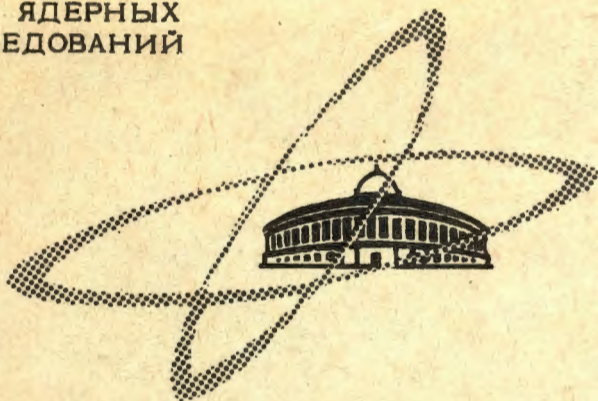


0057
H-789
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P7 - 3657

В.Нойберт, К.Александр

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ (H.I.,xn) ПО КРИВЫМ
ВОЗБУЖДЕНИЯ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1968

P7 - 3657

В.Нойберт, К.Александр

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ (H.I.,xn) ПО КРИВЫМ
ВОЗБУЖДЕНИЯ

780/3 нр.

Симонов и Александер^{/1/} показали при исследовании функций возбуждения различных реакций типа (Н.И., xn), приводящих к образованию α-активных ядер^{149, 150, 151} Du, что величина

$$\frac{\epsilon_x}{x} = \frac{\langle E \rangle_x - \sum_{i=1}^x B_{in}}{x},$$

где

$$\langle E \rangle_x = \frac{\int_0^{\infty} dE F_x(E) E}{\int_0^{\infty} dE F_x(E)}$$

$$F_x(E) = \frac{\sigma(\text{Н.И., xn}) \Sigma \Gamma}{\sigma_{\sigma} \Gamma_n}, \quad (1)$$

B_{in} - энергия связи i -того нейтрона в составном ядре,

x - число испарившихся нейтронов,

$\sigma(\text{Н.И., xn})$ - экспериментальное сечение реакции,

σ_{σ} - полное сечение реакции,

Γ_n - нейтронная ширина,

$\Sigma \Gamma$ - суммарная ширина всех процессов распада составного ядра независимо от сорта бомбардирующего иона (^{12}C , ^{14}N , ^{15}N , ^{16}O , ^{18}O , ^{19}F , ^{20}Ne , ^{22}Ne) лежит в пределах

$$\frac{\epsilon_x}{x} = (6,0 - 6,5) \text{ Мэв.} \quad (2)$$

Данные работы^{/1/} приводятся в таблице 1.

Большинство альфа-активных излучателей нейтронодефицитных ядер и трансурановых элементов было синтезировано в реакциях типа (Н.И., xn).

Надежность идентификации массовых чисел проверялась сопоставлением результатов с выводами из систематики альфа-распадных ядер.

Экспериментальных данных о синтезе нейтрондефицитных изотопов более легких ядер при помощи реакций (Н. I., $x \alpha$) значительно меньше, чем в случае тяжелых ядер. Идентификация продуктов реакций часто проводилась химическим выделением и измерением распадных свойств дочерних ядер. При синтезе очень короткоживущих активностей, в том числе и изомеров, использовать химические методы трудно. Поэтому все больше применяется метод идентификации массового числа по кривой функции возбуждения. Однако соотношение Симонова и Александра нельзя распространять на любые массовые числа потому, что соотношение (2) установлено только для ядер с A около 150.

Мы изучали зависимость величины $\frac{\epsilon_x}{x}$ от массового числа путем анализа функций возбуждения 58 реакций типа (Н. I., $x \alpha$), для которых продукты реакций сравнительно надежно идентифицировались (см. таблицу 2). Были рассчитаны величины $\frac{\epsilon_x}{x}$ по уравнению, аналогичному соотношению (1):

$$\frac{\epsilon_x}{x} = \frac{E_{exo}^{max} - \sum_{i=1}^x B_{in}}{x} \quad (3)$$

