

А-941

10/1-71

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-5674

1473/2-41



В.П. Афанасьев, В.С. Бутцев, И.И. Громова,
В.Г. Калинин, Н.А. Тихонов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ
РАСПАДА НУКЛИДОВ НЕОДИМА
И ПРАЗЕОДИМА С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ
A = 138

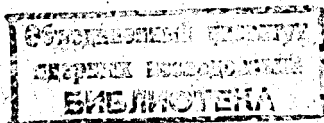
1971

P6-5674

В.П. Афанасьев, В.С. Бутцев, И.И. Громова,
В.Г. Калинин, Н.А. Тихонов

ИССЛЕДОВАНИЕ
РАСПАДА НУКЛИДОВ НЕОДИМА
И ПРАЗЕОДИМА С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ
A = 138

Направлено в "Известия АН СССР"



Введение

В данной работе представлены результаты изучения нуклидов неодима и празеодима с $A = 138$, составляющего часть программы исследования свойств нейтронодефицитных ядер с числом нейтронов, близким к $N = 82$.

Идентификация изотопа ^{138}Nd ($T_{1/2} = 5,2 \pm 0,1$ час^{/1/}) выполнена в работах^{/1,2,3/}. Было показано, что при его распаде возбуждается состояние с энергией 326 кэВ ($J^\pi = 1^+$). Джулиан и Фесслер^{/4/} ввели дополнительно три возбужденных состояния с энергиями 193,6; 199,0 и 540,5 кэВ.

В работах^{/1,2,3/} были изучены гамма-лучи, электроны внутренней конверсии и позитронное излучение ^{138}Pr ($T_{1/2} = 1,50 \pm 0,15$ мин, $Q_{\beta^+} = 4437 \pm 10$ кэВ^{/2,3/}) и предложена схема возбужденных состояний ^{138}Ce (уровни 787,1 (2^+), 1473,8 (0^+) и 1510 кэВ (2^+)).

Уровни ядра ^{138}Ce возбуждаются также при распаде ^{138m}Pr ($T_{1/2} = 2,1$ час, $Q_{\beta^+} = 4800 \pm 20$ кэВ^{/5/}). Наиболее полная схема распада предложена в работах^{/5,6/}.

Следует отметить, что достоверная идентификация переходов $^{138}\text{Nd} + ^{138}\text{Pr}$ была затруднена, поскольку использовавшиеся ранее

в нашей работе /1,2,3,6/ препараты содержали, кроме ^{138}Nd (5,2 час), также изотоп ^{139}Nd , имеющий близкий период полураспада (5,5 час). Подобная ситуация существовала и при исследовании $^{138\text{m}}\text{Pr}$ из-за присутствия в препаратах изотопа ^{137}Pr ($T_{1/2} = 1,3$ час). Использование в настоящей работе сепарированных по массам изотопов неодима и празеодима позволило преодолеть отмеченные трудности.

1. Условия эксперимента

Изотопы ^{138}Nd , $^{138\text{g}}\text{Pr}$ и $^{138\text{m}}\text{Pr}$ получались в реакции глубокого отщепления Gd ($E_p = 660$ МэВ). Мишень весом 2 г облучалась 2 часа на внутреннем пучке синхроциклотрона ОИЯИ. Редкоземельные элементы - продукты реакции - были выделены химически и затем разделены по фракциям хроматографическим методом /7/. Для исследования гамма-излучения препаратов неодима и празеодима было выполнено их разделение по массам на электромагнитном масс-сепараторе /8/. Изучение электронов внутренней конверсии (ЭВК) неодима и празеодима производилось с источниками из неразделенных фракций.

Измерения спектров гамма-лучей выполнены на спектрометре с Ge(Li) -детектором. В работе использовались два детектора коаксиального типа с объемами 10 и 30 см³ и с разрешающей способностью соответственно 3,5 и 5,5 кэВ при энергии гамма-лучей $E_\gamma \approx 1$ МэВ. ЭВК исследовались на магнитных бета-спектрометрах с двойной фокусировкой пучка на угол $\pi\sqrt{2}$ и $2\pi\sqrt{2}$ с приборной разрешающей способностью соответственно 0,12% и 0,20%. Источники для бета-спектрометров приготавливались электролитическим осаждением активности на золотую фольгу толщиной ≈ 5 мкм.

