

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРОМЕТРОВ

Точность измерения дифференциального спектра $f(E)$ зависит от характеристик спектрометра. Основными характеристиками любого спектрометра являются светосила и разрешение.

Пусть на вход спектрометра в интервале энергий от E до $E + dE$ поступает число частиц $N_0(E)dE$. Если источник излучения расположен на входе спектрометра, то

$$N_0(E)dE = \Omega Q(E)dE,$$

где $Q(E)dE$ - мощность источника частиц с энергиями от E до $E + dE$; Ω - телесный угол, в котором частицы попадают в спектрометр.

Детектор регистрирует не все частицы, а только $N(E)dE$. За светосилу спектрометра принимают отношение зарегистрированных детектором частиц к числу частиц, поступивших на вход спектрометра в энергетическом интервале от E до $E + dE$:

$$T = \frac{N(E)dE}{N_0(E)dE}. \quad (9)$$

Светосила T определяется типом спектрометра и эффективностью детектора. Какое-то количество частиц, попадающих на вход спектрометра, может быть потеряно по пути к детектору. Далее, не все частицы регистрируются детектором, так как эффективность детектора меньше 100%. Оба фактора уменьшают долю зарегистрированных частиц. Поэтому светосила равна произведению двух сомножителей. Один из сомножителей учитывает потерю частиц в пространстве между входами в спектрометр и в детектор, другой сомножитель - эффективность детектора:

$$T = \eta(E)\varepsilon(E), \quad (10)$$

где $\eta(E)$ - доля частиц, попадающих с входа спектрометра в детектор; $\varepsilon(E)$ - эффективность детектора.

В магнитных спектрометрах вход в спектрометр и вход в детектор пространственно разделены. Вследствие этого значения $\eta(E)$ и $\varepsilon(E)$ для них меньше единицы. В сцинтилляционных спектрометрах детектор служит входом, поэтому $\eta(E) = 1$, а светосила $T = \varepsilon(E)$. Светосила T определяет необходимое время измерения спектра излучения. Чем выше светосила T , тем меньше требуется времени для исследования спектра данного источника излучения, так как с повышением светосилы быстрее накапливается информация в каждом канале спектрометра. Светосила влияет также и на точность измерения спектра излучения. Любой детектор регистрирует наряду с исследуемым и фоновое излучение. Если светосила спектрометра небольшая, то скорость счета фона становится сравнимой со скоростью счета исследуемого излучения. Это ухудшает точность измерения экспериментального спектра, а при значительном фоне становится невозможным выявить даже форму спектра. Учитывая влияние фона на форму спектра, светосилу спектрометра стремятся сделать более высокой за счет уменьшения потерь частиц в спектрометре и повышения эффективности детектора. Второй характеристикой спектрометра является разрешение. Под разрешением R понимается способность спектрометра разделять две частицы, различающиеся по энергии. Чем меньше различие в энергиях частиц, разделенных спектрометром, тем лучше разрешение спектрометра. При хорошем разрешении спектрометр выделяет самые тонкие особенности спектра, в то время как при плохом разрешении эти особенности остаются незамеченными.

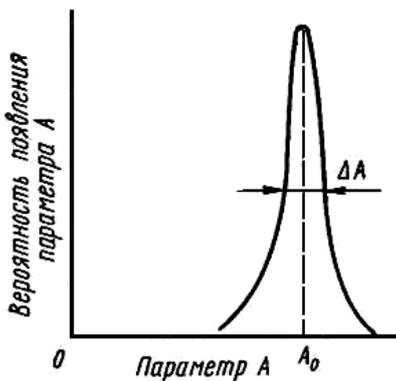


Рис. 2. Форма спектральной линии для моноэнергетического излучения.

Количественное описание разрешения неразрывно связано с понятием спектральной линии спектрометра. Иначе ее называют аппаратной линией. При измерении моноэнергетического излучения в спектрометре всегда возникает некоторый разброс параметра A . Вследствие этого частицы с энергией E_0 регистрируются спектрометром как частицы не с одним параметром $A(E_0)$, а с набором параметра A , заключенным в некотором энергетическом интервале вблизи энергии E_0 , причем наиболее вероятное значение параметра A соответствует энергии E_0 . Распределение параметра A (Рис. 2) для моноэнергетического излучения имеет форму пика и называется формой спектральной линии. Она характеризуется полушириной ΔA , равной полной ширине спектральной линии на половине высоты распределения A от моноэнергетического излучения.

Появление размытого распределения параметра A вместо одного значения A_0 объясняется некоторой неопределенностью при преобразовании спектрометром энергии частицы в параметр A . Чем меньше разброс параметра A , тем уже форма спектральной линии и тем лучше разрешение спектрометра.

Если на вход спектрометра поступают частицы, мало различающиеся по энергии, то происходит наложение отдельных форм спектральных линий, в результате чего образуется один общий пик. В этом случае спектрометр не различает частицы по энергии и не дает информации о спектре излучения.

Количественно разрешение R определяется как отношение полуширины спектральной линии ΔA к наиболее вероятному значению параметра A_0 и выражается в процентах:

$$R = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Так как параметр A в линейных спектрометрах пропорционален энергии частицы E , то разрешение

$$R = \frac{\Delta E}{E_0} \cdot 100\%. \quad (12)$$

По известному разрешению спектрометра R рассчитывают минимальное различие в энергиях частиц ΔE , когда спектрометр разделяет частицы по энергии. В общем случае разрешение R является функцией энергии E_0 . Это означает, что отношение минимальной разности энергий ΔE к энергии частиц E_0 имеет неодинаковые значения при различных энергиях.

Найдем значение ΔE для магнитного спектрометра с разрешением 0,1% при энергии частиц $E_0 = 3$ МэВ:

$$\Delta E = \frac{0,1}{100} \cdot 3 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ МэВ} = 3 \text{ кэВ}.$$

Следовательно, магнитный спектрометр с разрешением 0,1% при энергии $E_0 = 3$ МэВ различает две частицы, если их энергии отличаются на 3 кэВ и больше. Наряду с разрешением R используется разрешающая способность спектрометра K . Она равна обратному значению разрешения:

$$K = 1/R. \quad (13)$$

В отличие от разрешения R величина K показывает число спектральных линий, укладываемых в интервале энергий от нуля до E_0 . Так, разрешающая способность магнитного спектрометра со значением $R = 0,1\%$ при энергии $T_0 = 3$ МэВ равна 10^3 .