

С 341.1Г

A-401

31V 1967

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P7 - 3185



К. Александер, В. Нойберт, Х. Роттер

НОВЫЙ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫЙ ИЗОМЕР ЦЕЗИЯ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1967.

P7 - 3185

4884/1. чр.

К. Александер, В. Нойберг, Х. Роттер

НОВЫЙ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫЙ ИЗОМЕР ЦЕЗИЯ

ОБЪЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
БЕТА-РАДИОГРАФИЯ

## 1. В в е д е н и е

Целью настоящей работы являлось дальнейшее исследование ядер в области  $Z \geq 54$  и  $N \geq 78$ , в которой ядра должны быть деформированными<sup>/1,2/</sup>. Описание экспериментальной методики дано ранее<sup>/3/</sup>.

## 2. Экспериментальные результаты

При облучении ускоренными ионами  ${}^{14}_7\text{N}$  мишени кадмия, обогащенной изотопом  ${}^{112}\text{Cd}$  (89,7%), была найдена новая активность с периодом полураспада  $T_{1/2} = (0,5 \pm 0,05)$  сек. Гамма-спектр и распад этой активности показаны на рисунках 1 и 2. В гамма-спектре кроме рентгеновского пика наблюдается линия с энергией  $E_\gamma = 98 \pm 10$  кэв. Такая же активность была возбуждена при облучении ускоренными ионами  ${}^{12}_6\text{C}$  мишени индия, обогащенной изотопом  ${}^{113}\text{In}$  (66%).

Идентификация новой активности проводилась с помощью перекрестных реакций. Функции возбуждения реакций  ${}^{112}\text{Cd} + {}^{14}\text{N}$  и  ${}^{113}\text{In} + {}^{12}\text{C}$  имеют вид реакций с образованием составного ядра. Наиболее вероятные реакции с испарением нейтронов:



Чтобы исключить реакции типа  $(\text{NI}, \alpha \text{xn})$  и  $(\text{NI}, \text{pxn})$ , были изучены реакции, указанные в левом столбце следующей таблицы 1:

Т а б л и ц а 1

$(^{110}\text{Pd} (^{14}\text{N}, 3n) ^{121}\text{J})$	$^{112}\text{Cd} (^{14}\text{N}, \alpha n) ^{121}\text{J}$
$(^{110}\text{Pd} (^{14}\text{N}, 4n) ^{120}\text{J})$	$^{112}\text{Cd} (^{14}\text{N}, \alpha 2n) ^{120}\text{J}$
$^{116}\text{Cd} (^{12}\text{C}, 4n) ^{124}\text{Xe}$	$^{112}\text{Cd} (^{14}\text{N}, pn) ^{124}\text{Xe}$
$^{116}\text{Cd} (^{12}\text{C}, 5n) ^{123}\text{Xe}$	$^{113}\text{Cd} (^{14}\text{N}, p2n) ^{123}\text{Xe}$
$^{113}\text{Cd} (^{12}\text{C}, 3n) ^{122}\text{Xe}$	$^{112}\text{Cd} (^{14}\text{N}, p3n) ^{122}\text{Xe}$
$^{113}\text{Cd} (^{12}\text{C}, 4n) ^{121}\text{Xe}$	$^{112}\text{Cd} (^{14}\text{N}, p4n) ^{121}\text{Xe}$

Отсутствие данной активности среди продуктов этих реакций позволяет исключить реакции, указанные на правом столбце. Отсюда следует, что новая активность принадлежит цезию. Массовое число определялось следующим образом. Александер и Симонов<sup>/4/</sup> показали, что в области массовых чисел  $A = 140-151$  для различных реакций с испарением  $x$  нейтронов выполняется соотношение

$$\frac{\epsilon_x}{x} = \frac{E_{exc} - \sum_{i=1}^x B_{in}}{x} = 5.0 - 6.5 \text{ Мэв},$$

где  $E_{exc}$  - энергия возбуждения, соответствующая положению максимума сечения образования данной активности с учетом полного сечения<sup>/8/</sup>  $B_{in}$  - энергия связи  $i$ -ого нейтрона<sup>/9/</sup>.