В отличие от уравнения Симонова и Александра в этом уравнении средняя энергия возбуждения $\langle E \rangle_x$ заменена энергией максимума функции возбуждения E_{exo}^{max} (в системе центра масс). Эта замена оправдывается тем, что рассчитанные Симоновым и Александром величины $\langle E \rangle_x$ не сильно отличаются от E_{exo}^{max} . Максимальное отличие величин $\langle E \rangle_x$ и E_{exo}^{max} не превышает ± 3 Мэв. Рассчитанное по уравнению (3) значение $\frac{\epsilon_x}{x}$ совместно с данными работы /1/ рассматривалось в зависимости от массового числа A (рис. 1) (черные точки). На этом рисунке также показаны значения

$$\left(\frac{\epsilon_x}{x}\right)_{-1} = \frac{E_{exo}^{max} - \sum_{i=1}^{x-1} B_{in}}{x-1} \quad \left(\frac{\epsilon_x}{x}\right)_{+1} = \frac{E_{exo}^{max} - \sum_{i=1}^{x+1} B_{in}}{x+1}$$

(открытые круги), чтобы дать представление о возможных погрешностях при идентификации массовых чисел продуктов реакций. Совокупность экспериментальных данных показывает:

- 1) величина $\frac{\epsilon_x}{x}$ убывает с ростом A ;
- 2) флуктуация экспериментальных значений сравнительно большая и разделение "правильной" и "неправильной" областей идентификации, т.е. разница величин $\frac{\epsilon_x}{x}$ и $(\frac{\epsilon_x}{x})_{-1}$ и $(\frac{\epsilon_x}{x})_{+1}$ не во всех случаях однозначно определена;
- 3) в области $A \leq 100$ не существует достаточно экспериментальных данных для удовлетворительного анализа.

Зависимость величин $\frac{\epsilon_x}{x}$ от массового числа прямо следует из простой оценки для положения максимума функции возбуждения:

$$E_{\text{exo}}^{\text{max}} = \sum_{i=1}^x V_{in} + E_n + E_{\text{rot}} + E_{\gamma},$$

которая получается из баланса энергии ядерной реакции.

$$E_n = \sum_{i=1}^x 2T_i - \text{средняя энергия испарившихся нейтронов};$$

T_i - температура ядра в процессе испарения i -того нейтрона;

$E_{\text{rot}} + E_{\gamma}$ - энергия гамма-квантов, возникающих при распаде составного ядра;

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \frac{J_0 \bar{\ell}^2}{A_0^2}; \quad J_0 = \frac{2}{5} \mu r_0^2 A_c^3 - \text{момент инерции составного ядра с массовым числом } A_0;$$

$$r_0 = 1,4 \dots 1,5 \cdot 10^{-13} \text{ см};$$

μ - масса нуклона;

$\bar{\ell}^2$ - среднее значение квадрата момента количества движения составного ядра, $\bar{\ell}^2$ взято из работы /2/.

Вследствие зависимости величин $E_n \sim A^{-\frac{1}{2}}$ и $E_{\text{rot}} \sim A^{-\frac{5}{3}}$ значение $\frac{\epsilon_x}{x}$ убывает с ростом массового числа составного ядра.

Флуктуация экспериментальных точек может быть обусловлена тем, что величина $\frac{\epsilon_x}{x}$ увеличивается с ростом числа испарившихся нейтронов и при увеличении массового числа бомбардирующего иона. Так, например, в работе Кумпфа и Карнаухова /3/ говорится, что $\frac{\epsilon_x}{x}$ для реакций $\text{Cd} + {}^{40}\text{Ar}$, приводящих к образованию ядер ${}^{140}, {}^{150}, {}^{151}\text{Dy}$, достигает значения (8,5-11,0) Мэв. Кроме того, в температуре ядра входит параметр плотности уровней ($T \sim a^{-\frac{1}{2}}$), который не плавно меняется с массовым числом как в модели газа Ферми $a = \frac{A}{8,5}$ /Мэв $^{-1}$ /, но зависит от оболочной структуры данного ядра /4/.

Из-за показанных неопределенностей в методе Симонова и Александра мы пытались определить массовое число расчётом каскадного испарения нейтронов из составного ядра, причём в качестве начальной энергии возбуждения составного ядра мы брали энергию максимума в кривой возбуждения $E_{\text{exo}}^{\text{max}}$.

