

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-139

74-21

20/175
6 - 8204

169/2-75

А.А.Абдуразаков, М.Будзински, Р.Ион-Михай,
Т.А.Исламов, В.А.Морозов, Т.М.Муминов,
М.Суботович, В.И.Фоминых, Х.Фуя, Н.Халбаев

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАСПАДЕ $^{168}\text{Tm} \longrightarrow ^{168}\text{Er}$

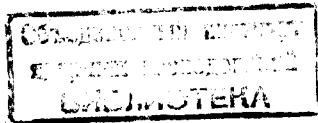
1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.А.Абдуразаков,¹ М.Будзински, Р.Ион-Михай,
 Т.А.Исламов,¹ В.А.Морозов, Т.М.Муминов,²
 М.Суботович,³ В.И.Фоминых, Х.Фуя,⁴ Н.Халбаев²

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАСПАДЕ $^{168}\text{Tm} \longrightarrow ^{168}\text{Er}$

Направлено в *Revue Roumaine
 de Physique*



-
- ¹ Ташкентский государственный университет им. В.И.Ленина.
² Самаркандский государственный университет.
³ Университет им. М.К.Склодовской, Люблин.
⁴ Политехнический институт, Бухарест.

1. Введение

Четно-четное ядро ${}_{68}^{168}\text{Er}_{100}$ лежит в области сильнодеформированных ядер. Изучение схемы возбужденных состояний этого ядра проводилось в ряде работ [1-7]. В результате этих исследований были изучены спектры конверсионных электронов и гамма-лучей, гамма-гамма совпадений, гамма-гамма- и e_k -гамма-угловых корреляций, а также изучены коллективные состояния ${}_{68}^{168}\text{Er}$, возбуждаемые при реакции ${}_{68}^{168}\text{Er}(d,d'){}_{68}^{168}\text{Er}$. Построенная на основе этих данных схема уровней ${}_{68}^{168}\text{Er}$ включает в себя ротационную полосу основного состояния с $K^\pi = 0^+$, γ -вибрационную полосу с $K^\pi = 2^+$, полосу с $K^\pi = 3^-$ и $K^\pi = 4^-$ и, кроме того, ряд других вышерасположенных возбужденных состояний.

Уточнение схемы распада ${}_{68}^{168}\text{Tm}$ и природы возбужденных состояний ${}_{68}^{168}\text{Er}$ требует более тщательного изучения гамма-спектра, спектра конверсионных электронов, мультипольностей переходов и спектров совпадений.

С этой целью в настоящей работе проведены измерения электронов конверсии, гамма-гамма совпадений с Ge(Li)-детекторами и гамма-гамма угловые корреляции с использованием Ge(Li)- и NaJ(Tl)-детекторов.

2. Постановка эксперимента

Источник $^{168}\text{Tm} / T_{1/2} = 85$ дней/ получался в реакции глубокого расщепления при облучении танталовой мишени на внутреннем пучке протонов синхротрона ЛЯП ОИЯИ / $E_p = 680$ МэВ/. Из облученной в течение 20 часов мишени хроматографическим методом выделялась фракция тулия. Для изучения конверсионных электронов источник ^{168}Tm электролитически наносился на платиновую проволочку / $\phi = 0,1$ мм/. Спектры конверсионных электронов были изучены в области энергий от 6 до 3000 кэВ с помощью бета-спектрографов с постоянным однородным магнитным полем / $R = 0,05\%$ /^{8/}.

Спектры гамма-гамма-совпадений изучались на двухмерном анализаторе с цифровыми окнами на базе ЭВМ "Минск-2" с использованием двух полупроводниковых спектрометров с Ge(Li) - детекторами объемом 25 см^3 и разрешением 3,5 кэВ на линии 1332 кэВ ^{60}Co . Временное разрешение равнялось 40 нсек. При анализе спектров совпадений учитывался вклад совпадений с комптоновским распределением от остальных гамма-переходов.

