

Б-12

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Изв. АН СССР, сер. физ.,  
1967, т. 31, № 10, с. 1724-1733



P-2819

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Р. Бабаджанов, Я. Врзал, К.Я. Громов, Я. Липтак,  
В.А. Морозов, Ф.Н. Мухтасимов, Я. Урбанец

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ РАСПАДА  $^{138}\text{Pr}$

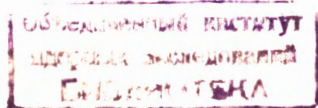
1966

P-2819

4409/2 148

Р. Бабаджанов, Я. Вреал, К.Я. Громов, Я. Липтак,  
В.А. Морозов, Ф.Н. Мухтасимов, Я. Урбанец

ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ РАСПАДА  $^{138}\text{Pr}$



## В в е д е н и е

Хорошо известно о существовании  $^{138}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 2,2$  часа <sup>/1-8/</sup>. В работах <sup>/10,11/</sup> было высказано предположение о существовании более короткоживущего состояния  $^{138}\text{Pr}$ . В работе <sup>/12/</sup> было показано, что действительно имеется короткоживущее состояние  $^{138}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 1,5 \pm 0,15$  минут. Разность масс этого состояния  $\Delta M = 4480$  кэв. В работе <sup>/8/</sup> показано, что для состояния  $^{138}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 2,2$  часа  $\Delta M = 4800$  кэв и это состояние расположено на 340 кэв выше короткоживущего состояния с  $T_{1/2} = 1,5 \pm 0,15$  минут. Поэтому мы в дальнейшем будем считать состояние  $^{138}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 2,2$  часа изомерным.

- - - -

Изотоп  $^{138}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 130 \pm 5$  минут был обнаружен Стовер <sup>/1/</sup> как продукт реакции  $^{140}\text{Ce}(\text{p}, \text{3n})^{138}\text{Pr}$ . Методом поглощения было показано, что при распаде  $^{138}\text{Pr}$  возникает  $\beta^+$ -излучение с энергией  $E_{\text{гр}} = 1,4$  Мэв и  $\gamma$ -лучи с энергией 160, 500 и 1300 кэв.

Хандлей и Олсон <sup>/2/</sup> подвергали бомбардировке протонами с энергией 8,5 Мэв мишени, обогащенные  $^{138}\text{Ce}$ . При этом наблюдалась активность, приписанная распаду  $^{138}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 2$  час,  $\gamma$ -лучи с энергией 300, 800 и 1050 кэв, менее интенсивные  $\gamma$ -лучи с энергиями 1470 и 1700 кэв, а также  $x$ -лучи и аннигиляционное излучение, и была определена граничная энергия позитронов  $E_{\text{гр}} = 1,4 \pm 0,1$  Мэв.

Прямое масс-спектрометрическое подтверждение существования изотопа  $^{138}\text{Pr}$  было проведено Данби и др. <sup>/3/</sup>. На сцинтилляционном спектрометре наблюдались интенсивные  $\gamma$ -лучи с энергиями  $300 \pm 10$ ,  $800 \pm 10$ ,  $1040 \pm 20$  кэв и менее интенсивные с энергиями 160,  $1295 \pm 15$ ,  $1580 \pm 20$  кэв. На магнитном  $\beta$ -спектрометре были обнаружены конверсионные линии переходов с энергиями  $300 \pm 5$ ,  $800 \pm 7$  и  $160 \pm 2$  кэв.

Относительные интенсивности К -линий соответствующих переходов составляют соответственно 100,  $3 \pm 5$ ,  $3 \pm 5$ . На основании отношения интенсивностей конверсионных линий перехода 300 кэВ  $K/(L+M) = 2.2 \pm 0.1$  было высказано предположение, что этот переход типа E3. Определено также отношение  $\lambda_K/\lambda_{\beta^+} = 4.5 \pm 1.2$ .

Морозов и др. <sup>/4/</sup> в результате реакции  $^{139}\text{La}(p, 2n)^{138}\text{Ce}$  возбудили изомерный уровень  $^{138}\text{Ce}$  с энергией 2140 кэВ, который распадается с испусканием  $\gamma$  -лучей  $300 \pm 10$ ,  $800 \pm 10$ ,  $1040 \pm 10$  кэВ. Период полураспада изомерного уровня оказался равным  $9.2 \pm 0.5$  мсек.

Москати <sup>/5/</sup> изучал совпадения аннигиляционных квантов с  $\gamma$  -лучами  $^{188}\text{Pt}$ . Изотоп был получен по реакциям  $(\gamma, 3n)$  на  $^{141}\text{Pt}$ . Интерпретируя экспериментальные данные, автор <sup>/5/</sup> делает заключение о возможности  $\beta^+$  -распада на уровень 1,86 МэВ ( $\beta^+ < 17\%$ ,  $\epsilon < 83\%$ ).

В работе Железова и др. <sup>/6/</sup> предложена схема распада  $^{188}\text{Pt}$ , где введены уровни 800, 1840 и 2140 кэВ.

Басина и др. <sup>/7/</sup> измеряли спектр электронов внутренней конверсии  $^{188}\text{Pt}$  с помощью магнитного спектрометра,  $\gamma$  -лучи с помощью сцинтилляционного  $\gamma$  -спектрометра,  $\beta$ - $\gamma$  и  $\gamma$ - $\gamma$  совпадения. Источником служила фракция празеодима, образующаяся при облучении Ta, Er, Tb мишеней протонами с энергией 660 МэВ. Из экспериментальных результатов по интенсивностям конверсионных электронов и  $\gamma$  -лучей определены мультипольности  $\gamma$  -переходов с энергиями 303 кэВ как E3 и 789 кэВ как E2 или M1 или смеси E2 + M1. Определена полная интенсивность каскадных переходов 303, 1040 и 789 кэВ, равная  $(100 \pm 10)$ :  $(94 \pm 8)$ : 100 соответственно. Доказана последовательность расположения этих каскадных  $\gamma$  -переходов и определены квантовые характеристики уровней 789, 1840 и 2140 кэВ, равные 2+, 4+, 7<sup>-</sup> соответственно.

Громов и др. <sup>/8/</sup> изучали  $\gamma$ - $\gamma$  угловые корреляции при распаде  $^{188}\text{Pt}$ . Полученные авторами <sup>/8/</sup> экспериментальные результаты не противоречат приписанию уровню 1840 кэВ характеристике 4+.

Фудзюка и др. <sup>/9/</sup> продолжили изучение распада  $^{188}\text{Pt}$ . Изотоп был получен при облучении целевой мишени протонами с энергией 35 МэВ по реакции  $\text{Ce}(p, n)^{138}\text{Ce}$ . Изучение спектра конверсионных электронов и позитронов производилось с помощью магнитного спектрометра. Были определены относительные интенсивности конверсионных линий K-298 $\pm$ 2,0, K-788 $\pm$ 10 и K-1035 $\pm$ 10 кэВ, равные 33,2 $\pm$ 0,1; 1,0 и 0,53 $\pm$ 0,01 соответственно, и интенсивность позитронов с энергией  $E_{\text{гр}} = 1,65 \pm 0,02$  МэВ, которая составляет 23% от полного числа распадов. Изучение  $\gamma$  -лучей производилось с помощью сцинтилляционного спектрометра. Были определены интенсивности следующих  $\gamma$  -лучей:

300, 400, 790, 1040, 1200 и 1830 кэв. На основе опытов по  $\gamma$ - $\gamma$  совпадениям был введен уровень 2121 кэв и предположительно - уровень 2220 кэв. Из этого же опыта определена интенсивность  $\gamma$ -перехода с энергией 550 кэв, который не был обнаружен в одиночном  $\gamma$ -спектре. Результаты опытов по  $\gamma$ - $\gamma$  угловым корреляциям позволили установить квантовые характеристики уровня 1840 кэв как  $4^+$ . В работе также найдено отношение  $K/\beta^+ = 3,3 \pm 1,2$  и подсчитаны значения  $\log ft$  для уровней 2121 и 2200 кэв, равные 5,7 и 6,5 соответственно.

