

8/IV-74

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Б-903

74-48

6 - 7693

1380/2-74

М.Будзынски, Т.Бэдики, Р.Ион-Михай,
Н.З.Марупов; В.А.Морозов, Т.М.Муминов,
М.Суботович, Х.Фуя, И.Холбаев

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
ОКОЛОМАГИЧЕСКОГО ЯДРА ^{147}Gd

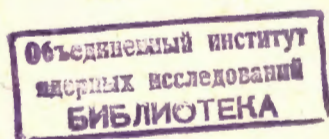
1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

М.Будзынски, Т.Бэди́ке,¹ Р.Ион-Михай,
Н.З.Марупов,² В.А.Морозов, Т.М.Муминов,²
М.Суботович,³ Х.Фуя, И.Холбаев²

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
ОКОЛОМАГИЧЕСКОГО ЯДРА ¹⁴⁷Gd

Направлено в Изв. АН СССР
(серия физическая)



¹ Институт атомной физики, Бухарест.

² Самаркандский Государственный университет.

³ Университет М.К.-Склодовской, Люблин.

Будзынски М., Бэдики Т., Ион-Михай Р.,
Марупов Н.З., Морозов В.А., Муминов Т.М.,
Суботович М., Фуя Х., Холбаев И.

6 - 7693

Изучение возбужденных состояний околomagического ядра
 ^{147}Gd

Измерены времена жизни уровней 1152,0 кэВ ($\leq 0,20$ нсек),
1292,0 кэВ ($\leq 0,20$ нсек), 1411,7 кэВ ($\leq 0,35$ нсек) и угловая гамма-
гамма корреляция каскадов (694-1152), (140-1152) кэВ. Установлен
спин уровня 1152,0 кэВ - $5/2$.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

© 1974 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

В настоящее время проявляется большой интерес к изучению структуры состояний околomagических ядер. Примером такого ядра может служить ^{147}Gd . Ядро ^{147}Gd имеет один нейтрон вне замкнутой оболочки $N=82$ и полностью заполненные протонные оболочки $2d_{5/2}$ и $1g_{7/2}$. В нашей работе производилось изучение состояний ^{147}Gd , возбуждаемых при распаде ^{147}Tb / $T_{1/2}=1,7$ часа/ методами гамма-гамма угловых корреляций и изучения времен жизни уровней. При анализе экспериментальных данных мы использовали результаты, представленные в работах ^{1-6/}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

а/. Приготовление радиоактивного источника

Радиоактивный изотоп ^{147}Tb был получен в реакции глубокого расщепления танталовой мишени при облучении ее на внутреннем пучке протонов синхротрона ЛЯП ОИЯИ / $E_p=660$ МэВ, $I=2,3$ мкА/. Радиохимическими методами из облученной мишени выделялась фракция изотопов тербия. Далее с помощью магнитного масс-сепаратора ^{7/} отдела ЯС и РХ ЛЯП ОИЯИ фракция тербия разделялась по массам и изотоп ^{147}Tb внедрялся в алюминевую фольгу толщиной 5 мкм. Источник для измерения гамма-гамма угловых корреляций получался растворением фольги с радиоактивным препаратом в соляной кислоте. Для проведения временных измерений использовалась часть радиоактивного источника, внедренного в фольгу.

Угловые корреляции гамма-лучей измерялись с помощью автоматизированного спектрометра гамма-гамма угловых корреляций с использованием ЭВМ "Минск-2" в режиме двумерного анализа^{/8/}.

В качестве детекторов использовались полупроводниковый Ge(Li) - детектор/чувствительный объем 45 см³, энергетическое разрешение 2,7 кэВ на гамма-лучах 1,33 МэВ ⁶⁰Co / и сцинтилляционный детектор с кристаллом NaI(Tl) размером 40 x 40 мм и фотоумножителем ФЭУ-13 /энергетическое разрешение 10% на гамма-лучах 661 кэВ ¹³⁷Cs /. Измерения проводились при трех углах 90, 135 и 180°. Временное разрешение установки было: 2τ = 30 нсек.