Измерения гамма-гамма угловых корреляций проводились также на ЭВМ "Минск-2" в режиме двухмерного анализа. Гамма-лучи регистрировались в одном канале Ge(Li) - детектором объемом 45 см^3 и разрешением 2,7 кэВ на линии 1332 кэВ ^{60}Co и в другом канале сцинтиляционным спектрометром с кристаллом NaJ(Tl) размером $\phi 40 \times 40$ мм. Подробное описание блок-схемы установки дано в работе^{9/}. При измерении гамма-гамма угловых корреляций в ядре ^{168}Er , цифровые окна в спектре NaJ(Tl) были установлены на гамма-переходы 184 + 198 кэВ и 632 кэВ и на соответствующие фоновые участки /см. рис. 1/. При обработке спектров совпадений учитывались случайные совпадения, совпадения с комптоновским распределением от других гамма-переходов, а также геометрические поправки для Ge(Li) - детектора^{10/} и для кристалла NaJ(Tl)^{11/}.

Результаты исследования электронов внутренней конверсии и выводы о мультипольности переходов даны в табл. 1. В области малых энергий /до 184 кэВ/ обнаружено 8 новых переходов: 27,90; 73,87; 74,68; 75,55; 110,05; 173,70 и 183,90 кэВ. В области энергии выше 184 кэВ наши результаты совпадают с результатами Келлера и др.^{5/}. Ранее известный гамма-переход с энергией 184,29 кэВ^{5/} оказался двойным 183,90 и 184,29 кэВ. Новый переход с энергией 183,9 кэВ располагается между уровнями 1615,3 и 1431,4 кэВ. Другие новые гамма-переходы также находят место в рамках схемы уровней ^{168}Er , предложенной Келлером и др.^{5/} /см. рис. 2/.

Результаты изучения гамма-гамма-совпадений приведены в табл. 2. Они подтверждают расположение гамма-переходов, приведенное на схеме уровней ^{168}Er /рис. 2/.

В табл. 3 даются результаты измерений гамма-гамма угловых корреляций. Сравнение экспериментально полученных значений коэффициентов угловых корреляций $A_{22}^{\text{ЭКСП}}$ и $A_{44}^{\text{ЭКСП}}$ с теоретическими расчетами^{12/} позволило определить смеси мультипольностей для переходов 198,2; 631,6; 815,9 и 829,9 кэВ в предположении, что переход 184,30 кэВ является чистым $E2$ ^{12/}.

Каскад /632-184/ кэВ разряжает последовательно возбужденные состояния 895,8; 264,1 кэВ на уровень 79,82 кэВ ^{168}Er . Анализ экспериментальных значений $A_{22}^{\text{ЭКСП}}$ и $A_{44}^{\text{ЭКСП}}$ с помощью параметрического графика /рис. 3/ для исследуемого каскада приводит к мультипольности типа $E2+ < 0,02\%$ M1 для перехода 631,6 кэВ.

Каскад /198-632/ кэВ связывает возбужденные состояния с энергиями 1094,0; 895,8 и 264,1 кэВ. При мультипольности типа E2 для перехода 631,6 кэВ, из графика Арнс-Виденбека /рис. 4/ следует смесь мультипольности $E1+ < 0,9\%$ M2 и знак параметра смеси $\delta > 0$ для перехода 198,2 кэВ.

Каскад /198-816/ кэВ происходит между возбужденными состояниями 1094,0; 895,8 и 79,82 кэВ. При смеси мультипольностей и знаке параметра δ для перехода

Таблица I

Относительные интенсивности конверсионных электронов при распаде ^{168}Tm

E_e , кэВ	K	L_1	L_2	L_3	Мультипольность
27,90	-	0,34	0,28	-	/E2+M1/
73,87	0,34	-	-	-	-
74,68	0,52	0,069	0,34	0,34	E2
75,55	0,24	-	-	-	-
79,82	37,4	3,7	37,4	37,0	E2
98,95	0,21	-	-	-	-
99,29	1,0	0,14	0,05	-	E1
110,05	0,24	-	-	-	-
138,15	0,1	-	-	-	/E2/
173,70	0,05	-	-	-	E2
183,90	0,24	-	-	-	/E2/
184,29	6,64	0,68	1,0	0,76	E2
198,25	4,13	0,8	0,12	0,12	E1
272,87	0,14	0,022	0,005	0,004	M2
284,11	0,014	-	-	-	E2
348,40	0,021	0,003	-	-	E2
422,24	0,028	0,005	-	-	M1
447,47	2,0	0,31	0,048	0,01	M1
546,76	0,020	-	-	-	E1
557,08	0,05	-	-	-	E2
631,66	0,13	0,028	-	-	E2+M1
645,71	0,0056	-	-	-	E1
673,68	0,001	-	-	-	E1+M2
720,32	0,053	0,01	-	-	E1
730,61	0,055	0,014	-	-	E2+M1
741,32	0,13	0,024	-	-	E2+M1
748,31	0,00009	-	-	-	/E1/
815,93	0,43	0,076	-	-	E2
821,11	0,11	0,010	-	-	E2
829,91	0,023	-	-	-	E1
914,90	0,022	0,0034	-	-	E2
1014,18	0,0015	-	-	-	M2
1167,49	0,00026	-	-	-	E2
1277,41	0,0026	-	-	-	E1
1461,74	0,0003	-	-	-	E1

