Изв. АН Армянской ССР, Физика, 14, 223—226 (1979)

ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЯХ

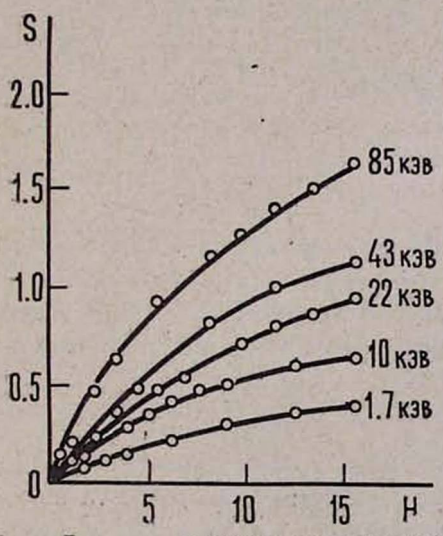
А. Г. ПОЛАНДОВ, Б. В. МАРЬИН, Л. С. НОВИКОВ, Э. А. ТРЕГУБКИН

Измерения удельных потерь энергии заряженных частиц dE/dx в фотоэмульсиях основываются, как правило, на анализе плотности следов регистрируемых частиц [1]. Однако при регистрации тяжелых заряженных частиц (протонов, α-частиц и т. д.) малых энергий (единиц — десятков *кэв*) этот метод неприменим вследствие малости пробегов частиц.

В настоящей работе рассматривается возможность измерения dE/dx в области малых энергий на основании зависимости максимальной плотности почернения фотоэмульсии S_∞ от энергии регистрируемых частиц E и от глубины проникновения частиц в фотоэмульсию x_0. Используя введенные обозначения, можно записать

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dE}{dS_\infty} \cdot \frac{dS_\infty}{dx_0}. \qquad (1)$$

Зависимость оптической плотности почернения от энергии частиц легко наблюдается экспериментально. Это видно из рисунка, на котором показаны денситометрические кривые зависимости S от величины экспозиции H в относительных единицах, полученные в работе [2] для различных энергий протонов. Хотя эти кривые получены в ограниченном диапазоне экспозиций, тем не менее очевидно, что при $H \to \infty$ плотность почернения S будет стремиться к своей максимальной величине S_∞ при данной энергии, что соответствует полной активации зерен в облучаемом слое.



Денситометрические характеристики, полученные для протонов различных энергий.

Чтобы установить функциональную зависимость S_∞ от x_0, необходимо учесть особенности фоторегистрации тяжелых заряженных частиц малых энергий. Такой анализ был проведен в работе [3], где была рассмотрена зависимость числа активированных зерен N от величины экспозиции H. В работе [4] теоретически и в работе [5] экспериментально было показано, что оптическая плотность почернения пропорциональна числу активированных зерен N. На

основании результатов, полученных в [3—5], можно записать зависимость плотности почернения S от величины экспозиции H для тяжелых заряженных частиц в виде

$$S=\frac{\bar{z\sigma}}{2{,}3}N_0\int_0^{x_0}\left\{\int_0^{\infty}[1-e^{-\bar{\sigma}H\left(1-\int_0^{x}f(x)\,dx\right)}]f(\sigma)\,d\sigma\right\}dx+$$

$$+\frac{\bar{z\sigma}}{2{,}3}N_b\int_0^{x_0}\left[\int_0^{\infty}e^{-\bar{\sigma}H\left(1-\int_0^{x}f(x)dx\right)}\cdot f(\sigma)\,d\sigma\right]dx. \qquad (2)$$

Здесь N_0 и N_b — соответственно числа зерен эмульсии и вуали в единице объема, $\bar{\sigma}$ — средняя площадь сечения зерен, $f(\sigma)$ — функция распределения зерен по размерам, $f(x)$ — функция распределения пробегов частиц в эмульсии, z — эмпирический поправочный коэффициент.

При $H\to\infty$ из (2) получаем выражение для максимальной плотности почернения эмульсии

$$S_\infty=\frac{\bar{z\sigma}N_0}{2{,}3}x_0. \qquad (3)$$

Величина S_∞, как мы видим, не зависит от вида функции распределения пробегов частиц $f(x)$. Это означает, что все зерна эмульсии, расположенные в пределах глубины проникновения частиц x_0, будут активированными. Действительно, тяжелые частицы с энергиями ниже 100 *кэв* имеют пробеги менее 1 *мкм*, вследствие чего энергия, теряемая ими при прохождении зерен эмульсии диаметром $\sim 0{,}3$ мкм, на один-два порядка превышает энергию, необходимую для активации зерен (150÷180 *эв*).

Из (1) и (3) следует

$$\frac{dE}{dx}=\frac{\bar{z\sigma}N_0}{2{,}3}\cdot\frac{dE}{dS_\infty}\quad\text{или}\quad\frac{dE}{dx}=C\,\frac{\Delta E}{\Delta S_\infty}. \qquad (4)$$

Полученное соотношение позволяет экспериментально определить величину dE/dx в эмульсии на основе денситометрических характеристик, аналогичных приведенным на рисунке. Погрешность измерения dE/dx данным методом будет определяться, в основном, флуктуациями максимальной плотности почернения S_∞, т. е. $\frac{|\delta\cdot\Delta S_\infty|}{\Delta S_\infty}=\frac{2\sqrt{x_0}}{\Delta x\sqrt{N_0 d}}$, где d — площадь рассматриваемой поверхности эмульсии, Δx — разность пробегов частиц с энергиями E и $E+\Delta E$. Так, например, для обеспечения точности измерения $\sim 5\%$ при $N_0=5\cdot10^{11}$ *зерен/см*^{3}, $x_0=1$ *мкм* и $\Delta x=0{,}05\,x_0$ необходимо провести денситометрические измерения на площади примерно 6,4 *мм*^{2}, что технически вполне выполнимо.

