

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИКЛОТРОННОЙ ВОЛНЫ В СИСТЕМЕ ПЛАЗМА – ПУЧОК

В.А.Башко, Ю.Г.Залесский, И.Мусил¹⁾,
Н.И.Назаров

Показано, что наличие небольшой доли горячих электронов в пучковой плазме оказывает существенное влияние на затухание электронной циклотронной волны. Измеренная длина затухания находится в хорошем согласии с циклотронным затуханием на горячих электронах.

При взаимодействии мощного электронного пучка с плазмой, находящейся во внешнем магнитном поле, некоторая доля электронной компоненты плазмы нагревается до очень больших температур. Кроме того, созданная таким образом плазма имеет высокий уровень турбулентных шумов. Исследование распространения электронной циклотронной волны (ЭЦВ) в такой плазме представляет собой как чисто физический интерес, так и практический, поскольку подобная ситуация может возникать и при нагреве плазмы СВЧ волной большой амплитуды. Дело в том, что наличие небольшой группы горячих электронов и большого уровня турбулентных шумов, частотный спектр которых близок к частоте волны, может существенным образом повлиять на поглощение СВЧ энергии волны.

В данной работе проведено экспериментальное исследование влияния небольшой группы горячих электронов, возникающих в системе плазма – пучок на затухание ЭЦВ в диапазоне частот $\omega_{He}/\omega = 1,5 \div 2,5$. Так как в нашем случае $\omega_{pl}/\omega \gg 1$, то шумы на плазменных электронных частотах (ω_{pl}) не должны оказывать влияния на затухание волны.

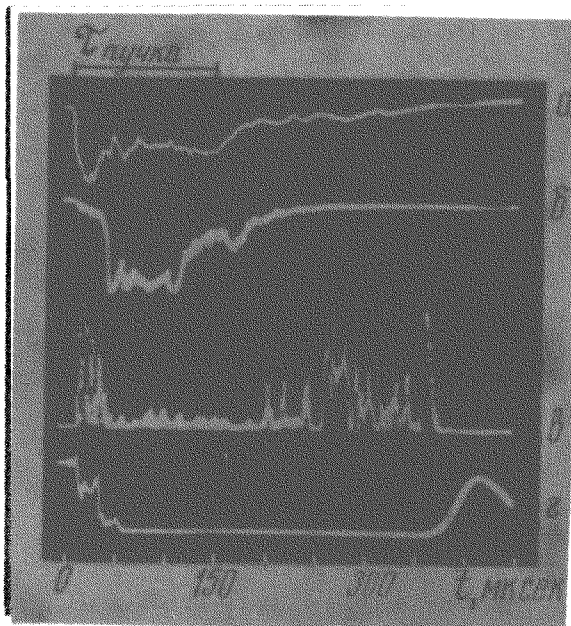
Исследования проводились на установке, подробно описанной в [1]. Электронно-горячая плазма создавалась в магнитной ловушке с пробочным отношением 1,5 и величиной магнитного поля на однородном участке до 3 кэ при прохождении через нейтральный газ электронного пучка с током до 7 а и энергией 20 кэв. При давлении водорода в разрядной камере $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. получалась плазма со следующими параметрами: плотность плазмы $n_e \sim 2 \cdot 10^{12}$ см⁻³, температура основной массы электронов $T_{o,e} \sim 10$ эв, температура горячей компоненты плазмы $T_e^* \sim 20 \div 30$ кэв, энергосодержание $nT \sim 4 \cdot 10^{14}$ эв/см³.

ЭЦВ возбуждалась с помощью катушки Лиситано [2], либо при помощи резонатора, работающего на моде TE_{111} , которые располагались в одной из пробок магнитной ловушки. Возбуждающие элементы запитывались от СВЧ генератора мощностью 200 вт на частоте 3,8 Гц. Распространение и затухание волны изучалось на однородном участке магнитного поля. Для устранения отражения СВЧ мощности волны в конце однородного участка мог создаваться магнитный берег. Амплитуда волны измерялась с помощью магнитных зондов, расположенных вблизи

¹⁾ И.Мусил – сотрудник института физики плазмы АН ЧССР.

плазменного столба на расстоянии $L \geq 50$ см от возбуждающего элемента.

На рисунке приведена серия осциллограмм, характеризующих как изменение амплитуды \tilde{H}_z - составляющей волны (рис. в), так и развитие пучковоплазменного разряда во времени (рис. а, б, г) при $\omega_{He}/\omega = 2,5$. Из этих осциллограмм видно, что сильное поглощение волны наблюдается только при наличии рентгеновского излучения, обусловленного группой горячих электронов плазмы. После окончания тока электронного пучка рентгеновское излучение быстро падает и электронная циклотронная волна распространяется практически без затухания.



а - ток электронного пучка на коллектор; б - импульс рентгеновского излучения с энергией выше 10 кэв; в - амплитуда \tilde{H}_z -составляющей волны; г - сигнал запирающая зондирующего луча с $\lambda = 3,2$ см

Проведенные измерения продольного волнового числа k_z показали, что на его величину не влияет наличие малой группы горячих электронов. При $\omega_{He}/\omega = 2,5$ величина k_z в нашем случае была равна 2,6.

Для сравнения с теорией бесстолкновительного циклотронного затухания было проведено измерение \tilde{H}_z по длине на однородном участке магнитного поля при $\omega_{He}/\omega = 2,5$.

Длина затухания для тока пучка 5 а, при котором были проведены измерения основных параметров плазмы, получается равной 30 см. Измеренное значение длины затухания находится в хорошем согласии с длиной затухания, вычисленной по формулам [3] стр. 41 для измеренных значений $T_e^* \approx 20$ кэв, $nT \approx 4 \cdot 10^{14}$ эв/см³, $k_z \approx 2,6$. При этом предполагается, что nT определяется в основном горячей компонентой плазмы.

Таким образом, показано, что при наличии в плазме малой группы горячих электронов ($\sim 1\%$) и $\omega_{He}/\omega = 1,5 + 2,5$ электронные циклотронные волны испытывают значительное циклотронное затухание и их энергия передается небольшому числу электронов, что имеет существенное значение при нагреве плазмы электронной циклотронной волной большой амплитуды.

Авторы выражают глубокую благодарность К.Н.Степанову за полезные обсуждения, С.С.Кривуле – за проведение измерений T_e^* и А.Ф.Бавыкину за техническую помощь.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
12 февраля 1974 г.

Литература

- [1] В.А.Башко, Ю.Г.Залесский, Н.И.Назаров. ЖЭТФ, **62**, 1718, 1972.
 - [2] G. Lisitano. Proc. 7-th Int. Conf. Ioniz. Phen. in Gases, Beograd, 464, 1966.
 - [3] А.И.Ахизер и др. Коллективные колебания в плазме, М., Атомиздат, 1964.
-