К началу нашей работы можно считать твердо установленным, что

- 1) при распаде изомерного состояния  $^{138m}\text{Pr}$  с возможными квантовыми характеристиками ( $6^-$ ,  $7^-$ ,  $8^-$ ) имеет место каскад: 789 — 1040 — 303 кэв;
- 2) среди уровней  $^{138}\text{Ce}$  существует изомерный уровень с энергией 2140 кэв и периодом полураспада  $9,2 \pm 0,5$  мсек;
- 3) наблюдается  $\beta^+$ -распад на уровень 2140 кэв ( $7^-$ ) с энергией  $E_{\text{гр}} = 1,85 \pm 0,02$  Мэв;
- 4) существует каскад 400 - 1040 - 800 кэв;
- 5) предполагается существование каскада 550-1040-800 кэв.

Целью настоящей работы было уточнение энергии и относительных интенсивностей  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов с помощью  $\gamma$ -спектрометра с  $\text{Ge(Li)}$  детектором и  $\beta$ -спектрографа с постоянным однородным магнитным полем. В нашей работе также изучались тройные ( $\gamma$ ) ( $511$ ) ( $511$ ) совпадения для установления уровней, на которые идет  $\beta^+$ -распад.

### Экспериментальная часть

Получение источника

Изотоп  $^{138m}\text{Pr}$  получался как продукт реакции расщепления при облучении  $\text{Er}$  протонами с энергией 660 Мэв. Облучение мишеней продолжалось два часа, после чего путем хроматографического разделения редких земель выделялась фракция празеодима  $^{138}\text{Pr}$ . Фракция празеодима содержала следующие изотопы:  $^{136}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 1,0$  час,  $^{135}\text{Pr}$  ( $T_{1/2} = 22$  мин),  $^{137}\text{Pr}$  ( $T_{1/2} = 1,5$  часа),  $^{138m}\text{Pr}$  ( $T_{1/2} = 2$  часа)  $^{139}\text{Pr}$  ( $T_{1/2} = 4,5$  часа). Источники для  $\beta$ -спектрографа изготовлялись методом электролитического осаждения активности на платиновую нить  $d = 0,1$  мм  $^{111}\text{In}$ , а для  $\gamma$ -спектрометра - методом выпаривания на тонкую алюминиевую фольгу. Источники поступали для измерения примерно через 3 часа после конца облучения мишени.

### а) $\gamma$ -спектр

Измерения  $\gamma$ -спектра велись на  $\gamma$ -спектрометре с полупроводниковым  $\text{Ge(Li)}$  детектором коаксиального типа. Чувствительный объем детектора был равен  $5 \text{ см}^3$  при диаметре германиевого кристалла 20 мм, высоте 20 мм и толщине дрейфа - 6 мм. Разрешение спектрометра достигало  $\sim 4,5 \text{ кэВ}$  на линии  $^{60}\text{Co}$  с энергией 1332 кэВ. Электронная аппаратура, применяемая вместе с детектором, состояла из 2048-канального амплитудного анализатора, усилителя на транзисторах и маломушящего предусилителя на лампах E810 F. Для калибровки детектора по энергиям применялись источники  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , в которых энергии  $\gamma$ -переходов были измерены с большой точностью /15/.

Точность определения энергии  $\gamma$ -линий в наших опытах была не хуже 0,1%. Точные значения энергий в низкоэнергетической области  $\gamma$ -спектра взяты из наших данных по измерениям спектра конверсионных электронов  $^{138\text{m}}\text{Pr}$ .

Относительные эффективности регистрации  $\gamma$ -лучей нашим детектором определялись с помощью источника  $^{226}\text{Ra}$  и в области низких энергий - с помощью  $^{160}\text{Yb}$ , у которых относительные интенсивности  $\gamma$ -переходов известны с точностью, лучшей чем 10% /15,16/. Таким образом, калибровочная кривая эффективности регистрации  $\gamma$ -лучей обеспечивала точность определения интенсивностей наиболее сильных  $\gamma$ -лучей лучше 10%.

С целью идентификации по периоду полураспада  $\gamma$ -линий, относящихся к распаду  $^{138\text{m}}\text{Pr}$ , было снято несколько серий через каждые два часа.  $\gamma$ -спектр, снятый в одной из серий, показан на рис. 1. Результаты определения периода полураспада для наблюдаемых  $\gamma$ -линий  $^{138\text{m}}\text{Pr}$  приведены на рис. 2. В спектре указаны только  $\gamma$ -линии, относящиеся к распаду  $^{138\text{m}}\text{Pr}$ , остальные  $\gamma$ -линии могут относиться к распаду  $^{139}\text{Pr}$  или к распаду дочерних изотопов  $\text{Ce}$ , которые будут накапливаться при распаде изотопов  $\text{Pr}$  с массовым числом  $A = 134, 135, 137, 139$ .

Результаты определения энергий и относительных интенсивностей  $\gamma$ -линий  $^{138\text{m}}\text{Pr}$  приведены в таблице 1.

Наши данные по интенсивностям  $\gamma$ -лучей в основном согласуются с данными работы /9/. Различие интенсивностей  $\gamma$ -перехода 390,6 кэВ объясняется тем, что авторы работы /9/, возможно, измеряли суммарную интенсивность  $\gamma$ -переходов 354,2 и 390,6 кэВ.

### б) Спектр конверсионных электронов

Измерение спектра конверсионных электронов, возникающих при распаде празеодима, велось на  $\beta$ -спектрографе с постоянным однородным магнитным полем /17/.

Для регистрации электронов применялись фотопластинки типа Р-50. Градуировка спектрографа по энергиям проводилась по известным конверсионным линиям  $^{160}\text{No}$ , энергии которых была определена с точностью 0,02%<sup>/18,19/</sup>. Поэтому точность определения энергии конверсионных электронов, относящихся к распаду  $^{138}\text{Pr}$ , была в наших опытах лучше чем 0,1%. Интенсивность конверсионных линий определялась методом фотометрирования с учетом вертикальной расхожимости электронного пучка в камере  $\beta$ -спектрографа и электронной чувствительности фотопластинки. Более подробно метод определения интенсивностей конверсионных линий описан в работе<sup>/20/</sup>. Исследования велись при разрешающей способности  $\beta$ -спектрографа около 0,07% в диапазоне энергий от 20 до 1000 кэв.

На фотопластинке отчетливо наблюдались линии К,  $L_I$ ,  $L_{II}$ ,  $L_{III}$ - 302,8 и К - 787,1 кэв. С целью обнаружения на фотопластинке слабых - "невидимых"-линий полученные фотоизображения усиливались при помощи метода радиоактивного усиления, описанного в работе Громова и др.<sup>/21/</sup>. Линии конверсионных электронов К-354,2 и К-390,8 были обнаружены после применения метода усиления. После усиления мы стали также наблюдать визуальную линию К-546,2, но при фотометрировании не обнаружили резко выраженного пика над фоном пика в районе линии К-546,2 кэв.