Следует отметить также, что уравнение (2) справедливо лишь при малых пробегах частиц, так как не учитывает взаимного перекрытия зерен эмульсии. Оценим глубину x_0, при которой перекрытием зерен можно пре-

небречь. Два зерна эмульсии будут перекрываться, если они будут находиться в объеме цилиндра с площадью основания 4σ и высотой x_0. Значение x_0, при котором перекрытием зерен можно пренебречь, определяется из условия $P_2/P_1 \ll 1$, где P_2 — вероятность обнаружения в объеме $4\sigma x_0$ двух зерен эмульсии, P_1 — одного зерна. Учитывая распределение Пуассона, имеем $P_2/P_1 = 2\bar{\sigma} x_0 N_0$. При $P_2/P_1 = 5\cdot10^{-2}$, $\bar{\sigma} = 7\cdot10^{-10}$ *см*^{2} и $N_0 = 5\cdot10^{11}$ *зерен/см*^{3} получаем $x_0 \leqslant 0{,}7$ *мкм*, что соответствует рассматриваемому диапазону энергий частиц.

Оценим, далее, с помощью (2) величину экспозиции H_∞, необходимую для получения плотности почернения S, близкой к S_∞. Величина этой экспозиции, в отличие от максимальной плотности почернения S_∞, зависит от вида функции $f(x)$. Произведем оценку для следующих трех случаев: пробеги частиц в эмульсии одинаковы; пробеги равномерно распределены по глубине; распределение пробегов описывается линейной функцией $f(x) = 2(x_0 - x)/x_0^2$.

Задав величину $\lambda = (S_\infty - S)/S_\infty$ и пренебрегая дисперсией зерен по размерам, для этих трех случаев соответственно получим: $H_\infty \geqslant \frac{1}{\sigma \ln \lambda}$, $H_\infty \geqslant \frac{1}{\sigma\lambda}$ и $H_\infty \geqslant \frac{1}{\sigma\lambda^2}$. Полагая $\lambda = 10^{-2}$ и $\sigma = 7\cdot10^{-10}$ *см*^{2}, для наиболее неблагоприятного случая получим величину необходимой экспозиции, выраженную в единицах заряда, $eH_\infty \geqslant 2{,}3\cdot10^{-6}$ *кулон/см*^{2}.

В заключение отметим, что рассматриваемый метод может быть использован и для определения удельных потерь энергии в тонких однородных мишенях, нанесенных непосредственно на эмульсию или помещенных перед ней. Разность энергий частиц, вызывающих одинаковую плотность почернения эмульсии с мишенью и без нее, соответствует потере энергии частиц ΔE в мишени. Зная толщину мишени, легко определить величину dE/dx. Основную погрешность, как и в рассмотренном выше случае, вносят флуктуации плотности почернения S_∞. Оценка погрешности производится аналогично; отличие состоит лишь в том, что здесь Δx означает толщину мишени.

НИИЯФ МГУ

Поступила 28.XI.1978

ЛИТЕРАТУРА

1. *С. Пауэлл, П. Фаулер, Д. Перкинс.* Исследование элементарных частиц фотографическим методом, Изд. ИЛ, М., 1962.
2. *В. Г. Злобин* и др. Труды III Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами, М., 1972.
3. *А. Г. Поландов.* Труды III Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами, М., 1972.
4. *P. G. Nutting.* Phil. Mag., 6, 42 3 (1913).
5. *J. I. Craltree, G. E. Matthews.* Photographic Chemicals and Solutions, Boston, 1939.

ԾԱՆՐ ԼԻՑՔԱՎՈՐՎԱԾ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՏԵՍԱԿԱԿԱՐ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ ԴԵՆՍԻՏՈՄԵՏՐԻԿ ՄԵԹՈԴ

Ա. Գ. ՊՈԼԱՆԴՈՎ, Բ. Վ. ՄԱՐՅԻՆ, Լ. Ս. ՆՈՎԻԿՈՎ, Է. Ա. ՏՐԵԳՈՒԲԿԻՆ

Աշխատանքում առաջարկվում է ֆոտոէմուլսիաներում ծանր լիցքավորված մասնիկների էներգիաների տեսակարար կորուստների չափման մեթոդ, որը հիմնված է փորձնականորեն ստացված ֆոտոէմուլսիաների դենսիտոմետրիկ բնութագրերի օգտագործման վրա։ Մեթոդը կիրառվում է մասնիկների տասնյակ կէվ էներգիաների դեպքում, իսկ կորուստների (dE/dx) չափման ճշտությունը կազմում է 5—10%։

DENSITOMETRIC METHOD OF THE MEASUREMENT OF SPECIFIC ENERGY LOSSES OF HEAVY CHARGED PARTICLES AT LOW ENERGY

A. G. POLANDOV, B. V. MARIN, L. S. NOVIKOV, E. A. TREGUBKIN

The method is proposed for the determination of specific energy losses (dE/dx) of heavy charged particles in photoemulsions for energies from units to several tens *KeV* based on the experimental densitometric characteristics of photoemulsions. The accuracy of dE/dx measurement makes 5—10%. The method could be used for the measurement of dE/dx in thin homogeneous targets.