

ПОИСКИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ НА ТУРБУЛЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

Б.А.Демидов, С.Д.Фанченко

Как показывает теория комбинационного рассеяния электромагнитных волн на электронных колебаниях ограниченной плазмы [1], сигнал комбинационного рассеяния может дать весьма ценную информацию об уровне турбулентных колебаний ¹⁾. В связи с этим на тороидальной плазменной установке, описанной в [6], были предприняты поиски рас-

сеяния электромагнитных волн от внешнего источника с изменением частоты.

Схема опыта представлена на рис. I. Здесь 1 - аттензатор, 2 - ферритовая развязка, 3 - фильтр, ослабляющий сигнал с $\lambda = 1,5$ см

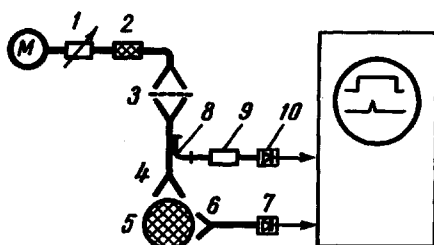


Рис. I. Схема установки

на 30 дБ, 4 - передающая антенна, 5 - плазма, 6 - приемная антенна, 6-7 - заградительный волновод, 7 - приемная детекторная головка, 8 - ответвитель, 9 - аттензатор, 10 - контрольная детекторная головка. Радиоизлучение на длине волны $\lambda_0 = 3$ см, генерируемое магнетроном М, поступает на передающую антенну, облучающую плазменный шнур. Мощность излучения антенны, ориентированной так, чтобы электрический вектор волны был параллелен удерживающему плазму магнитному полю, достигает в импульсе длительностью 4 мксек величины ~ 10 квт. Форма генерируемого магнетроном импульса радиоизлучения определяется при помощи контрольной детекторной головки, сигнал с которой поступает на один из лучей осциллографа ОК-17.

Рассеянное излучение принимается рупорной антенной и поступает через волновод с $\lambda_{\text{пред}} = 2,2$ см на детекторную головку, настроенную на длину волны 1,6 см. Сигнал с детекторной головки подается на второй луч осциллографа.

Плазма с плотностью $n \sim 10^{11} + 10^{12}$ см⁻³ нагревалась до $T_e = 10^2 + 10^3$ эв [6] во время протекания через нее тока, испытывающего аномальное активное сопротивление и сопровождаемого интенсивными СВЧ-шумами с $\lambda > 3,5$ см.

В этих условиях детекторная головка регистрировала сигнал мощностью 10^{-5} вт, коррелированный по времени с током. При включении магнетрона сигнал возрастал в 3-4 раза (см. рис. 2), а в отдельных случаях по 10 раз. Опыты позволили установить следующее:

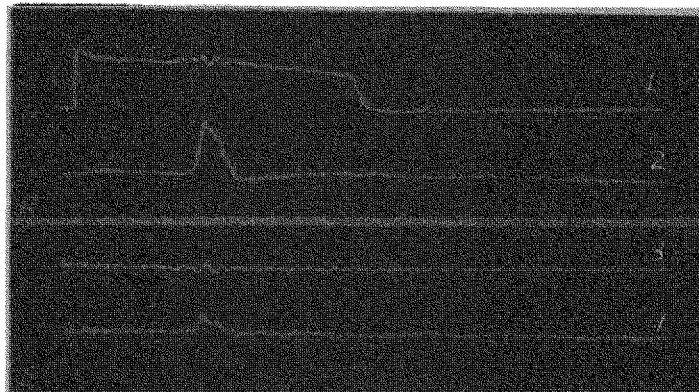


Рис. 2. Осциллограммы сигналов: а - при облучении плазмы импульсом от магнетрона; б - при выключенном магнетроне. 1,3 - огибающая импульса, генерируемого магнетроном на длине волны 3 см. 2,4 - сигнал с приемной детекторной головки. Помеха на осциллограммах 1,3 характеризует длительность тока в плазме (см. рис. 4 работы [5])

1. Сигнал наблюдается только при указанных выше условиях разряда, когда аномальное сопротивление и шум плазмы свидетельствуют о ее турбулентности.

2. Сигнал не связан с регистрацией радиоизлучения на длине волны $\lambda_0 = 3$ см.

