

23

ПОДАВЛЕНИЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ
ИОННОГО ЗВУКА В ПЛАЗМЕЭ.М.Бархударов, Н.А.Кервалишвили, В.П.Кортхонджия,
Н.Л.Цинцадзе, Д.Д.Цхакая

Параметрический резонанс на электронной и ионной плазменных частотах изучался в ряде работ [1 – 3]. В настоящей работе приводятся результаты исследования параметрического усиления ионно-звуковых колебаний при наложении на плазму низкочастотного электрического поля, а так же ряд данных, связанных с нелинейностью процессов, происходящих в плазме: подавление ионно-звуковых колебаний и резонансное усиление на частоте $f = 3f_0$, где f_0 – частота ионно-звуковых колебаний.

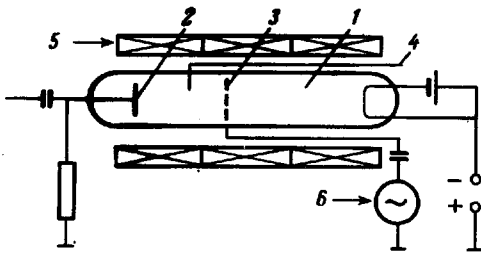


Рис. 1. Схема установки: 1 – катод, 2 – анод, 3 – сетка, 4 – зонд Ленгмюра, 5 – соленоид, 6 – НЧ генератор

Эксперименты проводились на установке, схема которой представлена на рис. 1. Диаметр разрядной трубки 5 см, длина – 23 см, катод вольфрамовый прямого накала. Между анодом и катодом располагались подвижные сетка и цилиндрический зонд Ленгмюра. Сетка имела форму звездочки и была выполнена из молибденовой проволоки диаметром 0,4 мм. Рабочим газом служил аргон при давлении $P \sim 10^{-3}$ мм рт.ст. Разрядные ток и напряжение менялись соответственно в интервале $I_0 = 0,1 + 0,4$ а и $U_0 = 30 + 50$ в. На трубку накладывалось продольное магнитное поле напряженностью $H = 0 + 50$ э. Температура электронов равнялась $T_e = 4$ эв, концентрация $n_e \sim 10^{10}$ см $^{-3}$.

В плазме при прохождении тока спонтанно возбуждались низкочастотные колебания соответствующие основной моде стоячей ионно-звуковой волны между сеткой и анодом. Действительно, частота наблюдаемых колебаний не зависела от разрядного тока, менялась обратно про-

порционально расстоянию между сеткой и анодом и хорошо совпадала со значением, вычисленным по формуле

$$f_0 = 1/L\sqrt{kT_0/m_1},$$

где m_1 — масса иона, L — расстояние между сеткой и анодом.

На сетку, находящуюся под плавающим потенциалом подавалось синусоидальное напряжение от генератора. Возбуждаемые в плазме колебания снимались с анода или зонда.

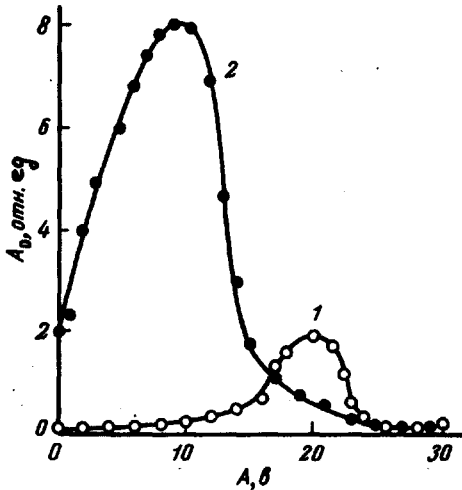


Рис. 2. Зависимость амплитуды ионно-звуковых колебаний A_0 от амплитуды внешнего сигнала A :
 1 — $L = 7$ см, $f_0 = 22$ кГц, $f = 45$ кГц; 2 — $L = 4,5$ см, $f_0 = 34$ кГц, $f = 68$ кГц

Эксперименты проводились в двух режимах, которые отличались друг от друга равным значением амплитуд U спонтанно возбуждаемых ионно-звуковых колебаний: 1) $eU/kT_0 \ll 1$ и 2) $eU/kT_0 \lesssim 1$. Результаты, относящиеся к первому случаю, приведены на рис. 2 (кривая 1) и рис. 3 (кривая 1). При наложении, на плазму переменного электрического напряжения определенной величины происходит усиление ионно-звуковых колебаний (рис. 2, кривая 1). В области малых и достаточно больших амплитуд внешнего сигнала указанный эффект отсутствует. Амплитуда ионно-звуковых колебаний имеет резонансы на частотах внешнего сигнала $f = 2f_0/n$ ($n = 1, 2, 3, 4$ и 6) рис. 3, кривая 1.

