

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P6-85-717

Г.А.Кононенко, Я.Гуяш, В.Б.Злоказов,
В.В.Кузнецов, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников,
Г.Исхаков

АНАЛИЗ БЕТА-СПЕКТРОГРАММ

Обработка сложных спектров
электронов внутренней конверсии

1985

Бета-спектрографы, используемые для исследования спектров электронов внутренней конверсии /ЭВК/, привлекают к себе внимание прежде всего своим энергетическим разрешением ($\Delta H_p / H_p \leq 0,05\%$), что позволяет с высокой точностью определять энергии соответствующих гамма-переходов, а также возможностью получать сведения об их мультипольности по отношениям интенсивностей К-, L-, M-, ... -линий ЭВК.

Извлечение этих данных из бета-спектрограмм из-за сложной асимметричной формы линии сопряжено со значительными трудностями. Для бета-спектров, регистрируемых с помощью ядерных фотоэмульсий, характерно изменение формы линии от резко асимметричной при малых значениях энергий электронов /десятки кэВ/ до практически симметричной при энергиях электронов в сотни кэВ.

Из-за сложности и многочисленности процессов, оказывающих влияние на формирование линии ^{1,9}, очень трудно выбрать разумное аналитическое выражение, которое бы достаточно полно описывало форму линии ЭВК в широком диапазоне энергий от $E_e = 3$ кэВ до 3000 кэВ. Выражения, используемые рядом авторов ^{3,4}, содержат, как правило, 5,6 или более параметров. Однако нельзя считать, что и в таких сложных функциях оказались учтенными все факторы, определяющие истинную форму линий.

Более правильный подход к обработке подобных спектров по нашему мнению определяет иной принцип задания модельной линии, а именно табличный. Такую возможность предоставляет программа UPEAK ⁵. В качестве моделей формы линии в этой программе могут использоваться одиночные линии спектра, которые затем доопределяются с помощью интерполяции до гладкой функции, и в них вводятся параметры, число которых минимально и они имеют ясный физический смысл: амплитуда, положение и полуширина. Такая модель может быть задана с любой степенью точности, допускаемой экспериментом. При необходимости модель может быть построена также и на основе подходящего для рассматриваемой задачи аналитического выражения.

В настоящей работе рассматривается обработка спектров ЭВК, полученных при помощи бета-спектрографов, с помощью программы UPEAK. Предварительный анализ рассматриваемых здесь спектров был описан нами в предыдущей работе ^{9/}.

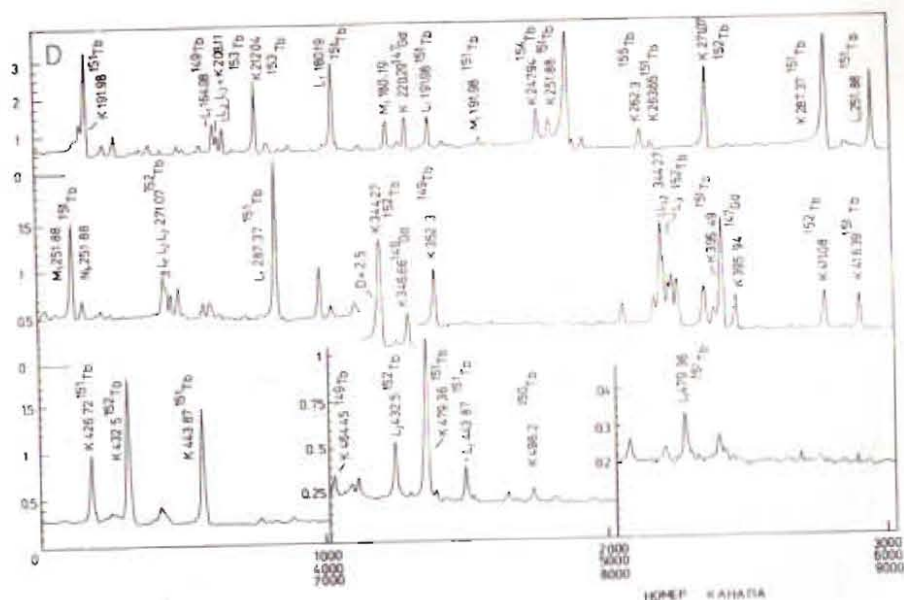


Рис. 1 Фрагмент спектра ЭВК тербиевой фракции, представленный в единицах оптической плотности /спектр № 1/.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА БЕТА-СПЕКТРОГРАММ

