

## НАБЛЮДЕНИЕ МОДУЛЯЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ЛЕНГМЮРОВСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Ю.Я.Бродский, А.Г.Литвак, С.И.Нечуев, Я.З.Слуцкер

Экспериментально исследована модуляционная неустойчивость ленгмюровских колебаний, возбуждаемых в изотропной плазме электронным пучком.

Сильная ленгмюровская турбулентность является одним из интересных объектов нелинейной физики плазмы. Несомненные успехи теоретического исследования этой проблемы стимулируют постановку специальных модельных экспериментов, направленных на изучение основных микропроцессов, определяющих характер динамики интенсивных ленгмюровских колебаний. В недавних экспериментах Вонга <sup>1</sup> зарегистрирован процесс ленгмюровского коллапса <sup>2</sup> (самосжатия неоднородных сгустков колебаний). В данной работе приведены первые результаты непосредственного наблюдения модуляционной неустойчивости ленгмюровских колебаний, возбуждаемых электронным потоком в однородной изотропной плазме.

Исследования проводились на установке, подробно описанной в <sup>3</sup>. Плазма создавалась в разряде низкого давления ( $P = 1 \div 1,5 \cdot 10^{-5}$  Торр, рабочий газ – ксенон) с накалимым катодом в камере диаметром 40 см и длиной 35 см с мультипольной магнитной изоляцией стенок. Катод представлял собой квадратную рамку со стороной 11 см, на которую были натянуты включенные параллельно вольфрамовые нити. Катод располагался у одного из торцов камеры на ее оси. Анодом служил корпус камеры. Для поддержания разряда к катоду относительно корпуса прикладывалось постоянное напряжение  $U_a = 50 \div 160$  В. Катоды работали в режиме температурного ограничения тока эмиссии  $J_0$ , что позволяло независимо варьировать концентрацию плазмы  $n_e$  в диапазоне от  $10^8$  до  $10^9$  см<sup>-3</sup> и напряжение  $U_a$ . Величина концентрации  $n_e$  была пропорциональна  $J_0$  и в выбранном диапазоне слабо зависела от  $U_a$ . Наличие пучка электронов с энергией  $\sim eU_a$  приводило к возбуждению ленгмюровских колебаний в стационарной изотропной плазме. Внутри камеры у другого торца помещался дополнительный анод диаметром 11 см, соединенный по постоянному току с корпусом камеры. На этот анод подавался короткий ( $\tau_n = 2 \div 10$  мкс) импульс высокого напряжения  $U_n = 1,5$  кВ положительной полярности. Ленгмюровские колебания в плазме регистрировались при помощи подвижной дипольной антенны. Эта антенна также могла использоваться в качестве двойного зонда для контроля параметров плазмы. К сожалению, регистрация колебаний во время действия импульса накачки была затруднена из-за присутствия интенсивного электронного пучка. Однако было установлено, что этот импульс не вызывает

дополнительной ионизации ввиду своей малой длительности (время между ионизирующими столкновениями  $\sim 100$  мкс).

