

75

A-143

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 3341



Л.Н. Абесалашвили, Ж. Желев, В.Г. Калинин,  
Я. Липтак, У. Назаров, Я. Урбанец

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

О РАСПАДЕ  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$

1967.

P6 - 3341

5074/3 af.  
Л.Н. Абесалашвили, Ж. Желев, В.Г. Калинин,  
Я. Липтак, У. Назаров, Я. Урбанец

О РАСПАДЕ  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$

Общественный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

### В в е д е н и е

Радиоактивный изотоп  $^{141}\text{Nd}$  ( $T_{1/2} = 2,42$  час<sup>/1/</sup>) путем  $\beta^+$ -распада и захвата орбитальных электронов превращается в  $^{141}\text{Pr}$ . При этом имеет место возбуждение некоторых ядерных состояний  $^{141}\text{Pr}$ .

Относительно излучения  $^{141}\text{Nd}$  к настоящему времени известно следующее. Позитронный распад  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$  происходит на основное состояние  $^{141}\text{Pr}$ , граничная энергия  $\beta$ -спектра  $E_{\text{гр}} = 790 \pm 20$  кэв<sup>/2/</sup>.

В ряде работ изучался спектр  $\gamma$ -лучей, сопровождающий распад  $^{141}\text{Nd}$ . Результаты исследования  $\gamma$ -спектра, полученные некоторыми авторами, представлены в табл.1. Видим, что данные разных работ о  $\gamma$ -лучах  $^{141}\text{Nd}$  не всегда согласуются между собой.

Отметим, что ряд интересных данных о возбужденных состояниях  $^{141}\text{Pr}$  и последующем высвечивании  $\gamma$ -лучей был получен в реакциях неупругого рассеяния дейтонов и нейтронов  $^{141}\text{Pr}(d, d', \gamma)$ <sup>/4/</sup>,  $^{141}\text{Pr}(n, n', \gamma)$ <sup>/5/</sup> и при кулоновском возбуждении ядер  $^{141}\text{Pr}$  ионами азота<sup>/6,7/</sup>. На схеме (рис.3) приведены уровни  $^{141}\text{Pr}$ , возбуждаемые при перечисленных процессах.

Некоторые эксперименты были посвящены исследованию  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений при распаде  $^{141}\text{Nd}$  или вслед за кулоновским возбуждением  $^{141}\text{Pr}$ . С уверенностью можно сказать, что следующие  $\gamma$ -лучи образуют каскады: ( $\gamma_{150}$  ( $\gamma_{1145}$ ); ( $\gamma_{150}$  ( $\gamma_{980}$ ); (Kx) ( $\gamma_{1145}$ ); (Kx) ( $\gamma_{1300}$ ).

Нет "совпадений" ( $\gamma_{150}$  ( $\gamma_{1300}$ )<sup>/2/</sup>. Менее достоверно можно считать, что имеют место также "совпадения"  $\gamma$ -лучей с  $E_{\gamma} = 280; 420$  и  $630$  кэв

с  $\gamma$ -лучами с  $E_\gamma = 880$  кэВ<sup>/7/</sup>. Рядом авторов эти  $\gamma$ -лучи не были обнаружены.

## 2. Препарат

Изотоп  $^{141}\text{Nd}$  в наших измерениях находился наряду с другими радиоизотопами в составе неодимовой фракции, которая хроматографически отделялась от продуктов облучения Cd - мишени быстрыми протонами ( $E_p = 660$  МэВ). Время облучения мишени составляло 2 часа, химическая обработка облученной мишени длилась около 2 часов.

Препараты для  $\gamma$ - и  $\beta$ -спектрометров готовились выпариванием элюента масляной кислоты на Al-подложки. Размер источника для  $\beta$ -спектрометра: 0,5 x 15 мм при толщине подложки 5 мк.

Помимо изотопа  $^{141}\text{Nd}$  фракция содержала изотопы неодима с массовыми числами A=137-140 и их дочерние активности. Разделение фракции по изотопам не производилось.