В данном случае величина  $\frac{\epsilon_x}{x}$  принимает следующие значения:

$$^{112}\text{Cd} (^{14}\text{N}, xn) ^{120-x}\text{Cs} \quad \frac{\epsilon_4}{4} = 7,0 \pm 1,0 \text{ Мэв} \quad \frac{\epsilon_5}{5} = 3,75 \pm 0,8 \text{ Мэв}$$

$$^{113}\text{Jn} (^{12}\text{C}, xp) ^{125-x}\text{Cs} \quad \frac{\epsilon_3}{3} = 6,1 \pm 1,3 \text{ Мэв} \quad \frac{\epsilon_4}{4} = 2,3 \pm 0,9 \text{ Мэв}.$$

На основе этих данных трудно сделать однозначный вывод о величине массового числа. Для исключения этой неоднозначности была измерена функция возбуждения реакции  $^{113}\text{Jn} (^{12}\text{C}, 4n) ^{121}\text{Cs}$ . Изотоп  $^{121}\text{Cs}$  был обнаружен недавно<sup>/10/</sup>. Период

полураспада  $T_{1/2} = 2,3 \pm 0,3$  мин согласуется с данными этой работы<sup>/10/</sup> (рис.4).

Значение  $\frac{\epsilon_4}{4}$  для реакции образования активности с  $T_{1/2} = 2,3$  мин равно  $5,2 \pm 1,0$ , что согласуется с идентификацией этой активности как  $^{121}\text{Cs}$ . Рассчитанная по интенсивности рентгеновской линии с учетом отношений  $\frac{\epsilon_K}{\beta^+}$  и  $\frac{\epsilon_K}{\epsilon_{L1}}$  и  $\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{L1}}$  функция возбуждения реакции  $^{113}\text{Jn} (^{12}\text{C}, 4n) ^{121}\text{Cs}$  показана на рис. 3. Сечение образования основного состояния  $^{121}\text{Cs}$  превышает сечение образования активности с периодом полураспада 0,5 сек в 3-4 раза и максимум расположен примерно на 10 Мэв выше максимума функции возбуждения активности с  $T_{1/2} = 0,5$  сек. Такие данные можно интерпретировать следующим образом:

1) Активность с  $T_{1/2} = 0,5$  сек принадлежит ядру  $^{122}\text{Cs}$ .  $^{122}\text{Cs}$  - неизвестный изотоп. При этом возможны два случая:

а) Ядро  $^{122}\text{Cs}$  претерпевает К-захват с периодом  $T_{1/2} = 0,5$  сек. Такой период в ядре  $^{122}\text{Xe}$  должен иметь сильную компоненту  $\beta^+$ -распада, т.е. отношение  $\frac{\beta^+}{K}$  должно превышать 25. В распаде аннигиляционного пика отсутствует компонента с периодом полураспада 0,5 сек. Кроме того, величина периода полураспада противоречит систематике периодов полураспада нечетно-нечетных нейтрондефицитных изотопов цезия ( $^{132}\text{Cs}$   $T_{1/2} = 6,48$  дн.;  $^{130}\text{Cs}$   $T_{1/2} = 30$  мин;  $^{128}\text{Cs}$   $T_{1/2} = 3,9$  мин,  $^{126}\text{Cs}$   $T_{1/2} = 1,6$  мин,  $^{124}\text{Cs}$   $T_{1/2} = 12$  мин).

б) Другой возможностью является, таким образом, только испускание гамма-квантов с возбужденного состояния ядра  $^{122}\text{Cs}$ , т.е. активность с  $T_{1/2} = 0,5$  сек обусловлена распадом изомера  $^{122m}\text{Cs}$ .

2) Активность с периодом полураспада 0,5 сек является изомером  $^{121}\text{Cs}$ .