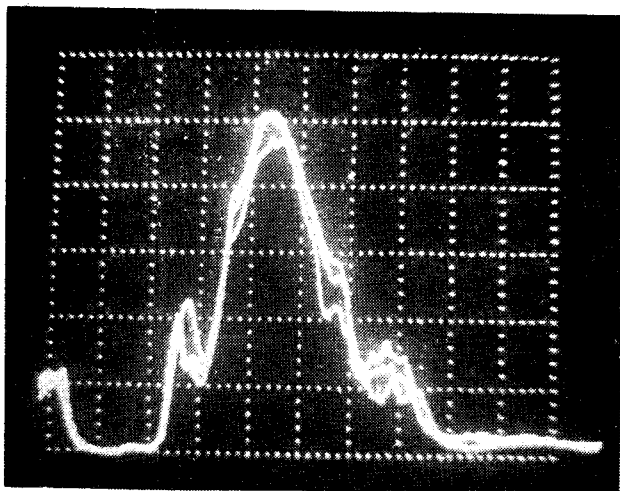


Рис. 1

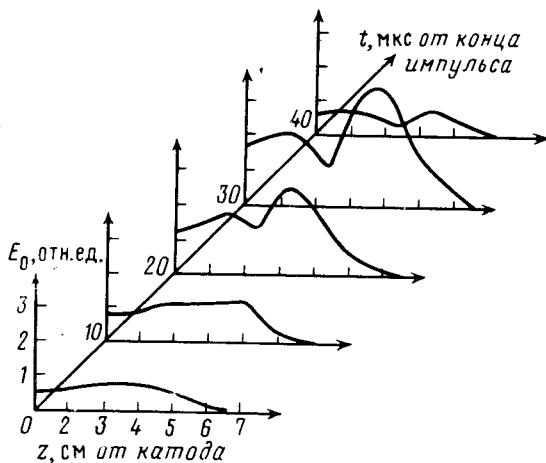


Рис. 2

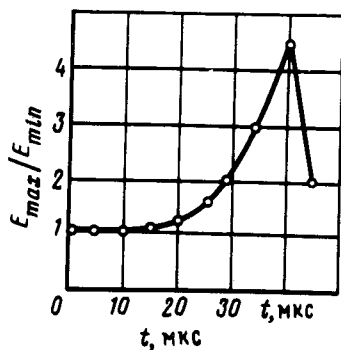


Рис. 3

Эксперименты показали, что характер ленгмюровских колебаний, существующих в стационарной плазме, при приложении высоковольтного импульса существенно менялся и они становились принципиально нестационарными. Сразу после окончания высоковольтного импульса накачки в плазме наблюдались "вспышки" интенсивных ленгмюровских колебаний длительностью  $\sim 20 \div 30$  мкс и с интервалом между ними  $10 \div 15$  мкс. Количество вспышек 2, реже 3 (рис. 1, скорость развертки — 10 мкс/дел). Наиболее интенсивные вспышки наблюдались при  $n_e \approx 7 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$ ,  $U_a = 120 \div 160 \text{ В}$ ,  $U_{и} = 1,5 \text{ кВ}$ . Имеется выраженный порог появления вспышек как по  $\tau_{и} \approx 2 \div 3 \text{ мкс}$  (при  $U_{и} = 1,5 \text{ кВ}$ ), так и по  $U_{и} \approx 200 \div 300 \text{ В}$  (при  $\tau_{и} = 10 \text{ мкс}$ ). На рис. 2 приведены распределения интенсивности колебаний вдоль оси камеры  $z$  для различных моментов времени. Из этого рисунка видно, что в начале вспышки характерный размер области поля составляет  $\sim 6 \text{ см}$ , однако с течением времени, наряду с ростом поля, происходит развал начального распределения на два сгустка с масштабами  $\sim 3 \text{ см}$ . Глубина модуляции (отношение максимальной амплитуды поля  $E_{max}$  к амплитуде в области перетяжки  $E_{min}$ ) нарастает со временем и достигает максимального значения через 35 — 40 мкс (рис. 3), хотя величина  $E_{max}$  к этому моменту уже начинает убы-

вать. Поперечные размеры области поля также составляли  $\sim 6$  см, детальные измерения временной динамики поперечного распределения пока не были проведены.

В эксперименте зарегистрировано понижение частоты ленгмюровских колебаний во время вспышки, что говорит об уменьшении концентрации плазмы в области поля. Поскольку время пробега ионного звука через область неоднородного поля ( $\sim 10$  нс) оказывается несколько меньшим, чем длительность вспышки, при проведении оценок можно считать нелинейность плазмы локальной  $\delta n_e = E_{max}^2 / 16\pi T_e$ . Изменение концентрации, отвечающее измеренному сдвигу частоты на величину  $\sim 15$  МГц, составляет  $\delta n_e = 0,15 n_e$ . Соответствующая оценка максимума напряженности поля  $E_0$  при  $T_e = 10$  эВ дает значение  $E_{max} \approx 100$  В/см, которое удовлетворительно согласуется с величиной, получаемой из оценки действующей длины применяемой антенны<sup>4</sup>:  $E_{max} \approx 200$  В/см.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о том, что в данном эксперименте непосредственно наблюдалось развитие модуляционной неустойчивости ленгмюровских колебаний изотропной плазмы. Оценки показывают, что масштаб нарастающих возмущений ( $\sim 2 \div 3$  см) оказывается на границе "включения" затухания Ландау ( $r_d \approx 0,1$  см). По-видимому, это является причиной как ограничения роста поля, так и отсутствия эффекта самоэсципации (коллапса) "сгустков колебаний", возникающих в результате неустойчивости.

#### Литература

1. Wong A. Y., Cheung P. Y. Phys. Rev. Lett., 1984, 52, 1222; Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 1880.
2. Захаров В.Е. ЖЭТФ, 1972, 62, 1745.
3. Бродский Ю.Я., Гольцман В.Л., Нечуев С.И., Слуцкер Я.З. ЖТФ, 1985, 55, 83.
4. Андронов А.А., Чугунов Ю.В. УФН, 1975, 116, 79.