

НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

## ИЗМЕРЕНИЕ МНОГОМЕРНЫХ СПЕКТРОВ В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Г. П. Мельников

В настоящей статье излагаются основные способы измерения многомерных спектров в экспериментальной ядерной физике, а также описывается новый метод получения многомерных спектров, основанный на использовании многоканального анализатора с электронно-лучевым регистром. Этот метод обеспечивает высокую эффективность счета исследуемых событий, возможность наблюдения непосредственно во время эксперимента результатов многомерного анализа, представленных в виде семейства сечений исследуемого многомерного пространства или в виде стереоскопических рельефных спектров.

Обычные одноканальные или многоканальные анализаторы, используемые в экспериментальной ядерной физике, позволяют определять закон распределения электрических импульсов по амплитудам или по какому-либо времени́ству параметру, что в конечном счете соответствует спектрам распределения элементарных частиц по энергии, массе, времени пролета и т. д. Однако, какая зависимость ни отражалась бы таким образом, она всегда является зависимостью между двумя величинами, описывается некоторой кривой на плоскости, и следовательно, все эти амплитудные, временные, энергетические и т. д. спектры можно назвать плоскими спектрами.

Однако в современной практике физического эксперимента все чаще встречается необходимость изучать распределение элементарных частиц не по одному, а по двум и более параметрам, т. е. задача сводится к снятию спектров, описываемых не кривой на плоскости, а поверхностью в трехмерном и вообще многомерном пространстве. Например, трехмерная задача возникает при изучении зависимости нейтронных и гамма-спектров от энергии осколков деления. Трехмерный спектр можно изобразить в виде семейства сечений трехмерного пространства, причем каждое из сечений является обычным двумерным спектром. Практически это семейство получают с помощью одного многоканального анализатора, регистрирующего только те события, которые связаны, коррелированы с заданной величиной второго параметра, например с заданной амплитудой импульсов второго датчика, выделяемой дополнительным одноканальным дифференциальным анализатором<sup>10</sup>. Задавая необходимое число уровней дискриминации одноканального анализатора, экспериментатор последовательно, спектр за спектром, получает набор сечений искомого трехмерного спектра. Однако при таком методе измерения эффективность счета мала, так как регистрируются события, принадлежащие только одному установленному сечению, а остальные события исключаются. Поэтому для полного набора сечений требуются большие затраты времени, вероятность аппаратуры

погрешностей велика, и практически данный способ получения трехмерных спектров используется в основном лишь в тех случаях, когда нет нужды определять полную поверхность трехмерного спектра, а достаточно всего нескольких выбранных характерных сечений. Для получения спектров, имеющих более чем три координаты, данный метод вообще едва ли приемлем, так как каждый трехмерный спектр будет представлять лишь единственную точку пространства с большим числом измерений. В принципе можно было бы, конечно, воспользоваться для снятия многомерных спектров многими одновременно работающими многоканальными анализаторами, каждый из которых мог бы снимать двумерный спектр отдельного сечения, однако практическое осуществление такого способа нереально, потому что и один многоканальный анализатор является довольно сложным и дорожим устройством.

Для того чтобы резко увеличить эффективность счета при снятии многомерных (фактически трехмерных) спектров и регистрировать по возможности все события, относящиеся к исследуемой поверхности спектра, на практике получил распространение метод предварительного запоминания<sup>1-5</sup>.

Главной особенностью этого метода является двухступенчатый способ снятия многомерного спектра: первый этап — запоминание данных во время физического эксперимента, второй этап — обработка запомненных данных после окончания эксперимента, сортировка их и представление в виде семейства сечений многомерного спектра.

С целью лучшего уяснения особенностей работы установок для снятия трехмерных спектров рассмотрим блок-схему установки<sup>1</sup>, которая является достаточно типичным представителем всех других известных устройств того же назначения<sup>2-5</sup>.

Остановимся сначала на первом этапе — запоминании. Блок-схема взаимодействия узлов, используемых на этом этапе, представлена на рис. 1, а.

