

ПЛОСКОСТНОЕ КАНАЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ
И ПОЗИТРОНОВ ПРИ ТЭВ-НЫХ ЭНЕРГИЯХ

М.Х. Х о к о н о в

Основным механизмом, определяющим эволюцию функции распределения (ФР) каналированных электронов и позитронов при относительно низких (до 10 ТэВ) энергиях, является многократное рассеяние [1], влиянием же радиационных энергетических потерь можно при этом пренебречь. Рассмотрим другой предельный случай сверхвысоких энергий, когда на глубинах много меньших глубин деканализации силы радиационного трения существенно влияют на движение частиц в режиме плоскостного каналирования. Такой случай соответствует энергиям ~ 1 ТэВ для плоскостного и ~ 100 ТэВ для осевого каналирования соответственно.

Пусть $f(\xi, p, z)$ - ФР частиц в плоскостном канале на глубине z , ξ - поперечная энергия, $p \approx E$ - полный импульс частицы ($m_0 = c = 1$), тогда в рассматриваемом случае кинетическое уравнение Белошицкого-Кумахова [2] примет вид

$$\frac{\partial f}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial \xi} \left\langle \frac{2\Delta\bar{p}}{\rho\Delta z} (\xi - U(x)) \right\rangle f - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \rho \left\langle \frac{\Delta\bar{p}}{\Delta z} \right\rangle f, \quad (1)$$

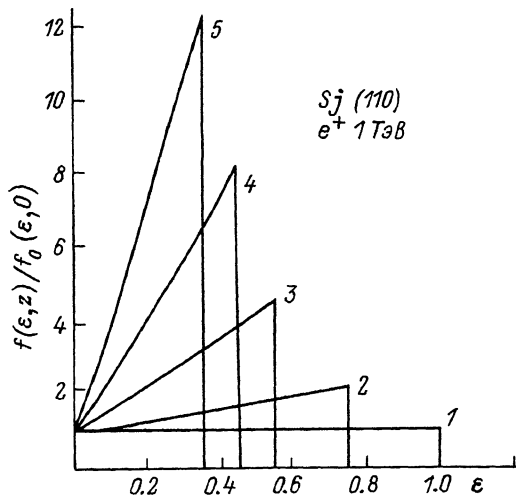
где $U(x)$ - потенциал плоскостного канала, x - поперечная координата. Коэффициенты переноса в (1) вычисляются с помощью известного выражения для радиационных энергетических потерь [3]

$$-\frac{dE}{dz} = \frac{2}{3} (eE)^2 \langle |\nabla U|^2 \rangle. \quad (2)$$

Угловые скобки в (1) и (2) означают усреднение по периоду поперечного движения в канале.

Уравнение (1) точно решается для случая плоскостного каналирования позитронов в потенциале

$$U(x) = 4U_0(x/d)^2, \quad (3)$$



$S_j(110)$
 $e^+ 1 \text{ ТэВ}$

Отношение ФР по поперечным энергиям на глубине z к ФР при $z = 0$ для позитронов, каналированных плоскостями (110) кремния. Начальная энергия пучка 1 ТэВ, угол влета в канал $\psi = 0$. Кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют глубинам проникновения 0, 0.5, 2, 5 и 10 мм соответственно.

где d – межплоскостное расстояние, U_0 – глубина потенциального барьера.

Если $f_0(\mathcal{E}, E)$ – начальная функция распределения позитронов в канале, то решение уравнения (1) имеет вид (поперечная энергия берется в единицах U_0)

$$f(\mathcal{E}, E, z) = f_0(\mathcal{E}_0, E_0) a^{-d/3}, \quad a = 1 - 2I_0 \mathcal{E} E z, \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E} a^{-1/3}, \quad E_0 = E a^{-2/3}, \quad I_0 = (2U_0 e/d)^2.$$

Уменьшение поперечной и полной энергий с глубиной определяется формулами

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 b^{-1/3}, \quad E = E_0 b^{-2/3}, \quad b = 1 + 2I_0 \mathcal{E}_0 E_0 z, \quad (5)$$

где \mathcal{E}_0, E_0 – значения при $z = 0$. Из формул (5) вытекает соотношение для взаимосвязи поперечной и полной энергий, полученное ранее в [4], в пределе $\mathcal{E} E \gg 1$.

На рисунке показаны результаты расчета для позитронов с начальной энергией 1 ТэВ по формуле (4), проинтегрированной по всем E . Видно, что на глубинах в несколько миллиметров (это на два порядка меньше характерных глубин деканализации) происходит резкое увеличение числа электронов, движущихся с относитель-

но малыми поперечными энергиями. При этом, однако, значение ФР на дне ямы не меняется. Аналогичный эффект имеет место и для электронов, что приводит к резкому увеличению числа электронов, движущихся в области с сильным ядерным рассеянием. Согласно формулам (5) при $\mathcal{E}_0 = 1$ ТэВ поперечная энергия позитронов уменьшается вдвое на глубинах ~ 3 мм ($\mathcal{E}_0 = 1$) и при этом теряется ~ 75 процентов энергии пучка, для электронов же аналогичная глубина составляет ~ 0.6 мм и теряется ~ 63 процента энергии. Таким образом за счет больших энергетических потерь электроны уменьшают свою поперечную энергию значительно быстрее, чем позитроны.

Заметим, что уменьшение поперечной энергии позитронов не приводит к радиационному охлаждению пучка, так как полная энергия уменьшается с ростом Z быстрее, чем поперечная, в результате характерные углы между вектором скорости и плоскостью увеличиваются с ростом Z по закону $\theta \sim (1 + 2I_0 E_0 \mathcal{E}_0 Z)^{1/6}$.

При энергиях $\lesssim 100$ ГэВ в кинетическом уравнении (1) необходимо учитывать и диффузионные члены [1].

Таким образом при сверхвысоких энергиях имеет место эффект резкого уменьшения поперечной энергии каналированных частиц на глубинах много меньших характерных глубин деканалирования.

Л и т е р а т у р а

- [1] Beloshitsky V.V., Trikalinos C.G. - Rad. Eff., 1981, v. 56, N 1-2, p. 71-76.
- [2] Белошицкий В.В., Кумахов М.А. - ДАН СССР, 1973 г., т. 212, № 4, с. 846-849.
- [3] Wedell R. - Phys. Stat. Sol. (b), 1980, v. 99, N 1, p. 11-49.
- [4] Базылев В.А., Жеваго Н.К. - ЖЭТФ, 1979 г., т. 77, в. 4, стр. 1267-1275.

Кабардино-Балкарский
государственный университет

Поступило в Редакцию
23 мая 1988 г.