2. Результаты измерений

Результаты исследования гамма-лучей и электронов внутренней конверсии ^{138}Nd и $^{138\text{m,g}}\text{Pr}$ представлены в табл. 1 и 2. На рисунках 1 и 2а,б приведены участки спектров гамма-лучей ^{138}Nd и $^{138\text{g}}\text{Pr}$. Отдельные конверсионные линии ^{138}Nd изображены на рис. 3. Использование масс-сепарированных препаратов позволило достоверно идентифицировать ряд гамма-переходов $^{138}\text{Nd} + ^{138}\text{Pr}$. Определение разности энергий $E_K - E_L$ или $E_\gamma - E_K$ дало возможность установить заряд ядра, в котором конвертируют переходы. При идентификации гамма-переходов ^{138}Pr мы приняли во внимание также тот факт, что разность масс ^{138}Nd и ^{138}Pr невелика (≈ 1 Мэв). Полученные данные об интенсивностях гамма-лучей и ЭВК позволили установить коэффициенты внутренней конверсии (КВК) некоторых переходов и определить тип их мультипольностей.

К распаду $^{138\text{m}}\text{Pr}$ отнесены ранее неизвестные гамма-переходы 635,7; 1238,9 и предположительно 447,7 кэв. Не обнаружены гамма-переходы с интенсивностью более 0,5% на распад в области энергий $E_\gamma = 1,24-2,5$ Мэв.

3. Схема распада $^{138}\text{Nd} \rightarrow ^{138}\text{Pr}$

На основании данных об энергиях, интенсивностях и мультипольностях переходов предлагается схема распада ^{138}Nd (рис. 4). Точные значения энергий переходов позволили дополнительно ввести уровень 326,94 кэв, близкий к ранее известному 325,76 кэв^{/3,4/}. Вероятности заселения уровней ^{138}Pr электронным захватом установлены из баланса интенсивностей гамма-переходов. Интенсивности гамма-переходов (в % на распад ^{138}Nd) определены из сравнения их с интенсивностью гамма-перехода 788,7 кэв (3,15% на распад ^{138}Pr). Значение разности масс ^{138}Nd и ^{138}Pr принято равным 1133 кэв по Леви^{/9/}.

Возбужденным состояниям ^{138}Pr приписаны квантовые характеристики на основании мультипольностей гамма-переходов и величин $\log ft$ соответствующих бета-переходов ^{138}Nd ($J^\pi = 0^+$).

Для интерпретации уровней ^{138}Pr воспользуемся представлениями модели оболочек. Основному состоянию $^{138}\text{Pr}_{79}(1^+)$ соответствует конфигурация $p(d_{5/2})$, $n(d_{3/2})$. При такой конфигурации становятся понятными вероятности бета-переходов между основными состояниями $^{138}\text{Nd} \rightarrow ^{138}\text{Pr}$ и $^{138}\text{Pr} \rightarrow ^{138}\text{Ce}$ (превращение $p(d_{5/2}) \rightarrow n(d_{3/2})$).

В схеме уровней ^{138}Pr имеются еще два состояния с квантовыми характеристиками $J^\pi = 1^+$. Однако не представляется возможным в рамках модели оболочек сконструировать двухчастичную конфигурацию, с помощью которой интерпретировались бы имеющиеся два "аномальных" состояния с $J^\pi = 1^+$.

Уровни ^{138}Pr с отрицательной четностью также невозможно описать в рамках двухчастичной модели. Лишь одно состояние с $J^\pi = 2^-$ можно отождествить с конфигурацией $p(g_{7/2})$, $n(h_{11/2})$, которую, по-видимому, следует приписать уровню 1942 кэВ. Схема уровней Мейер не позволяет конструирование двухчастичных состояний с $J^\pi = 1^-$.

4. Распад $^{138}\text{Pr} \rightarrow ^{138}\text{Ce}$

На основании энергетических соотношений и баланса интенсивностей гамма-переходов введены дополнительно уровни с энергиями 2236,8 ($1^+, 2^+$), 2906,3 ($1^+, 2^+$), 3028,2 ($1^+, 2^+$) и предположительно 2470,4 кэВ (рис. 5). Их квантовые характеристики предложены на основании вероятностей бета-переходов $^{138}\text{Pr}(1^+)$. Наши данные подтверждают существование уровня 1510,9 кэВ (2^+)/ $^3/$ и уточняют интенсивности гамма-переходов, которыми он высвечивается. Джуллан и Фесслер^{/4/} также подтверждают его существование. По-видимому, тот же уровень ($E = 1,51$ МэВ)

возбуждался в реакциях ^{10,11/}. Уровни ¹³⁸Се с энергиями 1545 (2⁺) и 2046 кэв (2⁺)^{12/} (или 2058 кэв^{11/}), которые ввел Сакаи на основании изучения реакции ¹³⁹La (p, 2n) , не подтверждаются нашими данными о распаде ¹³⁸Pr (1⁺) .

