

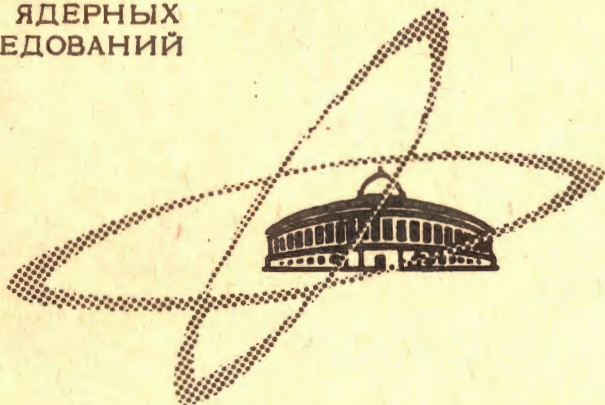
С 341.2Г

Д-306

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Nucl. Phys., 1968, v. A106, 30/v
N2, c. 337-349



P - 2907

А.Г. Демин, И. Махунка, В.Г. Субботин,
Л. Трон, Т. Фенеш

НОВЫЕ ИЗОТОПЫ РТУТИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

P - 2807

4491 / 1 ир-

А.Г. Демин, И. Махунка, В.Г. Субботин,
Л. Трон, Т. Фенеш

НОВЫЕ ИЗОТОПЫ РТУТИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Введение

Целью настоящей работы являлось изучение α -распада нейтронодефицитных изотопов ртути. Исходя из полуэмпирических формул для масс ядер и систематик энергий связи, можно легко показать, что в области элементов с атомным номером $77 \leq Z \leq 82$ с уменьшением числа нейтронов α -распад становится превалирующим типом распада. Это обстоятельство облегчает возможность обнаружения, идентификации и установления основных характеристик нейтронодефицитных изотопов в этой области.

К настоящему времени для получения сильнонейтронодефицитных ядер существуют два метода:

- а) бомбардировка тяжелых мишеней легкими частицами (p , d , α , и т.д.) с большой энергией и анализ продуктов реакций глубокого отщепления;
- б) бомбардировка соответствующих мишеней ускоренными тяжелыми ионами с образованием искомым продуктов в реакциях полного слияния.

В настоящей работе изучались α -спектры продуктов реакций $Yb^{170} + Ne^{20}$, $Sm^{147} + Ar^{40}$ и $Tm^{169} + Ne^{22}$.

К началу измерений были известны лишь две короткоживущие α -активности ($T = 3$ м и $T = 53$ с), которые были приписаны ртути^{/1,2,3/}. Метод, использованный в настоящей работе, обеспечивал возможность исследования α -активностей с периодом полураспада свыше 0,1 сек.

II. Методика измерений

Опыты проводились на внутреннем пучке 310 см циклотрона Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ с использованием экспериментальной установки, описание которой дано в работе Акапьева и др.^{/4/}. Схема опыта показана на рис. 1. Собираание продуктов ядерных реакций осуществлялось методом адсорбции из газовой струи^{/5/}. Выбитые из