Спектрограммы фотометрировались с шагом 25 мкм многократно по разным дорожкам /10-30 раз, в зависимости от длины массива, вводимого при однократном проходе/ с записью каждого прохода в память ЭВМ. Первоначальная обработка осуществлялась на ЭВМ ЕС-1010, с которой связан автоматический микрофотометр /6/. Из нескольких проходов каждой спектрограммы получался один усредненный спектр и спектр дисперсий /7/, которые затем записывались на магнитную ленту.

На планшетном самописце получались графические представления спектров в оптической и электронной плотностях /8/. Фрагмент одного из спектров приведен на рис. 1⁴. По этим графикам осуществлялась идентификация линий спектров /определение принадлежности их соответствующему нуклиду/ и предварительная разметка участков в рамках, предусмотренных программой UPEAK /5/. Для каждого обрабатываемого участка указываются границы модельных пиков /не более двух моделей на один обрабатываемый участок/.

затем указываются границы обрабатываемого участка и далее последовательно отмечается координата пика и номер модели для него. Для следующего участка процедура аналогична. Так как модельная линия не обязательно может быть взята из обрабатываемого спектра, то предусмотрен ввод ее или с перфокарт, или же из другого спектра, записанного на этой же магнитной ленте. Результаты разметки, а также параметры необходимого режима обработки записываются на магнитной ленте или могут пробиваться на перфокартах. Обработка спектров осуществлялась на ЭВМ ЕС-1010. Предварительный анализ бета-спектрограмм/определение параметров характеристических кривых, диапазона оптических плотностей, пригодного для анализа, исследование зависимости полуширин одиночных К-линий от энергии электронов/ был описан ранее /9/.

ВЫБОР МОДЕЛИ

Наиболее ответственной процедурой при обработке спектров ЭВК программой UPEAK является выбор модельной линии. Кроме того, на результаты обработки будут оказывать влияние такие факторы, как выбор границ участка, разметка /указанное число пиков в участке /, задание степени полинома для описания фона, выбор режима обработки в рамках, предусмотренных программой UPEAK и т.д. Поэтому один и тот же участок спектра приходится обрабатывать многократно с различными модельными пиками, изменяя при необходимости начальные значения параметров программы.

В качестве моделей можно использовать 1/ одну из L-линий ЭВК в обрабатываемом участке при анализе L-группы ЭВК, что возможно благодаря высокой разрешающей способности бета-спектрографов в области энергий электронов $E_e < 150$ кэВ /см., например, рис. 4, 5/ одиночную линию, расположенную вблизи обрабатываемого участка и совпадающую по типу /K, L, M, .../ с линиями обрабатываемого участка; 3/ модельную линию можно брать на некотором удалении от участка или же из спектра, полученного от этого же источника и на этом же приборе в других экспозициях /1/.

Форма последних модельных линий, их полуширины могут отличаться от соответствующих параметров линий обрабатываемого участка. В программе UPEAK предусмотрено изменение полуширины модельной линии при подгонке участка в границах, задаваемых пользователем.

В ряде случаев обработка участков со слабо разрешенными пиками и при неудачной разметке /указаны не все пики в группе/ может приводить к неверным результатам, если полуширина модели отличается от полуширины линий обрабатываемого участка и она не фиксирована. Поэтому при оценке качества обработки спектра помимо критерия χ^2 необходимо анализировать полуширины линий, получаемых после обработки.

