

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

68/2-81

12/1-81

P6-80-668

А.В.Будзьяк, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов,  
А.А.Марчук, Р.Р.Усманов

ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД  
ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ  $e\gamma$ -СОВПАДЕНИЙ  
И ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ РАСПАДА ЯДЕР

Направлено в сб. "Прикладная ядерная спектроскопия"

1980

Предлагается метод обработки спектров  $e\gamma$ -совпадений, получаемых при измерении на установке <sup>1/</sup>, созданной на базе безжелезного бета-спектрометра <sup>2/</sup> с тороидальным магнитным полем.

При изучении спектров совпадений электронов внутренней конверсии /ЗВК/ с  $\gamma$ -лучами в аналогичных условиях измеряется также спектр  $\gamma$ -лучей исследуемого изотопа. После определения площадей фотопиков в спектрах подвергаются анализу отношения площадей фотопиков  $\gamma$ -лучей, наблюдаемых в спектре  $e\gamma$ -совпадений  $S_{e\gamma_i}$ , к соответствующим площадям фотопиков в спектре  $\gamma$ -лучей  $S_{\gamma_i}$ . В том случае, когда ряд переходов заселяет один и тот же уровень, должны выполняться соотношения

$$\frac{S_{e\gamma_1}}{S_{\gamma_1}} = \frac{S_{e\gamma_2}}{S_{\gamma_2}} = \frac{S_{e\gamma_3}}{S_{\gamma_3}} = \dots = \text{const},$$

так как для переходов, заселяющих одни и те же уровни, наблюдаемые соотношения интенсивностей  $\gamma$ -лучей в спектре совпадений будут равны соотношению интенсивностей  $\gamma$ -лучей в одиночном  $\gamma$ -спектре. При  $\frac{S_{e\gamma}}{S_{\gamma}} = C_1 < C = \text{const}$  следует, что  $\gamma$ -лучи с данной энергией отвечают за заселение других уровней. Уменьшение отношений по величине обусловлено ветвлением переходов, разряжающих соответствующие возбужденные уровни исследуемого изотопа.

Обсудим подробнее метод обработки спектров  $e\gamma$ -совпадений. Введем следующие обозначения:  $J_{ij} = J_{\gamma_{ij}} + J_{e_{ij}}$  - полная интенсивность перехода, связывающего уровень  $i$  с уровнем  $j$ ;

$J_{\gamma_{ij}}$  - интенсивность  $\gamma$ -лучей;  $J_{e_{ij}}$  - интенсивность электронов внутренней конверсии;  $J_n = \sum_{j=0}^n J_{n,j}$  - сумма интенсивностей переходов, разряжающих  $n$ -ый возбужденный уровень исследуемого изотопа.

Рассмотрим фрагмент схемы уровней /рис.1/. Рассчитаем долю /схемный коэффициент/ совпадений ЗВК перехода /1,0/ с  $\gamma$ -лучами для переходов на уровни 1,2,3 и т.д. Для переходов на первый уровень схемный коэффициент  $a = a_{1,1}$  для удобства принимаем равным единице. Для переходов на уровень 2 схемный коэффициент будет равен:

$$a_{2,1} = a_{1,1} \cdot \frac{J_{2,1}}{J_{2,0} + J_{2,1}} = a_{1,1} \cdot \frac{J_{2,1}}{J_2},$$

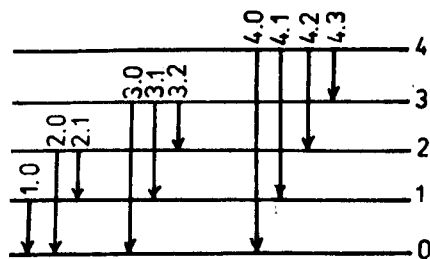


Рис. 1

для переходов на уровень 3:

$$a_{3,1} = a_{1,1} \cdot \frac{J_{3,1}}{J_{3,0} + J_{3,1} + J_{3,2}} + a_{1,1} \cdot \frac{J_{3,2}}{J_{3,0} + J_{3,1} + J_{3,2}} \cdot \frac{J_{2,1}}{J_{2,0} + J_{2,1}} = \frac{1}{J_3} (J_{3,1} \cdot a_{1,1} + J_{3,2} \cdot a_{2,1});$$