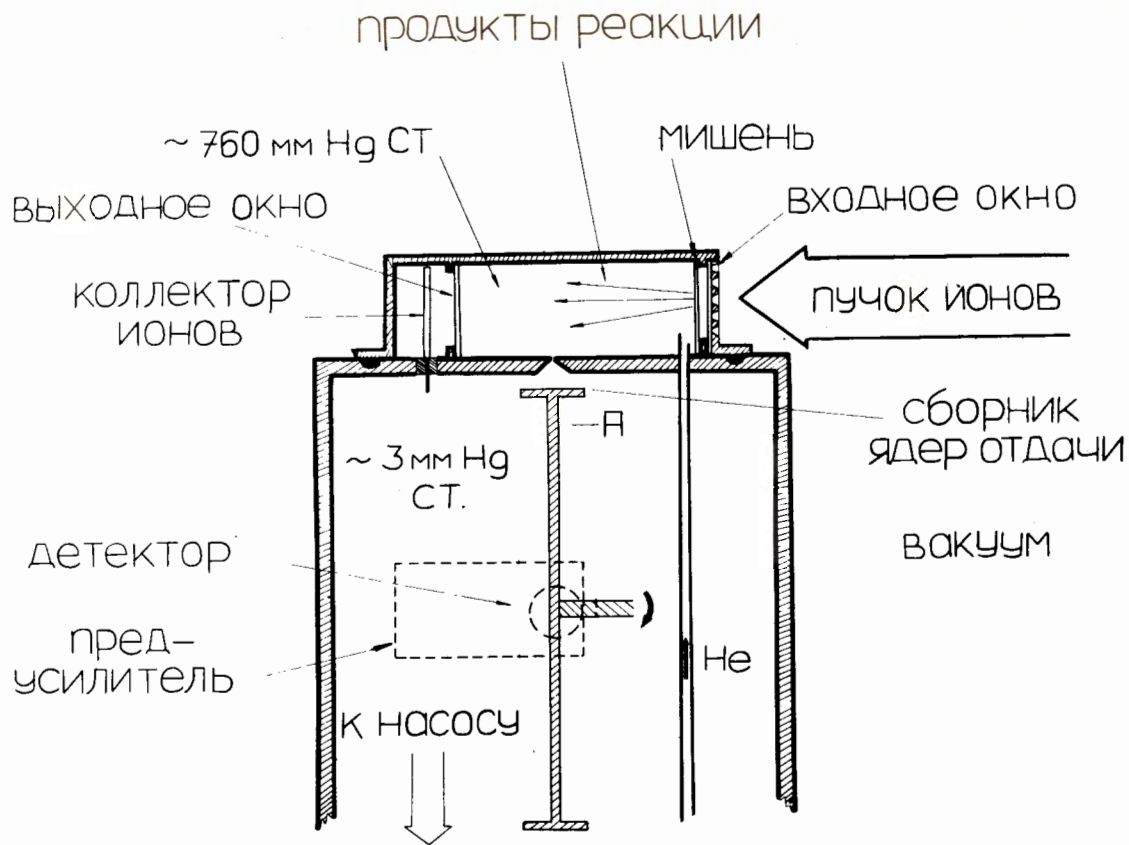


Рис. 1. Схема эксперимента.

мишени ядра отдачи тормозились в гелии при атмосферном давлении и выносились струей газа на сборник ядер отдачи, который с помощью мотора быстро ($\approx 0,1$ сек) поворачивался на 90° и располагался перед поверхностно-барьерным кремниевым детектором α -частиц. После предусилителя, расположенного в непосредственной близости от детектора, импульсы через длинный кабель поступали на усилитель. Задание времен облучения и измерения, управление работой ускорителя и блокировка фоновых импульсов осуществлялись так же, как и в работе Акапьева и др., но в данном случае анализ импульсов проводился на анализаторе АИ-256. Обычно 256 амплитудных каналов анализатора разбивались на 4 временных группы по 64 канала. Суммарное время работы этих 4 групп было близко к тому времени облучения, которое устанавливалось в соответствии с периодами полураспада наблюдаемых активностей.

Калибровка α -спектрометра проводилась с помощью источника $\text{Th}(C + C')$. Контроль за стабильностью аппаратуры осуществлялся путем регистрации импульсов от генератора точной амплитуды, которые периодически подавались на вход предусилителя.

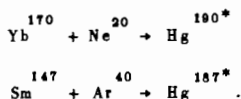
Относительная величина числа бомбардирующих тяжелых ионов определялась путем интегрирования тока ионов с учетом изменения эффективного заряда ионов в зависимости от их энергии ^{/6/}.

Энергия бомбардирующих ионов изменялась путем передвижения пробника с мишенью вдоль радиуса циклотрона.

Мишени изготавливались следующим образом. Окись редкоземельных элементов была превращена прежде всего в нитрат. Полученный кристаллический нитрат растворялся в этиловом спирте, а затем добавлялось небольшое количество раствора цапонлака. Затем смесь наносили тонким слоем на алюминиевую фольгу толщиной 7 мк. После просыхания заготовка прокаливалась при температуре в несколько сот градусов $^{\circ}\text{C}$. Нитрат редкоземельного элемента превращался в окись и цапонлак удалялся из мишени. Процедура повторялась до тех пор, пока не была получена необходимая толщина мишени.

III. Экспериментальные результаты

Выбор мишеней и бомбардирующих частиц для исследования изотопов ртути обеспечивал последовательное получение все более нейтрондефицитных изотопов, начиная с известного α -излучателя $\text{Hg}^{185,186}$. Наиболее подходящими оказались следующие реакции:



Использовались обогащенные изотопы иттербия и самария, имеющие следующий изотопный состав (см. таблицу 1):

Т а б л и ц а 1

Изотопный состав мишеней (по паспорту Всесоюзного объединения "Изотоп")

Yb		Sm	
Yb - I68	0,1%	Sm - I44	0,1%
Yb - I70	80,4%	Sm - I47	94,7%
Yb - I71	10,0%	Sm - I48	3,5%
Yb - I72	4,4%	Sm - I49	0,8%
Yb - I73	2,0%	Sm - I50	0,3%
Yb - I74	2,6%	Sm - I52	0,4%
Yb - I76	0,6%	Sm - I54	0,2%

Химические загрязнения в случае иттербия: Er-0,01%, Lu-0,1%, Cu-0,001%, Fe-0,01%; в случае самария: Ce, Pr, Nd, Eu, Gd, Dy составляли в сумме 1% веса.

Мишень из Yb_2O_3 имела толщину $1,2 \text{ мг/см}^2$, а мишень из Sm_2O_3 - $1,8 \text{ мг/см}^2$.

α - спектры, полученные при энергии бомбардирующих ионов Ne^{20} 175 и 138 Мэв, показаны на рис. 2, а при энергии ионов Ar 251 Мэв на рис. 4. Энергии и периоды распада обнаруженных α - групп приведены в таблице II.

Функции возбуждения соответствующих реакций показаны на рисунках 3 (Yb + Ne) и 5 (Sm + Ar). Энергии возбуждения ($E_{\text{возб}}$) составного ядра определялась по формуле $E_{\text{возб}} = E_{\text{б}} - E_{\text{отд}} - Q$, где $E_{\text{б}}$ - энергия бомбардирующих тяжелых ионов, $E_{\text{отд}}$ - кинетическая энергия составного ядра, Q - энергия реакции, рассчитанная из табличных значений масс ядер, принимающих участие в реакции /7,8,9,10/. Ордината на рис. 3,5,7 показывает величину $\text{const} \times J_{0\alpha}$, где $J_{0\alpha}$ - интенсивность α - группы в конце облучения, нормированная на единицу времени, ток бомбардирующих ионов и распад во время облучения. Для каждой отдельной реакции эта величина пропорциональна произведению эффективного поперечного сечения реакции на относительную интенсивность ветви α -распада образующегося изотопа.