Рассмотрение нижних возбужденных состояний ¹³⁸Се по вибрационной модели выполнено в работах ^{2,3,13/}. В частности, такая модель предсказывает для параметра $X = \frac{B(E0, 0^+ \rightarrow 0^+_g)}{B(E2, 0^+ \rightarrow 2^+_g)}$ у ядер данной области значение $\approx 0,04-0,06$. Из наших результатов следует $X_{\text{эксп}} = 0,28 \pm 0,04$.

5. Схема распада ^{138m}Pr \rightarrow ¹³⁸Се

Предлагаемая нами схема распада изомерного состояния ¹³⁸Pr (T_{1/2} = 2,1 час) приведена на рис. 5. В схеме размещены ранее неизвестные гамма-переходы 635,7 и 1238,9 кэв. Размещение перехода 635,7 кэв подтверждает существование уровня 2764,8 кэв, введенного ^{14/} на основании наблюдения совпадений (γ 389)(γ 546) . Тем самым не подтверждается уровень 2371,8 кэв^{16/}.

Возбужденным состояниям ¹³⁸Се с энергиями 2217,4 и 2764,8 кэв мы приписываем квантовые характеристики J^π = 5⁻ и 7⁻ соответственно, исходя из мультипольностей гамма-переходов и величин log ft бета-переходов из ¹³⁸Pr (8⁻) .

Систематика свойств чётно-чётных ядер с N = 80 указывает на то, что состояния с высокими спинами следует рассматривать как коллективные или двухнейтронные.

Уровень 2129,2 кэв (7⁻) по двухчастичной модели является нижним состоянием мультиплетта $n_1(d_{3/2})^{-1}, n_2(h_{11/2})^{-1}$. Состояние 1826,5 кэв (4⁺) в работе ^{15/} рассматривается как двухквaziнейтронное состояние конфигурации $n_1(d_{3/2})^{-1}, n_2(g_{7/2})^{-1}$. Вероятность ЕЗ -

перехода 302,7 кэв между этими уровнями, близкая к одночастичной, подтверждает их природу.

Уровень 2217,4 кэв (5^-), возможно, является нижним состоянием мультиплетта $n_1(h_{11/2})^{-1}$, $n_2(s_{1/2})^{+1}$. Однако нельзя полностью исключить вклад в это состояние конфигурации $n_1(h_{11/2})^{-1}$, $n_2(d_{3/2})^{-1}$.

Вероятность бета-перехода ($\log ft = 5,6$) на уровень 2129,1 кэв (7^-) позволяет достоверно установить квантовые характеристики изомерного состояния $J^\pi = 8^- p(d_{5/2})$, $n(h_{11/2})$ /15/.

В заключение можно сделать некоторые выводы о свойствах изучавшихся в работе ядер.

В нечётно-нечётном ядре ^{138}Pr идентифицировано несколько состояний, которые однозначно описываются в рамках модели оболочек как двухквaziчастичные. Однако нужно отметить, что ряд состояний с $J^\pi = 1^+$ и некоторые состояния с отрицательной чётностью не представляется возможным описать в рамках указанной модели.

Уровни ^{138}Ce в области энергий возбуждения $E \geq 2$ Мэв можно интерпретировать как двухквaziнейтронные состояния. Нижние уровни ^{138}Ce удобно рассматривать как имеющие вибрационную природу. Несколько необычным с такой точки зрения оказывается величина параметра $\chi = \frac{B(E0)}{B(E2)}$ для уровня $J^\pi = 0^{+1}$.

Указанные факты представляют определенный интерес и требуют теоретического рассмотрения.

Авторы выражают благодарность В. Боновой за помощь при обработке экспериментальных результатов.

