

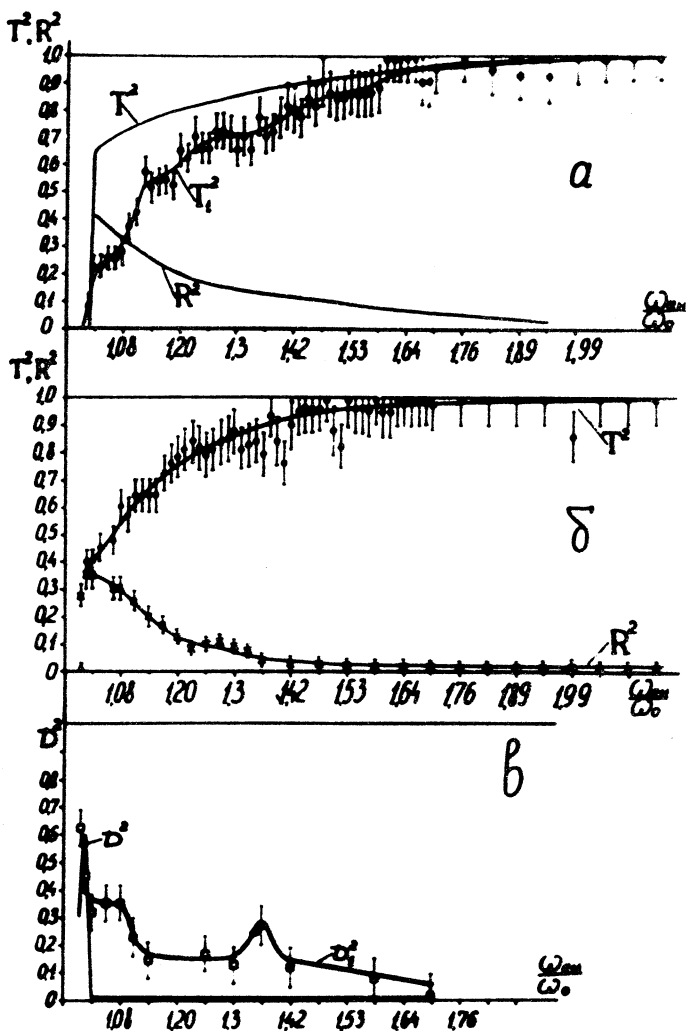
АНОМАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ

Г. М. Батанов, Л. М. Горбунов, К. А. Сарксян

В ряде работ, появившихся в последнее время в печати /1-4/, сообщалось об обнаружении аномально большой диссипации энергии достаточно интенсивных электромагнитных волн в плазме. В настоящей работе коротко сообщаются результаты исследования поглощения электромагнитных волн в замагниченной плазме. Показано, что и в этом случае наблюдается аномальное поглощение, которое невозможно объяснить ни обычными столкновениями, ни эффектами линейной трансформации /5/.

Экспериментальная установка описана в работе /1/. Поперек прямоугольного волновода, в котором возбуждалась TE_{01} волна, вдоль магнитного поля пропускался цилиндрический поток разреженной плазмы, так что $\omega_{Le}^2/\omega_0^2 = 0,3 \pm 0,4$, где ω_{Le} - плазменная частота электронов, ω_0 - частота волны. Температура электронов T_e равнялась 6 эв. Электрическое поле волны E было направлено поперек постоянного магнитного поля H_0 , и условия для линейной трансформации были исключены.

Измерялись коэффициенты пропускания $|T|^2$ и отражения $|R|^2$ волны в зависимости от H_0 и E (E варьировалось от 0,3 в/см до 3 кв/см). На рис. 1 приведено несколько зависимостей $|T|^2$ и $|R|^2$ от величины $\omega_{en}/\omega_0 = eH_0/mc\omega_0$ для существенно различных значений E . Видно, что коэффициент отражения практически не меняется при изменении E на три порядка, в то