Измерение времен жизни уровней ¹⁴⁷Gd производилось с помощью многоканального временного анализатора^{/9/}, собранного на базе магнитного бета-спектрометра и сцинтилляционного гамма-спектрометра. Измерения проводились в режиме е-у задержанных совпадений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

А. Измерения гамма-гамма угловых корреляций

При изучении распада ¹⁴⁷Tb мы измеряли гамма-гамма угловые корреляции для каскадов /140-1152/ и /694-1152/ кэВ. При этом в канале NaI(Tl) - детектора с помощью цифровых окон выделялись гамма-переходы с энергиями 694,1 и 1152,0 кэВ и два энергетических окна для области комптоновского распределения за соответствующими фотопиками. Это позволило исключить вклад от совпадений комптоновского распределения других гамма-квантов в спектре совпадений изучаемого каскада. При обработке экспериментальных данных учитывались поправки на случайные совпадения, а в коэффициенты угловых корреляций введены поправки на телесные углы для Ge(Li) - детектора^{/10/} и для кристалла NaI(Tl)^{/11/}. Значения коэффициентов угловых корреляций для каскадов

/140-1152/ и /694-1152/ приведены в табл. 1. При анализе экспериментальных результатов мы исходили из схемы распада ¹⁴⁷Tb, приведенной в работе^{/4/}. Значение спина 7/2 для основного состояния ¹⁴⁷Gd было определено экспериментально^{/15/}.

Каскад /140-1152/ кэВ разряжает последовательно возбужденные уровни с энергиями 1292,0 и 1152,0 кэВ в основное состояние ¹⁴⁷Gd. Изучение угловых распределений гамма-лучей ¹⁴⁷Gd, возбуждаемых в реакции ¹⁴⁴Sm(α, n) ¹⁴⁷Gd /6/, приводит авторов работы к заключению, что спины состояний 1152,0 и 1292,0 кэВ ≤ 5/2. При анализе мы используем также данные относительно мультипольности переходов 119,7 кэВ (M1), 139,9 кэВ (E1), 694,1 кэВ (M1) и 1152,0 кэВ (E2) из работы^{/5/}, где были проведены измерения относительных коэффициентов конверсии. Таким образом, допустимое значение спинов для состояния 1152,0 кэВ I = 3/2⁻ или 5/2⁻, а для состояния 1292,0 кэВ I = 1/2⁺, 3/2⁺, 5/2⁺ или 7/2⁺.

При анализе угловых корреляций /рис. 1/ исключались последовательности спинов 5/2 - 3/2 - 7/2 и 7/2 - 5/2 - 7/2 из-за того, что для рассматриваемого каскада экспериментальное значение A₂ не пересекает соответствующих эллипсов, и мультипольность перехода 1152,0 кэВ, равная E2 + (16,5 ± 6,0)% M3 из-за большой примеси M3 компоненты. Таким образом, остаются следующие возможности для последовательности спинов изучаемых состояний и мультипольности перехода с энергией 1152,0 кэВ:

E2 + (2,5 ± 2,0)% M3	с	δ(1152) > 0;	1/2 - 3/2 - 7/2
M1 + (15,5 ± 7,0)% E2	с	δ(1152) > 0	} 3/2 - 5/2 - 7/2
или M1 + (74,5 ± 9,5)% E2	с	δ(1152) > 0	
M1 + (1,5 ± 1,5)% E2	с	δ(1152) < 0	5/2 - 5/2 - 7/2
или M1 + (99,5 ± 0,5)% E2	с	δ(1152) > 0	

Более определенные выводы мы получим при анализе следующего каскада.

Каскад /694-1152/ кэВ идет между возбужденными уровнями 1846,1; 1152,0 кэВ и основным состоянием ¹⁴⁷Gd. Мультипольности перехода 694,1 кэВ и возмож-

Таблица I

Результаты исследования гамма-гамма-угловых

корреляций в ^{147}Gd

Энергия уровня (кэВ)	Каскад (кэВ)	$A_{22} \pm \Delta A_{22}$	$A_{44} \pm \Delta A_{44}$
1292,0			
1152,0	140-1152	$-0,117 \pm 0,034$	$+0,004 \pm 0,071$
1846,1			
1152,0	694 - 1152	$-0,208 \pm 0,040$	$-0,029 \pm 0,084$
0			