для переходов на уровень n:

$$a_{n,1} = \frac{1}{J_n} \sum_{i=1}^{n-1} J_{n,i} \cdot a_{i,1} \quad (a_{1,1} \equiv 1).$$

Таким образом, для случаев совпадений с ЭВК переходов, разряжающих соответственно 2,3,...,m уровни, получаем более общее рекуррентное соотношение:

$$a_{n,m} = \frac{1}{J_n} \sum_{i=m}^{n-1} J_{n,i} \cdot a_{i,m}, \quad (a_{m,m} \equiv 1), \quad n > m,$$

где буквой n обозначен номер уровня, заселяемого гамма-переходами, а m - номер уровня, разряжаемого переходом, с которым осуществляются совпадения.

Рассмотрим случай, когда  $\gamma$ -переходы расположены в схеме ниже перехода, совпадения с которым анализируются, например, с переходом /4,3/, рис.1. Переходы /3,0/, /3,1/ и /3,2/ находятся в прямых каскадах с /4,3/, поэтому схемный коэффициент для всех переходов, разряжающих третий уровень, можно принять равным единице, т.е.  $a_{3,3} \equiv 1$ . Здесь первый индекс обозначает номер уровня, который заселяется переходом /4,3/, а второй - номер уровня, разряжаемого данным  $\gamma$ -переходом.

Доля совпадений с ЭВК перехода /4,3/ для переходов, идущих со второго уровня, равна:

$$a'_{3,2} = a'_{3,3} \cdot \frac{J_{3,2}}{J_2},$$

для переходов с первого уровня:

$$a'_{3,1} = a'_{3,3} \cdot \frac{J_{3,1}}{J_1} + a'_{3,3} \cdot \frac{J_{3,2}}{J_2} \cdot \frac{J_{2,1}}{J_1} = \frac{1}{J_1} (J_{3,1} \cdot a'_{3,3} + J_{2,1} \cdot a'_{3,2}).$$

Далее для  $a'_{n,1}$  получаем:

$$a'_{n,1} = \frac{1}{J_1} \sum_{i=2}^n J_{i,1} \cdot a'_{n,i}, \quad (a'_{n,n} \equiv 1).$$

Рассматривая совпадения  $\gamma$ -переходов, разряжающих 2,3,...,m уровни, с переходами ЭВК, идущими на n уровень, получим общее рекуррентное соотношение:

$$a'_{n,m} = \frac{1}{J_m} \sum_{i=m+1}^n J_{i,m} \cdot a'_{n,i}, \quad (a'_{n,n} \equiv 1), \quad n > m.$$

При этом связь между коэффициентами a и a' выражается формулой

$$a'_{n,m} = \frac{a'_{n,n} \cdot J_n}{a_{m,m} \cdot J_m} \cdot a_{n,m} = \frac{J_n}{J_m} \cdot a_{n,m}, \quad (n > m).$$

Рассмотрим далее связь схемных коэффициентов a с экспериментальными отношениями  $\frac{S_{\gamma\gamma}}{S_\gamma}$ . В случае непосредственных совпадений  $\gamma$ -лучей с ЭВК данного перехода их величины будут максимальными и равными друг другу /в пределах экспериментальных ошибок/. Остальные отношения также будут группироваться около некоторых значений. Нормируя все  $S_{\gamma\gamma}/S_\gamma$  на максимальные их значения, мы тем самым полагаем, что для непосредственных совпадений они равны единице, т.е. приводим все отношения к расчетной нормировке для схемных коэффициентов a. Нормированные отношения  $(\frac{S_{\gamma\gamma}}{S_\gamma}) / (\frac{S_{\gamma\gamma}}{S_\gamma})_{\max}$  будут отражать соответствующие коэффициенты схемы распада исследуемого изотопа.