Нами были получены зависимости полуширин одиночных К-линий от энергии электронов для рассматриваемых спектров /9/. Полушири-

⁴ Энергии переходов, указанные на рисунке и в тексте, взяты из работ /11, 12/.

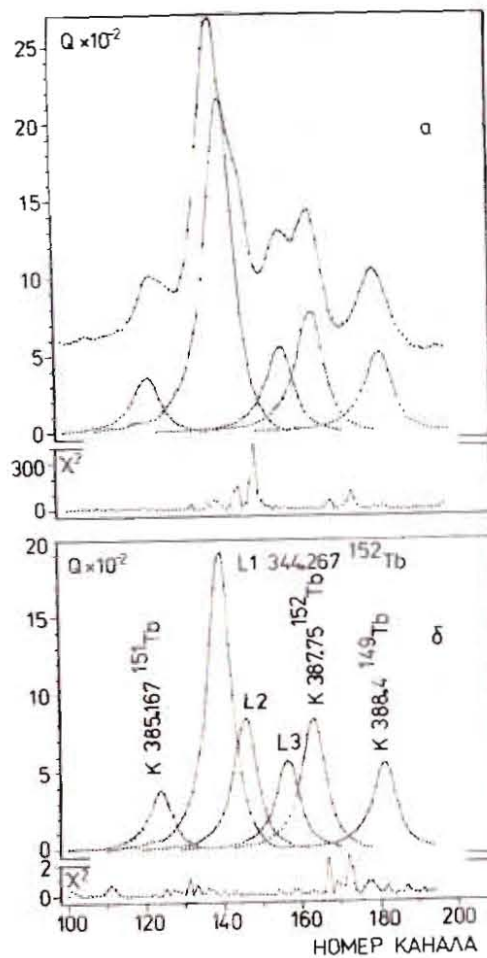


Рис. 2. Участок спектра № 2, содержащий L-группу ЭВК перехода 344,27 кэВ ^{152}Tb :

а/ иллюстрация неудачной разметки участка /не был отмечен один из пиков - L_2 344,27/; верхний рисунок - исходный спектр; нижний рисунок - спектр после разложения на компоненты /постоянный фон вычтен/ и значения χ^2 ; б/ разложенный на компоненты исходный спектр /постоянный фон вычтен/ и значения χ^2 с учетом линии L_2 .

ны других типов линий ЭВК могут быть определены из полученных зависимостей с учетом поправок на естественные ширины уровней L, M, ...-подоболочек.

На рис. 2 в качестве примера приведено разложение участка, содержащего L-группу ЭВК перехода 344,27 кэВ ^{152}Tb . В качестве модельной была использована линия К 443,87 ^{151}Tb из этого же спектра, полуширина которой на 10% выше. Фон был представлен полиномом первой степени. Вариант а/ иллюстрирует неудачную разметку участка /не был отмечен пик L_2 /.

После разложения отмечается резкое возрастание значения χ^2 в каналах 140-150 и увеличение полуширины пиков /8,9 каналов вместо 6,7 по калибровочному графику/. В варианте б/ этот пик был отмечен. Значение χ^2 стало приемлемым, а величина полуширин пиков $L_1 - L_3$ совпала с калибровочной (510/10 эВ, при цене канала 68 эВ).

ОБРАБОТКА L-ГРУПП ЭВК

Анализ результатов, получаемых при обработке L-групп ЭВК, с использованием в качестве моделей одиночных линий спектра про-

Таблица 1
Экспериментальные значения отношений КВК и их сравнение с теоретическими значениями /15/

