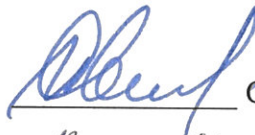


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

УТВЕРЖДАЮ


Директор
С.В. Иванов
« 13 » 04 2022 г.



Рабочая программа факультативной дисциплины
**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности 1.3.9 Физика плазмы

Принята решением Ученого совета
от 04.03.2022 № 03/22

Санкт-Петербург

2022 г.



Рабочая программа факультативной дисциплины «Современные методы диагностики высокотемпературной плазмы» составлена на основании программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.9 Физика плазмы (далее – программа аспирантуры)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями учебной дисциплины являются:

- формирование у аспирантов комплекса базовых знаний о методах, применяемых при измерении параметров высокотемпературной плазмы, ознакомление с особенностями реализации диагностических систем в экспериментальной практике на установках типа токамак;
- формирование знаний о применимости различных методик в эксперименте, диапазоне измеряемых параметров, точности результатов измерений; формирование навыков интерпретации и сопоставления результатов измерений, полученных различными методами;
- ознакомление аспирантов с последними достижениями в области диагностики плазмы и особенностями диагностического комплекса установки ИТЭР.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

2.1. Дисциплина «Современные методы диагностики высокотемпературной плазмы» входит в факультативную часть программы аспирантуры с целью расширения и углубления научных и прикладных знаний аспирантов и организуется по выбору и желанию аспиранта.

При ее изучении используются знания и навыки, полученные аспирантами при изучении курсов общей и теоретической физики и предшествующих курсов специальных дисциплин по специальности Физика плазмы. Методической основой изучения дисциплины являются курсы физики высокотемпературной плазмы и УТС.

Необходимость получения достоверных сведений о плазме и ее параметрах в экспериментальной практике и потребность в проверке результатов теоретических исследований определяют актуальность изучения дисциплины.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут

знать:

- методы, применяемые при измерении основных параметров плазмы в установках с магнитным удержанием;
- область применимости методов для измерения параметров плазмы в заданном диапазоне;
- методы обработки первичных экспериментальных данных для получения значений измеряемых параметров плазмы для применяемых диагностических методик;
- степень влияния контактных методов диагностики на плазму и достоверность таких измерений.

уметь:

- определять величину ошибки при измерении параметров плазмы с использованием конкретной диагностической методики и факторы, влияющие на величину этой ошибки;
- оценивать требования, предъявляемые к диагностической аппаратуре, для проведения измерений в заданных экспериментальных условиях.

владеть опытом:

- самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами диагностики высокотемпературной плазмы;
- оценивать требования, предъявляемые к диагностической аппаратуре, для проведения измерений в заданных экспериментальных условиях.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану.

Наименование разделов и тем	Трудоемкость (в ЗЕТ)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	Лаб. / практ	самостоятельная работа	контроль
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. Пассивные методы диагностики плазмы						
Тема 1.1 Магнитные измерения		9	2		7	

Тема 1.2. Электростатические зонды		9	2		7	
Тема 1.3. Регистрация излучения из плазмы		9	2		7	
Тема 1.4. Потoki атомов перезарядки		8	1		7	
Тема 1.5. Ядерно-физические методы		7	1		6	
Всего по разделу	1	42	8		34	
Раздел 2. Активные методы диагностики плазмы						
Тема 2.1. Методы лазерного зондирования		11	1		10	
Тема 2.2. Зондирование плазмы пучками частиц		11	1		10	
Тема 2.3. СВЧ-зондирование		11	1		10	
Всего по разделу	1	33	3		30	
Раздел 3. Практические аспекты диагностики плазмы на токамаке и реакторе						
Тема 3.1. Обработки и интерпретации экспериментальных данных		11	1		10	
Тема 3.2. Инженерные аспекты диагностики высокотемпературной плазмы		11	1		10	
Тема 3.3. Измерения в условиях современного термоядерного эксперимента		11	1		10	
Всего по разделу	1	33	3		30	
Всего по дисциплине	3	108	14		94	За- чет

4.2. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Пассивные методы диагностики плазмы

Тема 1.1. Магнитные измерения.

Измерение токов и магнитных полей. Положение и форма плазменного шнура. Применение магнитных зондов для измерений колебаний в плазме. Диамагнитные петли. Факторы, влияющие на измерения.

Тема 1.2. Электростатические зонды.

Одиночный электростатический зонд (Зонд Ленгмюра). Определение параметров плазмы по вольт-амперной характеристике одиночного зонда. Плавающий и эмиссионный зонды. Специальные виды зондов: двойной зонд, тройной зонд, многоэлектродные зонды. Рекомендации по применению ленгмюровских зондов. Электростатический зонд в магнитном поле. Высокочастотный зонд. Измерение шумов и колебаний в плазме.

Тема 1.3. Регистрация излучения из плазмы.

Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой части спектра. Мягкое и жесткое рентгеновское излучение. Циклотронное излучение электронов. Боллометрические измерения.

Тема 1.4. Потoki атомов перезарядки.

Исследование потоков атомов перезарядки из плазмы. Анализаторы потоков атомов.