Литература

1. K. Gromov, I. Demeter, Sch. Schelev, V. Kalinnikov, Kim En Su, N. Lebedev, F. Molnar, V. Morosov, G. Pfrepper, V. Khalkin, E. Herrmann, D. Khristov. Nucl.Phys., 88, 225 (1966).
2. К.Я. Громов, А.С. Данагулян, Л.Н. Никитюк, В.В. Муравьева, А.А. Соколин, М.З. Шталь, В.С. Шпинель. ЖЭТФ, 47, 1644 (1964).
3. В.С. Бугцев, Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин, А.В. Кудрявцева, Я. Липтак, Ф. Молнар, У. Назаров, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-3541, Дубна, 1967.
4. G. M. Julian, T.E. Fessler. VAPS, ser. II, 14, 569 (1969).
5. M. Fujioka, K. Hisatake and K. Takahashi. Nucl.Phys., 60, 294 (1964).
6. Р. Бабаджанов, Я. Врзал, К.Я. Громов, Я. Липтак, В.А. Морозов, Ф.Н. Мухтасимов, Я. Урбанец. Изв. АН СССР, сер.физ., 31, 1724 (1967).
7. F. Molnar, A. Horvath and V.A. Khalkin. J. of Chromatography, 26, 225 (1967).
8. В.П. Афанасьев, А.Т. Василенко, И.И. Громова, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Д. Мончка, Ю. Поморски, В.И. Райко, А.В. Ревенко, В.М. Сороко, В.А. Уткин. Сообщение ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
9. J. Riddell. AECL-339 (1957).
10. G. Bruge, A. Chaumeaux, Ha Duc Long and J. Picard. Contributions Int. Conf. on Properties of Nuclear States. Montreal, Canada, 1969, p. 270.
11. M. Sakai, M. Ishihara, J. Gono and N. Yoshikawa. INS, Report, 246, Tokyo, 1970.

12. M. Sakai. In "Future of nuclear structure studies," Vienna, 1969, p. 57.
13. В.Г. Калинин. Автореферат диссертации ОИЯИ, 6-4388, Дубна, 1969.
14. H. Nakayama, K. Hisatake and M. Fujioka. J. Phys. Soc. of Japan, 24, 623 (1968).
15. К. Александер. Препринт ОИЯИ, Р6-3785, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 марта 1971 года.

Примечание при корректуре: Нами проведено изучение гамма-гамма-совпадений при распаде ^{138}Pr . Наблюдались совпадения $(\gamma 688)(\gamma 789)$, $(\gamma 789)(\gamma 688)$, $(\gamma 789)(\gamma 723)$, $(\gamma 789)(\gamma 1551)$ и $(\gamma 1551)(\gamma 789)$. Результаты измерений подтверждают предложенную схему уровней ^{138}Ce .

Таблица 1
Гамма-переходы ^{138}Nd и находящегося с ним в равновесии ^{138}Pr (1,5 мин)

$E_{\gamma\text{кэВ}}$	γ_{γ} , отн	γ_{e^-} , отн	$\alpha_{\text{эксп.}}$	Тип мультипольности
126,14 \pm 0,05 ^{a)}	5,5 \pm 0,6	K 740 \pm 90 L _I 98 \pm 20 M 28 \pm 10	0,40 \pm 0,10	E1+ \leq 9%M2
132,73 \pm 0,05 ^{a)}	7,4 \pm 0,8	K 1255 \pm 185 L _I 142 \pm 35	0,50 \pm 0,14	M1, E2, M1+E2
194,21 \pm 0,05 ^{a)}	15,0 \pm 2,0	K 480 \pm 50	0,095 \pm 0,025	E1+ \leq 9%M2
199,50 \pm 0,05 ^{a)}	35,0 \pm 4,0	K 964 \pm 100	0,082 \pm 0,020	E1+ \leq 8%M2
214,13 \pm 0,06 ^{a)}	17,0 \pm 2,0	K 210 \pm 30	0,069 \pm 0,013	E1+ \leq 10%M2
215,31 \pm 0,06 ^{a)}		K 390 \pm 50	(1,23·10 ⁻¹) ^{б)}	(M1, E2) ^{б)}
325,76 \pm 0,05 ^{a)}	158 \pm 16	K 1600 \pm 110 L 208 \pm 32	0,030 \pm 0,006	E2+ \leq 50%M1
341,65 \pm 0,05 ^{a)}	3,8 \pm 0,9	K 190 \pm 20	0,12 \pm 0,06	M2+ \leq 35%E1
541,0 \pm 0,3	6,5 \pm 1,3	K 18 \pm 8	(8,4+4,2)10 ⁻³	E2, M1
^{138}Pr (1,5 мин) \rightarrow ^{138}Ce				
581,6 \pm 0,5 ^{в)}	0,65 \pm 0,15	-	-	-
688,2 \pm 0,1 ^{a)}	34,2 \pm 2,7	52 \pm 5	(4,5 \pm 0,8)10 ⁻³	E2
722,7 \pm 0,5	2,7 \pm 0,7	-	(4,3 \pm 0,7)10 ^{-3г)}	-
(756,3 \pm 0,5) ^{в)}	\approx 0,9	-	-	-
788,7 \pm 0,1 ^{a)}	\approx 100	K \approx 100	2,97(-3)	E2
1248 \pm 1	\approx 1,4	-	-	-
1429,5 \pm 0,5	2,2 \pm 0,4	K \leq 5	-	-
1432,6 \pm 0,5	2,0 \pm 0,4	K \leq 5	-	-
1447,3 \pm 0,3	4,5 \pm 0,7	K \leq 5	-	-
1476,9 \pm 0,2 ^{a)}	< 0,5	K 300 \pm 20 ^{д)} L + M 61 \pm 9 ^{д)}	> 1,81	E0

