

Ц8406  
К-174

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

3995/2-76



ДУБНА

"/x-76

~~Экз. чит. зала~~

10 - 9808

Л.А.Калмыкова, В.Р.Бурмистров

ПРОГРАММА "LEVEL"

ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СХЕМ УРОВНЕЙ ЯДЕР

1976

10 - 9808

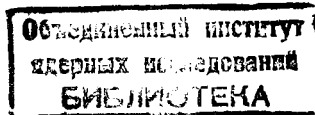
Л.А.Калмыкова, В.Р.Бурмистров\*

ПРОГРАММА "LEVEL"

ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СХЕМ УРОВНЕЙ ЯДЕР

---

\* ИЯФ АН КазССР.



## *Введение*

В настоящее время гамма-спектроскопия высокого разрешения дает возможность наблюдения сотен переходов при распадах ядер. Чем больше гамма-линий обнаружено в спектре, тем утомительнее и сложнее становится проблема построения схем распада. Эта задача является особенно сложной, если период полураспада или активность источника не позволяют получить данные совпадений.

Необходимо сконструировать схему уровней, которая примет во внимание все измеренные энергии гамма-переходов, а также предварительную информацию об известных энергиях возбужденных состояний ядер. Решение такой задачи может быть проведено на достаточно быстрых ЭВМ с большой оперативной памятью, то есть на машинах типа БЭСМ-6 и CDC-6400. С этой целью и написана программа "LEVEL", которая является дальнейшим развитием ранее описанных программ /1-6, 14/.

Программа написана на языке ФОРТРАН.

## *Описание программы "LEVEL"*

Главное отличие алгоритма программы "LEVEL" и программы работы /1/ от предшествующих аналогичных программ /2-6/ состоит в учете интенсивностей гамма-переходов при формировании различных комбинаций сумм и разностей энергий известных уровней возбужденных состояний ядер с измеренными энергиями гамма-переходов типа:

$$\{\Sigma_1\}_i = E_{\gamma p,i} + E_{\gamma j}, \quad /1/$$

$$\{P\}_i = E_{\gamma p,i} - E_{\gamma j}, \quad /2/$$

$$\{\Sigma_2\}_i = (E_{\gamma p,i} + E_{\gamma j}) + E_{\gamma l}, \quad /3/$$

$$\{\Sigma_3\}_i = [(E_{\gamma p,i} + E_{\gamma j}) + E_{\gamma l}] + E_{\gamma m}, \quad /4/$$

где  $E_{\gamma p,i}$  - энергии известных уровней, а  $E_{\gamma j}, E_{\gamma l}, E_{\gamma m}$  - энергии гамма-переходов.

Учет интенсивностей гамма-линий состоит в том, что в обобщенном массиве  $\{B\}$  указанных выше комбинаций присутствуют только те, //1//, //3// и //4//, для которых суммарная интенсивность гамма-линий, "покидающих" состояние /интенсивность разрядки уровня/, больше или равна /в пределах 10%/ интенсивности, "питающей" состояние гамма-линии, которая участвует в формировании комбинаций. Величины  $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$  и  $P$  не должны превышать известную энергию  $\beta$ -распада  $Q$  кэВ. Из-за конечных экспериментальных ошибок всех значений энергий, участвующих в формировании  $\{\Sigma_1\}, \{\Sigma_2\}, \{\Sigma_3\}$  и  $\{P\}$ , всегда имеется определенная вероятность того, что "кандидат" в уровни, полученный из энергетических комбинаций, вызван случайными комбинациями.

Программа "LEVEL" дает количественное определение вероятности (BCL) для каждого "кандидата" в уровни по формуле Пуассона /7, 14/ и осуществляет сравнение этой вероятности с фоновой (BCF), найденной из счета со случайным спектром /1/.

Величина BCF дает критерий отбора наиболее достоверных /т.е. наименее случайных/ "кандидатов" в искомую схему уровней.

