

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 936

P1-87-560

В.С.Бутцев, Г.Л.Бутцева, Л.С.Нефедьева,
Е.И.Панютчев

АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
НА БАЗЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
НА ЛИНИИ С ЭВМ МERA-60/45,
ЕС-1060 И ЕС-1061

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1987

I. Введение

Для исследования фрагментации ядер снарядов, ядер мишеней и механизмов образования и распада радиоактивных нуклидов на пучках релятивистских частиц и ядер синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ был создан аппаратурно-программный комплекс на линии с ЭВМ HP-2116B (установка ГАММА) /1/.

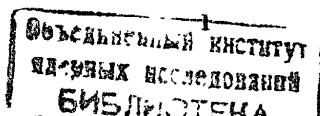
В последние годы на этой установке ведутся экспериментальные исследования сечений образования остаточных ядер продуктов, образующихся во взаимодействиях p-, d- и α -частиц с энергией 4,5 ГэВ/нуклон с ядрами мишеней из Nb, Ag, Tl, Au, Ta, Pb и Bi /2,3/. Начаты эксперименты по изучению механизма образования фрагментов налетающих ядер снарядов с аномально короткими средними свободными пробегами в соударениях альфа-частиц (4 ГэВ), ядер углерода (25,1 и 54 ГэВ) и ядер аргона (72 ГэВ) с ядрами мишеней из меди /4/. Планируются эксперименты по измерению времени жизни аномальных фрагментов и изучению больших переданных импульсов фрагментам в ядро ядерных столкновениях.

С этой целью установка постоянно модернизируется и совершенствуется: улучшается энергетическое разрешение, осуществляется связь с ЭВМ, подключаются новые внешние устройства.

В настоящей работе изложены вопросы организации связи полупроводниковых детекторов установки ГАММА с ЭВМ MERA-60/45 и соответствующего программного обеспечения. Описана проблемно-ориентированная система программ для прецизионной обработки спектрометрической информации, используемая в указанных экспериментах.

2. Аппаратурная организация установки

Блок-схема аппаратурной организации установки ГАММА приведена на рис.1. В установке используются полупроводниковые Ge(Li) -детекторы коаксиального типа с чувствительным объемом 18, 41 и 50 см³. Для питания ПИД применяются блоки высокого напряжения: POLON -I904 и ZMN - 42. В спектрометре используются предусилители (ПУ) ОРТЭС-120 F, отвечающие следующим требованиям: низкий уровень собственных шумов (700 эВ), наклон шумовой характеристики 18 эВ/цф,



энергетический эквивалент шума ПЦД с ПУ $\tau = 2$ кэВ (амплитуда импульсов не зависит от входной ёмкости), высокая стабильность коэффициента усиления и устойчивость к перегрузкам.

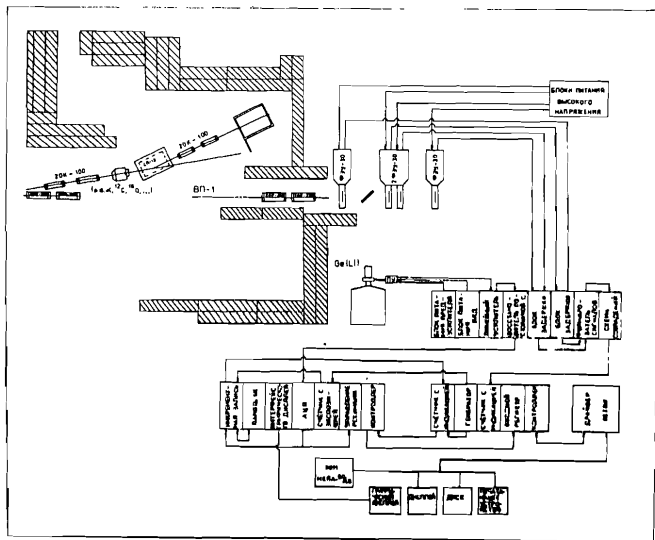


Рис.1. Блок-схема аппаратурной организации установки.

Применяемые линейные усилители (ЛУ) типа ОРТЕС -572 имеют следующие характеристики: диапазон изменения формирования полосы от 0,5 мкс до 10 мкс, хорошие загрузки (до 10^5 ИМП/с), температурная стабильность ± 50 мкВ/°C и низкий собственный шум на входе (8 мкВ).

Амплитудно-цифровой преобразователь КА - 007 /5/ входит в состав многоканального (8192) анализатора в стандарте КАМАК, его интегральная нелинейность 0,05%, а дифференциальная - 1%.

Многоканальный анализатор /5/ подключён к ЭВМ МЕНА - 60/45 через контроллер крейта, входные регистры КР - 007 /6/ и кассету КАМАК - 106 А.

Спектрометр позволяет получить хорошее энергетическое разрешение и высокую точность в определении энергий гамма-лучей. На рис.2 приведен спектр гамма-лучей калибровочного источника ^{152}Eu , измеренный на установке ГАММА. Разрешение для гамма - линий составляет:

- Е $\gamma = 344,3$ кэВ - 1,8 кэВ,
- Е $\gamma = 964,1$ кэВ - 1,9 кэВ;
- Е $\gamma = 1408,1$ кэВ - 2,2 кэВ.

