

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ
ЭФФЕКТА "ПРОСВЕТЛЕНИЯ" ВОЛНОВОГО БАРЬЕРА
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ**

В. Н. Оравский, Л. И. Романюк, Н. Е. Сивильный,

В. В. Усталов

Экспериментально обнаружено прохождение волн с частотой ниже плазменной сквозь барьер плотности в неоднородной плазме. Наблюдаемый эффект "просветления" волнового барьера связывается с переносом возмущения сквозь барьер частицами, захваченными волной.

В работе [1] теоретически был предсказан эффект "просветления" волновых барьеров для плазменных волн¹⁾, суть которого состоит в следующем. Электроны, захваченные в потенциальные ямы такой волны (частоты ω), движущейся в направлении концентрационного барьера, где

¹⁾ Как показано в [1] аналогичный эффект существует и для необыкновенных электромагнитных волн.

плазменная частота $\omega_p \gg \omega$, при затухании поля волны как бы высыпаются из потенциальных ям и проходят сквозь барьер, создавая в плазме за ним промодулированный ток частиц. Этот ток при определенных условиях в плазме за барьером может резонансно возбудить в ней волну конечной амплитуды. В этом случае эффективный коэффициент прохождения волн сквозь барьер уже не оказывается экспоненциально малым.

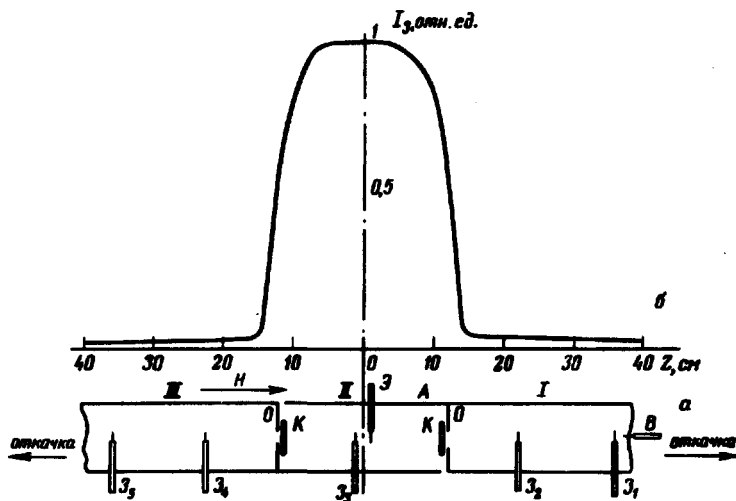


Рис. 1. а) Схема установки, А – анод, К – катоды, О – отражатели. б) аксиальный профиль тока насыщения, $I_0 = 1$ а; $V_0 = 100$ в; аргон

Эксперименты по обнаружению эффекта "просветления" волнового барьера для электронных плазменных волн в неоднородной плазме проводились на установке, схематически изображенной на рис. 1, а. Для создания концентрационного барьера использовалось истечение плазмы в вакуумные области I и III из разряда Пеннинга с накаленным катодом, который осуществлялся в разрядном промежутке II [2].

Вся система помещалась в однородное магнитное поле, величина которого в настоящих экспериментах не превышала 70 э, чтобы в плазме разряда не возбуждались интенсивные низкочастотные колебания, обусловленные вращательной неустойчивостью [3].

Рабочий газ (аргон, гелий) подавался в центральную часть области II и его давление обычно составляло $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. для разряда в гелии и $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. для разряда в аргоне; при этом давление в областях II и III было примерно на порядок меньше.

На рис. 1, б представлен типичный аксиальный профиль ионного тока насыщения на зонд, перемещающийся вдоль оси системы, который отражает соответствующий профиль плотности. Абсолютные значения плотности в максимуме аксиального распределения при $l = 1$, а составляли $1 \cdot 10^{11}$ см⁻³ для аргона и $5 \cdot 10^{10}$ см⁻³ для гелия. В области проникающей плазмы концентрация была порядка 10^8 см⁻³ и монотонно уменьшалась при удалении от выходного отверстия в отражателе.

Возбуждение плазменных волн производилось в области I с помощью зонда-вибратора В, на который подавался сигнал от ВЧ генератора Г4-7А с амплитудой 0,5 в на частотах $f = 20 + 50 \text{ МГц}$, соответствующих ω_{pe} в проникающей плазме. Колебания в плазме регистрировались системой изолированных ВЧ зондов $3_1 - 3_5$. Сигнал с ВЧ зонда после усиления широкополосным усилителем УЗ-5 и узкополосным приемником ИП-26 подавался на двухкоординатный самописец ПДС-021 для получения зависимостей амплитуды колебаний, принимаемых зондом ($u_1 - u_5$) от величины разрядного тока.