При отработке программы было выяснено, что величина BCF не является постоянной на всем интервале изменения энергии уровней /от 0 до  $Q$  кэВ/. Поэтому было решено разбить весь интервал энергии от 0 до  $Q$  кэВ по 100 кэВ и для всех "кандидатов" в уровни, попадающих в такую группу, находить свою характери-

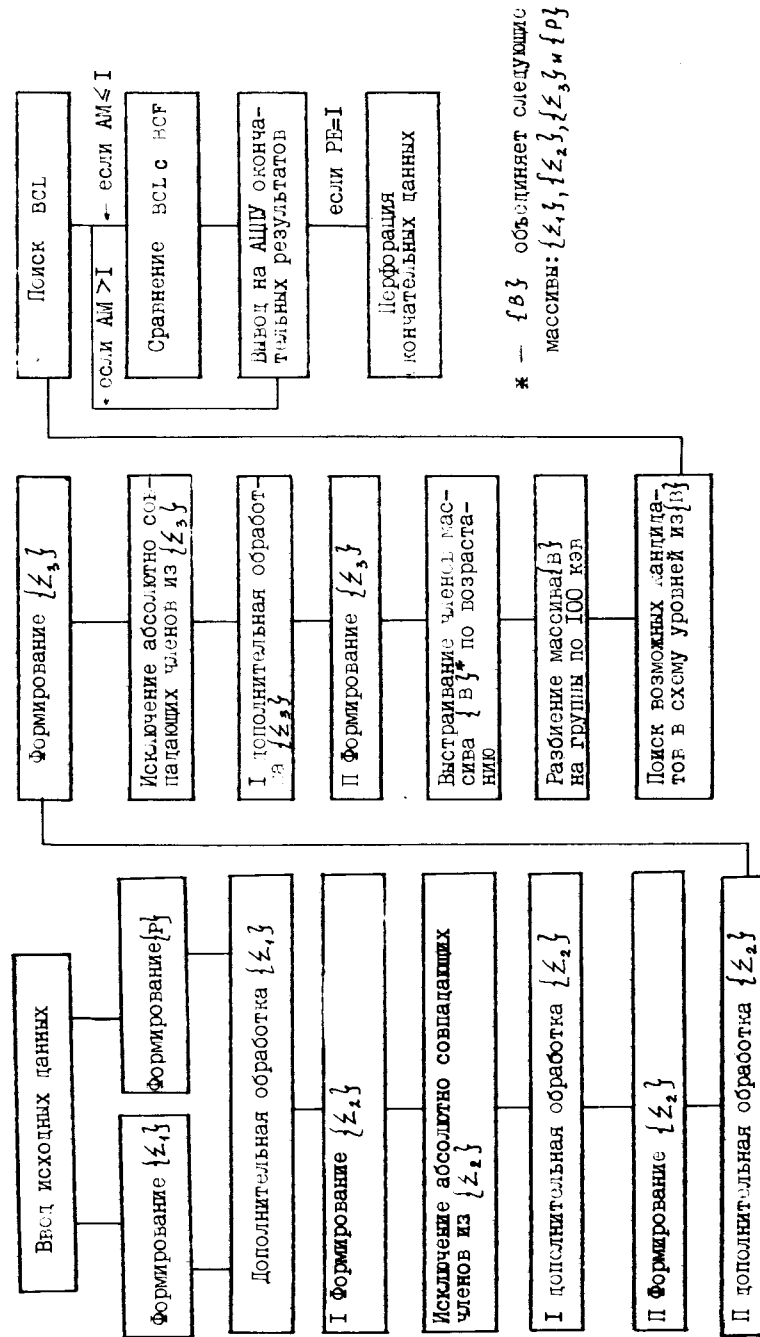


Рис. 1. Блок-схема программы.

стику BCF. Те "кандидаты", для которых будет выполняться условие

$$BCL \leq C \cdot BCF \quad (C < 1), \quad /5/$$

могут быть включены в группу так называемых условных уровней, часть из которых можно задать в качестве новых опорных уровней для вторичного счета по этой же программе, что дает возможность найти новых "кандидатов" в искомую схему уровней.

Количество повторных счетов по программе "LEVEL" с введением каждый раз новых найденных опорных уровней выбирается самим экспериментатором для каждого конкретного спектра.

Программа "LEVEL" одновременно оперирует с 3500 комбинациями /1/-/4/ типов.

Блок-схема программы изображена на рис. 1.

#### Структура программы

Программа "LEVEL" построена таким образом, что головная программа в процессе работы вызывает следующие подпрограммы:

1/ XREAD - вводит константы /целые, действительные или холерические/ согласно заданию в обращении списку данных. Эта подпрограмма обеспечивает бесформатный ввод данных. Вводимые константы на перфокарте разделяются запятыми.

2/ GMYIN - преобразует массив вводимых энергий гамма-линий A(I), где I меняется от 1 до NG / NG - число гамма-линий в исходном спектре/. Эта подпрограмма исключает из заданного массива энергий гамма-линий A(I) гамма-линии массива {NOT}, тем самым получая новый массив {A}. Исключаются гамма-линии, связанные с переходами между известными /опорными/ уровнями. Затем подпрограмма GMYIN перестраивает новый массив {A} по порядку убывания интенсивностей гамма-линий. Это делается для того, чтобы при состав-

лении различных комбинаций всех четырех типов в первую очередь участвовали наиболее интенсивные гамма-линии, т.к. они наиболее достоверны и точнее измерены /13/.

