

Н-789

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P7 - 2966

В. Нойберт, Х. Бринкманн, Х. Роттер,  
К. Александер, Х. Хайзер

НОВЫЕ ИЗОМЕРЫ  $^{128\text{m}}$ La  $^{180\text{m}}$ La

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1966

P7 - 2966

У583/3 49.

В. Нойберт, Х. Бринкманн, Х. Роттер,  
К. Александер, Х. Хайзер

НОВЫЕ ИЗОМЕРЫ  $^{128m}$ La и  $^{130m}$ La

НАЦИОНАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
СИББИОТЕКА

## 1. Введение

После обнаружения высоколежащего изомерного состояния в ядре  $^{130}\text{Ba}$  [1] были найдены еще две новых короткоживущих активности. Цель настоящей работы заключалась в определении энергий переходов, периодов полураспада и идентификации недавно открытых новых активностей.

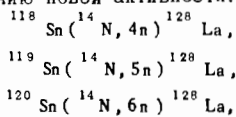
Методика эксперимента - импульсное облучение и измерение двух спектров в заданных интервалах между импульсами циклотрона - подробно описана в работе [1]. В отличие от этой методики в данных опытах время полураспада было измерено на двухмерном анализаторе в режиме амплитудного анализа в последовательных временных интервалах, гамма - спектр изомера  $^{128m}\text{La}$  был измерен на германиевом детекторе.

## 2. Измерение $^{128m}\text{La}$

При облучении ускоренными ионами  $^{14}\text{N}$  на выведенном пучке циклотрона У-150 мишеней олова толщиной  $\approx 35 \text{ мг/см}^2$ , обогащенных изотопами  $^{118}\text{Sn}$ ,  $^{119}\text{Sn}$  и  $^{120}\text{Sn}$ , была возбуждена новая активность с периодом полураспада  $T_{1/2} = (0,56 \pm 0,05) \text{ сек}$ , спектр и распад которой показаны на рис. 1 и 2.

Такая же активность была найдена при облучении ускоренными ионами  $^{12}\text{C}$  тонкой мишени сурьмы ( $6 \text{ мг/см}^2$ ) и мишени, обогащенной изотопом  $^{121}\text{Sb}$ .

Для идентификации продуктов реакции были измерены функции возбуждения (рис. 3-5). Максимальная энергия ионов  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{N}$  составляла  $\approx 80$  и  $\approx 110 \text{ Мэв}$  соответственно и изменялась с помощью алюминиевых фольг. По форме функций возбуждения и положениям их максимумов были идентифицированы следующие реакции, приводящие к образованию новой активности:





Надежность такой идентификации была проверена с помощью измеренной нами функции возбуждения реакции  $^{130}\text{Te} ( ^{12}\text{C}, 4n ) ^{138}\text{mCe}$ .

Однако вид функций возбуждения и положение максимумов не дают достаточного основания полагать, что реакции идут через составное ядро с последующим испарением только нейтронов, так как в этой области масс, по исследованиям Чоппина и Клингена /2/, реакции типа  $( ^{12}\text{C}, \alpha n )$  также имеют большие сечения и подобные функции возбуждения.

Это обстоятельство потребовало проведения дополнительных опытов. Отсутствие данной активности среди продуктов реакции  $^{116}\text{Cd} + ^{15}\text{N}$  в интервале энергии ионов, соответствующем испарению четырех нейтронов, исключает возможность реакции  $^{119}\text{Sn} ( ^{14}\text{N}, \alpha 2n ) ^{127}\text{Cs}$ . Кроме того, сравнивалось поглощение рентгеновского излучения тонкими слоями теллура и сурьмы, имеющими одинаковую толщину. Независимо от положения и толщины слоев этих веществ поглощение сурьмой никогда не превышало поглощение теллуrom (табл. 1). Из этого следует, что рентгеновское излучение не принадлежит цезию.

Облучение  $^{122}\text{Sn}$  и  $^{120}\text{Sn}$  ионами  $^{12}\text{C}$  с энергией, соответствующей испарению 4 и 5 нейтронов, показало, что реакции  $( ^{14}\text{N}, p 2n )$ ,  $( ^{14}\text{N}, p 3n )$ ,  $( ^{14}\text{N}, p 4n )$  и  $( ^{14}\text{N}, p 5n )$  также можно исключить.

Следовательно, новая активность принадлежит ядру  $^{128}\text{La}$ . Можно исключить тот факт, что наблюдаемая рентгеновская линия в задержанном гамма-спектре возникла после К-захвата. Такой переход в ядро  $^{128}\text{Ba}$  должен иметь сильную компоненту  $\beta^+$ -перехода, а на линии 511 кэв не наблюдается распада с периодом  $T_{1/2} = 0,58$  сек. Из этого следует, что новая активность является неизвестным до сих пор изомерным переходом в ядре  $^{128}\text{La}$ .