L-группа, нуклид, номер спектра, (модельная линия)	D_{L_1}, D_{L_2} D_{L_3}, D_F	$S_{L_1} (\Delta S_1)$ $S_{L_2} (\Delta S_2)$ $S_{L_3} (\Delta S_3)$	$(L_1:L_2)^3$ $(L_1:L_3)^3$	$(L_1:L_2)^3$ $(L_1:L_3)^3$	мульти- польность
$L_{123}, ^{154}\text{Tb}, \#3$ ($K_{174}, ^{153}\text{Tb}, \#3$)	0.32 0.85 0.82 0.55	5670(100) 16600(270) 15630(220)	0.342(8) 0.346	0.346 0.360	E_2/I_3
$L_{344}, ^{152}\text{Tb}, \#3$ ($K_{433}, ^{151}\text{Tb}, \#1$)	0.3 0.16 0.1 0.14	6200(150) 3300(300) 1940(70)	1.90(20) 1.84	1.84 2.81	E_2/I_3
$L_{287}, ^{151}\text{Tb}, \#1$ ($K_{271}, ^{152}\text{Tb}, \#1$)	1.89 0.18 - 0.51	56950(420) 4020(200)	14.2(7) -	14.1 -	$M_1/II, I_3$
$L_{271}, ^{152}\text{Tb}, \#1$ ($K_{271}, ^{152}\text{Tb}, \#1$)	0.45 0.34 0.24 0.13	8800(200) 6560(270) 4760(170)	1.34(6) 1.85(8)	1.29 1.79	E_2/I_3

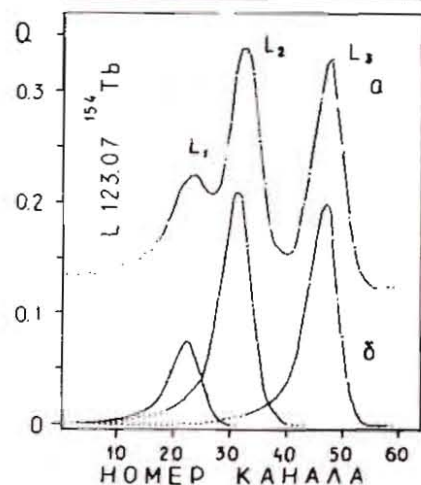


Рис. 3. Разложение на компоненты L-группы ЭВК перехода 123,07 кэВ из спектра № 2. а/ исходный спектр; б/ спектр после разложения на компоненты /постоянный фон вычтен/.

водится путем сравнения экспериментальных и теоретических значений отношений коэффициентов внутренней конверсии /КВК/. В табл. 1 приведены данные, полученные из результатов обработки L-групп ЭВК переходов 123,07 кэВ ^{154}Tb , 271,07

и 344,27 кэВ ^{152}Tb и 287,37 кэВ ^{151}Tb . На рис. 2 и 3 показаны некоторые из рассмотренных L-групп.

В первой колонке табл. 1 отмечены обрабатываемые L-группы ЭВК и порядковые номера спектров, из которых они брались. Ниже /в скобках/ указаны модельные линии, нуклид и номер спектра. Во второй колонке приведены средние значения оптических плотностей в максимумах пиков обрабатываемых L-групп ЭВК ($D_{L_1}, D_{L_2}, D_{L_3}$) после вычитания фона и среднее значение оптической плотности фона (D_F), полученные после разложения участка на компоненты. В третьей колонке приведены площади под конверсионными линиями

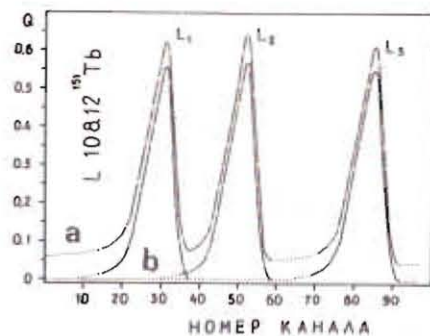
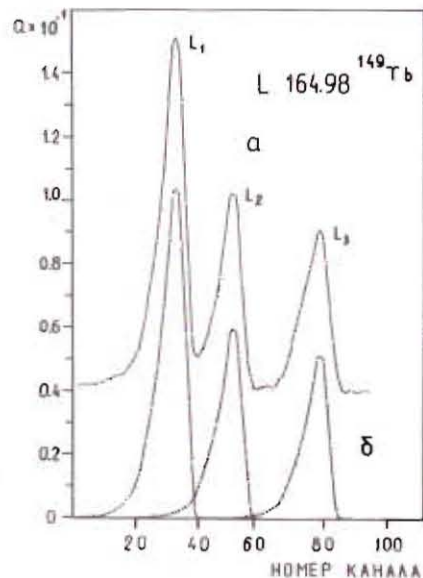