## 3. Приборы

Изучение гамма-спектра неодимового препарата проводилось при помощи гамма-спектрометра с Ge(Li)-детектором. В работе использовались два детектора коаксиального типа с чувствительными объемами 5 и 12 см<sup>3</sup>. Оба детектора имели разрешающую способность 4,5 кэВ (на  $\gamma$ -линии 1332 кэВ  $^{60}\text{Co}$ ):

Амплитудный анализ осуществлялся 2048-канальным анализатором. Энергетическая калибровка спектрометра производилась по  $\gamma$ -линиям  $\text{RaC}'$ . Калибровка детекторов по эффективности осуществлялась по  $\gamma$ -лучам  $^{22,24}\text{Na}$ ,  $^{46}\text{Sc}$  и  $^{160}\text{Yb}$ . Погрешность в определении интенсивности гамма-лучей из-за неточности калибровки детекторов по эффективности < 10%.

Участки спектра электронов внутренней конверсии  $^{141}\text{Nd}$  исследованы на магнитном бета-спектрометре с двойной двукратной фокусировкой пучка на угол  $\pi\sqrt{2}$ . Приборная разрешающая способность была 0,22% при светосиле  $\approx 0,1\%$  от полного телесного угла.

Измерение напряженности магнитного поля спектрометра осуществляется методом ядерного резонанса. Точность в определении энергий конверсионных линий при этом не хуже 0,1%.

#### 4. Экспериментальные результаты

Результаты наших исследований гамма-спектра (рис. 1) представлены в табл. 1. Полученные данные можно сравнить с результатами работ других авторов. Сведения о  $\gamma$ -лучах с  $E_\gamma = 145; 1126; 1146$  и  $1291$  кэВ хорошо согласуются с предшествующими исследованиями. В работах Алхазова и др.<sup>/6,7/</sup> сообщается, что  $\gamma$ -кванты с  $E_\gamma = 980$  кэВ связаны с разрядкой возбужденного уровня  $^{141}\text{Pr}$ . В наших измерениях на этом месте в  $\gamma$ -спектре находится сильная линия  $E_\gamma = 980$  кэВ  $^{139}\text{Nd}$  ( $T_{1/2} = 5,53$  час). Поэтому мы можем дать лишь оценку интенсивности  $\gamma$ -линии  $E_\gamma = 980$  кэВ  $^{141}\text{Nd}$ , которая была получена путем вычитания вклада интенсивности  $\gamma$ -линии  $^{139}\text{Nd}$  из общей интенсивности линии. Доля интенсивности  $\gamma$ -линии  $E_\gamma = 980$  кэВ  $^{139}\text{Nd}$  учитывалась по известному соотношению интенсивностей  $I_{\gamma 980} / I_{\gamma 706}$  при распаде  $^{139}\text{Nd}$  /9/ (линия  $E_\gamma = 706$  кэВ в наших измерениях была одиночной).

В некоторых работах<sup>/3,6,7/</sup> считается, что при разрядке возбужденных состояний  $^{141}\text{Pr}$  имеют место  $\gamma$ -переходы с  $E_\gamma = 260; 360; 420; 630; 880$  кэВ. Эти переходы не были обнаружены в работе Бирюкова и Шиманской<sup>/2/</sup> и в работе Келера и Гриссома<sup>/8/</sup>. В работе Букарева и Попова<sup>/5/</sup>, которые изучали спектр  $\gamma$ -лучей при возбуждении уровней  $^{141}\text{Pr}$  в реакции ( $n, n'$ ),  $\gamma$ -переход с  $E_\gamma = 880$  кэВ также не обнаружен.

В наших измерениях не было замечено указанных выше  $\gamma$ -линий, интенсивность которых соответствовала бы данным работ<sup>/3, 7/</sup>.

Результаты исследования спектра электронов внутренней конверсии, полученные нами, приведены в табл. 1. Отдельные конверсионные линии приведены на рис. 2.