Таблица 2

Результаты гамма-гамма совпадений в ^{168}Er

	99,29	184,30	198,25	272,87	284,11	447,47	546,76	557,08	631,66	645,71	720,32	730,61	741,32	815,93	821,10	829,91	914,90	1277,41	
99,29		+				+						+						+	
184,30			+	+				+	+	+	+	+				+		+	
198,25		+				+			+					+					
272,87						+							+		+				
447,47	+		+	+					+					+		+			
546,76		+											+					+	
557,08		+										+							
631,66		+	+			+				+									
720,32		+						+						+		+			
730,61	+	+				+	+												
741,32				+							+								
815,93				(+)		+				+									
821,10			+			+					+								
829,91		+				+													

Таблица 3

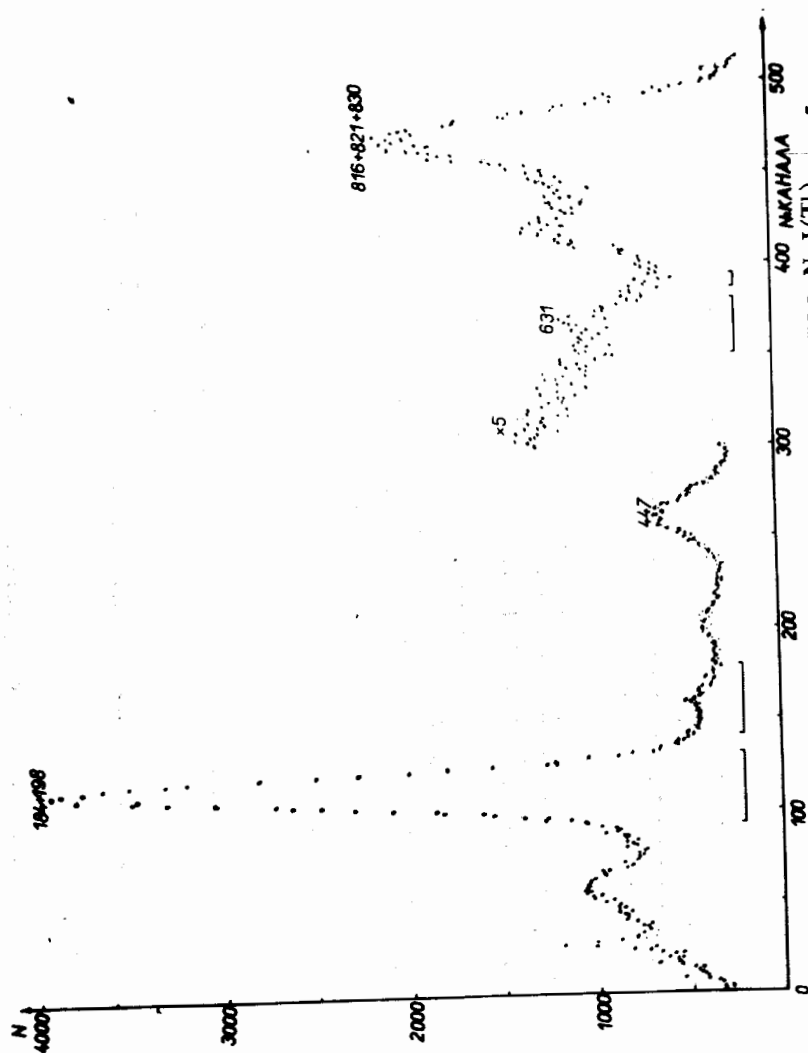
Экспериментальные значения коэффициентов угловых корреляций в ^{168}Er