В гамма-спектре изомера (рис.9), кроме рентгеновского пика, также наблюдаются две линии с энергиями  $E_{\gamma_1} = 67,5 \pm 0,5$  и  $E_{\gamma_2} = 104 \pm 1$  кэв. Отношения интенсивностей рентгеновского пика к наблюдаемым линиям следующие:

$$I_x / I_{\gamma_1} = 5,0 \pm 0,8,$$

$$I_x / I_{\gamma_2} = 30$$

$$\text{или } I_{\gamma_2} / I_{\gamma_1} = 0,18 \pm 0,05.$$

В спектре конверсионных электронов (рис.8), измеренном полупроводниковым детектором Si(Li) с глубиной дрейфа  $> 2$  мм, наблюдается линия электронов внутренней конверсии  $E_{L+M} = 98 \pm 2$  кэв и, кроме того, рентгеновская линия, так как в этой области энергия детектор чувствителен к  $\gamma$ -квантам. Из анализа спектра следует, что отношение  $K/L+M$  значительно меньше единицы. На основании этого

мультипольности М2, М3 и М4 исключаются. Возможными мультипольностями являются Е3 и Е4. Оценка КВК перехода  $\gamma_2$  104 кэв дает величину  $a_{LMN}=10$ . Такая оценка противоречит Е4, но совпадает в пределах погрешности экспериментальных данных с Е3.

Если предположить, что линия  $E_x=34$  кэв является рентгеновской линией, которая возникает в процессе К-конверсии, и что, кроме наблюдаемых переходов, не существует других, то обе линии  $E_{\gamma_2}$  и  $E_{\gamma_1}$  должны образовать  $\gamma$ -каскад. Так как переход  $\gamma_2$  с энергией  $104 \pm 1$  кэв имеет мультипольность Е3, условия интенсивности

$$I_{\gamma_1}(1+a_1) = I_{\gamma_2}(1+a_2)$$

$$\text{и } I_x = a_{k1} I_{\gamma_1} + a_{k2} I_{\gamma_2}$$

будут выполняться только в том случае, если мультипольность перехода  $\gamma_1$  - М1. В этом случае переход  $\gamma_2$  является изомерным переходом.

### 3. Изомер $^{130}\text{La}$

При облучении ускоренными ионами  $^{14}\text{N}$  с энергией выше 90 Мэв мишени олова ( $\approx 30$  мг/см<sup>2</sup>), обогащенной изотопом  $^{122}\text{Sn}$ , и тонкой мишени сурьмы (6 мг/см<sup>2</sup>) была найдена ранее неизвестная активность с периодом полураспада  $T_{1/2} = (9,2 \pm 0,5) 10^{-3}$  сек. На рисунке 7 приведен гамма-спектр этой активности.

Измеренная при облучении  $\text{Sb}$  ионами  $^{12}\text{C}$  функция возбуждения реакции, приводящей к образованию новой активности, показана на рисунке 5б. Из того, что такая активность не была найдена при облучении мишени сурьмы, обогащенной изотопами  $^{121}\text{Sb}$  на 99,8%, следует, что реакция происходит на изотопе  $^{123}\text{Sb}$ . Положение максимума функции возбуждения совпадает с рассчитанным значением для испарения пяти нейтронов из составного ядра  $^{135}\text{La}$ . Вид функции возбуждения реакции  $^{122}\text{Sn} + ^{14}\text{N}$  (рис. 8) соответствует реакции испарения 6 нейтронов  $^{122}\text{Sn} (^{14}\text{N}, 6n) ^{130}\text{La}$ . Возможность реакций  $^{123}\text{Sb} (^{12}\text{C}, p2n) ^{132}\text{Ba}$  и  $^{123}\text{Sb} (^{12}\text{C}, p3n) ^{131}\text{Ba}$  исключается отсутствием данной активности среди продуктов реакций  $^{124}\text{Sn} (^{12}\text{C}, 4n) ^{132}\text{Ba}$  и  $^{124}\text{Sn} (^{12}\text{C}, 5n) ^{131}\text{Ba}$ , а облучение  $^{127}\text{J}$   $\alpha$ -частицами с энергией, соответствующей испарению одного и двух нейтронов, на выведенном пучке циклотрона У-120 в Центральном институте ядерных исследований Немецкой Академии наук в Россендорфе показало, что реакции  $^{123}\text{Sb} (^{12}\text{C}, \alpha n) ^{130}\text{Cs}$  и  $^{123}\text{Sb} (^{12}\text{C}, \alpha 2n) ^{129}\text{Cs}$  также можно исключить.

В задержанном гамма-спектре были обнаружены две линии  $E_x = 34$  кэв и  $E_{\gamma} = (95 \pm 5)$  кэв, причем линия  $E_x$  с большой вероятностью является рентгеновской линией. Отношение этих линий составляет

$$I_x / I_{\gamma} = 5,1 \pm 0,2.$$

Предполагая, что линия  $E_x = 34$  кэв является рентгеновской, получаем коэффициент конверсии К-оболочки  $a_K = 5,1 \pm 0,2$ , что соответствует мультипольности E3 или M2. E3 исключается из-за короткого периода полураспада и из-за отсутствия сильного пика электронов внутренней конверсии на L+M-оболочке. Изомерное состояние имеет энергию возбуждения  $E = 95 \pm 5$  кэв. Фактор запрета изомерного перехода, по оценке Мошковского, составляет  $F \approx 10^3$ .