3. Сигнал не может объясняться рассеянием в плазме второй гармоники $\lambda = 1,5$ см, генерируемой магнетроном. Введение в передающий тракт фильтра с дифракционной решеткой, использующей свойства Н-поляризованной волны [7], полностью подавило помеху от второй гармоники длительностью 4 мксек, но существенно не изменило амплитуды показанного на рис. 2 сигнала, коррелированного с током.

Это, по-видимому, показывает, что сигнал, наблюдаемый при включенном магнетроне, объясняется шумовым излучением плазмы вблизи $\lambda = 1,5 + 2$ см, а сигнал при выключенном магнетроне — искомым эффектом комбинационного рассеяния. Отношение мощности последнего сигнала к мощности облучающей плазму радиоволны — порядка 10^{-8} — 10^{-9} в соответствии с теоретической оценкой для комбинационного рассеяния на частоте ω_{pe} [1].

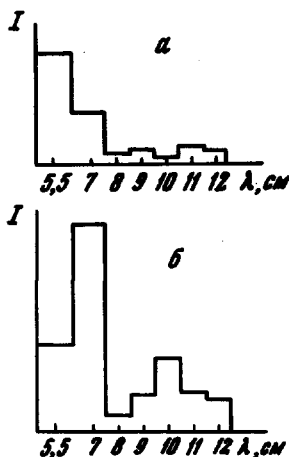


Рис. 3. Спектр собственного СВЧ-излучения плазмы при $n \sim 10^{22}$ см $^{-3}$, $H = 2$ кэ и напряженности продольного электрического поля $E_0 = 75$ в/см. На диаграмме б n уменьшено в 3–5 раз

Эти результаты интересно сопоставить с данными о спектре ранее обнаруженных в области $\lambda > 3,5$ см СВЧ-шумов плазмы. Были проведены измерения с резонатором ВМТ, перестраиваемым в диапазоне λ от 5,5 до 12 см. В спектре излучения заметны несколько максимумов. Смещение максимумов при изменении n (рис. 3) свидетельствует о том, что им соответствуют частоты, пропорциональные ω_{pe} .

Теория [8] предсказывает максимумы излучения ограниченной плазмы при частотах $\omega_{pe}(1-1/\sqrt{2})$, $\omega_{pe}/\sqrt{2}$, ω_{pe} , $\omega_{pe}(1+1/\sqrt{2})$, $2\omega_{pe}$.

Все полученные результаты можно суммировать следующим образом. При облучении турбулентной плазмы радионизлучением с $\lambda_0 = 3$ см от внешнего источника, видимо, наблюдался эффект комбинационного рассеяния с изменением частоты на величину порядка ω_{pe} , согласующийся с оценкой [1] и свидетельствующий о высоком уровне электронных колебаний. В собственном излучении плазмы наблюдались интенсивные максимумы в области $\lambda > 3,5$ см при частотах, близких к ω_{pe} , и значительно более слабый максимум в интервале $\lambda = 1,5 \pm 2$ см, где лежит частота $2\omega_{pe}$.

Поступило в редакцию

28 октября 1965 г.

Литература

- [1] А.А.Иванов, Д.Д.Рятов. ЖЭТФ, 48, 1366, 1965.
- [2] А.И.Ахизер, И.Г.Прохода, А.Г.Ситенко. ЖЭТФ, 33, 750, 1957.
- [3] Л.М.Коврижных, В.Н.Цытович. Докл. АН СССР, 158, 1306, 1964.
- [4] J.G.Chen, R.F.Leheny, T.C.Marshall. Phys. Rev. Lett., 15, 184, 1965.
- [5] В.Д.Федорченко, В.И.Муратов, Е.Н.Руткевич. Ядерный синтез, 4, 300, 1964.
- [6] Б.А.Демидов, Н.И.Елагин, Д.Д.Рятов, С.Д.Фанченко, ЖЭТФ, 48, 459, 1965.
- [7] В.Я.Балаханов. Докл. АН СССР, 163, 84, 1965.
- [8] Д.Д.Рятов. Докл. АН СССР, 164, № 6, 1965.

1) Теория комбинационного рассеяния для неограниченной плазмы [2,3] была подтверждена опытом на ламинарной плазме "Q-машины", где комбинационное рассеяние происходило на возбуждаемых внешним генератором медленных колебаниях пространственного заряда [4]. В работе [5] наблюдались комбинационные частоты при взаимодействии внешнего высокочастотного поля с низкочастотными ионными колебаниями плазмы в магнитном поле.