Температура t_1 , характеризующая термодинамическое равновесие между

первым испарившимся нейтроном и оставшимся составным ядром, равняется в модели Ферми

$$t_1 = \sqrt{\frac{(E_{exc}^{max} - E_{rot} - B_{1n})}{A}} \cdot 8,5 \quad (5)$$

Из величины t_1 вычисляется температура ядра T_1 , определяющая спектр первого испарившегося нейтрона

$$\frac{1}{T_1} = \frac{1}{t_1} - \frac{2}{E_{exc}^{(1)}} \quad (6)$$

$$E_{exc}^{(1)} = E_{exc}^{max} - E_{rot} - B_{1n}$$

Для испарения второго нейтрона имеем в термодинамическом равновесии следующую, оставшуюся после испарения первого нейтрона энергию возбуждения:

$$(E_{exc}^{max} - B_{1n} - E_{rot} - 2T_1) - B_{2n}$$

Зная эту энергию, можно аналогичным путем вычислить величины t_2 и T_2 . Если энергия возбуждения оставшегося после испарения i -ого нейтрона (не считая ротационной энергии) стала меньше энергии связи следующего нейтрона, то кончается процесс каскадного испарения нейтронов.

При проведении наших расчётов предполагалось, что ротационная энергия не меняется и только после окончания испарения нейтронов излучается в виде гамма-квантов. Это справедливо, так как испарение нейтронов несущественно меняет распределение спинов оставшегося ядра.

В таблице 3 приведены данные, полученные описанным путем. Сравнение экспериментальных значений \bar{E}_n Симонова и Александера^{15/} с теоретическими значениями показывает, что этот метод позволяет довольно точно рассчитать среднюю энергию испарившихся нейтронов и тем самым служит средством для идентификации продуктов реакций (Н.И., xn). Последние столбцы таблицы 3 показывают, что каскадным расчётом в большинстве случаев получается правильное число, т.е. что он дает правильное число испарившихся нейтронов. Только в случае реакции $^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 3n) ^{151}\text{Dy}$ по расчёту каскадного испарения не получается правильная идентификация.

Для тех точек на рис. 1., которые лежат вне "правильной" области или на ее границе, например, реакции $^{203}\text{Tl} (^{12}\text{C}, 8n) ^{207}\text{Fr}$, $^{238}\text{U} (^{12}\text{C}, 6n) ^{244}\text{Cf}$, $^{137}\text{Ba} (^{22}\text{Ne}, 9n) ^{150}\text{Dy}$ и т.п., мы проверили идентификацию продуктов реакций каскадным

