

О МЕХАНИЗМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИИ РЕЛАКСАЦИОННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ В СИСТЕМЕ ПУЧОК – ПЛАЗМА

С. М. Криворучко, А. С. Бакай, Е. А. Корнилов

Релаксационными колебаниями в системе пучок – плазма, находящейся в магнитном поле (они наблюдались многими исследователями и подробно описаны в [1]) принято называть низкочастотные (НЧ) колебания, возникающие благодаря быстрой диффузии плазмы из области, где находится пучок. Диффузия плазмы обуславливается ионными колебаниями. Когда, вследствие диффузии, плотность плазмы в области пучка становится ниже критической, прекращается взаимодействие пучка с плазмой, падает мощность возбуждаемых пучком высокочастотных (ВЧ) электронных колебаний, а вместе с ними и ионных; диффузия прекращается, плотность плазмы растет, достигает критического значения, пучок начинает возбуждать электронные колебания, затем возбуждаются ионные колебания, приводящие к усиленной диффузии плазмы и т. д. Таков характер релаксационных колебаний. Их изучение заслуживает особого внимания, так как они существенно ограничивают мощность, передаваемую пучком плазме через электронные колебания. Так, нами обнаружено, что при фиксированных параметрах пучка и магнитного поля мощность ВЧ колебаний в режиме, когда возбуждены релаксационные колебания, в несколько раз меньше, чем в их отсутствие. Это происходит потому, что при возбуждении релаксационных колебаний пучок длительное время не взаимодействует с плазмой. По этим причинам релаксационные колебания являются серьезным препятствием в деле эффективного возбуждения плазмы пучком. В [1] высказано предположение, что возбуждение ионных колебаний происходит вследствие разогрева электронов пространственно-неоднородной плазмы ВЧ колебаниями, возбуждаемыми пучком. Нами изучался механизм возбуждения релаксационных колебаний в системе пучок – плазма и способы управления этим процессом. Эксперименты проводились на установке, описанной в [2]. Электронный пучок током до 100 ма и энергией 5 кэВ создавал плазму плотностью $\sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$ в постоянном однородном магнитном поле напряженностью 1 – 3 кГс.

Исследования показывают, что ионные колебания возбуждаются пороговым (по мощности P ВЧ колебаний) образом в результате развития распадной неустойчивости [3]. С ростом P спектр НЧ колебаний уширяется. Это означает, что P последовательно превышает пороги возбуждения различных мод ионных колебаний. Диффузия плазмы в поле ионных колебаний зависит от поляризации последних и максимальна, когда они поляризованы поперек магнитного поля. Это, естественно, указывает на то, что развивается диффузия плазмы в скрещенных полях. Таким образом, усиленная диффузия плазмы и обусловленные ею релаксационные колебания начинаются, когда P превышает порог возбуждения ионных колебаний, поляризованных поперек магнитного поля. На рис. 1 представлены результаты исследования низкочастотных колебаний в системе пучок – плазма в зависимости от мощности ВЧ колебаний. Вид-

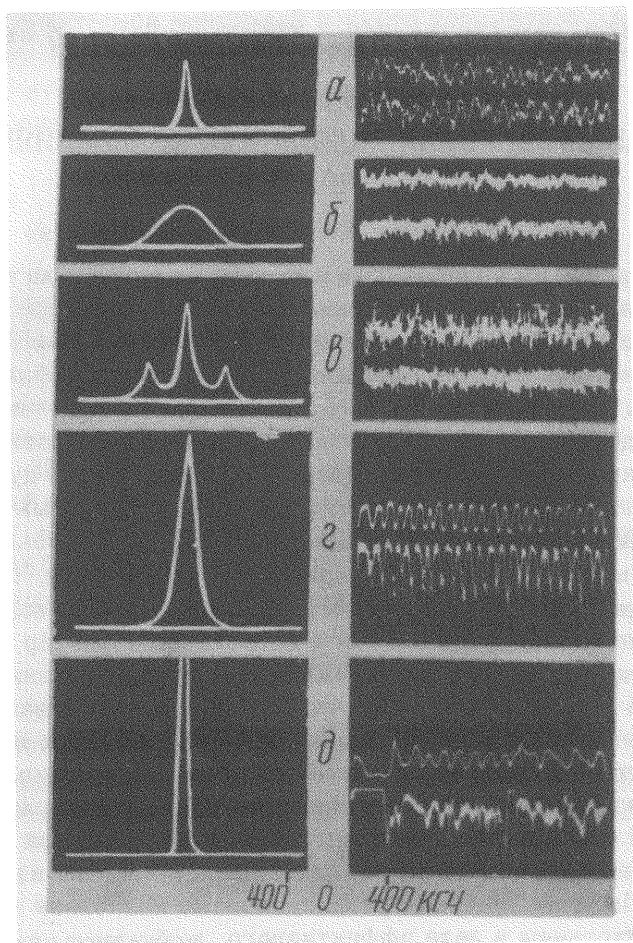


Рис. 1. Зависимость формы НЧ спектра, НЧ колебаний (верхний луч) и огибающей ВЧ колебаний (нижний луч) от мощности $P_{ВЧ}$ в относительных единицах: а - $P = 1$; б - $P = 3,3$; в - $P = 4,6$; г - $P = 10$; д - $P = 12$. В случае (г, д) на анализаторе НЧ спектра введено затухание 10 дБ на осциллографе усиление верхнего луча уменьшено в 5 раз. Развертка лучей осциллографа 2 мсек