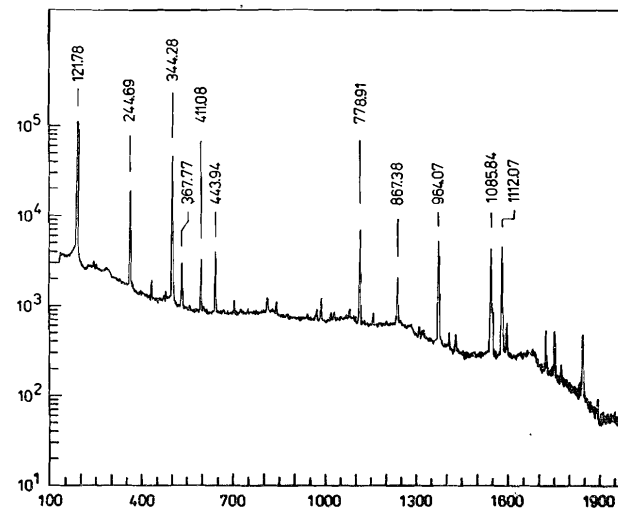


Рис.2. Спектр гамма-лучей калибровочного источника ^{152}Eu .

Исследование эффективности спектрометра (зависимости абсолютной эффективности регистрации гамма-лучей ПЦД от их энергии) проводилось с помощью стандартного набора ОСГИ (образцовые спектрометрические гамма-источники), значения интенсивностей которых известны с 3% точностью. Измерения проводилось в стандартной геометрии (0 см, 5 см и 9 см). Величина абсолютной эффективности регистрации ПЦД определялась по формуле

$$\epsilon_{\text{абс}} = (S/\tau) / [I \exp(-\lambda t)], \quad (1)$$

- где S_{γ} - площадь пика;
- τ - время измерения;
- I_{γ} - число γ -квантов, испущенных в угол 4π за 1 с;
- $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ - вероятность радиоактивного распада, сутки $^{-1}$;
- t - время, прошедшее с момента аттестации ОСГИ до момента измерения, сутки.

Экспериментальные значения эффективности установки, полученные по пикам полного поглощения, представлены на рис.3. Там же приведена их аппроксимация с помощью метода наименьших квадратов (программа "GUMILI" /7/) следующим полиномом

$$\ln \varepsilon_j = \sum_{i=1}^M c_i \ln (\varepsilon_j)^{i-1}, \quad (2)$$

где $M = 2 \div 5$.

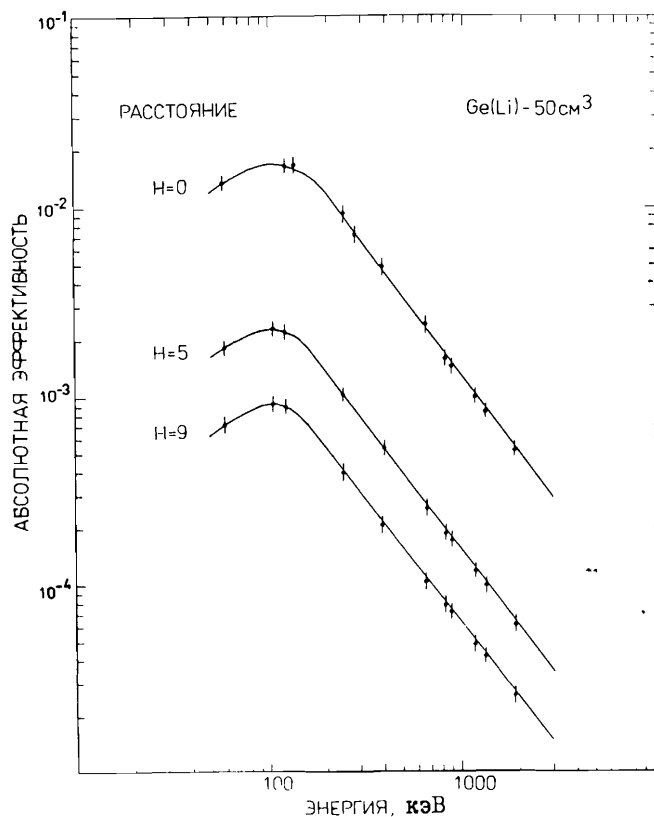


Рис. 3. Зависимость абсолютных значений эффективности спектрометра с Ge (Li)- детектором объёмом 50 см³ от энергии регистрируемого излучения.

Данные абсолютных значений эффективности использовались при обработке спектров гамма-лучей для учёта поправки на эффективность регистрации ПЭД.

Процесс измерения спектров заключается в многократном повторении двух фаз:

- накопление спектров в анализаторе,
- вывод накопленных спектров на ЭВМ и очистка памяти анализатора.

В целях улучшения измерения времени жизни радиоактивных нуклидов в установке ГАММА используются часы в стандарте КАМАК, состоящие из генератора KB - 005^{/8/}, счётчиков KC - 013^{/9/} и 2 DC - 423^{/10/}.

При работе установки в первой фазе, длительность которой определяется установочным счётчиком KC - 013, блок инкрементной записи КЛ - 009^{/11/} блокирует вход счётчика 2 DC - 423. После окончания этой фазы KC - 013 подаёт сигнал "Конец экспозиции" на КЛ - 009. Этим сигналом снимается блокировка с входа 2 DC - 423 и начинается вывод спектра на ЭВМ. После вывода содержимого последнего канала КЛ - 009 очищает память. Вывод на ЭВМ и очистка памяти должны закончиться раньше прихода сигнала со счётчика 2 DC - 423, означающего окончание второй фазы и переход к первой.

Передача информации на ЭВМ осуществляется следующим образом: контроллер крейта выставляет сигнал на регистр L и записывает информацию в регистр данных KP - 007. По состоянию регистра L ЭВМ определяет готовность данных KP - 007 и считывает их соответствующей командой SNAF, L - регистр при этом сбрасывается. Сброс L - регистра вызывает переход к работе контроллера на передачу данных следующего канала. Время чтения 4096 каналов составляет 5 с.

