособлены для этой цели.

Редкоземельные элементы выделялись по методике, приведенной в работе ^{/3/}. Для улучшения очистки после осаждения фторидов редкоземельные элементы (РЗЭ) пересаживались в виде оксалатов и разделялись на колонке со смолой Дауэкс-50x12 12 мк лактатом аммония. Для определения химического выхода при растворении мишени вместе с носителем $LaCl_3$ добавлялось известное количество Am^{3+} .

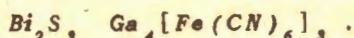
Цирконий выделялся из фильтрата после отделения редкоземельных элементов и очищался двукратным осаждением фторцирконата бария и миндалята Zr .

Палладий из фильтрата после осаждения фторидов РЗЭ осаждался PdI_2 , и после растворения Pd дважды осаждался диметилглиоксимом. После растворения в царской водке раствор делился на две части. В первой – повторялось осаждение диметилглиоксимата Pd и измерялась активность осадка, во второй – определялся Pd^{112} по дочернему Ag^{112} .

Иод и бром отделялись от остальных осколков отгонкой и экстракцией. Иод от брома отделялся отгонкой в присутствии нитрита. После очистки осаждался AgI и $AgBr$.

Теллур. Фильтрат после отделения РЗЭ выпаривался два раза с концентр. HBr почти досуха, осаждался $Fe(OH)_3$, и теллур выделялся двукратным восстановлением до металла сернистым газом.

Галлий. После экстракции эфиром осаждался бензоиноксимом Mo потом



Рутений. После выделения фторидов и добавления H_2SO_4 и KIO_4 в токе воздуха отгонялся RuO_4 , с последующим поглощением в $5N HCl$ и восстанавливался магнием до металла.

Измерение

Выделенные изотопы были идентифицированы по периодам полураспада. В некоторых случаях определялись также γ -спектры и энергия β -излучения. β -активность препаратов измерялась на торцовом счетчике МСТ-17, γ -спектры снимались при помощи скинтилляционного спектрометра с кристаллом NaI 30x20 мм и стоканального анализатора импульсов. Расчет сечений образования отдельных радиоизотопов производился с учетом геометрии, поправок на самопоглощение, поглощение в слое воздуха, в окошке счетчика и на отражение от подложки. Точность определения сечений лежит в пределах $\pm 30\%$, в некоторых случаях ошибка могла достигать 50%.

Результаты и обсуждения

При облучении U^{238} ионами Ne^{22} образуется составное ядро 102^{260} . При энергии налетающей частицы 8,5 Мэв на нуклон, при которой мы работали, вероятность захвата только части налетающего ядра не будет превышать 10–15%^{/7/}. Составное ядро легко делится, так как по данным Тарантина^{/6/}, отношение вероятности деления к вероятности испускания нейтронов в одном акте (Gf/Gm) для ядер с $Z > 100$ – 10. Поэтому при облучении U^{238} ионами Ne^{22} , в основном, делится ядро 102^{260} или 102^{259} . Энергия возбуждения делящегося ядра, которая в нашем случае достигает 80 Мэв, приводит к увеличению числа нуклонов (нейтронов), испускаемых при делении. К тому же делящееся ядро является нейтронодефицитным. Поэтому наиболее вероятный заряд Z_p осколков с данным массовым числом не будет, по-видимому, очень отличаться от наиболее стабильного ядра Z_A , т.е. стабильные изотопы возникают со значительным независимым выходом; возможно даже образование ядер с недостатком нейтронов. Для определения кумулятивных выходов из экспериментальных данных необходимо знать количество испускаемых нейтронов и функцию распределения заряда при делении^{/3/}. Количество вылетающих нейтронов определялось

приблизительно путем сравнения выходов изотопов Y^{93} , $Zr^{96,97}$, $Ru^{103,105}$, Br^{83} и $Ga^{72,73}$ с выходами изотопов лантанидов в предположении, что кривая выходов симметрична. Кроме того, проводилась оценка этой величины по известной энергии возбуждения ^{/3/}. При начальной энергии ионов Ne^{22} 145-150 Мэв среднее число вылетающих нейтронов, рассчитанное таким способом, составляет ~ 12 . Зависимость распределения заряда при делении выражается статистической функцией

$$P = \frac{1}{\sqrt{\pi c}} \cdot e^{-\frac{(z - z_p)^2}{c}}$$

Константа C в вышеприведенной формуле была определена приблизительно по выходам пар изобар Ce^{143} / Pr^{143} , Nd^{149} / Pm^{149} , Sm^{156} / Eu^{156} , Dy^{166} / Ho^{166} .

