

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой «Физика плазмы»

В.А.Рожанский
«1» сентября 2008 г.

Рабочая программа учебной дисциплины Диагностика высокотемпературной ПЛАЗМЫ

Составлена кафедрой физики плазмы
для студентов направления 553100 – Техническая физика

Магистерская программа:

553115 – Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Программа дисциплины
Диагностика высокотемпературной плазмы
(наименование дисциплины)

1. Цели изучения дисциплины

Целью курса является ознакомление студентов с физическими основами современных методов диагностики высокотемпературной плазмы в системах с магнитным удержанием, развития у них умения выбрать адекватный метод исследования плазмы для надежного измерения нужного параметра плазмы, объяснение необходимости развития и применения разнообразных методов исследования плазмы для решения важных прикладных задач, развитие у студентов первоначальных навыков в области применения современных методов диагностики плазмы.

2. Место дисциплины в учебном плане

Курс читается в течение 9-го и 10-го семестров и заканчивается экзаменом. Курс опирается на следующие дисциплины: «Физика плазмы», «Введение в теорию плазмы», «Управляемый термоядерный синтез», «Элементарные процессы в плазме», «СВЧ техника».

3. Объем дисциплины по видам учебной работы и формы контроля

Виды занятий и формы контроля	семестры	
	9 семестр	10 семестр
Лекции, ч/нед.	2	1
Практические занятия, ч/нед.	-	1
Самостоятельные занятия, ч/нед	1	2
Экзамены, кол./сем.	1	1

Общая трудоемкость дисциплины составляет 119 часов.

4. Содержание дисциплины

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы программы	Объемы занятий, часов	Объемы занятий, часов	Объемы занятий, часов
	ЛК	ПЗ	Сам
Введение	1		
1. Восстановление пространственных распределений плазменных параметров при использовании нелокальных методом диагностики	2		1
2. Методы, основанные на измерении магнитных потоков	6		3
3. Измерение полных потоков энергии, покидающих плазму.	2	2	1
4.Спектроскопия плазмы. Сплошной спектр излучения.	6	2	3
5. Методы, основанные на регистрации линейчатого излучения плазмы.	2		2
6. Измерение СВЧ излучения плазмы на гармониках ЭЦР	6	4	6
7. Пассивная корпускулярная диагностика плазмы	4	2	2
8. Нейтронная диагностика плазмы	2		1
9. Активная корпускулярная и корпускулярная-спектроскопическая диагностики плазмы	3		4
10. Методы, основанные на рассеянии электромагнитного излучения	8	4	16
11. Методы с использованием зондирования плазмы излучением микроволнового и дальнего инфракрасного диапазонов	8	3	18
12. Заключение	1		
Итого:	51	17	51

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение.

Основные задачи диагностики плазмы. Параметры, которые необходимо измерять. Общие требования к методам диагностики плазмы: бесконтактность, невозмущение плазмы, прямая связь измеряемых параметров с параметрами плазмы. Разделение методов диагностики на пассивные и активные. Общая характеристика активных методов, условия применения активных методов, их преимущества по сравнению с пассивными. Геометрия активных диагностических экспериментов. Диагностика горячей и пристеночной плазмы.

1. Восстановление пространственных распределений плазменных параметров при использовании нелокальных методов диагностики

Преобразование Абеля. Метод Пирса и погрешности восстановления пространственных распределений. Примеры восстановления пространственных распределений плазменных параметров при отсутствии осевой симметрии. Многоакурсные измерения. Томография плазмы.

2. Методы, основанные на измерении магнитных потоков.

Измерения полного тока в тороидальной системе. Пояс Роговского. Следствия из закона сохранения электромагнитной энергии в тороидальном плазменном шнуре. Аналог уравнения Кирхгофа для плазменного шнура в токамаке. Измерения напряжения обхода. Оценка средней электронной температуры T_e по проводимости плазмы. Оценка Z_{eff} при известной электронной температуре. Диамагнитные измерения. Методы контроля положения плазменного шнура в токамаке. Оценки β_p и I_i . Магнитные зонды. Измерения параметров МГД колебаний в токамаке.

3. Измерение полных потоков энергии, покидающих плазму.

Статические болометры. Динамические болометры. Принцип действия болометра с терморезистором. Абсолютная чувствительность болометров. Значение измерений полных потоков энергии из плазмы. Оценка времени удержания энергии в плазме из таких измерений.

4. Спектроскопия плазмы. Сплошной спектр излучения.

Уравнение переноса излучения в плазме. Излучение плазмы при тепловом равновесии. Оптическая толщина плазмы. Тормозное излучение. Оценки коэффициента испускания и коэффициента поглощения при тормозном излучении. Рекомбинационное излучение. Методы определения T_e по сплошному спектру. Методы спектрального анализа мягкого рентгеновского излучения. Режим счета и токовый режим работы приемника излучения.

5. Методы, основанные на регистрации линейчатого излучения плазмы.

Излучение на линиях электронных переходов. Модель для описания излучения на линии $H_\alpha(D_\alpha)$. Оценка распределения плотности нейтральной компоненты плазмы. Природа уширений спектральных линий. Доплеровское уширение спектров излучения и оценки ионной температуры. Методы оценки скорости вращения плазмы по доплеровскому смещению.

