

A-828

Вкн.: Совещание по яд. спектроскопии и стр. ядра, 18-е... Рига, 1968^г с64-65.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 3540



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Р. Арльт, Б.Байер, Г.Музиоль, Л.К.Пекер
Г.Пфреппер, Х.Штрусный, Д.Христов

НОВЫЕ ИЗОМЕРНЫЕ СОСТОЯНИЯ
ПРИ РАСПАДЕ КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ

^{140}Sm , ^{141}Sm , ^{140}Pm

О РАСПАДЕ ИЗОТОПА ^{142}Pm

1967.

Доклад на X совещании по ядерной спектроскопии
нейтронодефицитных изотопов и теории ядра.
Дубна 27-30 июня 1967 г.

Р6 - 3540

7176/2
P. Арлт, Б. Байер, Г. Музиоль, Л. К. Пекер
Г. Пфреппер, Х. Штрусный, Д. Христов

НОВЫЕ ИЗОМЕРНЫЕ СОСТОЯНИЯ
ПРИ РАСПАДЕ КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ

^{140}Sm , ^{141}Sm , ^{140}Pm

О РАСПАДЕ ИЗОТОПА ^{142}Pm

Доклад на X совещании по ядерной спектроскопии
нейтрондефицитных изотопов и теории ядра.
Дубна 27-30 июня 1967 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. В в е д е н и е

В работе /1/ были открыты два новых короткоживущих изотопа самария способом многократного выделения дочерних изотопов ^{140}Nd и ^{141}Nd . Периоды полураспада, составляющие 13,7 д, 22,5 мин, соответственно, были определены в работе /1/ измерением периодов полураспада дочерних изотопов и экстраполяцией полученных результатов на момент выделения.

В настоящей работе применялась быстросействующая методика выделения изотопов самария. Интенсивность полученных препаратов была достаточна для прямого определения периодов полураспада на сплнтциляционном спектрометре и для измерения гамма-спектров на Ge(Li) -спектрометре. Кроме того был изучен распад цепочки $^{142}\text{Sm} \rightarrow ^{142}\text{Pm} \rightarrow ^{142}\text{Nd}$ с периодами распада 73 мин и 40 сек, соответственно, возникающий как примесь в препаратах фракции самария.

2. Экспериментальная методика

2.1. Получение изотопов ^{140}Sm и ^{141}Sm .

На внешнем пучке протонов с энергией 880 Мэв синхротронного ЛЯП ОИЯИ облучались в течение 20 мин мишени из фталосцианина диспрозия с величиной зерна 0,5 - 1,5 мк и весом 1 г в суспензии с 0,1 н. NH_4Cl . Непосредственно после облучения выделялся комплекс фталосцианина методом фильтрации.

Находящиеся в растворе продукты глубокого расщепления сорбировались сразу же катионитом Даукс - 50 x 8 (NH₄). Избирательное вымывание сорбента производилось на хроматографической колонке (h = 100 мм; φ = 2 мм) раствором аммония α - оксиизобутирата концентрацией 0,19 н. Самаревая фракция была получена в первых опытах через 30 мин, в последних, - через 20-22 мин после конца облучения.

Для измерения γ - спектров применялись жидкие источники объемом 0,1 мл в цилиндрических сосудах из плексигласа. Для измерения позитронного излучения были изготовлены жидкие источники радиусом 5 мм и толщиной около 50 мг/см² на алюминиевой подложке толщиной 2 мг/см². Равномерная толщина источника достигалась добавкой средства для понижения поверхностного натяжения жидкости.

2.2. Получение изотопов ¹⁴²Sm и ¹⁴²Pm.

Самаревая фракция была получена при облучении мишеней из Gd или Er на внутреннем пучке протонов с энергией 680 Мэв синхротронного ЛЯП ОИЯИ и хроматографическом разделении продуктов глубокого расщепления через 2-2,5 часа после облучения. Непрерывное выделение короткоживущих дочерних продуктов возможно осуществлять, применяя эффект Спилларда-Чалмерса на комплексах фталонцианина. Для перевода в комплекс фталонцианина нагревались активность самария с носителем 0,5 мг самария и 100 мг фталодинитрила до температуры 295°C в течение 5 минут. Комплекс растворялся в 0,25 мл хинолина и сорбировался на колонке с 500 мг силикагеля (величина зерна 0,1 - 0,3 мм). Образовавшийся ¹⁴²Pm элюировался непрерывно с помощью 0,01 н ЕДТА.

Для измерения γ - спектра, возникающего при распаде ¹⁴²Pm, был применен проточный метод, изображенный схематически на рис.1. Элюационная жидкость поступала вместе с атомами ¹⁴²Pm через тонкую трубку в измерительный объем емкостью 0,6 мл. При оптимальной скорости элюации 2 мл/мин и времени пребывания в измерительном объеме около 30 сек наблюдались примеси активности ¹⁴²Sm величиной 3%, при измерении аннигиляционного пика.

2.3. Измерительная аппаратура.