Методом последовательных приближений с использованием выходов всех экранированных ядер значение этой константы было уточнено и она оказалась равной 2,1 (рис. 1). Наиболее вероятный заряд рассчитывался согласно гипотезам одинакового смещения заряда ^{/9,10/} и пропорционального распределения заряда ^{/11/}; значения Z_A брались из работы Кориелла ^{/12/}. Лучшее согласие было достигнуто при применении гипотезы одинакового смещения заряда в предположении, что испускается 12 нейтронов. Разность $Z_A - Z_p$ составляет 0,5-1,5.

Из экспериментальных выходов были затем рассчитаны кумулятивные выходы для каждого массового числа. Полученные величины выходов продуктов деления приведены в таблице 1 и на рис. 2. Было идентифицировано 49 изотопов с массовыми числами от 72 до 179. Благодаря большой интенсивности пучка ионов Ne^{22} при облучении и четкому разделению РЗЭ (рис. 3) мы могли определить выходы деления изотопов всех редкоземельных элементов. Так же как и в первой работе ^{/3/} были обнаружены только два изотопа тербия: Tb^{162} с более высоким и Tb^{163} с более низким выходами, чем это следует из кривой выходов.

Во фракциях Tu , Er и Ho было доказано присутствие β^+ активных изотопов. Из нейтронодефицитных изотопов удалось идентифицировать Tu^{167} .

Среди изотопов Tu был найден новый β^- излучатель с периодом полураспада $T=7,8 \pm 0,5$ часов и энергией γ -излучения $0,40 \pm 0,02$ Мэв (возможной 0,48 Мэв) (рис. 4). Исходя из величины выхода, мы предполагаем, что это, вероятно, Tu^{173} . Это предположение хорошо согласуется с недавно опубликованными данными о получении этой активности японскими учеными ^{/15/} предположительно при реакции $Yb^{174}(\gamma, p) Tu^{173}$ (химическая идентификация не проводилась).

Рассчитанное из приведенной кривой среднее сечение деления в пределах энергии частицы от 150 Мэв до 105 Мэв (кулоновский барьер) составляет приблизительно 2 барна.

Из сравнения кривых выходов продуктов деления U^{238} ионами Ne^{22} , нейтронами деления ^{/14/} и U^{238} α -частицами с энергией 32,8 Мэв ^{/13/} (рис. 2) видно, что кривая выходов продуктов деления U^{238} ионами Ne^{22} намного шире и максимум находится около массы 124. Это находится в согласии с оценкой испускания 12 нейтронов при делении. Видно также, что при делении из состояния с высокой энергией возбуждения увеличивается как вероятность симметричного деления, так и вероятность очень несимметричного деления.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность Г.Н.Флерову за интерес к работе, Н.И.Тарантину за обсуждение результатов, Ван Тун-сэну и группе обслуживания циклотрона за помощь при проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. F.Brown, M.R.Price, H.H.Willis, J.Inorg. Nuclear Chem. 3, 9 (1956).
2. Н.И.Тарантин, Ю.В.Герлит, Л.И.Гусева, Б.Ф.Мясоедов, К.В.Филиппова, Г.Н.Флеров. ЖЭТФ, 34, 316 (1958).
3. И.Брандштетр, Ван Тун-сен, В.Ермаков, И.Звара, Т.Зварова, В.Кноблах, М.Крживанек, Я.Малы, Су Хун-гуй. Препринт ОИЯИ 1015 Дубна 1962 .
4. В.А.Друин, И.Брандштетр, Я.Малы. Препринт ОИЯИ, P-875
5. Г.Беранова, И.Брандштетр, В.Друин, В.Ермаков, Т.Зварова, М.Крживанек, Я.Малы, С.Поликанов, Су Хун/гуй. Препринт ОИЯИ P-866. Дубна 1961.
6. И.Брандштетр, В.В.Волков, В.А.Ермаков, Т.С.Зварова, М.Крживанек, Я.Малы, Су Хун-гуй. Препринт ОИЯИ 990 Дубна 1961.
7. H.C.Britt, A.R.Quinton, Phys. Rev. 124, 877 (1961).
8. Н.И.Тарантин. ЖЭТФ, 38, 250 (1960).
9. L.E.Glendenin, C.D.Coryell, R.R.Edwards, Radiochemical Studies. The Fission Products N.N.E.S. div IV, 449 (1951).
10. A.C.Pappas, Proc. Intern. Conf. of the Peaceful Uses of Atomic Energy 7, 19 (1956).
11. R.H.Goeckerman, I.Perlman, Phys. Rev. 76, 628 (1949).
12. C.D.Coryell, Amer. Rev. Nucl. Sci. vol. 2, 305, (1953).
13. R.Vandenbosch, T.D.Thomas, S.E.Vandenbosch, R.A.Glass, G.T.Seaborg Phys. Rev. III, 1358 (1958).
14. R.N.Keller, E.P.Steinberg, L.E.Glendenin, Phys. Rev. 94, 969 (1954).
15. Tokihoro Kuroyanagi, Haruo Yuta, Kasuke Takahashi, Haruhiko Morinaga I.Phys. Soc. Japan 16, 2393 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
13 декабря 1962 года.