3/ CLM - дает возможность получить вместо исходного гамма-спектра случайный или вариационный спектры /1/, составленные с использованием таблиц нормально распределенных случайных чисел /8/. Эта подпрограмма осуществляет преобразование энергий гамма-линий массива A(I) следующим образом:

а/ для  $I = 1$ :

$$A(I)_{\text{новое}} = A(I)_{\text{исходное}} + AM \cdot DA(I) \cdot X(I), \quad /6/$$

б/ для (I+1) энергии гамма-линии I в выражении /6/ заменяется на (I+1), а индекс I - на I+1 и т.д.

Здесь AM - коэффициент, который зависит от варианта задачи, т.е.

$$AM = \begin{cases} 0 & \text{- для экспериментального спектра} \\ 1 & \text{- для вариационного спектра} \\ \leq 50 & \text{- для случайного спектра.} \end{cases} \quad /7/$$

DA(I) - погрешность измерения энергии гамма-линий; I - порядковый номер табличного значения, начиная с которого используется таблица нормально распределенных случайных чисел /8/; X(I) - табличное значение, соответствующее номеру I.

4/ DOS - проводит дополнительную обработку массивов  $\{\Sigma_1\}$ ,  $\{\Sigma_2\}$ ,  $\{\Sigma_3\}$  /в программе они обозначены идентификаторами SUM1, SUM2, SUM3 соответственно/. Дополнительная обработка заключается в поиске "одинаковых" /в пределах погрешностей/ членов вышеуказанных массивов и в приписывании этим членам единой суммарной интенсивности. Это делается по аналогии с тем, как было при введении понятия "интенсивность уровня" /1/.

5/ FACS - осуществляет поиск абсолютно совпадающих величин среди комбинаций типа /3/, затем типа /4/. В результате такого поиска из массивов SUM2(I) или SUM3(I) вычеркивается та из совпадающих комбинаций, интенсивность которой больше.

Следует отметить, что в программе предусмотрен вывод окончательных результатов на перфорацию, для того чтобы иметь возможность в дальнейшем использовать их при работе с программами автоматического построения схем уровней и гамма-переходов ядер.

#### Описание массива исходных данных

Исходные данные вводятся с перфокарт. Значения всех величин на перфокартах разделяются запятыми в соответствии с требованиями подпрограммы XREAD. Все данные располагаются в следующем порядке:

- PE - ключ перфорации.  
Если PE=0, то перфорации нет, если PE=1, то перфорация есть.
- IZ - заряд ядра, для которого программа определяет энергии уровней.
- IA - массовое число ядра.
- NG - число гамма-линий /здесь  $NG \leq 200$  /.
- NY - число опорных уровней /здесь  $NY \leq 30$  /.
- Q - энергия  $\beta$ -распада.
- VM - параметр, который обычно принимаем равным 1, но его можно изменять в пределах  $0,5 \leq VM \leq 2$ .
- DB - наименьшее из значений погрешностей измерения энергий гамма-линий.
- A[1:NG] - массив энергий гамма-линий.
- DA[1:NG] - массив ошибок измерений энергий гамма-линий.
- AIN[1:NG] - массив интенсивностей гамма-линий.
- DAIN[1:NG] - массив ошибок измерения интенсивностей гамма-линий.
- EY[1:NY] - массив энергий опорных уровней.
- DEY[1:NY] - массив ошибок измерения энергий опорных уровней.
- EIN[1:NY] - массив "интенсивностей опорных уровней". За "интенсивность уровня" принимается суммарная интенсивность гамма-переходов, уходящих с соответствующего уровня.

- RE - коэффициент для варьирования ошибок измерения энергий гамма-линий. Если RE=1, то программа работает с исходным спектром энергий гамма-переходов и их экспериментальных ошибок.
- N - число гамма-линий, которые нужно исключить из массива энергий гамма-переходов A[1:NG] ( $N \leq 99$ ). Это число вводится в соответствии с форматом: FORMAT (I2).
- NOT[1:N] - энергии тех гамма-линий, которые следует исключить из массива A[1:NG] /если  $N \neq 0$  /.
- IN - порядковый номер табличного значения, начиная с которого используется таблица нормально распределенных случайных чисел.
- AM - коэффициент, величина которого зависит от варианта задачи /см. выражение 7/.
- C - коэффициент, входящий в условие отбора кандидатов в уровни /5/.
- BCF[1:NN1] - массив фоновой вероятности случайного совпадения комбинаций ( $NN1=Q:100$ ). Этот массив включается во входные данные только для случая, когда  $AM \leq 1$ .
- X[1:300] - таблица, включающая в себя 300 нормально распределенных случайных чисел /8/. Вводится в соответствии с форматом: FORMAT (5F6.3).