Сигналы от двух детекторов излучения — датчиков 1 и 2 — попадают соответственно на Вх. 1 и Вх. 2 специальных входных устройств, включенных по схеме «взаимного разрешения», благодаря чему на выходе каждого из входных устройств возможно появление импульса лишь в том случае, если на вход этих устройств импульсы с датчиков приходят одновременно. Таким способом производится отбор лишь совпадших, «парных» событий. Отобранные импульсы следуют далее на устройства, преобразующие аналоговую форму импульсов в дискретную, например в цифры двоичного кода. Эти преобразующие устройства называются многоканальными дискриминаторами. Сигналы двоичного кода подаются после этого на записывающие устройства, например электромагниты плунжерных пробойников, которые высекают двоичные цифры на двух дорожках запоминающего устройства, например перфоленты. Такое запоминание предварительно обработанных данных производится в течение всего физического эксперимента, по мере поступления импульсов с датчиков. С окончанием эксперимента оканчивается и первый этап работы установки. Таким образом, совершенно очевидно, что установка такого типа не является анализатором в обычном смысле, так как ни в процессе опыта, ни к моменту его окончания экспериментатор не имеет еще представления о результатах анализа. Они становятся известными лишь на втором этапе, после дополнительной обработки запомненных данных, для чего сигналы с запоминающего устройства передаются либо на счетно-аналитические машины, либо, как, например, в установке<sup>1</sup> и ряде других, анализируются особым образом с помощью обычного многоканального амплитудного анализатора, в котором используется главным образом регистрирующая часть.

Этот второй этап получения трехмерного спектра на примере установки<sup>1</sup> иллюстрируется блок-схемой рис. 1, б. Сигналы с запоминающего устройства, в данном случае с перфоленты, полученные с помощью читающих головок 1 и 2, поступают на дополнительные блоки. С головки 1 прочитанные коды идут на дополнительное декодирующее устройство, которое сделано таким образом, что выдает выходной импульс лишь в случае, когда на его вход поступает определенный, заданный оператором код,

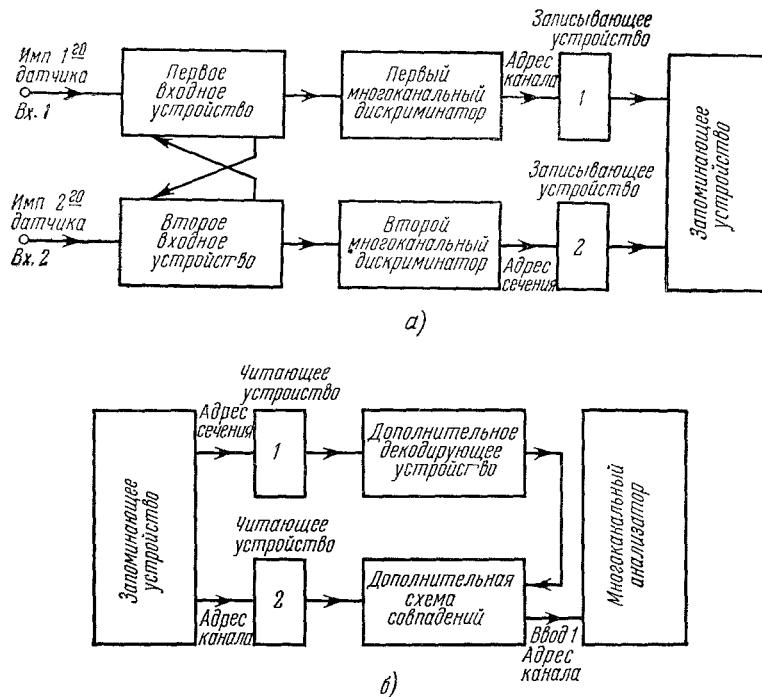


Рис. 1. Измерение многомерного спектра на известных установках:  
а — первый этап измерения многомерного спектра, б — второй этап измерения многомерного спектра.

т. е. определенное двоичное число. Сигнал с декодирующего устройства используется как разрешающий импульс для дополнительной схемы совпадений, которая пропускает считываемый со второй дорожки запоминающего устройства код второго, парного события. Пропущенные схемой совпадений коды следуют на многоканальный анализатор и задают адрес канала, в котором должно быть зарегистрировано отсортированное таким способом событие.