Т а б л и ц а 1

Изотоп	изотопа М барн	цепочки кумулятивное (М барны)	Изотоп	изотопа М барн	цепочки кумулятивное (М барны)
Ga ⁷²	0,35	0,6	Pm ¹⁴⁹	10,2 ¹	42
Ga ⁷³	0,50	1,2	Pm ¹⁵⁰	11,5 ¹	35
Br ⁸³	7	14	Pm ¹⁵¹	21	32
Y ⁹⁰	4,5 ¹	19	Sm ¹⁵³	23	32
Y ⁹²	22	29	Sm ¹⁵⁶	5,7	18
Y ⁹³	17,5	27	Eu ¹⁵⁶	13, ¹	24
Zr ⁹⁸	25	32	Eu ¹⁵⁷	13	20
Zr ⁹⁷	30	33	Gd ¹⁵⁹	13	19
Ru ¹⁰³	36,5	50	Tb ¹⁶¹	18	23
Ru ¹⁰⁶	30	52	Tb ¹⁶³	0,8	2,2
Rd ¹⁰⁹	47	52	Dy ¹⁶⁸	3,5	7,8
Pd ¹¹²	42	68	Dy ¹⁶⁶	4,3	10
Te ¹²⁷	27 ¹	70	Ho ¹⁶⁶	3,2	8,8
Te ¹³²	12	60	Ho ¹⁶⁷	4,6	8,1
I ¹³³	32	71	Er ¹⁶⁹	2,9	4,2
I ¹³⁵	15	71	Er ¹⁷¹	2,0	4,5
La ¹⁴⁰	21,5 ¹	55	Er ¹⁷²	0,65	2,6
La ¹⁴¹	32	55	Tu ¹⁶⁷	1,0 ¹	8,3
Ce ¹⁴³	35	52	Tu ¹⁷³	1,15 ¹	3,2
Pr ¹⁴²	12,3 ¹	50,5	Tu ¹⁷³	0,97	2,2
Pr ¹⁴³	13,8 ¹	50	Yb ¹⁷⁸	0,91	1,6
Pr ¹⁴⁵	30	40	Yb ¹⁷⁷	0,17 ¹	1,0
Nd ¹⁴⁷	35	43	Lu ¹⁷⁷	1,2	1,8
Nd ¹⁴⁹	18	32	Lu ¹⁷⁹	0,23	0,6
Pm ¹⁴⁸	11,3 ¹	40,5			

¹ Независимый выход.

