

Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 69 – 73

20 июля 1970 г.

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОННО-ЗВУКОВЫХ ВОЛН ЛЕНГМЮРОВСКИМИ
И СТАЦИОНАРНЫЕ РЕЖИМЫ В СИСТЕМЕ ПУЧОК – ПЛАЗМА**

А.С.Бакай, Е.А.Корнилов, С.М.Криворучко

Изучалось пороговое возбуждение ионно-звуковых волн ленгмюровскими и поведение амплитуд этих волн за порогом в системе пучок – плазма.

Как известно, электронные и ионные колебания плазмы эффективно взаимодействуют между собой и это взаимодействие обуславливает целый ряд нели-

нейных явлений: обмен энергией между волнами [1,2], управление спектрами колебаний при помощи внешней модуляции [3], пороговое возбуждение ионно-звуковых волн ленгмюровскими [4] и другие. Сущность последнего из перечисленных явлений состоит в том, что в присутствии интенсивной ленгмюровской волны (частота ω_0 , начальная амплитуда a_0) первоначально малая амплитуда b ионно-звуковой волны с частотой Ω и амплитуды $a \pm n$ ленгмюровских волн с комбинированными частотами $\omega_0 \pm n \Omega$ экспоненциально нарастают со временем, если a_0 превышает некоторое критическое (пороговое) значение,

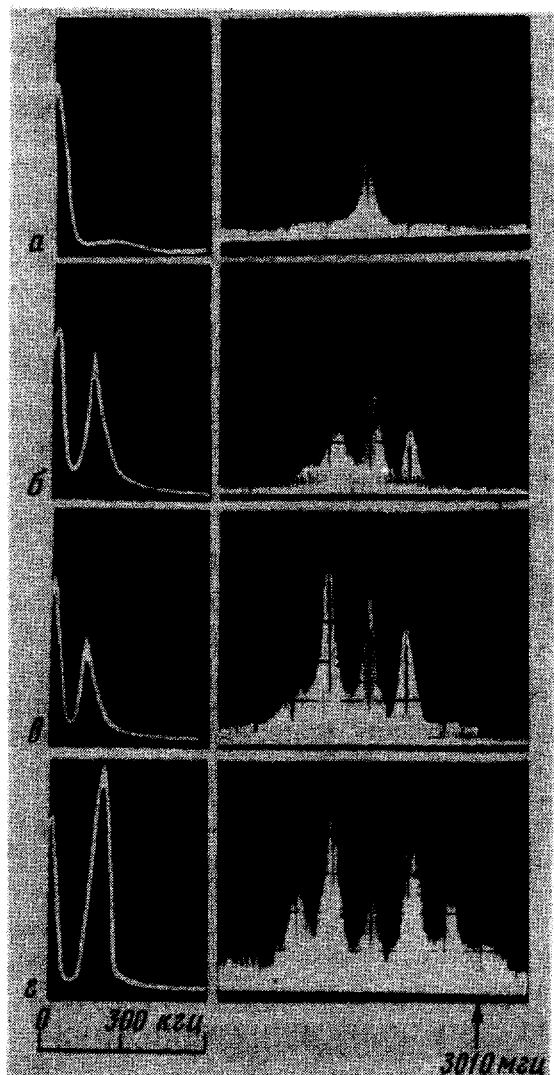


Рис. 1. Спектры ленгмюровских и ионно-звуковых колебаний при различных амплитудах внешнего сигнала $a - f < f_c$; $b - c - f > f_c$

зависящее от величины коэффициентов взаимодействия и затухания волн. Экспоненциальный рост первоначально малых амплитуд имеет место только на начальной стадии. С течением времени устанавливается стационарный режим, представляющий собой совокупность колебаний с перечисленными частотами и постоянными амплитудами. Естественно, режим с ненулевыми стационарными

амплитудами реализуется только, если существуют силы (внешнее поле, пучок), компенсирующие диссипацию энергии в системе взаимодействующих волн.

Взаимодействие между электронными и ионными колебаниями должны эффективно проявляться и играть существенную роль в системе пучок-плазма в условиях, когда пучок возбуждает интенсивные электронные колебания. Возбуждение ионных колебаний электронными приводит к эффективному нагреву не только электронов, но и ионов и оказывает существенное влияние на характер процесса возбуждения колебаний пучком.

При выполнении настоящей работы преследовались две цели: 1) исследовать взаимодействие ленгмюровских и ионно-звуковых колебаний в системе пучок-плазма; 2) изучить околороговые стационарные режимы в системе взаимодействующих волн. Это позволяет изучить динамику взаимодействия волн в системе пучок-плазма и выяснить возможность пучкового нагрева плазмы.