Следовательно, спектр, накапливающийся в многоканальном анализаторе, представляет собой обычный двумерный плоский спектр событий второго датчика, соответствующих лишь некоторым парным событиям первого датчика, выбираемым из всех прочих событий с помощью дополнительного декодирующего устройства. Этот двумерный спектр является одним из сечений искомого трехмерного спектра. Чтобы получить остальные сечения, нужно соответствующее число раз «фильтровать» подобным образом плоские спектры, перестраивая при каждом измерении дополнительное декодирующее устройство и задавая тем самым различные значения третьей координаты объемного спектра.

Таким образом, очевидно достоинство метода предварительного запоминания — высокая эффективность регистрации событий, что особенно

важно, когда интенсивность коррелированных событий невелика. Очевидны и недостатки этого метода: двухступенчатость снятия спектров, необходимость многократного просмотра одних и тех же данных для выбора достаточного количества сечений трехмерного спектра, большие затраты времени на осуществление этих выборов, а также техническая громоздкость данного метода (запоминающее и записывающее устройства, считывающие устройства, перестраиваемое декодирующее устройство, дополнительная схема совпадений).

Ниже описывается новый метод снятия многомерных спектров, сохраняющий достоинства методов с предварительным запоминанием и лишенный их недостатков. Этот метод наиболее просто осуществляется с помощью многоканального анализатора, использующего электронно-лучевой многоканальный регистратор типа<sup>6</sup>. Каждая из разновидностей такого анализатора<sup>7-9</sup> обладает высоким быстродействием, имеет достаточно

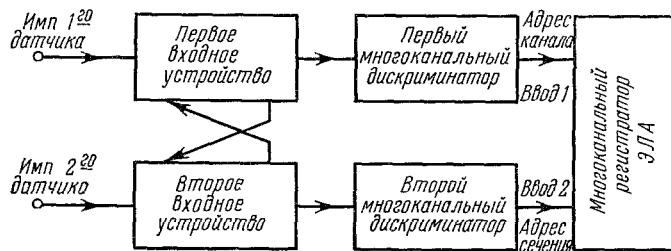


Рис. 2. Блок-схема многомерного анализатора.

большое число каналов и легко может быть превращена в установку для снятия и стереоскопического наблюдения многомерных спектров. Как известно, результаты анализа представляются электронно-лучевым регистратором в виде прямоугольного растра, на котором яркими подсвеченными точками изображены двоичные числа импульсов, зарегистрированных в каждом канале. Для общего обозрения спектра двоичное изображение переключается на линейное, в результате чего видна гистограмма спектра. Так как число двоичных разрядов в канале регистратора намного больше числа каналов, то для эффективного использования элементов прямоугольного растра регистратора гистограмму размещают по растру в несколько «этажей». Например, в 1024-канальном регистраторе анализатора ЭЛА-3 гистограмма разбивается на восемь «этажей» по 128 каналов в каждом<sup>9</sup>.

Для превращения анализатора типа ЭЛА в анализатор для снятия трехмерных спектров в схему также необходимо ввести второе входное устройство, позволяющее пропускать или не пропускать анализируемый сигнал на анализ, и второй многоканальный дискриминатор, выдающий на своем выходе сигнал адреса канала, в котором должно быть зарегистрировано данное событие (рис. 2). На входные устройства поступают импульсы от двух датчиков, детектирующих заданные параметры исследуемых коррелированных событий; входные устройства работают в режиме взаимных совпадений. Импульсы, пришедшие только с одного датчика, не будут пропущены на анализ, следовательно, не будут задавать на регистратор сигналы адреса. Если весь растр разбить на отдельные участки, например на «этажи», и подавать сигналы адреса импульсов второго датчика как сигналы адреса «этажа», то каждое зарегистрированное событие будет иметь по две координаты: номер канала и номер «этажа». Следовательно, каждый «этаж» будет представлять не что иное, как двумерный спектр сечения трехмерного пространства, т. е. то, что требовалось. Разбивка на группы может

быть не обязательно «поэтажная». Например, 1024-канальный регистратор позволяет получить «куб пространства», состоящего из 32 сечений по 32 канала в каждом. Для получения четырехмерных спектров потребуются три входных устройства и три дискриминатора и т. д.