Энергия уровня (кэВ)	Каскад (кэВ) ($I_i^{\pi} \rightarrow I_j^{\pi} \rightarrow I_k^{\pi}$)	$A_{22} \pm \delta A_{22}$	$A_{44} \pm \delta A_{44}$
895,77 264,11 79,82	632 - 184 ($3^+ \rightarrow 4^+ \rightarrow 2^+$)	$+0,006 \pm 0,020$	$-0,220 \pm 0,038$
1094,01 895,77 264,11	198 - 632 ($4^- \rightarrow 3^+ \rightarrow 4^+$)	$+0,023 \pm 0,020$	$+0,054 \pm 0,040$
1094,01 895,77 79,82	198 - 816 ($4^- \rightarrow 3^+ \rightarrow 2^+$)	$-0,033 \pm 0,009$	$+0,004 \pm 0,016$
1094,01 264,11 79,82	830 - 184 ($4^- \rightarrow 4^+ \rightarrow 2^+$)	$+0,200 \pm 0,032$	$+0,035 \pm 0,053$

Таблица 4

Смеси мультипольностей для исследуемых гамма-переходов в ^{168}Er

Переход (кэВ)	Мультипольности		
	Настоящая работа	Гаоссагрен и др./3/	Келлер и др./5/
198	E1 + < 0,9% M2	E1 + < 1% M2	E1 + < 0,9% M2
632	E2 + < 0,02% M1	E2 + < 0,1% M1	E2 + < 22% M1
816	E2 + (0,55 ± 0,35) M1	E2 + < 0,1% M1	E2 + < 26% M1
830	E1 + < 2% M2	E1 + < 1,7% M2	E1 + < 3% M2

Рис. 1. Выбор цифровых окон на спектре ^{168}Er детектора.

154 Тм
 (87 гн) 59 38
 6.3 3°

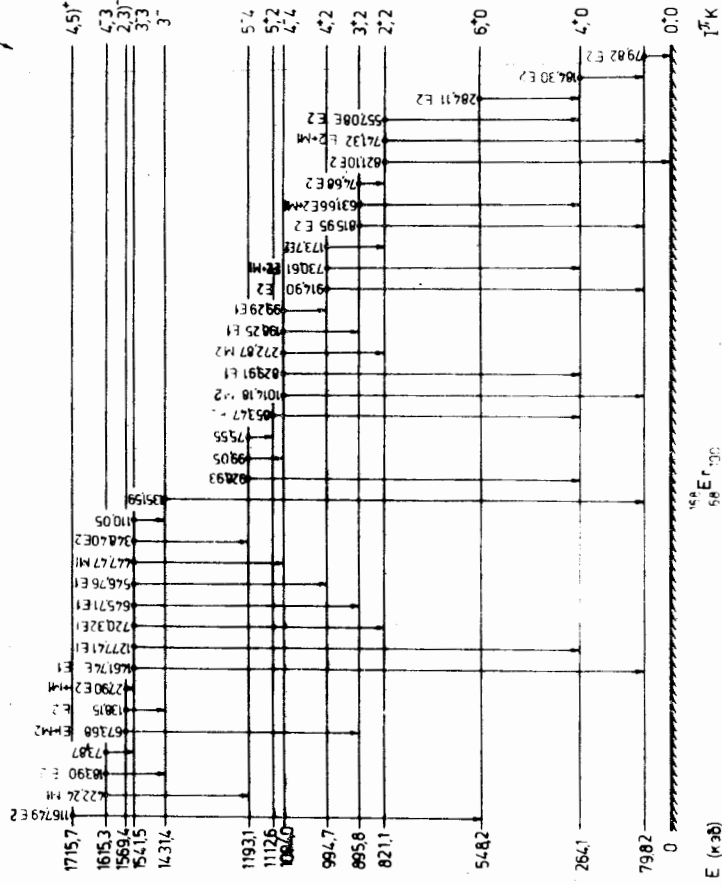


Рис. 2. Схема уровней ядра 168 Ег.

