

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Ц8406

B-485

4945/2-77

12/11-77

10 - 10843

Г.В.Винель, В.М.Цупко-Ситников, Г.Элер

ПРОГРАММА ЭПОС

ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  $\gamma$ -СПЕКТРОВ  
ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Часть I. Вариант программы для ЭВМ БЭСМ-6

**1977**

10 - 10843

Г.В.Винель, В.М.Цупко-Ситников, Г.Элер

ПРОГРАММА ЭПОС  
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  $\gamma$ -СПЕКТРОВ  
ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Часть I. Вариант программы для ЭВМ БЭСМ-6

Винель Г.В., Цупко-Ситников В.М., Элер Г.

10 · 10843

*Программа ЭПОС для автоматической обработки  
гамма-спектров от полупроводниковых детекторов.  
Часть I. Вариант программы для ЭВМ БЭСМ-6*

Описывается экспрессная программа для автоматической обработки спектров (ЭПОС) и приводятся результаты ее использования. Основой программы является метод статистической подгонки для минимизации функции  $\chi^2$ . Машинное время БЭСМ-6 при обработке гамма-спектров составляет 0,8 с на один пик. Программа написана на АЛГОЛе. Приводится сравнение этой программы с программой, основанной на предварительном просмотре с заданием начальных приближений экспериментатором и последующей подгонке параметров модели общепринятыми методами. Обработка спектров повышенной сложности (200 - 250 фотопиков на 4096 каналов) показала, что результаты двух подходов совпадают для 85-90% имеющихся в спектре линий.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

## Введение

Вопросу автоматизации обработки  $\gamma$ -спектров, снятых на полупроводниковых детекторах, посвящено большое число работ /1-14/, в которых описываются программы обработки, решающие проблему автоматизации в различной степени. В большинстве существующих программ полностью автоматизирован лишь окончательный этап обработки - точное определение параметров математической модели спектра, наилучшим образом аппроксимирующей экспериментальные данные. Предварительный же этап обработки - приближенное определение положений пиков, а иногда и выбор границ независимо обрабатываемых участков спектра, который из-за статистической природы спектров, многообразия комбинаций пиков на участках и необходимости учета фона трудно поддается алгоритмизации, - предоставляется экспериментатору /2-5, 6, 14/.

Разделение обработки спектра на два этапа, один из которых полностью автоматический, имеет некоторые преимущества для экспериментатора, т.к. делает его непосредственным участником процесса обработки, обеспечивая возможность контроля и коррекции информации, получаемой от электронной аппаратуры, а также тесный контакт с программой обработки.

Безусловно, такой подход внес свой вклад в проблему автоматизации обработки  $\gamma$ -спектров, дает хорошие результаты и удов-

летворяет потребности экспериментаторов при небольшом числе обрабатываемых спектров.

Однако это не снимает с повестки дня вопроса полной автоматизации обработки  $\gamma$ -спектров. Настоятельные требования к решению этой задачи, несмотря на ее значительные математические трудности, выдвигает быстрый рост объема экспериментальных данных, в частности в области прикладных исследований /например, в лаборатории, анализирующие геологические образцы, поступает за год порядка  $10^5$  проб, подлежащих исследованию/, а также развитие электроники и растущая автоматизация спектрометрических экспериментов с применением ЭВМ.

Можно сформулировать следующие требования к программам, автоматизирующим обработку спектра:

1. Обеспечение обработки большого объема информации. Это относится как к исследованиям в области ядерной физики, где количество информации растет еще и за счет усложнения спектров, так и к областям, в которых применение ядерно-физических методов носит прикладной характер /химия, геология, биология и т.д./, где рост информации происходит в основном за счет количества измеренных спектров.

2. Обеспечение высокой скорости обработки при сравнительно простых технических средствах. Это требование приобретает решающее значение в измерительных центрах, оснащенных ЭВМ малой или средней мощности / без возможности связи с большими ЭВМ/.

3. Повышение эффективности алгоритмов и математических методов с целью повышения степени автоматизации обработки и в перспективе-исключение человека из процесса обработки. Функции человека должны быть переданы программе, что требует постоянного совершенствования алгоритмов предварительной обработки.

Хотя и имеются публикации по ряду программ, наиболее полно автоматизирующих процесс обработки, в том числе и ее предварительный этап /1,8-10, 12/, ни одна из них не удовлетворяет всем сформулированным выше требованиям.