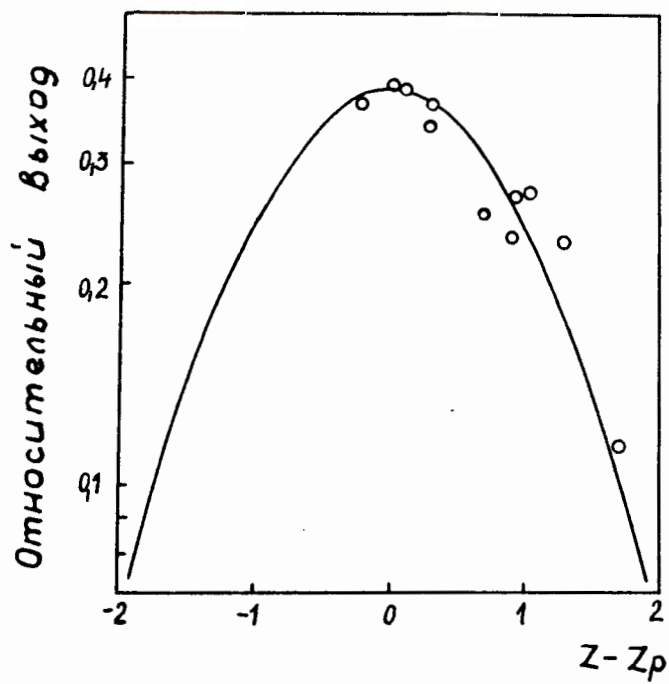


Рис. 1. Распределение осколков по заряду при делении U^{238} ионами Ne^{22} .