1510,5±0,3	4,6±0,7	-	≈1,1·10 ⁻³ г)	E2, M1 (E3)
1551,4±0,4	16,5±1,7	5,3±1,6	(9,5±3,8)10 ⁻⁴	E2, M1 (E3)
(1806,0±1,5)	≈1,2	-	-	-
1894,5±1,5	2,55±0,65	-	-	-
2115,3±0,7	2,35±0,70	-	-	-
2236,8±1,0	4,0±0,6	-	-	-
2470,4±1,0	2,4±0,4	-	-	-
(2644,2±0,5)	≈0,5	-	-	-

- а) Энергии переходов определены по ЭВК с использованием в качестве внутренних реперов К-линий переходов 165,84±0,03 кэв ¹³⁹Ce, 145,45±0,02 кэв ¹⁴¹Nd, 708,1±0,1 кэв ^{138m}Nd, 788,7±0,1 кэв ¹³⁸Pr и 1903,15±0,30 кэв ¹⁴⁰Pr.
- б) При определении $\alpha_{K214,13}$ предполагалось исходя из схемы распада, что переход 215,31 кэв типа M1 или E2.
- в) Не исключено, что указанные переходы принадлежат ¹³⁸Nd.
- г) Коэффициент α_{K1510} определен из данных об $\gamma_{eK}(722)$, $\gamma_{eK}(1510)$, $\alpha_{K722} = (4,3±0,7) \cdot 10^{-3} / II$ и наших данных об интенсивностях соответствующих гамма-лучей.
- д) В работе /3/ при обработке экспериментальных результатов вкралась ошибка, что привело к заниженному значению интенсивности E0-перехода.

Таблица 2
Гамма-лучи ^{138}Pr ($T_{1/2}=2,1$ час)

E_{γ} кэВ	Y_{γ} отн.	Y_e отн.	d_k эксп.	Тип мультипольн.
302,7±0,1	85±10	≅ 1000	$1,23 \cdot 10^{-1}$	≅ E3
390,9±0,1	5,8±0,6	2,8±0,6	$(4,8 \pm 1,5) \cdot 10^{-3}$	E1
(447,7±1,0)	0,8±0,2			
511,0 (γ^{\pm})	30±6 а)			
547,5±0,1	4,8±0,5	4,5±0,9	$(0,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	E2, M1
635,7±0,1	2,3±0,3	1,1±0,5	$(4,8 \pm 2,4) \cdot 10^{-3}$	E2 (M1)
788,7±0,1 ⁺)	≅ 100	36±7	$(3,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}$	E2
1037,8±0,1 ⁺)	100±6			
1090,3 б)				
1238,9±1,3	1,1±0,2			
1340,4 б)				
1826,5 б)				

а) Значение Y_{β^+} установлено по интенсивности пика аннигиляции.

б) Пик суммирования находящихся в каскаде гамма-переходов.

+) Значения энергий взяты из работы /4/.