#### 4. Обсуждение

Целью настоящей работы являлось исследование ядер в области  $Z > 54$  и  $N < 78$ , в которой, по предсказанию Шелайна<sup>/3,4/</sup>, ядра должны быть деформированными. Так как оба изомера являются изомерами нечетно-нечетных ядер, а спины основных состояний этих ядер недостаточно известны, то пока невозможно определить квантовые характеристики изомерных уровней. Только из существования наблюдаемых нами изомерных переходов в  $^{128}\text{La}$  и  $^{130}\text{La}$  невозможно сделать определенное заключение о деформации этих ядер. Интерпретация изомеров кажется возможной и с помощью модели Нильсона, и с помощью модели оболочек сферических ядер.

В заключение авторы выражают благодарность профессору Г.Н. Флерову за интерес к работе, группе эксплуатации циклотрона У-150 во главе с Б.А. Загером и В.С. Алфеевым, обеспечившей четкую работу ускорителя, В.В. Чермошценеву за помощь при обработке данных.

#### Л и т е р а т у р а

1. H.F.Brinckmann, C.Helser, K.F.Alexander, W.Neubert, H.Rotter. Nucl. Phys., 81, 233 (1966).
2. T.J.Klingen, G.R.Choppin. Phys. Rev., 130, 1990, 1996 (1963).
3. R.K.Sheline, T.Sikkeland, R.Chanda. Phys.Rev.Letters, 7, 446 (1961).
4. E.Marshalek, L.Whu Person, R.K.Sheline. Rev. Mod. Phys., 35, 108 (1963).
5. L.C.Northcliffe. Ann. Rev. Nucl. Sciences, 13, 67 (1963).
6. N.N.Abdelmalek, V.S.Stavinsky. Nucl. Phys., 58, 601 (1964).
7. В.В.Бабинов. Препринт ОИЯИ, Р-1351, Дубна, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 октября 1968г.

Таблица 1

Расстояние поглотитель- детектор (мм)	Толщина поглотителя из $Sb_2$ ( $mg/cm^2$ )	Толщина поглотителя из $Te_2$ ( $mg/cm^2$ )	Интенсивность рентг. линии с $Te$
			Интенсивность рентг. линии с $Sb$
40	47,3	47,3	$0,84 \pm 0,23$
2	110	110	$0,84 \pm 0,25$

число импульсов

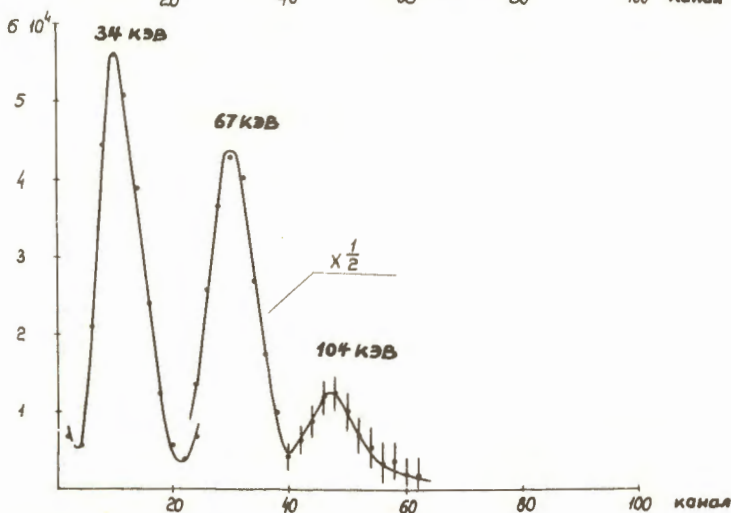
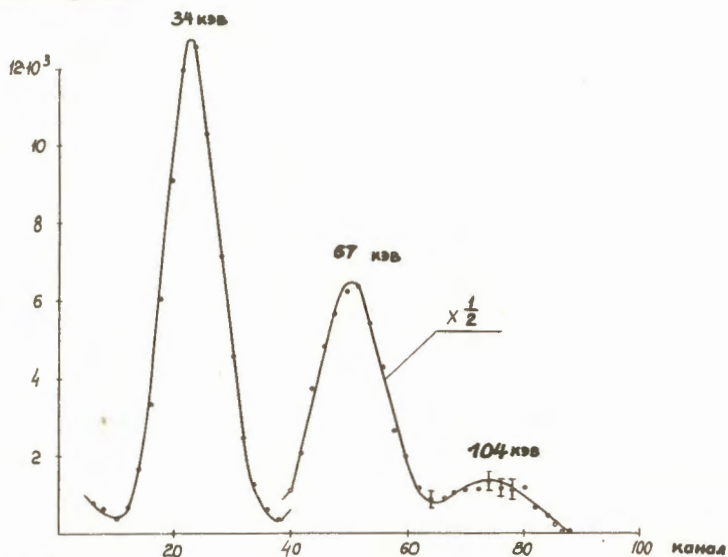


Рис. 1. Гамма-спектр изомера  $^{129m}\text{La}$ , измеренный после облучения (0,2 сек), в заданных интервалах между импульсами циклотрона.