Тема 1.5. Ядерно-физические методы.

Нейтроны. Гамма-спектрометрия.

Раздел 2. Активные методы диагностики плазмы

Тема 2.1. Методы лазерного зондирования.

Диагностика томсоновского рассеяния. Лазерная флуоресценция.

Тема 2.2. Зондирование плазмы пучками частиц.

Активная корпускулярная диагностика и Резерфордское рассеяние. Измерения по динамическому эффекту Штарка (MSE). «Перезарядно-рекомбинационная» спектроскопия (CHERS). Зондирование пучками тяжелых ионов.

Тема 2.3. СВЧ-зондирование.

Интерферометрия и поляриметрия. Рефлектометрические методы диагностики.

Раздел 3. Практические аспекты диагностики плазмы на токамаке и реакторе

Тема 3.1. Обработки и интерпретации экспериментальных данных.

Случайные и систематические ошибки. Определение локальных характеристик плазмы из интегральных соотношений. Преобразование Абеля. Использование математических моделей плазмы для интерпретации результатов эксперимента.

Тема 3.2. Инженерные аспекты диагностики высокотемпературной плазмы.

Изменение механических, электрических и оптических свойств материалов. Электрические наводки и способы их подавления. Электроника для систем автоматизации эксперимента.

Тема 3.3. Измерения в условиях современного термоядерного эксперимента.

Диагностический комплекс установки ИТЭР.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Современные методы диагностики высокотемпературной плазмы» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко струк-

турировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Современные методы диагностики высокотемпературной плазмы» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован как выступление на семинарах.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Современные методы диагностики высокотемпературной плазмы». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме.

На зачете аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Современные методы диагностики высокотемпературной плазмы».

Перечень контрольных вопросов, позволяющих оценить качество усвоения учебного материала на зачете:

1. Измерение тока плазмы и напряжения на обходе в токамаке. Диамагнитный сигнал.

2. Определение положения и формы плазменного шнура. Код EFIT.
 3. Измерения колебаний в плазме с помощью магнитных зондов.
 4. Определение параметров пристеночной плазмы с помощью одиночного электростатического зонда.
 5. Измерения с помощью многоэлектродных зондов.
 6. Применение оптической спектроскопии для измерений параметров плазмы.
 7. Мягкое и жесткое рентгеновское излучение.
 8. Циклотронное излучение электронов.
 9. Измерения потоков энергии. Болометры.
 10. Измерения потоков атомов перезарядки из плазмы.
 11. Измерения потоков и спектров нейтронов.
 12. Гамма-спектрометрия.
 13. Диагностика томсоновского рассеяния.
 14. Лазерная флуоресценция.
 15. Активная корпускулярная диагностика и Резерфордское рассеяние.
 16. Измерения магнитного поля по динамическому эффекту Штарка (MSE).
 17. Применение «перезарядно-рекомбинационной» спектроскопии (CHERS).
 18. Зондирование пучками тяжелых ионов.
 19. СВЧ-интерферометрия
 20. Рефлектометрические методы диагностики плазмы
 21. Обработка результатов измерений. Случайные и систематические ошибки.
 22. Определение локальных характеристик плазмы из интегральных соотношений.
- Преобразование Абеля.

23. Изменение механических, электрических и оптических свойств материалов в плазменном эксперименте.

24. Электрические наводки и способы их подавления. Измерения в условиях современного термоядерного эксперимента.

25. Построение систем автоматизации, управления и сбора данных на современных плазменных установках.

26. Диагностический комплекс установки ИТЭР.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Мирнов С.В. Физические процессы в плазме токамака. – М., «Энергоатомиздат»,

1985.

2. Стрелков В.С., Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке // М., Изд. МИФИ, 2004.

7.2. Дополнительная литература

3. Готт Ю.В., Курнаев В.А., Вайсберг О.Л. Корпускулярная диагностика лабораторной и космической плазмы: Учебное пособие // М., Изд. МИФИ, 2008

7.2. Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

Физика плазмы (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=8251;

Отечественные журналы в переводе:

1. Plasma Physics Reports (<http://link.springer.com/journal/11452>;

2. Radiophysics and Quantum Electronics
(<http://www.springer.com/astronomy/journal/11141>;

Иностранные журналы:

1. Contributions to Plasma Physics

(<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291521-3986>);

2. EPL (Europhysics Letters) (<http://iopscience.iop.org/0295-5075/>);

3. Nature (<http://www.nature.com/nature/index.html>);

4. Physics of Fluids B: Plasma Physics (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pofb>);

5. Physics of Plasmas (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pop>);

6. Plasma Physics and Controlled Fusion (<http://iopscience.iop.org/0741-3335/>);

7. Plasma Chemistry and Plasma Processing (<http://link.springer.com/journal/11090>);

8. Plasma Science and Technology (<http://iopscience.iop.org/1009-0630/>);

9. Plasma Sources Science and Technology (<http://iopscience.iop.org/0963-0252/>);

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Компьютерный класс

Программу разработал:

Вед.н.с. лаб. физики высокотемпературной плазмы,
канд. физ.- мат. наук Минаев В.Б.