

Список использованных источников:

- 1.«ПРОФИТТ» Разработка, изготовление и поставка профессионального электронного оборудования. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим допуска: <http://www.profit.ru>
- 2.ГОСТ 30605-98. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА ЦИФРОВЫЕ

## СПЕКТРЫ ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. СПЕКТРОМЕТРЫ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Кукуев А. И.

Алексеев В. Ф. – канд. техн. наук, доцент

Под понятием «спектр» (*лат. spectrum* от *лат. spectare* - *смотреть*) понимают совокупность значений и/или их распределение по какому-либо параметру, которую может принимать наблюдаемая величина. Обычно термин употребляется для характеристики распределения потока электромагнитного излучения или частиц по длинам волн или энергии. Спектроскопия – раздел физики, посвященный изучению спектров взаимодействия излучения и материи (в том числе, электромагнитного излучения, радиации, акустических волн, распределения по массам и энергиям элементарных частиц).

Ядерная спектроскопия - раздел ядерной физики, посвященный изучению дискретного спектра ядерных состояний - определение энергии, спина, чётности, изотопического спина и др. квантовых характеристик ядра в основном в возбуждённых состояниях. Значение этих данных необходимо для выяснения структуры ядер и получения сведений о силах, действующих между нуклонами. Установление перечисленных характеристик производится путём измерения энергий, интенсивностей, угловых распределений и поляризаций излучений, испускаемых ядром либо в процессе радиоактивного распада, либо в ядерных реакциях. Получение спектроскопических данных по исследованию радиоактивного распада часто называется спектроскопией радиоактивных излучений, причём различают  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектроскопии в соответствии с типом излучений. Арсенал технических средств современной ядерной спектроскопии чрезвычайно разнообразен. Он включает в себя магнитные спектрометры для измерения энергий заряженных частиц, кристалл-дифракционные спектрометры для измерения энергий  $\gamma$ -излучения, различные детекторы ядерных излучений, позволяющие регистрировать и измерять энергию частиц и  $\gamma$ -квантов по эффектам взаимодействия быстрых частиц с атомами вещества (возбуждение и ионизация атомов). Среди спектрометрических приборов этого типа большое значение приобрели твердотельные детекторы сочетающие сравнительно хорошее энергетическое разрешение с высокой «светосилой». Благодаря появлению полупроводниковых детекторов и развитию ускорительной техники, а также применению ЭВМ стало возможным создание автоматизированных измерительных комплексов, позволяющих получить большие объёмы систематизированной прецизионной информации о свойствах ядер. Методы ядерной спектроскопии применяются практически во всех ядерных исследованиях, а также за пределами физики (в биологии, химии, медицине, технике).

Частицы ядерного излучения одного типа могут различаться по своей энергии. Источники ядерного излучения, как правило, испускают немонотонноэнергетические частицы. Кроме того, энергия частиц изменяется в процессе взаимодействия частиц с веществом. Поэтому в большинстве практических случаев наблюдается ядерное излучение, частицы которого характеризуются или рядом дискретных энергий, или непрерывным изменением энергии в определенной области. Распределение частиц ядерного излучения по энергии называют энергетическим спектром ядерного излучения, или, кратко, спектром излучения. В зависимости от значений энергии, которые принимают частицы, спектры излучения подразделяют на дискретные и сплошные. Дискретный спектр излучения характеризуется рядом отдельных значений энергий  $E_1, E_2, E_3, \dots$ . Примером дискретного спектра излучения является спектр  $\gamma$ -квантов, испускаемых возбужденными ядрами. Распределение частиц по энергии описывается функцией  $N(E)$ . В ядерном излучении с дискретным спектром с энергией  $E_1$  движется  $N(E_1)$  частиц, с энергией  $E_2$  -  $N(E_2)$  частиц и т. д. Суммарное число всех частиц равно полному числу частиц  $N_0$ , т. е.

$$\sum_{i=1}^{\infty} N(E_i) = N_0$$

Разделив правую и левую части равенства на полное число частиц  $N_0$  получаем

$$\sum_{i=1}^{\infty} f(E_i) = 1$$

Функция  $f(E_i) = \frac{N(E_i)}{N_0}$  показывает, какая доля частиц движется с энергией  $E_i$ . Кроме того, функция

$f(E_i)$  имеет и другой физический смысл. Она показывает вероятность того, что частица движется с энергией  $E_i$ .