## 5. Обсуждение экспериментальных результатов

Схема распада  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$  не сложная, она включает три возбужденных уровня  $^{141}\text{Pr}$  с энергиями 145,4 ; 1126 и 1291,3 кэв (рис.3 ). В работе Цибульской и Марке<sup>/3/</sup> дополнительно в схеме содержится уровень с энергией 880 кэв, который, однако, мы не приводим в предлагаемой схеме ( рис. 3 ) по соображениям, приведенным выше. Данные о  $\gamma$  -  $\gamma$  -сопадениях в  $^{141}\text{Pr}$  подтверждают размещение  $\gamma$  -переходов между указанными на схеме уровнями.

В работе<sup>/2/</sup> показано, что при распаде  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$   $\beta$  -переходы на уровни 0 ; 1126 ; и 1291,3 кэв имеют разрешенный тип. Основное состояние ядра  $^{141}\text{Pr}$  имеет спин 5/2, что известно из опытов по парамагнитному резонансу и по изучению сверхтонкой структуры атомного спектра этого ядра<sup>/11/</sup>. По модели оболочек основное состояние  $^{141}\text{Pr}$  интерпретируется как имеющее характеристики  $d_{5/2}$ . Основное состояние материнского ядра  $^{141}\text{Nd}$  характеризуется как состояние  $d_{3/2}$ <sup>/1,2,3/</sup>, что подтверждается разрешенным характером бета-перехода между основными состояниями  $^{141}\text{Nd}$  и  $^{141}\text{Pr}$ .

Первому возбужденному состоянию  $^{141}\text{Pr}$  с  $E = 145,4$  кэв однозначно приписаны характеристики  $g_{7/2}$ , в пользу чего свидетельствует время жизни этого состояния и величина примеси E2-составляющей в M1-переходе с  $\nu = 145,4$  кэв.

В работе Бирюкова и Шиманской<sup>/2/</sup> из-за разрешенного характера  $\beta$  -переходов  $^{141}\text{Nd}$  на уровни 1126 и 1291,3 кэв последним, исходя из одночастичной модели оболочек, были условно приписаны характеристики  $d_{3/2}$  и  $s_{1/2}$ , соответственно. В работе Цибульской и Марке<sup>/3/</sup>, а также в работе Алхазова и др.<sup>/6/</sup> уровню 1291,3 кэв приписаны характеристики  $5/2^+$ , хотя в более поздней работе Алхазов и др.<sup>/7/</sup> были не столь уверены в этом.

Вопрос о квантовых характеристиках уровней 1126 и 1291,3 кэв являлся основным в нашей работе. Поскольку мы имеем данные об интенсивностях  $\gamma$  -лучей и K -конверсионных линий переходов, которыми разряжаются обсуждаемые уровни, то мы могли выяснить вопрос об их мультипольностях. Из-за разрешенного характера  $\beta$  -перехода на уровень 1291,3 кэв<sup>/2/</sup> последнему можно приписать характеристики (  $1/2, 3/2, 5/2$  )<sup>+</sup>.

Предположение о характеристике  $1/2^+$  резко противоречит наблюдаемым соотношениям между интенсивностями  $\gamma$ -лучей и К-конверсионных линий переходов 1291,3 и 1146 кэВ, кроме того эта характеристика исключается и в работе Алхазова и др.<sup>/7/</sup> по кулоновскому возбуждению этого уровня.

При характеристиках  $(3/2, 5/2)^+$  уровня 1291,3 кэВ прямой переход с него в основное состояние будет иметь мультипольность типа М1. Приняв этот факт, мы получили мультипольности  $\gamma$ -переходов с  $h\nu = 1146$  и 1125,6 кэВ (табл. 2). Эти результаты позволяют нам приписать уровню 1291,3 кэВ характеристики  $1\pi = 3/2^+$ , а уровню 1125,6 кэВ -  $(3/2, 5/2, 7/2)^+$ .