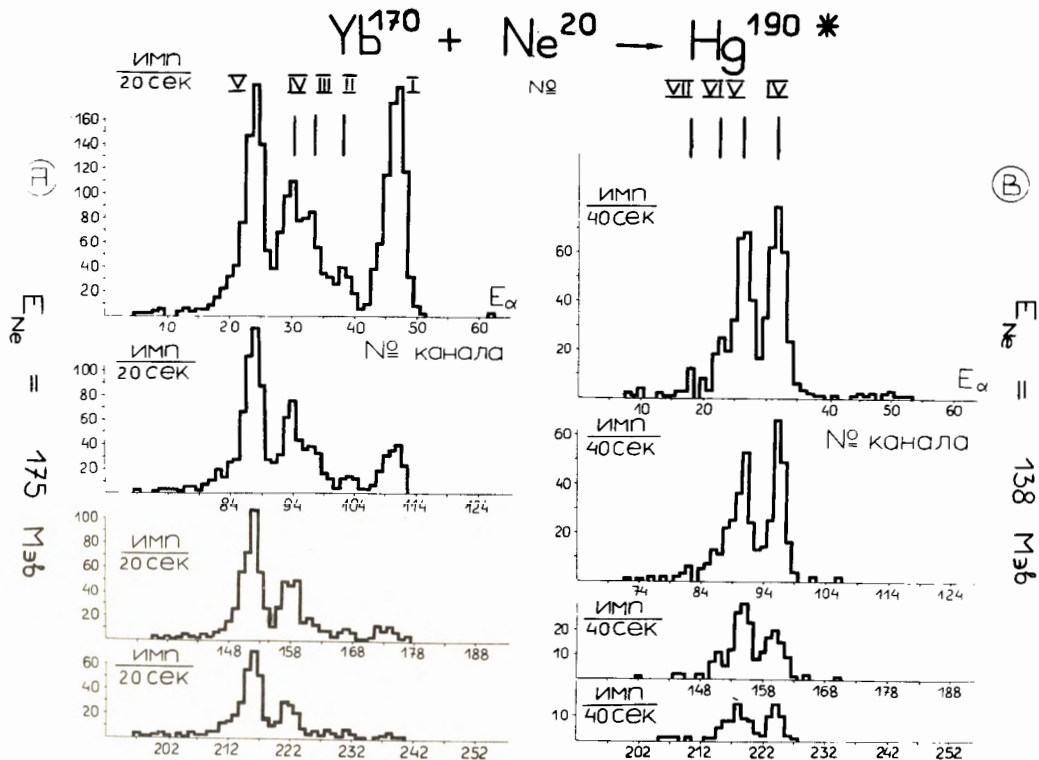


Рис. 2. а - спектр продуктов реакции $Yb^{170} + Ne^{20}$.
 Анализ начался через 1,5 сек после окончания облучения и продолжался в течение
 четырех равных временных интервалов. А - энергия бомбардирующих ионов равна
 175 МэВ; В - энергия бомбардирующих ионов равна 138 МэВ.

