

Ц 8406

Э-458

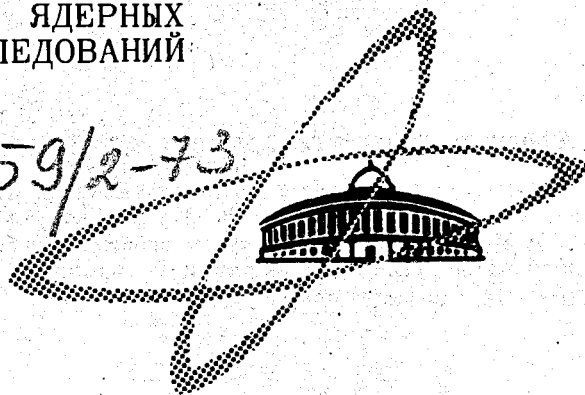
29/1-73

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

459/2-73

P10 - 6819



Г. Элер, П.М. Гопыч, Г.В. Винель,  
В. Хабенихт, Л.А. Вылова

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ЭКСПРЕСС-ПРОГРАММА  
ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ ЭПОС.  
ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
АМПЛИТУД ПИКОВ, УСТАНОВЛЕНИЯ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ  
МЕЖДУ КАЛИБРОВОЧНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ  
И СПЕКТРОМ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ  
ПО ЭНЕРГИИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ  
ОШИБОК В ЭНЕРГИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ

1972

P10 - 6819

Г.Элер, П.М.Гопыч, Г.В.Винель,  
В.Хабенихт, Л.А.Вылова

ЭКСПРЕСС-ПРОГРАММА  
ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ ЭПОС.  
ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
АМПЛИТУД ПИКОВ, УСТАНОВЛЕНИЯ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО СООТВЕТСТВИЯ  
МЕЖДУ КАЛИБРОВОЧНЫМИ ЭНЕРГИЯМИ  
И СПЕКТРОМ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ  
ПО ЭНЕРГИИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ  
ОШИБОК В ЭНЕРГИИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНИЙ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В сообщении завершается краткое описание назначения и принципа работы процедур, входящих в первую часть экспресс-программы обработки спектров (ЭПОС-1). Общее описание ЭПОС содержится в /1/, описание первых четырех процедур ЭПОС-1 можно найти в /2/. Процедуры написаны на языке АЛГОЛ-60 для ЭМ БЭСМ-4, имеется вариант в машинном коде Минск-2 (Минск-22) и фортранные варианты для БЭСМ-6 и *Hewlett Packard 2116B*.

Процедура ampli (рис.1-а) последовательно в каждом интервале вычисляет амплитуды пиков и, если это необходимо, поправки к их положению.

Амплитуду  $pa [j]$   $j$ -го пика находим по формуле (I) в (9)<sup>\*)</sup> или по формуле (II) в (10):

$$pa [j] = \sqrt{n1 * n2} \quad (I)$$

$$pa [j] = \sqrt{n1 * n2 * (1 + 0.63/b^2) * (1 + b^2 * ((n2 - n1)/n1)^2 / 11.09)} \quad (II)$$

\*) Арабские цифры в скобках обозначают номер блока на соответствующей блок-схеме, римские цифры указывают номер формул из текста.

$n_1$  и  $n_2$  значения (eks-fon )<sup>ЖЕ</sup> в соседних с максимумом пика каналах (7).

Если абсолютное значение нормированной разности  $n_1$  и  $n_2$   
 $ab = |n_1 - n_2| / (n_1 + n_2)$

больше 0.1 (8), то пользуемся (I) (9), в остальных случаях - (II) (10).

Когда известны амплитуды, можно учесть систематические ошибки в положении сильноперекрывающихся, но разделенных *supik* (см. работу /2/), пиков. Эти ошибки зависят от отношения амплитуд пиков  $vv$  и их взаимного расстояния  $dis$  (15). Поправка вычисляется, если  $dis < 2.5 * b$  и  $vv > 0.001$  (16).

Поправка  $dea$  к большему пику и поправка  $deb$  к меньшему определяется (17) по формулам:

$$dea = b * \exp(-1.39 + 1.07 * bc + dis^2 * (4.57/b - 1.93 * \sqrt{dis}) + 1.76/b^{3/2}),$$
$$deb = b * \exp(-1.31 - 1.59 * bc + 5.18 * (dis/b)^{3/2} - 1.73 * dis^2 + 4.53/b^2),$$

где  $bc = |\ln(vv)|$ . Эти поправки учитываются в (18).

Формулы для  $dea$  и  $deb$  и формула (II) получены опытным путем из анализа результатов подгонки нескольких тысяч пар конструированных пиков.

Процедура wубор для автоматической калибровки по энергии находит пики, соответствующие  $n$  заданным экспериментатором калибровочным энергиям.

ЖЕ) Список общих обозначений ЭПОС-I приведен на стр. 10

Назовем узлами (рис.2) точки пересечения горизонталей  $c_1 \dots c_6$ , которые обозначают заданные калибровочные энергии, и вертикалей, которые обозначают положения пиков. Пики, соответствующие калибровочным энергиям, обозначены  $p_1 \dots p_6$ .

Алгоритм находит узлы  $u_1$  и  $u_2$ , которым соответствует первая и последняя калибровочные энергии. Проведенная через них прямая содержит в своей окрестности между узлами  $u_1$  и  $u_2$  еще  $n-2$  узла. Окрестность искомой прямой  $b$  (полоса шириной  $2 \cdot de$ , где  $de$  - максимальная нелинейность аппаратуры) показана двумя тонкими линиями.

Искомая прямая может проходить только между узлами, лежащими на горизонталях  $c_1$  и  $c_6$  (им могут соответствовать первая и последняя калибровочные энергии), причем такими, что между ними содержится еще не менее  $n-2$  вертикалей. Если в семействе прямых, проходящих через узел  $(1, c_1)$  и все узлы, лежащие справа от узла  $(5, c_6)$  на горизонтали  $c_6$ , нет искомой, то переходим к семейству прямых, проходящих через узел  $(2, c_1)$  и все узлы справа от узла  $(6, c_6)$  на горизонтали  $c_6$  и т.д., пока искомая прямая не будет найдена.

Чтобы сократить время работы, накладываем естественное, с точки зрения эксперимента, условия: пик, соответствующий последней калибровочной энергии, лежит дальше  $dd = 0.75 \cdot pe [p_{ik}]$ .

Работу процедуры регулируют параметры  $n$  и  $de$ . Ограничение на  $n$  ( $n \geq 6$ ) накладывается, чтобы исключить возможные случайные варианты.  $de$  зависит от качества измерительного тракта, оно ограничивает выбор калибровочных энергий: соответствующие им линии должны отстоять по энергии не менее чем на  $de$ . Это ограничение можно существенно ослабить, анализируя среднеквадратичное отклонение узлов в окрестности искомой прямой.

После присваивания (рис.1-б) переменной  $v_{yb}$ , используемой во внешнем блоке для управления, нулевого значения (2) сравниваются  $n$  и  $p_{ik}$  (3), (5), (8). Если они одинаковы (3), то формируем массивы результатов  $x$  (положения калибровочных пиков) и  $y$  (калибровочные энергии) и передаем в (23) для проверки. Проверка правильности соответствия между калибровочными энергиями и спектром производится путем сравнения отношений вида:

$$c_y = (c_2 - c_1) / (c_6 - c_1), \quad c_x = (p_2 - p_1) / (p_6 - p_1).$$

Если все такие отношения удовлетворяют условию

$$1 - d < c_y / c_x < 1 + d,$$

где  $d = 0.01 + 0.05$  в зависимости от  $d_e$ , то считаем, что соответствие установлено верно.

При положительном исходе проверки переходим на конец процедуры, иначе  $v_{yb} = 2$ , (24) передает управление (25) и выдается информация об ошибке. Если  $p_{ik} \neq n$  (5), то в (6) или (7) формируем массивы  $x$ ,  $y$  и переменные  $p_k = \min(n, p_{ik})$ ,  $p_k = \max(n, p_{ik})$ . Это обеспечивает возможность работы при  $n \geq p_{ik}$ . Если  $n < 6$ , то  $v_{yb} = 1$  (9); (10) печатает информацию об ошибке, затем переходим на конец процедуры.