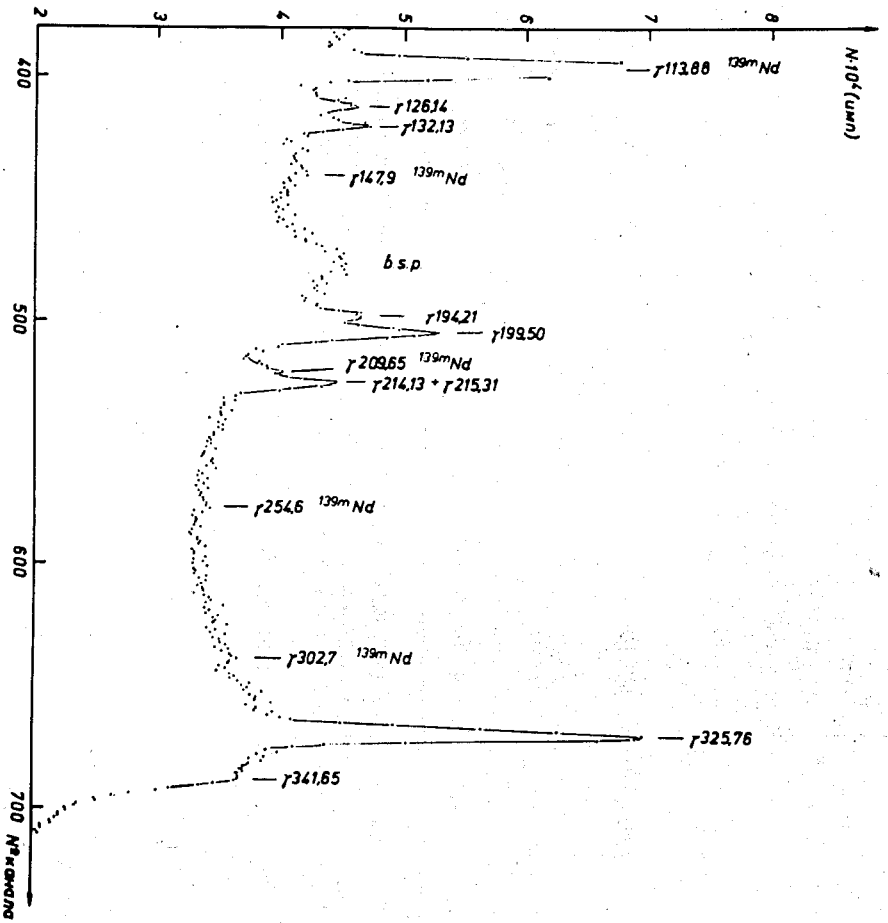


Рис. 1. Спектр гамма-излучения ^{138}Nd (5,2 час.).

