

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 » 104 2022 г.



Рабочая программа дисциплины

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

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 дисциплины «Волновые процессы в магнитоактивной плазме» 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:

- создание у аспирантов комплекса знаний о фундаментальных свойствах волновых процессов в плазме, теоретических и экспериментальных методах их исследования и специфике механизмов поглощения;
- формирование представлений об особенностях распространения электромагнитных волн различных частотных диапазонов;
- ознакомление аспирантов с последними достижениями теории волн в плазме и их проявлениями в экспериментах по УТС.

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

Дисциплина «Волновые процессы в магнитоактивной плазме» входит в обязательную часть образовательного компонента программы аспирантуры и изучается для подготовки к сдаче кандидатского экзамена.

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.

Актуальность изучения дисциплины определяется важной ролью электромагнитных волн в решении задач нагрева и диагностики плазмы, необходимостью комплекса знаний и умений, приобретаемых в ходе изучения курса, для практических применений.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Волновые процессы в магнитоактивной плазме» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с программой аспирантуры:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность проводить исследования физики переноса энергии и вещества в плазме ловушек с магнитным удержанием, на основе методик, освоенных в процессе прохождения курса, и интерпретировать результаты экспериментальных исследований с применением полученных теоретических знаний (ПК-1);

- способность проводить исследования физики ВЧ и инжекционного нагрева высокотемпературной плазмы на установках с магнитным удержанием, а также оценивать перспективность применения этих методов нагрева в термоядерных реакторах (ПК-2);

- планировать, организовывать работу по проектам, направленным на исследование физики высокотемпературной плазмы в современных установках с магнитным удержанием и на создание установок реакторного масштаба, основанных на современных представлениях о физике термоядерных реакторов (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методы и средства решения поставленных задач (ПК-4).

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны будут

знать:

- основные методы анализа волновых процессов в плазме;
- моды колебаний плазмы в различных частотных диапазонах;
- механизмы затухания плазменных волн в высокотемпературной плазме;
- основные неустойчивости плазмы, связанные с возбуждением плазменных волн;

уметь:

- определять области прозрачности плазмы в конкретных экспериментальных условиях;
- оценивать длину волны и длину её затухания в условиях эксперимента;

владеть опытом:

- самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами распространения и взаимодействия волн в плазме;
- выяснения дисперсионных свойств плазмы в различных частотных диапазонах.

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 72 часа, 2 ЗЕ.

4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов и тем	Грудоемкость (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. Методы и подходы электродинамики диспергирующих сред						
Тема 1.1 Линейное приближение и уравнения Максвелла в дифференциальной и алгебраической форме		8	3		5	
Тема 1.2. Дисперсионное уравнение в однородной и слабо неоднородной среде		9	3		6	
Тема 1.3. Энергетические характеристики волновых процессов		8	3		5	
Всего по разделу		25	9		16	
Раздел 2. Теория «быстрых» волн						
Тема 2.1. Волны в МГД и ИЦ диапазонах		8	3		5	
Тема 2.2. Волны в промежуточном частотном диапазоне		8	3		5	
Тема 2.3. Волны в ЭЦ диапазоне		8	3		5	
Всего по разделу		24	9		15	
Раздел 3. Теория «медленных» волн						
Тема 3.1. Диэлектрические свойства плазмы при учёте теплового движения частиц		8	3		5	
Тема 3.2. Резонансные механизмы поглощения волн		8	3		5	
Тема 3.3. Волновые неустойчивости плазмы		7	2		5	
Всего по разделу		23	8		15	
Всего по дисциплине	2	72	26		46	зачет

4.3. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Методы и подходы электродинамики диспергирующих сред.

Тема 1.1. Линейное приближение в электродинамике. Закон Ома в анизотропной, однородной и стационарной плазме. Уравнения Максвелла в дифференциальной и алгебраической форме.

Тема 1.2. Дисперсионное уравнение в однородной и слабо неоднородной среде.

Понятие дисперсионного уравнения. Тензор электрической проницаемости в приближении холодной магнитоактивной плазмы. Дисперсионное уравнение для магнитоактивной холодной плазмы. Условия отсечки и гибридного резонанса. Волны в слабо неоднородной плазме.

Тема 1.3. Энергетические характеристики волновых процессов

Поглощение энергии в плазме.

Понятие о плотности и потоке энергии волн в плазме с учётом временной и пространственной дисперсией.