Измерения γ - спектров производились на сцинтилляционном γ - спектрометре с кристаллом NaJ(Tl) размером 7,5 x 5 см и энергетическим разреше-

нием 11% для γ - линии ^{187}Cs , а также с помощью детектора типа $\text{Ge}(\text{Li})$, с чувствительным объемом 5 см^3 и энергетическим разрешением 5-6 кэв в области энергии γ - квантов 500 кэв и скоростью счёта 3000 импульсов/сек. Для измерения позитронного спектра был применен антраценовый кристалл размером $20 \times 20 \text{ мм}$ с энергетическим разрешением 14-15% для линии ^{187}Cs . Для автоматической поправки потерь за счет мертвого времени анализирующей аппаратуры был применен метод сохранения "живого времени", что важно при определении периода полураспада короткоживущего изотопа.

Для измерения совпадений между γ - квантами и аннигиляционными квантами, возникающими при распаде Pm , была применена описанная в работе /2/ техника.

3. Результаты измерений

3.1. Распад изотопа ^{141}Sm

На рис.2 изображены γ - спектры самариевой фракции через 3 и 90 мин после выделения. Интенсивность γ - линии с энергией 195 кэв убывает с периодом полураспада $T_{1/2} = (21 \pm 2) \text{ мин}$ и 73 мин (см рис.3.) Компонента с периодом полураспада 73 мин относится к распаду ^{142}Sm , проявляющемуся под пиком с энергией 195 кэв комптоновским распределением аннигиляционного пика ^{142}Sm . Период полураспада $(21 \pm 2) \text{ мин}$ хорошо совпадает со значением, полученным в работе /1/ для изотопа ^{142}Sm . Поэтому мы приписываем пик с энергией 195 кэв распаду ^{141}Sm .

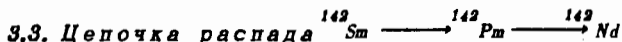
Для исследования γ - спектра ^{141}Sm он изучался с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ детектора. Рис.4 и 5 показывают γ спектр областях энергии 40-240 и 350-550 кэв соответственно. Принадлежность найденных γ - линий распаду ^{141}Sm выводится из постоянства отношения интенсивностей этих линий к интенсивности γ - линий с энергией 198 кэв. Полученные данные о γ - спектре ^{141}Sm приведены в таблице 1.

3.2. Распад изотопа ^{140}Sm

В γ - спектре, зарегистрированном с помощью сцинтилляционного спектрометра, не наблюдались γ - линии, интенсивность которых убывала с периодом полураспада $\approx 13 \text{ минут}$. В γ - спектре, зарегистрированном с помощью

Ge (Li)---спектрометра, были найдены три γ - линии, период полураспада которых явно меньше 20 минут (см.таблицу1). Вероятно, они относятся к распаду ^{140}Sm .

В позитронном спектре самариевых изотопов наблюдается высокоэнергетическая компонента с граничной энергией $E_{\beta^+} = 4500 \pm 400$ кэв, интенсивность которой падает с периодом полураспада (14 ± 1) мин. Это значение хорошо совпадает с периодом полураспада изотопа ^{140}Sm , определенным в работе /1/.



В γ - спектре самариевой фракции наблюдается γ - переход с энергией (1872 ± 5) кэв, интенсивность которого падает с периодом полураспада 73 мин. Принадлежность этого перехода распаду ^{142}Pm мы установили с помощью выше описанного проточного метода. После остановки потока вымывающей жидкости интенсивность активности в измерительном объеме падает с периодом полураспада (44 ± 4) сек. Эти данные хорошо согласуются с ранее приписанным распаду ^{142}Pm значением периода полураспада /3/.

Чтобы ответить на вопрос, идет ли β^+ - распад на уровень с энергией 1572 кэв, мы измеряли тройные совпадения между γ - излучением самариевой фракции и аннигиляционными квантами. В спектре тройных совпадений явно проявляется пик при энергии = 1800 кэв.

4. Обсуждение результатов

1. Распад $\text{Sm}^{141} \longrightarrow \text{Pm}^{141}$

Как известно, основное состояние нечетных ядер с $N = 79$ ($^{189}\text{Nd}^{79}$, $^{187}\text{Ce}^{79}$, $^{185}\text{Ba}^{79}$, $^{183}\text{Xe}^{79}$, $^{131}\text{Te}^{79}$) имеет спин и четность $3/2^+(d_{3/2})^{4/}$.

Можно ожидать, что и ядро $^{141}\text{Sm}^{79}$ в основном состоянии имеет такие же спин и четность.

Основное состояние дочернего ядра $^{141}\text{Pm}^{80}$ имеет спин и четность $5/2^+$ $5/2^+(d_{5/2})^{4/}$ в соответствии с данными о β - распаде.

β - распад между состояниями $d_{5/2} \xrightarrow{\beta^+} d_{3/2}$ разрешен. По систематике значений $\log ft$ ожидается $\log ft \leq 5,3$.

Энергия распада $^{141}\text{Sm} \longrightarrow ^{141}\text{Pm}$ составляет $Q_{\beta^+} = 5340; 4680$ и 4940 кэв в соответствии с работами /6,7,8/. Используя эти данные и найденный период

полураспада со значением около 22 мин, можно грубо оценить значение $\log ft$. Полученные таким образом значения 8,0; 8,8; 5,8, соответственно, оказываются существенно больше, чем ожидаемое значение $\log ft \leq 5,3$.

Поэтому можно предполагать, что найденный в работе ^{11/} распад с периодом полураспада, равным 22,5 мин, относится не к основному состоянию ¹⁴¹Sm ($d_{3/2}$), а к распаду изомерного состояния типа $h_{11/2}$. Отметим, что изомерное состояние такого типа известно во всех других ядрах с $N = 78$. На основании данных об энергиях возбуждения изомеров можно путем экстраполяции оценить энергию изомерного состояния в ¹⁴¹Sm. Из рис. 6, составленного по данным из ^{14/}, видно, что эта энергия составляет ≈ 215 кэВ.