Таким образом, данный способ снятия многомерных спектров позволяет в принципе избавиться от второго этапа обработки данных и дает возможность сразу же, в процессе физического эксперимента, разбивать многомерный спектр на плоские сечения и наблюдать за их нарастанием непосредственно в ходе опыта.

Исключение второго этапа — обработки запомненных данных резко упрощает всю схему многомерного анализатора. Это становится особенно наглядным, если сравнивать блок-схему установки, аналогичной<sup>1</sup> (рис. 1, а и б) с блок-схемой рис. 2.

Какие же изменения требуется сделать в анализаторе ЭЛА, чтобы превратить его из анализатора плоских спектров в анализатор многомерный, в частности в трехмерный, «объемный» анализатор?

Если не говорить о введении второго входного устройства и второго многоканального дискриминатора, то все изменения и переделки в схеме

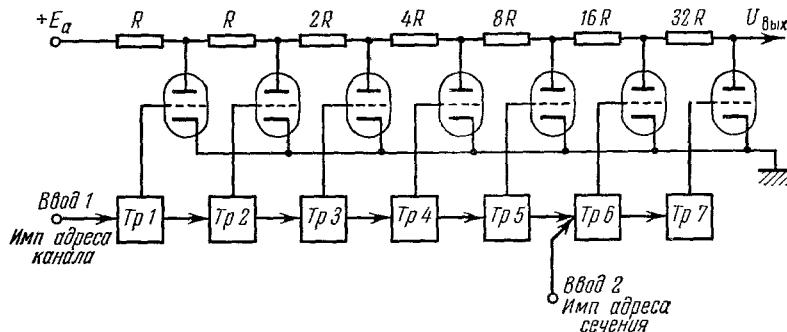


Рис. 3. Принцип получения ступенчатого напряжения в многомерном анализаторе.

ЭЛА сводятся лишь к добавлению ввода № 2 в адресную систему анализатора. Обычная адресная система отклонения луча в трубках памяти анализатора ЭЛА описана в работах<sup>7-9</sup>, а также в «Проблемах кибернетики» № 2 (Москва, Физматгиз, 1959, стр. 192). На рис. 3 представлена «пере-деланная» для трехмерного анализа схема адресной системы, которая отличается от описанных единственным добавлением ввода № 2, по которому со второго многоканального дискриминатора поступают импульсы кода адреса сечения.

Для снятия четырехмерного спектра потребовались бы два дополнительных ввода и т. д.

Теперь коснемся вопроса о наблюдении результатов анализа.

Представленный на экране регистратора набор сечений многомерного спектра достаточно наглядно описывает исследуемое физическое явление. Однако еще нагляднее наблюдать пространственную картину не в виде разрозненных сечений, а в виде стереоскопического объемного изображения. Получить такое изображение также не представляет серьезных трудностей. Для этого в систему ступенчатого отклонения для осциллографической трубки наблюдения вводятся дополнительные переключатель (который позволяет получить на экране не один, а два растра, две группы), а также общий регулятор смещения сечений по вертикали и два независимых регулятора смещения сечений по горизонтали. С помощью этих

органов управления устанавливается такое взаимное расположение двух групп сечений на экране трубы, что при рассмотрении их через стереоскоп можно наблюдать объемный рельеф исследуемого спектра (рис. 4).

Если снимается спектр не трех, а большего числа измерений, то для объемного наблюдения все равно выбираются только три из имеющихся координат.

Схема адресного блока анализатора, приспособленная не только для снятия набора плоских сечений объемного спектра, но и для стерео-

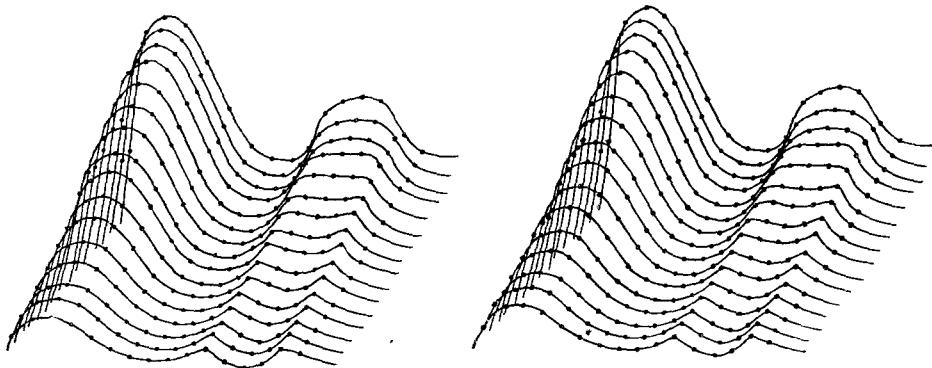


Рис. 4. Пример объемного спектра (256-канальный анализатор, дающий 16 сечений по 16 каналов в каждом).