Рис.4. Разложение на компоненты L-группы ЭВК перехода 108,12 кэВ ^{151}Tb из спектра № 5: а/ исходный спектр; б/ после разложения на компоненты /постоянный фон вычтен/.

Рис.5. Разложение на компоненты L-группы ЭВК перехода 164,98 кэВ ^{149}Tb . а/ исходный спектр; б/ спектр после разложения на компоненты /постоянный фон вычтен/.



в относительных единицах с их погрешностями, определенные при разложении L-групп на компоненты. В четвертой и пятой - экспериментальные значения отношений КВК, полученные из отношений $S_{L_1} : S_{L_2}$ и $S_{L_1} : S_{L_3}$ и отношения теоретических значений КВК соответственно; в шестой колонке - данные о мультипольности переходов из работ ^{/11,13/}.

Как видно из табл.1 и рис.2 и 3, для анализа использовались L-группы ЭВК с различной интенсивностью от $D=1,89$ ($L_1 287$) до $D=0,1$ ($L_3 344$), и в пределах погрешностей наши экспериментальные данные об отношениях КВК совпадают с соответствующими теоретическими значениями.

Для переходов 108,12 кэВ ^{151}Tb и 164,98 кэВ ^{149}Tb по отношениям интенсивностей линий $L_1 : L_2$ и $L_1 : L_3$, найденным в результате обработки соответствующих L-групп ЭВК, были определены составы мультипольных смесей переходов.

Обработка L-групп ЭВК указанных переходов была проведена по спектру, полученному на приборе СП-4^{/1,9/}. В обоих случаях моделями использовались линии L_3 из рассматриваемых L-групп /рис.4 и 5/.

В качестве характеристики для описания мультипольности смешанных переходов мы использовали, как это рекомендовано в работе ^{/16/}, величину Q_0 , представляющую собой квадрупольную долю в γ -лучах смешанного перехода. Эта характеристика связана с мультипольным отношением $\delta^2 = \gamma^{l+1} / \gamma^l$ где γ^{l+1} и γ^l - интенсивности $l+1$ и l -компонент γ -излучения/, выражением ^{/16/}

$$Q_0 = \frac{\delta^2}{1 + \delta^2}.$$

Из отношений $L_1 : L_2$ и $L_1 : L_3$ рассчитывались две величины Q_1 и Q_2 с соответствующими погрешностями. При расчете погрешностей кроме экспериментальных учитывались также погрешности в теоретических значениях КВК /1% для L-оболочек ^{/14/}. Затем определялось оптимальное значение Q_0 по методике, изложенной в работе ^{/16/}. Результаты приведены в табл.2. В первой колонке указаны площади под конверсионными L-линиями /в относительных единицах/; во второй - экспериментальные значения отношений КВК. В третьей и четвертой колонках даны отношения теоретических значений КВК для переходов M1 и E2; в пятой колонке - значения Q_0 . В шестой приведены выводы о мультипольном составе переходов, определенных в нашей работе и в ^{/10,11/}.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЬНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ

Может оказаться, что число одиночных линий спектра, которые могут быть использованы в качестве модельных, мало и они располагаются на значительном удалении / > 100 кэВ / от обрабатываемого участка. В таких случаях модельную линию разумно задавать с помощью аналитического выражения $y = f(x_1, a_1, \dots, a_k)$, где x_1 - координата /номер канала/, a_1, \dots, a_k - параметры.