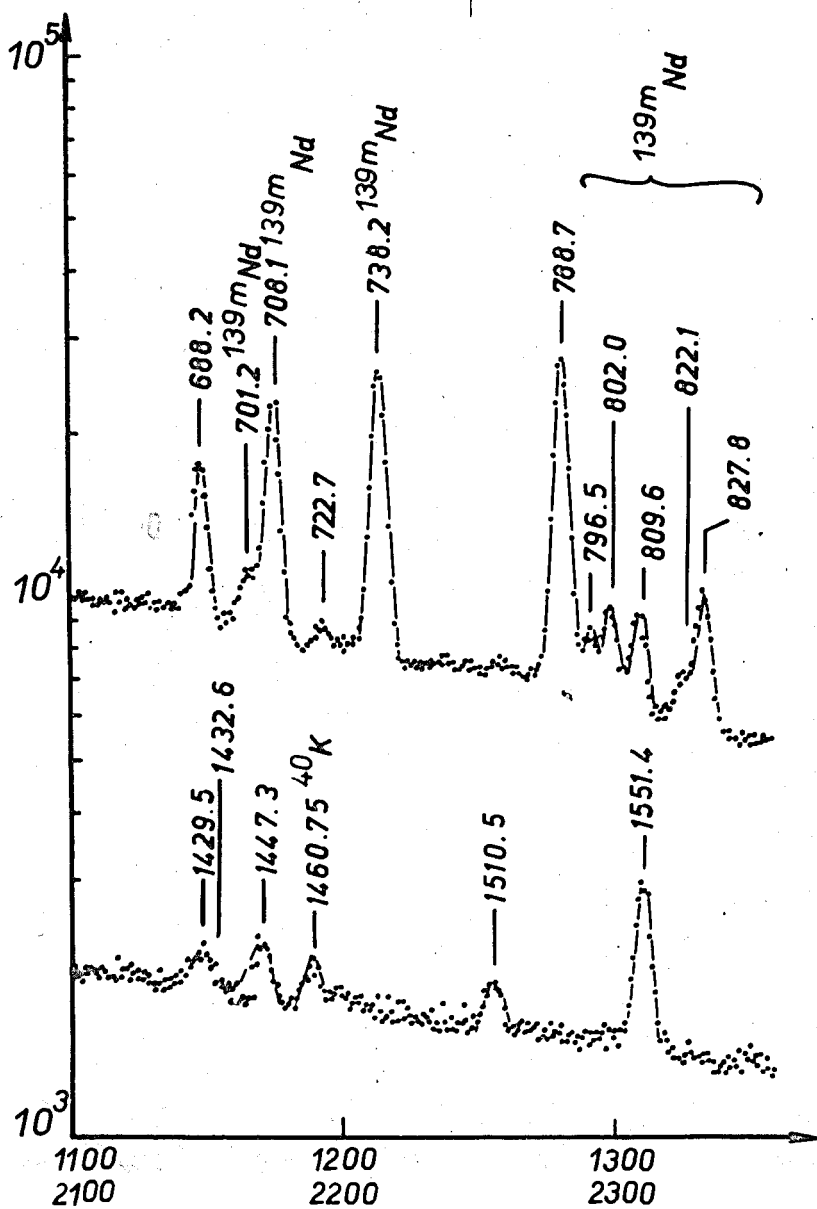


Рис.2а. Участки спектра гамма-лучей ^{138}Pr (1,5 мин) в областях энергий 660+850 и 1400+1600 кэв.

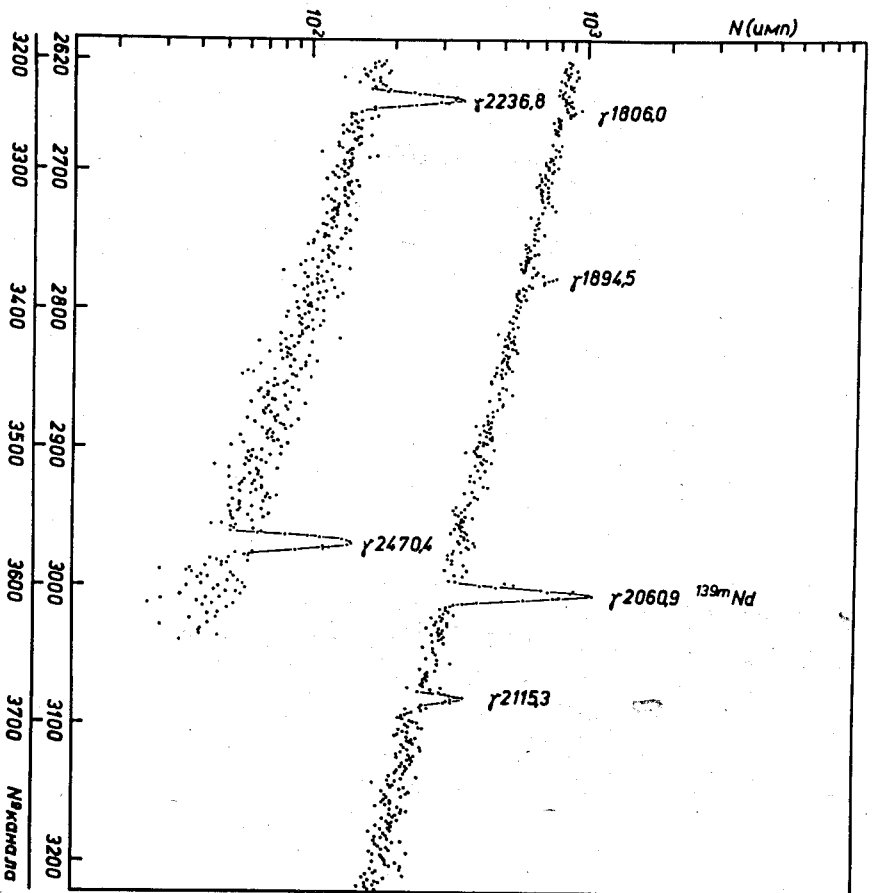


Рис. 26. Участок спектра гамма-лучей ¹⁸⁸Rg (1,5 мин) в области энергий 1800-2500 кэВ.