Данные уравнения являются формами записи дискретного спектра излучения, различающимися нормировкой. В первой записи спектр излучения нормирован на полное число частиц  $N_0$ , во второй форме записи - на единицу. На практике чаще пользуются спектром излучения во второй форме. Он не зависит от полного числа частиц  $N_0$ , которое может изменяться. Сплошной спектр излучения характеризует

распределение частиц, энергия которых принимает любое значение в какой-либо области энергий. Так, спектр электронов и позитронов  $\beta$ -распада сплошной. Энергия электронов или позитронов  $\beta$ -спектра изменяется непрерывно от нуля до максимальной  $E_{\text{Макс}}$ .

Хотя в сплошном спектре излучения присутствуют частицы любой энергии, тем не менее нельзя указать точно число частиц с энергией  $E$ . Оно неопределенно, так как испускание частиц источником с энергией  $E$ , столкновения частиц с ядрами и электронами вещества имеют вероятностный характер. Однако из полного числа частиц можно указать число частиц  $dN$ , энергия которых заключена в узком интервале энергий  $dE$  от  $E$  до  $E+dE$ . Число  $dN$  пропорционально интервалу  $dE$  и полному числу частиц  $N_0$ :

$$f(E) = \frac{1}{N_0} \cdot \frac{dN(E)}{dE}$$

Данная функция равна доле всех частиц, движущихся с энергией, заключенной в единичном интервале от  $E$  до  $E+1$ . Иначе говоря, функция  $f(E)$  - вероятность появления частицы в единичном интервале энергий вблизи энергии  $E$ .

Сплошные спектры излучения, как и дискретные, отличаются нормировкой. Сплошной спектр излучения, нормированный на единицу, описывается функцией  $f(E)$ . Согласно определению функции  $f(E)$

$$\int_0^{\infty} f(E) dE = 1$$

Это выражение отражает то, что вероятность появления частицы с любой энергией равна единице.

Приборы, измеряющие спектры излучения, называют спектрометрами. Они сортируют частицы по энергиям. С помощью спектрометра находят как число частиц, так и энергию каждой частицы. По данным эксперимента строят графики функции  $\psi(E)$  или  $f(E)$ , которые и являются спектрами излучений, нормированными на полное число частиц или на единицу.

Спектрометр представляет собой детектор, включенный в регистрирующую аппаратуру, которая измеряет энергию и число частиц. Существуют спектрометры на основе импульсных ионизационных камер, пропорциональных, полупроводниковых и сцинтилляционных счетчиков. Такие спектрометры обычно называют по детектору: сцинтилляционный спектрометр, полупроводниковый спектрометр и т. д. Другой класс спектрометров отличается методом измерения энергии частиц. Ядерное излучение регистрируется в них детекторами разных типов. Эти спектрометры называют по методу измерения энергии частиц: магнитные спектрометры, спектрометры по времени пролета и т. д.

Так как прямое измерение функции распределения  $f(E)$  в большинстве случаев затруднительно, то в эксперименте находят другую функцию распределения ( $A$ ). Параметр  $A$  должен быть однозначно связан с энергией  $E$  функцией  $A = x(E)$ . По известной функции ( $A$ ) и связи параметра  $A$  с энергией  $E$  находят искомое распределение  $f(E)$ . В сцинтилляционных, полупроводниковых и ряде других спектрометров параметром  $A$  служит амплитуда импульса  $U_0$  на сопротивлении нагрузки  $R$ . Характеристики детектора выбирают с таким расчетом, чтобы амплитуда импульса  $U_0$  была пропорциональна энергии частицы, поглощенной в детекторе, т. е.  $U_0 = aE$ . Так, пропорциональность величин  $U_0$  и  $E$  в сцинтилляционном спектрометре достигается выбором фосфора. Для спектрометров пригодны такие фосфоры, в которых интенсивность вспышки света линейно зависит от поглощенной энергии  $E$ .

Спектрометр, в котором выполняется линейная связь между величинами  $A$  и  $E$ , называют линейным. Математический вид функций  $f(E)$  и ( $A$ ) в линейных спектрометрах одинаков, так как одной частице с энергией  $E$  соответствует пропорциональный параметр  $A = kE$ . В магнитных спектрометрах за параметр  $A$  принимают импульс частицы  $p = mv$ , а в спектрометрах по времени пролета - время пролета  $t$  частицей определенного расстояния  $L$  (пролетной базы).

Кроме функций  $f(E)$  и ( $A$ ), которые принято называть дифференциальными распределениями, используют функции  $F(E)$  и  $\Phi(A)$ . Они находятся из уравнений:

$$F(E) = \int_E^{\infty} f(E') dE'$$

$$\hat{O}(A) = \int_A^{\infty} \varphi(A') dA'$$

Функция  $F(E)$  равна доле частиц, попадающих в спектрометр с энергиями  $E' \geq E$ . Аналогично функция  $\Phi(A)$  показывает долю частиц с параметрами, значения которых превышают параметр  $A$ , или равны ему. Функции  $F(E)$  и  $\Phi(A)$ , в отличие от дифференциальных, называют интегральными распределениями. Чтобы найти, связь дифференциальных и интегральных распределений, продифференцируем первое и второе уравнения соответственно по  $E$  и  $A$ :

$$f(E) = -\frac{dF(E)}{dE}$$

$$\varphi(A) = -\frac{d\hat{O}(A)}{dA}$$

Полученные уравнения позволяют по известным интегральным распределениям находить дифференциальные распределения (методом графического дифференцирования).