ТАБЛИЦА I

Реакция	E _x	A	B	C	D	F	F
¹⁴² Nd (¹² C, 3n) ¹⁵¹ Dy	45,4	26,7	16,9	34,6	6,2	14,2	2,7
¹⁴² Nd (¹² C, 4n) ¹⁵⁰ Dy	59,8	34,6	26,7	44,8	6,3	11,0	3,0
¹⁴² Nd (¹² C, 5n) ¹⁴⁹ Dy	75,6	44,8	34,6	53,2	6,2	10,2	3,7
¹⁴¹ Pr (¹⁴ N, 4n) ¹⁵¹ Dy	54,0	33,8	24,0	41,7	5,0	10,0	2,5
¹⁴¹ Pr (¹⁴ N, 5n) ¹⁵⁰ Dy	70,2	41,7	33,8	51,9	5,7	9,1	3,1
¹⁴¹ Pr (¹⁴ N, 6n) ¹⁴⁹ Dy	86,1	51,9	41,7	60,3	5,7	8,9	3,7
¹⁴⁴ Nd (¹² C, 5n) ¹⁵¹ Dy	68,6	42,8	33,0	50,7	5,1	8,9	3,0
¹⁴⁴ Nd (¹² C, 6n) ¹⁵⁰ Dy	85,2	50,7	42,8	60,9	5,7	8,5	3,5
¹⁴¹ Pr (¹⁵ N, 6n) ¹⁵⁰ Dy	85,5	50,7	42,8	60,8	5,8	8,5	3,5
¹⁴¹ Pr (¹⁵ N, 7n) ¹⁴⁹ Dy	100,8	60,9	50,7	69,3	5,7	8,4	3,9
¹⁴⁰ Ce (¹⁶ O, 5n) ¹⁵¹ Dy	71,4	42,8	33,0	50,7	5,7	9,6	3,5
¹⁴⁰ Ce (¹⁶ O, 6n) ¹⁵⁰ Dy	87,2	50,7	42,8	60,9	6,1	8,9	3,8
¹⁴⁰ Ce (¹⁶ O, 7n) ¹⁴⁹ Dy	102,3	60,9	50,7	69,3	5,9	8,6	4,1
¹³⁶ Ba (²⁰ Ne, 5n) ¹⁵¹ Dy	73,0	42,8	33,0	50,7	6,0	10,0	3,7
¹³⁶ Ba (²⁰ Ne, 6n) ¹⁵⁰ Dy	88,0	50,7	42,8	60,9	6,2	9,0	3,9
¹³⁶ Ba (²⁰ Ne, 7n) ¹⁴⁹ Dy	102,5	60,9	50,7	69,3	5,95	8,6	4,1
¹³⁷ Ba (²¹ Ne, 6n) ¹⁵¹ Dy	88,2	49,6	39,8	57,5	6,3	9,7	4,4
¹³⁷ Ba (²¹ Ne, 7n) ¹⁵⁰ Dy	101,9	57,5	49,6	67,7	6,3	8,7	4,2
¹³⁷ Ba (²⁰ Ne, 8n) ¹⁴⁹ Dy	116,9	67,7	57,5	76,1	6,4	8,5	4,5
¹⁴ Ce (¹⁶ O, 7n) ¹⁵¹ Dy	100,4	58,3	48,5	66,2	6,0	8,6	4,3
¹²⁹ La (¹⁹ F, 7n) ¹⁵¹ Dy	99,8	58,3	48,5	66,2	5,9	8,6	4,2
¹³⁰ La (¹⁹ F, 8n) ¹⁵⁰ Dy	114,5	66,2	58,3	76,4	6,0	8,0	4,2
¹³¹ La (¹⁹ F, 9n) ¹⁴⁹ Dy	129,0	76,4	66,2	84,8	5,9	7,8	4,4
¹³⁸ Ba (²⁰ F, 7n) ¹⁵¹ Dy	100,1	58,3	48,5	66,2	6,0	8,6	4,2
¹³⁰ Ba (²⁰ Ne, 8n) ¹⁵⁰ Dy	115,5	66,2	58,3	76,5	6,2	8,2	4,3
¹³⁸ Ba (²⁰ Ne, 9n) ¹⁴⁹ Dy	129,4	76,5	66,2	84,8	5,9	7,9	4,5
¹³⁷ Ba (²² Ne, 8n) ¹⁵¹ Dy	116,9	64,8	55,0	72,7	6,5	8,8	4,9
¹³⁷ Ba (²² Ne, 9n) ¹⁵⁰ Dy	131,0	72,7	64,8	80,6	6,5	8,3	5,0
¹⁴⁰ Ce (¹⁶ O, 7n) ¹⁴⁹ Dy	128,7	73,1	63,4	81,1	6,2	8,2	4,7