Для этой цели в спектре выбирается ряд сильных одиночных линий, достаточно удаленных от других линий. В эти линии с помощью соответствующей минимизирующей программы вписывается аналитическое выражение $y = f(x_1, a_1, \dots, a_k)$ и тем самым определяются параметры для каждой из линий. Те из параметров, которые зависят от энергии электронов, описываются затем подходящими функциями по методу наименьших квадратов. Это позволяет определять значения a_k для тех энергий электронов, которые соответствуют обрабатываемому участку. Затем по выражению $y = f(x_1, a_1, \dots, a_k)$ и найденным параметрам a_k строится модельный пик, который затем используется программой UPEAK обычным порядком в виде таблицы.

Таблица 2
Мультипольный состав смешанных переходов
типа M1 + E2 108, 12 кэВ ¹⁵¹Tb и 164,98 кэВ ¹⁴⁹Tb

$S_{L1} (\Delta S_{L1})$ $S_{L2} (\Delta S_{L2})$ I	$L_1: L_2$ $L_1: L_3$ 2	$L_1: L_2$ $L_1: L_3$ (M1) 3	$L_1: L_2$ $L_1: L_3$ (E2) 4	$Q_1 (\Delta Q_1)$ $Q_2 (\Delta Q_2)$ 5	ВЫВОДЫ О МУЛЬТИПОЛЬНОСТИ.
Переход 108,12 кэВ ¹⁵¹ Tb					
36595(420)	0.9901(166)	12.133	0.266	0.414(8)	$\left\{ \begin{array}{l} Q_0 = 0.417(6) \\ \Lambda = M1 + 41.7(6)\%E2 \\ \Lambda = M1 + 50\%E2/11/ \end{array} \right.$
36960(450)	1.0306(172)	71.654	0.267	0.419(8)	
Переход 164,98 кэВ ¹⁴⁹ Tb					
6610(90)	1.765(40)	12.755	0.590	0.459(11)	$\left\{ \begin{array}{l} Q_0 = 0.468(8) \\ \Lambda = M1 + 46.8(8)\%E2 \\ \Lambda = M1 + 40\%E2/10/ \end{array} \right.$
3745(70)	2.112(55)	76.634	0.680	0.476(11)	

Таким образом, программа UPEAK предоставляет неограниченные возможности при выборе выражения, описывающего форму линий, так как ею будут использоваться табличные значения функции, а не ее аналитический вид. При этом для каждой функции должна быть составлена своя минимизирующая программа для вписывания ее в одиночные линии спектра.

Нами была выбрана функция следующего вида:

$$y = \begin{cases} a_4 \cdot e^{a_1 \cdot (x - a_3)} \cdot e^{-\frac{(a_3 - a_5)^2}{2 \cdot a_2}} & x < a_3 \\ a_4 \cdot e^{-\frac{(x - a_5)^2}{2 \cdot a_2}} & x > a_3 \end{cases} \quad /1/$$

Первое выражение служит для описания линии левее максимума /"хвоста"/, а второе - для описания остальной ее части.

Таблица 3
Значения параметров a_k для выражения /1/, спектр № 1

Линия ЭВК, нуклид	Энергия E_e (кэВ)	a_1	a_2	a_4	a_5	a_6
K212.04, ¹⁵³ Tb	161.8	0.130(5)	6.7(3)	153.9(2)	-0.60(8)	57(9)
K271.07, ¹⁵² Tb	220.83	0.20(1)	8.5(3)	139.2(1)	0.23(5)	109(14)
K352.30, ¹⁴⁹ Tb	302.06	0.130(2)	9.9(1)	128.5(1)	0.12(2)	84(3)
K411.08, ¹⁵² Tb	360.84	0.21(1)	11.4(3)	120.2(1)	-0.15(4)	109(13)

В табл.3 приведены значения параметров a_k , рассчитанные по одиночным линиям спектра № 1.