Приписанье линий конверсионных электронов, относящихся к распаду  $^{138}\text{Pr}$  проводилось по точному совпадению энергии  $\gamma$ -переходов, определенных по К или К и L конверсионным линиям из спектра конверсионных электронов, с энергиями  $\gamma$ -переходов, определенных нами из  $\gamma$ -спектра, для которых  $T_{1/2} = 2,2$  часа. Кроме этого, для приписания линии К-390,8 кэв к распаду  $^{138}\text{Pr}$ , использованы результаты работы<sup>/19/</sup> по ( $\gamma - \gamma$ ) совпадениям.

Нам были определены или (в случае когда интенсивности линий было определить затруднительно) оценены верхние пределы интенсивности конверсионных линий, приписанных к распаду  $^{138}\text{Pr}$ . Результаты определения энергии и относительных интенсивностей конверсионных линий приведены в таблице 1. Наши данные по интенсивности конверсионных линий не противоречат данным работы<sup>/19/</sup>. Различие в энергиях объясняется тем, что в работе<sup>/18/</sup> энергии конверсионных линий определялись с большой погрешностью.

#### в) Мультипольности $\gamma$ -переходов

Для определения мультипольностей некоторых  $\gamma$ -переходов нами были использованы данные таблицы 1 и теоретические значения коэффициентов внутренней конверсии на К - и L-подоболочках, приведенных в работе<sup>/22/</sup>. Мультипольность  $\gamma$ -перехода с энергией 302,8 кэв определена по отношению интенсивностей линий конверсионных электронов на L-подоболочках. L-структура этого перехода, как видно из

рис. 3, хорошо разрешается. Мультипольность этого перехода определена однозначно как переход типа E3. Для определения мультипольностей других  $\gamma$ -переходов интенсивности  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов приведены к одинаковым единицам по коэффициенту внутренней конверсии для перехода с энергией 302,8 кэв. При этом теоретическое значение коэффициента внутренней конверсии  $\gamma$ -перехода с энергией 302,8 кэв и мультипольности типа E3 принято равным  $a_k = 0,13^{/22/}$ . Это позволило определить экспериментальное значение коэффициента внутренней конверсии для остальных  $\gamma$ -переходов с энергией 354,2 ; 390,6 ; 546,2 ; 787,1 кэв. При сравнении экспериментальных результатов с теоретическими значениями коэффициентов внутренней конверсии было определено, что мультипольности  $\gamma$ -переходов 354,2 и 390,6 кэв-типа E1,  $E_{\gamma}$  -546,2-типа E1 или E2 и мультипольность перехода 787,1 кэв - типа E2.

Результаты определения мультипольностей приводятся в таблице 2.

г)  $\beta^+$ - $\gamma$  совпадения

$\beta^+$ - $\gamma$  совпадения проводились на установке быстро-медленных тройных совпадений. Регистрация  $\gamma$ -излучений производилась тремя кристаллами NaJ(Tl) размерами (100x100), (100x100) и (40x40) мм<sup>2</sup>. С помощью двух кристаллов NaJ(Tl) размерами (100x100) и (100x100) мм<sup>2</sup>, расположенных под углом 180° друг к другу, выделялись и регистрировались фотоники аннигиляционного излучения. Третий кристалл, расположенный под углом 90° к остальным двум кристаллам, регистрировал  $\gamma$ -спектр от 0 до 1400 кэв. Измерения проводились следующим образом: вначале измерялся спектр истинных + случайных совпадений. Затем, после введения задержки в боковые каналы, измерялся спектр случайных совпадений. После введения поправки на период полураспада для спектра случайных совпадений он вычитался из первого спектра. После графического разложения в полученном спектре истинных совпадений были обнаружены  $\gamma$ -лучи с энергией 302,8; 390,6; 546,2; 787,1; 1038,5 кэв и более слабая, неидентифицированная  $\gamma$ -линия с энергией 480 кэв.  $\gamma$ -спектр тройных совпадений приведен на рис. 4.

В таблице 3 приведены относительные интенсивности  $\gamma$ -лучей с энергией 302,8; 390,6; 546,2; 787,1 и 1038,5 кэв, найденные в одиночном  $\gamma$ -спектре и в спектре  $\beta^+$ - $\gamma$  совпадений.

Появление в спектре тройных совпадений  $\gamma$ -линий с энергией 302,8 кэв обязательно осуществлению совпадений  $\gamma$ -перехода 302,8 кэв с  $\gamma$ -лучами комптоновского распределения от  $\gamma$ -переходов с энергией 787,1 и 1038,5 кэв, находящимися в районе выделенного аннигиляционного пика. Появление в спектре тройных совпадений  $\gamma$ -линий 390,6 и 546,2 кэв не может быть объяснено за счет осуществления каскадных совпадений 390,6 — 1038,5 — 787,1 и 546 — 1038,5 — 787,1 кэв, так как при этом должно быть



$$\frac{I_{(\beta^+ - \gamma) 390,8}}{I_{(\beta^+ - \gamma) 302,8}} = \frac{I_{\gamma 390,8}}{I_{\gamma 302,8}}, \quad \frac{I_{(\beta - \gamma) 546,2}}{I_{(\beta - \gamma) 302,8}} = \frac{I_{\gamma 546,2}}{I_{\gamma 302,8}},$$

на самом же деле эти отношения в спектре  $(\beta^+ - \gamma)$  совпадений больше примерно в пять раз, чем в одиночном  $\gamma$ -спектре. Анализ интенсивностей  $\gamma$ -переходов с энергией 390,8; 546,2; 787,1 и 1038,5 кэв, найденных из спектра тройных совпадений, показывает, что должны существовать уровни  $1825,8 + 390,8 = 2216,2$  кэв и  $1825,8 + 546,2 = 2371,8$  кэв, на которые происходит  $\beta^+$ -распад. Вычисленные граничные энергии  $\beta^+$ -компонент, идущих на уровни 2216,2 и 2371,8 кэв, равны  $E_{\text{гр}} = 1,56$  и  $E_{\text{гр}} = 1,41$  Мэв соответственно.

### Обсуждение. Схема распада $^{138\text{m}}\text{Pr}$

Предложенная схема распада  $^{138\text{m}}\text{Pr}$  представлена на рис. 5. Как было показано в работах /8-8/, каскадные  $\gamma$ -переходы 302,8; 1038,5 и 781,1 кэв определяют положение уровней 787,1; 1825,8; 2128,4 кэв. По измерениям  $\gamma$ -спектра, спектра конверсионных электронов и угловых  $\gamma - \gamma$ -корреляций было установлено, что уровни 1825,8 и 2128,4 кэв имеют квантовые характеристики  $4^+$  и  $7^-$  соответственно /8-9/. В работе Фудзюка и др. /9/ на основе наблюдения совпадения  $\gamma$ -перехода с энергией 400 кэв с  $\gamma$ -лучами 787,1 и 1038,5 кэв был введен уровень 2200 кэв. Обнаруженный нами  $\gamma$ -переход с энергией 390,8 кэв в спектре тройных совпадений подтверждает существование этого уровня и позволяет уточнить его энергию  $E_{\text{ур}}^x = 2216,2$  кэв.

Аналогичным образом нами введен уровень  $E_{\text{ур}}^x = 2371,8$  кэв, который был введен в работе /9/ предположительно.