Поэтому в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем в течение нескольких последних лет велась разработка программы быстрой обработки - ЭПОС /16/. Основой программы является предложенный Г.Элером для решения задачи минимизации  $\chi^2$  функции метод статистической подгонки /15/ /см. также ч. 2 настоящей работы /2,3//. Программа в своем первоначальном варианте была написана на языке АЛГОЛ и отлажена на ЭВМ БЭСМ-4. Первая часть программы ЭПОС-I /предварительная обработка данных/ написана в кодах ЭВМ "Минск-2" и в течение ряда лет успешно эксплуатируется. Описанный в настоящей работе вариант ЭПОС, отлаженный и опробованный на ЭВМ БЭСМ-6, представляет собой дальнейшее развитие и совершенствование этой программы. Он ориентирован на обработку  $\gamma$ -спектров, переданных по каналу связи между ЭВМ "Минск-2" и БЭСМ-6 и записанных на магнитную ленту. Имеется возможность обработки данных с перфокарт, а также обработки спектров, записанных на магнитную ленту, на ЭВМ ИР 2116С в измерительном центре ЛЯП.

#### 1.1. Общая постановка задачи

При регистрации  $\gamma$ -излучения, возникающего при переходах между различными энергетическими уровнями возбужденных состояний ядер, спектрометрами с полупроводниковыми Ge(Li) детекторами, получают  $\gamma$ -спектры, представляющие набор отсчетов/чисел/ в отдельных каналах анализатора. Представленный графически такой спектр состоит из отдельных или слившихся пиков на сплошном довольно гладком фоне. Физическую информацию, которую необходимо извлечь из  $\gamma$ -

спектра, несут пики, положения которых связаны определенной зависимостью /энергетической калибровкой/ с энергиями переходов между уровнями ядер, а площади - с интенсивностью  $\gamma$  -излучения данной энергии /зависимостью эффективности регистрации спектрометра/.

Определение положений и площадей пиков  $\gamma$  -спектра и является задачей программы обработки.

## 1.2. Общая характеристика варианта программы ЭПОС для ЭВМ БЭСМ-6

Программой ЭПОС задача обработки решается в несколько этапов, которым соответствуют четыре части программы /см.блок-схему рис.1/.

1-й этап - программа ЭПОС-1. Автоматический поиск пиков спектра; приближенное определение их полуширин; разбиение спектра на независимые участки /интервалы/; вычитание фона на каждом участке; приближенное определение амплитуд пиков; некоторые сортировки, связанные с исключением из списка тех пиков, полуширины которых существенно отличаются от средней для спектра, а также тех, амплитуды которых лежат в пределах статистической ошибки измерения в данном месте спектра; разбиение некоторых участков на независимые подынтервалы, что становится возможным после вычитания фона и определения амплитуд пиков.

2-й этап - программа ЭПОС-2. Аппроксимация участков спектра, содержащих один пик/синглет/, функцией Гаусса по методу статистической подгонки и, в результате, определение параметров математической модели, которыми являются положение, амплитуда и полуширина пика /три параметра, т.к. фон был вычтен/. Построение по полученным данным, в случае достаточного числа синглетов в спектре, аналитической зависимости полуширины пиков от номера канала.

3-й этап - программа ЭПОС-3. Обработка по методу статистической подгонки всех участков спектра, содержащих более одного пика. Математической моделью является сумма функций Гаусса, число кото-

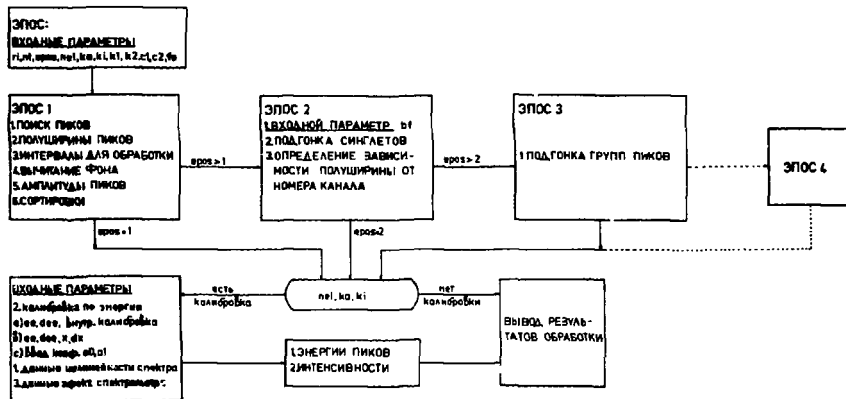


Рис. 1



рых равно мультиплетности участка. Свободными параметрами подгонки являются положения и амплитуды пиков, а значение полуширины для каждого пика вычисляется из аналитической зависимости, полученной на втором этапе обработки.

4-й этап - программа ЭПОС-4. Анализ результатов аппроксимации тех участков, на которых обработка либо по критерию  $\chi^2$ , либо по критерию полуширины не была успешной. Идентификация мультиплетности таких участков и после добавления или отбрасывания некоторых пиков их повторная обработка. /Эта часть программы находится в стадии отладки и поэтому на рис. 1 показана штрих-пунктирной линией/.