Проведен баланс интенсивностей в схеме распада  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$  на основании наших данных об интенсивностях  $\gamma$ -переходов, теоретического значения  $W_e / W_{\beta^+}$  для разрешенного  $\beta^-$ -перехода в основное состояние  $^{141}\text{Pr}$  и данных об интенсивности  $\beta^+$ -перехода, усредненных по результатам работ<sup>/2,3/</sup> (приняли, что коэффициент счетности аннигиляционного излучения в работах<sup>/2,3/</sup> равен 2). На схеме (рис. 3) приведены данные о заселенностях уровней  $^{141}\text{Pr}$  из распада  $^{141}\text{Nd}$ , а также величины  $\log_{10} ft$  для соответствующих  $\beta^-$ -переходов. Несколько завышенные значения  $\log_{10} ft$  для  $\beta^-$ -переходов на уровни 1126 и 1291,3 кэВ связаны с неточностью в определении парциального периода полураспада  $^{141}\text{Nd}$  относительно  $\beta^+$ -излучения. (В частности, если принять результат Полака и др.<sup>/10/</sup> ( $I_{\beta^+} = (1,9 \pm 0,3)\%$ ), то величины  $\log_{10} ft$  для  $\beta^-$ -переходов на уровни 1126 и 1291,3 кэВ будут  $\sim 5,0$ , что весьма характерно для разрешенного  $\beta^-$ -распада).

Значение  $\log_{10} ft$  для  $\beta^-$ -перехода на уровень 145,4 кэВ характеризует его как запрещенный переход, но степень запрета указать нельзя, поскольку в качестве функции  $f$  была использована функция  $f$  разр. Свойства электромагнитного 1-запрещенного перехода с  $h\nu = 145,4$  кэВ между состояниями  $g_{7/2}$  и  $d_{5/2}$  обсуждаются в работе Гайгера и др.<sup>/12/</sup>

Баланс интенсивностей позволяет исключить для уровня 1146 кэВ все характеристики, кроме  $(3/2^+$  или  $5/2^+)$ .

Сделаем несколько замечаний относительно природы уровней  $^{141}\text{Pr}$ . Ядро  $^{141}_{59}\text{Pr}_{82}$  характерно тем, что у него полностью заполнена нейтронная оболочка ( $N = 82$ ). Поэтому можно думать, что при небольших

возбуждениях уровни будут иметь одночастичную природу, связанную с возбуждением  $59^{90}\text{Pr}$  протона. Пара нижних состояний -  $d_{5/2}$  и  $g_{7/2}^-$  хорошо известна и по ряду соседних по  $Z$  ядер (нечётно-массовые ядра  $59\text{Pr}$ ,  $57\text{La}$ ,  $55\text{Cs}$ ,  $61\text{Pm}$ ,  $63\text{Eu}$ ).

Возбужденные состояния  $^{141}\text{Pr}$  с  $E^* > 1\text{Мэв}$  могут быть как одночастичными протонными, так и связанными с возбуждением нейтронной оболочки  $N = 82$ . Интересно отметить, что у соседнего ядра  $^{189}\text{La}_{82}$  второе из возбужденных состояний расположено также высоко - 1430 кэв. В то же время и возбуждение нейтронной оболочки, связанное с разрывом пары, будет иметь энергию выше 1Мэв (сравним с возбужденными состояниями 1370 кэв и  $\approx 950$  кэв у ядер  $^{141}\text{Ce}_{83}$ ,  $^{148}\text{Nd}_{88}$ ), а у четного ядра  $^{140}\text{Ce}_{82}$ , по-видимому, нет состояний  $< 2,50$  Мэв, связанных с разрывом пары в нейтронной оболочке  $^{14}/$ .

Состоянию 1291,3 кэв мы приписываем характеристики  $d_{3/2}$ , т.е. природа этого уровня носит однопротонный характер. Из работ Алхазова и др.  $^{16,7/}$  вытекает, что кулоновски возбужденный уровень 1291,3 кэв разряжается переходом в основное состояние, для которого  $F = B(E2)_{\text{эксп}} / B(E2)_{\text{с.р.}} = 3,6$ . Поскольку примесь  $E2$ - мультипольности для перехода 1291,3 кэв сейчас неизвестна, то мы не можем детальнее рассмотреть природу обсуждаемого уровня, хотя результат Алхазова и др., в принципе, не исключает примеси в состоянии 1291,3 кэв коллективного возбуждения.