Время измерения эффекта - 3,2 сек,

Время задержки - 0,5 сек,

Время измерения фона - 3,2 сек:

а) из реакции  $\text{Sb} + {}^{12}\text{C}$ ,

б) из реакции  ${}^{119}\text{Sn} + {}^{14}\text{N}$ .



ЧИСЛО ИМПУЛЬСОВ

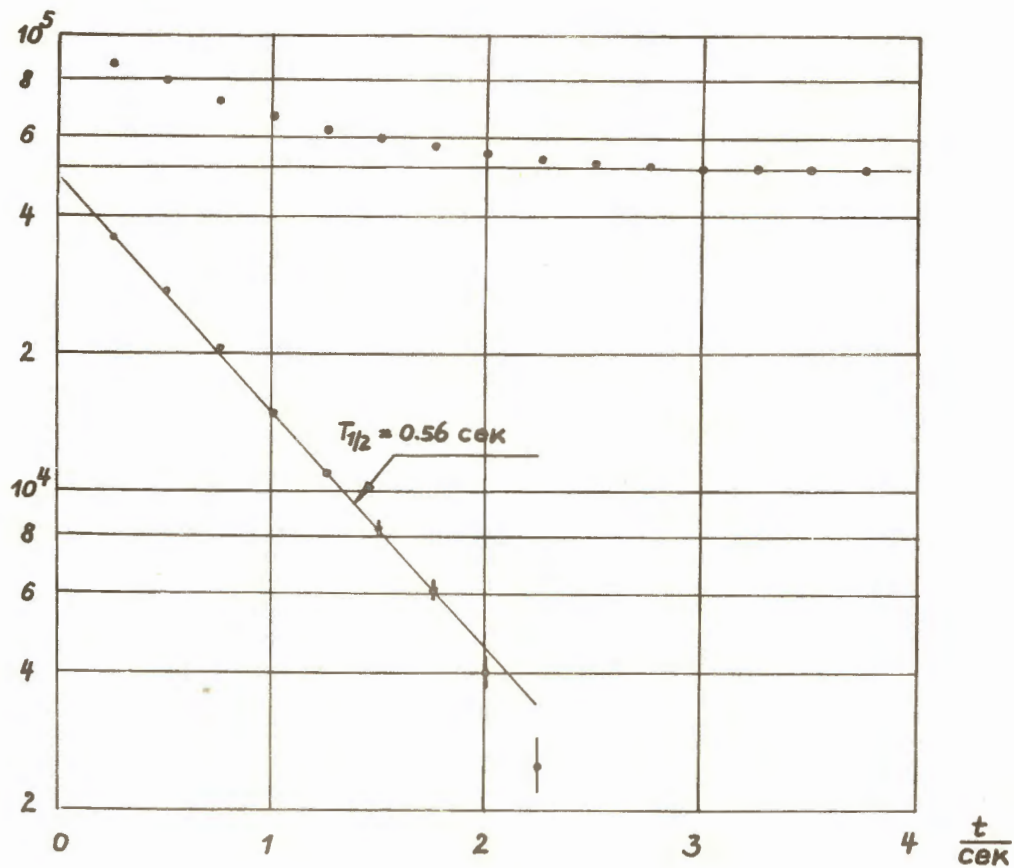


Рис. 2. Распад изомера  $^{128m}\text{La}$ , измеренный на двухмерном анализаторе.