В спектре конверсионных электронов и  $\gamma$ -лучей нами обнаружен  $\gamma$ -переход с энергией 354,2 кэв, который мы отнесли к распаду  $^{138\text{m}}\text{Pr}$ . Этот переход не наблюдается в спектре тройных совпадений, таким образом, можно заключить, что этот переход идет на уровень, расположенный выше уровня 1825,8 кэв, или идет с этого уровня. Если ввести уровень  $1825,8 - 354,2 = 1371,4$  кэв, то должен обязательно существовать  $\gamma$ -переход с энергией 584,2 кэв, идущий на уровень 787,1 кэв. При этом интенсивность этого перехода, имеющего любой тип мультипольности (от  $E1$  до  $E3$ ), должна быть равной интенсивности  $\gamma$ -перехода 354,2. Такой переход не наблюдается. Таким образом, исключается возможность введения уровня  $1825,8 - 354,2 = 1371,4$  кэв. Остается единственная возможность введения уровня с энергией  $2128,4 + 354,2 = 2482,6$  кэв. Баланс полных интенсивностей, определенных с точностью, лучшей чем 10%, не противоречит тому, что  $\gamma$ -переход с энергией 354,2 кэв идет с уровня 2482,6 кэв на изомер-

ный уровень с энергией 2128,4 кэв. Таким образом, вводится новый уровень с энергией 2482,6 кэв.

Для определения квантовых характеристик возбужденных уровней необходимо знать  $\log fr$  при  $\beta$ -распаде на эти уровни. Доли  $K$ -захватов и  $\beta$ -распадов на соответствующие уровни в процентах на распад и значения  $\log fr$  приведены в таблице 4. Наши данные сопоставлены с данными работы<sup>/9/</sup>.

Для уровня 2216,2 кэв по значениям  $\log fr$  и мультипольности перехода 390,6 кэв - E1 возможными квантовыми характеристиками будут  $3^-$ ,  $4^-$ ,  $5^-$ . Рассмотрим эти возможности.

При квантовых характеристиках  $3^-$  и  $4^-$  распад на уровень 2216,2 кэв будет по крайней мере дважды запрещен, так как в работе<sup>/8/</sup> установлено, что наименьший возможный спин изомерного состояния  $^{138}\text{Pr}$  является  $8^-$ . Определенное нами значение  $\log fr = 6,7$  сильно отличается от теоретического значения  $\log fr = 13$  для перехода второго порядка запрещения<sup>/23/</sup>. Это позволило нам исключить квантовые характеристики  $3^-$  и  $4^-$  и приписать ему значение  $5^-$ . При квантовых характеристиках  $5^-$  для этого уровня экспериментальное значение  $\log fr = 6,7$  хорошо согласуется с теоретическим значением  $\log fr > 6$  для  $\ell$ -запрещенного перехода.

Установленные нами квантовые характеристики уровня 2216,2 кэв  $I = 5^-$  требуют однозначного выбора квантовых характеристик для изомерного состояния  $^{138}\text{Pr}$ . Спин этого состояния будет  $I = 8^-$ . Если допустить более высокий спин, то распад на уровень  $E_{ур}^x = 2216,2$  кэв с  $I = 5^-$  будет дважды запрещен, что противоречит нашим экспериментальным результатам.

Аналогичным образом устанавливаем, что возможными квантовыми характеристиками уровня с энергией 2371,8 кэв будут  $I = 5, 6^+$ . Это, в основном, следует из мультипольности перехода с энергией 546,2 кэв, определенного как E1 или E2.

Нами также установлены квантовые характеристики для уровня 2482,6 кэв. Мультипольность перехода 354,2 кэв - E1 позволяет приписать этому состоянию  $I = 6^+, 7^+, 8^+$ . Определенное нами значение  $\log fr = 6,6 \pm 0,2$  хорошо согласуется с теоретическими значениями  $\log fr = 7 \pm 1$  для однократно запрещенного перехода<sup>/23/</sup>, то есть  $I = 8^+$  для уровня  $E_{ур}^x = 2482,6$  кэв исключается. Таким образом, возможными квантовыми характеристиками для уровня  $E_{ур}^x = 2482,6$  кэв могут быть  $6^+$  или  $7^+$ . Эти характеристики в модели оболочек<sup>/24/</sup> могут найти следующее объяснение:

1) Уровень  $E_{ур}^x = 2482,6$  кэв является протонным двухчастичным состоянием, и его квантовые характеристики связаны с разрывом протонной пары в состояние  $g\ 7/2$  и переходом одного протона в состояние  $d\ 5/2$ , то есть при этом выполняется конфигурация  $\{p_1(g\ 7/2), p_2(d\ 5/2)\}$ . Если отдать предпочтение этой конфигурации, то наивысший

возможный спин этого уровня  $6^+$ . Это позволяет исключить  $I = 7^+$  для уровня  $E_{ур}^x = 2482,6$  кэв.

2) Уровень  $E_{ур}^x = 2482,6$  кэв является нейтронным двухчастичным состоянием, и его квантовые характеристики связаны с разрывом нейтронной пары в состоянии  $f7/2$  и переходом одного нейтрона в состояние  $h 11/2$ . То есть выполняется конфигурация  $\{n_1(f7/2), n_2(h 11/2)\}$ , при этом распад на уровень  $E_{ур}^x = 2482,6$  кэв однократно запрещен. Если отдать предпочтение этой конфигурации, то исключить квантовую характеристику  $7^+$  мы не можем. Не исключено, что на самом деле состояние с энергией 2482,8 кэв есть смесь этих конфигураций.

### З а к л ю ч е н и е

Таким образом, в результате наших исследований установлено, что при распаде изомерного состояния  $^{138m}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 2,2$  часа возбуждаются уровни 2216,2; 2371,8 и 2482,6 кэв с квантовыми характеристиками  $5^-$ ,  $5$  или  $6^+$ ,  $6^+$  или  $7^+$  соответственно. Точность определения положения уровней по энергиям не хуже 0,1%. Установлено, что, кроме известной  $\beta^+$ -компоненты с граничной энергией  $E_{гр} = 1,65 \pm 0,02$  Мэв при распаде  $^{138m}\text{Pr}$ , существуют две  $\beta^+$ -компоненты с граничной энергией  $E_{гр} = 1,56$  и  $E_{гр} = 1,41$  Мэв, идущие на уровни 2216,2 и 2371,8 кэв соответственно. Наши результаты позволяют заключить, что квантовыми характеристиками изомерного состояния  $^{138m}\text{Pr}$  будут  $I = 6^-$ .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Г.Т. Адылову, Т. Бэдикэ, принимавшим участие в изучении распада  $^{138m}\text{Pr}$  на разных этапах работы, а также В.Г. Калининкову за полезные дискуссии.