Если  $n \geq 6$ , (11) вычисляет номер  $k_i$  первого из пиков, лежащего дальше  $d_d$ . В цикле по номеру узла  $i$  на горизонтали  $c_1$  и во вложенном в него цикле по номеру узла  $k$  на горизонтали  $c_6$  находим коэффициенты прямой, проходящей через узлы  $i$  и  $k$  (16), и подсчитываем число узлов  $r$  в окрестности этой прямой между  $i$ -м и  $k$ -м узлами (17). Если  $r + 2 = n_k$ , то выходим в (23) для проверки сформированного (17) результирующего массива.

Если  $pik < n$  (2I), в (22) элементы массива  $x$  получают значение элементов массива  $y$  и наоборот (см. обозначения на блок-схеме).

Ту же задачу, что и `wybor`, может решать процедура `poisk`. Ее алгоритм основан на поиске пиков, соответствующих первым шести калибровочным энергиям путем сравнения отношений типа тех, что использует `wybor` для проверки результатов.

Процедура `quad` методом наименьших квадратов вычисляет коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  параболы, описывающей зависимость энергии от номера канала.  $n$  опорных точек для этого найдены `wybor (poisk)`. Статистический вес  $i$ -й опорной точки вычисляем по формуле:

$$q[i] = 1/dy[i] / \sum_j (1/dy[j]) \quad j = 1 \dots n,$$

где  $dy$  - массив ошибок в калибровочных энергиях.

Если число калибровочных точек  $n < 6$ , то находятся линейные коэффициенты зависимости энергии от номера канала  $a_0$  и  $a_1$  ( $a_2 = 0$ ).

Процедура `resum` формирует и печатает массивы результатов ЭНОС-I: энергии и оценки ошибок в энергии, интенсивности и оценки ошибок в интенсивности для каждой линии.

При оценке ошибок используются функции статистической достоверности в выделении положения (I), амплитуды (II) и полуширины (III)  $j$ -го изолированного пика:

$$mf e = (0.001 + (\sqrt{fon} / pa[j] + pa[j] / 2) / 3) * b, \quad (I)$$

$$mf a = (\sqrt{pa[j]} + \sqrt{fon} / 2) / pa[j] + 0.002, \quad (II)$$

$$mf b = (1 + (fon / pa[j])^{0.6}) / pa[j]^{0.6} + 0.002, \quad (III)$$

где  $f_{on}$  - значение фона в точке максимума пика. Эти функции получены эмпирически, путем анализа результатов обработки по программе ЭПОС в полном объеме около 20 тысяч изолированных конструированных пиков. По этим формулам можно найти среднюю ошибку в определении соответствующей величины, которую допускает статистическая природа обрабатываемого спектра при данных параметрах  $f_{on}$ ,  $b$ ,  $pa [j]$ . Графики этих формул приведены на рис.3. По оси абсцисс отложен фон, слева по оси ординат - амплитуда, справа по оси ординат - шкалы для

$$m\{e\} = \Delta E/b, \quad m\{a\} = \Delta a/a, \quad m\{b\} = \Delta b/b,$$

где  $E$  - энергия,  $a$  - амплитуда.

Энергия линий вычисляются во внешнем блоке, ошибка в энергии  $j$ -й линии оценивается по формуле:

$$den [j] = (a1 + 2 * a2 * pe [j]) * m\{e\}.$$

Для вычисления интенсивности  $in [j]$  и оценки ошибки в интенсивности  $din [j]$  этой линии используем формулы:

$$in [j] = 1.064 * b * pa [j],$$

$$din [j] = \sqrt{m\{a\}^2 + m\{b\}^2} * 100 \%.$$

Перед ЭПОС-I не ставится задача точного вычисления энергий, интенсивностей и полного учета их ошибок. Эти вопросы будут решены при работе ЭПОС в полном объеме<sup>/1/</sup>.

Экспериментальный спектр (рис.4), имеющий 660 каналов и 33 пика, обрабатывается ЭПОС-I на БЭСМ-4 ~ 10 сек и на Минск-2 ~ 20 сек. Для сравнения этот спектр обработан по программе ГАММА<sup>/3/</sup>, используемой в ОИЯИ для окончательной обработки гамма-спектров. Нижний ряд стрелок на рисунке - результаты ГАММА, верхний -



- результаты ЭПОС - I. Если оба результата в пределах ошибки совпадают, то стрелка помечена верхним темным кружком (совпадение энергий) или нижним темным кружком (совпадение интенсивностей).

ЭПОС-I пригодна для использования в системе on-line на базе малой или средней ЭВМ для контроля за ходом эксперимента с полным циклом порядка 3-5 минут.