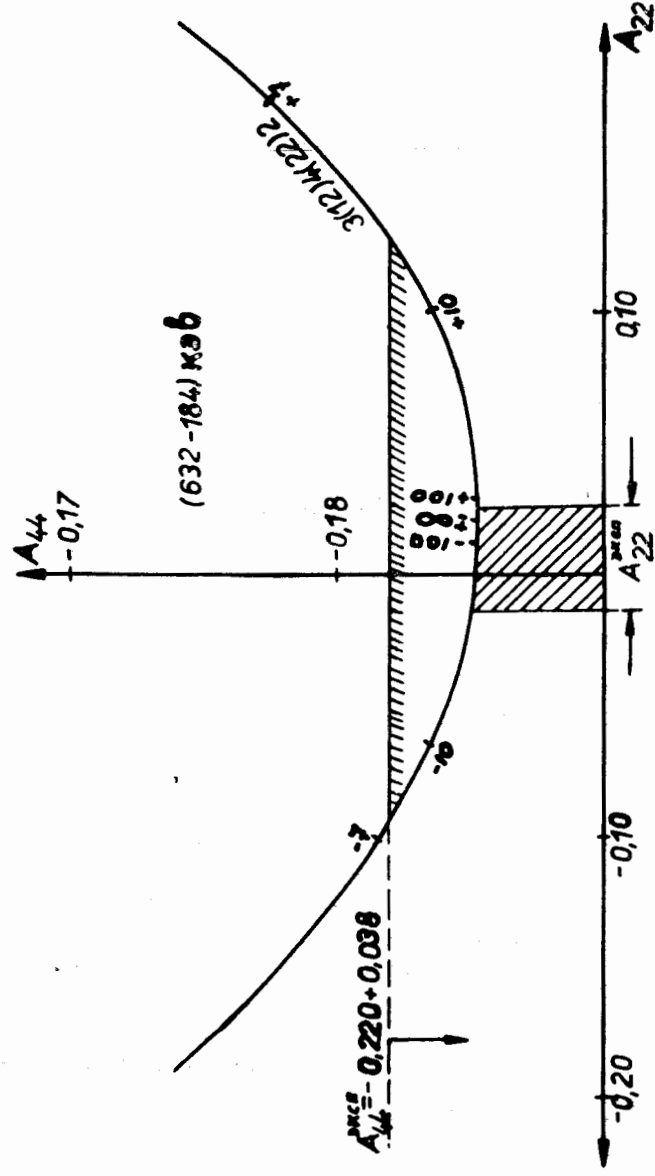


Рис. 3. Параметрический график для каскада /632-184/ кэВ. На кривой отмечены значения параметра А.