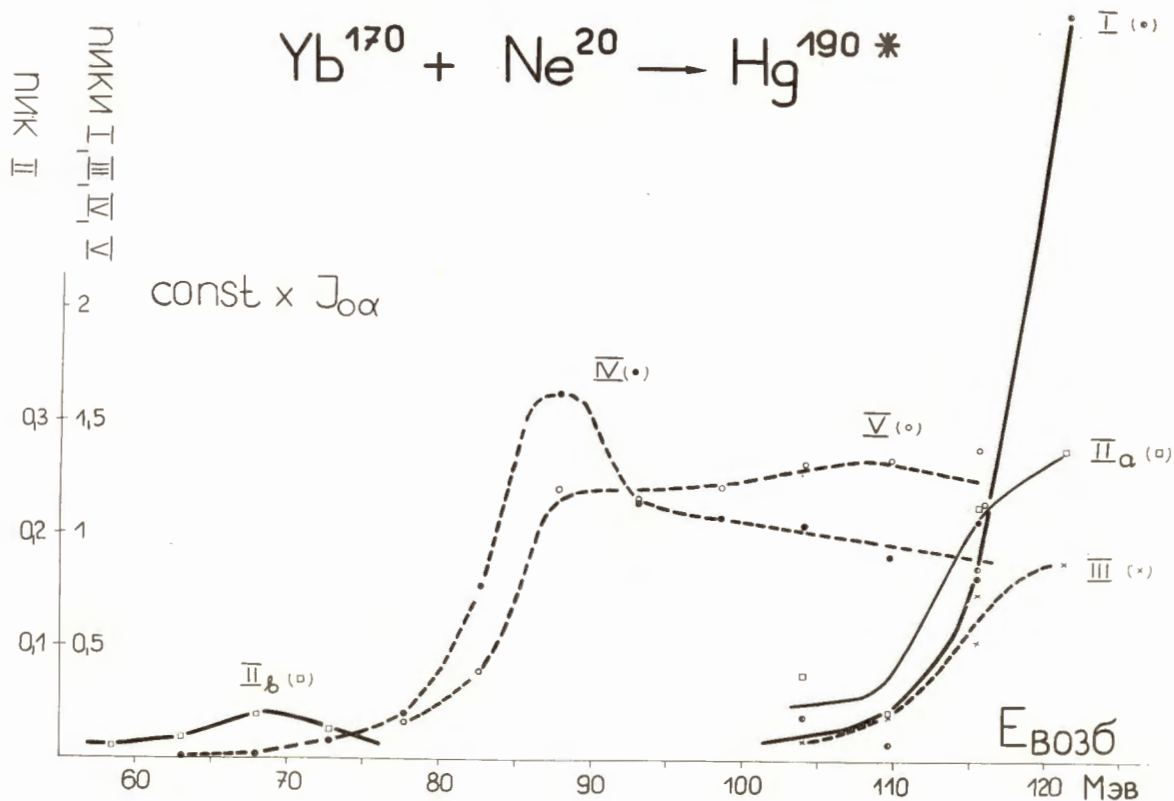


Рис. 3. Функции возбуждения реакций $\text{Yb}^{170} + \text{Ne}^{20}$. Римскими цифрами обозначены α -группы, обнаруженные в спектре продуктов реакций. Абсцисса показывает энергию возбуждения ($E_{\text{возб}}$) составного ядра Hg^{190} , а ордината - $\text{const} \times J_{0\alpha}$, где $J_{0\alpha}$ - интенсивность α -группы в конце облучения, нормированная на единицу времени, ток бомбардирующих ионов и распад во время облучения.

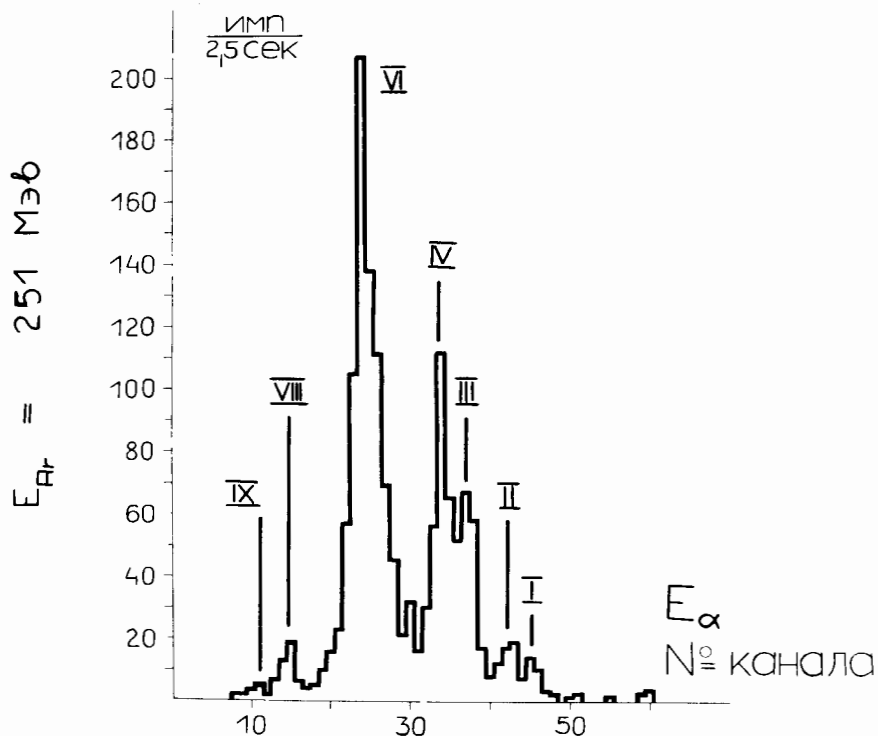
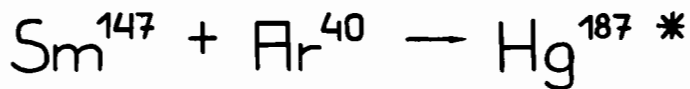


Рис. 4. α - спектр продуктов реакций $\text{Sm}^{147} + \text{Ar}^{40}$.
 Анализ начался через 0,1 сек после окончания облучения. Энергия бомбардирующих ионов ~ 251 Мэв.