6. Измерение СВЧ излучения плазмы на гармониках ЭЦР

Природа уширения линий излучения на частоте электронного циклотронного (ЭЦР) в тороидальной системе. Дисперсионные соотношения для электромагнитных волн в холодной плазме при распространении волн поперек магнитного поля. Отсечки и резонансы. Резонансы на гармониках ЭЦР в горячей плазме. Оптическая толщина плазмы в тороидальной системе при излучении на гармониках ЭЦР для обыкновенной и необыкновенной волны. Область доступности для волн на гармониках ЭЦР. Границы применимости метода определения T_e по излучению на гармониках ЭЦР. Влияние “убегающих” электронов. Прием ЭЦ излучения СВЧ антеннами. Супергетеродинный радиометр.

7. Пассивная корпускулярная диагностика плазмы

Резонансная перезарядка. Баланс изотопов водорода в горячей плазме. Моделирование функции распределения нейтральной компоненты в горячей плазме. Восстановление энергетического спектра ионной компоненты плазмы по спектрам атомов перезарядки. Роль конвективных потоков ионов в тороидальной системе. Корпускулярная диагностика α -частиц. Анализаторы атомов перезарядки.

8. Нейтронная диагностика плазмы

Оценка ионной температуры по полной интенсивности нейтронного потока. Связь энергетического спектра нейтронов, продуктов термоядерного синтеза, с функцией распределения ионов. Спектроскопия нейтронов.

9. Активная корпускулярная и корпускулярная- спектроскопическая диагностики плазмы

Активная корпускулярная диагностика. Локальные измерения ионной температуры по спектрам перезарядки. Диагностики, основанные на измерении ослабления и рассеянии пучка нейтральных атомов. Комбинированная корпускулярная диагностика. Оценка ионной температуры по доплеровскому уширению линий атомов перезарядки. Диагностика примесных ионов. Спектроскопия нейтральных диагностических пучков. Определение плотности плазмы с помощью литиевого пучка. Зеemanовское расщепление линии литиевого пучка. Динамический Штарк-эффект. Определение величины и направления магнитного поля. Метод инъекции пучка тяжелых ионов. Локальные измерения потенциала плазмы.

10. Методы, основанные на рассеянии электромагнитного излучения

Рассеяние электромагнитной волны одним электроном. Качественное рассмотрение рассеяния света континуумом электронов с учетом интерференции. Коллективное и некогерентное рассеяние. Параметр Солпитера. Функция спектральной плотности рассеянного излучения. Спектры мощности рассеянного излучения при некогерентном рассеянии. Влияние магнитного поля на спектры некогерентного рассеяния. Спектры коллективного рассеяния на тепловых флуктуациях. Возможности оценки ионной температуры. Построение диагностики электронной температуры по томсоновскому рассеянию. Лидарная система. Техника регистрации и анализа излучения, рассеянного на коллективных флуктуациях. Метод оптического смешения. Атомно-флуоресцентный анализ. Насыщение флуоресценции.

11. Методы с использованием зондирования плазмы излучением микроволнового и дальнего инфракрасного диапазонов

Дисперсионные соотношения для электромагнитных волн в холодной замагниченной плазме. Обыкновенная и необыкновенная волна. Положение отсечек и резонансов в плазме тороидальных систем. Амплитуда и фаза волны, прошедшей слой неоднородной

плазмы, в приближении геометрической оптики. Интерферометрия плазмы в тороидальных установках. Методы отсчета фазы. Интерферометр Уортона. Гетеродинные интерферометры. Методы компенсации вибрации. Основы рефлектометрии при зондировании плазмы обыкновенной волной. Фазовые рефлектометры. Восстановление радиального профиля электронной плотности. Рефлектометры с амплитудной модуляцией зондирующего излучения. Радарная система. Микроволновая поляриметрия плазмы.

Заключение

Диагностические комплексы на крупных установках УТС. Проблемы и перспективы использования диагностик плазмы на международном токамаке ITER.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Рекомендуемая литература

Основная

1. В.В.Буланин, Диагностика высокотемпературной плазмы, СПб, СПбГПУ, 2008
2. В.С.Стрелков, Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке, М., МИФИ, 2004
1. С.Ю.Лукьянов, Н.Г.Ковальский, Горячая плазмы и управляемый ядерный синтез, М., МИФИ, 1997.
2. Э.И.Кузнецов, Д.А.Щеглов, Методы диагностики высокотемпературной плазмы, М., Атомиздат, 1980
3. Диагностика термоядерной плазмы, Сб. под ред. С.Ю.Лукьянова, М., Энергоатомиздат, 1985

Дополнительная

1. Сборник “Диагностика плазмы” под ред. М.И.Пергамента, вып.4, М., Энергоатомиздат, 1981
2. Сборник “Диагностика плазмы” под ред. М.И.Пергамента, вып.5, М., Энергоатомиздат, 1986
3. Сборник “Диагностика плазмы” под ред. М.И.Пергамента, вып.6, М., Энергоатомиздат, 1989

Программу составил:

Буланин В.В., доцент, канд. физ-мат. наук.