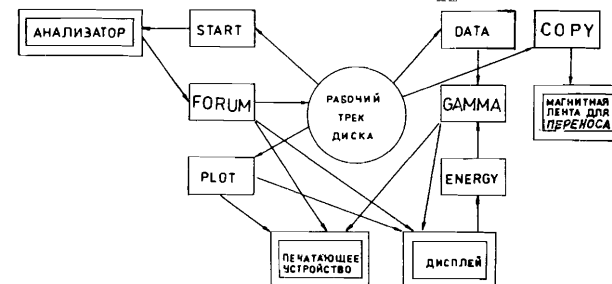
3. Программная организация установки

Для измерения спектров радиоактивных нуклидов, приёма и обработки спектрометрической информации на ЭВМ MERA - 60/45 создан комплекс программ, работающих под управлением операционной системы BT - 60^{/12,13/}. Этот комплекс работает в диалоговом режиме и обеспечивает приём массивов информации на магнитные диски, предварительную обработку записанной информации и передачу её на базовые ЭВМ ЕС - 105M, ЕС - 1060 и ЕС - 1061.

Структурная схема программной организации установки приведена на рис.4. Вызов программ и осуществление диалога производится с терминала ЭВМ MERA - 60/45.

Рис.4

Структурная схема программной организации установки.



3.1. Программа "SUM"

Для управления экспериментом по измерению спектров радиоактивных нуклидов создана программа "SUM" (Single User's Measurement). Она является упрощенной версией программы "FORUM" /12,13/. При адаптации программы "SUM" сделаны существенные изменения, связанные с переходом к другой конфигурации электронной аппаратуры гамма-спектрометра /1/ и ЭВМ MERA - 60/45. На рис.5 приведена блок-схема подпрограммы "SUM", составленная для считывания спектра из анализатора.

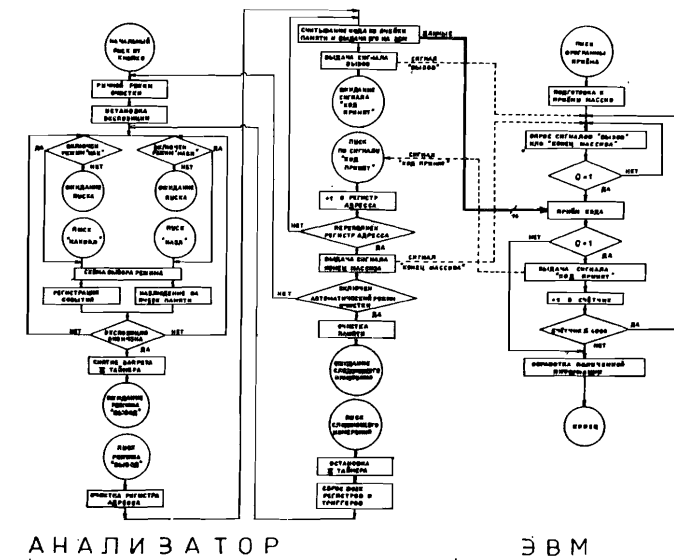


Рис.5. Блок-схема работы режимов анализатора и программ передачи спектров на ЭВМ MERA - 60/45.

Вызов программы "SUM" выполняется с помощью команды операционной системы RT - 60:

• RUN SUM

После этого программа выдает свой опознаватель:

SUM >

Он означает готовность программы принимать команды.

Основные команды "SUM":

1. CHANNEL N

- Устанавливает указанный номер канала. В данной версии действует только 1 канал; возможно дальнейшее расширение каналов до 7.

2. DUMP 1 N M

- Показывает на консольном терминале содержимое каналов от N до M внешней памяти (в десятичном исполнении);

3. DF FILE K N M

- Показывает на консольном терминале содержимое каналов от N до M килословного блока с номером K из указанного файла;

4. PRINT 1 N M

- Аналогично команде 2, но вывод производится на печатающем устройстве D - 100;

5. PF FILE K N M

- Аналогично команде 3, но с выводом, как в команде 4;

6. SAVE FILE 1 L

- Сохраняет (записывает содержимое) L килословных блоков внешней памяти, начиная с 1-го канала, в указанном в команде файле. Спектр записывается поблочко в двоичном целом формате;

7. NAF N A F

- Выполняет функции КАМАК, N - номер станции, A - субадрес, F - функция;

8. ВУЕ

- Отключает физика от эксперимента; выход из программы.

9. HELP

- Распечатывает на консольном терминале список всех доступных команд.

Пересылка файлов, содержащих накопленную информацию, в архив пользователя на ЭВМ ЕС - 1055М, ЕС - 1060 и ЕС - 1061 для последующих обработок выполняется с помощью программы "COPY" /12/:

3.2. Программы "PDPS" и "ГАММА"

Для предварительной обработки спектров гамма-лучей с внутренней и внешней калибровкой по энергии составлены

программы " PDPS " и " GAMMA ". Программа предварительной обработки " PDPS " (Preliminary Data Processing of Spectrum) содержит подпрограммы DATA, ENERGY, FIND . Подпрограмма DATA предназначена для считывания информации с рабочего трека диска в оперативную память машины. Подпрограмма ENERGY выполняет энергетическую калибровку спектра гамма-лучей в предположении, что два произвольных пика разной энергии лежат на прямой, коэффициенты A и B которой определяются из уравнений $E = A + B P$, (3)

$$A = \frac{E_1 P_2 - E_2 P_1}{P_2 - P_1}, \quad B = \frac{E_1 - E_2}{P_1 - P_2},$$

где P_1 и P_2 - положения максимумов пиков.

Затем полученные коэффициенты, как калибровочная информация, используются в программе FIND , которая определяет положения максимумов, энергии и площади пиков. Ширина пика на полувысоте определяется как частное от деления площади пика на высоту

$$FWHM = \frac{S_p}{1.064 \cdot H}, \quad (4)$$

что является хорошим приближением для гауссовского распределения. Фон описывается прямой линией, проведенной слева и справа от максимума пика, но не дальше 10 каналов. Площади находятся интегрированием спектра в этих пределах с вычитанием фона. Программа является упрощенной версией программы SAMPO - 80 /14/.