### 1.3. Входные данные программы

- |              |   |
|--------------|---|
| <b>гi</b>    | - число обрабатываемых спектров.  |
| <b>epos</b>  | - параметр, числовое значение которого задается разным числу желаемых этапов обработки /возможные значения 1,2,3,4/. Благодаря этому, на любом из этапов возможно окончание обработки с выводом таблицы результатов на печать.                    |
| <b>с1</b>    | - параметр, который может служить приближенной оценкой средней полуширины пиков спектра /для обычных $\chi$ -спектров с полушириной от 3 до 6 каналов задается 4/. Он используется алгоритмом поиска пиков для определения ширины участка поиска. |
| <b>с2</b>    | - параметр, задающий алгоритму поиска пиков статистический фактор для определения порога чувствительности к выявлению пиков на фоне статистических флуктуаций /возможные значения от 1,0 до 4,0/.   |
| <b>k1,k2</b> | - начальный и конечный каналы обработки спектра /например, $k1 = 1$ , $k2 = 4000$ , но можно задать и любые другие/.  |
| <b>пг</b>    | - порядковый номер записи спектра на магнитной ленте /в случае спектра на перфокартах этот параметр равен 0/.   |

- nel,ka,ki** - параметры, определяющие режим работы программы при калибровках /см.ниже; например, в отсутствие калибровок  $nel = 0$  ,  $ka = 1$  ,  $ki = 0$  /.
- fo** - параметр, определяющий режим работы программы при вычитании фона /  $fo = 1$  - линейная зависимость,  $fo = 0$  - алгоритм вычитания фона, описанный в 4.2 настоящего сообщения/.
- bf** - параметр, задающий программе режим работы при определении зависимости полуширины от номера канала /возможное значение-0 или любое число/. Отличие этого параметра от нуля означает, что экспериментатор знает о недостаточном числе синглетов в спектре и коэффициенты этой зависимости, вычисленные, например, ЭПОС'ом для калибровочного спектра, будут введены с перфокарт. В случае  $bf = 0$  при недостаточном числе синглетов информация об этом выдается на печать и обработка сложных участков продолжается со средней для спектра полушириной.

Таким образом, обязательное число входных параметров в ЭПОС при исключении режимов калибровок равно 12 . Их задание не требует предварительного просмотра спектра, на перфокартах они приводятся в бесформатном виде. Следующий пример демонстрирует простоту такого задания и может служить ориентировочным для обработки любого  $\gamma$ -спектра.

ri	epos	c1	c2	k1	k2	ng	nel	ka	ki	fo	bf
1	3	4	2	1	4000	5	0	1	0	0	0

Имеется также вариант программы, где число входных параметров сокращено до 6 , а значения  $c1, c2, k1, k2, fo, bf$  положены равными значениям в приведенном примере.

#### 1.4. Калибровки по энергии и по интенсивности

При любом из ниже описанных режимов энергетической калибровки

параметр нелинейности спектрометра  $nel$  может принимать значения 1 или 0, что соответственно означает, будут ли введены данные для поправки положений пиков на нелинейность спектрометра или нет. Ввод этих данных, полученных при аппроксимации кривой нелинейности спектрометра по методике, описанной в работе Ц.Вичева и др. /20/, происходит с перфокарт в том виде, как их выдает специальная программа, написанная для ЭВМ СДС-6500.

Режим энергетической калибровки определяется параметром  $ka$ .

а/ При внутренней калибровке  $ka$  полагается равным числу вводимых в программу калибровочных энергий /значения энергий  $ee$  и соответствующих им ошибок  $dee$  вводятся без формата/. Внутренняя калибровка предполагает наличие в спектре не менее 6 линий /реперов/, энергии которых известны и которые достаточно равномерно распределены по спектру. Соответствие между задаваемыми энергиями и найденными программой пиками устанавливается автоматически по алгоритму, описанному в работе /19/, после чего по методу наименьших квадратов вычисляются коэффициенты линейной зависимости энергии от номера канала с соответствующими им ошибками. В сложных спектрах, когда число найденных программой пиков будет велико, рекомендуется задавать больше 6 энергий, пусть и известных не столь точно, чтобы облегчить идентификацию положений реперных линий. Значения энергий реперов отмечаются в этом случае знаком минус, и только они участвуют в определении энергетической калибровочной зависимости.

Пример для  $ka = 12$ :

вводимые энергии - 300.65, 345.15, -405.66, 467.11, 520.37,  
-742.69, 814.42, 992.37, -1148.39, -1372.469, -2016.306.

б/ Режим внешней калибровки осуществляется при  $ka = 2$  и предполагает ввод коэффициентов линейной зависимости энергии от номера канала и их ошибок с перфокарт /без формата/.

