



**“Fizika-2005”
Beynəlxalq Konfrans
International Conference
Международная Конференция**



7 - 9 İyun June 2005 №149 577-578
İyunь June 2005 №149 page 577-578
Июнь June 2005 №149 str. 577-578

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОННОГО ПУЧКА С ПЛАЗМОЙ ПРИ
ВОЗБУЖДЕНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ НЕУСТОЙЧИВОСТЕЙ**

АЛИЕВ С.А., АЛИЕВ С.С.*

*Азербайджанский Технический Университет
Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет *
A.Sultanova 5, Baku-370073, Azerbaijan
Tel: (99412) 439-07-25, Fax: 498-78-36*

В настоящей работе рассматриваются теоретические основы возбуждения в плазме низкочастотных неустойчивостей при взаимодействии с ионным пучком. Установлено, что инжекция медленного пучка ионов в неизотермическую плазму сопровождается возбуждением ионно-звуковых волн в направлении инжекции, и взаимодействуя с полями этих волн, ионный пучок бесстолкновительно релаксирует и теряет часть своей направленной энергии.

Инжекция пучков заряженных частиц в плазму сопровождается возбуждением различных типов неустойчивостей. Такая неравновесная система в широком диапазоне условий релаксирует путем возбуждения колебаний и развития турбулентности, что приводит к аномальным макроскопическим явлениям [1,2]. С точки зрения сильного бесстолкновительного взаимодействия ионного пучка с плазмой в нелинейном режиме особенно интересна низкочастотные неустойчивости – ионно-звуковая и возбуждение ниже негибридной ветви потенциальных колебаний плазмы. При инжекции в неизотермическую плазму относительно медленного ионного пучка, в плазме раскачиваются ионно-звуковые колебания [3]. Такая неустойчивость возбуждается за счет относительного движения ионов пучка и ионов плазмы, поэтому ее часто называют двухпоточковой ион – ионной неустойчивостью. В случае равных плотностей и масс ионов плазмы и пучка в системе раскачиваются колебания, если энергия инжектируемых ионов меньше или одного порядка с тепловой энергией электронов плазмы. Получено численное решения дисперсионного уравнения, которое определяет область скоростей неустойчивого относительного движения и инкременты возбуждаемых волн. Данные показывают, что при $v_{Ti} < v < c_s$ (v_{Ti} – скорость ионов, c_s – скорость звука) наибольшим инкрементами $\gamma = 0,4\omega_{pi}$ (ω_{pi} – частоте ионов) обладают колебания с резонансными длинами волн, удовлетворяющими условиям $kv \approx \omega_{pi}$. Если энергия инжектируемого пучка порядка тепловой энергии электронов плазмы, возбуждение колебаний с

частотами $\omega \leq \omega_{pi}$ имеет, максимальную амплитуду. Результаты измерений показали, что фазовая скорость неустойчивых волн близка к скорости ионного звука, а направление их распространения совпадает с направлением инжекции ионного потока. Проведенные экспериментальные исследования показали, что инжекция медленного пучка $v_b \leq 3c_s$ в неизотермическую плазму сопровождается возбуждением ионно-звуковых волн в направлении инжекции, и взаимодействуя с полями этих волн, ионный пучок бесстолкновительно релаксирует и теряет часть своей направленной энергии. Платизация функции распределения скоростей пучка наблюдается также при $v_b \leq 2c_s$ и сопровождается нагревом ионов пучка и ионов плазмы. При этом возможно повышение температуры ионов плазмы до величины, сравнимой с температурой плазменных электронов.