Сдвиг положения максимума функции возбуждения образования активности с  $T_{1/2} = 0,5$  сек в область более низких энергий и уменьшение сечения образования обусловлены сравнительно малым спином изомерного состояния. Такой сдвиг максимума функции возбуждения наблюдался при образовании основного состояния  $^{140}\text{Tb}$ , спин которого меньше спина изомерного состояния<sup>/5/</sup>.

Определение мультипольности изомерного перехода проводилось путем сравнения экспериментального значения  $\frac{I_x}{I_y} = a_K = 7,3 \pm 1,2$  с теоретическими значениями  $a_K$ , приведенными в таблице 2<sup>/6/</sup>.

Т а б л и ц а 2

$\alpha$	E1	E2	E3	E4	M1	M2	M3	M4
$\alpha_K$	0,178	1,13	5,82	28,9	0,728	6,64	44,4	283
$\alpha_{K+M}$	0,033	0,69	16,84	310,8	0,135	1,995	30,05	454
$\frac{K}{L+M}$	5,4	1,64	0,35	0,093	5,4	3,31	1,48	0,625

Такое сравнение показало, что возможны мультипольности E3 и M2. В случае мультипольности E3 в спектре конверсионных электронов должен присутствовать сравнительно сильный пик, связанный с конверсией на L + M -оболочках.

Сравнение спектров электронов внутренней конверсии изомерного перехода  $^{128m}\text{La}$  ( $T_{1/2} = 0,56$  сек,  $E_\gamma = 104$  кэВ, мультипольность E3) <sup>/7/</sup> и данного перехода, измеренных с помощью кремниевого детектора Si(Li) (рис. 5), показывает, что мультипольность E3 исключается. По-видимому, изомерный переход имеет мультипольность M2. Фактор запрета в этом случае составляет

$$F = \frac{T_{1/2} \text{ экс}}{T_{1/2} \text{ мош}} = 1,5 \cdot 10^4.$$

### 3. О б с у ж д е н и е

Обнаруженный изомер относится к сильно нейтродефицитным изотопам цезия. У ядер подобных изотопов Ba и Xe обнаружены признаки деформации. Ожидается, что ядра цезия с  $A \leq 122$  также будут деформированными <sup>/10/</sup>. По исследованиям Кумар и Баренже <sup>/11/</sup> ядра с нечетным Z должны иметь небольшой положительный параметр деформации. Если изомер с периодом полураспада  $T_{1/2} = 0,5$  сек принадлежит  $^{121}\text{Cs}$ , то наиболее вероятным изомерным уровнем является уровень  $1/2^-/550/$ , близкий основному состоянию  $5/2^+/413/$ . Данный переход - сильный запрещен правилами отбора по асимптотическим квантовым числам. Если изомерный переход принадлежит  $^{122}\text{Cs}$ , то трудно делать какие-либо предположения относительно природы изомерного состояния, поскольку характеристики основного состояния неизвестны.

В заключение авторы выражают благодарность проф. Г.Н. Флерову за интерес к работе, группе эксплуатации циклотрона У-150 во главе с В.С. Алфеевым, обеспечившей четкую работу ускорителя, Х. Хайзеру и М. Гирр за помощь при измерениях и обработке данных.

### Л и т е р а т у р а

1. R.K. Shellne, T. Sikkeland, R. Chanda, Phys. Rev. Letters 7, 446 (1961)
2. E. Marshalek, L. Whu Person, R.K. Shellne, Rev. Mod. Phys. 35, 108 (1963)
3. H.F. Brinckmann, C. Heiser, K.F. Alexander, H. Rotter, W. Neubert Nucl. Phys. 81, 233 (1966)
4. G.N. Simonoff, J.M. Alexander, Phys. Rev. 133, B93 (1964)
5. R.D. Macfarlane, Phys. Rev. 126, 274 (1962)
6. Л.А. Слив. Гамма-лучи, изд. АН СССР, Москва-Ленинград 1961.
7. В. Нойберт, Х. Бринкманн, Х. Роттер, К. Александер, Х. Хайзер. Препринт ОИЯИ, Р7-2988, Дубна 1968.
8. В.В. Бабинов. Препринт ОИЯИ Р-1351, Дубна 1963.
9. P.A. Seeger, Nucl. Phys. 25, 1 (1961)
10. J.D'Auria, Thesis Yale University 1967
11. M. Baranger, K. Kumar, Phys. Rev. Letters 12, 73 (1964)

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 марта 1967 г.