Эксперимент проводился на установке, описанной в [3]. Основные параметры эксперимента: плотность плазмы $\sim 10^{11}$ см⁻³; ток пучка ~ 100 ма, энергия 5 кэв, напряженность постоянного однородного продольного магнитного поля 1 кэс

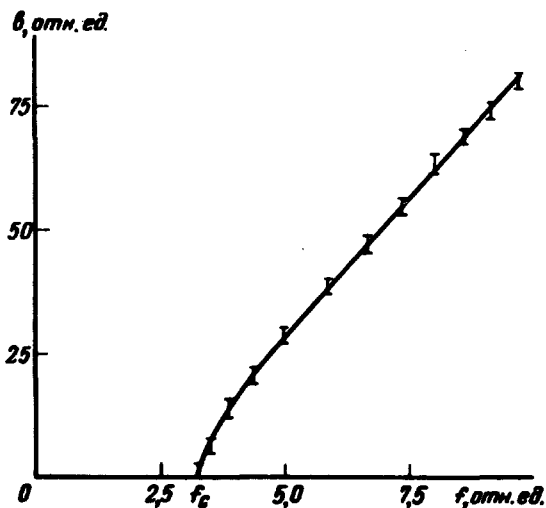


Рис. 2. Зависимость амплитуды ионно-звуковых колебаний от амплитуды внешнего сигнала

Эксперимент проводился в условиях усиления высокочастотного сигнала от внешнего генератора на частоте ω_0 , близкой к электронной плазменной частоте ω_p . При малых амплитудах f внешнего сигнала амплитуда волны в плазме a_0 с частотой ω_0 растет пропорционально f до некоторого критического значения, после чего возбуждаются ионно-звуковые и комбинированные волны. На рис. 1 приведена серия осциллограмм, сфотографированных с экранов анализаторов спектров, иллюстрирующая процесс возбуждения ионно-звуковых волн ленгмюровскими.

Согласно предсказаниям теории, развитой одним из авторов в работе [5] для стационарной амплитуды ионно-звуковых волн за порогом

$$b \sim \sqrt{f/f_c - 1} \quad \text{при} \quad (f - f_c)/f_c \ll 1,$$

где f_c — пороговое значение амплитуды внешнего сигнала. При $f/f_c \gg 1$ амплитуда b растет линейно по f . Из рис. 2 видно, что эти выводы находятся в хорошем согласии с экспериментом.

Выражения для амплитуд ленгмюровских колебаний вблизи порога можно представить в виде разложения по степеням амплитуды b . С точностью до квадратичных членов

$$\alpha_0 \sim 1 - c_0 b^2, \quad \alpha_{\pm 1} \sim c_{\pm 1} b, \quad \alpha_{\pm 2} \sim c_{\pm 2} b^2,$$

где $c_0, c_{\pm 1}, c_{\pm 2}$ — некоторые постоянные, зависящие от динамических параметров: коэффициентов взаимодействия, затухания волн и расстройек. Указанные соотношения между амплитудами наблюдаются экспериментально (рис. 3).

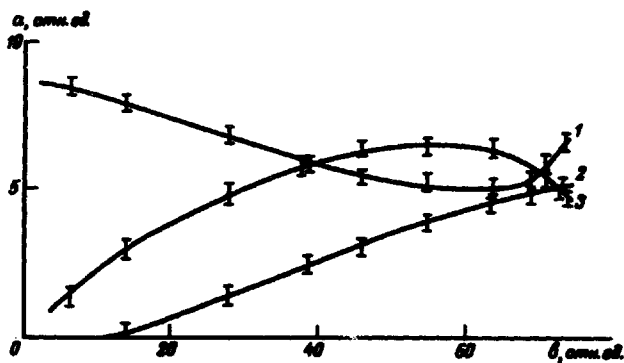


Рис. 3. Экспериментальные зависимости амплитуд $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ от амплитуды ионно-звуковых колебаний

Увеличение амплитуды внешнего сигнала f за порогом приводит к возбуждению "релаксационных" колебаний, аналогичных описанным в работе [6]. Эти колебания характеризуются интенсивной диффузией плазмы на стенки колбы и значительными колебаниями плотности и температуры плазмы.

Проведенные исследования показывают, что в системе пучок-плазма ионно-звуковые колебания возбуждаются, начиная с некоторой пороговой величины амплитуды ленгмюровских колебаний.

Мощность ионно-звуковых колебаний за порогом пропорциональна мощности внешнего высокочастотного сигнала P .

Мощность ленгмюровских колебаний за порогом растет как $P^{1/2}$.

Рост амплитуд ионно-звуковых и ленгмюровских колебаний ограничивается возбуждением релаксационных колебаний.

Авторы благодарны Я.Б.Файнбергу и В.П.Силину за обсуждение результатов и Л.И.Болотину за помощь и интерес к работе.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
8 июня 1970 г.

Литература

- [1] В.Д.Федорченко, В.И.Муратов, Б.Н.Руткевич, Ядерный синтез, 4 (4), 300, 1964.

- [2] Б.Б.Кадоцев. Турбулентность плазмы, в сб. Вопросы теории плазмы". Атомиздат, 1964.
- [3] С.М.Криворучко, Е.А.Корнилов. Письма в ЖЭТФ, 10, 465, 1969.
- [4] R.A.Stern, N.Tzoar, Phys. Rev. Lett., 17, 903, 1966.
- [5] А.С.Бакай. ЖЭТФ, 59, вып. 6, 1970.
- [6] Н.С.Гучельникова. Исследование турбулентной плазмы при некоторых неустойчивостях, Диссертация, Новосибирск, 1970.
-