Инжекция моноэнергетического медленного ($v_b \approx c_s$) ионного пучка в неизотермическую плазму возбуждает ионно-звуковую неустойчивость. При этом движение пучка в плазме сопровождается разбросом частиц потока по продольным скоростям и образованием плато на функции распределения скоростей потока, т.е. имеет место потеря $\sim 2/3$ энергии направленного движения пучка. Эксперименты подтверждают также выводы теории, согласно которой в диапазоне скоростей $v_b < c_s$ одновременно с торможением частиц пучка должно наблюдаться их угловое рассеяние, обусловленное полями продольных ионно-звуковых волн, распространяющихся под углом к направлению

инъекции пучка. Аномальное торможение пучка, возбуждение интенсивных колебаний, нагрев плазмы и ускорение их наблюдалось при взаимодействии сильно точного ионного пучка с плазмой, образующейся при инъекции пучка в газовую мишень. Эффективная термализация ионного пучка с большими энергиями в плазме возможно, когда пучок ионов инжектируется в плазму поперек магнитного поля, при возбуждении нижнегибридного плазменного резонанса. При этом частоты неустойчивых возмущений удовлетворяют условия $\omega_{ni} \ll \omega \ll \omega_{pe}$. Авторами работ [4] экспериментально показано возбуждение в плазме колебаний в области нижнегибридного плазменного резонанса при инъекции ионного пучка поперек магнитного поля. Эта неустойчивость является эффективным механизмом бесстолкновительной диссипации энергии пучка в плазме. Для потенциальных колебаний такое взаимодействие может иметь место при скоростях пучка вплоть до альфвеновской.

Таким образом, возбуждение ионным пучком низкочастотных ($\omega_{ni} \ll \omega \ll \omega_{pi}$) ветвей колебаний является способом эффективного торможения пучка в плазме. В последние годы большое внимание уделяется вопросам взаимодействия плазмы с переменными электрическими полями. В большинстве случаев такое взаимодействие проявляется именно в низкочастотной области плазменных колебаний. Воздействие на плазму электрического поля с частотой, близкой к электронной плазменной, может быть использовано для внешнего управления частотой и затуханием ионных волн в плазме. Возникающее при этом увеличение эффективной скорости ионного звука в

плазме управляется амплитудой и частотой поглощенных переменных полей.

Если на систему плазма-ионный пучок воздействовать электрическим полем ($\omega_0 \ll \omega_{pe}$), преимущественно возмущающим движение электронов, в определенных условиях может раскачиваться неустойчивость даже при температуре электронов, малой в сравнении с энергией направленного движения пучка [5]. При относительно малых частотах накачки внешнего ВЧ поля в плазме могут возникать разнообразные пучковые неустойчивости с характерными значениями частоты, инкремента нарастания и волнового вектора.

Нелинейная теория низкочастотных параметрических неустойчивостей развита относительно слабо. Трудности здесь в основном заключаются в том, что практически во всех наиболее интересных случаях приходится иметь дело с сильной турбулентностью.

Воздействие высокочастотных электрических полей на плазму сопровождается появлением турбулентности, приводящей к нелинейным эффектам, таким как рассеяние электронов и ионов, нагрев плазменных компонент, аномальное поглощение волны накачки и т.д.

Таким образом, резюмируя выше изложенное, можно сказать, что вопросы возбуждения полем внешней накачки параметрических неустойчивостей низкочастотных ветвей колебаний и выяснение возможностей бесстолкновительного взаимодействия достаточно быстрого $v_b \gg c_s$ ионного пучка с полями этих волн до настоящего времени имеют теоретическое обоснование, но нуждаются в экспериментальной подтверждении.

[1]. Файберт Я.Б. «Взаимодействие пучков заряженных частиц с плазмой». «Атомная энергия», 1961, II, №4, с.313-335
 [2]. Кадящев Б.Б. Турбулентность плазмы. В сб. «Вопросы теории плазмы». Вып. 4, М. Атомиздат, 1964, с.188-339
 [3]. Габович М.Д., Кириченко Г.С. Возбуждение колебаний при прохождении пучка медленных ионов через плазму. «ЖЭТФ», 1962, 42, №6, с.1478-1480

[4]. Борисенко А.Г., Кириченко Г.С. Исследование механизма эффективного бесстолкновительного взаимодействия ионного пучка с плазмой в поперечном магнитном поле. «Физика плазмы», 1977, 3, №2, с.351-356.
 [5]. Papadopoulos K. McBride J.B. Jou-Yon Instability Induced by ac electric fields, Phys. Fluids, 1973, N5, p.711-713.