Число импульсов  
200 сек

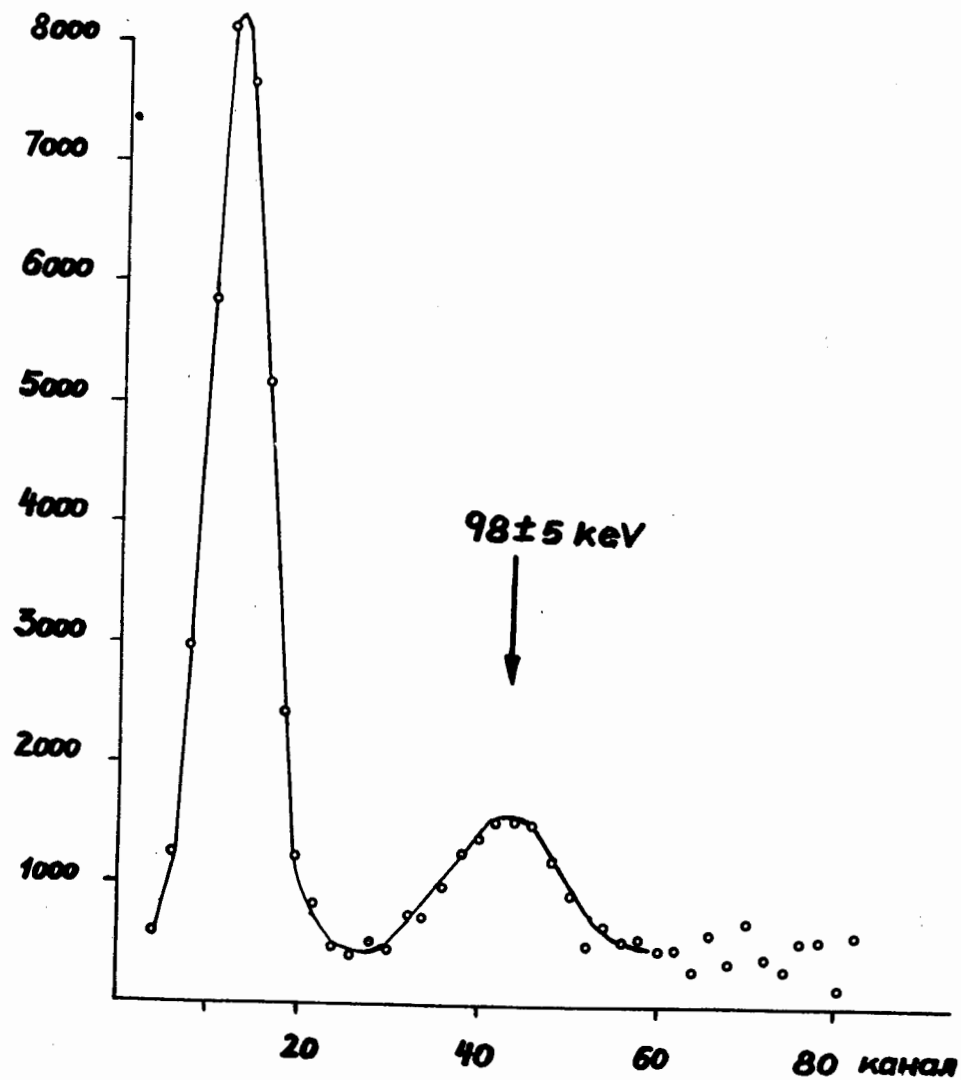


Рис. 1. Гамма-спектр изомера, измеренный после облучения (0,2 сек), в заданных интервалах между импульсами циклотрона. Время измерения эффекта - 1,6 сек; время задержки - 0,5 сек; время измерения фона - 1,6 сек.

Число импульсов

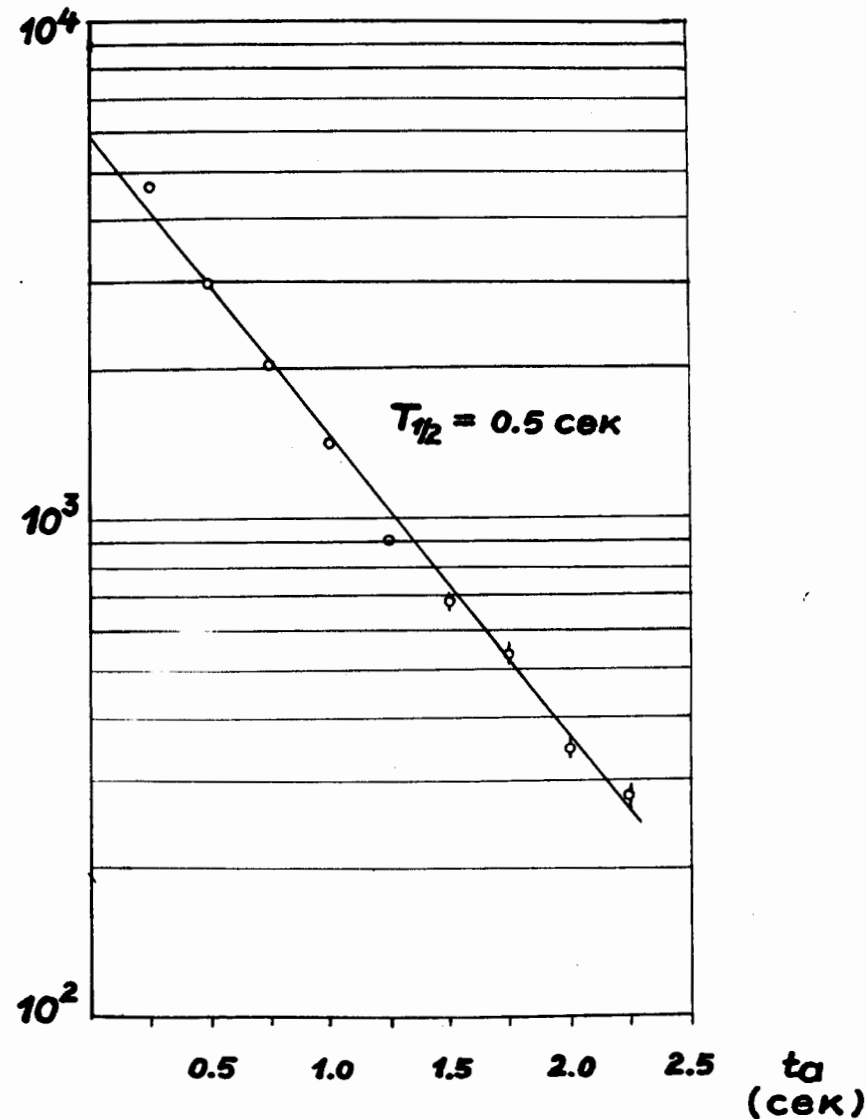


Рис. 2. Распад изомера, измеренный на анализаторе АИ-4096.