Для расчетов было удобнее преобразовать выражение, описывающее "хвост" линии, к виду

$$a_6 \cdot e^{a_1 \cdot (x - a_5)} \cdot e^{-\frac{(a_3 - a_5)^2}{2 \cdot a_2}}, \text{ где } a_6 = a_4 \cdot e^{a_1 \cdot (a_5 - a_3)} \cdot e^{-\frac{(a_3 - a_5)^2}{2 \cdot a_2}}$$

Результаты обработки некоторых L-групп ЭВК с использованием моделей, построенных по выражению /1/, приведены в третьей строке таблицы № 4. Во второй строке этой таблицы даны результаты

Таблица 4

Сравнительные значения отношений интенсивностей линий $L_1:L_2$ и $L_1:L_3$ некоторых L-групп ЭВК, полученных при различных способах задания модельных пиков

L-группа, нулевой # спектра и мультиплетность.	L 27I.07 $I_{52}^{L_2}$, #2, (E2)	L 344.27, $I_{52}^{L_2}$, #2, (E2)	L 08.12 $I_{51}^{L_2}$, #5, (M+E2)	L 23.07 $I_{54}^{L_2}$, #5, (E2)	L 164.98 $I_{49}^{L_2}$, #5, (M+E2)
отношения $L_1:L_2$ и $L_1:L_3$ полученные по первому способу	1.34(6) 1.65(6) (M_1 251.9, $I_{52}^{L_2}$, #2)	1.90(20) 3.20(15) (K 443.9, $I_{51}^{L_2}$, #2)	0.99(2) 1.03(2) (L_1 108.1, $I_{51}^{L_2}$, #5)	1.06(2) (L_2 123.1, $I_{54}^{L_2}$, #5)	1.77(4) 2.11(6) (L_3 165, $I_{49}^{L_2}$, #5)
отношения $L_1:L_2$ и $L_1:L_3$ полученные по второму спос. (выр. 1)	1.25(10) 1.65(10)	1.90(15) 3.00(15)	0.95(5) 0.95(5)	1.00(5)	1.70(10) 1.95(10)
отношения $L_1:L_2$ и $L_1:L_3$ полученные по второму спос. (выр. 2)	-	-	1.00(5) 1.00(5)	1.00(5)	1.70(15) 1.90(15)

обработки этих же L-групп с заданием моделей первым способом. Модельные пики и номера спектров, из которых они брались, указаны в скобках. Верхние значения соответствуют отношениям $L_1:L_2$, нижние $L_1:L_3$. Для L-группы ЭВК перехода 123 кэВ указаны значения $L_2:L_3$. Отношение теоретических значений КВК $L_2:L_3$ составляет 1,04.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что использованное выражение и такой способ построения модельного пика позволяют получать выводы о мультиплетности переходов.

В табл. 4 показаны также результаты обработки некоторых L-групп ЭВК с применением модельной линии, представленной выражением ^{1/3/} с большим количеством параметров:

$$y = \begin{cases} [a_6 \cdot l^{a_1 \cdot (x - a_5)} + a_7 \cdot l^{a_3 \cdot (x - a_5)}] \cdot (1 - l)^{\frac{(x - a_5)^2}{2 \cdot b_3}}, \\ a_4 \cdot l^{\frac{(x - a_5)^2}{2 \cdot b_2}} \end{cases} \quad /2/$$

Верхняя часть выражения /2/ служит для описания "хвоста", а нижняя - для описания правой части пика линии. В табл. 5 приведены значения параметров a_k для выражения /2/, спектр № 5^{1/9/}.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Программой UPEAK, основанной на формировании модельной линии по табличным данным, была проведена математическая обработка сложных спектров ЭВК, получаемых на магнитных бета-спектрографах.

2. Рассмотрены два способа формирования моделей:

а/ с использованием в качестве моделей одиночных линий спектра;
б/ построение моделей на основе аналитических выражений.