Таким образом, при равенстве расчетного и экспериментального схемных коэффициентов можно с определенной достоверностью делать заключение о соответствующем расположении данного перехода в схеме распада. Для большей достоверности расположения переходов в схеме распада обычно анализируют несколько спектров совпадений  $\gamma$ -лучей с ЭВК разных переходов.

Так как схема совпадений имеет конечное разрешающее время  $/2\tau_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}/$ , то из экспериментальных отношений площадей необходимо исключить вклад случайных совпадений. Случайные совпадения определяются, в частности, по  $\gamma$ -лучам, не совпадающим с данным переходом, согласно предлагаемому варианту схемы распада изотопа. Окончательно экспериментальные значения  $a_3$  рассчитываем по формуле

$$a_3 = \frac{(S_{\gamma\gamma}/S_\gamma) - (S_{\gamma\gamma}/S_\gamma)_{\text{случ}}}{(S_{\gamma\gamma}/S_\gamma)_{\max} - (S_{\gamma\gamma}/S_\gamma)_{\text{случ}}}.$$

Кроме этого, для более тщательного анализа наблюдаемых соотношений  $S_{\gamma\gamma}/S_\gamma$  при построении схем распада в ряде случаев следует делать поправку на угловую корреляцию направлений вылета ЭВК и  $\gamma$ -лучей /в нашем случае угол составляет  $\sim 135^\circ$ ./