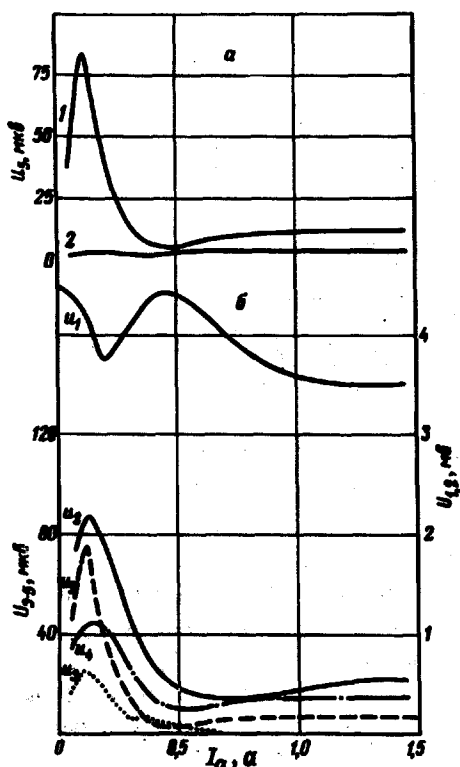


Рис. 2. Зависимости амплитуды колебаний от разрядного тока; $V_0 = 100 \text{ в}$; $f = 20 \text{ МГц}$, гелий; а) u_5 , 1 — экран параллелен оси системы, 2 — экран перпендикулярен оси системы; б) u_1 , u_2 — сигналы на 1 и 2 зонды, $u_3 - u_5$ — разностные сигналы соответственно на 3, 4 и 5 зонды

Эксперимент показал, что в области III при определенных условиях наблюдаются колебания на частоте возбуждения, амплитуда которых резонансным образом зависит от разрядного тока (см. кривую 1, рис. 2, а). Если физический механизм возникновения колебаний в области III в самом деле описывается теорией "просветления" волновых барьеров [1], то, исключив возможность попадания в область III потока электронов, сгруппированных волной в области I, следует ожидать исчезновения колебаний в области III. Действительно, при повороте введенного в плазму разряда тонкого диэлектрического экрана Э в положение, исключающее возможность прямого пролета электронов из области I в область III, колебания в последней не наблюдались во всем диапазоне изменения разрядного тока (см. кривую 2, рис. 2, а). В то же время амплитуда колебаний в I области почти не изменялась. Поворот экрана слабо влиял на стационарные параметры плазмы в системе. В дальнейшем амплитуда колебаний в цепи зондов 3, 4 и 5 обусловленная

исследуемым эффектом, определялась как разность сигналов, полученных при установке экрана параллельно геометрической оси системы и перпендикулярно к ней.

На рис. 2, б приведены зависимости амплитуды колебаний во всех трех областях плазмы от величины разрядного тока. Легко видеть, что, во-первых, они имеют резонансный характер и, во-вторых, амплитуда колебаний резко падает в области II, а затем снова возрастает в области III. Последнее свидетельствует в пользу существования эффекта "просветления" волнового барьера. Наличие колебаний во II области, возможно, связано с раскачкой сгруппированными электронами вынужденных колебаний.

Резонансный характер полученных зависимостей дает основание предположить, что возбуждаемые в I и III областях волны раскачиваются на частотах электронных плазменных колебаний. В пользу этого предположения свидетельствует также сдвиг величины тока, при котором наблюдался резонанс, с увеличением частоты возбуждения (см. рис. 3).

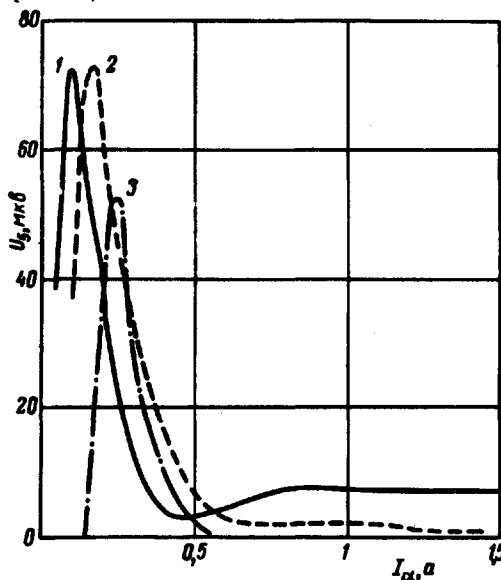


Рис. 3 Зависимости амплитуды колебаний в III области от разрядного тока; гелий, 1 - $f = 20 \text{ МГц}$; 2 - $f = 25 \text{ МГц}$; 3 - $f = 30 \text{ МГц}$

Аналогичные результаты были получены для разряда в аргоне. Указанные эффекты наблюдались также при перекрытии отверстий. В отражателях металлической сеткой с размером ячейки $2 \times 2 \text{ мм}$, и при смещении зонда вибратора по радиусу за пределы этих отверстий. Последнее, в частности, указывает на то, что наблюдаемые эффекты не связаны с возбуждением в плазме так называемых "псевдоволн" [4].

Таким образом, изложенные в настоящей работе результаты можно считать первым качественным подтверждением существования эффекта "просветления" волновых барьеров. Для более детального исследования его предполагается проведение дополнительных экспериментов.

Авторы выражают благодарность Б.Б.Кадомцеву за обсуждение результатов работы.

Литература

- [1] В.В.Лиситченко, В.Н.Ораевский ДАН, 201, 1319, 1971.
 - [2] М.Д.Габович, Л.И.Романюк, Е.А.Лозовая. ЖТФ, 34, 488, 1964.
 - [3] В.Г.Наумовец, Л.И.Романюк, В.М.Слободян. УФЖ, 15, 377, 1970.
 - [4] M. Feix. Phys. Lett . 9, 123, 1964.
-