Раздел 2. Теория «быстрых» волн

Тема 2.1. Волны в МГД и ИЦ диапазонах

Волны в низкочастотном диапазоне. БМЗ волна, алвеновская волна, ионно-циклотронные волны.

Тема 2.2. Волны в промежуточном частотном диапазоне.

Волны в промежуточном частотном диапазоне. Геликон, косая ленгмюровская волна и мода свистящих атмосфериков. Нижний гибридный резонанс. Поглощение энергии в гибридном резонансе.

Тема 2.3. Волны в ЭЦ диапазоне

Волны в СВЧ диапазоне. Обыкновенная и необыкновенная волны, верхний гибридный резонанс.

Раздел 3. Теория «медленных» волн

Тема 3.1. Диэлектрические свойства плазмы при учёте теплового движения частиц. Электрическая проницаемость изотропной плазмы при учёте теплового движения частиц. Ленгмюровские волны в изотропной плазме. Условия распространения и затухание. Ионно-звуковые волны в изотропной и магнитоактивной плазме. Условия распространения и затухание.

Тема 3.2. Резонансные механизмы поглощения волн

Циклотронный резонанс, резонанс Ландау, механизм поглощения при резонансе Ландау. Линейное и нелинейное поглощение по механизму Ландау. Искажение функции

распределения при резонансном поглощении. Квазилинейное приближение для описания взаимодействия волн с плазмой.

Тема 3.3. Волновые неустойчивости плазмы. Кинетические неустойчивости, пучковая неустойчивость, ионно-звуковая токовая неустойчивость, дрейфовые неустойчивости.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Волновые процессы в магнитоактивной плазме» 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 структурировать 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 «Волновые процессы в магнитоактивной плазме» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения.

Комплект оценочных средств для текущего контроля

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов реализуется на практических занятиях и в виде выступлений на семинарах по индивидуальным домашним заданиям. По окончании курса проводится **зачет**.

Перечень контрольных вопросов:

1. Линейное приближение в электродинамике. Закон Ома в анизотропной, однородной и стационарной плазме.
2. Тензор электрической проницаемости в приближении холодной магнитоактивной плазмы.
3. Уравнения Максвелла в дифференциальной и алгебраической форме.
4. Дисперсионное уравнение для магнитоактивной холодной плазмы. Условия отсечки и гибридного резонанса.
5. Волны в слабо неоднородной плазме.
6. Поглощение энергии в плазме.
7. Понятие о плотности и потоке энергии волн в плазме с учётом временной и пространственной дисперсией.
8. Волны в низкочастотном диапазоне. БМЗ волна, алвеновская волна,
9. Волны в низкочастотном диапазоне ионно-циклотронные волны.
10. Волны в промежуточном частотном диапазоне. Косая ленгмюровская волна и мода свистящих атмосфериков.
11. Нижний гибридный резонанс.
12. Поглощение энергии в гибридном резонансе.
13. Волны в СВЧ диапазоне. Обыкновенная и необыкновенная волны,
14. Волны в СВЧ диапазоне, верхний гибридный резонанс.
15. Электрическая проницаемость изотропной плазмы при учёте теплового движения частиц.
16. Ленгмюровские волны в изотропной плазмы. Условия распространения и затухание по механизму Ландау.
17. Ионно-звуковые волны в изотропной и магнитоактивной плазме.
18. Ионно-звуковые волны затухание по механизму Ландау и токовая неустойчивость.
19. Квазилинейное приближение для описания взаимодействия волн с плазмой.
20. Пучковая неустойчивость.

21. Дрейфовые волны.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. А.Ф. Александров, Л.С. Богданкевич, А.А. Рухадзе. Основы электродинамики плазмы Москва: Высшая школа, 1978. 407 с.
2. Электродинамика плазмы, под редакцией А.И. Ахиезера, монография, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1974, 719 с.
3. Б.Б. Кадомцев Коллективные явления в плазме М., Наука, 1988, -303 с.
Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский Физическая кинетика; М.: Наука, 1979.- 527 с.

7.2. Дополнительная литература

1. В.Л. Гинзбург Распространение электромагнитных волн в плазме. Монография, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1967, 683 с.

7.3. 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 ДИСЦИ- ПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер

Программу разработал:

заведующий лабораторией физики
высокотемпературной плазмы,
д-р физ.-мат. наук, Гусаков Е.З.