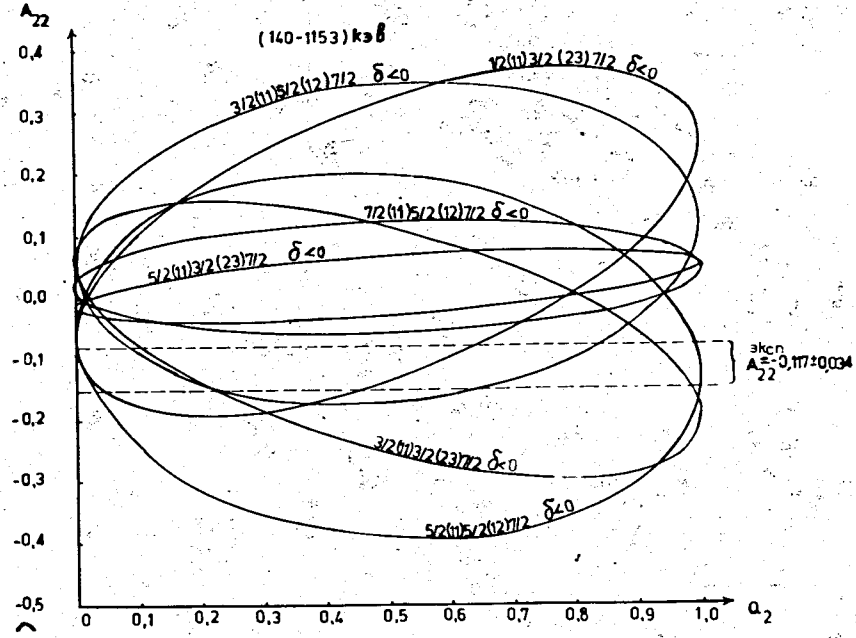


Рис. 1. График Арса-Виденбека для каскада /140-1152/ кэВ.

ные значения спина 3/2 или 5/2 для возбужденного состояния 1152,0 кэВ допускают следующие значения спина для уровня 1846,1 кэВ: 1/2, 3/2, 5/2 или 7/2. При допущении значения мультипольности перехода 1152,0 кэВ - $E2 + (2,5 \pm 2,0)\% M3$ с $\delta(1152) > 0$ или $M1 + (1,5 \pm 1,5)\% E2$ с $\delta(1152) < 0$ экспериментальное значение коэффициента угловой корреляции /рис. 2/ исключает возможность значения спина 3/2 для уровня 1152,0 кэВ, 1/2 для уровней 1292,0 и 1846,1 кэВ. Дальнейший анализ каскада /694 - 1152/ кэВ не дает возможности сделать выбор между спинами 3/2, 5/2 или 7/2 для состояния 1846,1 кэВ, допуская при этом примесь E2 в переходе 694,1 кэВ от 1,5 до 78% из анализа рассматриваемых вариантов.

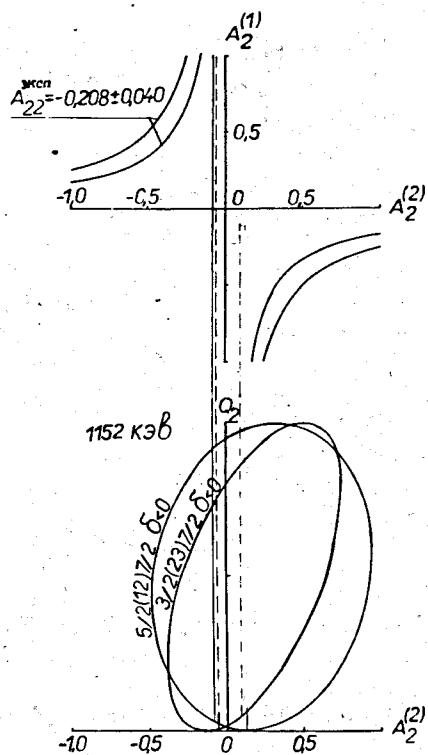


Рис. 2. График Арнса-Виденбека для каскада /694 - 1152/ кэВ.

Б. Измерение времен жизни некоторых уровней в ядре ^{147}Gd

Нами была предпринята попытка определить времена жизни уровней ^{147}Gd с энергиями 1152,0; 1292,0 и 1411,7 кэВ, однако ограниченное временное разрешение установки позволило определить только верхние пределы периодов полураспада этих состояний как 0,20; 0,20; 0,35 нсек соответственно.

На рис. 3 приведены временные спектры совпадений (К-120)(γ) и (К-140)(γ). Конверсионные электроны выделялись в канале "Стоп", а гамма-лучи - в канале "Старт".