Л и т е р а т у р а

1. J. Stover. Phys. Rev., 81,1, 1951.
2. T. Handley, E.Olson. Phys. Rev., 96,4, 1954.
3. G.T.Danby, J.S.Foster, A.L.Thompson. Canad. J. Phys., 36,1487, 1958.
4. А.М. Морозов, В.В. Ремаев, П.Я. Ямпольский. ЖЭТФ, 38, 973, 1960.
5. G.Morkatti. Nucl. Phys., 26,321, 1961.
6. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер. Изд-во АН СССР, 1963, стр. 93.
7. А.С. Басяна, Т. Бедикэ, К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Н.А. Лебедев, В.А. Морозов, В.А.Ф. Новгородов. Препринт ОИЯИ Р-2032, Дубна, 1965.
8. К.Я. Громов, И. Деметер, Е. Наджаков. Препринт ОИЯИ, Р-1916, Дубна, 1964.
9. M. Fujioka, K.Husatake and Takahashi. Nucl. Phys., 60,294, 1964.
10. Н.А. Бояч-Осмоловская, Б.С. Джелепов, О.Е. Крафт. Материалы IV совещания по нейтронодефицитным изотопам, Дубна, 1961.
11. К.Я. Громов, А.С. Данагулян, Л.Н. Никитюк, В.В. Муравьева, А.А. Сорокин, М.З. Шталь, В.С. Шинкель. ЖЭТФ, 47, вып. (11), 1964.
12. К. Громов, И. Деметер, Ж. Желев, В. Калинин, Ким Ен Су, Н. Лебедев, Ф. Мольнар, В. Морозов, Г. Пфреппер, В. Халкин, Э. Херрманн, Д. Христов. Препринт ОИЯИ, Р-2570, Дубна, 1966.
13. Б.К. Преображенский, В.А. Калякин, О.М. Лилова, А.Н. Добронравов, Е.Д. Тетерин. ЖАХ, 1, 1094, 1956.
14. А.Ф. Новгородов, В.Л. Кочетков, Н.А. Лебедев, В.А. Халкин. Радиохимия, 6, вып. 1, 73, 1964.
15. G. T.Ewan and A.J.Tavendale. AECL. No 207 9, 2327.
16. P. Alexander, F.Bohm. Nucl. Phys., 46,108, 1963.
17. А.А. Абдуразаков, Ф.М. Абдуразакова, К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, Г.Я. Умаров. Изв. АН Узб. ССР, серия физ.-мат., № 3, 1961.
18. T.Ewan, R.L.Craham, J.S.Geiger. Nucl. Phys., 22,610, 1961.
19. F.Bohm, J.Rogers. Nucl. Phys., 41,553, 1963.
20. А.А. Абдумаликов, А.А. Абдуразаков, Ф.М. Абдуразакова, К.Я. Громов. Изв. АН Узб. ССР, серия физ.-мат., № 1, 1962.
21. К.Я. Громов, Ф.М. Мухтасимов, Г.Я. Умаров. Препринт ОИЯИ, Р-2276, Дубна, 1965.
22. Л.А. Слив. Гамма-лучи. Изд-во АН СССР, 1961.
23. А.Х. Ванстра, Г.И. Нивх, Р. Ван Лишут. Таблицы по ядерной спектроскопии. Атомиздат, 1960.
24. В.А. Кравцов. Массы атомов и энергии связи ядер. Атомиздат, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 июня 1966 г.

Т а б л и ц а 1

Энергия и относительные интенсивности конверсионных линий к  $\gamma$ -лучей,  
принадлежащих к распаду  $^{137}\text{Pm}$

Наши данные					Данные работы /9/				
№	$E_{\gamma}$ кэВ	Обо- лоч- ка	$I_{\gamma}$ отн. ед.	$I_{\gamma}$ отн. ед.	$I_{\gamma}$ отн. ед.	$E_{\gamma}$ кэВ	Обо- лоч- ка	$I_{\gamma}$ отн. ед.	$I_{\gamma}$ отн. ед.
1	$302.8 \pm 0.3$	к	$100 \pm 20$			298 ± 20	к	$33.2 \pm 0.1$	
		L <sub>I</sub>	$6.0 \pm 1.2$	$83 \pm 8$	$97 \pm 9$			$77 \pm 6$	
		L <sub>II</sub>	$11.0 \pm 2.2$				к/лм	$2.12 \pm 0.8$	
		L <sub>III</sub>	$5.6 \pm 1.1$						
2.	$354.2 \pm 0.3$	к	$0.7 \pm 0.35$	$4.0 \pm 0.4$	$4.0 \pm 0.4$	-	-	-	-
3.	$390.6 \pm 0.6$	к	$\leq 0.7$	$5.2 \pm 0.5$	$5.2 \pm 0.5$	400	-	-	$9 \pm 2$
4.	$546.2 \pm 0.5$	к	$< 0.46$	$5.5 \pm 0.5$	$5.5 \pm 0.5$	550	-	-	5
5.	$787.1 \pm 0.8$	к	$3.4 \pm 0.7$	100	100	$788 \pm 10$	к	1,0	100
6.	$1038.5 \pm 1.0$	-	-	$100 \pm 10$	$100 \pm 10$	$1035 \pm 10$	к	$0.53 \pm 0.01$	$98 \pm 5$
7.	-	-	-	-	-	1200	-	-	$\approx 0.9$
8.	-	-	-	-	-	1830	-	-	$0.4 \pm 0.1$

Определение мультипликностей  $\gamma$ -переходов, возникающих при распаде изомерного состояния  $^{138}\text{Ba}$

E $\gamma$	эксперимент		теорема /22/										Биб- лиотека мульти- тип.									
	отноше- ние	$\sigma_i$	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2		E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13											
2,854,2	—	(2,3±1,1)·10 <sup>-2</sup>	5,5·10 <sup>-2</sup>	5,0·10 <sup>-1</sup>	6,0	55	2,7·10 <sup>-1</sup>	2,0	18	90	E1											
3,390,6	—	<1,5·10 <sup>-2</sup>	4,5·10 <sup>-2</sup>	3,5·10 <sup>-1</sup>	3,6	30	2,2·10 <sup>-1</sup>	1,5	9,2	75	E1											
4,546,2	—	<8,2·10 <sup>-3</sup>	2,6·10 <sup>-3</sup>	7,2·10 <sup>-3</sup>	1,9·10 <sup>-2</sup>	4,6·10 <sup>-2</sup>	1,1·10 <sup>-2</sup>	3,5·10 <sup>-2</sup>	8,8·10 <sup>-2</sup>	2,3·10 <sup>-1</sup>	E1, E2											
5,787,1	—	(3,6±0,7)·10 <sup>-3</sup>	1,22·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-3</sup>	1,0·10 <sup>-3</sup>	1,50·10 <sup>-2</sup>	4,5·10 <sup>-3</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>	2,7·10 <sup>-2</sup>	6,0·10 <sup>-2</sup>	E2											