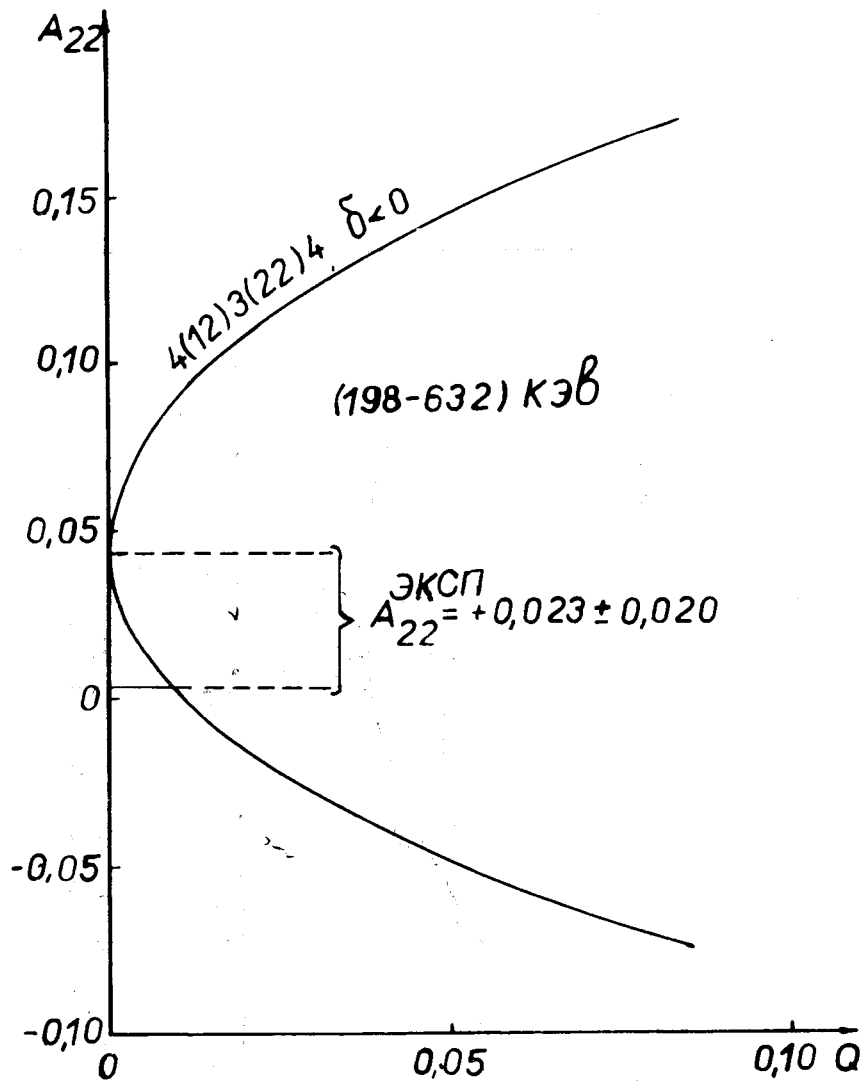


Рис. 4. График Арнс-Виденбека для каскада /198-816/ кэВ.

198,25 кэВ, найденных из анализа предыдущего каскада, следует из рис. 5 для перехода 815,95 кэВ смесь мультипольностей $E2 + /0,55 \pm 0,35/\%M1$ и $\delta > 0$.

Каскад /830-184/ кэВ последовательно разряжает состояния 1094,0; 264,1 кэВ на уровень 79,82 кэВ ^{168}Er . Анализ этого каскада приводит к смеси мультипольности $E1 + < 2\%M2$ для перехода 829,91 кэВ /рис. 6/.

В табл. 4 приведены данные о мультипольностях гамма-переходов, полученные в наших исследованиях, и результаты исследований, приведенных в работе /3,5/. Из таблицы видно, что наши данные хорошо согласуются с данными работы /3/. В этой работе радиоактивный источник ^{168}Tm был нанесен путем испарения в вакууме на никелевую подложку. При обработке экспериментальных результатов для e_k -гамма-каскадов, идущих через промежуточное состояние 264,1 кэВ, авторы работы /3/ принимали значение коэффициента ослабления в пределе $0,80 \leq G_{22} \leq 1,0$. В нашей работе источник ^{168}Tm был нанесен электролитически на платиновую проволочку. Имея в виду, что осуществляется хорошее согласие между нашими результатами и данными работы /3/, можно заключить, что влияние внутренних возмущений в нашем источнике на функцию угловой корреляции для каскадов /632-184/ и /830-184/ кэВ пренебрежимо мало. Такое утверждение можно сделать для каскадов /198-632/ и /198-816/ кэВ, для которых промежуточное состояние характеризуется малым временем жизни /оно является γ -вибрационным состоянием, для которого характерно очень малое время жизни/.

Определение значения параметра смеси Q для переходов 631,66 и 815,95 кэВ позволяет определить экспериментальное отношение приведенных вероятностей $E2$ -переходов с γ -вибрационного состояния / $IK^\pi = 32^+$ / на ротационную полосу основного состояния. Это отношение равно:

$$\frac{B(816; E2; 3 \rightarrow 2)}{B(632; E2; 3 \rightarrow 4)} = \left[\frac{E(632; 3 \rightarrow 4)}{E(816; 3 \rightarrow 2)} \right]^5 \times \frac{I(816; 3 \rightarrow 2)}{I(632; 3 \rightarrow 4)} \times \frac{Q(816; 3 \rightarrow 2)}{Q(632; 3 \rightarrow 4)}, /1/$$

где E , I , Q - энергия, интенсивности и параметр смеси соответствующего перехода.