Выход

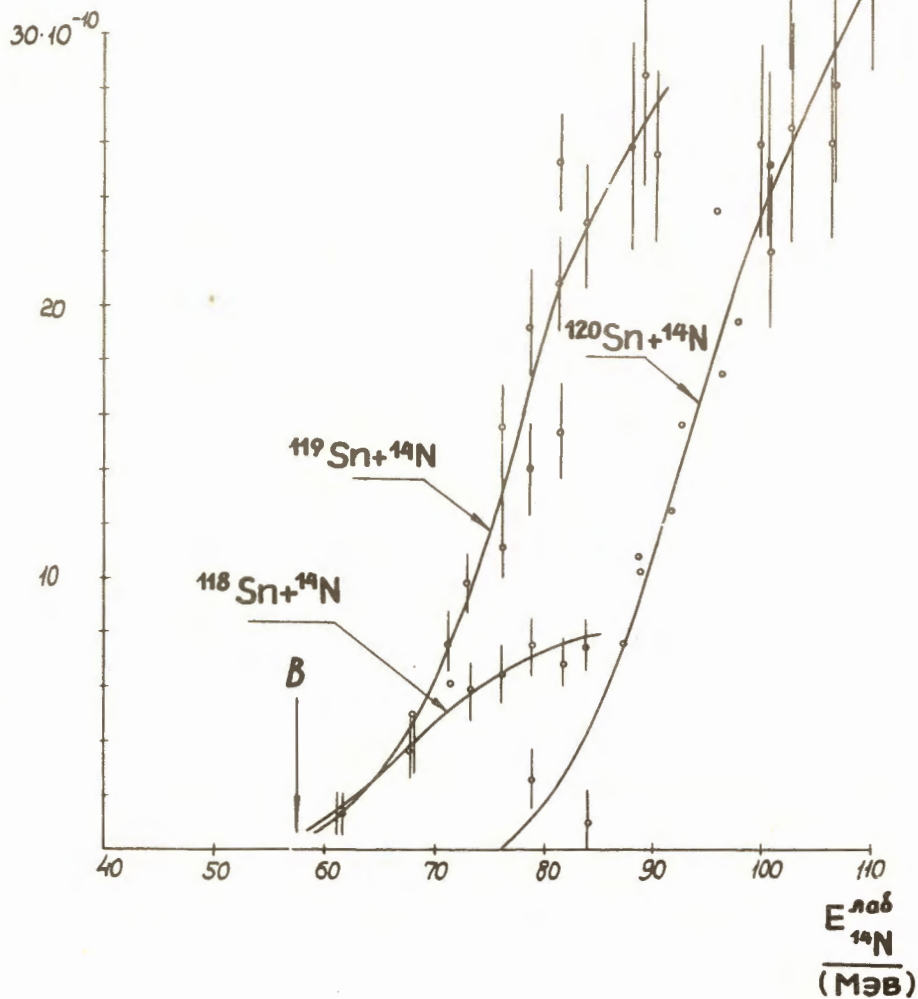


Рис. 3. Кривые возбуждения, измеренные для мишеней олова:  $^{118}\text{Sn}$  ( $30 \text{ мг/см}^2$ ),  $^{119}\text{Sn}$  ( $35 \text{ мг/см}^2$ ),  $^{120}\text{Sn}$  ( $40 \text{ мг/см}^2$ ).

сечение  
(мбарн)

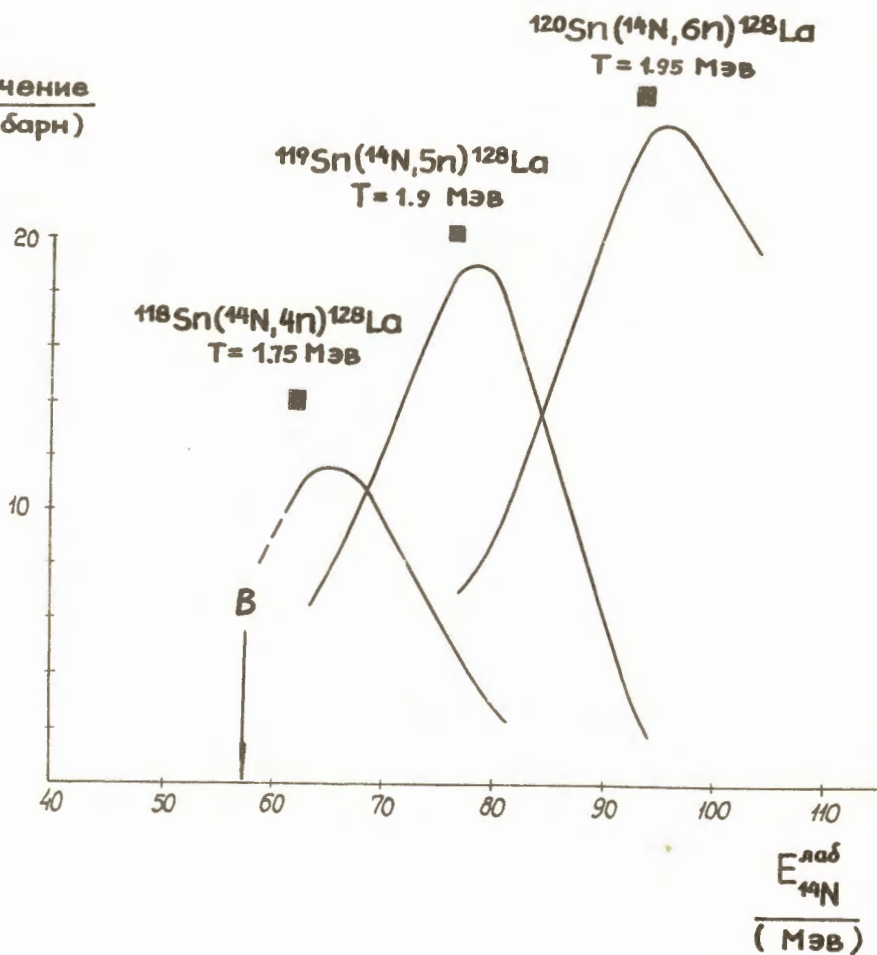


Рис. 4. Функции возбуждения для линий  $E_{\gamma 1} = 675$  кэв, рассчитанные из кривых рис. 3 с учетом эффективности и тормозной способности ускорения ионов азота в веществе  $Z = 49/57$ . Знак  $\blacksquare$  обозначает положение максимума реакции  $(^{14}\text{N}, xn)$ , рассчитанного из уравнения