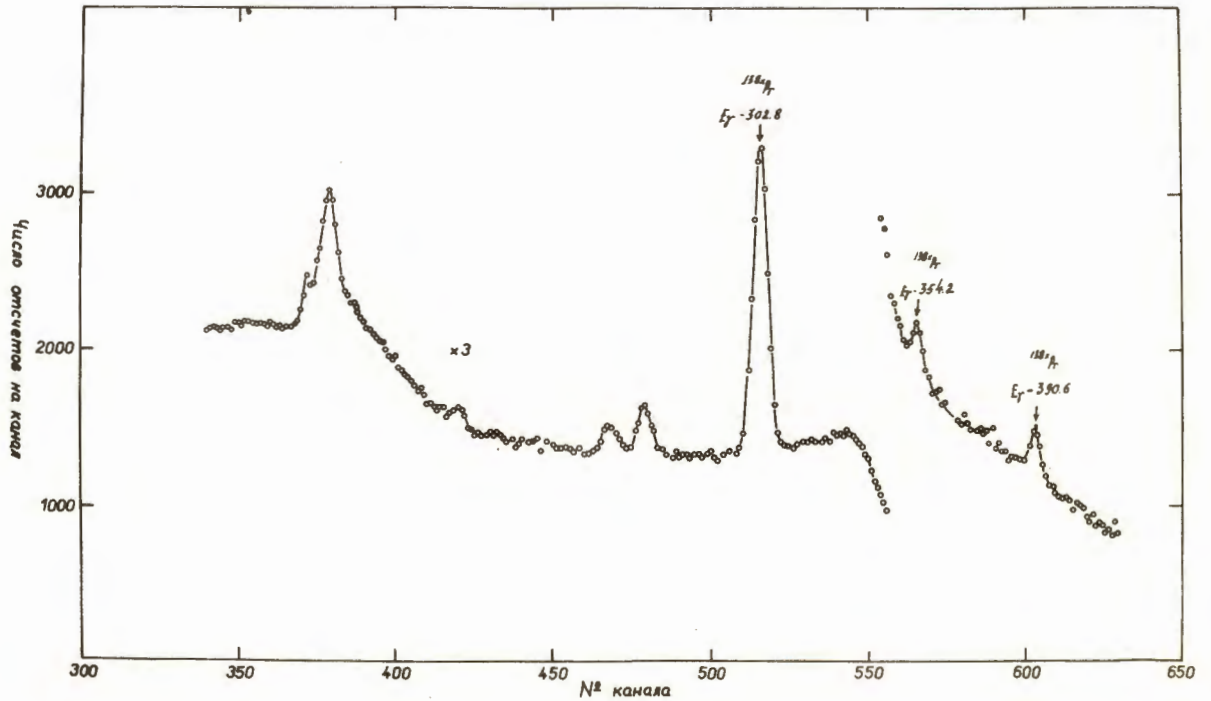
Т а б л и ц а 3

Сравнение относительных интенсивностей  $\gamma$ -переходов в одиночном  $\gamma$ -спектре и в спектре  $\beta \pm \gamma$  совпадений

E $\gamma$	Одиноч. $\gamma$ -сп		СП. ( $\beta \pm \gamma$ ) совп.	
	I $\gamma$	отн. ед.	I $\gamma$	отн. ед.
302,8		83 ± 8		83
390,6		5,2±0,5		28 ± 6
546,2		5,5±0,5		39 ± 8
787,1		100 ± 10		47 ± 9
1038,5		100±10		62 ± 10

Энергия уровня кэВ	наши данные				Данные раб./9/			
	Приход с более высоких уровней $^{138}\text{Ce}$		Уход на более низкие уровни $^{138}\text{Ce}$		Доля $\beta^+$ распада+ К-захвата	$\log fr$	Доля $\beta^+$ рас- пада+К-зах- вата	$\log fr$
	$E_\gamma$ , кэВ	Ип.в% на распад	$E_\gamma$ , кэВ	Ип.в% на распад				
0	787,1	100±10	0	0	0	-	0	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
787,1	1038,5	100	787,1	100	0	-	0	-
	302,8	97±9						
1825,6	390,6	5.2±0.5	1038,5	100±10	0	-	0	-
	546,2	5,5±0,5						
2128,4	354,2	4,0±0,4	302,8	97±10	93% $\beta^+ \leq 21$ $\leq 72$	5,7±0,1	91% $\beta^+ \leq 21$ $\leq 70\%$	5,7±0,1
2216,2	-	ц	390,6	5,2±0,5	5,2%	6,7±0,1	9%	6,5
2371,8	-	-	546,2	5,5±0,5	5,5%	6,7±0,1	5%	-
2482,6	-	-	354,2	4,0±0,4	4,0%	6,6 ± 0,2	-	-

18



17

Рис. 1а.

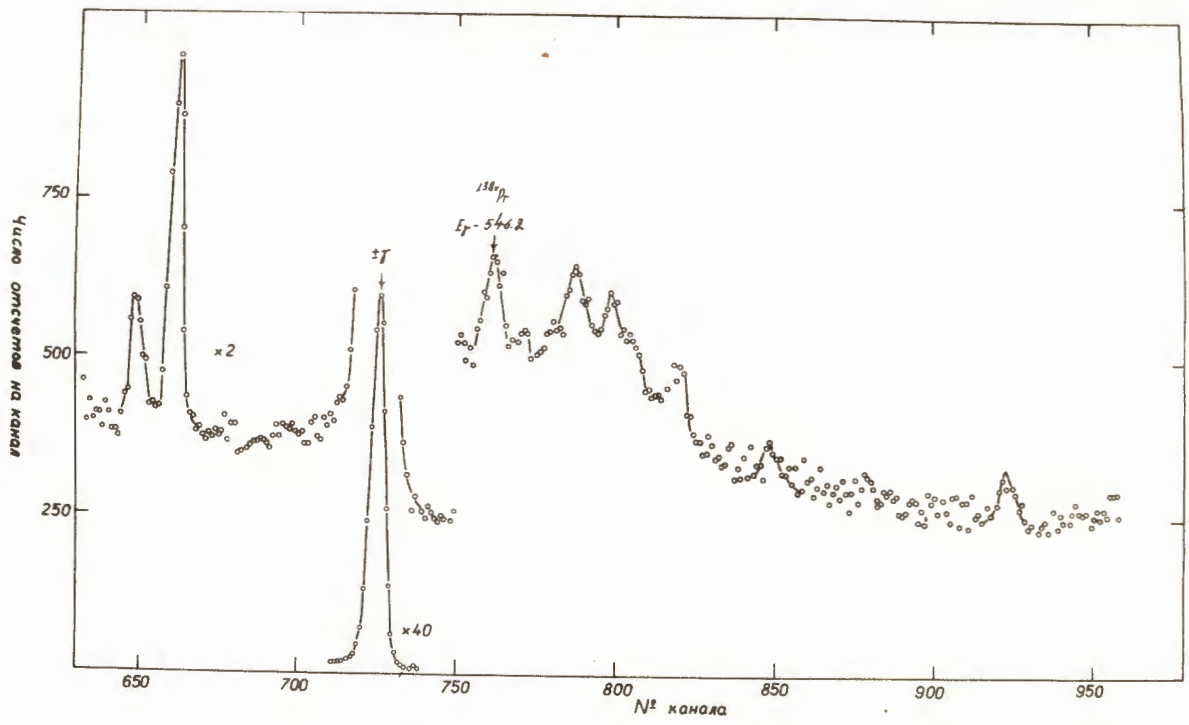
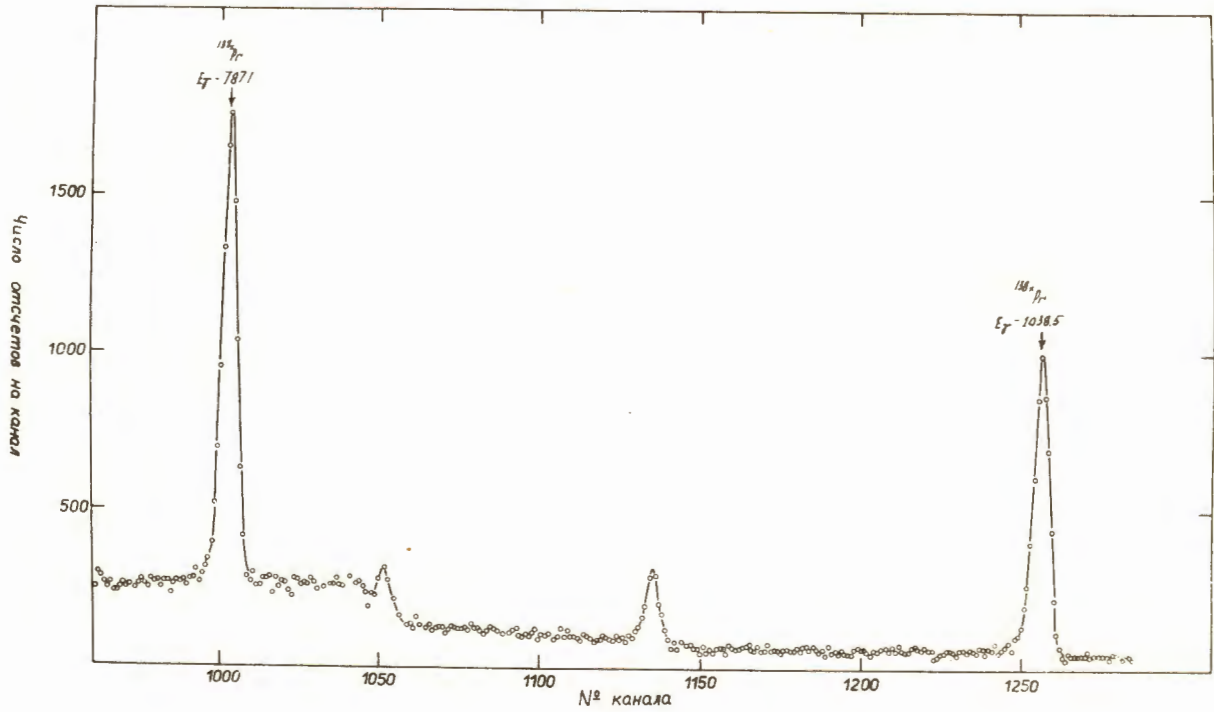