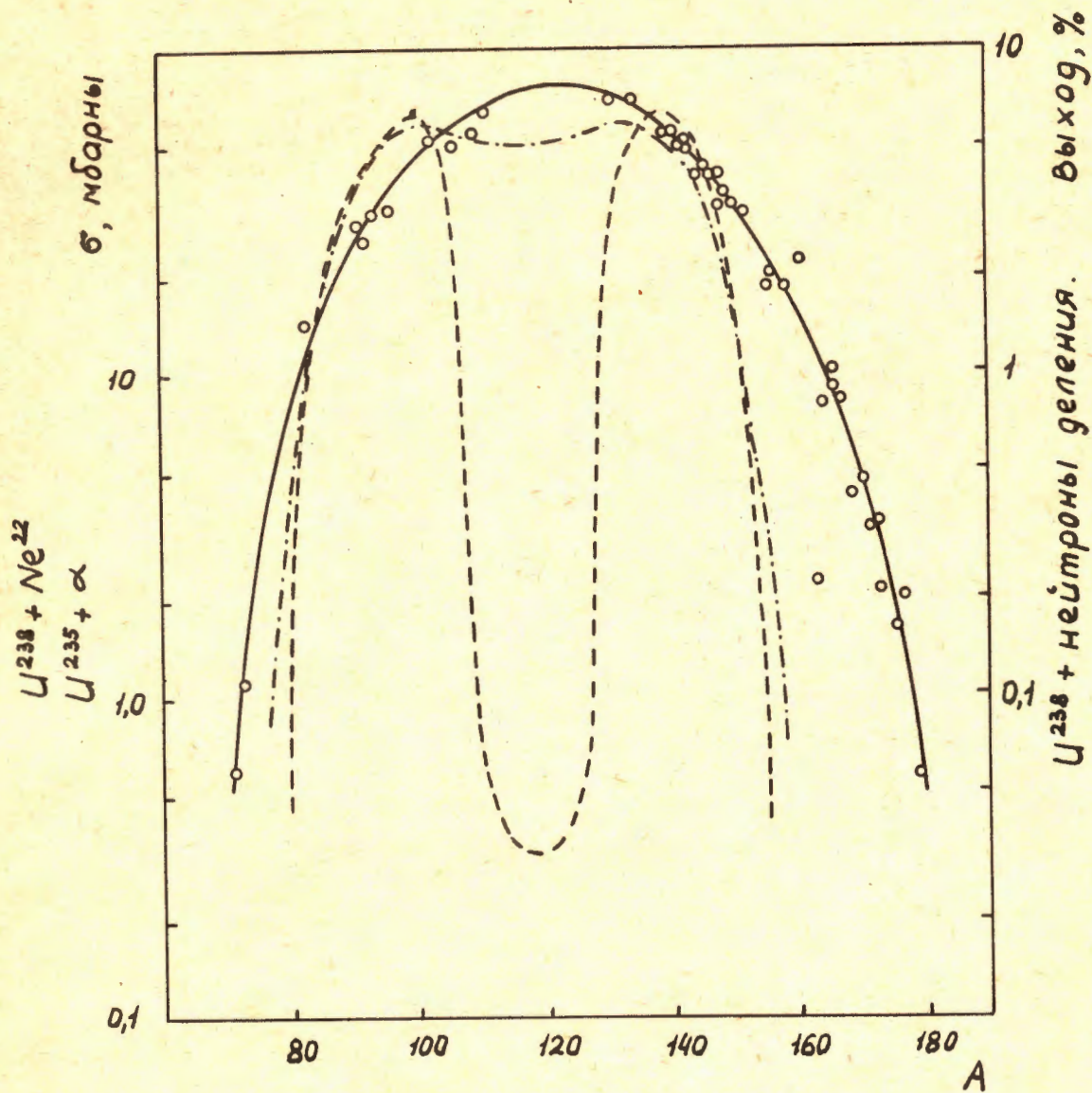


Рис. 2. Выходы продуктов деления при облучении U^{238} ионами Ne^{22}
 — $U^{238} + Ne^{22}$, — · — · — $U^{238} + \alpha$ (32,8 Мэв) /13/ ,
 --- $U^{238} + \text{нейтроны деления}$ /14/ .

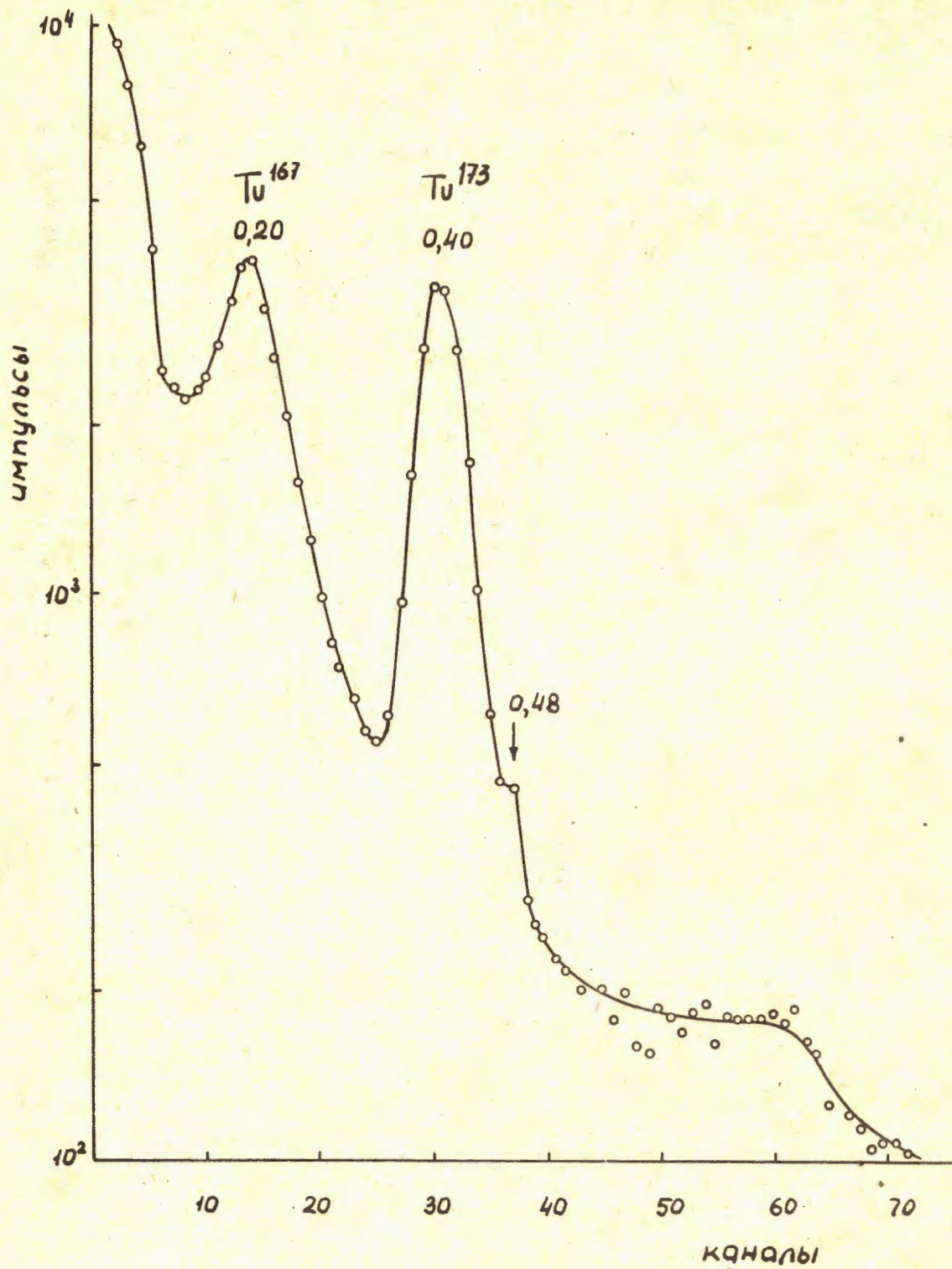


Рис. 4. γ -спектр фракции Tu спустя 7 часов после окончания облучения.