$$E_{\text{св}} = \Lambda + \sum_{n=1}^{\infty} V_n + 2xT + (E_{\text{рот}}).$$

Здесь  $\Lambda$  - упаковка.  $V_n$  - энергия связи  $n$ -го нейтрона.  $T$  - температура ядра, рассчитанная из уравнения  $E_{\text{св}} = E_{\text{рот}} + aT^2$ . Причем параметр  $a$  рассчитан с помощью эмпирической формулы, взятой из работы [8].  $E_{\text{св}}$  - энергия возбуждения.  $E_{\text{рот}} = \hbar^2 \frac{1}{2} \tilde{I}^2 / 2I_0$ ;  $\tilde{I}$  взят из работы [7],  $I_0$  - момент инерции составного ядра,  $I_0 = \frac{2}{5} m R^2$ .

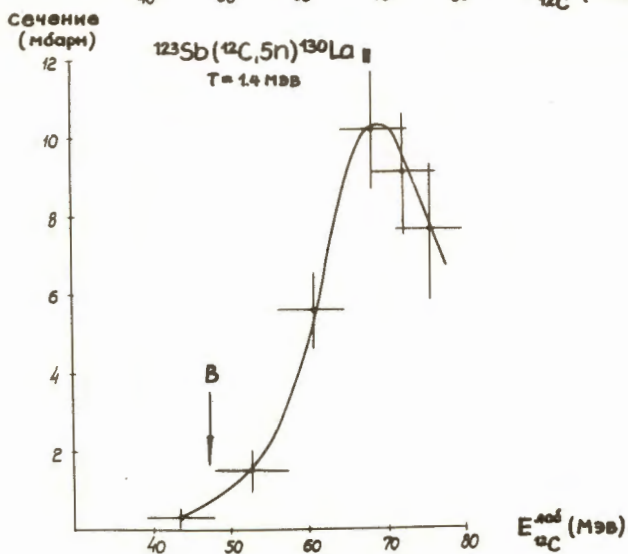
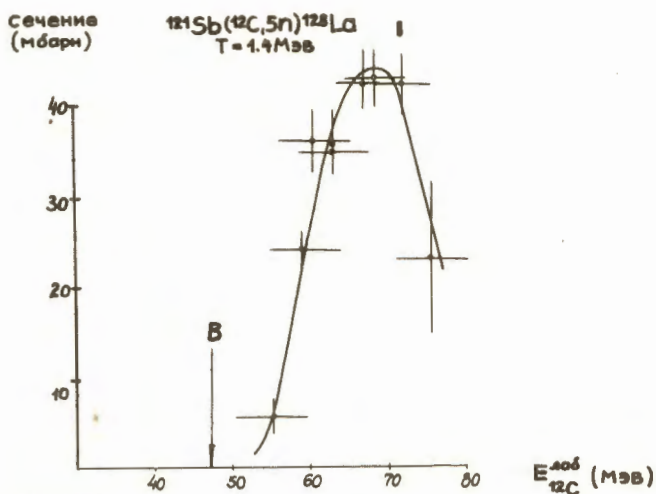


Рис. 5. а) Функция возбуждения изомера  $^{123\text{m}}\text{La}$  (для линии  $E_{\gamma 1} = 875 \text{ кэВ}$ ), измеренная для тонкой мишени сурьмы ( $8 \text{ мг/см}^2$ ).  
 б) Функция возбуждения изомера  $^{130\text{m}}\text{La}$  (для линии  $E_{\gamma} = 95 \text{ кэВ}$ ), измеренная для той же мишени.

