Исследование углового распределения рассеянного в барьере моноэнергетического электронного и β-излучений

В. Ф. БАРАНОВ, Н. П. БОНДАРЕНКО, Л. И. БУРМАГИН, Р. Я. ЗАЙЦЕВ, В. В. КУДИНОВ, В. И. НАЛИВАЕВ

УДК 539.124.04

Изучалось угловое распределение рассеянного излучения в барьерах с толщиной $d \geqslant t$ (толщина мольеровского слоя) и с атомными номерами Z, равными 6,3 (целлулоид), 13 (алюминий), 42 (молибден) и 74 (вольфрам) в случае нормального падения ($\theta_0 = 0°$) моноэнергетических электронов с начальной энергией $E_0 = 0{,}4 \div 1{,}8$ *Мэв* (через 0,2 *Мэв*). Толщину барьера меняли в интервале $d/R_0 = 0{,}005 \div 0{,}7$, где R_0 — истинный пробег электрона с энергией E_0 в веществе с атомным номером Z. Статистическая ошибка результатов измерения углового распределения электронного излучения в среднем составляла $\pm 2\%$, когда толщина барьера равнялась $d = t$, и $\pm 5\%$, когда $d > t$.

Угловые распределения электронного излучения за алюминиевым барьером, толщина которого сравнима с мольеровским слоем, измеряли и рассчитывали по теории многократного рассеяния Мольера в случае нормального падения электронов с E_0, равной 1,2 и 1,4 *Мэв*. Экспериментальные данные находятся в хорошем согласии с расчетными.

Экспериментально измеренные угловые распределения электронного излучения в исследуемых барьерах с толщиной $d > t$ в случае нормального падения электронов в указанном диапазоне энергий сопоставляли с результатами, полученными методом Монте-Карло. Угловые распределения рассеянного в исследуемых барьерах электронного излучения аппроксимировались выражениям

$$I(\theta) = I(\theta = 0°) \exp\left\{-\left[\frac{\theta}{\theta_{1/e}}\right]^2\right\} \cos\theta, \quad (1)$$

где $I(\theta)$ — число электронов, вылетающих с единицы поверхности барьера в единицу времени под углом θ к нормали в единичном телесном угле (угловая плотность тока электронов); $\theta_{1/e}$ — угол, при котором функция распределения $I(\theta)/\cos\theta$ спадает в e раз от максимального значения.

Исследованы также угловые распределения рассеянного β-излучения $I_\beta(\theta)$ в барьере с Z, равным 6,3 и 13, в случае нормального падения ($\theta_0 = 0°$) β-частиц радиоактивных изотопов Pm^{147}, W^{185}, Te^{204}, Pr^{143} P^{32} и Sr^{90} — Y^{90}. Показано, что угловое распределение рассеянного в барьере β-излучения, нормированное на число частиц, вылетающих под углом $\theta = 0°$ к нормали в единичном телесном угле, описывается выражением

$$\frac{I_\beta(\theta)}{I_\beta(\theta = 0°)} = \frac{\sum\limits_i^{\nu} P(E_i)\, F(d/R_i)\, A(E_i) \exp}{\sum\limits_i^{\nu} P(E_i)\, F(d/R_i)\, A(E_i)} \times \frac{\left\{-\left[\dfrac{\theta}{\theta_{1/e}(E_i)}\right]^2\right\} \cos\theta}{A(E_i)}, \quad (2)$$

где $P(E_i)$ — доля β-частиц с энергией E_i в падающем β-спектре; $F(d/R_i)$ — коэффициент прохождения моноэнергетических электронов с истинным пробегом R_i через барьер толщиной d;

$$A(E_i) = \left[2\pi \int\limits_0^{\pi/2} \exp\left\{-\left[\frac{\theta}{\theta_{1/e}}\right]^2\right\} \cos\theta \sin\theta \, d\theta\right]^{-1}.$$

Экспериментальные угловые распределения рассеянного в барьере β-излучения совпадают с рассчитанными по формуле (2) в пределах ошибки эксперимента.

Изложен способ, который позволяет установить соотношение между плотностью тока и плотностью потока электронного и β-излучений после прохождения барьера из вещества с атомным номером Z и толщиной d, если известна только форма спектра β-излучения или энергия моноэнергетических электронов, падающих на барьер.

(№ 377/5473. Поступила в Редакцию 9/VII 1969 г. Полный текст 0,5 а. л., 4 рис., 10 библ. ссылок.)

Абсорбционный метод определения энергетического распределения электронного излучения, падающего на барьер и прошедшего барьер

В. Ф. БАРАНОВ, Р. Я. ЗАЙЦЕВ, В. И. НАЛИВАЕВ

УДК 539.124:621.039.538

В работе изложен метод расчета энергетического распределения электронного излучения, падающего на барьер и прошедшего барьер конечной толщины, если известна функция $I(x)$, описывающая ослабление в барьерах различной толщины тока излучения с непрерывным спектром $n(E)$, и функция $F(x, R_э)$, описывающая ослабление тока моноэнергетических электронов. Соотношение между числом прошедших электронов $I(x)$ непрерывного спектра и толщиной барьера x описывается интегральным уравнением Вольтерра первого рода и может быть измерено или рассчитано с необходимой точностью. Функция $F(x, R_э)$ аппроксимируется простыми выражениями, так как число прошедших через барьер частиц явно не зависит от энергии и угла падения электронов, если толщина барьера выражена в долях экстраполированного пробега электронов $R_э$. Ниже приведены аппроксимирующие выражения $F(x, R_э)$ и соответствующие им решения интегрального уравнения относительно падающего на барьер электронного спектра $N(x)$ и спектра, прошедшего барьер $N_d(x)$:

$$\left.\begin{aligned} &F(x,\ R_э)=1-x/R_э, \quad 0\leqslant x/R_э\leqslant 1;\\ &N_d(x)=(x-d)\,\mu_k^2 I(x); \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} &F(x,\ R_э)=1-(x/R_э)^2, \quad 0\leqslant x/R_э\leqslant 1;\\ &2N_d(x)=[(x-d)\,\mu_k+1]\,\mu_k I(x); \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} &F(x,\ R_э)=1+a\,(x/R_э)+b\,(x/R_э)^2, \quad a+b+1=0,\\ &\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad 0\leqslant x/R_э\leqslant 1;\\ &N_d(x_k)=\frac{\mu_k\,[\mu_k\,(x_k-d)^p\,e^{\mu_k(x_k-d)}I(x_k)}{1-b}\{\Gamma\,[q+1;\\ &\mu_k\,(x_k-d)-\Gamma\,[q+1;\ \nu\mu_k\,(x_k-d)]\}+\left(\frac{1}{\nu}\right)^p N(x_{k-1}); \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} &F(x/R_э)=l+n\,(x/R_э)+m\,(x/R_э)^2, \text{ при } x/R_э\leqslant 0{,}7\\ &l=1,\ n=a,\ m=b, \text{ при } x/R_э\geqslant 0{,}7\ \ l+n+m=0. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

В этом случае решение интегрального уравнения относительно $N(x_k)$ или $N_d(x_k)$ выражается через табулированные интегралы или вырожденные гипергеометрические функции Уиттекера.

Использованы следующие обозначения: $p=\dfrac{n}{l-m}$; $q=1+\dfrac{n}{l+m}$; $\nu=x_{k-1}/x_k$; μ_k — коэффициент ослабления электронного излучения, который остается постоянным в пределах интервала k и $k-1$; $\Gamma\,[q+1;\ \mu_k\,(x_k-d)]$ — неполная Г-функция; коэффициенты a, b, l, m, n являются функциями атомного номера вещества; $N(x)\equiv N(R_э)$ — распределение по экстраполированным пробегам электронного излучения.

Для проверки предлагаемого метода расчета энергетического распределения электронного излучения, падающего на барьер и прошедшего барьер, были измерены энергетические распределения рассеянного β-излучения за алюминиевыми и тканеэквивалентными (целлулоид) барьерами при нормальном падении β-частиц, испускаемых источниками Pm^{147}, W^{185}, Te^{204}, Pr^{143}, P^{32}, $Sr^{90}+Y^{90}$. Экспериментальные и расчетные данные совпадают с точностью $\pm(10\div 20)\%$.

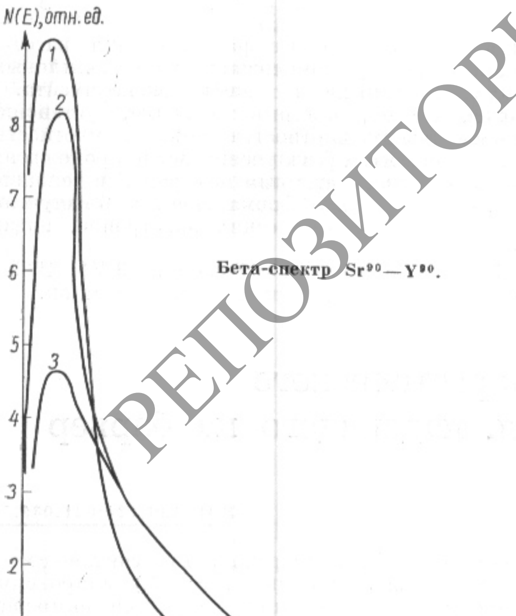
(№ 378/5474. Поступила в Редакцию 9/VII 1969 г. Полный текст 0,5 а. л., 2 рис., 18 библиографических ссылок.)

Расчет самопоглощения в бета-источниках

А. А. БЕЛЯЕВ, А. И. КРУПМАН

УДК 539.129:539.121.79

Знание энергетических спектров бета-источников необходимо для решения многих практических задач. Отличие спектров таких источников от «идеальных» β-спектров обусловлено самопоглощением β-частиц в источнике и их рассеянием в защитном покрытии.



Бета-спектр Sr^{90}—Y^{90}.

В статье приводятся две методики расчета самопоглощения: первая, предложенная Уэймутом *, основана на приближенном решении кинетического уравнения и вторая, предложенная авторами статьи, основана на использовании метода Монте-Карло.

Проводится сравнение обеих методик путем расчета самопоглощения источника Sr^{90} — Y^{90}. Вычислены коэффициенты самопоглощения и энергетические спектры источника Sr^{90} — Y^{90} (см. рисунок) с учетом самопоглощения (кривая *1* рассчитана на основе методики Уэймута, кривая *2* — с помощью метода Монте-Карло) и защитного покрытия толщиной 0,0135 *г/см²* (кривая *3*).

Расхождение кривых *1* и *2* в области высоких энергий объясняется приближениями методики Уэймута. Кривая *3* в пределах точности расчета совпадает с экспериментальными данными. При проведении расчета методом Монте-Карло было промоделировано $2\cdot 10^4$ историй электронов.

(№ 379/5492. Статья поступила в Редакцию 22/VII 1969 г., аннотация — 22/X 1969 г. Полный текст 0,25 а. л., 3 рис., 7 библиографических ссылок).

* J. Weymouth. Phys. Rev., 84, 766 (1951).