Вызов программы:

• RUN PDPS

При запуске программы необходимо задать логический номер для выдачи результатов:

PRINT (6) , TYPE (5) ?

5 или 6 (5 - для консольного терминала, 6 - для р - 100)

После задания логического номера программа выдает свой опознаватель, означающий готовность программы принимать и исполнять команды.

Команды программы " PDPS ":

I. DATA

FILE

-Считывает спектр из определённого файла диска;

2. ENERGY

```
CH1 EN1
... ..
... ..
CH10 EN10

0 0
```

- Выполняет калибровку по энергии, используя зависимости "канал-энергия".

После калибровки программа выдает коэффициенты прямой линии $ENERGY = A + B \times CHANNEL$. Эти коэффициенты могут использоваться для последующих обработок спектров γ -лучей:

```
1 1
0 0
A = -14.398 B = 0.727
```

3. FIND

```
P1,P2,P3,P4,P5
```

- Находит точные положения максимумов пиков на спектре с последующим вычислением площади найденных пиков методом суммирования.

Параметры:

P1 - начальный канал для поиска пиков, если задан 0, программа начинает поиск с 50-го канала;

P2 - конечный канал для поиска пиков, если задан 0, конечным каналом будет последний канал обрабатываемого спектра (4096);

P3 - порог чувствительности для распечатки найденных пиков, если задан 0, программа присваивает значение 2.0;

P4 - порог чувствительности для вычисления площади пиков найденных пиков, если задан 0, программа присваивает значение 4.0;

P5 - параметр ширины для поиска, который должен задаваться в виде $FWHM / 2.355$, если задан 0 программа присваивает значение 2.0.

4. STOP

- Выполняет остановку процесса обработки.

Аналогичным образом организована и программа " GAMMA " , являющаяся упрощенной версией программы SAMPO-80 /14/.

4. Система программ для прецизионной обработки спектров гамма-лучей

Система программ для прецизионной обработки спектров гамма-лучей, созданная коллективом сотрудников Лаборатории вычислительной техники и автоматизации, содержит более 50 комплексов программ, обеспечивающих обработку различных видов спектров /16/.

В настоящей работе описаны только те программы, которые нами активно использовались при обработке сложных спектров гамма-лучей, полученных в соударениях релятивистских частиц и ядер с ядрами: SAMPO /14,15/, SIMP /17/, SIMPPA /17/.

Алгоритмы, реализованные в перечисленных программах, отражают современные методы обработки спектрометрической информации. Все программы написаны на языке ФОРТРАН и оформлены в виде программных модулей, которые вызываются посредством оператора CALL. В качестве физических параметров могут быть имена файлов, имена подпрограмм, целые, вещественные и текстовые константы.

Первоначально эта система программ была создана для БЭСМ-6, затем в полном объеме адаптирована на ЭВМ ЕС-1060 и ЕС-1061. В дальнейшем планируется адаптировать эту систему программ на ЭВМ ЕС-1055М ЛВЭ ОИЯИ и на персональные ЭВМ "ПРАВЕЦ-16", РС-ХТ и РС-АТ.

4.1: Набор программ "SAMPO"

В программах "SAMPO" имеется три независимых модуля.

Модуль SLINFI выполняет три вида калибровки: по форме, энергии и эффективности, каждая из которых может быть выполнена независимо от других. Полученная при этом информация (параметры формы, коэффициенты калибровочного полинома для энергии, параметры функции эффективности) может быть использована для работы модулей SFINDE и SFITTE.

Калибровка формы пика

Форма пика аппроксимируется аналитической функцией, состоящей из гауссиана и членов, обеспечивающих аппроксимацию в низко- и высоко-энергетической части пика и учитывающих асимметрию "хвостовых" частей пика. Положение "хвостовых" частей пика определяется расстояниями от центра пика до точек, начиная с которых пик можно описать экспонентами.

Таким образом, форма пика определяется тремя параметрами: шириной гауссиана и расстояниями от центра пика до точек сшивания, все в единицах номера канала. Такое представление формы пика характеризуется тем, что параметры формы гладко меняются с энергией, и поэтому значения этих параметров для любой линии в спектре могут быть найдены интерполяцией между соседними линиями.

Для этой цели интенсивные и хорошо изолированные линии используются в качестве калибровочных. При этом параметры их формы определяются минимизацией суммы

$$\chi^2 = \sum_{i=k-e}^{k+m} \frac{(n_i - f_i)^2}{n_i}, \quad (5)$$

где i - номер канала,
 n_i - число отсчетов в i -м канале,
 k - канал центра пика,
 e, m - границы интервала, на котором производится подгонка.

$$f_i = P_1 + P_2(i - P_4) + P_3 \exp \left[- \frac{(i - P_4)^2}{z P_5^2} \right]$$

$$\text{для } P_4 - P_7^2 \leq i \leq P_4 + P_7^2,$$

$$f_i = P_1 + P_2(i - P_4) + P_3 \exp \left[\frac{P_6^2 (z i - z P_4 + P_6^2)}{z P_5^2} \right]$$

$$\text{для } i < P_4 - P_6^2,$$

$$f_i = P_1 + P_2(i - P_4) + P_3 \exp \left[\frac{P_7^2 (z P_4 - z i + P_7^2)}{z P_5^2} \right]$$

$$\text{для } i > P_4 + P_7^2.$$

Минимизация выполняется относительно параметров $P(j)$, где $j = 1, \dots, 7$, которые имеют следующий смысл:

- $P(1)$ - постоянная, характеризующая непрерывное распределение;
- $P(2)$ - коэффициент наклона непрерывного распределения;
- $P(3), P(4)$ и $P(5)$ - высота, центр и ширина гауссиана;
- $P(6)$ и $P(7)$ - расстояние в каналах до нижней и верхней точек сшивания.