3. Показано, что в качестве моделей могут быть применены одиночные K-, L-линии ЭВК с оптическими плотностями в максимумах $1 < D < 3$ и расположенные как вблизи обрабатываемого участка, так и на некотором удалении от него в зависимости от рассматриваемой области энергий электронов. Кроме того, модель может быть взята из спектра, полученного с другой экспозицией.

4. Аналитический метод задания моделей в случае обработки спектров ЭВК программой UPEAK удобен тем, что позволяет использовать для описания формы линии любую подходящую для рассматриваемой задачи функцию. Однако такой подход более трудоемок.

5. Применение программы UPEAK для обработки спектров ЭВК, получаемых на магнитных бета-спектрографах, показало высокую ее

Таблица 5
Значение параметров a_k выражения /2/ для спектра № 5

линия ЭВК, нуклид	энергия E_e (кэВ)	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
K 109.76 ^{153}Tb	59.52	0.003(2)	14.9(4)	34(6)	103.0(1)	1.4(1)	4.0(5)	340(31)	0.13(1)
K 123.07 ^{154}Tb	72.83	0.03(2)	15.9(3)	53(5)	100.0(1)	1.7(1)	16.0(3)	746(45)	0.17(2)
K 180.19 ^{151}Tb	129.95	0.03(1)	16.5(1)	182(5)	98.0(1)	2.1(1)	10.0(8)	7166(430)	0.20(1)

эффективность. На основании результатов обработки участков спектров ЭВК можно сделать вывод, что из бета-спектрограмм могут быть получены значения отношений интенсивностей L-линий ЭВК с погрешностью <5%. Это позволяет с хорошей точностью определить значения δ^2 , а в ряде случаев существенно уточнить мультипольный состав γ -переходов.

6. Для обработки сложных спектров ЭВК разработан ряд программ, состоящий из основной обрабатывающей программы SPGRAF, обращающейся к программе UPEAK, и трех вспомогательных программ: GAUEX1, GAUEX2, которые предназначены для изучения формы линии, описываемой соответственно выражениями /1/ или /2/ /см. текст/, от энергии электронов и программы KALIBR, предназначенной для энергетической калибровки спектра по методу трех реперов и расчета полуширин линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Умаров Г.Я. Бета-спектрографы с постоянными магнитами. ФАН, Ташкент, 1970.
2. Кононенко Г.А., Кузнецов В.В., Цупко-Ситников В.М. ОИЯИ, 13-85-125, Дубна, 1985.
3. Günther G., et al. Nucl. Phys., 1969, A123, ; 2, p.386; Желепов Б.С. В кн.: Методы разработки смежных схем распада, "Наука", Л., 1974, с.40.
4. Рупп Э. ОИЯИ, P10-5776, Дубна, 1971.
5. Злоказов В.Б., ОИЯИ, P10-10350, Дубна, 1976.
6. Исламов Т.А. и др., ОИЯИ, P10-12794, Дубна, 1979.
7. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, P6-81-696, 1981.
8. Кононенко Г.А., Кондрат Е.Т., Цупко-Ситников В.М. ОИЯИ, 6-83-205, Дубна, 1983.
9. Злоказов В.Б. и др. ОИЯИ, P6-85-606, Дубна, 1985.
10. Вылов Ц. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1972, т.36, с.2118.
11. Бадалов Н.Б. и др., ОИЯИ, P6-81-345, Дубна, 1981.
12. Вылов Ц. и др. В кн.: Спектры излучений радиоактивных нуклидов, ФАН, Ташкент, 1980, с.174.
13. Lederer C.M., Shirley V.S. Tables of Isotopes. New York, 1978, p.840-882.
14. Желепов Б.С. Методы разработки сложных схем распада. "Наука", Л., 1974, с.44.
15. Hager R.S., Seltzer E.C. Nucl. Data Tables, 1968, A 4.1.
16. Желепов Б.С. В кн.: Современные методы ядерной спектроскопии. "Наука", Л., 1984, с.164-208.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 октября 1985 года.