

Письма в ЖЭТФ, том 19, вып. 6, стр. 343 – 347.

20 сентября 1973 г.

СТРУКТУРА НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ РАЗВИТИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ИОН-ИОННОЙ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЕ

*М. Д. Габович, А. М. Гладкий, В. П. Коваленко,
Ю. Н. Козырев, А. П. Найда*

Впервые непосредственно измерено электрическое поле нелинейной волны, возбуждаемой в синтезированной ион-ионной и электронно-пучковой плазмах и связанной с группированием заряженных частиц и захватом их полем волны.

Вопрос об амплитуде и форме волн на нелинейной стадии неустойчивостей, развивающихся в двухпучковой и плазменно-пучковой системах, рассматривался в целом ряде теоретических работ [1 – 5]. В настоящей работе впервые проведено непосредственное измерение электрического поля волн, возбуждаемых в синтезированной ион-ионной [6] и элек-

тронно-пучковой [7] плазме. Для этой цели использовался зондирующий электронный луч (рис. 1), который пронизывал исследуемую систему под прямым углом, не оказывая на нее возмущающего воздействия. Время пролета зондирующих электронов было много меньше периода изучаемых колебаний. Отклоняясь в поле плазменных колебаний вдоль оси z и в синусоидальном поле между пластинами 7 вдоль оси x , луч 5 вычерчивал на экране 8 фигуру, по которой определялась временная зависимость электрического поля волны.

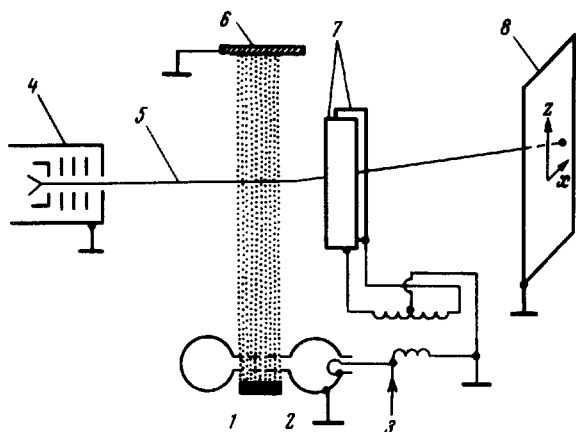


Рис. 1. Схема эксперимента: в случае электронно-пучковой плазмы 1 — катод, 3 — вход СВЧ мощности, 4 — электронная пушка, 6 — коллектор

Синтезированная ион-ионная плазма получалась как описано в работе [6]; энергия составляющих ее взаимоникающих пучков положительных и отрицательных ионов водорода была $W_0 \approx 13 \text{ кэВ}$, ток каждого компонента — до 3 ма . В камере взаимодействия, на входе которой осуществлялась модуляция пучков по скорости с амплитудой \tilde{v}_0 , пучки распространялись вдоль оси z с небольшой регулируемой относительной скоростью $2\Delta v (\tilde{v}_0 \ll \Delta v)$.

Электронно-пучковая плазма создавалась в аргоне электронным пучком энергии порядка 100 эВ и током $\approx 10 \text{ ма}$. Концентрация плазмы была $n_p = 2 \cdot 10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$ и примерно на порядок превышала плотность электронов пучка n_θ . Нарастающая монохроматическая волна в этом случае (рис. 1) возбуждалась путем модуляции скорости пучка высокочастотным резонатором 2 на частоте меньше плазменной.

В случае ион-ионной плазмы вблизи оптимальной относительной скорости ее компонент, которой соответствует максимум инкремента неустойчивости [6], в системе образуется нелинейная волна (рис. 2), характеризующаяся появлением острых импульсов электрического поля большой амплитуды. Направление этого поля определяется знаком относительной скорости: поле тормозит частицы быстрого пучка и ускоряет частицы медленного. Изменение формы волны сопровождается асимметричным размытием функции распределения каждого из пучков по энергиям

(рис. 2), свидетельствующем о торможении и отражении части частиц потенциалом волны, т. е. о захвате частиц волной. Усредненная по времени функция распределения каждого из пучков определялась с помощью анализатора Юза – Рожанского (стрелкой на рис. 2 отмечена энергия W_0 , соответствующая скорости волны). Имея в виду группирование каж-