Используя приведенные оценки Q_{β^+} и $\log ft \leq 5,3$, можно оценить ожидаемое значение периода полураспада для основного состояния ¹⁴¹Sm $d_{3/2}$; оно меньше 10 мин.

Как показывает систематика уровней $3/2^+$ и $1/2^+$ ($d_{3/2}$; $s_{1/2}$) соседних с ¹⁴¹Sm ядер, ¹⁴¹Gd может тоже иметь спин и четность $1/2^+$. В этом случае β^- -распад происходит на уровень $3/2^+$ в дочернем ядре. Переход этого типа характеризуется несколько большим значением величины $\log ft \approx 5,7$. Вследствие этого, а также вследствие меньшей энергии распада, ожидаемый период полураспада должен составлять ≥ 10 мин. В экспериментах такой период полураспада в цепочке с $A = 141$ не был найден. Не исключено, что спектр позитронов, измеренный нами, содержит помимо компоненты с граничной энергией $E_{\beta^+} = 4500 \pm 400$ кэВ и периодом полураспада 14 ± 1 мин еще вторую компоненту с $E_{\beta^+} < 4500$ кэВ, направленную на состояние с $3/2^+$ ¹⁴¹Pm.

В γ -спектре изотопа ¹⁴¹Sm были обнаружены наряду с другими линиями γ -линии с энергией 198,0 и 431,9 кэВ, причем первая из них - самая интенсивная в спектре.

В работе ^{18/} было обнаружено изомерное состояние ¹⁴¹Pm с временем жизни, равным $2,2 \cdot 10^{-3}$ сек. Спин этого состояния $I > 13/2$, энергия его больше 840 кэВ, как можно заключить из суммарной энергии каскадных γ -переходов с энергиями (190 ± 10) , (220 ± 10) и (430 ± 10) кэВ.

Возможно, γ -переходы 190 кэВ и 430 кэВ идентичны наблюдаемым нами переходам с энергией 198,0 и 431,9 кэВ. В этом случае можно ввести уровни с энергией 198,0 и 830 кэВ, причем их спин $I > 5/2$. Из сравнения первых

возбужденных уровней нечетных ядер Pm , можно ожидать первый возбужденный уровень ^{141}Pm при такой энергии со спином $I > = 7/2^+$ ($g_{7/2}$). (в этом случае γ - переход должен быть типа $M1 + (E2)$). Уровень при 630 кэВ должен тогда иметь спин $I \leq 9/2$. На основании данных об интенсивностях γ - линий можно думать, что уровень при энергии 630 кэВ заселяется непосредственно γ - распадом с состояния ^{141}Sm $h_{11/2}$. Уровень с энергией 630 кэВ не может быть идентичным с изомерным уровнем, распадающимся с временем жизни $2,2 \cdot 10^{-3}$ сек ^{/9/}, потому, что при распаде этого изомера возникают хотя бы три гамма-кванта, сумма энергий которых больше 630 кэВ. В работе Пекера ^{/10/} высказывается предположение о трехквартичном характере этого изомерного состояния. В этом случае разрядка изомерного уровня может происходить возбуждением уровней с характеристиками $19/2^-$, $15/2^+$, $11/2^+$, $7/2^+$ и $5/2^+$. В нашем случае при распаде изомерного состояния ^{141m}Sm , по-видимому, заселяется уровень $11/2^+$ с энергией 630 кэВ.

Учитывая высказанные выше предположения, схему распада ^{141}Sm можно построить так, как это показано на рис. 7. На рис.8 приводятся схемы распада $^{139}Nd \rightarrow ^{139}Pr$ и $^{137}Ce \rightarrow ^{137}La$ для сравнения (число нейтронов = 80) ^{/11,12/}.

4.2. Распад $^{140}Sm \rightarrow ^{140}Pm \rightarrow ^{140}Nd^{80}$
 Сравнивая данные о распаде цепочек $^{140}Sm \rightarrow ^{140}Pm \rightarrow ^{140}Nd^{80}$ и $^{138}Nd \rightarrow ^{138}Pr \rightarrow ^{138}Ce_{80}$, можно ожидать, что свойства обеих цепочек распадов будут очень похожи, так как входящие в них ядра имеют одинаковые числа нейтронов, а 58-ой, 59-ый и 60-ый протоны, судя по данным о соседних ядрах, находятся на одном и том же уровне $d_{5/2}$.

Так же, как и в ^{138}Pr , можно в ^{140}Sm ожидать наличия двух долгоживущих состояний. Одно из них - это основное состояние с $I^\pi = 1^+$ (с конфигурацией $p(d_{5/2})$ и $n(s_{1/2})$), распадающееся непосредственно на основное состояние ^{140}Nd с $\log ft = 4,5$. Другое - это изомерное состояние с $I^\pi = 6^-$, распадающееся на известный изомерный уровень ^{140}Nd с $I^\pi = 7^-$.

В работе ^{/13/} был недавно открыт изотоп ^{140}Pm , распадающийся будто бы с наблюдаемым периодом полураспада (6 ± 1) мин в изомерное состояние ^{140}Nd с характеристиками $I^\pi = 7^-$, найденное в работе ^{/14/}. Такой распад из основного состояния ^{140}Pm мало вероятен из-за большой разницы спинов.

