

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ БЫСТРОЙ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ПЛАЗМЕ С ФЕРМИ-РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В СИЛЬНОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ПОЛЕ

Э.А. АКОПЯН, Р.А. ГЕВОРКЯН, Г.Г. МАТЕВОСЯН

Институт радиопизики и электроники НАН Армении

(Поступила в редакцию 20 декабря 1993 г.)

Определены потери энергии быстрой заряженной частицы в плазме с Ферми-распределением, находящейся во внешнем СВЧ поле, в случае, когда скорость частицы больше скорости Ферми. Показано, что существуют области значений амплитуды внешнего поля, где потери отрицательны. Это открывает возможность ускорения заряженных частиц в этом поле.

Рассмотрим случай, когда тяжелая заряженная частица движется в плазме, находящейся в сильном высокочастотном поле. В пренебрежении осцилляциями пробной частицы и ионов под действием СВЧ поля выражения для потерь определяются известной формулой [1]:

$$\frac{dw}{dt} = -i \frac{4\pi q^2}{(2\pi)^3} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int dk \frac{ku}{k^2} I_n(ka) \frac{1}{\varepsilon(k, \Omega_n)}, \quad (1)$$

где q —заряд пробной частицы, u —его скорость, I_n —функция Бесселя n -го порядка, ε —диэлектрическая проницаемость среды, $a = \frac{eE_0}{\omega_0^2 m}$, $\Omega_n = ku - n\omega_0$, ω_0 , E_0 —частота и амплитуда внешнего поля, e и m —соответственно заряд и масса электрона.

Как показывает анализ, потери на излучение ленгмюровских волн могут обращаться в нуль при значениях амплитуды СВЧ поля, когда функция Бесселя нулевого порядка обращается в нуль. При этом потери определяются слагаемыми с $n \neq 0$ в выражении (1), которым соответствует излучение волн на частотах $n\omega_0 + \omega_{Le}$.

Суммируя ряд и интегрируя выражение (1) для плазмы с распределением Ферми, получим

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{q^2 \omega_0}{2u} \sqrt{3} \omega_L \left\{ \gamma I_0^2(\alpha \gamma) \ln(1 + \beta^2) + \frac{2}{\pi \alpha} \sin(2\gamma \alpha) \right.$$

$$\left. \left[\frac{\pi \exp(2\varepsilon - \pi)}{2\varepsilon - \pi} (\exp[(2\varepsilon - \pi)(\beta \gamma - 1)] - 1) - \ln \gamma \beta + \varepsilon^2 - \frac{\pi^2}{12} + (1 - \ln 2) \cos 2\varepsilon \right] \right\}, \quad (2)$$

где $\alpha = V_E / u$, $\gamma = \sqrt{3} \omega_L / \omega_0$, $\beta = u / V_F$, ω_L , V_F , V_E — соответственно ленгмюровская частота, скорость Ферми и скорость осцилляций электронов плазмы под действием СВЧ поля, а величина ε выбирается следующим образом:

$$\varepsilon = \begin{cases} \alpha - E(\alpha/\pi)\pi, & \text{если } \alpha - E(\alpha/\pi)\pi \leq \frac{\pi}{2}, \\ \pi - [\alpha - E(\alpha/\pi)\pi], & \text{если } \alpha - E(\alpha/\pi)\pi \geq \frac{\pi}{2}. \end{cases}$$

Символ E означает целую часть отношения α/π . Выражение (2) существенно упрощается, если выполняется условие $\beta \gamma = 1$. В этом случае выражение (2) принимает вид:

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{q^2 \omega_0}{2u} \sqrt{3} \omega_L \left\{ \gamma I_0^2(\alpha \gamma) \ln \left(\frac{1 + \gamma^2}{\gamma^2} \right) + \frac{2}{\pi \alpha} \sin(2\gamma \alpha) \left[\varepsilon^2 - \frac{\pi^2}{12} + (1 - \ln 2) \cos 2\varepsilon \right] \right\} \quad (3)$$

Как видно из формулы (3), существуют области значений амплитуды внешнего поля, где потери отрицательны.

Приведем некоторые оценки. Так, при $\omega_L = 1,6 \cdot 10^{14} \text{ сек}^{-1}$, $\omega_0 = 2 \cdot 10^{15} \text{ сек}^{-1}$ и скорости частицы $u = 3 \cdot 10^7 \text{ см/сек}$ темп ускорения для протона достигает величины 0,3 ГэВ/м. Этот результат намного больше темпа ускорения в традиционных ускорителях. Однако в плазме, помещенной в сильное высокочастотное поле, возникают параметрические неустойчивости со значительными инкрементами. Это накладывает ограничения на времена рассмотрения и, как следствие, на величину ускорения частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.М. Алиев, Л.М. Горбунов, Р.Р. Рамазашвили. ЖЭТФ, 61, 1477 (1971).

ԱՐԱԳ ԼԻՑԶԱՎՈՐՎԱԾ ՄԱՍՆԻԿԻ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԸ ՖԵՐՄԻ
ԲԱՇԽՈՒՄՈՎ ՊԼԱԶՄԱՅՈՒՄ, ՈՐԸ ԳՏՆՎՈՒՄ Է ՈՒԺԵՂ ԳԵՐՔԱՐԶԻ
ՀԱՃԱՄԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ

Է.Ա. ՀԱՎՈՐԹՅԱՆ, Ռ.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Հ.Հ. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

Որոշված են արագ լիցքավորված մասնիկի էներգիայի կորուստները Ֆերմիի բաշխումով պլազմայում, որը գտնվում է արտաքին ԳԲՀ դաշտում: Մասնիկի արագությունը մեծ է Ֆերմիի արագությունից: Ցույց է տրված, որ գոյություն ունեն արտաքին դաշտի ամպլիտուդի այնպիսի տիրույթներ, որտեղ կորուստները բացասական են: Դա թույլ է տալիս արագացնել լիցքավորված մասնիկները այդ դաշտում:

FAST CHARGED PARTICLE ENERGY LOSSES IN PLASMA WITH
FERMI-DISTRIBUTION PLACED IN STRONG HIGH-FREQUENCY FIELD

E.A. ACOPIAN, R.A. GEVORKIAN, G.G. MATEVOSSIAN

Energy losses are obtained for a fast charged particle moving in a plasma with Fermi-distribution placed in the microwave field. The case when the particle velocity exceeds Fermi-velocity is considered. Ranges of external field amplitude are shown to exist, in which the losses are negative, a fact which makes possible the acceleration of charged particles in such a field.