Таблица 2

Значения мультипольностей и спинов некоторых гамма-переходов и возбужденных уровней в ^{147}Gd

Энергия уровня (кэВ)	Спин	Переход (кэВ)	Значение мультипольности		Знак \int
			Работа	Наша работа	
1152,0	5/2	1152,0	E2	MI+(15,5 \pm 7,0)% E2	> 0
			E2	MI+(74,5 \pm 9,5)% E2	> 0
				MI+(99,5 \pm 0,5)% E2	> 0
1292,0	3/2 или 5/2	140	E1	-	-

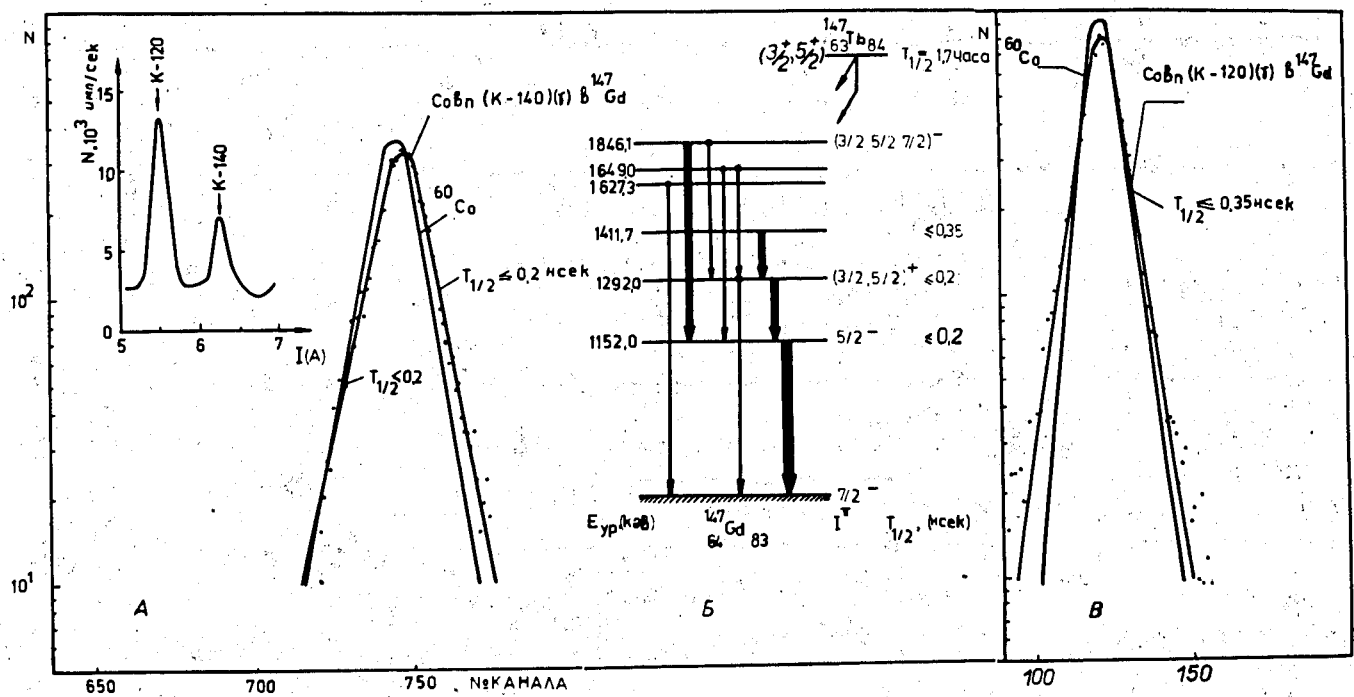


Рис. 3А, В. Временные спектры. Б. Фрагмент схем распада ¹⁴⁷Gd.

Таблица 3
Периоды полураспада возбужденных состояний и факторы запрета переходов
в ¹⁴⁷Gd

$E_{ур}$ (кэВ)	$T_{1/2}^{эксп}$ (нсек)	E_f (кэВ)	GL	$I_i \rightarrow I_f$	F_n
			$MI + (15,5 \pm 7,0) \% E2$		$F(M1) \leq 1,8 \cdot 10^4$ $F(E2) \leq 41$
1152,0	$\leq 0,20$	1152,0	$MI + (74,5 \pm 9,5) \% E2$	$5/2 - 7/2$	$F(M1) \leq 6,0 \cdot 10^4$ $F(E2) \leq 8,5$
			$MI + (99,5 \pm 0,5) \% E2$		$F(M1) \leq 3,0 \cdot 10^6$ $F(E2) \leq 6,4$
1292,0	$\leq 0,20$	140	E1	$3/2 - 5/2$ $5/2 - 5/2$	≤ 840 ≤ 40
1411,7	$\leq 0,35$	119,7	M1	$7/2 - 5/2$	≤ 66