В нашей работе был найден позитронный распад с периодом полураспада (14 ± 1) мин и граничной энергией $(E_{\beta^+} = 4500 \pm 400$ кэв $(Q_{\beta^+} = 5500 \pm 400$ кэв). В таблице №2 приведены оценки энергий распада для изотопов ^{140}Sm и ^{140}Pm /6,7,8,15/. Сопоставляя данные этой таблицы с экспериментальным значением $Q_{\beta^+} = 5500 \pm 400$ кэв можно однозначно заключить, что наблюдаемые позитроны с $E_{\beta^+} = 4500 \pm 400$ кэв могут возникать только при распаде основного состояния ^{140}Pm с $I^{\pi} = 1^+$. Используя значение $\log ft = 4,5$ и указанные оценки значения Q_{β^+} , легко видеть, что период полураспада основного состояния ^{140}Pm должен составлять ≈ 10 сек.

Предлагаемая на основании вышесказанной дискуссии схема распада цепочки ^{140}Sm изображена на рис.9.

В заключение авторы работы выражают благодарность И.Звольскому за предоставление детектора типа $\text{Ge}(\text{Li})$ и измерительной аппаратуры. Авторы также благодарят Н.А.Лебедева за выделения Sm - фракции для измерения распада ^{142}Pm .

Л и т е р а т у р а

1. Э.Херрманн, Г.Пфреппер, Д.Христов. Препринт ОИЯИ, Дубна 1966, P-2647.
2. К.Я.Громов, Ж.Желев, Кун Сян Цзин, Г.Музиоль, Хань Шу Жунь. Изв. АН СССР СССР, сер. физ. 29 (1965).
3. T.V. Marshall, J.O. Rasmussen. Phys. Rev. **113**, (1959), 895.
4. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекер, В.О.Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер А 100, Москва 1963, Ленинград.
5. Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, Л.К.Пекер. Препринт ОИЯИ P6-3448, Дубна 1967.
6. A.G.W. Cameron AECL - 434 (1957).
7. J. Ridell. AECL- 339 (1957).
8. P.A. Seeger, Nucl. Phys. **25** (61)1
9. В.В.Ремаев, Ю.С.Корда, А.П.Ключарев, А.М.Смирнов. ЖЭТФ 43(1966) 1649.
10. Структура сложных ядер. Атомиздат, Москва 1966, стр. 325.
11. М.П.Авотина и др. Доклад на X совещании по ядерной спектроскопии, Дубна 1967.
12. G.M.Lederer, J.M.Hollander and I.Permann. Table of Isotopes (Sixth Edition) New York 1967.

13. Aten Jr. A.H.W. and Kapteijn Johanna C. Physica 32 (1966) 1159.
14. В.В. Ремаев, Ю.С. Корда, А.П. Ключарев. Изв. АН СССР, (сер. физ.), 27 (1963) 125.
15. Г.Ф. Драницына. Материалы IV Совещания по нейтрондефицитным изотопам, Дубна 1962.
16. В.С. Бутцев и др. Препринт ОИЯИ Р8-3541, Дубна 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 октября 1967 года.

Т а б л и ц а 1

N	E_{γ}	I_{γ}^*	Примечание
1	2	3	4
I.	$39 \pm I$	-	x - лучи Pa
2.	$45 \pm I$	слабо	слабо
3.	$I4I, I_{\pm 0,5}$	(5)	T I/2 < 2I МИН
4.	$I98, 0_{\pm 0,5}$	I00	I4I - Sm
5.	$226, 2_{\pm 0,5}$	(8)	T I/2 < 2I МИН
6.	$404 \pm I$	(5)	T I/2 < 2I МИН
7.	$43I, 9_{\pm 0,5}$	45	I4I - Sm
8.	438 ± 2		
9.	5II	(700)	
IO.	$538 \pm I$	9	I4I - Sm
II.	608 ± 3	(2)	
I2.	64I		
I3.	$684 \pm I$	8	I4I - Sm
I4.	$773 \pm I$	33	I4I - Sm
I5.	780 ± 2		
I6.	800 ± 5	слабо	
I7.	833 ± 5		
I8.	855 ± 5		

*) Интенсивности γ - линий даны в единицах интенсивности линии с энергией 198 кэв. Погрешность интенсивностей зависит от ее абсолютной величины и составляет 10-30%. В скобках приведены интенсивности γ - переходов, не относящихся к распаду ^{141}Sm .

Таблица 1 (продолжение)

I	2	3	4
19.	885 ± 1		I4I- Pm μ
20.	906 ± 2	IO	I4I- Sm
21.	92I ± 2	слабо	
22.	979 ± 2		I4I- Sm
23.	II40 ± 3		I4I- Sm
24.	I2I9 ± 5		I4I- Pm
25.	I487 ± 5	I4	I4I- Sm
26.	I572 ± 5	(8)	I42- Pm
27.	I784 ± 5	IO	I4I- Sm

Т а б л и ц а 2

Изотоп Автор	$Q_{\beta^+}^{140\text{Sm}}$	$Q_{\beta^+}^{140\text{Pm}}$
Камерон	3769 кэВ	7083 кэВ
Леви	-	6223 кэВ
Сегер	3345 кэВ	6194 кэВ
Драницына	3818 кэВ	7109 кэВ