Рис. 16.



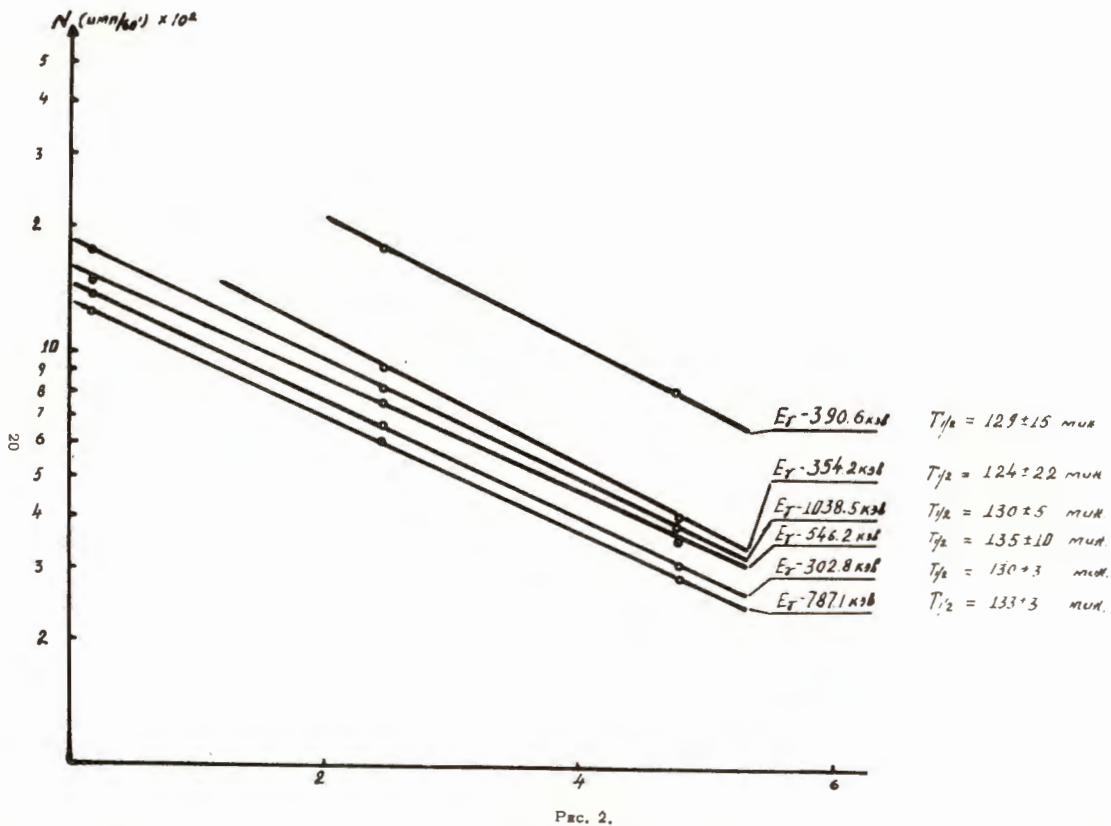


Рис. 2.

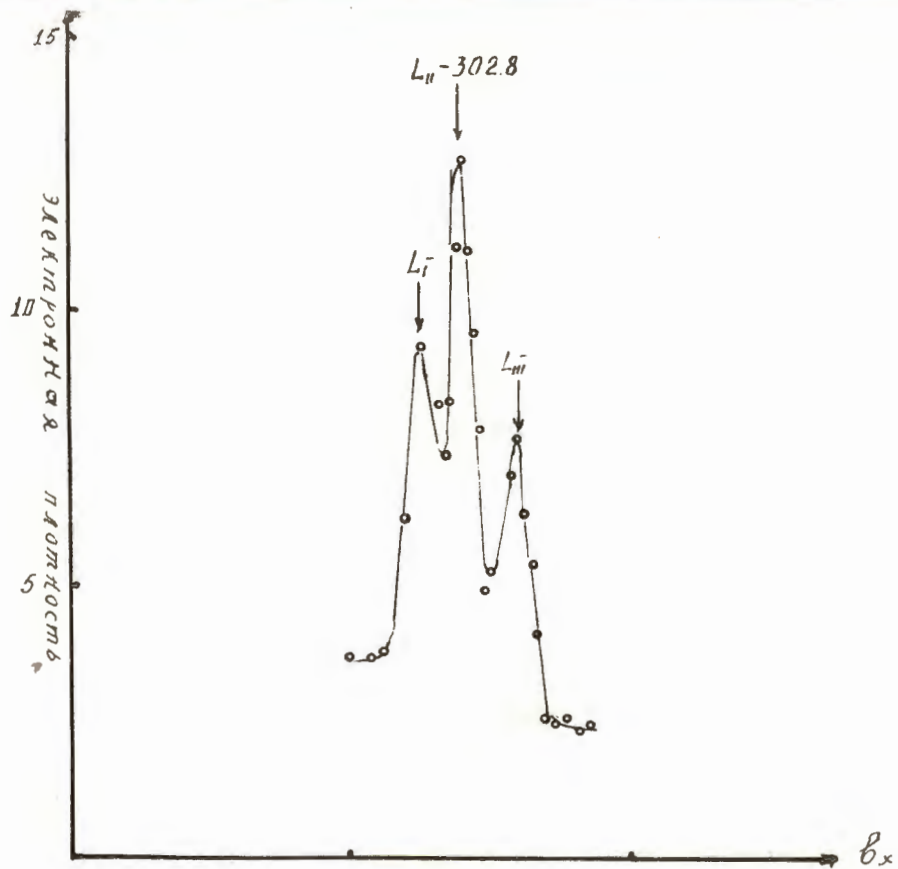


Рис. 3.