Калибровка по энергии

Энергия, как функция от номера канала, аппроксимируется полиномом, коэффициенты которого находятся минимизацией функционала относительно параметров $P(j)$:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} \left[E_i - \sum_{j=1}^m P_j C_i^{j-1} \right]^2, \quad (6)$$

где E_i - калибровочные энергии;
 C_i - номера каналов;
 D_i - весовые коэффициенты;
 m - степень полинома;
 n - число калибровочных линий.

Минимизация выполняется линейным методом наименьших квадратов (МНК), и полученный полином может быть использован для определения энергий в модуле SFITTE.

Калибровка по эффективности

Кривая эффективности аппроксимируется функцией

$$F = P_1 [E^{P_2} + P_3 \exp(P_4 E)] \quad (7) \quad , \text{ где}$$

P_1, P_2, P_3, P_4 - параметры, определяемые минимизацией функционала

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{1}{F_i^2} \left\{ F_i - P_1 [E_i^{P_2} + P_3 \exp(P_4 E_i)] \right\}^2,$$

F_i и E_i - эффективности и соответствующие энергии.

Подготовка информации

В соответствии с тремя видами калибровки в записи файла дополнительной информации должны быть заданы кодовые слова и соответствующие им числа.

SNAP - n раз по числу пиков, где $n < 30$.

WHAT (1) - приближенный центр пика;

WHAT (2) - нижняя граница интервала подгонки;

WHAT (3) - верхняя граница интервала подгонки;

WHAT (4) - всегда 0.;

WHAT (5) = 0. дополнение таблицы параметров формы;

= 1. начинается новая таблица параметров формы;

WHAT (6) - начальное приближение параметра ширины, если 0., то в программе берется 1.8.

Чтение данных для калибровки по энергии,

ENIN - N раз по числу калибровочных линий, где $N < 50$.

WHAT (1) - точный канал локализации калибровочной линии;

WHAT (2) - энергия в кэВ;

WHAT (3) - ошибка энергии в кэВ;

WHAT (4) - всегда 0.;

WHAT (5) = 0. таблица калибровочных энергий дополняется;

= 1. начинается новая таблица;

WHAT (6) - всегда 0.

ENFI - вычисление коэффициентов полинома.

WHAT (1) - число членов полинома, т.е. 1+порядок полинома, максимально возможный порядок полинома не превышает 8, а минимально 1.

WHAT (2), ..., WHAT (6) - всегда равны 0.

Чтение данных для калибровки по эффективности.

EFIN - N раз по числу данных для калибровки по эффективности, где $4 \leq N \leq 50$.

WHAT (1) - энергия в кэВ;

WHAT (2) - соответствующая эффективность;

WHAT (3) - ошибка эффективности в процентах, если 0, то в программе берется 0.0001;

WHAT (4) - всегда 0.;

WHAT (5) = 0. таблица данных для калибровки по эффективности дополняется;

= 1. начинается новая таблица;

WHAT (6) - всегда 0.

EFFI - вычисление параметров функции (7).

WHAT (1) - начальное приближение параметра P , если 0., то в программе берется 1000.;

WHAT(2), ...WHAT(6) - всегда 0.

CALD - распечатка данных калибровки.

WHAT (1) - определяет вид распечатки калибровки по форме;

WHAT (2) - определяет вид распечатки калибровки по энергии;

WHAT (3) - определяет вид распечатки калибровки по эффективности;

WHAT (4), WHAT (5), WHAT (6) - всегда 0.

STOP - последнее кодовое слово, по которому прекращается работа модуля.

WHAT (1), ... WHAT (6) - всегда 0.

На печать выдается следующая информация:

1. При калибровке по форме печатаются графики пиков, под каждым из которых печатаются значения вычисленных параметров и их ошибок:

CP - центр пика;

CL - положение границы нижнего "хвоста";

CH - положение границы верхнего "хвоста";

CW - ширина пика.

2. При калибровке по энергии печатаются коэффициенты полинома, график данных и энергий, вычисленных с помощью полинома;

график ошибок калибровки и соответствующих ошибок вычисленных значений. Печатается график ленты ошибок.

3. При калибровке по эффективности распечатываются параметры функции (7), графики эффективностей заданных и вычисленных (по двум шкалам), график весов.

Далее на печать выдается сводная информация согласно кодовому слову CALD .

Модуль SFIND выполняет автоматический поиск пиков. Первым приближением канала локализации пика считается целое число I, при котором выражение

$$ss_i = \frac{dd_i}{sd_i} \quad (8) \text{ достигает минимума.}$$

Здесь dd_i - полный второй дифференциал гауссиана:

$$dd_i = \sum_{j=-k}^k c_j n_{i+j}$$

а sd_i - его стандартное отклонение

$$sd_i = \left\{ \sum_{j=-k}^k c_j^2 n_{i+j} \right\}^{1/2},$$

где n_i - число отсчетов в i-м канале,
 c_j - вторые производные гауссиана, т.е.

$$c_j = \frac{\sigma^2 - j^2}{\sigma^4} \exp\left(-\frac{j^2}{2\sigma^2}\right),$$

σ - среднее значение ширины, получаемое при калибровке по форме.

Окончательное значение канала локализации пика определяется в модуле SFITTE, при выполнении процедуры нелинейной подгонки.

Каждый найденный таким образом пик подвергается контролю по форме и в случае удовлетворительного прохождения заносится в результирующую таблицу.