скопического представления результатов измерения, здесь не приводится, так как она также мало чем отличается от обычной схемы и использует лишь некоторые дополнительные переключения между каскадами блока. Возможно также представление объемных поверхностей с помощью качающегося зеркала, но и этот способ рассматриваться не будет, так как он вносит удобства лишь для наблюдения результатов, но не важен с точки зрения принципа осуществления многомерного анализа. Технические детали построения приспособления для стереоскопического рассмотрения результатов многомерного анализа будут описаны в отдельной работе.

Так как расположение спектральной поверхности по отношению к координатным осям может быть самым различным, то для начального ознакомления с формой поверхности необходимо снимать максимально «объемный» спектр, т. е. брать по возможности равное число каналов и сечений. Если обнаружится, что изменения спектра по какой-либо из осей очень плавны, малосущественны, то следует уменьшить число каналов в этом направлении, что даст возможность увеличить число каналов по более интересной координате или же увеличить ширину каналов для уменьшения времени снятия объемного спектра.

Адресная система, применяемая в анализаторах типа ЭЛА, позволяет делать самые разнообразные переключения для установления нужного числа сечений и каналов многомерных спектров.

Таким образом, описанный метод позволяет снимать многомерные спектры с высокой эффективностью счета, наблюдать результаты анализа непосредственно во время эксперимента и рассматривать, при желании, полученные объемные спектры через стереоскоп. Имеются реальные возможности использования этого метода, так как анализаторы типа ЭЛА применяются во многих исследовательских организациях нашей страны. Первый трехмерный анализатор описанного типа, построенный на основе ЭЛА-2, успешно испытан в конце 1959 г. Можно, конечно, применить

данный принцип многомерного анализа и к анализаторам иных систем, однако в этом случае возникает ряд трудностей, связанных, например, с ограниченностью числа каналов, быстродействия и т. д.

Широкое внедрение многомерных анализаторов открывает новые замечательные возможности для постановки тонких экспериментов в ядерной физике и других науках. Яркой иллюстрацией того, сколь интересные физические данные удается получить при использовании многомерного анализа, служит работа<sup>10</sup>. Но на примере этой же работы видно, как велики затраты труда, связанные с получением одного объемного спектра, при использовании обычной анализаторной техники. Применение многомерного анализатора позволило бы сократить эти затраты в десятки раз.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. M. Birc, T. Brajd, R. Detenbeck, Rev. Sci. Instr. 29, 203 (1958).
2. D. Maeder, P. Stachelin, Helv. Phys. Acta 28, 193 (1955).
3. Massach.-Instr. of Technology, Ann. Progr. Repts., May 1955, стр. 165.
4. L. Grodzien, Rev. Scient. Instr. 26, 1208 (1955).
5. Multichannel Pulse Height Analyzers, H. W. Kochand and R. W. Johnston ed., NAS, NRC, Nucl. Sci. Series, Report № 20, 1957.
6. Г. П. Мельников, Описание к авторской заявке № 707516/01237, 1953 г., авторское свидетельство № 21421.
7. Г. П. Мельников, Л. И. Артеменков, Ю. М. Голубев, Приборы и техника эксперимента, № 6 (1957).
8. В. О. Вяземский, В. В. Трифонов, Амплитудный анализатор импульсов с регистрацией на потенциалоскопе АМА-2. Описание ЛЭТИ им. Ульянова, 1957.
9. А. А. Воронин, Ю. М. Голубев, Г. Л. Левин и др., 1024-канальный электронно-лучевой анализатор амплитуд импульсов и интервалов времени ЭЛА-3, изд. «Передовой научно-технический и производственный опыт», М., 1959.
10. R. L. Beckege, Phys. Rev. 119, 1076 (1960).