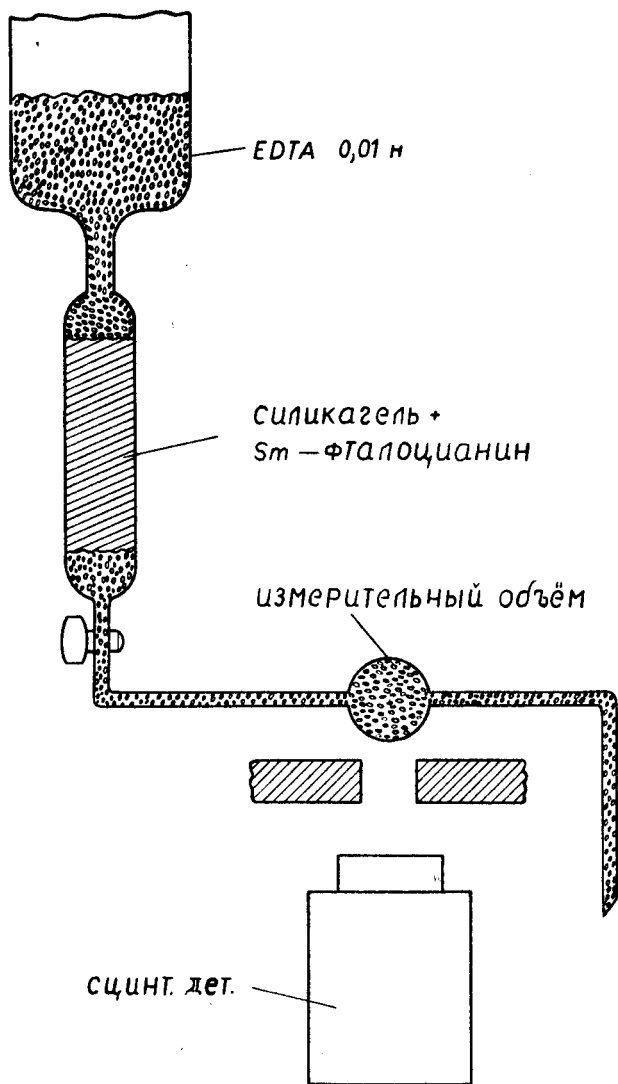


Рис.1. Схематическое изображение изобарического сепаратора для непрерывного измерения дочерних продуктов распада.

число импульсов

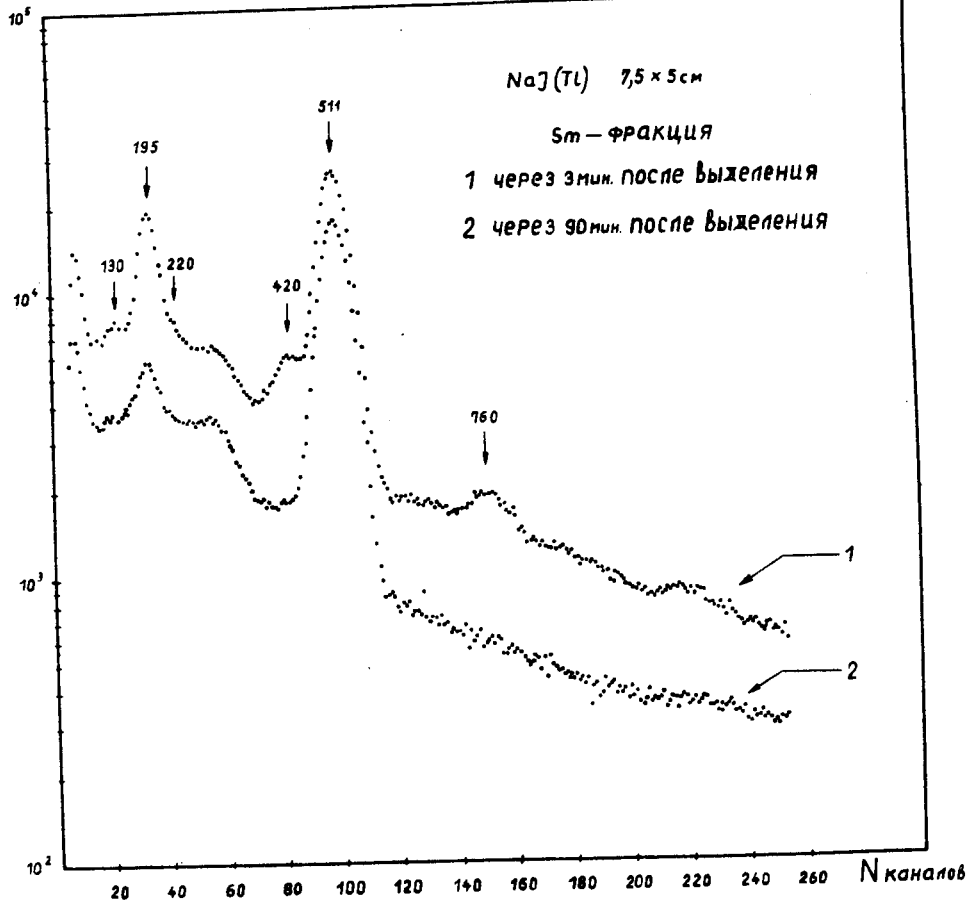


Рис.2. γ - спектр Sm - фракция.

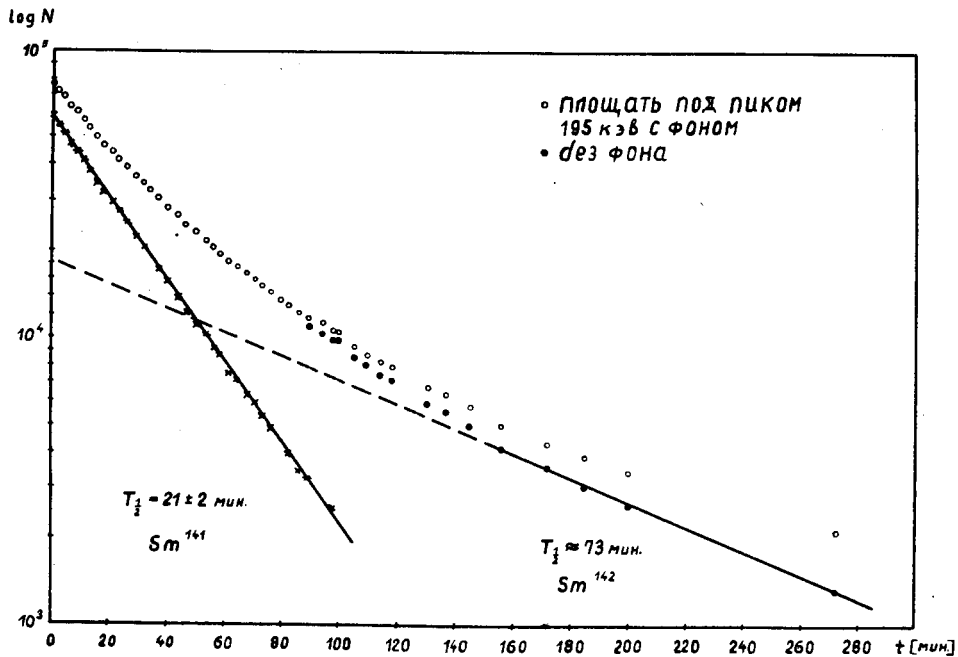


Рис.3. Кривая спада интенсивности γ - пика с энергией 198 кэв.

ЦМП./20 мин.

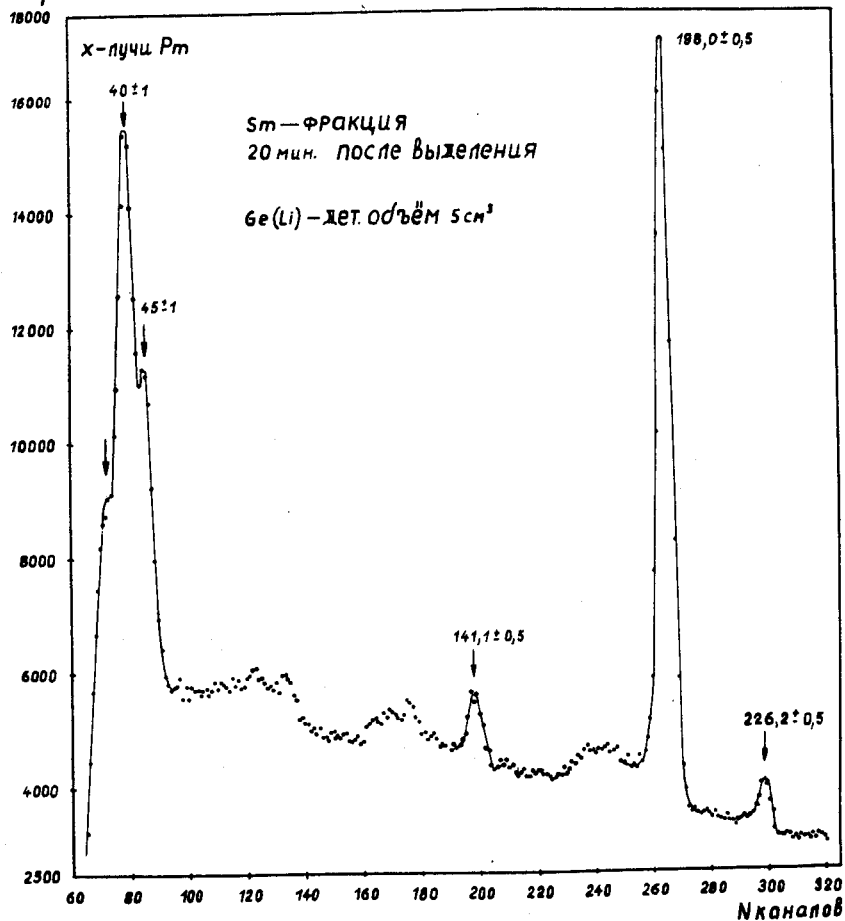


Рис.4. γ - спектр Sm - фракции в диапазоне энергий от 40 до 240 кэв.

ИМП/20 мин.

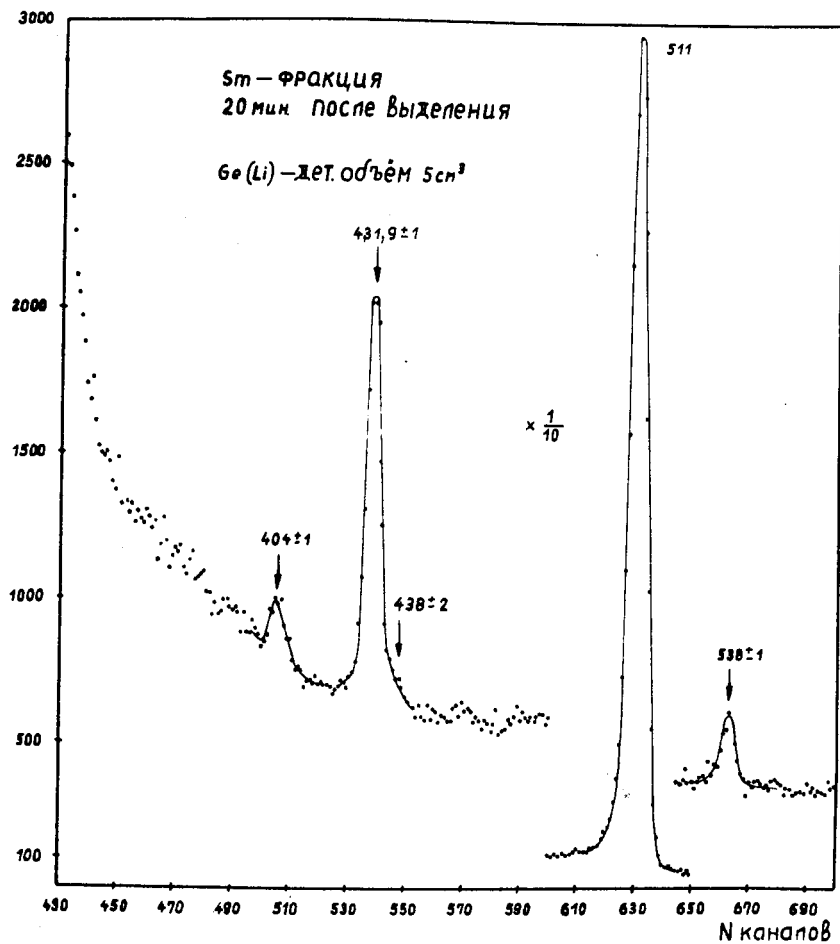


Рис.5. γ - спектр Sm - фракции в диапазоне энергий от 350 до 550 кэв.

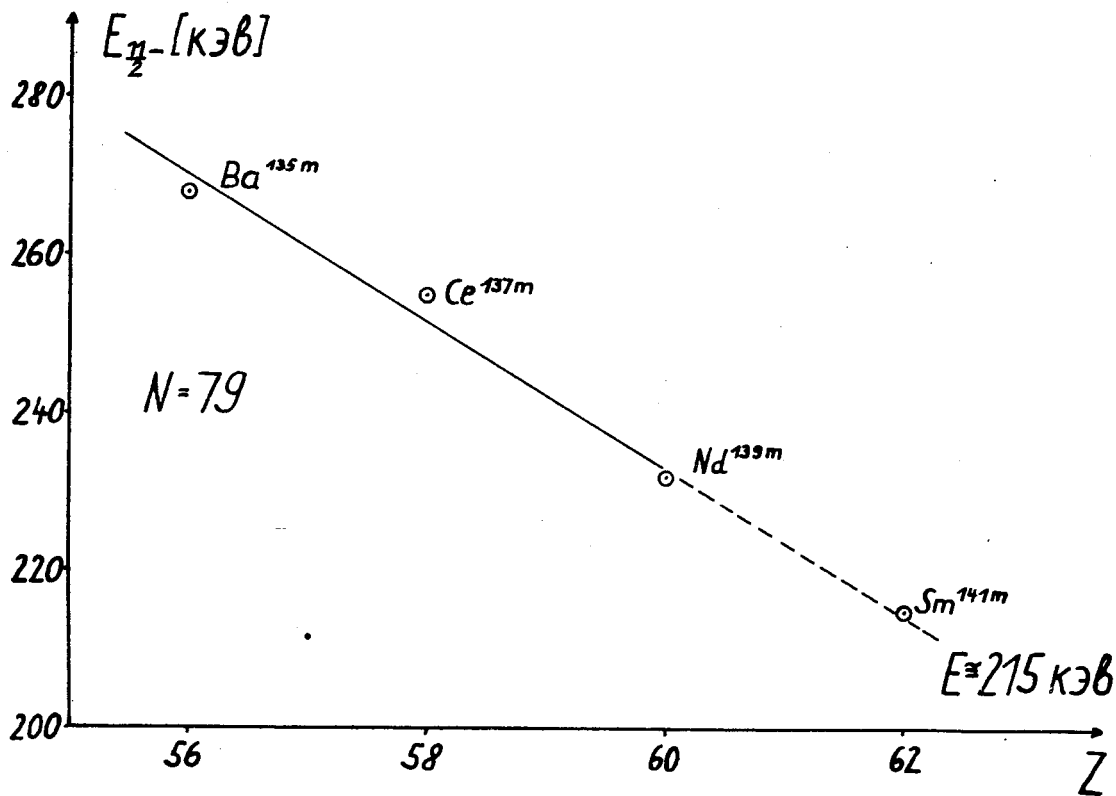


Рис.8. Энергия перехода $h_{\pi/2}$ при $N = 79$.

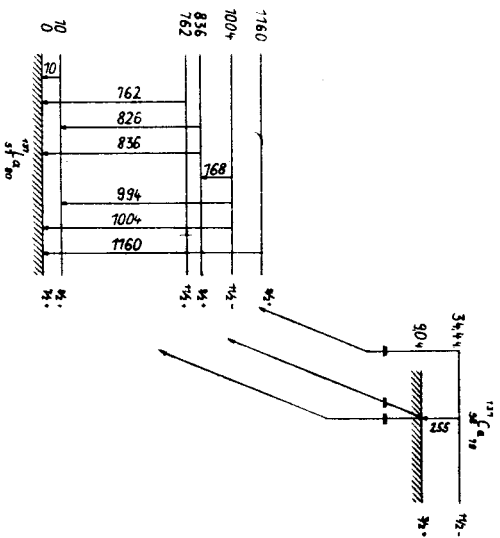
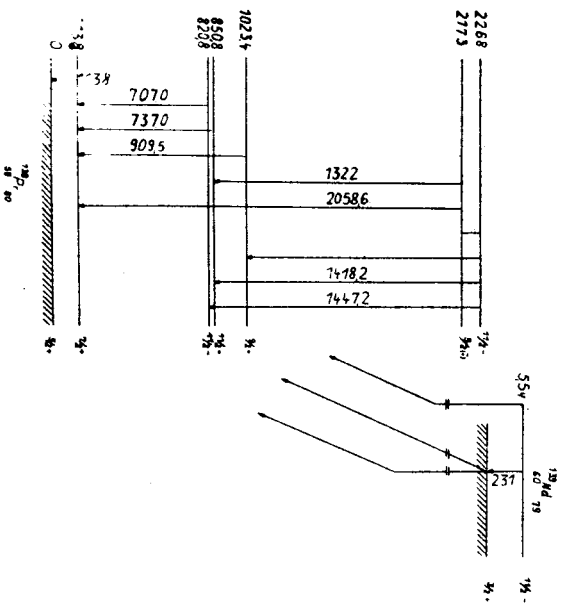


Рис.8. Схемы рачнада 139 Nd → 139 Pr, 137 Ce → 137 La /11,12/.

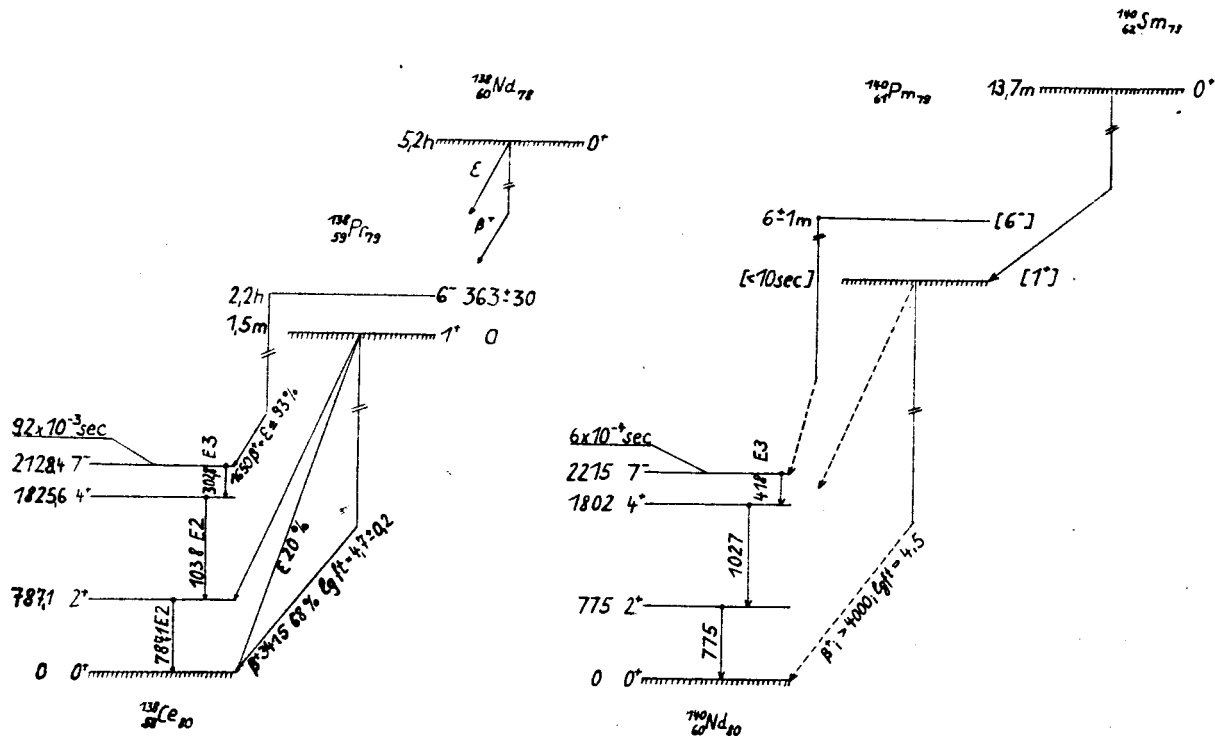


Рис. 9. Схема распада $^{140}\text{Sm} \rightarrow ^{140}\text{Pm} \rightarrow ^{140}\text{Nd}$. Для сравнения приводится схема распада $^{138}\text{Nd} \rightarrow ^{138}\text{Pr} \rightarrow ^{138}\text{Ce}$.