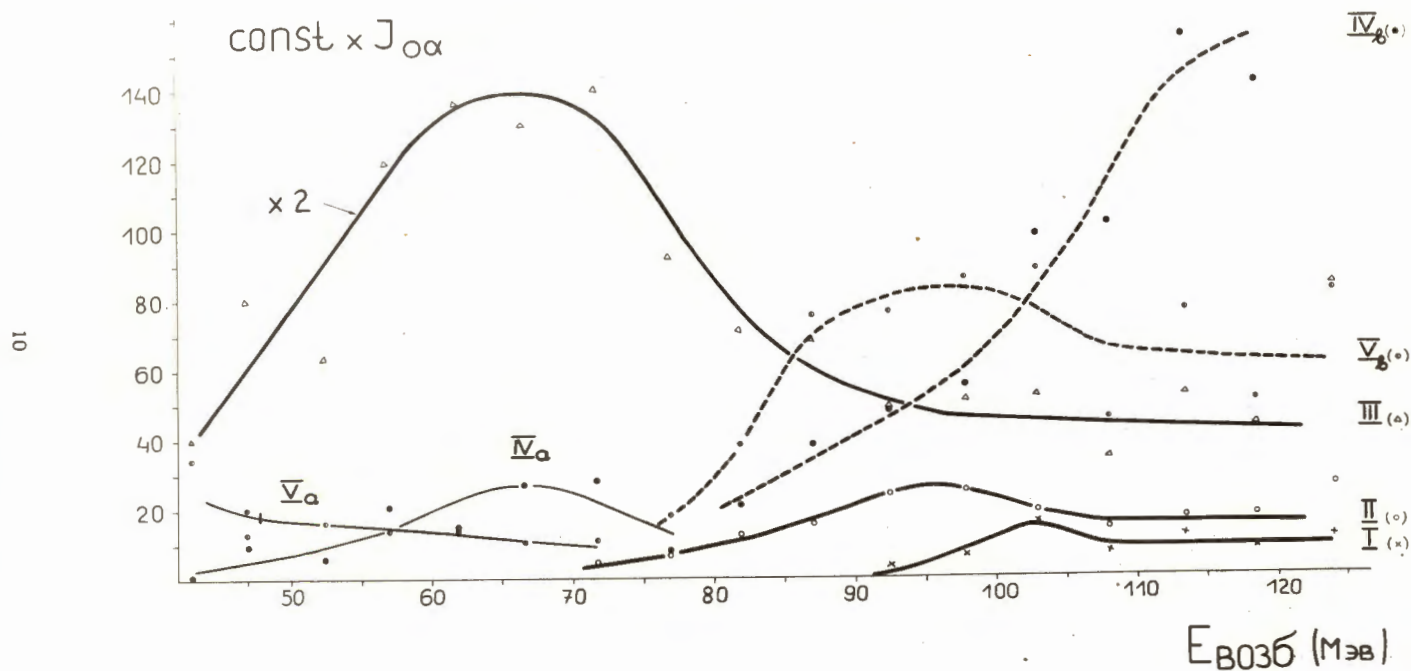
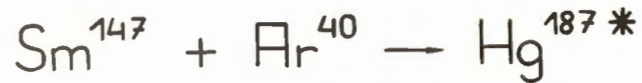


Рис. 5. Функция возбуждения реакции $\text{Sm}^{147} + \text{Ar}^{40}$.
Обозначения см. рис. 3.

Изучались также некоторые α -излучатели золота. С этой целью мишень из Tm_2O_3 толщиной $1,1 \text{ мг/см}^2$ бомбардировалась ионами неона-22. α -спектры, измеренные при энергии ионов 153 Мэв и 128 Мэв, показаны на рис. 6.

Энергии и периоды полураспада обнаруженных α -групп приведены в таблице II, а функции возбуждения соответствующих реакций показаны на рис. 7.

IV. Обсуждение результатов

Группы А и В α -излучатели с такими характеристиками неизвестны у элементов легче Вi. Наиболее сходными характеристиками обладают известные изотопы:

$$\begin{aligned} Au^{177} & (E_{\alpha} = 6,11 \text{ Мэв}, T = 1,4 \text{ сек}^{/12/}), \\ Au^{178} & (E_{\alpha} = 5,91 \text{ Мэв}, T = 2,7 \text{ сек}^{/12/}) \text{ и} \\ Pt^{178} & (E_{\alpha} = 5,94 \pm 0,02 \text{ Мэв}, T = 2,3 \pm 0,5 \text{ сек}^{/11/}). \end{aligned}$$

Однако такая идентификация α -групп А и В маловероятна уже из-за существенного различия в периодах полураспада. Из анализа функций возбуждения также следует невозможность отождествления α -групп А и В с Au^{177} , Au^{178} или Pt^{178} .

Анализ функций возбуждения с целью определения массовых чисел продуктов реакций проводился на основе следующего соотношения, установленного Александром и Симоновым^{/14/} для реакций типа (тяжелый ион, xn)

$$\frac{E_{\text{возб, макс}} - \sum_{i=1}^x B_{ni}}{x} = \text{const},$$

где $E_{\text{возб, макс}}$ - энергия, соответствующая максимуму нормированной на σ_0 функции возбуждения реакции с образованием данного изотопа,

σ_0 - эффективное поперечное сечение образования составного ядра. Значения были взяты из работы Бабикова^{/15/},

B_{ni} - энергия связи нейтрона i , вылетающего из составного ядра,

x - число нейтронов, вылетающих из составного ядра при энергии возбуждения

$$E_{\text{возб. макс.}}$$

Для изотопов Dy, распадающихся из основного состояния, эта константа составляет $5 - 6,5 \text{ Мэв}^{/14/}$, но при переходе к изотопам Au, Hg она должна быть немного меньше вследствие убывания средней энергии вращения составного ядра.