Из приведенных характеристик для уровня 1125,6 кэв - ( $3/2^+$  или  $5/2^+$ ) мы не можем сделать однозначный выбор, хотя на первый взгляд можно было бы отдать предпочтение  $\pi = 5/2^+$ . Природа этого состояния не ясна. У Алхазова и др.  $^{16,7/}$  для перехода  $s_{1/2} = 1140$  кэв приводятся

$F = B(E2)_{\text{эксп}} / B(E2)_{\text{с.р.}} = 1,2$ . На наш взгляд, этот результат характеризует скорее переход с  $h_{1/2} = 1146$  кэв, чем прямой переход с уровня 1125,6 кэв в основное состояние  $^{141}\text{Pr}$ .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Н.А.Лебедеву за выделение фракции неодима.



## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.С.Джелепов, Л.К.Пекер, В.О.Сергеев. "Схемы распада радиоактивных ядер,  $A > 100$ ". Изд. АН СССР, М-Л, 1983 г.
2. Е.И.Бирюков, Н.С.Шиманская. Изв. АН СССР (сер. физ), 27, 1402, (1983).
3. E. Cybulska, L. Marquers. Nucl. Phys., 14, 177 (1959 /60).
4. B. Cohen and R. Price. Phys. Rev., 123, 283 (1961).
5. В.А. Букарев, В.И.Попов, Ядерная физика, 1, 443 (1965).
6. Д.Г.Алхазов, К.И.Ерохина и И.Х.Лемберг. Изв. АН СССР (сер. физ), 27, 1363 (1983).
7. Д.Г.Алхазов, К.И.Ерохина и И.Х.Лемберг. Изв. АН СССР (сер. физ) 29, 139 (1985).
8. D. R. Koehler and J. T. Grissom. Nucl. Phys., 84, 235 (1966).
9. К.Громов, Ж.Желев, В.Калинников, Ю.Мареев, Д.Христов.  
Пр. и тезисы докладов ХУ1 ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Москва, 1986г. Изд. "Наука", М-Л, 1986г. стр.30.
10. H. Polac, W. Schoo, B. Schram, R. Girgis, R. Van Lieshout. Nucl. Phys., 5, 271 (1958).
11. J. Baker, B. Bleaney. Proc. Phys. Soc., 68 A, 936 (1955).
12. J. S. Geiger, R. L. Crahn, I. Bergstrom, F. Brown. Nucl. Phys., 68, 352 (1965).
13. Л.А.Слив, И.М.Банд. Таблицы коэффициентов внутренней конверсии  $\gamma$ -излучения. В книге "Гамма-лучи", Изд. АН СССР, М-Л, 1961 г.
14. Л.Н.Абесалашвили, Ж.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, У.Назаров, Я.Урбанец.

Преприят ОИЯИ      Р8-3348      , Дубна 1987 г.

Рукопись поступила в издательский отдел

24 мая 1987 года.

ДААННЫЕ О  $\gamma$ -ЛУЧАХ И ЭЛЕКТРОНАХ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ № 141

№ ПП	Бирюков и др./2/		Цибульская и др./3/		Полак и др./10/		Коелер и др./8/		Данная работа		
	$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}^*$ отн	$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}^*$ отн	$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}^*$ отн	$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}^*$ отн	$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}$ отн	$I_k$ отн
1.	38(Кх)4	I20	38(Кх)6	I00	38(Кх)2	2200	-	-	-	-	-
2.	I45	I2	I45	I03	I45	280	I46	-	I45,4	85±15	-
3.	420	20	420	37	-	-	-	-	-	-	-
4.	510( $\gamma^{\pm}$ )4	I6	510( $\gamma^{\pm}$ )5	90	510( $\gamma^{\pm}$ )I	040±70	511( $\gamma^{\pm}$ )	-	-	-	-
5.	880	4I	880	73	-	-	-	-	-	-	-
6.	-	-	-	-	-	-	-	-	980	< 24	-
7.	I140 {	I40	I150 {	I40	I140±I0 {	I40±I4	I126±I	I00±4	I125,6	100 <sup>жж</sup>	100 <sup>жжж</sup>
I146±I							40	I145,9	4I±4	28±3	
9.	I300	82	I300	92	I300±I0	73±5	I293±I	72±4	I29I,3	59±5	44±4

