

ДВА ТИПА ЛЕНГМЮРОВСКИХ СОЛИТОНОВ

В.В. Янков

Показано, что при скорости, меньшей тепловой ионной, в плазме существует два типа солитонов, отличающиеся знаком своего потенциала.

Уже в первой работе по ленгмюровским солитонам [1] был рассмотрен как стоячий солитон — он являлся горбом потенциала и имел скорость $u \ll v_{Ti}$ — так и бегущий — яма потенциала, $u \gg v_{Ti}$. Ионы в этой и последующих работах описывались уравнениями гидродинамики, и область скоростей вблизи тепловой ионной не могла быть рассмотрена, но подразумевалось, что решения для стоячего и бегущего солитона в этой области переходят друг в друга.

В настоящей работе на основе кинетического рассмотрения утверждается, что при продолжении решения для бегущего солитона в область малых скоростей он остается для ионов потенциальной ямой, а найденный в работе [1] стоячий солитон является отдельной ветвью.

Ленгмюровские волны удобно описывать уравнением Шредингера [2], где в качестве потенциала подставляется вариация плотности плазмы

$$\delta n/n = \int f_i(v) (v / \sqrt{v^2 - 2e\phi/M} - 1) dv \quad (1)$$

здесь предполагается, что захваченных ионов нет, а функция распределения подставляется в системе координат, движущейся вместе с солитоном. Разлагая по малому параметру $(-e\phi/T_i)^{1/2}$, находим

$$\delta n/n = -f_i(0) 2 \sqrt{-2e\phi/M} + \frac{e\phi}{M} \int \frac{1}{v} \frac{\partial f}{\partial v} dv, \quad (2)$$

где интеграл понимается в смысле главного значения.

В области $u \lesssim v_{Ti}$ сразу получаем

$$\frac{e\phi}{M} = -\frac{1}{8} \left(\frac{\delta n}{n} \right)^2 f_i^{-2}(0) \quad (3)$$

этот потенциал мал по сравнению с действующими на электроны высокочастотным давлением, поэтому солитоны двух типов совпадают во всем, кроме взаимодействия с ионами.

При медленном торможении солитона-ямы (например, вследствие градиента плотности плазмы [3]) $\delta n/n$ почти не меняется, $f_i(0)$ — возрастает, следовательно, уменьшается глубина ямы. В мельчающую яму частицы не захватываются, поэтому формулы (2), (3) верны вплоть до остановки солитона. При увеличении скорости солитона яма потенциала углубляется, происходит захват ионов. Количество захваченных ионов может быть различным при заданной скорости солитона, и

в этом смысле солитон-яма имеет непрерывный спектр. При равномерном движении торможения на ионах не происходит даже вблизи v_{Ti} , в отличие от солитона-горба, который сильно тормозится при расфокусировке на ионах и существует фактически в неподвижном состоянии [4].

Солитон-яму потенциала можно надеяться опознать в экспериментах типа [5] по двум признакам: а) солитон-яма может двигаться и в случае $T_i \gg T_e$, б) перестройка солитон-ямы в солитон-горб должна происходить в результате бурной неустойчивости за время порядка нелинейного сдвига частоты в солитоне.

В заключение отметим, что все сказанное переносится и на электрозвуковые солитоны [6].

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
25 ноября 1978 г.

Литература

- [1] Л.И.Рудаков. ДАН СССР, 207, 821, 1972.
 - [2] В.Е.Захаров. ЖЭТФ, 62, 1745, 1972.
 - [3] К.В.Чукбар, В.В.Яньков, Физика плазмы, 3, 1398, 1977.
 - [4] В.В.Горев, А.С.Кингсеп. Физика плазмы, 1, 601, 1975.
 - [5] С.В.Антипов, М.В.Незлин, Е.Н.Снежкин, А.С.Трубников. Письма в ЖЭТФ, 23, 613, 1976; 15, 158, 1977.
 - [6] В.И.Карпман. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М., изд. Наука, 1973.
-