в/ Если  $k_a = 1$ , то энергии найденных в спектре пиков будут вычисляться с калибровочными коэффициентами предыдущей обработки /удобно для серии спектров/. При обработке первого спектра  $k_a = 1$  означает режим исключения энергетической калибровки, коэффициенты этой зависимости полагаются равными 0 и 1.

г/ Если задать  $k_a$  равным любому отрицательному числу, то в качестве данных калибровки вводятся положения  $b$  пиков, их ошибки, энергии этих пиков и их ошибки, как рекомендуется в работе /20/.

Определение относительных интенсивностей  $\chi$ -линий происходит в режиме, когда во входных данных  $k_i \neq 0$ . Тогда необходимо ввести также данные аппроксимации кривой эффективности детектора, рассчитанные по специальной программе для ЭВМ СДС-6500, и положение в каналах нормировочного пика /ввод форматный/ /22,21/. Порядок ввода данных в программу подробно описан в инструкции для пользователей.

#### 1.5. Об ошибках результатов обработки

Оценка точности результатов обработки /погрешностей положений и площадей пиков спектра/ является неотъемлемой частью программы обработки. Если при использовании метода наименьших квадратов ошибки искоемых параметров находятся автоматически в процессе вычисления /как элементы обратной матрицы/, то оценка точности результатов, полученных по методу статистической подгонки, потребовала специальных исследований. Такие исследования были проведены способом моделирования эксперимента на ЭВМ. Всего было смоделировано 300 000 синглетов и 100 000 дублетов, обработанных по методу статистической подгонки.

В результате были получены эмпирические зависимости для средних ошибок в положении, полуширине и амплитуде как функции параметров

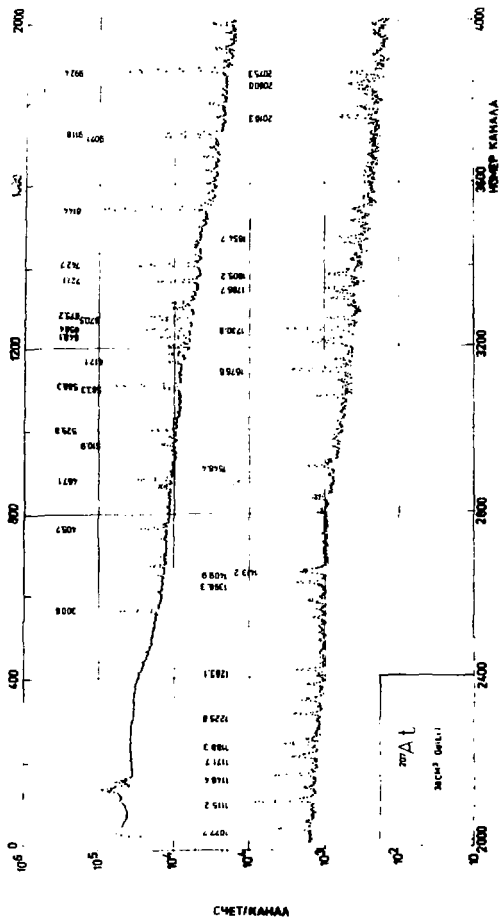


Рис. 2

математической модели, описывающей данную конфигурацию линий. Об этом сообщалось в /18/.

Полученные эмпирические формулы и являются основой расчета ошибок результатов в программе ЭПОС. В случае мультиплетов более высокого порядка  $l > 2$  / их применение является приближенным. Для синглета формулы расчета ошибок имеют следующий вид:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{7}{5} \left( 1 + \frac{2}{\sqrt{a/fon}} \right) / \sqrt{ab},$$

$$\frac{\Delta b}{b} = \frac{4}{5} \left( 1 + \frac{4}{\sqrt{a/fon}} \right) / \sqrt{ab},$$

$$\frac{\Delta e}{b} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2}{\sqrt{a/fon}} \right) / \sqrt{ab},$$

где  $a$  - амплитуда,  $e$  - положение,  $b$  - полуширина пика,  $fon$  - среднее значение фона на интервале.

Сравнение результатов обработки по программе ЭПОС и по программам, использующим метод наименьших квадратов, дает основания считать расчет ошибок по этим формулам приемлемым.

#### 1.6. Пример обработки $\gamma$ -спектра

На рис. 2 приведен спектр  $\gamma$ -лучей  $^{207}\text{At}$ , измеренный с помощью  $\text{Ge(Li)}$  детектора /38 см<sup>3</sup>/ на аппаратуре ОЯС и РХ. Программой ЭПОС при следующих значениях входных параметров:  $ri=1$ ,  $e\text{pos}=3$ ,  $ng$ ,  $nel=0$ ,  $ka=1$ ,  $ki=0$ ,  $c1=4$ ,  $c2=1$ ,  $k1=500$ ,  $k2=3600$ ,  $fo=0$ ,  $bf=0$ ,

было обработано 223 пика за время 2,5 минут /счетное время БЭСМ-6/.