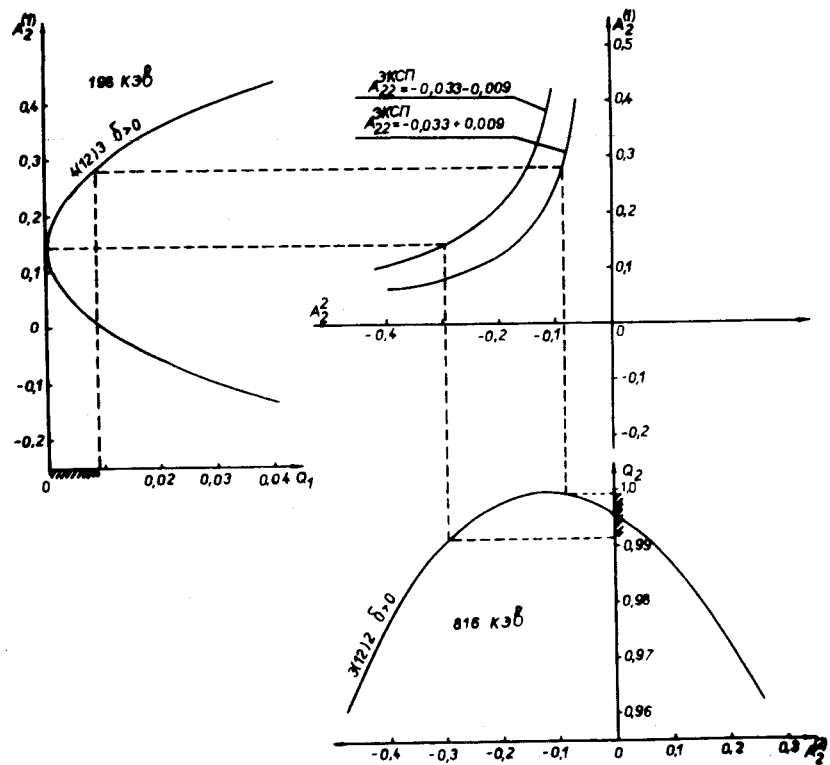


Рис. 5. График Арнс-Виденбека для каскада /198-816/ кВ.

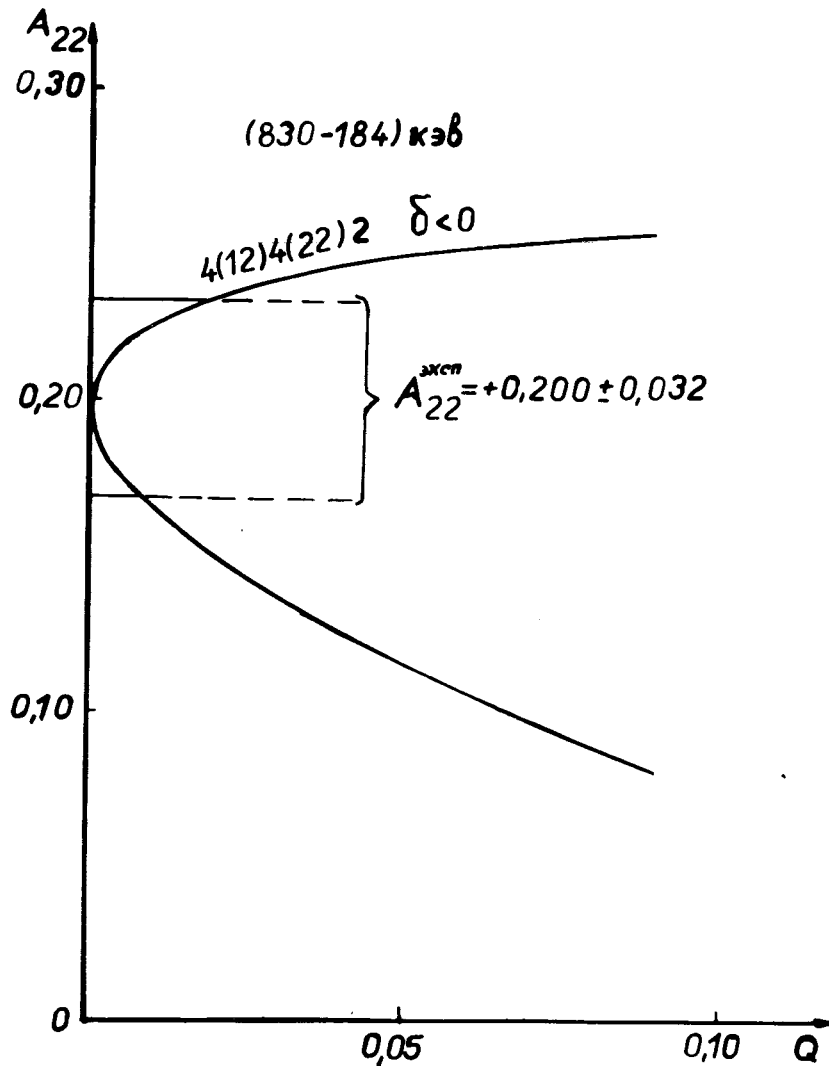


Рис. 6. График Арнс-Виденбека для каскада /830-184/ кВ.