Результаты измерений

Обозначение α -групп	Реакция	E_{α} (МэВ)	T	Идентификация	Данные работ	
1	2	3*	4	5	6	7
A	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	I	$6,08 \pm 0,02$	$3,9 \pm 0,2$ с	Hg^{179}	
B	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	II	$5,97 \pm 0,02$	$4,6 \pm 0,5$ с	Hg^{180}	
C	$Yb^{170} + Ne^{20} \rightarrow Hg^{190*}$	I	$5,83 \pm 0,02$	$9,2 \pm 0,6$ с	Hg^{182}	
	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	III	$5,85 \pm 0,02$	$9,1 \pm 0,3$ с		
D	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	IV _a	$5,76 \pm 0,02$	17 ± 4 с	$Hg^{181?}$	
E	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	IV _b	$5,73 \pm 0,02$	$7,9 \pm 0,7$ с		
			$5,74 \pm 0,02$	6 ± 1 с	Pt^{176}	/II/
F	$Yb^{170} + Ne^{20} \rightarrow Hg^{190*}$	II _a	$5,59 \pm 0,02$	25 ± 3 с	$Hg^{183?}$	
	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	V _a	$5,60 \pm 0,02$	27 ± 9 с		
G	$Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187*}$	V _b	$5,58 \pm 0,02$	$13,5 \pm 1,0$ с		
			$5,60$	10 с	Au^{181}	/I2/
H	$Yb^{170} + Ne^{20} \rightarrow Hg^{190*}$	II _b	$5,59 \pm 0,02$	43 ± 4 с	$Hg^{185, 186}$	
			$5,6 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,2$ м	$Hg < 195$	/I/
			$5,64 \pm 0,05$	53 ± 4 с	$Hg^{185, 186}$	/3/

* Обозначение пика в α -спектре и кривой функции возбуждения для данной α -группы.

1	2	3	4	5	6	7
I	$Yb^{170} + Ne^{20} \rightarrow Hg^{190} *$ $Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187} *$	\overline{III} \overline{VI}	5,44 \pm 0,02	18,3 \pm 0,6 _c		
			5,47	10 c	Au ¹⁸¹	/I2/
			5,43 \pm 0,02	(22 \pm I) c	Pt ¹⁷⁸	/II/
J	$Yb^{170} + Ne^{20} \rightarrow Hg^{190} *$ $Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187} *$ $Tm^{169} + Ne^{22} \rightarrow Au^{191} *$	\overline{IV} \overline{VII} \overline{I}	5,34 \pm 0,02	48 \pm 2 c	Au ¹⁸³	
			5,3	~ I M	Au	/I3/
			5,34	44 c	Au ¹⁸³	/I2/
K	$Yb^{170} + Ne^{20} \rightarrow Hg^{190} *$ $Sm^{147} + Ar^{40} \rightarrow Hg^{187} *$	\overline{V} \overline{VII}	5,14 \pm 0,02	47 \pm 3 c		
			5,14 \pm 0,02	50 \pm 5 c	Pt ¹⁸⁰	/II/
			5,15 \pm 0,02	33 \pm 5 c	Pt ¹⁷⁹	/II/
L	$Tm^{169} + Ne^{22} \rightarrow Au^{191} *$	\overline{II}	5,07 \pm 0,02	4,3 \pm 0,2M	Au ¹⁸⁵	
			5,05 \pm 0,02	~4 M	Au	/I3/
			5,07 \pm 0,10	4,3 \pm 0,2M	Au ^{185 \leq A \leq 187}	/I/
			5,07	4,33 M	Au ¹⁸⁵	/I2/

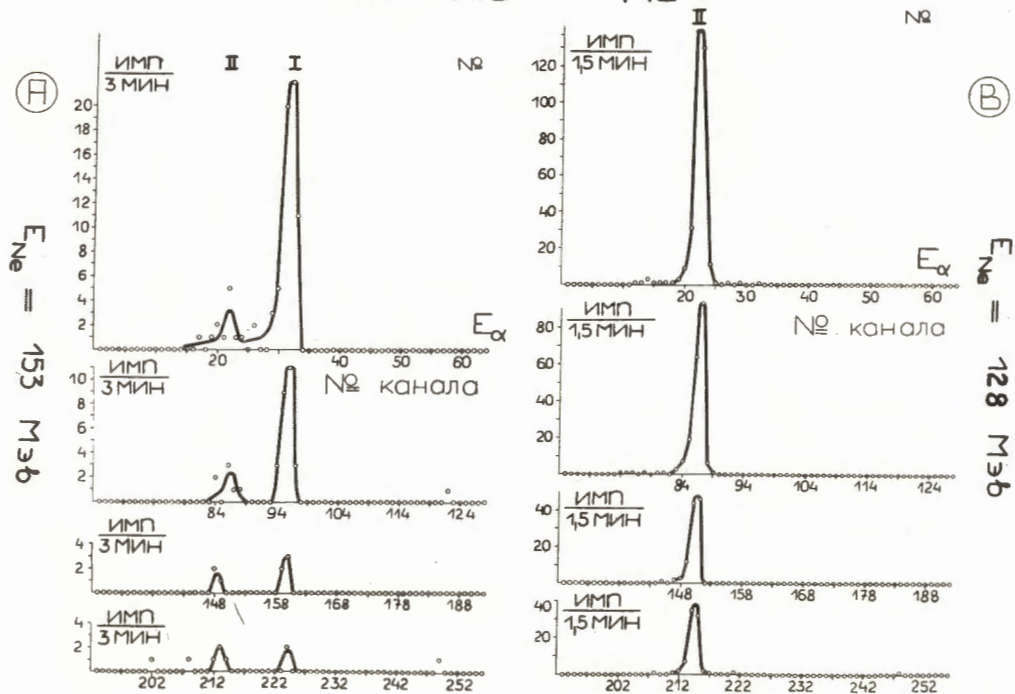
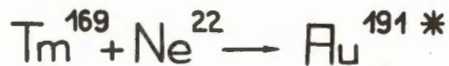


Рис. 8. а - спектры продуктов реакции $\text{Tm}^{169} + \text{Ne}^{22}$.
 Анализ начался 1,5 сек после окончания облучения и продолжался в течение
 четырех равных временных интервалов. А - при энергии бомбардирующих ионов
 153 МэВ, В - 128 МэВ.