ТАБЛИЦА 2

А	Реакция	Лите- ратура	$E_{\text{exc}}^{\text{max}}$	A	B	C	D	E	F
61	$^{81}\text{V} (^{15}\text{N}, 5\text{n}) ^{81}\text{Zn}$	/7/	89 \pm 2	53,0	40,1	63,6	7,2	12,2	4,2
	$^{81}\text{V} (^{13}\text{C}, 3\text{n}) ^{81}\text{Cu}$	/7/	59 \pm 2	27,6	18,8	39,8	10,0	20,1	4,8
	$^{81}\text{V} (^{12}\text{C}, 2\text{n}) ^{81}\text{Cu}$	/8/	53,5	19,8	11,1	32,1	16,8	42,4	7,1
62	$^{61}\text{V} (^{14}\text{N}, 3\text{n}) ^{62}\text{Zn}$	/7/	52 \pm 4	29,5	20,1	42,3	7,5	15,8	2,4
64	$^{51}\text{V} (^{16}\text{O}, 3\text{n}) ^{64}\text{Ga}$	/9/	63	32,6	20,3	42,7	10,1	21,4	5,1
121	$^{113}\text{In} (^{12}\text{C}, 4\text{n}) ^{121}\text{Cs}$	/10/	60,6	39,7	30,5	51,3	5,2	10,3	1,9
130	$^{122}\text{Sn} (^{12}\text{C}, 4\text{n}) ^{130}\text{Ba}$	/11/	54,3	34,4	26,6	44,6	5,0	9,2	1,9
134	$^{128}\text{Te} (^{12}\text{C}, 6\text{n}) ^{134}\text{Ce}$	/12/	85	51,8	43,7	62,2	5,5	8,3	3,3
	$^{130}\text{Te} (^{12}\text{C}, 8\text{n}) ^{134}\text{Ce}$	/12/	104,5	64,5	56,4	75,0	5,0	6,9	3,3
	$^{124}\text{Sn} (^{16}\text{O}, 6\text{n}) ^{134}\text{Ce}$	/12/	80 \pm 5	51,8	43,7	62,4	4,7	7,3	2,5
	$^{127}\text{J} (^{12}\text{C}, 5\text{n}) ^{134}\text{Pr}$	/23/	79	47,5	36,7	56,4	6,3	10,6	3,75
135	$^{128}\text{Te} (^{12}\text{C}, 5\text{n}) ^{135}\text{Ce}$	/12/	70,5	43,7	33,7	51,8	5,4	9,2	3,4
	$^{130}\text{Te} (^{12}\text{C}, 7\text{n}) ^{135}\text{Ce}$	/12/	85,9	56,4	48,3	64,5	4,2	6,3	2,1
	$^{124}\text{Sn} (^{16}\text{O}, 5\text{n}) ^{135}\text{Ce}$	/12/	65 \pm 2	43,7	33,7	51,8	4,25	7,8	2,5
137	$^{130}\text{Te} (^{12}\text{C}, 5\text{n}) ^{137\text{m}}\text{Ce}$	/12/	68,4	38,7	29,2	48,3	5,9	9,8	4,0
138	$^{130}\text{Te} (^{12}\text{C}, 4\text{n}) ^{138\text{m}}\text{Ce}$	/11/	47,3	29,2	22,0	38,7	4,5	8,4	1,7
149	$^{144}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 7\text{n}) ^{149}\text{Dy}$	/13/	97	60,9	50,7	69,3	5,15	7,7	3,5
	$^{138}\text{Ba} (^{20}\text{Ne}, 7\text{n}) ^{149}\text{Dy}$	/13/	100	60,9	50,7	69,3	5,6	8,2	3,8
150	$^{144}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 6\text{n}) ^{150}\text{Dy}$	/13/	84	50,7	42,8	60,9	5,5 ⁵	8,2	3,3
	$^{138}\text{Ba} (^{20}\text{Ne}, 6\text{n}) ^{150}\text{Dy}$	/13/	85	50,7	42,8	60,9	5,7	8,4	3,4

Причём

$$|A|: \sum_{i=1}^x B_{in} (\text{MeV}) \quad |B|: \sum_{i=1}^{x-1} B_{in} (\text{MeV}) \quad |C|: \sum_{i=1}^{x+1} B_{in} (\text{MeV})$$

$$|D|: \frac{E_{\text{exc}}^{\text{max}} - \sum_{i=1}^x B_{in}}{x} (\text{MeV})$$

$$|E|: \frac{E_{\text{exc}}^{\text{max}} - \sum_{i=1}^{x-1} B_{in}}{x-1} (\text{MeV}) \quad |F|: \frac{E_{\text{exc}}^{\text{max}} - \sum_{i=1}^{x+1} B_{in}}{x+1} (\text{MeV})$$