#### Л и т е р а т у р а

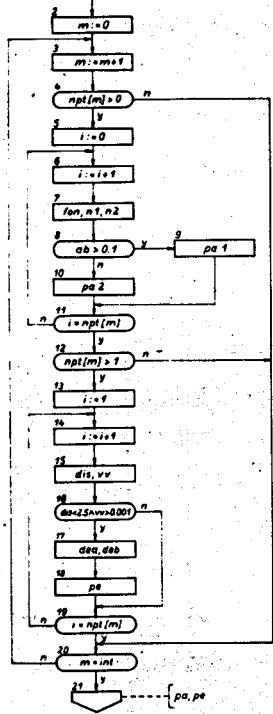
1. Г. Элер, П.М.Гопич, Г.В. Винель, В. Хабенихт, Л.А.Вылова, ОИЯИ, Р10-6817, Дубна, 1972.
2. Г. Элер, П.М.Гопич, Г.В.Винель, В.Хабенихт, Л.А.Вылова, ОИЯИ, Р10-6818, Дубна, 1972.
3. G. Winter. ZfK-182, Mai 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 ноября 1972 года.

### СПИСОК ОБЩИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

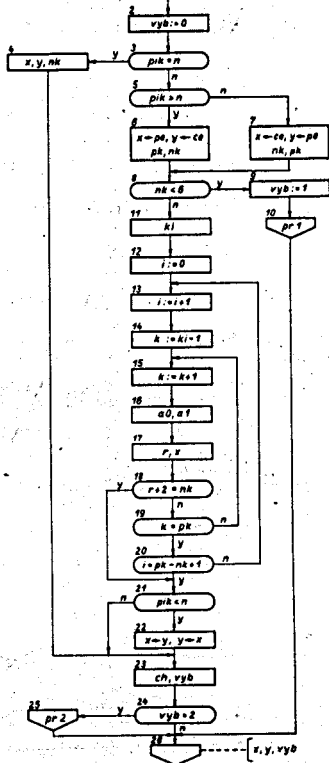
$a_0, a_1, a_2$	- коэффициенты параболы, описывающей зависимость энергии от номера канала
$b$	- средняя для спектра полуширина пика
$b_0, b_1$	- коэффициенты зависимости полуширины от номера канала
$ce [1:n]$	- массы калибровочных энергий
$den [1:pik]$	- ошибки в энергии линий
$din [1:pik]$	- ошибки в интенсивности линий
$eks [1:kk]$	- спектр, экспериментальные значения
$en [1:pik]$	- энергии линий
$int$	- число интервалов в спектре
$in [1:pik]$	- интенсивности пиков
$kk$	- число каналов в спектре
$k_1, k_2$	- границы обрабатываемого участка спектра
$kt [1:int]$	- число каналов в каждом интервале
$mun$	- число опорных точек фонового полинома
$n$	- число калибровочных энергий
$npt [1:int]$	- число пиков в каждом интервале
$nt [1:tal]$	- положения долин
$nukt [1:int]$	- начальный номер канала каждого интервала
$pa [1:pik]$	- амплитуды пиков
$pe [1:pik]$	- положения пиков
$pfon [1:4, 1:int]$	- параметры фона
$pik$	- количество пиков в спектре
$p_0$	- массив исходных данных для конструкции
$qua_f$	- 0, если фоновый полином проведен для спектра в целом 1, если фон определен отдельно для каждого интервала
$st$	- параметр статистики
$tal$	- число долин в спектре

ampli  $\{aks, pfon, pa, npt, nakl, b, int\}$



a)

wybor  $\{n, pik, pa, ce\}$



б)

Рис. 1.