ж Экспериментальные данные об интенсивностях  $\gamma$ -лучей в работах/2,3,10,8/ нами пересчитаны в предположении, что  $I_{1126} + I_{1146} = I40$  относит. единиц, в соответствии с нашей работой. Данные о  $\gamma$ -лучах в работах/2,3,10/ получены на стинцилляционных спектрометрах, а в работе/8/- при помощи Ge(Li) детектора.  $I_{\gamma}$  в работе/8/ приведены без поправки на эффективность регистрации  $\gamma$ -лучей детектором.

жж Принято за 100 относит. единиц; жжж Принято за 100 относит. единиц.

ДАННЫЕ О КОЭФФИЦИЕНТАХ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ  $\gamma$  -ПЕРЕХОДОВ <sup>141</sup>Nd

h $\nu$ КЭВ	I $_{\gamma}$ ОТН	I $_{\kappa}$ ОТН	a $_{\kappa}$ $\times 10^3$ эсн	a $_{\kappa}$ теор $\times 10^3$ /I3/			Вывод о мультипольности
				М1	Е2	М3	
II25,6	100	100	(2,0 $\pm$ 0,2)	2,06	1,45	9,7	М1 + (Е2)
II45,9	41 $\pm$ 4	28 $\pm$ 3	(1,37 $\pm$ 0,28)	2,0	1,41	9,3	Е2 + (М1)
I291,3	59 $\pm$ 5	44 $\pm$ 4	<u>1,5</u>	<u>1,5</u>	1,1	6,5	Принято: М1