#### Описание выходной информации

Печать параметров и результатов идет в следующем порядке:

1. Часть входных данных  
IZ, IA, NG, NY, Q, N, NOT[1:N],  
обозначения которых совпадают с соответствующими обозначениями предыдущего раздела.

2. Вводимый спектр гамма-линий, в который не включены энергии гамма-переходов из массива NOT[1:N] /по столбцам/:

ENERGY - энергия гамма-переходов.  
ERROR - ошибки энергии гамма-переходов.  
INTENSITY - интенсивность гамма-линий.  
ERROR - ошибки интенсивностей гамма-линий.

3. Значения параметров:

C, IH, AM, DB, VM.

4. Если  $AM \neq 0$ , то имеется следующая печать:

а/ таблица массива  $X[III: III + NG - 1]$ ,

б/ полученный случайный или вариационный спектр гамма-переходов /подобно п.2/.

Если  $AM = 0$ , то печать а/, б/ отсутствует.

5. Характеристики опорных уровней /по столбцам/:

ENERGY - энергия задаваемых опорных уровней.  
ERROR - ошибки энергий опорных уровней.  
INTENSITY - интенсивность опорных уровней.

6. Далее печатаются некоторые вспомогательные величины, названия массивов, например: M=500, SUM1, DSUM1, SIN1.

7. Массив величин NCL[1:NN1]:

NCL - среднее число комбинаций, которое приходится на единицу энергетического интервала в группе по 100 кэВ.

8. Таблица, в которой содержатся основные результаты работы программы:

ENERGY - энергии новых уровней.  
ERROR - погрешности определения этих энергий.  
INTENSITY - интенсивности этих уровней.  
NC - число связей полученных уровней с другими уровнями.  
RELIABILITY - достоверность уровней, которая определяется суммой абсолютных величин интенсивностей гамма-переходов, связанных с этими уровнями.  
BCL - вероятность случайности найденных уровней.

9. Для вариантов экспериментального /реального/ и вариационного спектров после таблицы, описанной в

п. 8, печатается целая строка символов П П П П. После этой строки выводится на печать значение фоновой вероятности (BCF), а затем таблица, подобная таблице п.8, но для условных уровней, чьи вероятности случайного совпадения комбинаций (BCL) удовлетворяют условию /5/.

### Примеры использования программы

Программа была отлажена и опробована при различных значениях входящих параметров сначала на искусственных спектрах уровней и гамма-переходов, а затем на реальных данных для ядер  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ ,  ${}_{48}^{107}\text{Cd}$ ,  ${}_{48}^{110}\text{Cd}$ ,  ${}_{51}^{127}\text{Sb}$ .

При отработке программы использовался искусственный спектр, характеристики которого взяты из работы /1/. Окончательные результаты обсчета этого спектра по программе "LEVEL" приведены в табл. 1. В первой колонке этой таблицы под названием "искомые уровни" приведены заведомо известные энергии уровней искусственной схемы. Именно эти энергии уровней /с учетом погрешностей/ должна определить программа в процессе своей работы как наиболее достоверные кандидаты в искомую схему уровней. Во второй, третьей и четвертой колонках табл. 1 приведены результаты поиска этих уровней по программе "LEVEL" для различных вариантов. Число опорных уровней было равно 5. Их энергии: 0; 110,9; 308,42; 512,80 и 673,25 кэВ. Значения параметров: IH = 0, AM = 0, VM = 1, DB = 0,026.

Энергии уровней, для которых  $BCL = BCF$ , т.е. уровни, которые не выделяются над фоном случайных уровней, выделены звездочкой справа от найденной энергии кандидата в уровни.

В круглых скобках указана величина вероятности случайности найденного уровня (BCL). Так, например, для варианта с RE=1, где есть учет интенсивностей, для найденного уровня с энергией 237,54 кэВ величина  $BCL = 0,3 \cdot 10^{-8}$  /см. колонку 2 табл. 1/. Чем меньше величина BCL по сравнению с BCF, тем с большей

Таблица 1

Результаты поиска уровней для искусственного спектра по программе "LEVEL"

Искомые уровни E (кэВ)	Найденные уровни			
	Есть учет условия интенсивностей $\Delta E_{\gamma} = \Delta E_{\beta} \text{ в эВ}$	Есть учет условия интенсивностей $\Delta E_{\gamma} = 1,5 \Delta E_{\beta} \text{ в эВ}$	Есть учет условия интенсивностей $\Delta E_{\gamma} = \Delta E_{\beta} \text{ в эВ}$	Нет учета условия интенсивностей $\Delta E_{\gamma} = \Delta E_{\beta} \text{ в эВ}$
	RE = 1	RE = 1,5	RE = 1	RE = 1
237,54	237,540 (0,3-08)	237,540 (0,1-07)	237,540 (0,1-07)	499,010 (0,3-03) *
499,01	499,010 (0,2-05) *	499,010 (0,3-05) *	499,010 (0,3-05) *	720,480 (0,3-02)
720,48	720,480 (0,1-02) *	720,480 (0,1-03)	720,480 (0,1-03)	826,890 (0,2-03)
826,89	826,890 (0,5-04)	826,890 (0,1-07)	826,890 (0,1-07)	990,249 (0,2-05)
990,25	990,264 (0,8-08)	990,263 (0,1-05)	990,263 (0,1-05)	1079,990 (0,1-05) *
1079,99	1079,99 (0,2-06)	1079,990 (0,2-06)	1079,990 (0,2-06)	1209,351 (0,4-01) *
1209,37	1219,640 (0,6-04)	1219,573 (0,5-04)	1219,573 (0,5-04)	1264,660 (0,4-01) *
1219,64	1264,890 (0,2-05)	1264,903 (0,2-08) *	1264,903 (0,2-08) *	1276,506 (0,4-01) *
1264,89	1276,503 (0,4-09)	1276,504 (0,3-05) *	1276,504 (0,3-05) *	1301,520 (0,4-01) *
1276,52	1301,350 (0,9-04)	1301,350 (0,5-01) *	1301,350 (0,5-01) *	1347,410 (0,4-03) *
1301,35	1347,416 (0,2-06) *	1347,416 (0,1-04) *	1347,416 (0,1-04) *	1350,930 (0,5-01) *
1347,42	1350,930 (0,2-01) *	1350,930 (0,1-01) *	1350,930 (0,1-01) *	1380,155 (0,9-02) *
1350,93	1380,150 (0,3-05)	1380,150 (0,1-01) *	1380,150 (0,1-01) *	1467,019 (0,3-05) *
1380,15	1467,092 (0,2-05)	1467,100 (0,1-01) *	1467,100 (0,1-01) *	1473,610 (0,6-02) *
1467,07	1473,610 (0,4-02)	1473,610 (0,2-05) *	1473,610 (0,2-05) *	1486,340 (0,7-02) *
1473,61	1486,361 (0,7-08)	1486,353 (0,1-01) *	1486,353 (0,1-01) *	1496,240 (0,1-02) *
1486,34	1496,240 (0,5-02)	1503,104 (0,9-10)	1503,104 (0,9-10)	1515,380 (0,2-02) *
1496,24	1503,105 (0,2-11)	1515,420 (0,6-06)	1515,420 (0,6-06)	1547,640 (0,2-02) *
1503,23	1515,380 (0,6-06)	1547,577 (0,8-11)	1547,577 (0,8-11)	1567,237 (0,1-15) *
1515,38	1547,578 (0,4-03)	1567,350 (0,4-03)	1567,350 (0,4-03)	
1547,64				
1567,35				

достоверностью мы можем принять этот уровень в качестве кандидата в искомую схему уровней. Т.е., чем больше среди найденных уровней таких, которые помечены звездочкой или совсем не проявились, тем хуже результативность программы. Мы не будем проводить сравнения полученных результатов с результатами работы <sup>1/</sup>, т.к. программа работы <sup>1/</sup> заведомо допускает ряд упрощений, которых лишена программа "LEVEL".

Из сравнения результатов исследования программы "LEVEL" на искусственных спектрах можно сделать следующие выводы.

1. Чем точнее измерен спектр, тем больше искомых уровней с хорошей достоверностью находит программа. Это видно, например, из рассмотрения результатов второй и третьей колонок *табл. 1*. При увеличении ошибок измерения энергий гамма-переходов в 1,5 раза /вариант с RE=1,5/ число уровней, найденных с плохой вероятностью /помечены звездочкой/, увеличилось в два раза.

2. Вариант без учета интенсивностей гамма-линий был составлен и просчитан специально, чтобы проверить, дает ли выигрыш учет интенсивностей гамма-переходов при работе такого рода программ, ведь все предшествующие программы <sup>2-6,14/</sup> это условие не учитывали. Выяснилось, что выигрыш есть. Так, при рассмотрении второй и четвертой колонок *табл. 1* видно, что при учете интенсивностей гамма-переходов из 22 искомых уровней программа нашла с хорошей достоверностью /т.е. с малой величиной BCL по сравнению с BCF / 18 уровней, в то время как вариант программы без учета интенсивностей гамма-переходов из 22 искомых уровней определил с хорошей достоверностью только 6 уровней. Кроме того, число уровней, предлагаемых программой без учета интенсивностей, в 2 раза больше, чем с учетом интенсивностей.

3. Наряду с определением искомых уровней программа выдает ряд "ложных" <sup>1/</sup>, для которых BCL < BCF, их получилось 15. Энергии этих уровней не приведены в *табл. 1*, т.к. при тщательном анализе всего ряда энергий уровней, как указанных в *табл. 1*, так и "ложных",



выяснилось, что "ложные" уровни отсеиваются из "кандидатов" в искомую схему уровней. Тщательный анализ проводится специалистом-физиком путем размещения всех известных гамма-переходов спектра между опорными и найденными по программе "LEVEL" уровнями, что можно делать по программе "SCHEME"/10/ или вручную. При этом выясняется, что некоторые из кандидатов в уровни оказываются без связей с другими уровнями, т.е. с них "не уходит" ни одна гамма-линия. Такие уровни, как правило, находятся в ряду "ложных". Кроме этого, при анализе реальных спектров физик может привлечь данные  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений, результаты, полученные другими экспериментаторами, а также данные мультипольности переходов, спинов и четностей ранее известных уровней. Подобное рассмотрение дает возможность исключить "ложные" уровни из списка найденных по программе уровней и получить такую схему, которая не противоречит известным для этого ядра экспериментальным данным.

4. Было выяснено, что программа не определяет искомые уровни, которые совсем не связаны с вводимыми в нее опорными уровнями, а связаны только одним или двумя малоинтенсивными переходами с неопорными уровнями. Так, например, не проявился уровень энергий 1209,7 кэВ для искусственного спектра, результаты об-счета которого приведены в табл. 1.

Для иллюстрации использования данной программы приводятся результаты об-счета реального спектра гамма-переходов, полученного при распаде  $^{110m}_{47}\text{Ag}$  /  $T_{1/2} = 250 \text{ дн.} / ^{111}$ . Энергии и интенсивности гамма-переходов с их экспериментальными ошибками представлены в табл. 2. Значение энергии  $\beta$ -распада  $Q = 3011 \text{ кэВ} / ^{12}$ . В качестве опорных были взяты восемь уровней: 0; 657,72; 1475,72; 1542,38; 2162,58; 2219,92; 2479,86 и 2926,58 кэВ. Об-счет этих данных велся в следующем порядке. Во-первых, был просчитан вариант случайного спектра с параметрами  $M = 10$ ,  $AM = 15$ , в результате чего были получены значения VCF для каждого энергетического интервала по 100 кэВ. На основе полученных значений VCF проведен об-счет варианта реаль-

ного спектра / табл. 2/. Программа "LEVEL" выдала список кандидатов в схему уровней  $^{110}_{48}\text{Cd}$ , состоящий из 67 уровней, в котором заведомо имеются "ложные". Исключение "ложных" уровней проводилось в несколько этапов с помощью программы "SCHEME" для размещения гамма-линий спектра среди известных уровней /10/. При этом после об-счета данных по программе "SCHEME" полученная схема уровней и гамма-переходов исследо-

Таблица 2

Энергии и интенсивности гамма-переходов распада  $^{110m}_{47}\text{Ag}$

Энергии $\gamma$ -переходов	Ошибки энергий $\gamma$ -переходов	Интенсивность $\gamma$ -переходов	Ошибки интенсивностей $\gamma$ -переходов
133,200	.200	.090	.0200
219,700	.300	.130	.0300
221,400	.300	.110	.0300
229,500	.300	.032	.0150
266,400	.200	.050	.0100
365,100	.100	.110	.0200
386,600	.200	.043	.0100
396,700	.300	.036	.0100
446,780	.440	3,500	2000
620,240	.030	2,700	2000
626,100	.100	.190	.0300
657,720	.030	100,000	10000
677,560	.030	11,500	4000
686,830	.030	7,100	3000
716,660	.140	17,200	4000
744,200	.140	4,700	3000
763,880	.040	23,900	9000
818,010	.140	7,700	3000
884,660	.040	78,000	1,6000
937,470	.040	36,300	8000
997,100	.100	.140	.0200
1018,700	.400	.030	.0100
1085,700	.300	.050	.0080
1117,400	.300	.030	.0070
1125,700	.300	.020	.0060
1252,000	1,900	.050	.0100
1334,400	.200	.160	.0300
1384,200	.040	27,600	6000
1475,750	.040	4,600	2000
1504,910	.080	14,700	4000
1562,230	.160	1,340	.0700
1580,600	1,000	.090	.0050
1783,800	1,000	.010	.0040
1903,200	.300	.017	.0040

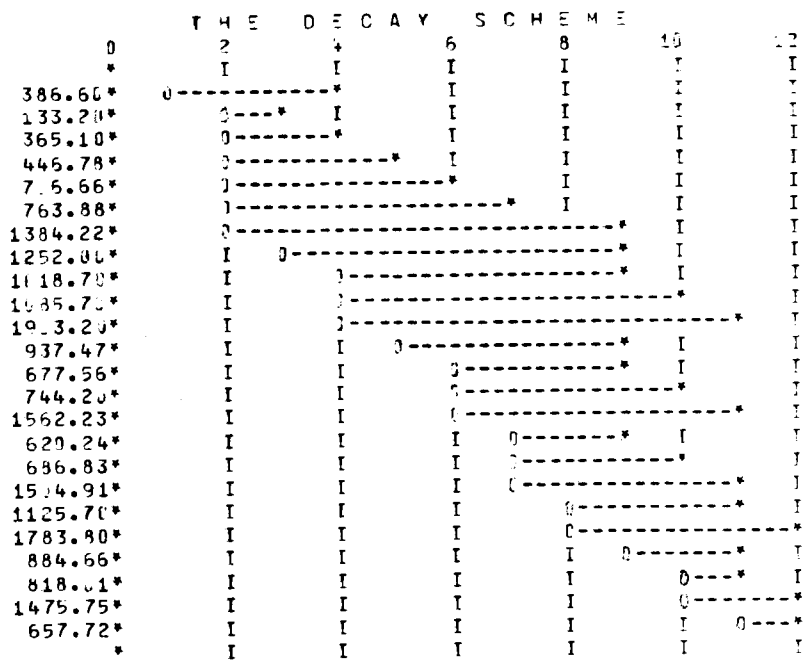


Рис. 2. Схема уровней и  $\gamma$ -переходов  $^{48}\text{Cd}^{110}$

валась с привлечением данных  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений /9/, тем самым определялся входной список массива {NOT}ур. для следующего этапа обсчета.

Как результат проведенных исследований, приводим окончательную схему уровней и гамма-переходов  $^{48}\text{Cd}^{110}$  в таком виде, в каком получаем ее на АЦПУ после обсчета по программе "SCHEME"/рис. 2/.

Ниже представлен предлагаемый список энергий /в кэВ/ кандидатов в схему уровней  $^{48}\text{Cd}^{110}$ , их ошибок и величин BCL после окончательного обсчета по программе "SCHEME".

LEVEL	ENERGY	ERROR	BCL
1	2947.766	.266	.3E-03
2	2926.580	.080	.1E-15
3	2793.751	.439	.3E-06
4	2561.300	.080	.7E-02
5	2479.860	.070	.1E-15
6	2219.920	.060	.1E-15
7	2162.580	.050	.1E-15
8	1783.500	.105	.3E-02
9	1542.380	.040	.1E-15
10	1475.720	.030	.1E-15
11	657.720	.020	.1E-15
12	0.000	0.000	.1E-15

Следует отметить, что опорным уровням заведомо приписывается вероятность случайности:  $BCL = 0,1 \cdot 10^{-15}$ .

Порядковые номера уровней на рис. 2 соответствуют номерам уровней из столбца под заголовком LEVEL списка /8/.

По сравнению с результатами работы /11/ предлагается два новых уровня: /2947,766±0,266/ кэВ и /2793,751±0,439/ кэВ. Вероятность случайности этих уровней (BCL) равна соответственно:  $0,3 \cdot 10^{-3}$  по сравнению с фоновой  $BCF = 0,6 \cdot 10^{-1}$  и  $0,3 \cdot 10^{-6}$  по сравнению с фоновой  $BCF = 0,6 \cdot 10^{-1}$ .