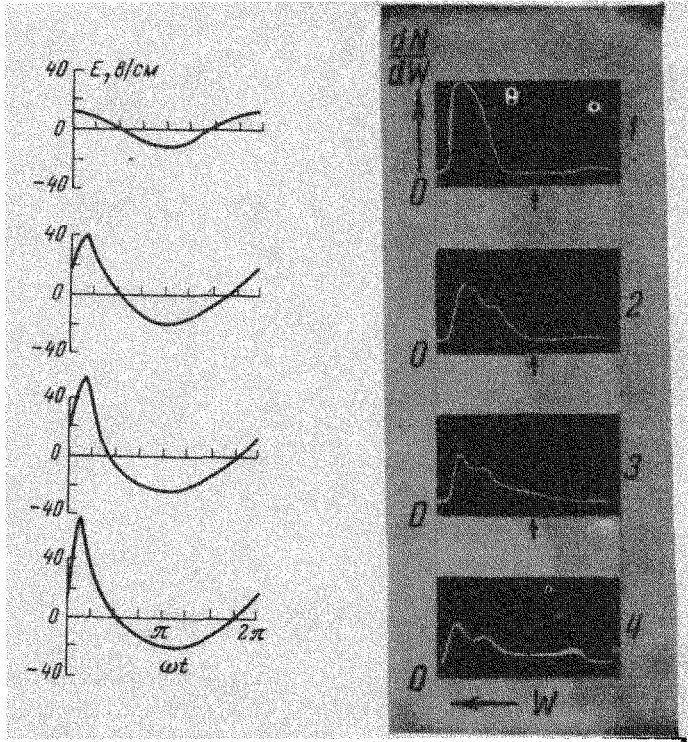


Рис. 2. Изменение профиля волны и функции распределения положительных ионов при увеличении амплитуды начальной модуляции. $f_{\text{мод}} = 28 \text{ МГц}$, $z = 120 \text{ см}$, $2\Delta W = W_+ - W_- = 1,6 \text{ кэВ}$. v_0 равно: 1 – 1; 2 – 1,6; 3 – 2,2; 4 – 3,3 отн. ед.

дого из пучков в сгустки [8], можно оценить максимальную напряженность электрического поля в волне, как поля между плоскими слоями зарядов разного знака: $E = 2\pi en\lambda$. Вычисленное для условий эксперимента ($n \approx 2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$, $\lambda = 5,7 \text{ см}$) максимальное поле $E \approx 120 \text{ в/см}$ удовлетворительно согласуется с измеренной средней величиной $E \approx 50 \text{ в/см}$. Можно заключить, что наблюдавшаяся структура нелинейной волны связана с образованием в каждом из пучков сгустков и захватом их полем волны. Такая структура поля приводит к обмену энергией между пучками, показанному ранее [8].

На рис. 3 приведены фотографии некоторых типичных фигур на люминесцентном экране и соответствующие им временные профили электрического поля, полученные в случае пучково-плазменной системы. Если зондирующий луч пересекает плазму на участке экспоненциального нарастания колебаний, то профиль волны синусоидальный (рис. 3, а).

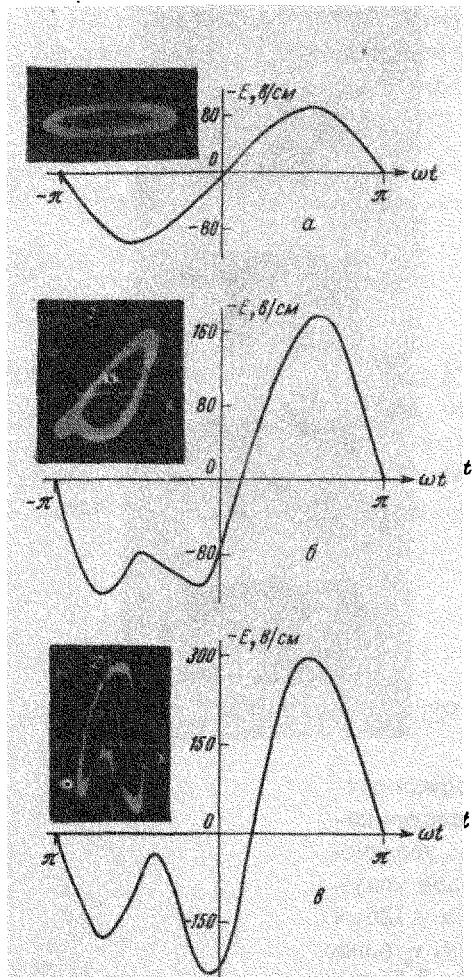


Рис. 3. Осциллограммы и соответствующие им временные профили электрического поля волны на линейной (а) и нелинейной (б, в) стадиях неустойчивости и электронно-пучковой плазмы: а — плазменная частота $f_p = 675$ МГц, частота модуляции $f_{\text{мод}} = 454$ МГц; б — $f_p = 500$ МГц, $f_{\text{мод}} = 325$ МГц; в — $f_p = 750$ МГц, $f_{\text{мод}} = 460$ МГц

В области же нелинейного насыщения колебаний — мениске — высокочастотное поле уже негармоническое: в отрицательный полупериод отчетливо наблюдается характерная особенность (рис. 3, б, в). Анализ, проведенный на основе работы [9], позволяет заключить, что наблюдаемая структура волны является следствием сильной группировки электронов пучка в поле волны.

Литература

- [1] H.L.Berk, K.V.Roberts. Phys. Rev. Lett., 19, 297, 1967.
 - [2] R.L.Morse, C.Nielson. Phys. Rev. Lett., 23, 1087, 1969.
 - [3] U.Finzi. Plasma Physics, 14, 327, 1972.
 - [4] И.Н.Онищенко, А.Р.Линецкий, Н.Г.Мациборко, В.Д.Шапиро, В.И.Шевченко. Письма в ЖЭТФ, 12, 407, 1970.
 - [5] Th. O'Neil, I.H.Winfrey, I.H.Malmberg. Phys. Fluids, 14, 1204, 1971.
 - [6] М.Д.Габович, А.П.Найда. ЖЭТФ, 60, 965, 1971.
 - [7] М.Д.Габович, В.П.Коваленко. ЖЭТФ, 57, 716, 1969.
 - [8] М.Д.Габович, А.П.Найда. Письма в ЖЭТФ, 14, 3, 1971; ЖЭТФ, 62, 183, 1972.
 - [9] В.П.Коваленко. ЖЭТФ, 60, 2122, 1971.
-