

М. И. ПОДГОРЕЦКИЙ

ЗАМЕЧАНИЕ О ВЕЛИЧИНЕ ИОНИЗАЦИИ, СОЗДАВАЕМОЙ БЫСТРО ИОНИЗУЮЩЕЙ ЧАСТИЦЕЙ ВНУТРИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА ИЛИ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 20 V 1949)

При прохождении через вещество заряженная частица теряет энергию на ионизацию и возбуждение атомов среды. Для упрощения изложения сути дела, мы не будем в дальнейшем учитывать возбуждения. Говоря об ионизационном эффекте, обычно отождествляют его с потерями энергии в рабочем пространстве (например, в газе ионизационной камеры или пропорционального счетчика). Простое рассуждение показывает незаконность такого отождествления. В качестве простейшей модели, которую мы в дальнейшем будем называть кратко счетчиком, рассмотрим ионизацию в газе в области, ограниченной двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми l ; траекторию частицы будем считать перпендикулярной этим плоскостям.

Потеря энергии связана с образованием δ -электронов только внутри счетчика; ионизационный эффект, напротив, связан также с теми δ электронами, которые образовались до счетчика, но обладают энергиями, достаточными для того, чтобы долететь до рабочего пространства счетчика. С другой стороны, некоторые δ -электроны, образовавшиеся внутри счетчика, вылетают за его пределы и не отдают на ионизацию внутри счетчика всей полученной ими энергии. Несмотря на эти осложнения, можно показать, что для счетчика с достаточно большими поперечными размерами средний ионизационный эффект I всегда равен ионизационным потерям β — это прямое следствие закона сохранения энергии. В дальнейшем под I и β мы будем понимать их удельные значения, рассчитанные на единицу пути. В слое плотного вещества возникновение и поглощение δ -электронов происходит так же, как в слое газа соответственно большей толщины. Поэтому I не изменится, если вместо мысленно проведенных плоскостей ограничить рабочее пространство счетчика реальными стенками из плотного вещества.

Наличие рассеяния и начальных углов вылета δ -электронов приводит к тому, что траектории δ -электронов пересекают переднюю плоскость на разных расстояниях r от точки пересечения передней плоскости с траекторией первичной частицы.

Это приводит к тому, что для счетчика с конечными поперечными размерами часть δ -электронов будет пролетать мимо счетчика и ионизация, создаваемая первичной частицей, уменьшится на некоторую величину ΔI .

Мы будем считать, что толщина стенок и расстояние между ними малы по сравнению с поперечными размерами счетчика. Тогда мимо могут пролетать только такие δ -электроны, которые образовались до передней стенки счетчика. Из них нас интересуют только те, которые обладают энергией, достаточной для того, чтобы пройти стенку и долететь до рабочего пространства, так как остальные не создают ионизации даже в случае бесконечного счетчика.

Будем исходить из простейших предположений:

а) распределение δ -электронов по энергиям ε дается законом

$$n(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{n_0 \varepsilon_0}{\varepsilon^2} d\varepsilon \text{ при } \varepsilon_0 < \varepsilon < \varepsilon_{\max}, \quad (1)$$

где ε_{\max} определяется из условий для лобового удара, ε_0 — энергия порядка энергии связи электронов в атоме и n_0 — среднее число актов образования δ -электронов на единице пути;

б) потери энергии для δ -электронов не зависят от их энергии и такие же, как для первичной частицы;

в) угол вылета δ -электронов связан с энергией δ -электронов соотношением

$$\theta(\varepsilon) = \sqrt{\frac{2mc^2}{\varepsilon}}; \quad (2)$$

г) рассеянием δ -электронов можно пренебречь; углы вылета δ -электронов малы.

Закон распределения точек пересечения траекторий δ -электронов с передней плоскостью имеет, в этих предположениях, вид

$$n(r) dr = \frac{n_0 \varepsilon_0}{mc^2} \left(\sqrt{\frac{2mc^2}{\Delta}} - \frac{\beta r}{\varepsilon_{\max} - \Delta} \right) dr, \quad (3)$$

где Δ — минимальная энергия, которой должен обладать δ -электрон для того, чтобы пройти стенку счетчика. Он справедлив от $r=0$

до $r = r_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max} - \Delta}{\beta} \sqrt{\frac{2mc^2}{\varepsilon_{\max}}}$.

Если ионизирующая частица — мезон с энергией $5 \cdot 10^8$ эв, то $\varepsilon_{\max} \sim 10^7$ эв; если $\Delta \sim 10^6$ эв, то для r_{\max} получаем значения порядка 10 м, что в десятки раз больше размеров реальных камер и счетчиков; так как, кроме того, (3) не имеет в нуле полюса, то практически все δ -электроны рассматриваемой нами группы пролетают мимо счетчика.

Можно показать, что число их $N(\Delta)$ дается выражением

$$N(\Delta) = \frac{n_0 \varepsilon_0}{\beta} \left(\ln \frac{\varepsilon_{\max}}{\Delta} - \frac{\varepsilon_{\max} - \Delta}{\varepsilon_{\max}} \right). \quad (4)$$

Ионизация, создаваемая этими δ -электронами в бесконечной системе, равна $N(\Delta)\beta I$, а полная ионизация, создаваемая в бесконечной системе всеми δ -электронами, равна βI ; поэтому для системы конечной получаем

$$\frac{\Delta I}{I} = N(\Delta) \quad (5)$$

или

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\ln \frac{\epsilon_{\max}}{\Delta} - \frac{\epsilon_{\max} - \Delta}{\epsilon_{\max}}}{\ln \frac{\epsilon_{\max}}{\epsilon_0}}. \quad (5')$$

Неопределенность в ϵ_0 существенно не сказывается, так как ϵ_0 входит под знаком логарифма. При выводе мы пренебрегали δ -электронами, пробег которых заканчивается внутри счетчика. Если число таких δ -электронов N' , то для справедливости (5) и (5') должно быть

$$\frac{N'}{N(\Delta)} \ll 1. \quad (6)$$

Легко видеть, что

$$N' = \frac{dN(\Delta)}{d\Delta} \beta l = n_0 \epsilon_0 l \left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\epsilon_{\max}} \right),$$

и для практически интересных случаев (6) выполнено.

При $\Delta \gg \epsilon_{\max}$, $\frac{\Delta I}{I} = 0$, что вполне естественно.

При малых Δ , напротив, $\frac{\Delta I}{I}$ велико.

Хотя принятые нами расчетные предположения теряют силу для малых Δ , ход явления попрежнему правильно описывается (5').

В качестве конкретного примера укажем, что для мезона с энергией порядка $5 \cdot 10^8$ эв, пролетающего через камеру с алюминиевыми стенками толщиной 1 мм, $\frac{\Delta I}{I} \approx 20\%$. Указанный эффект следует учитывать при количественных измерениях ионизации.

Автор приносит благодарность И. Я. Барит за участие в обсуждении.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
2 V 1949