Данные, относящиеся ко второму случаю, приведены на рис. 2 и 3 кривые 2. Кривая 2 на рис. 2 указывает на отсутствие порога для усиления ионно-звуковых колебаний. При достаточно большой величине переменного напряжения на сетке происходит сильное подавление собственных колебаний, т.е. имеет место срыв ионно-звуковой неустойчивости. Подавление двухпучковой ионно-звуковой неустойчивости наблюдалось в работе [4]. Из рис. 3 (кривая 2) видно, что помимо частот $f = 2f_0/n$ ($n = 1, 2, 3, 4$ и 6), соответствующих параметрическому резо-

нансу, существует резонанс на частоте $f = 3f_0$, что свидетельствует о нелинейном характере взаимодействия переменного электрического поля с собственными колебаниями плазмы. Нелинейность может быть связана как с достаточно высоким уровнем собственных колебаний,

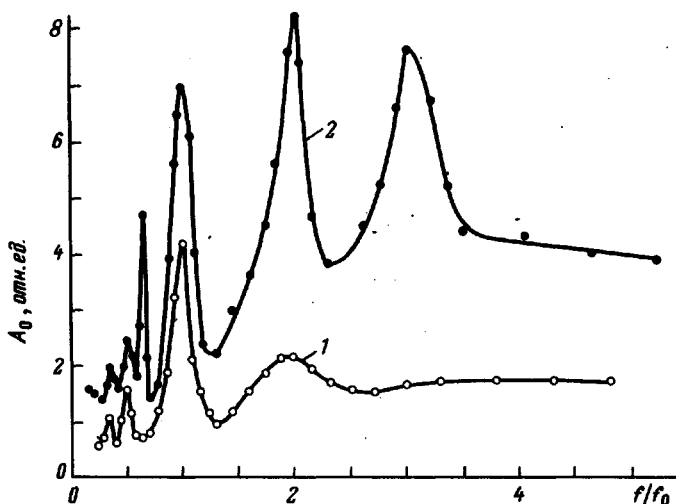


Рис. 3. Зависимость амплитуды ионно-звуковых колебаний A_0 от частоты внешнего сигнала f :
 1 - $L = 7$ см, $f_0 = 22$ кГц, $A = 20$ в;
 2 - $L = 4,5$ см, $f_0 = 34$ кГц, $A = 10$ в

так и с негармоничностью внешнего воздействия, поскольку амплитуда переменного напряжения порядка плавающего потенциала сетки. В случае $eU/kT_e \ll 1$ колебательные процессы в системе могут быть описаны уравнением типа

$$\frac{\partial^2 X}{\partial t^2} + \omega_0^2(1 + h \cos \omega t)X = 0,$$

где $h \ll 1$, $\omega_0 = \pi/L\sqrt{kT_e/m_i}$, ω - частота сигнала. Переменное напряжение на сетке может приводить к колебанию электрического слоя у сетки (т.е. к изменению длины волны) и, кроме того, за счет частичного проникновения поля в плазму, к периодическому изменению температуры электронов [5].

В первом случае

$$h \approx \Delta L/L \approx 1/L\sqrt{A/2\pi n_e e}$$

(A – амплитуда сигнала на сетке), а во втором случае

$$h = 2\delta \nu E / \omega E_0,$$

где ν – частота соударений электрона с нейтральными атомами, E – амплитуда переменного электрического поля в плазме, E_0 – напряженность постоянного электрического поля, δ – доля энергии, передаваемой электронами нейтральным атомам при соударении. Проведенные нами оценки в обоих указанных выше случаях дают один и тот же порядок величины $h \sim 10^{-2}$.

Для выяснения возможного механизма параметрического усиления, а также эффекта подавления ионно-звуковой неустойчивости необходимо проведение дополнительных исследований.

При подготовке данного сообщения к печати мы ознакомились с работой [6], в которой наблюдалось параметрическое возбуждение ионного звука на частоте $f = 2f_0$.

Институт физики
Академии наук Грузинской ССР

Поступило в редакцию
15 января 1969 г.

Литература

- [1] Ю.М.Алиев, В.П.Силин, ЖЭТФ, 48, 601, 1965.
- [2] K. Kato, M. Yoseli, S. Kiyama, S. Watanabe. J. Phys. Soc. Japan, 20, 2097, 1965.
- [3] Jun-ichi Okutani. J. Phys. Soc. Japan, 23, 110, 1967.
- [4] T. Obiki, B. Itatani, Y. Otani. Phys. Rev. Lett., 20, 184, 1968.
- [5] В.Л.Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., Физматгиз, 1960.
- [6] H. Tanaka, S. Watanabe. J. Phys. Soc. Japan, 24, 969, 1968.