Предлагаемый уровень 2947,766 кэВ с точки зрения обычного построения схем не является убедительным, т.к. "основывается" только на одном  $\gamma$ -переходе 386,6 кэВ. Однако при машинном построении этот уровень основан фактически на нескольких каскадах типа:  $E_{\text{опорн.}} + E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2} (+E_{\gamma 3})$ .

Например:

$$1/ 1542,38 + 1018,70 + 386,60 = 2947,68 \text{ /кэВ/}$$

$$2/ 1475,72 + 744,20 + 386,60 = 2948,02 \text{ /кэВ/}$$

$$3/ 657,72 + 1085,70 + 266,40 + 937,47 = 2947,29 \text{ /кэВ/}$$

и т.д.

Хотя часть из этих каскадов в окончательной схеме и не принята, но не исключается полностью, т.к. нельзя утверждать, что в конечной схеме выявлены все промежуточные уровни.

Отметим также, что при обсчете по программе "LEVEL" еще появляется уровень  $2780,72 \pm 0,21$  /  $BCL = 0,4 \cdot 10^{-5}$  /, который связан двумя  $\gamma$ -переходами, 219,70 и 997,10 кэВ, с известными уровнями 2561,30 и 1783,50 кэВ соответственно. Приход  $\gamma$ -линий на указанные уровни по интенсивности несколько превышает суммарную интенсивность уходящих с уровней  $\gamma$ -линий. Это превышение находится в пределах 2-3 суммарных ошибок интенсивностей, так что уровень 2780,72 можно рассматривать как вполне приемлемый /в схему рис. 2 этот уровень не включен/.

В представленной схеме /рис. 2/ размещено 24  $\gamma$ -перехода. Сравнение со схемой работы /11/ показывает, что удастся дополнительно разместить три  $\gamma$ -перехода: 386,6; 133,20; 1252,0 кэВ и, по-видимому, еще два: 219,7 и 997,1 кэВ.

Машинное время, которое потребовалось для этого примера, составило 17 мин на машине CDC-6400.

Итак, программа "LEVEL" дает основную часть реальных уровней, смешанных с ложными и случайными. Анализ всех полученных уровней по программе "SCHEME" с привлечением данных о  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадениях позволяет выявить основную часть реальных уровней. Таким образом, совокупность двух программ "LEVEL" + "SCHEME" позволяет перебрать, в основном, все варианты энергетических комбинаций, не оставляя сомнения о возможных упущениях, неизбежных при ручной переборке. Сомнения такого рода являются обычными при рассмотрении практически любой публикуемой в литературе схемы распада с большим количеством гамма-переходов /14/.

Типичное время счета по программе "LEVEL" одного варианта на машине БЭСМ-6 составляет 50-60 мин, а на CDC-6400 - 15-20 мин.

В заключение авторы благодарят Л.С.Нефедьеву за постоянную поддержку и интерес к работе, а также И.Н.Кухтину и Н.Н.Воробьеву за полезные советы при составлении программы.

#### Литература

1. В.Р.Бурмистров. Сб. "Прикладная ядерная спектроскопия", вып. 4 /1974/.
2. В.Р.Foster, D.C.Camp, *Computer Physics Communications*, v. 2, No. 5 /1971/.
3. A.Backlin. *Nucl. Instr. and Meth.*, 53, 177 /1967/.
4. Л.Н.Кондурова, А.И.Смирнов. Препринт ФТИ АН СССР, №273, Ленинград, 1970.
5. J.R.Williams. *Computer Physics Commun.*, v. 1, No. 6 /1970/.
6. A.Backlin. *Proc. "Radioactivity in Nuclear Spectroscopy"*, v. 2, p. 5 /1972/.
7. Д.Худсон. *Статистика для физиков*. М., Мир, 1970.
8. Л.П.Большев, Н.В.Смирнов. *Таблицы математической статистики*. Наука, М., 1965.
9. D.G.Sarantites. *Nucl. Phys.*, A142, 649 /1970/.
10. Л.А.Калмыкова, В.Р.Бурмистров. ОИЯИ, IO-9809, Дубна, 1976.
11. G.V.Phillips, S.M.Brahmavar, S.H.Hamilton, T.Kracikova. *Nucl. Phys.*, vA182, 606 /1972/.
12. F.E.Bertrand, S.Raman. *Nuclear Data Sheets*, v. 5, No. 5 /1971/.
13. L.V.Johnson, T.J.Kennett. *Nucl. Instr. Meth.*, 87, 109 /1970/.
14. Б.С.Джелепов. *Методы разработки сложных схем распада*. Наука, Ленинград, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 мая 1976 года.