Подготовка информации

I. задается массив из N групп параметров формы, по четыре в каждой группе:

CP - центр пика,

CL - положение границы нижнего "хвоста",

CH - положение границы верхнего "хвоста",

CW - ширина пика.

2. В дополнительной информации задаются кодовые слова и соответствующие числа.

ENIN - чтение данных для калибровки по энергии (см. описание модуля SLINFI)

PEAK - вычисление величин SS(I) и печать таблицы найденных пиков.

WHAT(1) - начальный канал поиска. Если 0., то в программе берется 50-й канал;

WHAT(2) - конечный канал;

WHAT(3) - заданное предельное значение SS(I) для определения пиков, если 0, то в программе берется 2.;

WHAT(4) - заданное минимальное значение SS(I), больше которого пик считается хорошим, если 0, то в программе берется 4.;

WHAT(5) - среднее значение параметров ширины пиков.

Если 0., то в программе используется среднее значение, выбранное в таблице параметров;

WHAT(6) = 0.

STOP - последнее кодовое слово.

WHAT(1),..., WHAT(6) - всегда 0.

На печать выдается сводная таблица, содержащая номера каналов положений пиков, соответствующие энергии, величины SS(I) и информацию о контроле по этим величинам и о контроле по форме.

Модуль SFITTE осуществляет разбиение спектра на интервалы, содержащие пики, подгонку одиночных пиков и мультиплетов, вычисление энергий с помощью линейной интерполяции и вычисление эффективностей с помощью логарифмической интерполяции. Разбиение на интервалы может выполняться автоматически или они могут быть заданы пользователем. Вычисление ширины интервала производится с учетом средней ширины пиков CW. Если полученный интервал окажется уже $18 \cdot CW$, то не производится параболическая корректировка фона. В один интервал может быть включено не более трех пиков.

Подгонка спектра осуществляется с помощью минимизации функционала:

$$\chi^2 = \sum_{i=k-e}^{k+m} \frac{1}{n_i} \left[n_i - b_i - \sum_{j=1}^{np} f_{ij} \right]^2, \quad (9)$$

где i - номер канала;
 n_i - число отсчетов в i -м канале;
 k - приближенное значение канала центра пика,
 e, m - границы интервала;
 n_p - число пиков в интервале;
 b_i - функция, описывающая фон.

$$b_i = P_1 + P_2(i-k) + P_3(i-k)^2$$

$$f_{ij} = P_{2+2j} \exp \left[\frac{(i - P_{3+2j})^2}{2W_j^2} \right] \quad (10)$$

для $P_{3+2j} - e_j \leq i \leq P_{3+2j} + h_j$;

$$f_{ij} = P_{2+2j} \exp \left[\frac{l_j(2i - 2P_{3+2j} + l_j)}{2W_j^2} \right]$$

для $i < P_{3+2j} - e$;

$$f_{ij} = P_{2+2j} \exp \left[\frac{h_j(2P_{3+2j} - 2i + h_j)}{2W_j^2} \right]$$

для $i > P_{3+2j} + h_j$;

здесь параметры P_1 , P_2 и P_3 определяют непрерывное распределение;

P_{2+2j} и P_{3+2j} - высота и положение j -го пика;
 W_j , e_j и h_j - параметры, определяющие форму линии.

Подготовка информации

1. задается массив из N групп параметров формы.

2. В дополнительной информации должны быть заданы кодовые слова и соответствующие числа.

ENIN - чтение калибровочных энергий для линейной интерполяции по энергии (см. описание модуля SLINFI).

EFIN - чтение данных для логарифмической интерполяции по эффективности (см. описание модуля SLINFI).

FITF - автоматическое разбиение спектра на интервалы, содержащие пики.

WHAT (1), ..., WHAT (6) - нули.

FITD - полная нелинейная подгонка пиков.

WHAT (1), ..., WHAT (6) - нули.

FITS - полная нелинейная подгонка пиков, без автоматического вы- деления интервалов подгонки.

WHAT (1) - число интервалов подгонки.

WHAT (2), ..., WHAT (6) - нули.

По прочтении кодового слова FITS программа выбирает информацию, которая располагается группами по семь элементов. Каждая семерка содержит следующие величины:

- 1). число пиков в интервале (не более трех);
- 2). нижний предел интервала подгонки;
- 3). верхний предел интервала подгонки;
- 4). центр параболической корректировки фона полиномом;
если 0., то в программе берется середина интервала;
- 5). положение первого пика в интервале;
- 6). положение второго пика в интервале;
- 7). положение третьего пика в интервале.

Все числа - целые.

Если в интервале меньше трех пиков, то оставшиеся свободными места заполняются нулями.

ENT1 - чтение коэффициента полинома, вычисленного ранее (см. кодо- вое слово RESU).

WHAT (1) - значение коэффициента;

WHAT (2) - энергия в кэВ;

WHAT (3) - ошибка энергии в кэВ;

WHAT (4) - номер коэффициента, т.е. 1+порядок соответствующего члена полинома;

WHAT (5) = 0;

WHAT (6) = 0.

EFIT1 - чтение параметров функции калибровки по эффективности (3), вычисленных ранее (см. кодовое слово RESU).

WHAT (1) - энергия в кэВ;

WHAT (2) - значение параметров P_1 , P_2 , P_3 и P_4 .

WHAT (3) - ошибка калибровки в процентах;

WHAT (4) - номер параметра функции (соответствует номеру индекса $P(I)$, $I=1, \dots, 4$);

WHAT (5) = 0;

WHAT (6) = 0.

RESU - создаются таблицы накопленных результатов.

Если требуется, то пересчитываются энергии и интенсивности

с помощью полинома и функции (7) соответственно; вычисляются относительные интенсивности.