В таблице 1 показана часть результатов обработки для тех пиков, которые присутствуют на фрагментах этого спектра, приведенных на рис. 3,4.

[31] пик программа отбросила по критерию полуширины или амплитуды на этапе ЭПОС-1. Т.к. кроме ложных среди них могут оказать-

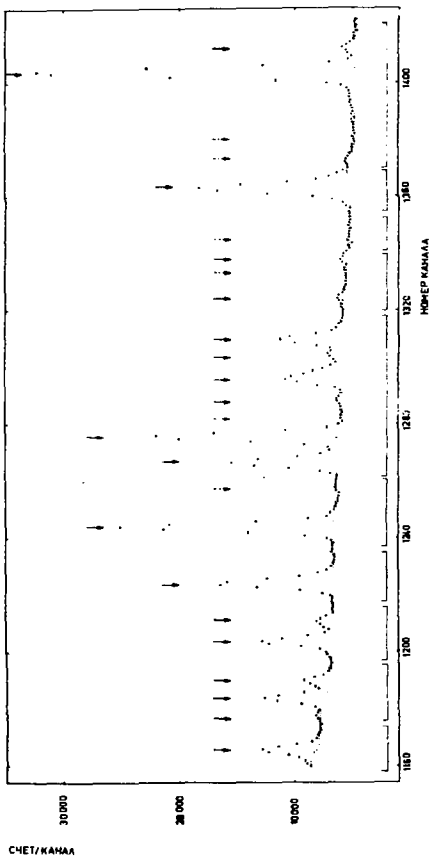


Рис. 3

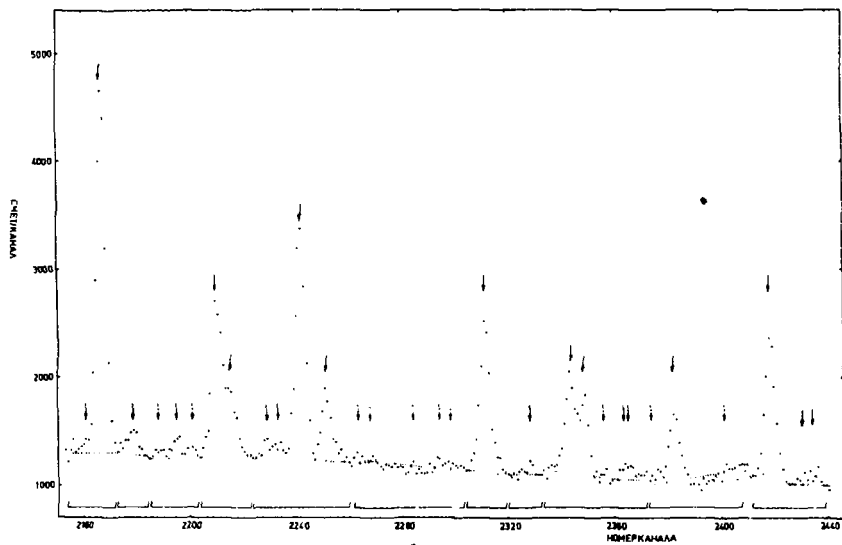


Рис. 4



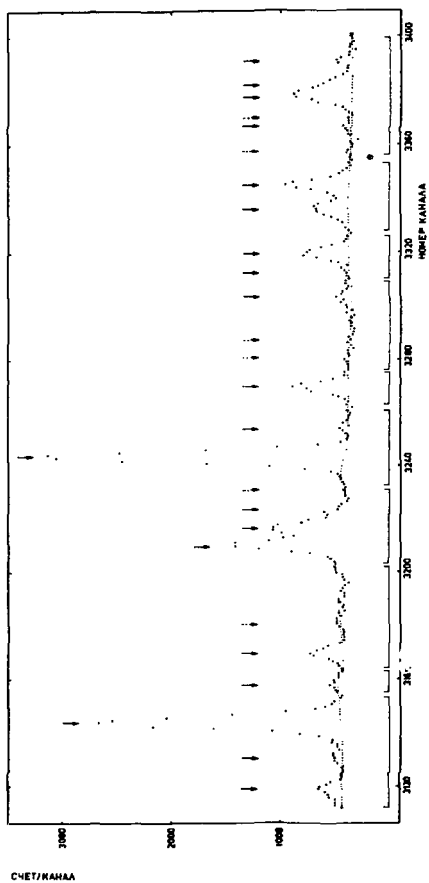


Рис. 5

ся и интересующие экспериментатора пики, то информация о них выводится на печать в виде таблицы положений, полуширин и площадей. На печать выводится также зависимость полуширины от номера канал. в виде двух коэффициентов, а также полуширины первого и последнего пика /для приведенного примера 2.95 и 5.16 каналов соответственно/. При сравнении этих результатов с данными обработки того же спектра по программе КАТОК<sup>12/</sup>, в которой предварительный этап обработки проводится с помощью дисплея, оказалось /сравнивалось 183 пика/: 80% из всех пиков /147/ обработано удовлетворительно. Отклонения в результатах обеих программ как для положений, так и для площадей пиков лежат в пределах ошибок, выдаваемых программами.