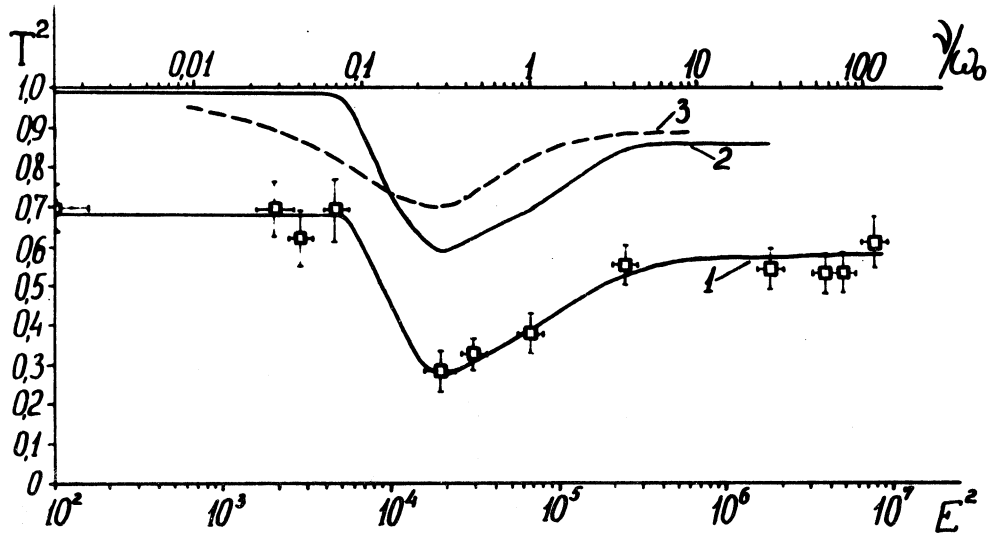
Р и с. 1. Зависимость коэффициентов пропускания, отражения и поглощения от магнитного поля. а) T_1^2 - измерено при $E = 130$ в/см; T^2 и R^2 - при $E = 0,3$ в/см; б) T^2 и R^2 - при $E = 450$ в/см; в) D^2 - при $E = 0,3$ в/см; D_1^2 - при $E = 250$ в/см.

время, как коэффициент пропускания в широком интервале магнитных полей меняется значительно. На основании измеренных значений $|T|^2$ и $|R|^2$ найден коэффициент поглощения $|D|^2$ (рис. 1в). При малых E наблюдается поглощение только в области циклотронного резонанса $\omega_{\text{сн}}/\omega_0 \approx 1^*$, в то время, как при больших E волна поглощается и при магнитных полях таких, что $\omega_{\text{сн}}/\omega_0 > 1$.

Из результатов измерения $|T(\omega_{\text{сн}}/\omega_0)|^2$ для различных значений E построена зависимость изменения коэффициента пропускания от квадрата напряженности электрического поля падающей волны при фиксированном магнитном поле. Для $\omega_{\text{сн}}/\omega_0 = 1,08$ такая зависимость приведена на рис. 2 (кривая 1). Характерно, что вплоть до некоторой "пороговой" величины $E_{\text{пор}} = 65$ в/см, коэффициент пропускания не зависит в пределах ошибок измерений от E^2 , далее он уменьшается и при $E = 130$ в/см достигает минимума. При дальнейшем увеличении E^2 коэффициент пропускания вновь увеличивается. Из рис. 2 видно, что как при малых ($E < E_{\text{пор}}$), так и при больших E коэффициент пропускания стремится не к единице, а к величине 0,7. Это связано с отражением волны от патрубков, через которые плазма входит и выходит из волновода. Существенно, что это отражение не зависит от величины напряженности электрического поля волны. Если не учитывать данный аппаратурный эффект, то следует при всех значениях E^2 график $|T(E^2)|^2$ поднять на величину $\sim 0,3$ (кривая 2 на рис. 2).

Для определения эффективной частоты столкновений $\nu_{\text{эф}}$, соответствующий наблюдаемым значениям $|T(E^2)|^2$, по формулам обычной линейной теории /6/ был проведен расчет коэффициента пропускания волны через плазменный слой и цилиндр. В обоих случаях (при условии, что толщина слоя и диаметр цилиндра малы по срав-

*) Ошибка измерения $H_0 \leq 2\%$.

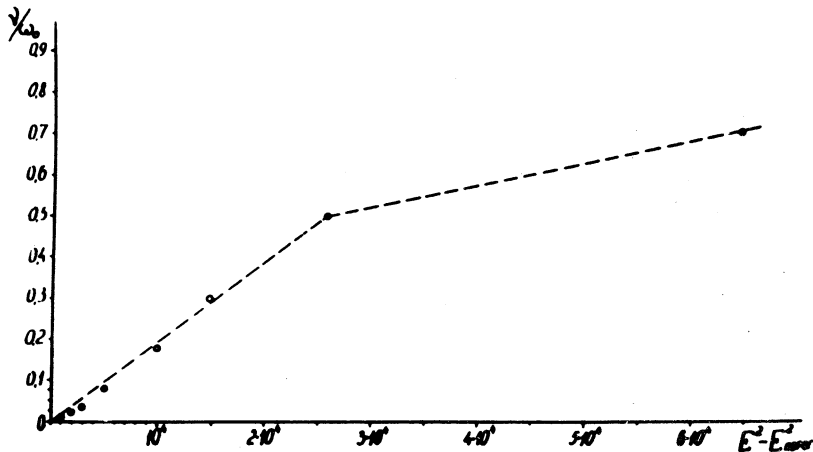


Р и с. 2. Зависимость коэффициента пропускания от напряженности электрического поля падающей волны и частоты столкновений.