WHAT (I) - определяет эталонный пик для вычисления относительных интенсивностей;

- = 0. В качестве эталонного берется сильный пик;
- = N. - номер канала центра пика, который взят за эталонный.
- = 4. Энергии вычисляются с помощью полинома (см. кодовое слово ENTI);

WHAT (2) = 0. полином для вычисления энергии не используется;

WHAT (3) = 0. Для вычисления интенсивностей используются эффективности, полученные логарифмической интерполяцией;

- = 4. Эффективности вычисляются с помощью функции (7) (см. кодовое слово EFTI)..

WHAT (4),....., WHAT (6) - нули.

STOP -По прочтении этого кодового слова работа модуля прекращается.

WHAT (I),....., WHAT (6) - нули.

На печать выдается следующая информация: таблица введенных параметров формы, энергий и эффективностей. Затем в случае автоматического режима печатается список выделенных интервалов и центров пиков, после чего следуют графики подогнанных пиков. Под каждым графиком печатается положение центра пика, соответствующая ошибка, энергия, ошибка энергии, площадь пика, ошибка площади, интенсивность и ошибка интенсивности. Распечатка оканчивается сводной таблицей центров пиков, энергий, площадей, интенсивностей, относительных интенсивностей и соответствующих ошибок.

4.2 Набор программ S I M P

В основу данного комплекса положен набор программ SIMP /I7/. В результате эксплуатации комплекс постоянно модернизировался и изменялся, расширялись его возможности в зависимости от задач и сложности проводимых экспериментов /2-4/.

Модель пика во всех вариантах программ SIMP является гауссиан:

$$G(x) = ae^{-1/2\left(\frac{x-p}{\sigma}\right)^2},$$

где a - амплитуда пика,

x - номер канала,

p - позиция пика,

σ - связана с полушириной пика ρ соотношением

$$\rho = \sigma \sqrt{2 \ln 2}.$$

Амплитуда представляется выражением

$$a = S / \sqrt{2\pi} \sigma,$$

где S - площадь пика. Моделью фона во всех вариантах является полином от N.

Программный модуль SIMP включает несколько версий программ: SIMPES, SIMPPA, SIMPAN. Рассмотрим одну из программ этого комплекса.

Программный модуль SIMPPA может обрабатывать серию спектров гамма-лучей с возможностью определения периодов полураспада исконых изотопов. При наличии всей необходимой информации программа решает следующие задачи:

1. Анализ параметров пиков в каждом спектре серии.
2. Определение набора положений реперных пиков из набора всех пиков спектра, если спектр был получен в режиме с внутренней подсветкой калибровочным источником (например, ^{60}Co или ^{152}Eu).
3. Калибровка по энергиям.
4. Калибровка по интенсивностям.
5. Определение периодов полураспада изотопов по серии спектров гамма-лучей.

В библиотеке программных модулей на ЭВМ типа ЕС SIMPPA можно использовать как в рамках файловой системы СОС-ЕС, так и вне её.

Подготовка информации

Дополнительная информация вводится с перфокарт во время работы программы и состоит из следующих групп:

NS, NK, где

NS - число спектров в серии.

NK - режим работы модуля.

NK - больше -1 - вводится список позиций пиков в первом спектре.

NK - меньше или равно -1 - вводится список энергий пиков в первом спектре.

NK - больше -5 - определяются периоды полураспада по серии спектров.

NK - меньше или равно -5 - периоды полураспада не определяются.

N1, N2, N3, T1, T2, C1, C2, C3 (NS-групп), где

N1 - номера каналов наименьшей энергии.

N2 - номера каналов средней энергии.

N3 - номера каналов наибольшей энергии.

Если N1, N2, N3 равны -1, то предполагается, что во всех спектрах серии пики с одинаковыми энергиями находятся в одних и тех же каналах.

T1 - время начала измерения для данного спектра в минутах. Для первого спектра начало измерения всегда 1.

T2 - длительность измерения в минутах.

C1, C2, C3 - комментарии для пользователей, но C1 и C2 числа.

NR, K1, K2, K3, NK1, NK2, где

NR - число пиков в первом спектре серии (предполагается, что во всех спектрах серии одно и то же NR).

NR меньше или равно 250.

K1 - Управление вывода графиков на печать результатов анализа каждого участка спектра. K1=1 - графики выводятся. K1=0 - графики не выводятся.

K2 - Аналог K1, но для начальных приближений.

K3 - Вывод на печать таблицы с результатами анализа и начальные приближения. (1 - печатается, 0 - нет).

NK1 - номер канала пика в начале спектра.

NK2 - номер канала пика в конце спектра.

W1, W2, где

W1 - ширина пика в начале спектра.

W2 - ширина пика в конце спектра.

NR, где

NR - положений пиков или энергий в первом спектре.

NE, NPE, где

NE - число реперных точек в первом (и следовательно, во всех) спектре серии, NE варьируется от 6 до 30. При NE меньше 6 никакие калибровки не производятся.

NPE - режим работы модуля.

NPE = 1 - происходит определение набора положений реперных пиков из набора всех пиков спектра.

NPE = 0 - не производится.

Затем

NE - позиций реперных точек,

NE - ошибок позиций реперных точек,

NE - энергий реперных точек,

NE - ошибок энергий реперных точек.

NG - Одна перфокарта, формат (110),

NG - число коэффициентов калибровки по интенсивностям,

NG - коэффициентов функции калибровки по интенсивностям.

На печать выдается дополнительная информация, реперные точки для калибровки по энергиям.

Таблицы для каждого обрабатываемого спектра с данными о каналах, энергиях, площадях, полуширинах, интенсивностях и соответствующих ошибках.

Сводная таблица обрабатываемых спектров серии и данными о энергиях, площадях, интенсивностях, а также периодах полураспада по серии спектров.

