

ЛИТЕРАТУРА

1. Басьюни А., Курдгеландзе Д. «Ядерная физика», 8, 2, 1968.
2. Басьюни А., Курдгеландзе Д. «Ядерная физика», 9, вып. 2, 432, 1969.

Поступила в редакцию
25.9 1968 г.

Кафедра
теоретической физики

УДК 539.121.7

М. А. КУМАХОВ, В. А. ЭЛЬТЕКОВ

О ТОРМОЖЕНИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛАХ

В работах [1, 2] было показано, что потери энергии каналированных частиц в основном определяются плазменными потерями при скоростях

$$v \leq v_{кр} = \delta \cdot I_s / \hbar, \quad (1)$$

где I_s — энергия ионизации внешнего электрона, принадлежащего ионному остатку, δ — полуширина «пустого» канала, в котором нет электронов ионного остатка.

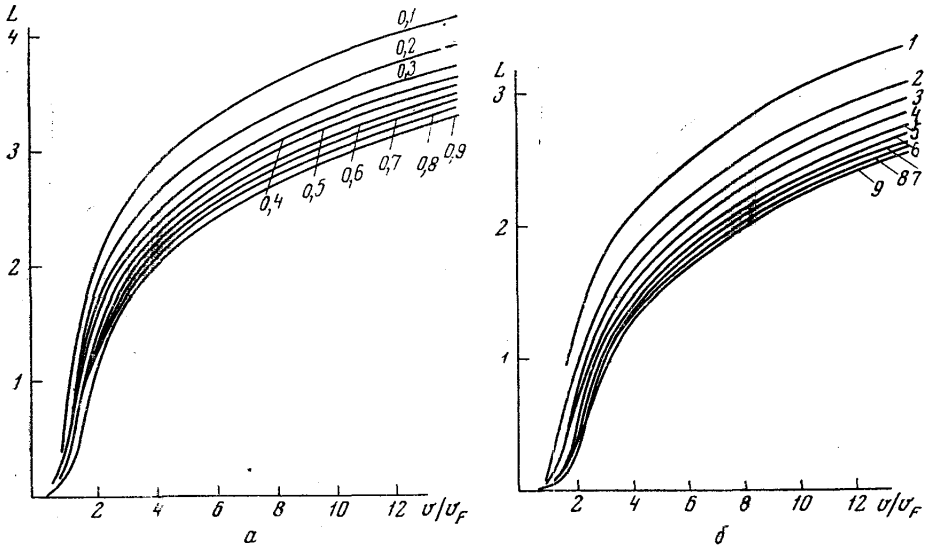


Рис. 1. Зависимость L от v/v_F при различных значениях χ^2 : а — при χ^2 от 0,1 до 0,9, б — при χ^2 от 1 до 9

Тормозную способность в электронной плазме можно определить по формуле [3, 4]

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Z_1^2 e^4 n}{mv^2} L, \quad (2)$$

где Z_1 и v — заряд и скорость частицы, m — масса электрона, n — электронная плотность вещества, а L — определяется формулой

$$L = \frac{i}{\pi\omega_0^2} \int_0^\infty \frac{dk}{k} \int_{-kv}^{kv} \omega d\omega \left(\frac{1}{\epsilon^l(k, \omega)} - 1 \right), \quad (3)$$

где $\omega_0^2 = 4\pi n_0 e^2 / m$ есть квадрат плазменной частоты, n_0 — плотность электронов, участвующих в плазменных колебаниях, ϵ^l — диэлектрическая проницаемость.

Расчет L в достаточно широком диапазоне изменения v и параметра $\chi^2 = e^2 / (\pi \hbar v_F)$, где v_F — скорость на поверхности сферы Ферми, выполнен на ЭВМ, и результаты представлены на рис. 1, а, б. Аналогичные результаты, но для ряда значений χ^2 , не превосходящих единицы, представлены в [3].

Полученные данные можно использовать для определения тормозной способности каналированных и неканалированных частиц в различных средах. Для каналированных частиц в формуле (2) в качестве n следует подставить плотность валентных электронов, участвующих в плазменных колебаниях. На рис. 2 величина η отношения тормозной способности неканалированных частиц к тормозной способности каналированных частиц представлена для случая, когда протоны замедляются в алюминии в направлении $\langle 110 \rangle$. В этом случае δ составляет $\sim 0,8 \text{ \AA}$, а энергия плазмона $\hbar\omega_p$ равна 16 эв. При расчете η учитывалось, что при $v > v_{кр}$ в торможении принимают участие электроны ионного остатка. Расчет при этом проводился по формуле, которая была получена в работе [2]:

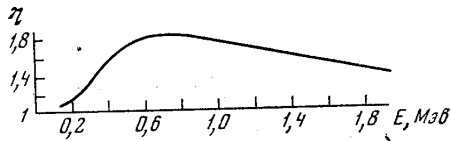


Рис. 2. Зависимость отношения η от энергии протонов в алюминии

$$\eta^{-1} = \frac{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{к}}}{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{нк}}} + \left\{ 1 - \frac{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{к}}}{\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{нк}}} \right\} \frac{Z_i}{Z - Z_0}, \quad (4)$$

где Z — число всех электронов атомов кристалла, Z_0 — число валентных электронов, Z_i — число электронов ионного остатка, участвующих в торможении. Обычно $v_{кр} \gg v_F$, поэтому

$$\begin{aligned} \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{к}} &= \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} n_0 \ln \frac{2mv^2}{\hbar\omega_p}, \\ \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{нк}} &= \frac{4\pi Z_1^2 e^4}{mv^2} n \ln \left| \frac{2mv^2}{I} \right|, \end{aligned} \quad (5)$$

где I — средний ионизационный потенциал.

Как видно из рис. 2, эффект каналирования наиболее четко выражен при скоростях $v \approx v_{кр}$. При больших скоростях $\eta \rightarrow 1$, так как при этом каналированные частицы эффективно тормозятся на электронах, находящихся далеко от оси канала. Эффект каналирования трудно обнаружить в эксперименте по торможению при $v \approx v_F$, так как при этом η также стремится к единице. Это происходит вследствие того, что при малых скоростях основные потери энергии как каналированных, так и неканалированных частиц происходят на валентных электронах. Прямой эксперимент, проведенный недавно Готтом и Тельковским [5], подтверждает, что торможение неканалированных частиц при малых скоростях обусловлено валентными электронами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кумахов М. А. Совещание по физике неметаллических кристаллов. Минск, 1968 (Тезисы доклада, стр. 10).
2. Кумахов М. А. «Физика твердого тела», 10, 2854, 1968.
3. Lindhard J., Winther A. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 34, No. 4, 1964.
4. Cahin M., Nicholson P. Rev. Mod. Phys., 39, 361, 1967.
5. Готт Ю. В., Тельковский В. Г. «Физика твердого тела», 9, 2221, 1967.

Поступила в редакцию
4.10 1968 г.

НИИЯФ