Для 5% пиков /10/ результаты обработки по площади лежат вне пределов ошибок /сравнивались только пики, удовлетворительно обработанные программой КАТОК/. Имеются отклонения /до 15%/, что происходит из-за различного проведения линии фот. юд этими пиками, и, как видно из рис. 3,4,5, в ряде случаев эти отклонения можно отнести к ошибкам программы ЭПОС.

Для 15% пиков обработку надо считать неудовлетворительной по критерию полуширины или по критерию  $\chi^2$ . В таблице результатов некоторые пики резко отличаются по полуширине от соседних пиков. Если такой пик интенсивный, то его надо считать неразрешенным дублетом, даже если по критерию  $\chi^2$  его обработка прошла благополучно. Заметим, что в определении зависимости полуширины от номера канала такие пики не участвуют<sup>17/</sup>. В последнем столбце таблицы результатов печатается  $\text{chi} = \sqrt{\chi^2}$  /таблица 1/, в случае неудовлетворительной обработки /большое  $\text{chi}$ / - со знаком минус. Однако не всегда большое  $\chi^2$  является указанием на необходимость введения дополнительного пика на этом участке. Для очень интенсивных пиков это является следствием несимметрии их формы.

Таблица I

Канал	Ошибка /в канал/	Ампли- туда	Полу- ширина	Площадь	Ошибка в %	фон	chi	
48	1165,82	0,059	4402	3,853	18048	5,49	8303	1,8
49	1177,00	0,562	367	3,545	1386	55,16	7362	2,6
50	1184,22	0,053	4942	3,551	18674	4,92	7362	2,6
51	1190,17	0,121	1916	3,556	7250	11,58	7362	2,6
52	1203,89	0,043	6097	3,567	23142	3,97	6806	1,7
53	1211,00	0,154	1413	3,573	5370	14,82	6806	1,7
54	1224,42	0,027	10019	3,832	40849	2,48	6638	3,4
55	1243,94	0,017	18452	3,600	70685	1,54	65	-4,4
56	1266,94	0,031	8433	3,714	33327	2,83	6124	2,3
57	1275,74	0,020	15793	3,373	56685	1,77	6124	1,8
58	1287,33	0,284	523	6,062	3372	27,66	6124	-5,9
59	1296,65	0,042	5022	4,839	25855	3,88	6124	-5,9
60	1304,32	0,150	1372	3,649	5327	14,40	6124	-5,9
61	1310,36	0,045	5457	3,654	21217	4,15	6124	-5,9
62	1323,65	0,279	630	4,174	2798	27,06	5704	1,4
63	1338,22	0,302	549	4,399	2570	29,34	5422	1,6
64	1362,92	0,021	11796	4,311	54113	1,90	5367	-6,3
127	2159,78	0,604	137	4,284	524	58,64	1304	1,3
128	2167,12	0,038	3346	4,289	15268	3,41	1304	1,3
129	2178,46	0,421	201	4,252	911	40,61	1282	0,9
130	2194,47	0,522	157	4,307	720	50,53	1258	1,3
131	2210,45	0,074	1448	4,318	6654	6,79	1277	1,6
132	2215,70	0,142	670	4,322	3082	13,34	1277	1,6
133	2228,93	0,688	115	4,331	532	66,98	1238	0,9
134	2233,60	0,814	96	4,334	445	79,45	1238	0,9
135	2241,84	0,053	2171	4,340	10028	4,76	1238	2,4
136	2251,48	0,148	606	4,629	2985	13,94	1238	1,5
137	2311,38	0,071	1358	4,765	6882	6,54	1127	2,0
138	2328,48	0,472	153	4,939	808	45,59	1111	1,5
139	2342,98	0,120	760	4,408	3564	11,16	1101	1,9
140	2348,20	0,137	652	4,411	3061	12,77	1101	1,9
141	2362,93	0,692	107	4,421	505	67,29	1101	1,2
142	2365,70	0,746	99	4,423	466	72,66	1101	1,2
143	2382,01	0,152	537	5,109	2917	14,26	1128	1,8