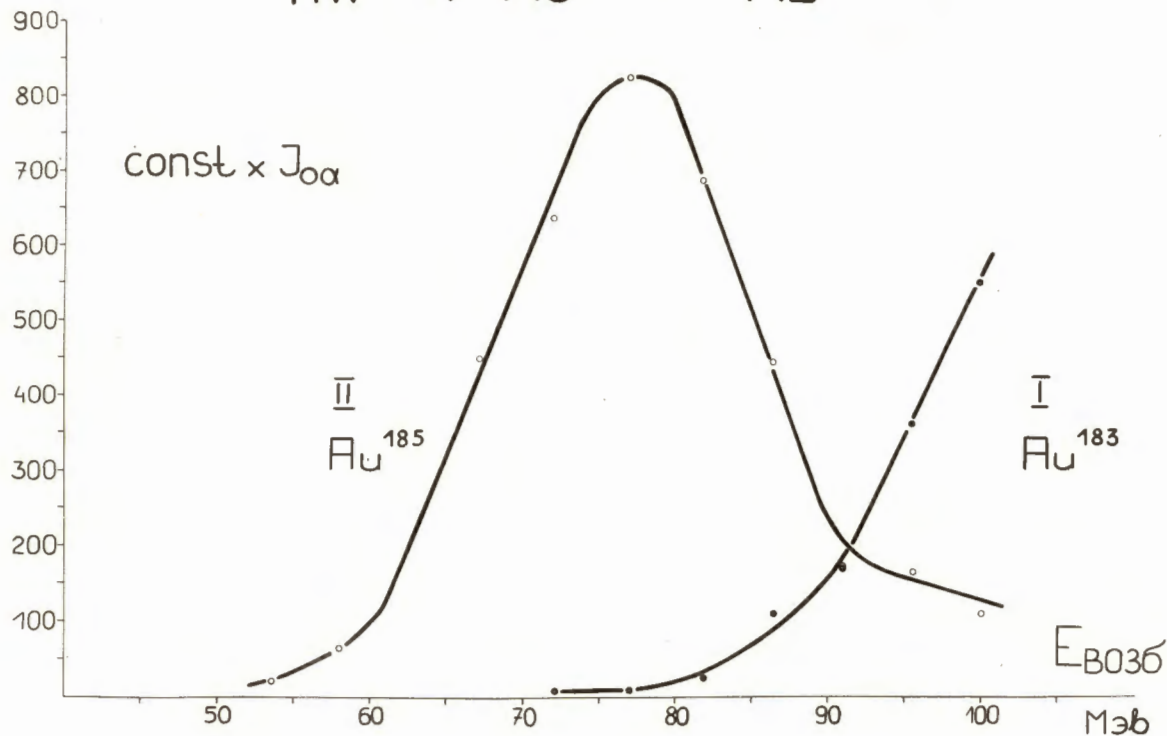
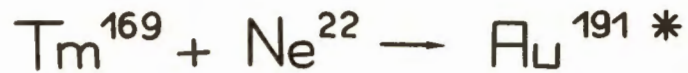


Рис. 7. Функции возбуждения реакций $\text{Tm}^{169} + \text{Ne}^{22}$.
Обозначения см. рис. 3.

Положение максимума функции возбуждения реакции, приводящей к образованию α -излучателя В (кривая II на рис. 5), соответствует реакции $\text{Sm}^{147}(\text{Ar}^{40}, 7\text{n})\text{Hg}^{180}$. При такой энергии возбуждения Au^{177} , Au^{178} , Pt^{178} еще не могут образовываться с существенной интенсивностью, однако при больших энергиях возбуждения вклад изотопов Au^{178} или Pt^{178} становится заметным. Это обстоятельство подтверждается тем, что период полураспада α -группы В при максимальной энергии ионов Ar становится близким к 3 сек, а кривая II на рис. 5 начинает возрастать.

Функция возбуждения реакции с образованием α -группы А (кривая I на рис. 5) не имеет четко выраженного максимума. Однако, основываясь на общем сдвиге кривой I относительно кривой II примерно на 15 Мэв в сторону больших энергий и учитывая предсказания систематики α -распада, можно идентифицировать α -излучатель А как продукт реакции $\text{Sm}^{147}(\text{Ar}^{40}, 8\text{n})\text{Hg}^{179}$.