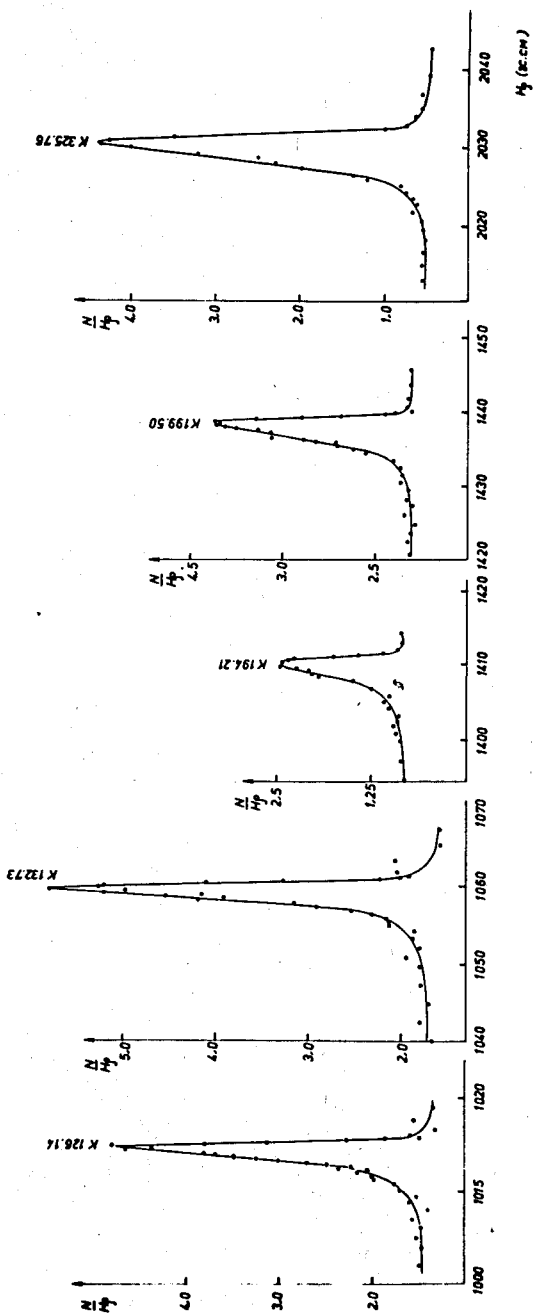


Рис. 3. Некоторые линии электронов внутренней конверсии ^{138}Nd .

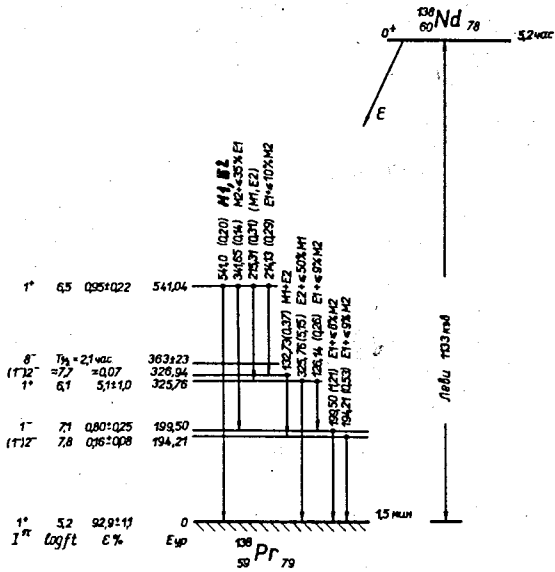


Рис. 4. Схема распада ^{188}Nd (5,2 час).

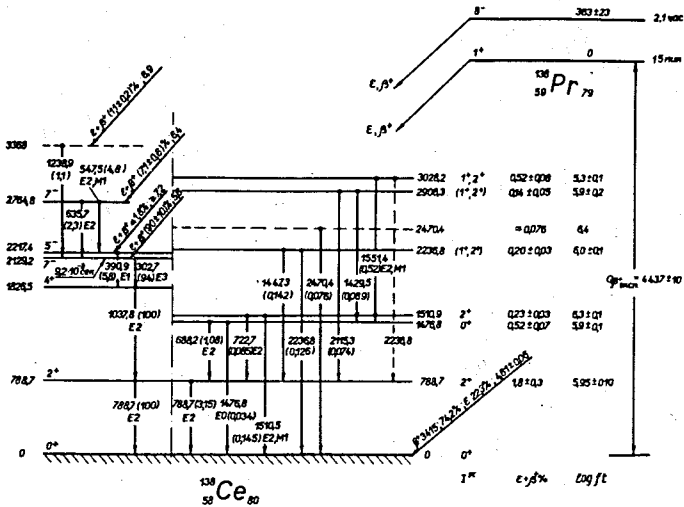


Рис. 5. Схема уровней ядра ^{138}Ce , возбуждаемых при распаде ^{138}Pr (1,5 мин) и ^{138}Pr (2,1 час).