Таблица 2

ЭПОС		КАТОК		ЭПОС		КАТОК	
канал	ошибка	канал	ошибка	площадь	ошибка	площадь	ошибка
1165,82	0,059	1165,75	0,066	18048	991	17778	823
1177,00	0,569	1179,19	2,307	1385	764	1475	3254
1184,22	0,053	-	-	18673	912	-	-
1190,17	0,121	1189,85	1,325	7249	839	2650	3801
1203,89	0,043	1203,82	0,033	23142	919	21729	556
1211,00	0,154	1210,88	0,126	5370	796	5057	434
1224,42	0,027	1224,43	0,040	40849	1013	38962	1036
1243,94	0,017	1243,95	0,015	70684	1089	67654	856
1266,94	0,031	1266,93	0,041	33327	943	33143	913
1275,74	0,020	1275,72	0,026	56685	1003	58729	1090
1287,33	0,284	1288,23	2,638	3372	933	568	325
1296,65	0,042	1296,56	0,091	25855	1005	22761	1069
1304,32	0,150	1303,64	0,387	5327	767	5001	755
1310,36	0,045	1310,05	0,093	21217	881	22280	1028
1323,65	0,279	1323,63	0,645	2798	757	2613	830
1338,22	0,302	1338,35	0,371	2569	755	2604	756
1362,92	0,021	1362,73	0,045	54113	1028	52380	1382
-	-	1367,14	0,444	-	-	5084	898
2167,12	0,038	2167,13	0,023	15268	521	14543	198
2178,46	0,421	2178,65	0,263	910	370	892	146
2194,47	0,522	2192,84	0,533	720	364	574	135
2210,45	0,074	2210,59	0,069	6654	452	6721	219
2215,70	0,142	2215,91	0,181	3082	411	2607	160
2228,93	0,688	2230,25	0,689	532	356	494	174
2233,60	0,814	-	-	445	354	-	-
2241,84	0,053	2241,67	0,047	10027	477	9347	275
2251,48	0,148	2251,26	0,157	2985	416	2734	239
-	-	2256,10	0,961	-	-	457	207
2311,38	0,071	2311,33	0,067	6882	450	5593	237
2328,48	0,472	-	-	808	368	-	-
2342,98	0,120	2343,06	0,120	3564	398	3975	234
2348,20	0,137	2348,40	0,160	3061	391	3021	223
2362,93	0,692	-	-	505	340	-	-
2365,70	0,746	2365,18	0,549	466	339	604	157
2382,01	0,152	2382,27	0,123	2917	416	2919	203

Случаи неудовлетворительной обработки по критерию полуширины и по критерию  $\chi^2$  будут в дальнейшем анализироваться в ЭПОС-4.

Пропущенных пиков /с учетом таблицы отброшенных в ЭПОС-1 пиков/ практически нет /3 пика/. Входной параметр С2 был в этом примере мал. Дополнительно к обработанным по программе КАТОК найдено и обработано 40 пиков. Экспериментатор может принять или отбросить их, принимая во внимание данные о площадях и ошибках их определения.

На рис. 3,4,5 показаны отдельные фрагменты того же спектра. Фоновая линия, определенная алгоритмом вычитания фона, показана штрих-пунктирной линией, а скобками внизу отмечены участки, на которые разделен спектр для обработки. Стрелками отмечены пики, обработанные ЭПОС-3. Штрих-пунктирными стрелками указаны те пики, обработка которых окончена на этапе ЭПОС-1, после чего они исключены. В таблице 2 даны результаты обработки по двум программам для фрагментов спектров, приведенных на рис. 3 и 4.

На большинстве участков линия фона проложена хорошо. Случаи плохого проведения фона связаны либо с тем, что он аппроксимирован линейной зависимостью / в ч.2 этой работы <sup>2.3</sup> будет показано, когда это имеет место/, либо с неудачным разбиением спектра на участки /см., например, рис. 3, предпоследний и последний интервалы/. Такие случаи неизбежны при автоматической обработке. При совершенствовании алгоритма деления спектра на участки можно надеяться число их сократить.

Пики в каналах 1296.65, 1362.92 являются неразрешенными дублетами. Из таблицы I видно, что в этих случаях экспериментатор либо по величине  $\chi^2$ , либо по значению полуширины информирован о неблагоприятной обработке. В канале 2104.97 также разрешен дублет /расстояние между пиками-5 каналов, соотношение амплитуд - 27000:1900/, но информации об этом нет.

Анализ обработки по одиннадцати спектрам, по сложности соот-

ответствующим приведенному на рис. 2, дал такие же результаты. 75-80% информации о спектре можно считать достоверной. О большинство неблагоприятных исходов обработки можно судить по критерию  $\chi^2$  /отрицательные  $\chi^2$  / в таблице результатов или по критерию полуширины. Такие случаи требуют дополнительного анализа, который в программе ЭПОС пока невозможен.