Группа С. Из всех известных в исследуемой области изотопов только Au^{179} ($E_{\alpha} = 5,84$ Мэв, $T = 7,1$ сек^{1/12/}) обладает сходными характеристиками с α -излучателем С. Однако при максимальной энергии ионов Ne^{20} и энергии ионов Ar^{40} , близкой к максимуму функции возбуждения соответствующей реакции, Au^{179} образоваться еще не мог.

Анализ функций возбуждения в обоих случаях дает одинаковый результат: α -группа С принадлежит Hg^{182} .

Эта идентификация подтверждается и другими фактами. В опытах с ионами Ne^{20} при максимальной энергии ионов и в опытах с аргоном при энергии ионов, близкой к максимуму функции возбуждения реакции с образованием α -излучателя С, форма кривой распада α -излучателя I показывает накопление. Энергия и период полураспада α -излучателя I сходны с характеристиками известного изотопа Pt^{178} , который образуется при α -распаде Hg^{182} . Оценка периода полураспада материнского изотопа по кривой распада α -излучателя I согласуется с предположением о том, что материнским изотопом является Hg^{182} .

Группы D и F. α -излучатели D и F отличаются своими характеристиками от всех известных изотопов элементов легче висмута. Поскольку α -излучение легких изотопов Pt и Au подробно изучено в работах /11/ и /12/, можно заключить, что D и F являются изотопами ртути. Функции возбуждения реакций, приводящих к образованию этих изотопов, имеют весьма неопределенный вид вследствие малой интенсивности соответствующих α -групп. Однако, сравнивая их с функцией возбуждения реакции $\text{Sm}^{147}(\text{Ar}^{40}, 5\text{n})\text{Hg}^{182}$, можно достаточно надежно ограничить возможные значения массовых чисел этих изотопов диапазоном $181 \leq A \leq 183$.

Изотоп Hg^{182} уже идентифицирован. Основываясь на соотношениях энергий α -групп, D и F, можно сделать вывод, что группа D принадлежит Hg^{181} , а α -группа F — Hg^{183} . То обстоятельство, что при такой идентификации энергия α -частиц Hg^{181} оказывается меньше энергии α -частиц Hg^{182} , представляет собой отклонение от систематики, однако, не является единственным исключением /18/.

Группы E, G, H, I, J, K, L. Энергии и периоды полураспада α -групп E, G, H, I, J, K и L хорошо согласуются с характеристиками известных α -излучателей Pt^{176} , Au^{181} , $\text{Hg}^{183,186}$, Pt^{178} , Au^{183} , ($\text{Pt}^{179} + \text{Pt}^{180}$) и Au^{185} (см. табл. II). Эти изотопы могли образовываться в наших опытах как при α - и β -распаде первичных продуктов, так и путем реакций с вылетом заряженных частиц. Поведение функций возбуждения реакций, приводящих к образованию таких α -групп, согласуется с идентификацией по энергии и периоду полураспада. При бомбардировке туллия ионами $\text{Ne} - 22$ α -излучатели Au^{183} и Au^{185} образовывались в реакциях полного слияния и анализ функций возбуждения (рис. 7), выполненный таким же образом, как и для изотопов ртути, подтвердил значения массовых чисел этих изотопов золота.

Авторы благодарны профессору Г.Н. Флерову и В.А. Друину за предоставленную возможность проведения экспериментов в Лаборатории ядерных реакций; проф. К. Александеру и К.Я. Громову за поддержку работы.

Авторы признательны А. Трон, изготовлявшей мишени и помогавшей при обработке результатов, Ю.В. Полубояринову и В.И. Крашонкину, помогавшим при проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. J.O. Rasmussen, S.G. Thompson, A. Giorso. Phys. Rev., 89, 33 (1953).
2. W. Forsling. Arkiv for Fysik, 19, 369 (1961).
3. M. Karras, G. Andersson, M. Nurmia. Arkiv for Fysik, 23, 57 (1962).
4. Г.Н. Аканьев, А.Г. Демин, В.А. Друин, Э.Г. Пимаев, И.В. Колесов, Ю.В. Лобанов, Л.П. Пашенко. Препринт ОИЯИ 2704, Дубна 1966.
5. R.D. Macfarlane, R.D. Griffioen. Nucl. Instr. Meth., 24, 461 (1963).
6. L.C. Northcliffe. Phys. Rev., 120, 1744 (1960).
7. J.H.E. Mattauch, W. Thiele, A.M. Wapstra. Nucl. Phys., 67, 1 (1965).
8. A. Philip Seeger. Nucl. Phys., 25, 1 (1961).
9. W.D. Myers, W.J. Swiatecki. UCRL-11980 (1965).
10. J. Wing, J.D. Varley. ANL-6886 (1964).

11. A. Siivola, UCRL-11828, p. 21 (1965).
12. A. Siivola, UCRL-11828, p. 25 (1965).
13. И. Махунка, М. Махунка, Т. Фенеш. Исследование короткоживущих α -излучателей в области Bi - Pt . Материалы восьмого совещания по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов, изомерии ядер и теории ядра. Дубна 6-10 июля 1965 г.
14. J.M. Alexander, G.N. Simonoff. Phys. Rev., 133, B93 (1964).
15. В.В. Бабиков. Препринт ОИЯИ Р-1351, Дубна 1963.
16. V.E. Viola, G.T. Seaborg. Nuclear Systematics of the Heavy Elements, I. Energetics and Masses, Argonne, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 августа 1966 г.