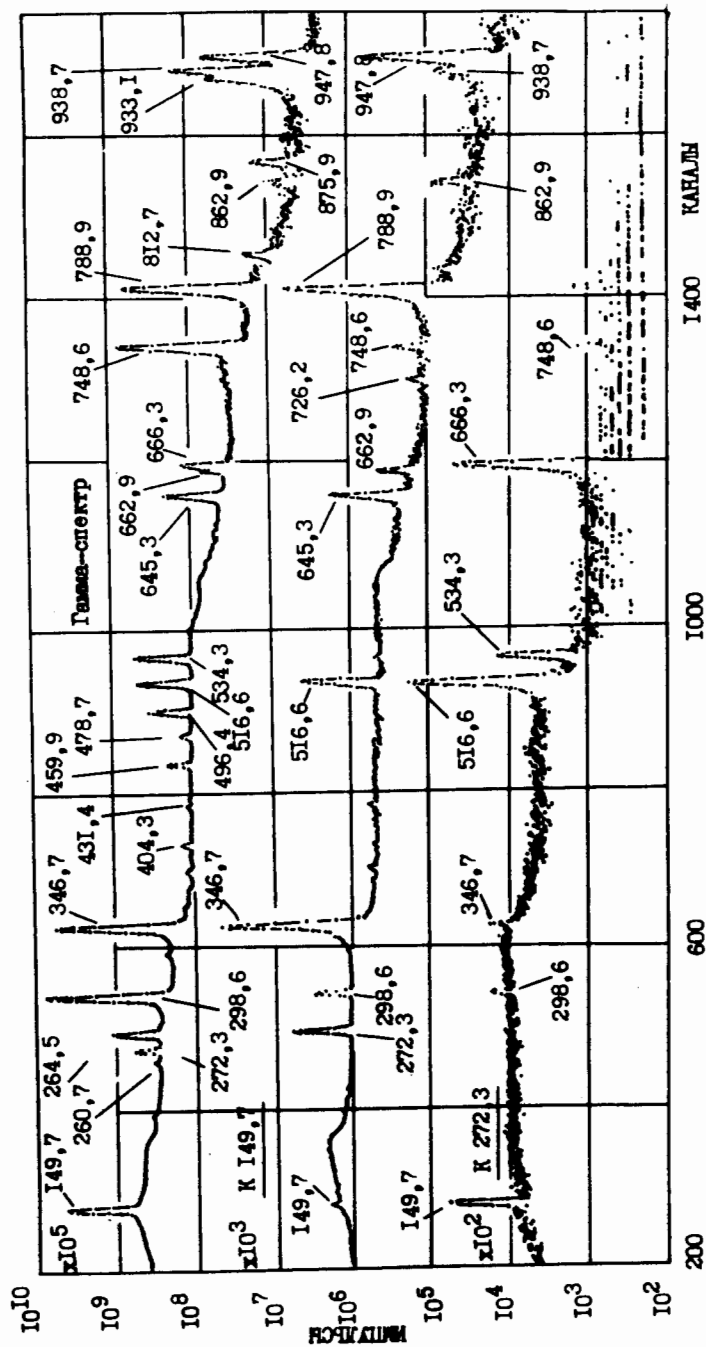


Рис. 2

Таблица

$E_\gamma$ (кэВ)	$e\gamma$ -совпадения с К149,7		$e\gamma$ -совпадения с К272,3		$E_i$ (кэВ)	$E_f$ (кэВ)
	$a_T \cdot 10^2$	$a_B \cdot 10^2$	$a_T \cdot 10^2$	$a_B \cdot 10^2$		
149,733	-	-	4,8(4)	4,1(6)	149,734	0
264,51	3,88(29)	2,6(10)	-	-	1012,67	748,610
272,317	72,2(14)	67,2(23)	-	-	938,613	666,290
346,660	100	98,1(38)	-	-	496,398	149,734
384,55	100	91,2(195)	-	-	534,296	149,734
516,558	100	102,4(40)	100	98,4(30)	666,290	149,734
534,304	-	-	2,6(3)	2,7(4)	534,296	0
645,288	100	104,0(43)	-	-	794,98	149,734
662,888	100	83,6(64)	-	-	812,63	149,734
666,293	-	-	100	108,6(96)	666,290	0
726,29	100	78,4(213)	-	-	875,91	149,734
788,857	100	99,5(69)	-	-	938,613	149,734
862,858	100	80,8(208)	-	-	1012,67	149,734
947,840	100	103,1(65)	-	-	1097,589	149,734

Для примера рассмотрим размещение  $\gamma$ -переходов в схеме возбужденных уровней  $^{149}\text{Eu}^{3/2}$ . Изучались спектры совпадений  $\gamma$ -лучей с ЭВК К149,7 и К272,3 при распаде  $^{149}\text{Gd}$ . На рис. 2 приведены спектры  $e\gamma$ -совпадений и спектр  $\gamma$ -лучей  $^{149}\text{Gd}$ . В таблице представлены результаты анализа спектров  $e\gamma$ -совпадений, экспериментальные и расчетные значения схемных коэффициентов  $a_{\text{эксп}}$  и  $a_{\text{теор}}$  / и размещение переходов в схеме распада. Как видно из рис. 2 и таблицы,  $\gamma$ -переходы с энергиями  $E_\gamma = 346,66$ ; 384,55; 516,56; 645,29; 662,89; 726,29; 788,85; 862,86 и 947,84 кэВ находятся в прямом каскаде с  $\gamma$ -149,7 кэВ, а переходы с энергиями  $E_\gamma = 516,56$  и 662,29 кэВ находятся в прямом каскаде с  $\gamma$ -272,3 кэВ.

Вышеизложенное может быть основой для создания соответствующей программы для обработки на ЭВМ спектров совпадений и построения схем распада ядер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.В. и др. ОИЯИ, Р13-12810, Дубна, 1979; в кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, М., 1980, вып.10, с.269-280.
2. Громов К.Я. и др. В кн.: Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, М., 1978, вып.8, с.59-96.
3. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-12144, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 октября 1980 года.