Как видно из рисунка, спектры задержанных совпадений практически не отличаются от спектров мгновенных совпадений на ^{60}Co . Правые склоны кривых (K-120)(γ) и (K-140)(γ) позволяют оценить периоды полураспада для уровней 1411,7 кэВ / $T_{1/2} \leq 0,35$ нсек/ и 1292,0 кэВ / $T_{1/2} \leq 0,20$ нсек/, а их левые склоны - для уровней 1292,0 кэВ, 1152 кэВ / $T_{1/2} \leq 0,2$ нсек/, соответственно. Полученные результаты позволяют оценить вероятности переходов, разряжающих рассматриваемые состояния, относительно одночастичных значений /табл. 3/. Анализ вероятности перехода 120 кэВ был проведен в предположении спина уровня 1411,7 кэВ как $7/2^+$. Результаты изучения угловых распределений гамма-лучей /6/ позволяют считать это значение спина предпочтительным по сравнению с другими.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основное состояние ^{147}Gd можно рассматривать в рамках оболочечной модели как состояние нечетного нейтрона / $N=83$ / в подоболочке $2f_{7/2}$.

Проблема установления природы уровня 1152,0 кэВ несколько сложнее. До наших измерений этому состоянию приписывалось значение спина $3/2^{+3/}$ /нейтронное состояние $3p_{3/2}$ /. Изучение реакции $^{144}\text{Sm}(\alpha, n)^{147}\text{Gd}$ /6/ допускает значение как $3/2$, так и $5/2$ для этого состояния. Наши результаты по гамма-гамма угловым корреляциям дают для уровня 1152,0 кэВ единственное значение $5/2$. Этот результат можно интерпретировать, если учесть то, что ядро ^{147}Gd находится в переходной области. Кроме первых возбужденных состояний ядер с $N=83$ по изотонам /3/ можно рассматривать первые возбужденные состояния изотопов гадолиния с $A=147, 149, 151$ /рис. 4/.

Измерения времен жизни первых возбужденных состояний 164 кэВ в ^{149}Gd и 108 кэВ в ^{151}Gd со спинами $5/2^-$ /12,13/ показали, что E2-компонента этих переходов ускорена по сравнению с одночастичными оценками. Такое ускорение можно понять на основе модели Де-Ша-