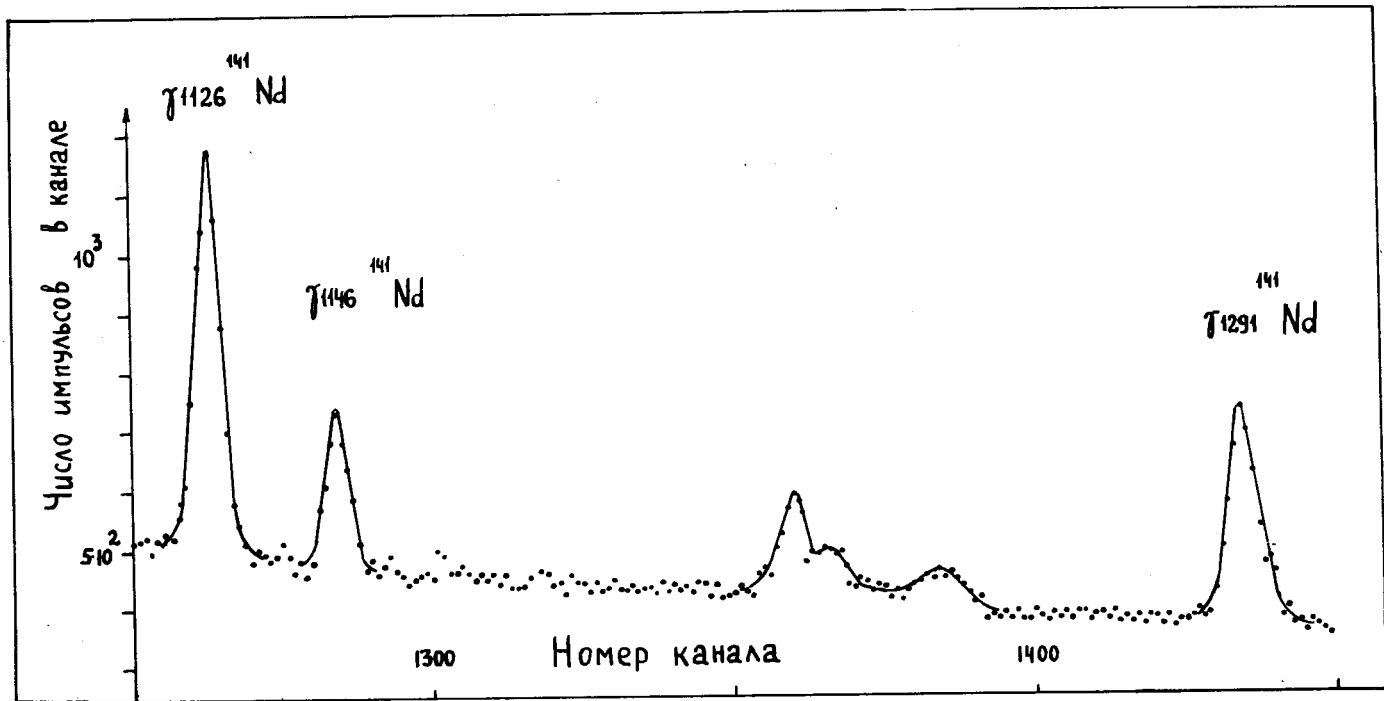


Рис. 1. Участок  $\gamma$ -спектра неодимовой фракции с  $\gamma$ -линиями 1126, 1146 и 1291 кэВ.

