

Отзыв

д.ф.-м.н., профессора, ведущего научного сотрудника ОП КЯТК НИЦ "Курчатовский институт" Юрия Николаевича Днестровского (Dnestrovskiy_YN@nrcki.ru, тел. 8 -499-196-7332, 123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1)

на автореферат диссертации А.Ю. Попова «Теория распространения и трансформации микроволновых пучков в неоднородной турбулентной плазме», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01-04-08 – физика плазмы в диссертационный совет Д 002.205.03

В автореферате диссертации Попова А.Ю. «Теория распространения и трансформации микроволновых пучков в неоднородной турбулентной плазме», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01–04–08 – физика плазмы, изложены основные результаты, полученные автором в результате теоретических исследований, направленных на изучение линейной и нелинейной трансформации волн в двумернонеоднородной турбулентной плазме. Представляется, что разработка теоретических моделей и положений, изложенных в диссертации, позволила развить существовавшие теоретические представления, а также заполнить пробел в теории линейной трансформации нормальных мод, в линейной теории электронных бернштейновских волн и в теории параметрических неустойчивостей.

Глава 1 диссертации посвящена разработке теории рефлектометрической диагностики плазмы, основанной на явлении отражения электромагнитной волны с частотой меньше электронной ленгмюровской. Рассмотрены и проанализированы различные варианты реализации флукуационной рефлектометрии, такие как радиальная, полоидальная, доплеровская. Развитые теоретические модели позволили объяснить основные закономерности работы данной диагностики и развить методы реконструкции параметров и профилей флукуаций плотности и их полоидальной скорости вращения.

Проблема ВЧ нагрева плазмы в системах магнитного удержания, в особенности в крутых токамаках, делает актуальной задачу о прохождении электромагнитных волн через т.н. радиоокно, приводящем к трансформации обыкновенных волн в необыкновенные (О-Х трансформация). При этом оказывается необходимым принимать во внимание не только неоднородность плазмы, но и более слабую неоднородность магнитного поля. В главе 2 получена система уравнений, учитывающая неколлинеарность градиентов плотности плазмы и магнитного поля, решение которой выявило такие особенности явления прохождения электромагнитных волн через радиоокно, как асимметрию коэффициентов прохождения по отношению к знаку угла между градиентами плотности плазмы и магнитного поля, а также равенство коэффициентов прямой и обратной трансформации обыкновенных волн в необыкновенные, что согласуется с теоремой взаимности. Результаты аналитического рассмотрения подтверждаются численным моделированием. Двумерные эффекты также становятся существенными, если в окрестности критической поверхности возбуждены флукуации плотности, неоднородные в направлении, ортогональном градиенту плотности. Нелинейное взаимодействие с такими флукуациями поворачивает волновой вектор падающей волны. В результате ухудшаются условия О-Х трансформации волны, которая при отсутствии флукуаций распространялась бы под оптимальным углом к магнитному полю, обеспечиваем ее полную трансформацию. В диссертации рассчитан критический уровень флукуаций, превышение которого вызывает существенное уменьшение коэффициента трансформации.

Электронные бернштейновские волны (ЭБВ) играют важную роль в процессах ВЧ нагрева плазмы и ее диагностики. При описании квазипоперечного распространения ЭБВ необходим учет релятивистских эффектов. По этим причинам волновое уравнение, описывающее распространение ЭБВ, и дисперсионное уравнение, следующее из него, оказываются чрезвычайно громоздкими. В главе 3 получено компактное и удобное для аналитического анализа дисперсионное соотношение ЭБВ. С помощью этого выражения показано, что ЭБВ должны чрезвычайно эффективно поглощаться в реальных условиях, даже если резонанс с электронами осуществляется на высоких гармониках электронной циклотронной частоты.

Малая длина волны ЭБВ оправдывает использование ВКБ приближения (метода анализа лучевых траекторий) при их описании. В лучевом приближении проанализирована траектория ЭБВ вблизи экваториальной плоскости сферического токамака. Показано, что если поверхность ЭЦР выгнута наружу, то траектории уходят на периферию плазменного шнура. При изменении знака кривизны этой поверхности лучевые траектории осциллируют относительно экваториальной плоскости, причем амплитуда осцилляций уменьшается по мере приближения к резонансу. Это означает, что в окрестности экваториальной плоскости образуется волновод. В главе 3 также получено упрощенное волновое уравнение, описывающее пространственную структуру стационарных ЭБВ. С его помощью показано, что при использовании лучевого приближения завышается поглощение наиболее крупномасштабных мод волновода. Кроме того, показано, что в случае немонотонного профиля магнитного поля, характерного для токамаков с малым аспектным отношением, ЭБВ в окрестности ЭЦР поверхности становятся непотенциальными. Учет непотенциальности приводит к выводу об отражении ЭБВ от этой поверхности.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Считаю, что диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора физ. – мат. наук, а ее автор А.Ю. Попов, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

доктор физико-математических наук, профессор

Ю.Н. Днестровский
15.02.2016

Подпись Ю.Н. Днестровского заверяю

Главный ученый секретарь НИЦ
«Курчатовский институт»

(С.Ю. Стремоухов)