нению с длиной падающей волны) результаты получились близкими, и оказалось, что при заданном магнитном поле функция $|T(\nu/\omega_0)|^2$ имеет минимум при некотором значении частоты столкновений ν , характеризующей силу трения электронов при их осцилляции в поле электромагнитной волны. Этот минимум коэффициента пропускания соответствует максимуму коэффициента поглощения (отражение в данном случае мало) и определяется тем, что именно при этой частоте столкновений достаточно велики как амплитуда осцилляций электронов, так и сила трения. С уменьшением ν увеличивается амплитуда осцилляций, но падает сила трения, а с увеличением ν растет сила трения, но падает амплитуда осцилляций, ибо при этом происходит все большая отстройка от верхнего гибридного резонанса. Для $\omega_{en}/\omega_0 = 1,08$ на рис. 2 приведен график рассчитанного коэффициента пропускания в зависимости от ν/ω_0 (кривая 3). Масштаб по оси абсцисс выбран таким образом, чтобы минимумы экспериментальной и расчетных кривых совпадали; при этом абсолютные значения величины $|T|^2$ также оказываются близкими друг к другу. Из сопоставления величины $|T(\nu/\omega_0)|^2$ и $|T(E^2 - E_{пор}^2)|^2$ построена зависимость $\nu_{эфф}/\omega_0 = F(E^2 - E_{пор}^2)$ (рис. 3). Оказалось, что связь эффективной частоты столкновений с $(E^2 - E_{пор}^2)$ вплоть до $E = 160$ в/см близка к линейной. Это находится в согласии с результатами машинного эксперимента /7/ и теоретической работы /8/, в которой, однако, рассматривались напряженности электрических полей, близкие к пороговым. При $E > 250$ в/см ошибка в определении $\nu_{эфф}$ сильно возрастает из-за того, что в этой области параметров ν/ω_0 и E коэффициент пропускания меняется очень слабо. Поэтому малая ошибка в определении $|T(E^2)|^2$ ведет к большим ошибкам при определении $\nu_{эфф}$. Линейная связь $\nu_{эфф}$ с $E^2 - E_{пор}^2$ имеет место и для $\omega_{en}/\omega_0 = 1,25$.

Отсутствие условий для линейной трансформации волн и наличие пороговой напряженности электричес-

кого поля, начиная с которой наблюдается увеличение поглощения, делает естественным предположение, что наблюдаемые результаты связаны с развитием в плазме параметрической неустойчивости /9/. При этом плазма переходит в турбулентное состояние, и эффективная частота электронов существенно увеличивается.



Р и с. 3. Зависимость эффективной частоты столкновений от напряженности электрического поля падающей волны.

Можно предположить, что в области слабых магнитных полей ($\omega_{ен}/\omega_0 = 1,08$) неустойчивыми оказываются непотенциальные колебания, распространяющиеся вдоль магнитного поля /8/. При увеличении $\omega_{ен}/\omega_0$, видимо, начинают сказываться неустойчивости бернштейновских мод. На это указывает увеличение поглощения (и усиление генерации быстрых электронов /10/) при $\omega_{ен}/\omega_0 \approx 1,4$.

Авторы выражают искреннюю признательность Л. Н. Никитас и В. А. Силюну за помощь в работе и Н. Е. Андрееву за плодотворную дискуссию.

Поступила в редакцию
3 июня 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. М. Батанов, К. А. Сарксян, В. А. Силин. Труды IX Международной конф. по явлениям в ионизованных газах. Бухарест., 1969 г.
2. И. Р. Геккер, О. В. Сизухин. Письма в ЖЭТФ, 9, 408 (1969).
3. Н. Р. Eubank. Plasma Phys. Laboratory, Princeton Univ., MATT-825, 1971.
4. К. Ф. Сергейчев, В. Е. Трофимов. Письма в ЖЭТФ, 13, 236 (1971).
5. А. И. Анисимов, В. К. Будников, Н. И. Виноградов, В. Е. Голант, С. И. Нанобашвили, А. А. Обухов, А. П. Пахомов, А. Д. Пиляя, В. И. Федоров. Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Res. JAЕА, Vienna, v.2, p.399 (1969).
6. В. Л. Гинзбург. "Распространение электромагнитных волн в плазме". Физматгиз. 1961 г.
7. W. L. Krueger, R. K. Kaw, F. M. Dawson, C. Oberman. Phys. Rev. Letts., 24, 987 (1970).
8. В. В. Пустовалов, В. П. Силин. ЖЭТФ, 59, 2215 (1970).
9. Л. М. Горбунов, В. П. Силин. ЖТФ, 34, 3 (1969).
10. Г. М. Батанов, К. А. Сарксян. Письма в ЖЭТФ, 13, № 10 (1971).