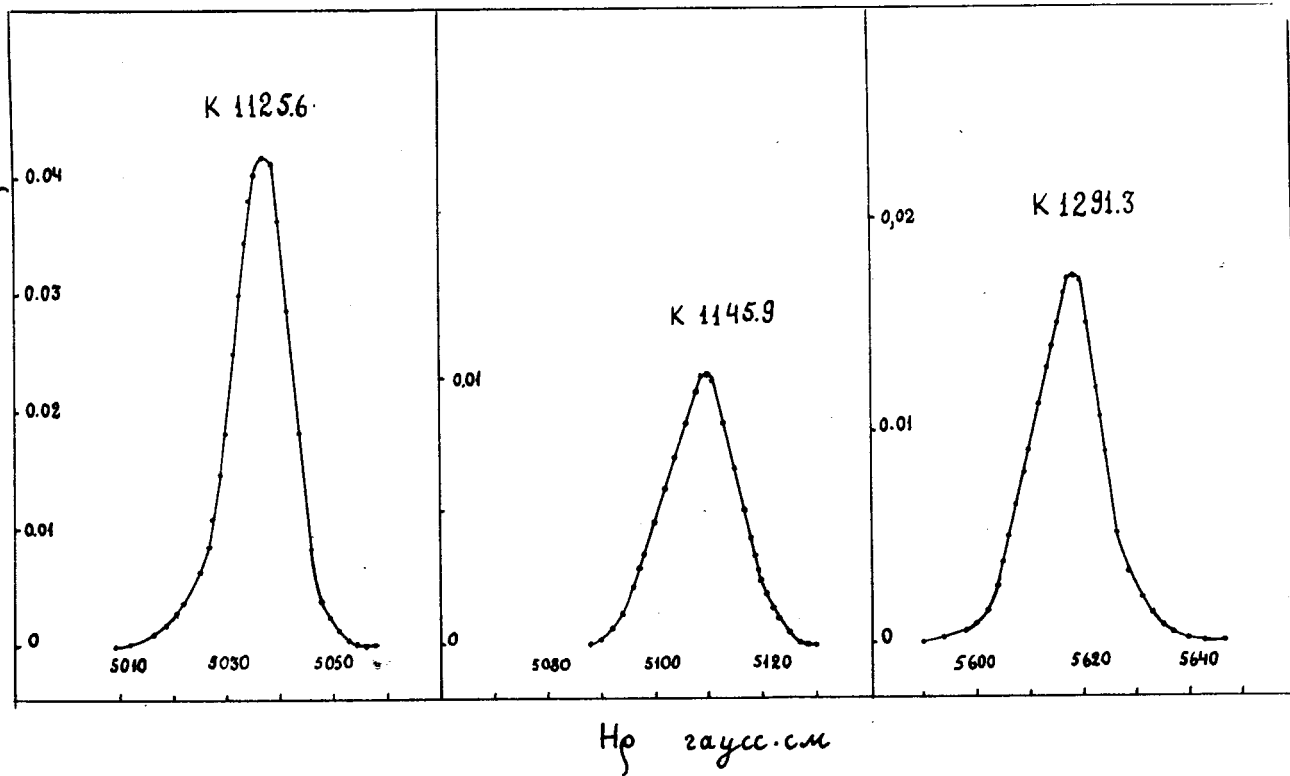
$$\frac{N - N_0}{N_0}$$
H $\gamma$ 

Рис. 2. К-конверсионные линии  $\gamma$ -переходов 1126, 1148 и 1291 кэВ.

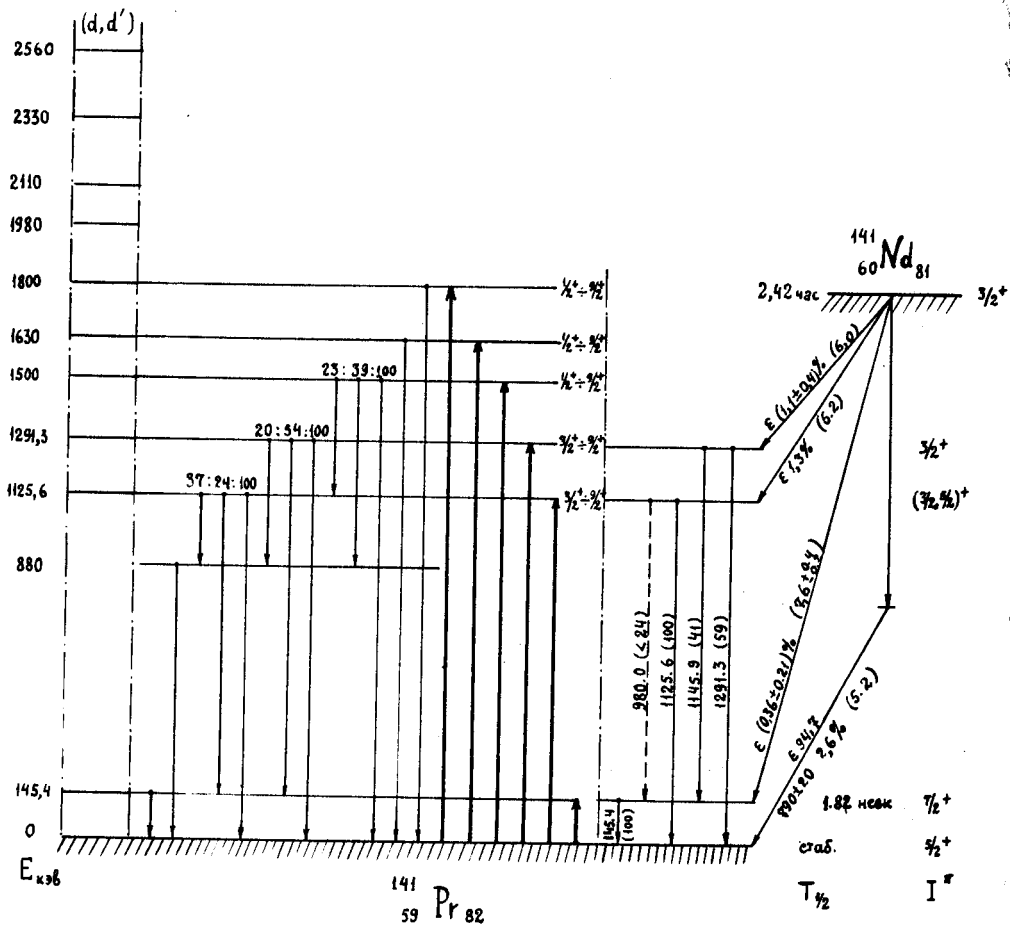


Рис. 3. Схема распада  $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$  и возбужденные уровни  $^{141}\text{Pr}$ .