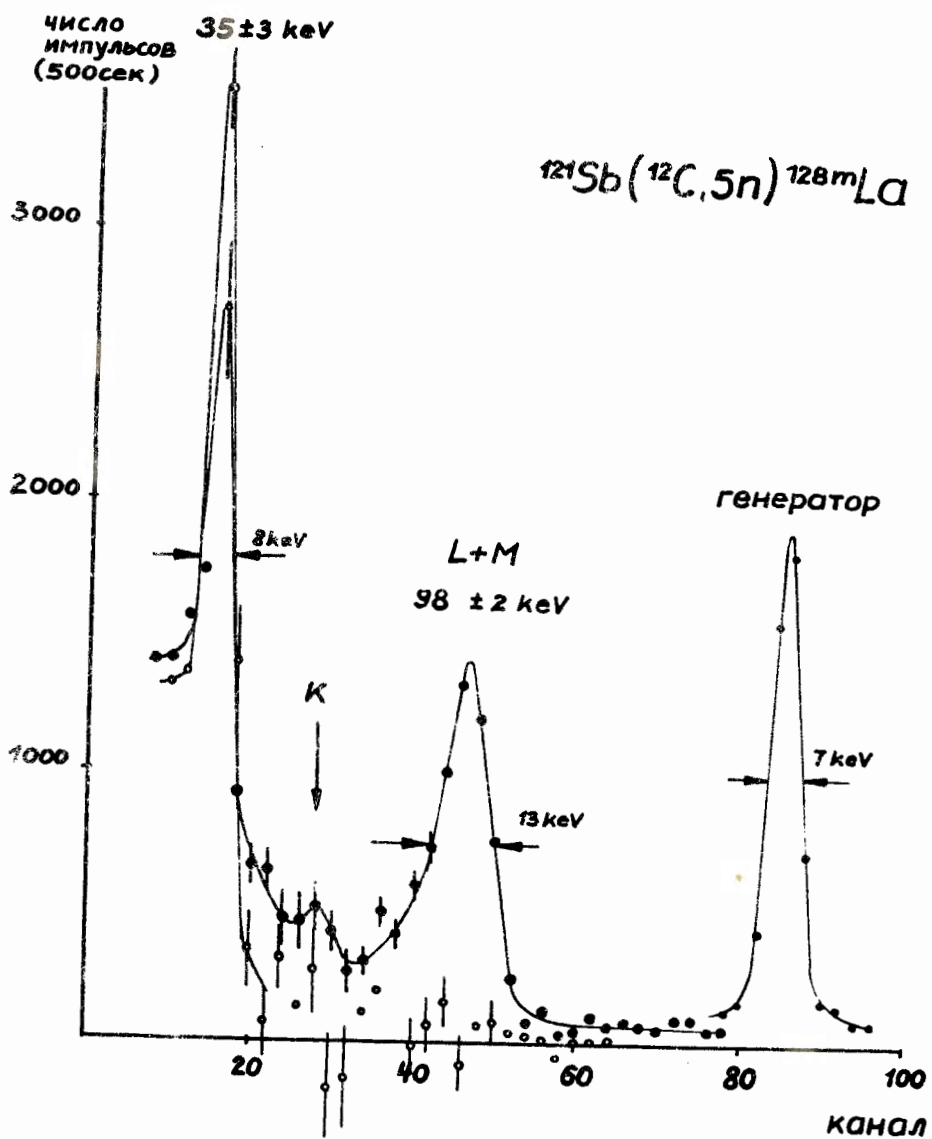


Рис. 6. Спектр конверсионных электронов  $^{128\text{m}}\text{La}$ , измеренный полупроводниковым детектором Si(Li) эффективной толщиной 2,3 мм и площадью 0,65 см<sup>2</sup>. Толщина мишени  $\approx$  800 мкг/см<sup>2</sup>, ● точки без поглотителя, ○ точки с алюминиевым поглотителем (30 мкг/см<sup>2</sup>).