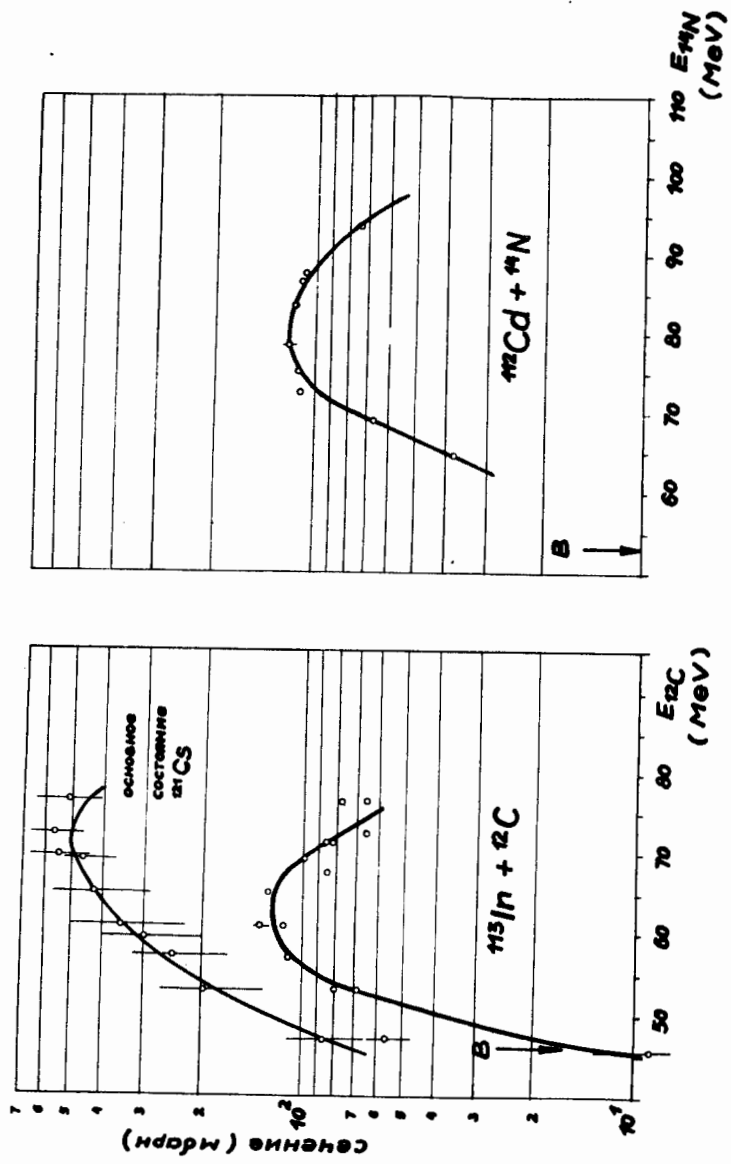


Рис. 3. Функции возбуждения изомера с периодом полураспада 0,5 сек для реакций  $^{115}\text{In} + ^{12}\text{C}$  и  $^{112}\text{Cd} + ^{14}\text{N}$  и функция возбуждения основного состояния  $^{121}\text{Cs}$ . Сечение образования изомерного состояния было рассчитано на основе M2-перехода.