но, что интенсивное возбуждение поперечных НЧ колебаний в области частот $\sim 10 - 100$ кгч возникает при определенном уровне ВЧ мощности и влечет за собой возникновение интенсивной диффузии, и сильной амплитудной модуляции ВЧ колебаний (глубина модуляции ~ 1), а затем релаксационных колебаний. При этом коэффициент диффузии, согласно проведенным оценкам, превышает боровский. Заметим, что при изменении мощности ВЧ колебаний более чем в 10 раз температура плазмы изменяется сравнительно мало - в 2 - 3 раза, в то время, как изменения в спектре НЧ колебаний происходят весьма существенные. Это указывает на преимущественную роль взаимодействия ВЧ и НЧ колебаний в процессе возбуждения релаксационных колебаний.

Временная развертка релаксационных колебаний представлена на рис. 2. Она позволяет проследить за деталями динамики их возбуждения. В частности видно, что взаимодействие пучка с плазмой отсутствует на относительно длительных интервалах времени.

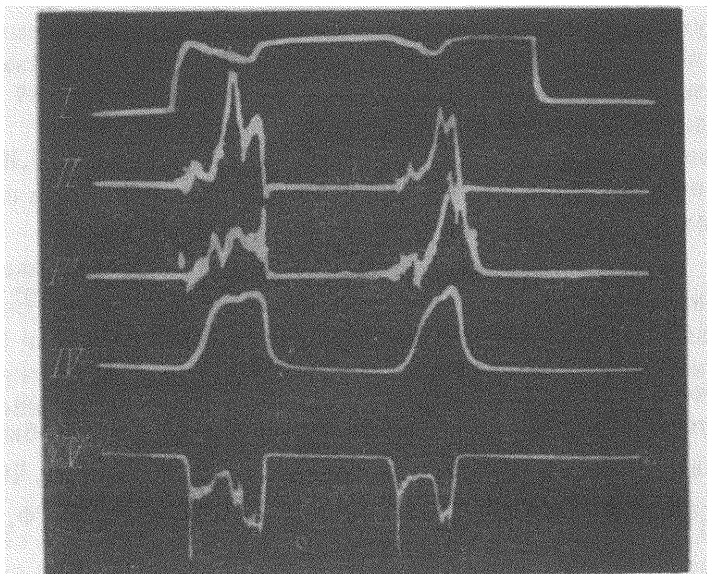


Рис. 2. Развитие релаксационного колебания во времени: I – постоянный потенциал; II – колебания с радиального зонда; III – колебания с продольного зонда; IV – ток на измеритель поперечной диффузии эми; V – огибающая ВЧ колебаний. Развертка 1,5 мсек

Мы видим, что пороговая ВЧ мощность возбуждения поперечных ионных колебаний является практически пороговой мощностью возбуждения релаксационных колебаний и той максимальной мощностью, которая может передаваться пучком плазме. Следовательно, повысить эффективность передачи энергии пучком плазме можно повышая порог возбуждения поперечных ионных колебаний. Пороговая мощность [4] пропорциональна произведению коэффициентов затухания электронных и ионных колебаний и обратно пропорциональна квадрату коэффициента взаимодействия между ними: $P_c \sim \gamma_e \Gamma_i / V_{e,i}^2$, а коэффициент затухания поперечных ионных колебаний в неоднородной плазме, находящейся в магнитном поле, определяется, как известно, не только частотами соударений ионов и электронов, но и градиентами плотности, электрического потенциала и т. д. Естественно ожидать поэтому, что изменение последних повлечет за собой также изменение порога возбуждения релаксационных колебаний. Экспериментальные исследования показали, что порог возбуждения релаксационных колебаний весьма чувствителен к внешнему потенциалу, который прикладывался к электроду соосному с пучком и помещенному в плазму. Так, например, при разности потенциалов $V = 45$ в, пороговая мощность P_c в 4 раза больше, чем P_c при $V = 0$. Однако зависимость $P_c(V)$ оказывается немонотонной. Это связано с тем, что

при увеличении V существенно изменяются моды низкочастотных колебаний и характер их взаимодействия с ВЧ колебаниями.

Таким образом, проведенные исследования показали, что релаксационные колебания в системе пучок — плазма возникают в результате порогового возбуждения поперечных ионных колебаний ВЧ колебаниями. Порог возбуждения весьма чувствителен к распределению внешнего потенциала и при помощи последнего может изменяться в широких пределах. Это позволяет регулировать уровень средней мощности ВЧ колебаний возбуждаемых пучком.

В заключение выражаем благодарность Я.Б. Файнбергу и Л.И. Болотину за интерес к работе и ценные дискуссии и Л.А. Митину за помощь в измерениях.

Поступила в редакцию
22 февраля 1971 г.

Литература

- [1] Н.С. Бучельникова. Исследование турбулентной плазмы при некоторых неустойчивостях. Кандидатская диссертация, Новосибирск, 1970 г.
 - [2] С.М. Криворучко, Е.А. Корнилов. Письма в ЖЭТФ, 10, 465, 1969.
 - [3] А.С. Бакай, Е.А. Корнилов, С.М. Криворучко. Письма в ЖЭТФ, 12, 69, 1970.
 - [4] А.С. Бакай. ЖЭТФ, 59, 116, 1970.
-