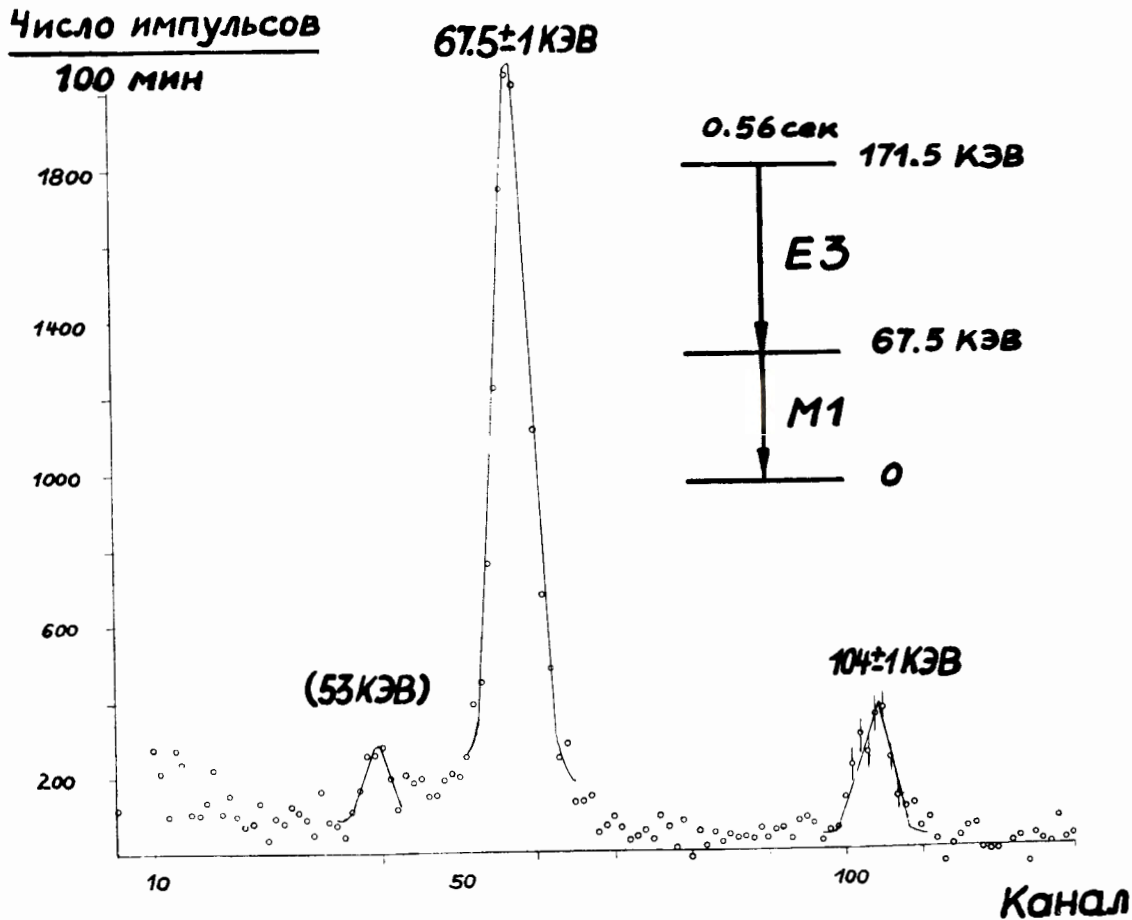


Рис. 7. Гамма-спектр  $^{128m}\text{La}$ , измеренный германиевым детектором эффективной толщиной 2,5 мм.

**ЧИСЛО ИМПУЛЬСОВ**

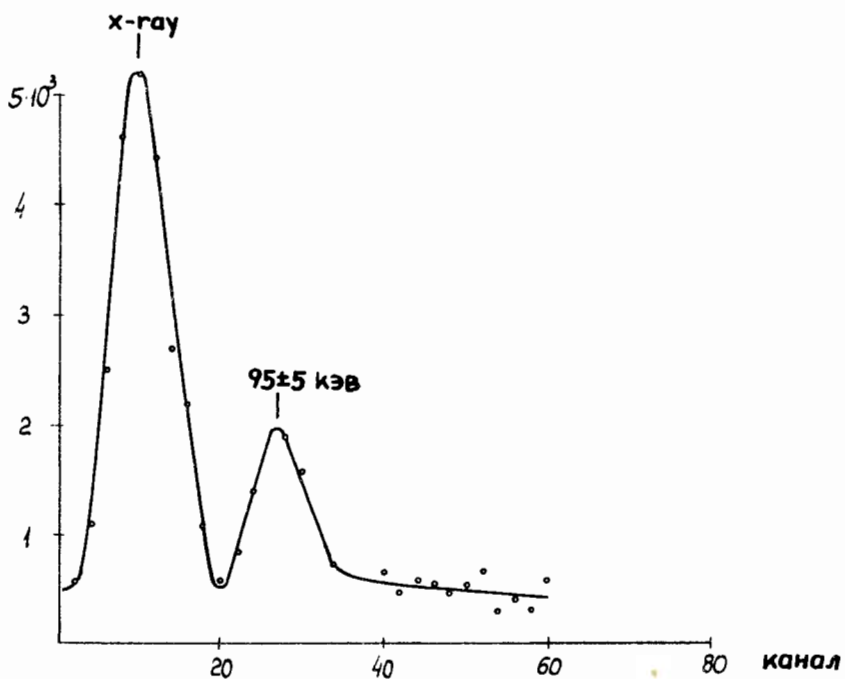


Рис. 8. Гамма-спектр  $^{130m}\text{La}$ , измеренный после облучения ( $2,5 \cdot 10^{-3}$  сек) в заданных интервалах между импульсами  
время измерения эффекта - 0,032 сек,  
время задержки - 0,1 сек,  
время измерения фона - 0,032 сек.

## Выход

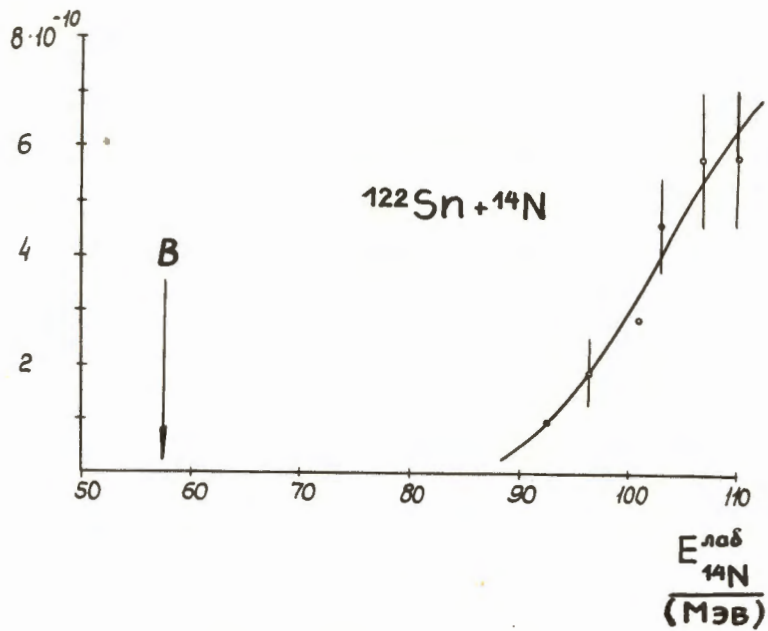


Рис. 9. Выход изомера  $^{130\text{m}}\text{La}$  из реакций  $^{122}\text{Sn} + ^{14}\text{N}$ , измеренный для толстой мишени  $^{122}\text{Sn}$  ( $40 \text{ мг/см}^{-2}$ ).