### Число импульсов

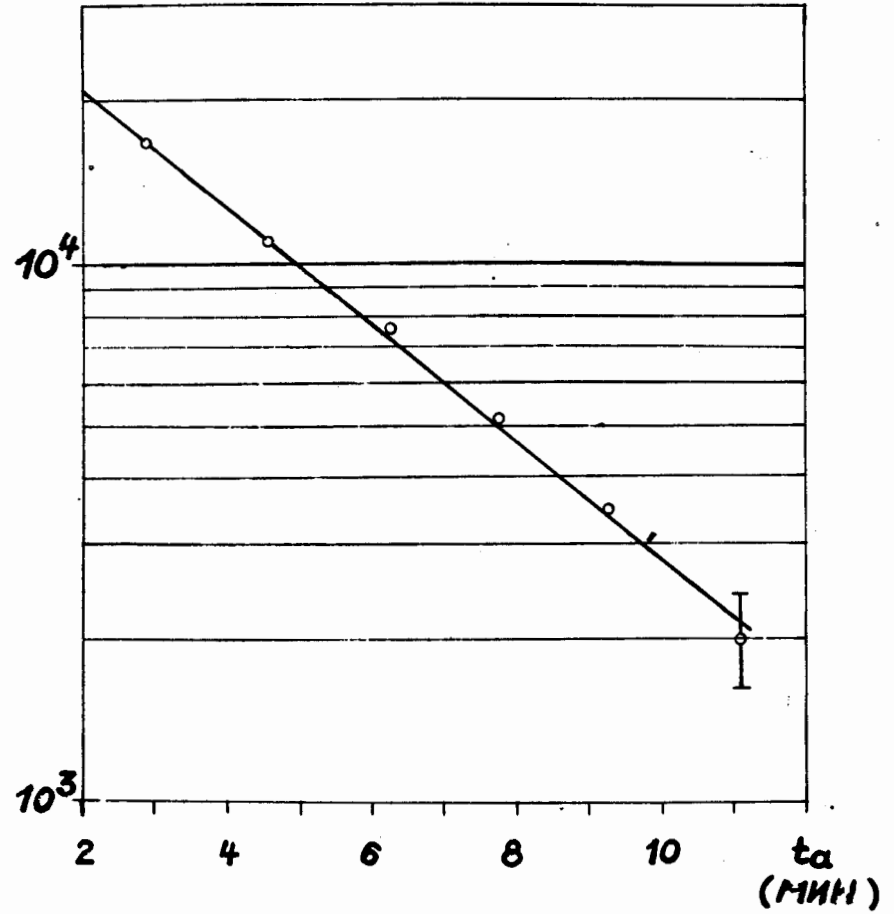


Рис. 4. Распад основного состояния  $^{121}\text{Cs}$  (измеренный на рентгеновской линии).

ЧИСЛО ИМПУЛЬСОВ  
5.6  $\mu$ AS

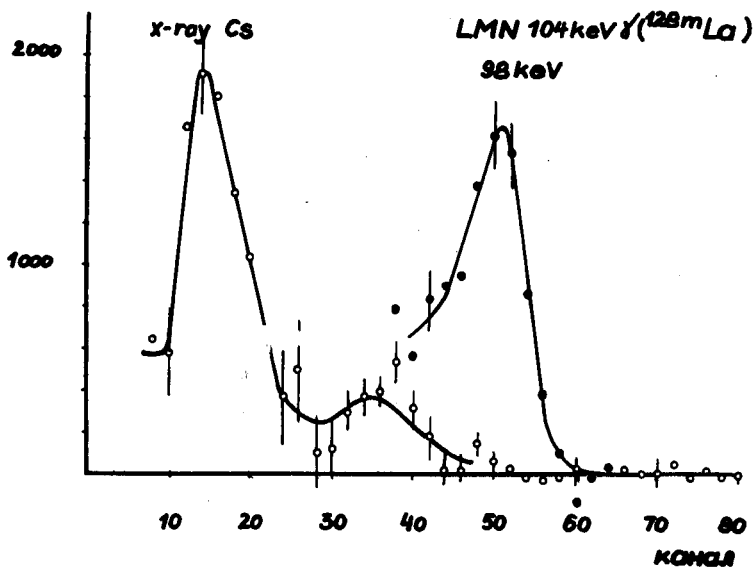


Рис. 5. Сравнение спектров электронов внутренней конверсии из реакций  $\text{Sb} + {}^{12}\text{C}$  и  ${}^{113}\text{In} + {}^{12}\text{C}$ . Нормирование на одинаковую толщину мишеней и интенсивность потока ионов. Спектры были измерены полупроводниковым детектором  $\text{Si}(\text{Li})$  эффективной толщиной 2 мм и площадью 19 мм<sup>2</sup>. Толщина мишени

${}^{113}\text{In}$ : 1,1 мг см<sup>-2</sup>;  $\text{Sb}$ : 0,8 мг см<sup>-2</sup>.