Приведенные данные для программы автоматической обработки можно считать удовлетворительными с учетом того, что анализ, который программа сможет проводить на 4-м этапе /ЭПОС-4/, по предварительным данным, улучшает больше половины неудовлетворительных результатов. Надо также учесть тот факт, что результаты обработки по программам, получающим предварительную информацию от экспериментатора, для части пиков/к сожалению, такой оценки авторы не приводят/также неудовлетворительны. Причина этого - неправильная аппроксимация линии фона или расходимость решения, которые имеют место, даже если исключить ошибки экспериментатора.

Время работы программы ЭПОС-1 - 20-40с/в зависимости от сложности спектра/. Общее время работы программы для спектра, по сложности равного приведенному на рис.2, - 0,6 с на один пик. /Приведено счетное время БЭСМ-6./

Описанный вариант ЭПОС для БЭСМ-6, основанный на методе статистической подгонки, является первой полной реализацией этой быстрой автоматической программы обработки  $\gamma$ -спектров для анализа реальных данных.

Сравнение результатов обработки программы ЭПОС и наиболее часто используемой экспериментаторами ОЯС и РХ программы КАТОК дает авторам надежду, что при дальнейшем совершенствовании программы и выборе отдельных алгоритмов предварительной обработки, оптимальным образом

решающих ту или иную задачу, программа вполне может выполнить предъявленные к ней требования, которые легли в основу ее названия - экспресс-программа обработки спектров. По-видимому, можно будет еще сократить время обработки, выбрав оптимальным образом число итераций в алгоритме статистической подгонки.

Уже сейчас существующий вариант ЭПОС может оказать большую помощь экспериментаторам при обработке  $\gamma$ -спектров.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л.П. Кабина, И.А. Кондуров, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 399, 1972, Ленинград.
2. В. Гаджиков, ПТЭ, № 5, 1970/ОИЯИ, Р10-5035, 1970, Дубна/.
3. Р. Арльт, Г. Винтер и др. ОИЯИ, Р6-6227, 1972, Дубна.
4. П. Гиппнер, К.-Г. Каун, Ф. Стари, Н.Ф. Трускова, ОИЯИ, II-8195, 1974, Дубна.
5. В.Б. Зюлков, Я.П. Кулькина, ОИЯИ, 10-8162, 1974, Дубна.
6. G. Winter, ZfK-1R2, 1969, Rossendorf.
7. Э. Рупп, ОИЯИ, Р10-5776, 1971; ОИЯИ 10-6614, 1972, Дубна.
8. В.-Д. Фромм, ОИЯИ, 10-9094, 1975, Дубна.
9. Н.Г. Волков, С.И. Федотов, сб. "Прикладная яд. спектр.", 1975, Москва /там же: Н.Г. Волков, В.Г. Чубченко, А.К. Чураков, стр. 24/.
10. M.A. Mariscotti, Nucl. Instr. Meth., 50, 309, 1967.
11. W. Black, Nucl. Instr. Meth. 71, 317, 1969.
12. J.C. Philippot, IEEE Transaction on Nuclear Science, N 5-17, 203, 1970.
13. Barnes IEEE Transaction on Nuclear Science, NS-15, 437, 1968.
14. С.Р. Аврамов, В.М. Цупко-Ситников, XII совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра, ОИЯИ, Д6-8846, стр. 159, Дубна, 1975.
15. Г. Элер, ОИЯИ, Р11-6816, 1972, Дубна.
16. Г. Элер, П.М. Гопыч, Г.В. Винель, В. Хабенихт, Л.А. Вылова, ПТЭ, 5, 253, 1973.
17. Г. Элер, П.М. Гопыч, Г.В. Винель, В. Хабенихт, Л.А. Вылова, ОИЯИ, Р10-7364, 1973, Дубна.

18. П.М.Гопыч, Г.Элер, Г.В.Винель, В.Хабенихт, Л.А.Вылова, XXIX совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков, 1974, стр. 479, Л., "Наука", 1974.
19. Г.Элер, П.М.Гопыч, Г.В.Винель, В.Хабенихт, Л.А.Вылова, Р10-6819, Р10-6818, Дубна.
20. Ц.Вылов, Л.А.Вылова, Н.А.Головков и др., ОИЯИ, Р6-9073, Дубна.
21. Ц.Вылов, В.С.Александров, Л.А.Вылова и др., ОИЯИ, Р6-10414, Дубна.
22. Ц.Вылов, В.С.Александров, Л.А.Вылова и др., ОИЯИ, Р6-10415, Дубна.
23. Г.В.Винель, В.М.Цупко-Ситняков, Г.Элер, ОИЯИ 10-10844 Дубна, 1977.