В соответствии с двумя типами спектров (интегральный и дифференциальный) различают интегральные и дифференциальные спектрометры. Конструкция, дифференциальных спектрометров сложнее интегральных, но они дают сразу распределение ( $A$ ). Кроме того, в дифференциальных спектрометрах воз-

можно одновременное измерение распределения ( $A$ ) во всей области энергии (многоканальные спектрометры).

Экспериментальное распределение  $\varphi(A)$  только приближенно отображает действительное распределение ( $A$ ). Различие функций  $\varphi(A)$  и ( $A$ ) обусловливается несовершенством регистрирующей аппаратуры и конечностью времени измерения. Параметр  $A$ , характеризующий энергию частиц, в эксперименте находится не точно, а в некотором интервале от  $A$  до  $A + \Delta A$ . Если параметр  $A$  изменяется в пределах от  $A_1$  до  $A_2$ , то при постоянном интервале  $\Delta A$  число экспериментальных точек не больше  $n=A_2-A_1$ . Так как число  $n$  всегда конечно, то действительное распределение ( $A$ ) приблизительно  $\Delta A$  аппроксимируется экспериментальным распределением  $\varphi(A)$ . Оно имеет ступенчатый вид с шириной ступенек  $\Delta A$  и называется гистограммой спектра излучения (Рис. 1). Чем меньше  $\Delta A$ , тем больше точек  $n$  и тем точнее гистограмма спектра отражает распределение ( $A$ ).

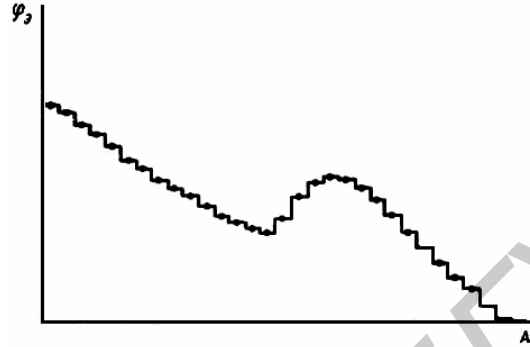


Рис. 1 – Гистограмма спектра излучения

При измерении дифференциального спектра излучения весь интервал значений  $A$  разбивают на  $n$  участков, называемых каналами. Число частиц, имеющих параметр  $A$  внутри канала, пропорционально числу отсчетов детектора  $B_k$ , накопленных в  $k$ - канале за время измерения. Оно пропорционально произведению вероятности появления частицы с параметром  $A_k$  на ширину канала  $\Delta A$ , т.е.  $B_k = \varphi(A) \Delta A$ . Из полного набора значений  $B$  для всех каналов находят распределение  $\varphi(A)$ :

$$\varphi_s(A_k) = \frac{B_k}{\sum_{k=1}^n B_k}$$

Таким образом, были рассмотрены методы получения спектров ядерного излучения, а также алгоритм работы преобразования в спектрометре.

Список использованных источников:

1. Бекман, И. Н. Радиоактивность и радиация / И. Н. Бекман// Курс лекций. – Москва, 2006. – 128 с.
2. Волков Н. Г., Христофоров В. А., Ушакова Н. П. Методы ядерной спектрометрии/ Н. Г. Волков, В. А. Христофоров — М. Энергоатомиздат, 1990.

## УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА PIC16F777

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Меркуль И.Ю.

Алексеев В. Ф. – канд. техн. наук, доцент

На любом предприятии существует риск возникновения чрезвычайных ситуаций. В связи с этим в системе безопасности необходимо использовать устройства управления оповещением и эвакуацией персонала и посетителей [1].

По принципу работы ПУ является универсальным программируемым коммутатором. Он обеспечивает управление выходными линиями либо по входному сигналу, либо вручную, по нажатию соответствующих кнопок на панели прибора.

Структуру коммутатора пользователь определяет и задает самостоятельно, на стадии программирования. Структура предполагает задание выходов, которые должны включаться или выключаться через определенные промежутки времени относительно сигнала запуска на соответствующем входе.

Каждый вход может инициировать включение или выключение любых выходов в любой комбинации и с любыми временными интервалами. В качестве примера на рисунке (рисунок 1) показан следующий вариант: