О влиянии модуляционной неустойчивости ленгмюровских волн на эволюцию функции распределения быстрых электронов, распространяющихся во вспышечной плазме

И.В. Кудрявцев, Ю. Н. Ницора

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Многие наблюдения косвенным образом свидетельствуют о наличии надтепловых электронов в плазме во время развития солнечных вспышек (например, DuijvemanA. и др.1982, Tsuneta S. 1994). В настоящее время, динамика распространения быстрых электронов в приближении парных кулоновских столкновений и генерация ими тормозного рентгеновского излучения достаточно хорошо изучена. В меньшей степени изучено влияние коллективных процессов в системе плазма-пучок на кинетику пучка электронов, хотя в различных работах указывалось на важную роль этих процессов. Так в работе (Каплан С.А. и др., 1977) отмечалось, что развитие модуляционной неустойчивости ленгмюровских волн, генерируемых пучками быстрых электронов во вспышечной плазме, может привести к "стабилизации" пучка электронов. При этом расстояние, на котором релаксирует пучок электронов намного превосходит длину квазилинейной релаксации. Это, в частности, может использоваться для объяснения радиовсплесков III типа. В работе (Галеев А.А. и др., 1977) было исследовано влияние модуляционной неустойчивости на релаксацию пучка быстрых электронов, распространяющихся в плазме. В качестве исходной, была использована система нелинейных дифференциальных уравнений для функции распределения электронов пучка и амплитуд электрического поля ленгмюровских волн, возбуждаемых пучком. Данная система уравнений решалась в предположении, что на некотором расстоянии от места инжекции устанавливается режим релаксации, при котором инкремент раскачки легмюровских колебаний пучком равен "эффективной" частоте диссипации резонансных с пучком волн вследствие модуляционной неустойчивости. В результате была получена функция распределения электронов пучка в режиме "стабилизации" и было получено, что пучок электронов релаксирует на расстоянии, намного превосходящем длину квазилинейной релаксации. Нам представляется целесообразным решить данную нелинейную систему уравнений численно, заранее не предполагая наличия режима "стабилизации". Данная нелинейная система уравнений решалась нами методом конечных разностей для различных значений концентрации электронов плазмы, пучка, температуры плазмы, начальной скорости электронов пучка и дисперсии начальной функции распределения пучка. Результаты решения задачи зависят от отношения концентрации электронов пучка к концентрации плазмы и отношения начальной скорости пучка к тепловой скорости электронов плазмы. При их увеличении влияние модуляционной неустойчивости усиливается, что приводит к изменению формы функции распределения пучка быстрых электронов. Однако, модуляционная неустойчивость не приводит к стабилизации пучка электронов. Пучок электронов релаксирует на расстоянии, сравнимом с длиной квазилинейной релаксации (см. Рис. 1). Это определяется тем, что на любом расстоянии от места инжекции функция распределения имеет участок с большой производной по скоростям и для этого, "узкого" по скоростям участка, инкремент пучковой неустойчивости всегда намного превышает "эффективную" частоту диссипации резонансных с пучком волн.

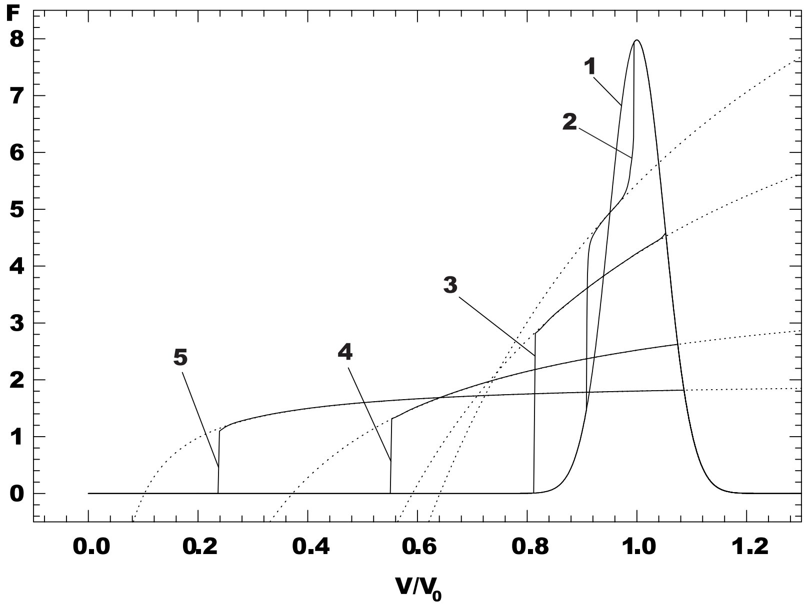

Рис.1. Зависимость функции распределения электронов пучка от скорости на различном расстоянии от места инжекции $Z = X \cdot V_0 \cdot N/(\pi \cdot N^b \cdot \omega_p)$ при начальной скорости пучка $V_0 = 10^{10}$ см/с, концентрации плазмы $N = 10^{10}$ см$^{-3}$; начальной колнцентрации пучка $N^b = 10^7$ см$^{-3}$. Температура плазмы - 10^6 K.
1- X=0; 2 - X=0,003; 3 - X=0,01; 4 - X=0,1; 5 - X=1.

Литература

Duijveman A.,Hoyng P., Machado M.E. // Solar Phys.,1982,V.81,P.137.

Tsuneta S.: // X-ray Solar Physics from Yohkoh / Ed. de Y.Uchida, Universal Academic Press, Tokyo, 1994, p.115.

Каплан С.А., Пикельнер С.Б., Цытович В.Н., Физика плазмы солнечной атмосферы. М.: Наука 1977, 256с.

Галеев А.А., Сагдеев Р.З. и др., ЖЭТФ, 1977, т.72, вып.2, стр. 507.