продолжение таблицы 2

A	Реакция	Лите- ратура	E ^{воз} экс	A	B	C	D	E	F
I51	$^{140}\text{Ce} (^{16}\text{O}, 5n) ^{151}\text{Dy}$	/I4/	71	42,8	33,0	50,7	5,65	9,5	3,4
	$^{141}\text{Pr} (^{16}\text{O}, 6n) ^{151}\text{Ho}$	/I4/	84	52,6	44,4	61,3	5,23	7,9	3,2
	$^{144}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 5n) ^{151}\text{Dy}$	/I3/	67	42,8	33,0	50,7	4,8	8,5	2,7
	$^{136}\text{Nd} (^{20}\text{O}, 6n) ^{151}\text{Er}$	/I3/	70	42,8	33,8	50,7	5,4	9,1	3,2
I52	$^{141}\text{Pr} (^{16}\text{O}, 5n) ^{152}\text{Ho}$	/I5/	85	54,5	45,9	65,4	5,1	7,8	2,8
	$^{141}\text{Pr} (^{16}\text{O}, 5n) ^{152}\text{Ho}$	/I4/	72	44,4	34,3	52,6	5,5	9,4	3,2
I53	$^{142}\text{Nd} (^{16}\text{O}, 5n) ^{153}\text{Er}$	/I5/	71	45,9	35,5	54,5	5,0	8,9	2,8
I54	$^{142}\text{Nd} (^{16}\text{O}, 4n) ^{154}\text{Er}$	/I5/	55	35,5	27,4	45,9	4,9	9,2	1,8
I56	$^{144}\text{Sm} (^{12}\text{F}, 7n) ^{156}\text{Lu}$	/22/	102	68,6	57,4	78,1	4,8	7,4	3,0
I57	$^{144}\text{Sm} (^{20}\text{Ne}, 7n) ^{157}\text{Hf}$	/22/	104 _{±3}	70,5	59,0	80,2	4,8	7,5	3,0
I58	$^{144}\text{Sm} (^{20}\text{Ne}, 6n) ^{158}\text{Hf}$	/22/	93	59,0	49,7	70,5	5,7	8,7	3,2
I77	$^{168}\text{Yb} (^{16}\text{O}, 7n) ^{177}\text{Pt}$	/I6/	94	66,6	55,9	75,6	3,9	6,4	2,3
I80	$^{172}\text{Yb} (^{16}\text{O}, 8n) ^{180}\text{Pt}$	/I6/	105	71,2	62,6	81,6	4,2	6,1	2,6
I81	$^{172}\text{Yb} (^{16}\text{O}, 7n) ^{181}\text{Pt}$	/I6/	92	62,6	52,5	71,2	4,2	6,6	2,6
I82	$^{172}\text{Yb} (^{16}\text{O}, 6n) ^{182}\text{Pt}$	/I6/	78	52,5	44,2	62,6	4,3	6,1	2,2
	$^{174}\text{Yb} (^{16}\text{O}, 8n) ^{182}\text{Pt}$	/I6/	108	68,7	60,4	78,8	4,9	8,8	3,2
I83	$^{174}\text{Yb} (^{16}\text{O}, 7n) ^{183}\text{Pt}$	/I6/	91	60,4	50,6	68,7	4,4	6,8	2,8
I87	$^{179}\text{Hf} (^{14}\text{N}, 6n) ^{187}\text{Au}$	/I7/	74,6	50,5	42,4	60,3	4,1	6,5	2,0
I89	$^{181}\text{Ta} (^{12}\text{C}, 4n) ^{189}\text{Au}$	/I7/	53,0	33,0	25,3	42,4	5,0	9,2	2,6

продолжение таблицы 2

A	Реакция	Лите- рату- ра	E _{экс} ^{max}	A	B	C	D	E	F
205	$^{197}\text{Au} (^{18}\text{O}, 8n) ^{218}\text{Fr}$	/7/	99	66,3	58,0	76,1	4,1	5,9	2,5
	$^{197}\text{Au} (^{14}\text{N}, 6n) ^{205}\text{Rn}$	/7/	77,5	48,8	39,5	56,9	4,8	5,4	2,9
206	$^{197}\text{Au} (^{14}\text{N}, 5n) ^{208}\text{Rn}$	/7/	67,3	39,5	31,8	48,8	5,5	8,8	3,0
207	$^{197}\text{Au} (^{14}\text{N}, 4n) ^{207}\text{Rn}$	/7/	55,2	31,8	22,9	39,5	5,8	10,7	3,1
	$^{203}\text{Pb} (^{12}\text{C}, 2n) ^{207}\text{Rn}$	/18/	82	62,0	54,1	71,4	2,5	4,0	1,2
212	$^{205}\text{Pb} (^{12}\text{C}, 5n) ^{212}\text{Fr}$	/18/	54	34,5	26,1	41,7	3,9	7,0	2,1
217	$^{209}\text{Bi} (^{12}\text{C}, 4n) ^{217}\text{Ac}$	/19/	40,5	27,8	21,3	35,8	3,2	6,4	1,0
218	$^{209}\text{Bi} (^{12}\text{C}, 3n) ^{218}\text{Ac}$	/19/	30,8	21,3	13,6	27,8	3,1	8,6	8,5
244	$^{238}\text{U} (^{12}\text{C}, 6n) ^{244}\text{Cf}$	/20/	49,2	38,3	32,2	46,0	1,8	3,0	0,5
246	$^{238}\text{U} (^{12}\text{C}, 4n) ^{246}\text{Cf}$	/20/	36,3	24,9	19,1	32,2	2,9	5,7	0,8
248	$^{238}\text{U} (^{16}\text{O}, 6n) ^{148}\text{Fm}$	/21/	68	39,0	32,7	47,5	4,9	7,1	2,9
	$^{238}\text{U} (^{18}\text{O}, 8n) ^{248}\text{Fm}$	/21/	74,2	50,7	44,5	58,5	2,9	4,2	1,7
249	$^{238}\text{U} (^{16}\text{O}, 5n) ^{249}\text{Fm}$	/21/	53,5	32,7	25,3	39,0	4,2	7,1	2,4
250	$^{238}\text{U} (^{16}\text{O}, 6n) ^{250}\text{Fm}$	/21/	56,2	37,0	31,1	44,5	3,2	5,0	1,7
	$^{238}\text{U} (^{19}\text{F}, 7n) ^{250}\text{Mv}$	/21/	70,2	45,9	38,3	52,3	3,5	5,3	2,1
	$^{242}\text{Pu} (^{12}\text{C}, 4n) ^{250}\text{Fm}$	/20/	37	25,3	19,4	32,8	2,9	5,9	0,8
251	$^{238}\text{U} (^{18}\text{O}, 5n) ^{251}\text{Fm}$	/21/	49,2	31,1	24,0	37,0	3,6	6,3	2,5
254	$^{238}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 6n) ^{254}\text{102}$	/21/	63,9	37,6	31,6	45,2	4,4	6,5	2,2
256	$^{244}\text{Am} (^{18}\text{O}, 5n) ^{256}\text{103 Lw}$	/21/	47,5	32,7	25,3	38,8	3,0	5,6	1,5

расчётом числа испарившихся нейтронов. Во всех этих случаях исключением является только реакция $^{203}\text{Th} (^{12}\text{C}, 8n) ^{207}\text{Fr}$, результаты расчёта согласуются с экспериментально установленной идентификацией. Поэтому мы считаем каскадный расчёт дополнительным методом для идентификации продуктов реакций.

Таблица 3

Реакция	E_n эксп. ($\pm 15\%$) /5/	E_n расч.	Оставшаяся термич. энерг. после испарен. x нейтр.	Энергия связи (x+1)-ого нейтр. x) 1
$^{144}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 5n) ^{181}\text{Dy}$	12,8	13,7	6,0	7,9
$^{144}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 6n) ^{180}\text{Dy}$	18,5	17,7	6,7	10,2
$^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 3n) ^{151}\text{Dy}$	7,6	7,1	9,1	7,8
$^{142}\text{Nd} (^{12}\text{C}, 5n) ^{150}\text{Dy}$	9,8	10,0	8,3	10,2
$^{142}\text{Ce} (^{16}\text{O}, 45n) ^{149}\text{Dy}$	12,5	14,0	7,3	8,4
$^{140}\text{Ce} (^{16}\text{O}, 6n) ^{151}\text{Dy}$	14,2	12,0	1,7	7,9
$^{140}\text{Ce} (^{16}\text{O}, 7n) ^{150}\text{Dy}$	17,5	15,7	0,5	10,2
$^{140}\text{Ce} (^{16}\text{O}, 7n) ^{149}\text{Dy}$	22,0	19,0	0	8,4

x/ взята из таблиц Сигера /6/.

Следует отметить, что ни один из вышерассмотренных методов не позволяет с полной уверенностью установить массовые числа продуктов реакции. Наиболее надежным путем идентификации является сравнение функции возбуждения данной реакции ($H.I., x n$) с функцией возбуждения каналов ($H.I. (x-1)n$) или ($H.I. (x+1)n$), если продукты этих реакций известны.

В заключение авторы выражают благодарность В.А.Карнаухову и Г.Юнгклауссену за дискуссии.