Используя значения энергии и интенсивности гамма-переходов, определенные в работе ^{15/}, и значения Q , найденные нами, получаем $1,673 \pm 0,053$ для отношения приведенных вероятностей /формула 1/. Адиабатическая теория дает для этого отношения значение 2,50. Разницу между этими значениями можно попытаться объяснить взаимодействием между вибрационным и ротационным движением ядра ^{13/}. Общая теория этого взаимодействия развита в работах Натана и Нильсона ^{14/}, Бора и Мотельсона ^{15/}.

Теперь можем оценить параметр смешивания γ -вибрационной и основной полосы Z_2 , определяемый формулой ^{14/}:

$$\frac{B(E2; 32^+ \longrightarrow 20^+)}{B(E2; 32^+ \longrightarrow 40^+)} = \left(\frac{1-Z_2}{1+6Z_2} \right)^2 \quad /2/$$

Принимая значение 1,673, определенное выше, получаем значение $Z_2 = 0,326 \pm 2,4/10^{-3}$, что находится в хорошем согласии с результатами, полученными в работах ^{15,16/}.

Ядро ¹⁶⁸Er представляет собой четно-четное ядро. В работах ^{17,18,19/} рассматриваются вопросы учета взаимодействия вибрационных и ротационных движений в четно-четных ядрах. Вычисления по Давыдову ^{17,18/} и по Беляку ^{19/} дают для отношения приведенных вероятностей E2 переходов значения 0,65 и 1,32, соответственно. Наше экспериментальное значение в случае ¹⁶⁸Er лежит ближе к значению, полученному по теории Беляка и Зайкина ^{19/}.

Авторы приносят свою благодарность профессору К.Я.Громову и В.Г.Калинникову за полезные обсуждения и ценные замечания.

Литература

1. K.P.Jacob, J.W.Mihelich, B.Harmatz and T.H.Handley. *Phys.Rev.*, 117, 1102 (1960).
2. J.Jursik and V.Zvolzka. *Nucl. Phys.*, 86, 405 (1966).
3. Hasselgren, H.S.Sahota, J.E.Thyn and F.Falk. *Physika Scripta*, vol. 3, 119 (1971).
4. Z.Preibisz, D.G.Burke and R.A.O'Neil. *Nucl. Phys.*, A201, 486 (1973).
5. G.E.Keller, E.F.Zganjar and J.J.Pinajian. *Nucl. Phys.*, 129, 481 (1969).
6. P.F.Kenealy, E.G.Funk and J.W.Mihelich. *Nucl.Phys.*, 110, 561 (1968).
7. P.O.Tjøm and B.Elbek. *Nucl.Phys.*, A107, 385 (1968).
8. А.А.Абдуразаков, А.И.Ахмаджанов, К.Я.Громов, Т.А.Исламов, Ш.М.Камолходжаев, М.К.Прокофьев. *Препринт ОИЯИ 6-4363*, Дубна, 1969.
9. М.Будзински, Р.Ион-Михай, В.А.Морозов, Т.М.Муминов, М.Суботович, Х.Фуя, И.Халбаев. *Препринт ОИЯИ, 6-7691*, Дубна, 1974.
10. D.C.Camp, A.L.Van Lehn. *Nucl. Instr. Meth.*, 76, 192 (1969).
11. А.Фергюсон. *Методы угловых корреляций в гамма-спектроскопии*, М., Атомиздат, 1969.
12. H.W.Taylor, B.Singh, F.S.Prato, R.Mc Pherson. *Nuclear Data Tables*, A9, 1-83 (1971).
13. P.Hansen, O.Nilsen and R.Sheline. *Nucl.Phys.*, 12, 389 (1959).
14. O.Nathan and S.G.Nilsson. In *Alpha, Beta and Gamma-Ray Spectroscopy North-Holland Publishing Company, Amsterdam (1965)*.
15. A.Bohr and B.A.Mottelson. In *"Lectures on Nuclear Structure and Energy Spectra (Nordita, Copenhagen (1962))*.
16. M.Gunther, D.R.Parsignault. *Phys.Rev.*, 153, 1297 (1967).
17. А.Давыдов, Т.Филиппов. *ЖЭТФ*, 35, 440, 1958.
18. А.Давыдов, В.Расловский. *ЖЭТФ*, 36, 1788, 1959.
19. V.J.Belyak, P.A.Zaikin. *Nucl.Phys.*, 30, 442 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 августа 1974 года.