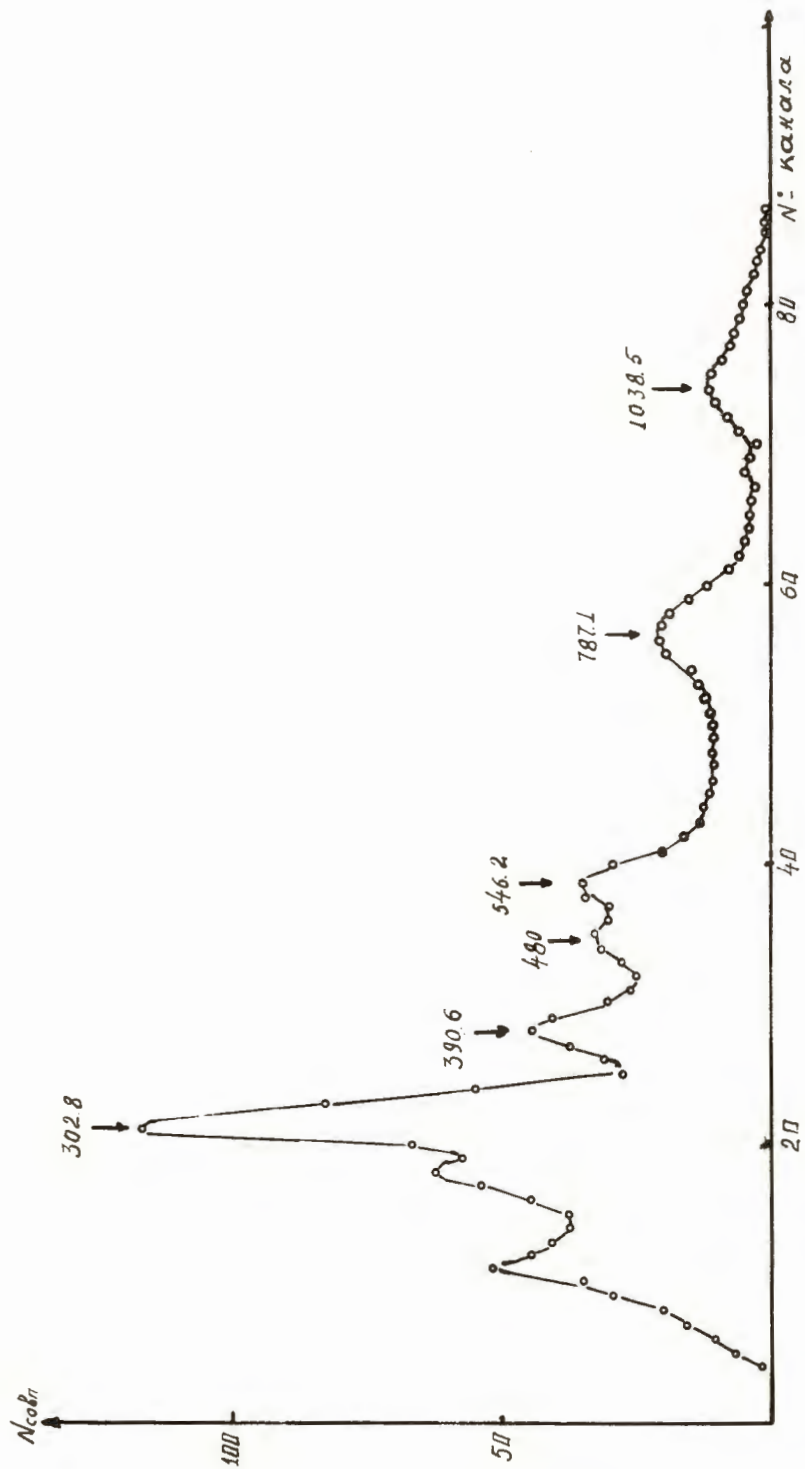


Рис. 4.

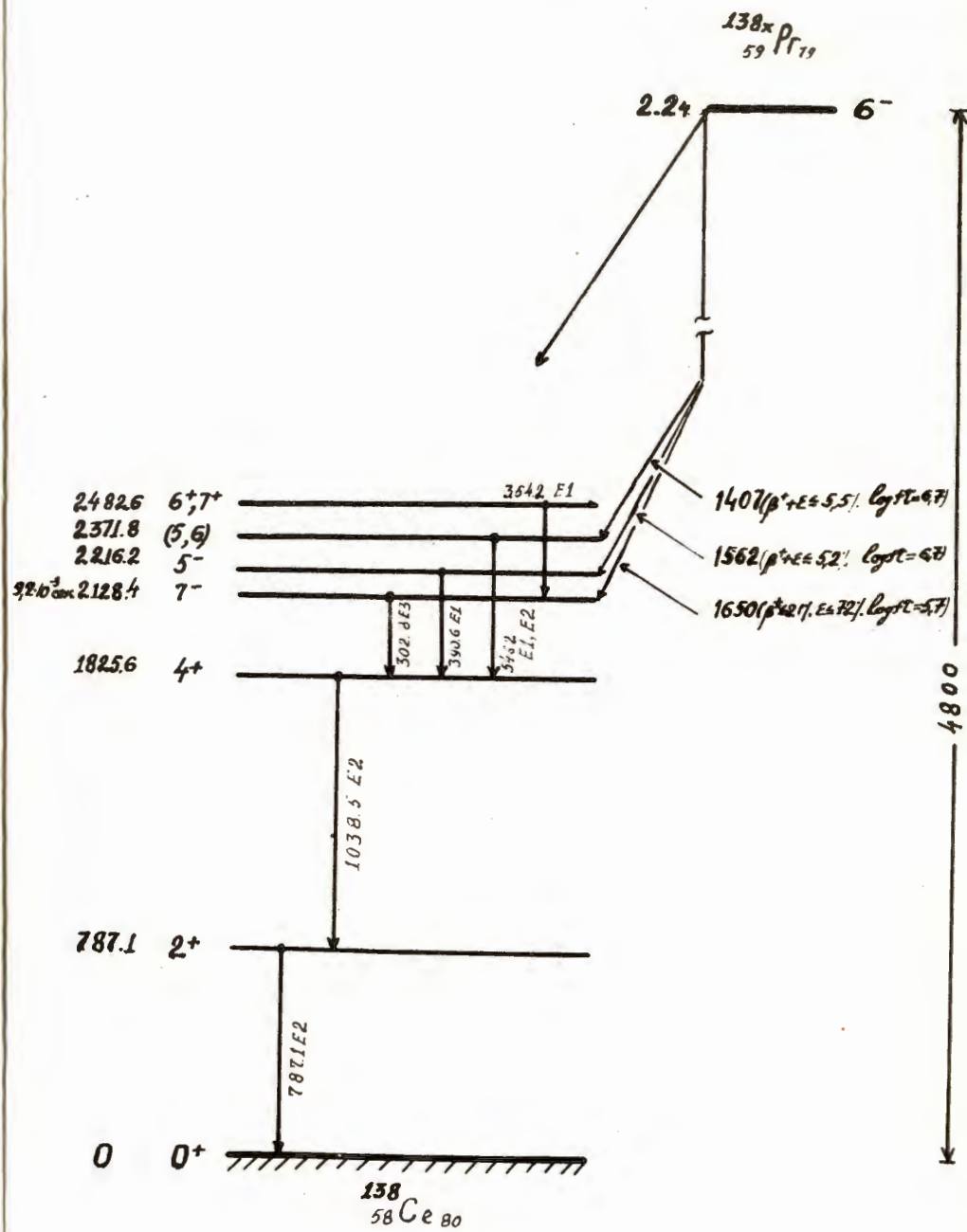


Рис. 5.