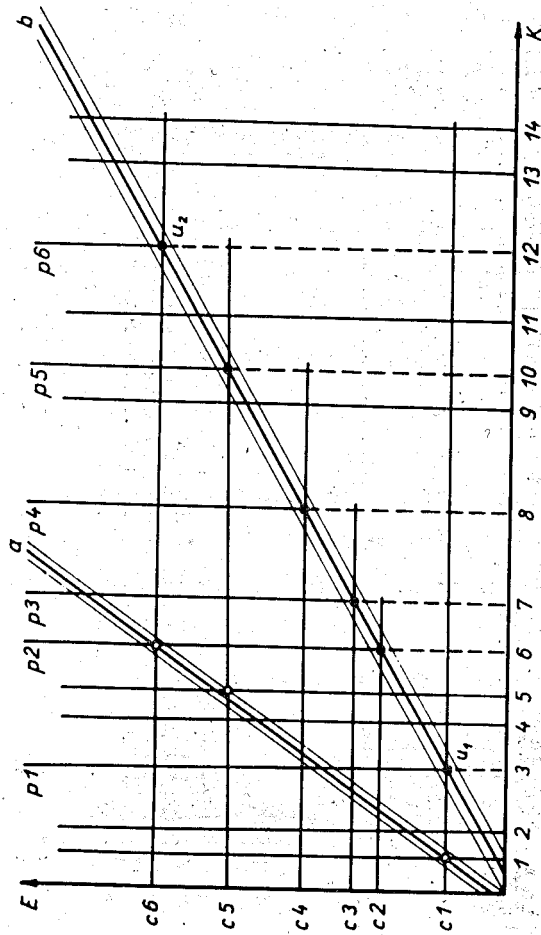


Рис. 2.

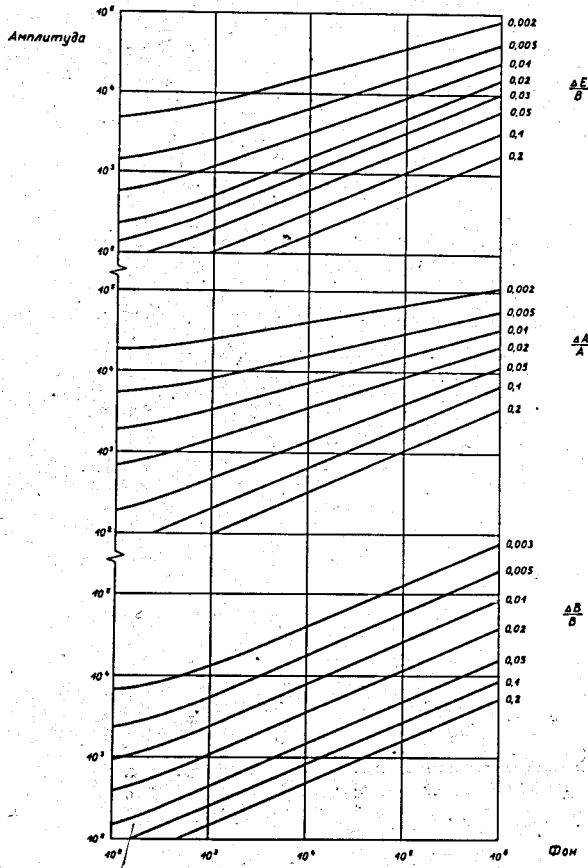


Рис. 3.

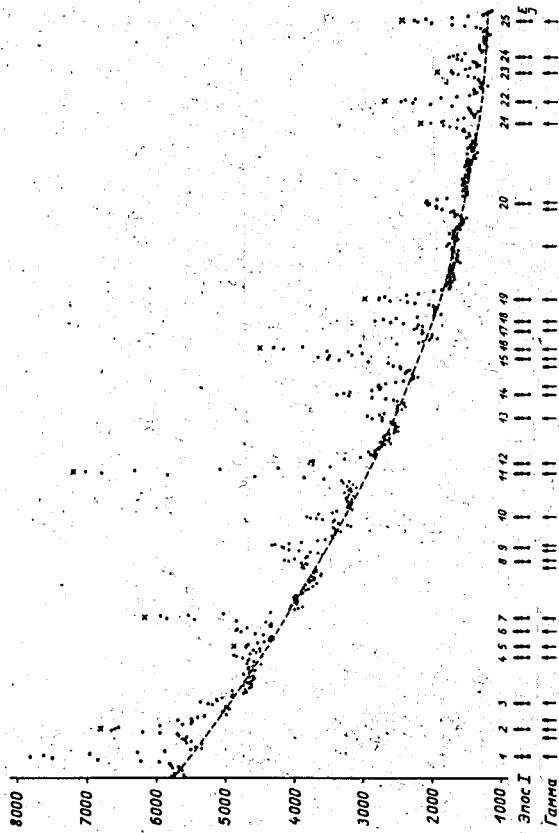


Рис. 4.