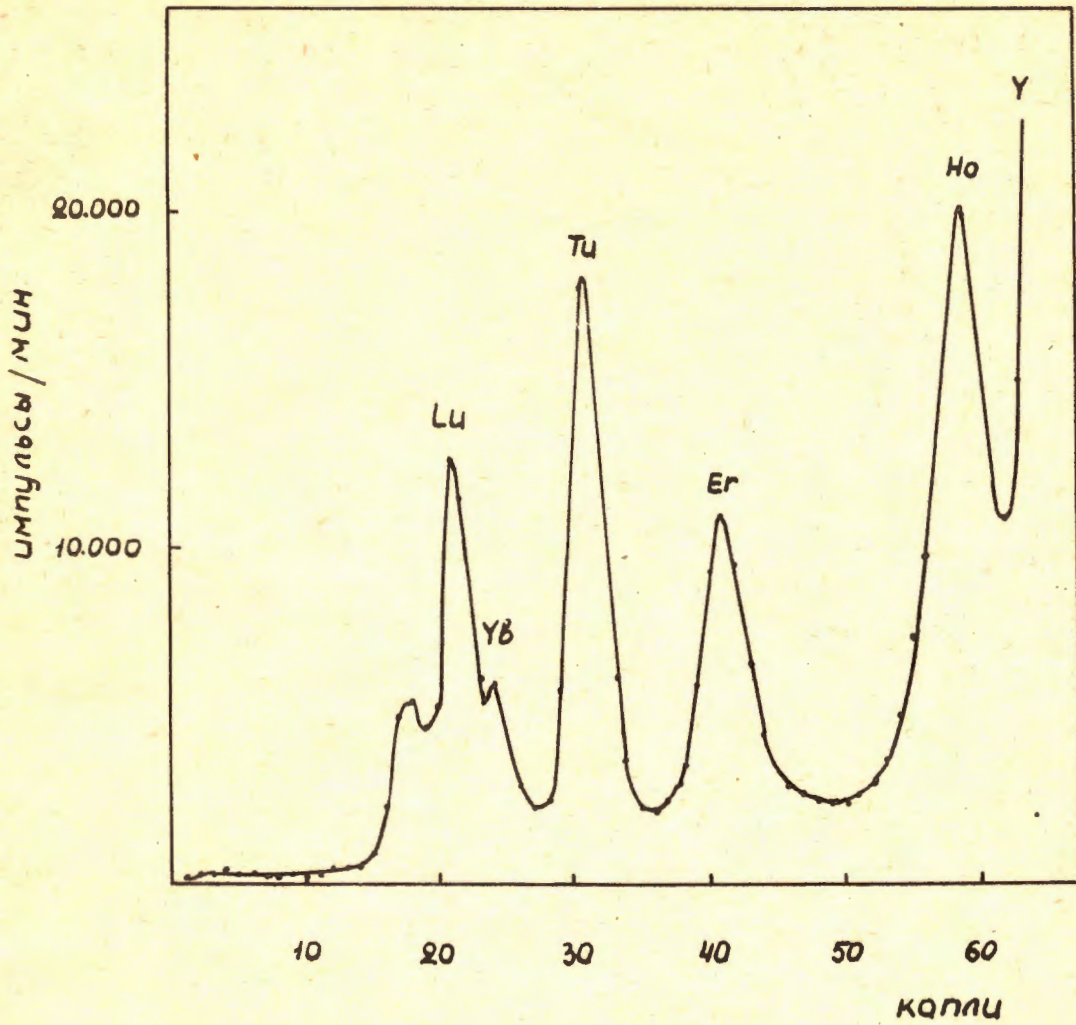


Рис. 3. Хроматографическое разделение тяжелых редкоземельных элементов лактатом аммония при 87°C . Колонка 2×90 мм, смола дауэкс-50 \times 12, размер смолы в среднем 12 мк.