5. Заключение

Созданный аппаратно-программный комплекс обеспечивает массовую автоматизированную обработку спектрометрической информации, начиная с процесса её накопления, точного определения энергий гамма-лучей, периодов полураспада, и в конечном счёте идентификации образующихся радиоактивных нуклидов. В ближайшее время планируется соединить установку ГАММА с персональными ЭВМ "ПРАВЕЦ - I6" или РС-АТ, которые уже подключены в терминальную сеть ОИЯИ.

Следует отметить, что аппаратно-программный комплекс обладает хорошими возможностями для проведения нескольких параллельных экспериментов, удобен и надёжен в работе, может с успехом применяться не только в ядерно-физических задачах, но и в прикладных: медицине, акти-вационном анализе, мезохимии, материаловедении, экологии и др.

Авторы искренне благодарны М.Г. Мещерякову, А.М. Балдину и Б.А. Кулакову за интерес к работе и поддержку, М.И. Кривоустову, Б.П. Осипенко, А.Н. Синаеву, Н.И. Журавлёву, В.А. Антюхову, И. Винцоуру, Р. Хоролжаву, Б. Тумэндэмбэралу, С.Р. Аврамову, С.Е. Васильеву, А.В. Саламатину, Я. Юрковскому, В.М. Северьянову, В.А. Смирнову, К. Хиллер за полезные обсуждения и помощь при создании комплекса.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бутцев В.С., Васильев С.Е., Саламатин А.В., Смирнов В.А., Тумэндэмбэрэл Б., Хачатурян М.Н., Хоролжав Р., Чултэм Д., ОИЯИ, PI-85-438, 1985.
2. Бутцев В.С., Бутцева Г.Л., Костин В.Я., Мигаленя В.Я., ОИЯИ, PI-84-455, Дубна, 1984.
3. Бутцев В.С., Бутцева Г.Л., Костин В.Я., Мигаленя В.Я., ОИЯИ, PI-85-590, 1985; ЯФ, 44, вып.2 (8) 1986, с.423-433.
4. Aleklett K., Brandt R., Bronikowsky M., Butzev V.S. et al., International Conference on Nuclear and Radiochemistry INCR' 86, China, Beijing, p.109.
5. Антюхов В.А. и др., ОИЯИ, IO-80-650, Дубна, 1980.
6. Журавлёв Н.И. и др., ОИЯИ, IO-9479, Дубна, 1976.
7. Силин И.Н., ОИЯИ, II-3362, Дубна, 1967.
8. Антюхов В.А. и др., ОИЯИ, IO-10576, Дубна, 1977.
9. Журавлёв Н.И. и др., ОИЯИ, IO-8754, Дубна, 1977.
10. Басиладзе С.Г., Ким Ю Зем, Крячко А.П., ОИЯИ, IO-9520, Дубна, 1976.
11. Антюхов В.А. и др., ОИЯИ, PIO-80-312, Дубна, 1980.
12. Ермаков В.А. и др., ОИЯИ, I3-85-161, Дубна, 1985.
13. Тумэндэмбэрэл Б., ОИЯИ, PIO-87-152, Дубна, 1987.
14. Kowkelo M.J., Aarnio P.A., Routti J.T., Comp. Phys. Comm., 1981, 24, p.11.
15. Routti J.T., Prussin S.G., NIM, 1969, 72, p.125.
16. Бутцева Г.Л., Воробьева Н.Н., Говорун Н.Н., Завьялова А.С., Злоказов В.Б., Нефедьева Л.С. и др., PIO-85-171, Дубна, 1985.
17. Аврамов С.Р., Сосновская Е.В. и др., ОИЯИ, PIO-9741, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июля 1987 года.

Бутцев В.С. и др. P1-87-560
Аппаратурно-программный комплекс на базе полупроводниковых детекторов на линии с ЭВМ MERA-60/45, ЕС-1060 и ЕС-1061

Подробно описан модернизированный аппаратно-программный комплекс /установка ГАММА/, на базе которого в течение 1980-1987 гг. проводились исследования фрагментации ядер снарядов, ядер мишеней и механизмов образования и распада радиоактивных нуклидов на пучках релятивистских частиц и ядер ($p, d, \alpha, ^{12}C, ^{16}O$) с энергией 4,5 ГэВ/нуклон, ускоряемых на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Установка состоит из полупроводниковых германиево-литиевых детекторов /ППД/ и многоканальных анализаторов в стандарте КАМАК на линии с ЭВМ HP-2116B и MERA-60/45. Создано соответствующее программное обеспечение. Эта установка обеспечивает накопление спектрометрической информации, ее предварительную обработку и передачу на базовые ЭВМ БЭСМ-6, ЕС-1060 и ЕС-1061 вычислительного комплекса ЛВТА. Описана проблемно-ориентированная система программ для прецизионной обработки спектрометрической информации, используемая в указанных экспериментах.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод авторов

Buttsev V.S. et al. P1-87-560
Facilities Based on Semiconducting Detectors on Line with MERA-60/45, ES-1060 and ES-1061 Computers

The improved facilities (setup GAMMA) are described in detail. Using these facilities, the fragmentation of projectiles, target-nuclei and production and decay mechanisms of radioactive nuclides on beams of relativistic particles and nuclei ($p, d, \alpha, ^{12}C, ^{16}O$) of an energy of 4.5 GeV/nucleon accelerated at the Dubna synchrotron have been studied during 1980-1987. The facilities consist of semiconductor germanium-lithium detectors (SCD), CAMAC multichannel analyzers on-line with HP-2116B and MERA-60/45 computers and appropriate software. The facilities are used for the acquisition of spectrometric information, its preliminary processing and transfer to the base BESM-6, ES-1060 and ES-1061 computers of LCTA. A problem-oriented system of programs for precision spectrometric information processing used in the indicated experiments is described.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987