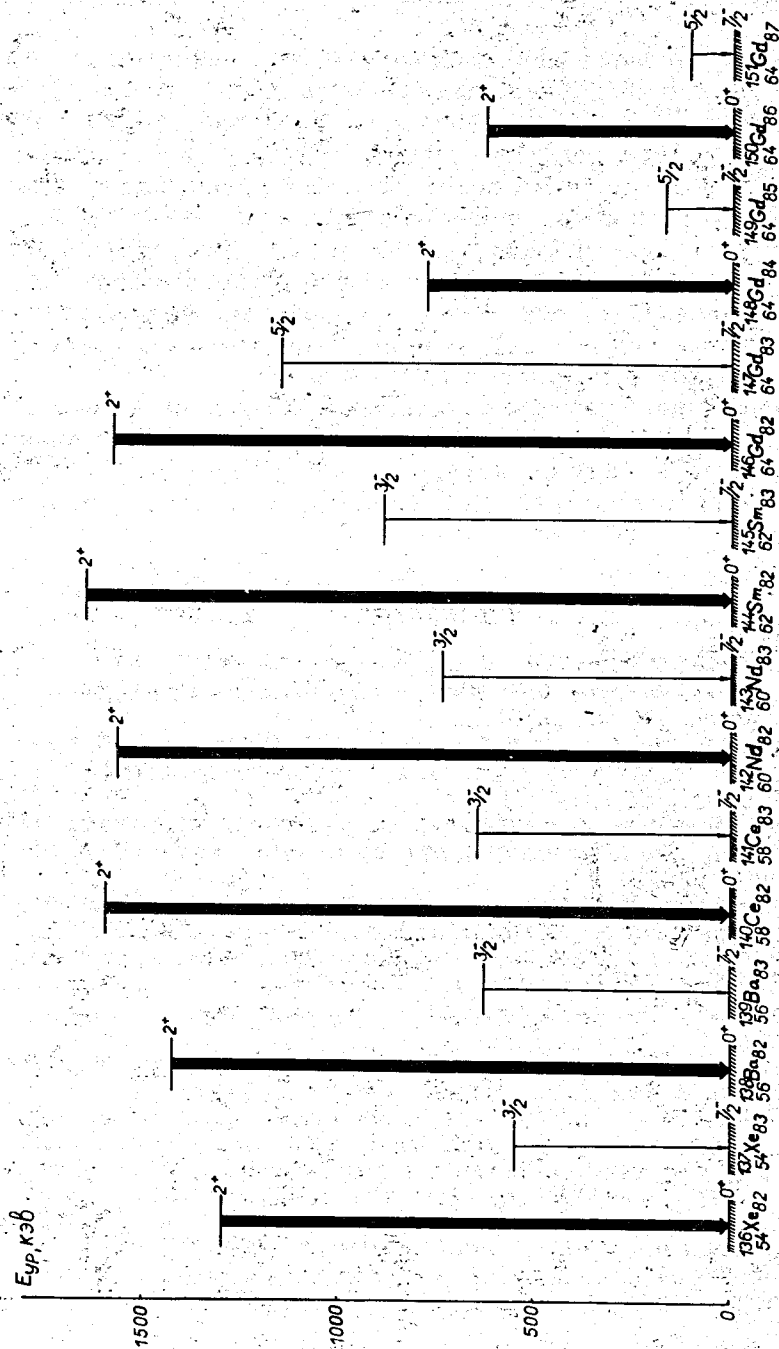


Рис. 4. Систематика первых возбужденных состояний магических и околомагических ядер с $N=82$.

лита /14/, учитывающей взаимодействие между нечетной частицей и квадрупольными колебаниями остова. Для фактора запрета E2 -компоненты перехода 1152,0 кэВ, в нашей работе получена оценка $F(E2) \leq 6,4$. Поэтому по аналогии с первыми возбужденными уровнями $^{149,151}\text{Gd}$ можно считать, что уровень 1152,0 кэВ ^{147}Gd с $I^\pi = 5/2^-$ является членом мультиплета, обусловленного взаимодействием 2^+ состояния четно-четного остова ^{146}Gd и состояния $f_{7/2}$ нечетного нейтрона. На рис. 4 также изображены первые возбужденные состояния 2^+ четно-четных остовов гадолиния 146, 148 и 150.

Выяснение природы остальных возбужденных состояний ^{147}Gd требуют более детального изучения их квантово-механических свойств.

Авторы благодарны Р.В.Джолосу за полезные дискуссии.

Литература

1. K.S.Toth, J.O.Rasmussen. *J.Inorg.Chem.*, 12, 236 (1960).
2. Y.Y.Chu, E.M.Franz, G.Friedlander. *Phys.Rev.Lett.*, 23, A21 (1969). *Phys.Rev.*, 187, 1529 (1969).
3. В.П.Афанасьев, И.И.Громова, Г.И.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 85, 719 /1971/.
4. Г.И.Исхаков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук, б-6766, Дубна, 1972.
5. Ц.Вылов, К.Я.Громов, И.И.Громова, Г.И.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова. Тезисы докладов XII совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дб-5783, Дубна, 1971, 105.
6. J.Kownacki, H.Rude, V.O.Sergejev, Z.Sujkowski. *Phys.Scr.*, 5, 66 (1972).
7. В.П.Афанасьев, А.Г.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.
8. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков и др. Препринт ОИЯИ, 13-4273, Дубна, 1969.
9. В.А.Морозов, Т.М.Муминов. ПТЭ. 2. 53 /1970/.
10. D.C.Camp, A.L.Van Lehn. *Nucl.InstrMeth.*; 76, 192 (1969).
11. А.Ф.Фергюсон. Методы угловых корреляций в гамма-спектроскопии. Атомиздат, Москва, 1969.

12. Я.Ваврышук, В.А.Морозов, Т.М.Муминов, В.И.Разов, Я.Сажински, В.И.Стегайлов, А.Б.Халикулов. Препринт ОИЯИ, 6-6287, Дубна, 1970.
13. В.А.Морозов, Т.М.Муминов, В.И.Разов. Препринт ОИЯИ, 6-4406, Дубна, 1969.
14. A.De-Shalit. *Phys.Rev.*, 122, 1530 (1960).
15. C.Ekström, S.Ingelman, M.Olsmats and B.Wannberg. *Physica Scripta*, vol. 6, 181-190 (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1974 года.