Л и т е р а т у р а

1. G.N.Simonoff, J.M.Alexander. Phys. Rev., 133, B93 (1964).
2. В.В.Бабилов. Препринт ОИЯИ Р-1351, Дубна 1963.
3. Г.Кумпф, В.А.Карнаухов. ЖЭТФ 46, 1545 (1964).
4. N.N.Abdelmalek, V.S.Stavinsky. Nucl.Phys., 58, 601 (1964).
5. G.N.Simonoff, J.M.Alexander. Phys. Rev., 133, B104 (1964).
6. P.A.Seeger. Nucl. Phys., 25, 1, (1961).
7. А.С.Карамян и др, ЖЭТФ 36, 621 (1959).
8. А.С.Карамян, А.А.Плеше. ЖЭТФ 40, 1541 (1961).
9. А.С.Карамян, А.А.Плеше. ЖЭТФ 37, 654 (1960).
10. К.Александр, В.Нойберт, Х.Роттер. Препринт ОИЯИ Р7-3185, Дубна 1967г.
11. H.F.Brinckmann, C.Heiser, K.F.Alexander, W.Neubert, H.Rotter. Nucl. Phys. 81, 233 (1965).
12. T.J.Klingen, G.R.Choppin. Phys.Rev., 130, 1990 (1963).
13. G.N.Simonoff, J.M.Alexander. Phys.Rev., 133, B93 (1964).
14. R.D.Macfarlane. Phys.Rev., 130, 1491 (1963).
15. R.D.Macfarlane. Phys.Rev., 131, 2176 (1963).
16. A.A.Siivola. Nucl. Phys., 84, 385 (1966).
17. C.Heiser, K.F.Alexander, H.F.Brinckmann, N.Nenov, W.Neubert, H.Rotter. Nucl. Phys., A96, 327 (1967).
18. R.D.Macfarlane. Phys. Rev., 133, B1373 (1964).
19. Х.Роттер, А.Г.Демия, Л.П.Пашенко, Х.Ф.Бринкманн. Препринт ОИЯИ Р-2465, Дубна 1965.
20. T.Sikkeland, S.C.Thompson, A. Ghiorso. Phys.Rev., 112, 453 (1958).
21. Е.Д.Донец. Диссертация ОИЯИ Дубна, 1966
22. R.D.Macfarlane. Phys. Rev., 137, B1448 (1965).
23. J.E.Clarkson, R.M.Diamond, F.S.Stephens, I.Perlman. Nucl. Phys., A93, 272 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел

3 января 1968 года.

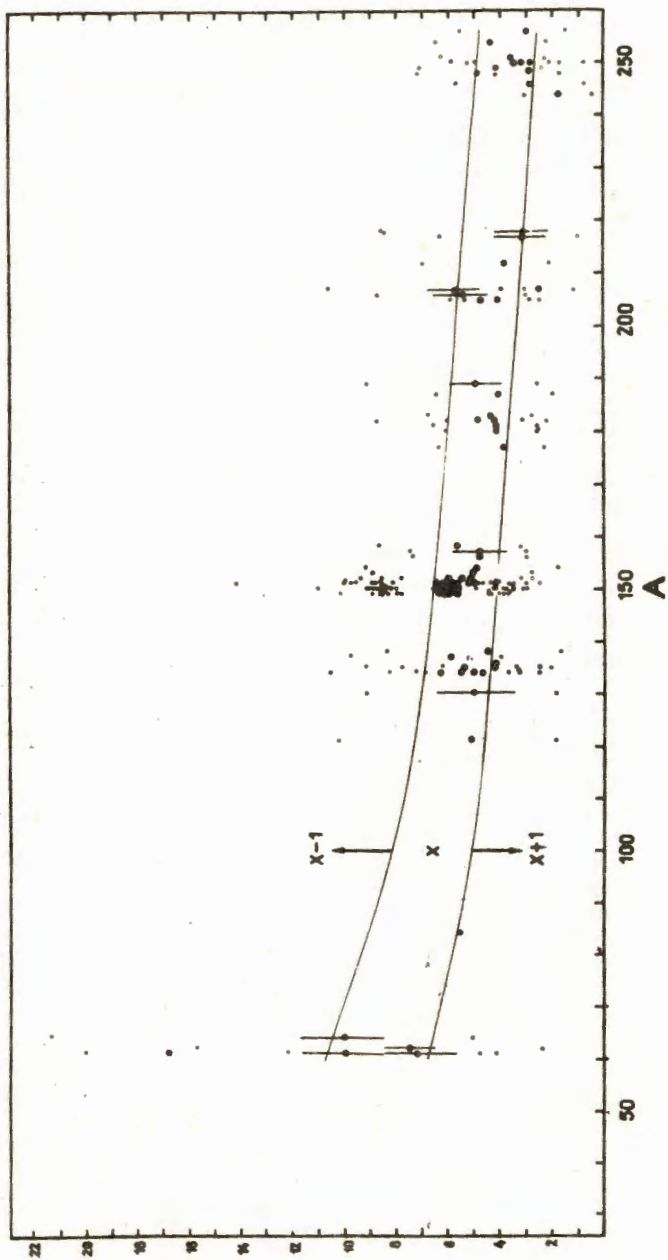


Рис. 1. Зависимость величины $\frac{E_{exc} - \sum_{i=1}^k B_{in}}{X} = \frac{E_{exc} - \sum_{i=1}^k B_{in}}{X}$ от массового числа. Значения $M-A$ и B_{in} взяты из таблиц Сигера. Точки даны для конечного продукта реакции.