

ДВУМЕРНЫЙ КОЛЛАПС ЛЭНГМЮРОВСКИХ ВОЛН

В.Е.Захаров, А.Ф.Мастрюков, В.С.Сынах

Приводятся результаты численного эксперимента, моделирующего развитие двумерного коллапса лэнгмюровских волн.

Вопрос о существовании лэнгмюровского коллапса – сильно нелинейного механизма поглощения лэнгмюровских волн, сопровождающегося образованием областей пониженной плотности плазмы ("каверн"), является одним из важных вопросов физики плазменной турбулентности. В первоначальной работе [1] рассматривался сферически-симметричный коллапс, однако в более поздних работах [2, 3] было показано, что сферический коллапс должен обладать некоторыми "патологическими" особенностями и вряд ли осуществляется в природе. Это связано с тем обстоятельством, что электрическое поле сферически-симметричных потенциальных колебаний обращается в нуль в начале координат, где, следовательно, имеется не максимум, а минимум высокочастотного давления. Поэтому формирование сферически-симметричной каверны, имеющей максимальную глубину в начале координат, невозможно, и сферически-симметричный коллапс может осуществля-

ться лишь в виде сходящегося к центру квазиплоского слоя (сферического солитона [3]), неустойчивого [4] относительно азимутальных возмущений.

Эта трудность преодолевается, если отказаться от требования сферической симметрии и предположить, что осуществляется конфигурация поля с максимумом высокочастотного давления в начале координат. Результат численного моделирования двумерной конфигурации такого рода и излагается в настоящей статье.

Мы рассматриваем дозвуковой случай (относительная плотность энергии колебаний $W/nT \ll m/M$) и описываем плазму при помощи комплексного вектора временной огибающей электрического поля

$$E = (1/2) \{ e^{-i\omega_p t} \vec{\mathcal{E}} + e^{i\omega_p t} \vec{\mathcal{E}}^* \} (8m\omega_p \sigma / e^2)^{1/2} (T_i + T_e)^{1/2}.$$

Вектор $\vec{\mathcal{E}}$ подчиняется уравнению [5]

$$i(\partial \vec{\mathcal{E}} / \partial r) + \Delta \vec{\mathcal{E}} - \epsilon \text{rot rot } \vec{\mathcal{E}} = \sigma |\vec{\mathcal{E}}|^2 \vec{\mathcal{E}}$$

где

$$r = \omega_p t, \quad \epsilon = c^2 / 3\omega_p^2 r_D^2 - 1.$$

В численном расчете полагалось $\sigma = -10$, $\epsilon = 5$, что соответствует горячей плазме с $T = 50$ кэВ.

Задача решалась в прямоугольнике $0 < x < l_{\parallel}$, $0 < y < l_{\perp}$ с граничными условиями

$$\left. \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial x} \right|_{x=0, l_{\parallel}} = 0, \quad \left. \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial y} \right|_{y=0, l_{\perp}} = 0, \quad \left. \frac{\partial \mathcal{E}_x}{\partial y} \right|_{y=l_{\perp}} = 0,$$

$$\mathcal{E}_x \Big|_{x=0, l_{\parallel}} = 0, \quad \mathcal{E}_x \Big|_{y=0} = 0.$$

Эти условия гарантируют возможность симметрично продолжать \mathcal{E}_y и антисимметрично \mathcal{E}_x через оси x и y , так что рассматриваемый нами прямоугольник представляет собой четвертую часть каверны. Начальные условия выбирались потенциальными:

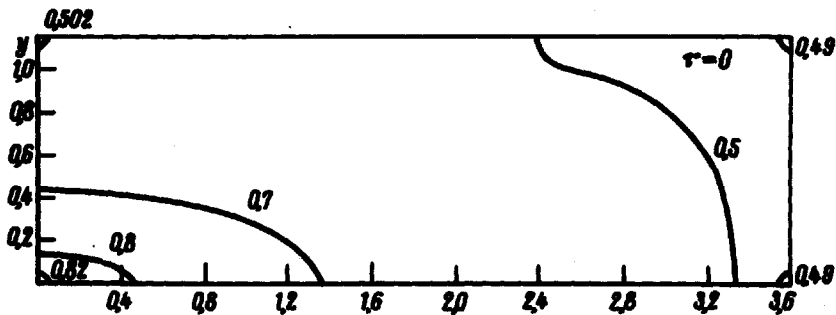
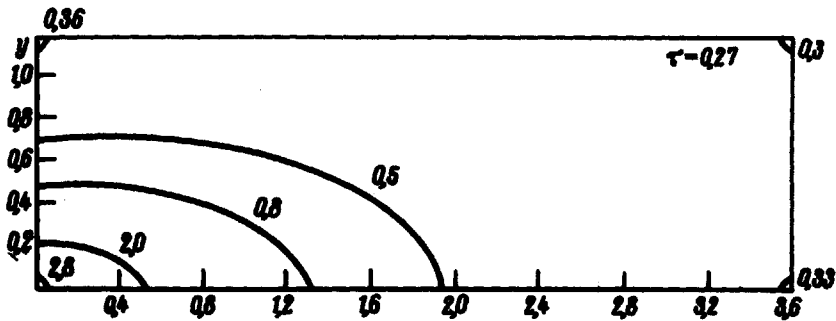
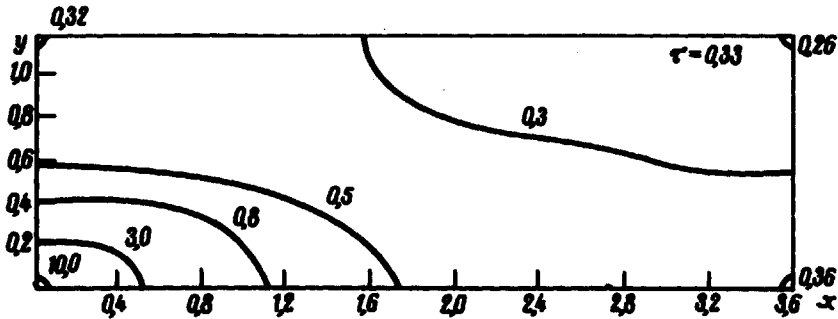
$$\mathcal{E}_x = -\frac{\pi}{4} \frac{E_0}{l_{\parallel}} \left(y + \frac{l_{\perp}}{\pi} \sin \frac{\pi y}{l_{\perp}} \right) \sin \frac{\pi x}{l_{\parallel}},$$

$$\mathcal{E}_y = E_0 \cos^2 \left(\frac{\pi y}{2l_{\perp}} \right) \cos^2 \left(\frac{\pi x}{2l_{\parallel}} \right) + \beta. \quad (2)$$

Мы полагаем $E_0 = 0,2$, $\beta = 0,7$, $l_{||} = 3,6$, $l_{\perp} = 1,16$. Шаг пространственной сетки составлял $0,04$, шаг по времени менялся в процессе счета от $3 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-4}$.

Начальное условие (2) обеспечивает максимум высокочастотного давления $u = \xi_x^2 + \xi_y^2$ в начале координат.

Численный эксперимент обнаружил существование лэнгмюровского коллапса: за время порядка $\tau = 0,35$ высокочастотное давление в начале координат выросло на порядок и произошло формирование схлопывающейся каверны. Последовательные фазы развития коллапса видны из рисунка, на котором приведены линии уровня высокочастотного потенциала u . Видно, что коллапс носит качественно автомодельный характер — отношение масштабов по x и y приблизительно сохраняется.



Наблюдавшаяся картина коллапса будет сохраняться до $W / n T \sim \sim m / M$, после чего коллапс приобретает сверхзвуковой характер. Несмотря на изменение характера коллапса, его основная причина — выталкивание плазмы из каверны высокочастотным давлением сохранится в сверхзвуковом режиме и следует ожидать, что коллапс будет про-

исходить вплоть до включения затухания Ландау ленгмюровских волн или до пересечения электронных траекторий.

Вычислительный центр
Сибирского отделения
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 апреля 1974 г.

Литература

- [1] В.Е.Захаров. ЖЭТФ, 62, 1745, 1972.
 - [2] А.Г.Литвак, Г.М.Фрайман, А.Д.Юнковский. Письма в ЖЭТФ, 19, 23, 1974.
 - [3] Л.М.Дегтярев, В.Е.Захаров, Л.Н.Рудаков. ЖЭТФ, (в печати).
 - [4] В.Е.Захаров, А.М.Рубенчик. ЖЭТФ, 65, 997, 1973.
 - [5] Е.А.Кузнецов. Препринт ИЯФ, СО АН СССР, 109-73, 1973;
Известия высш. уч. зав., сер. "Радиофизика" (в печати).
-