

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор ИСЭ СО РАН
академик РАН



Н. А. Ратахин

« 24 » августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ
«Физика плазмы»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Электрофизика, электрофизические установки	Вариативная часть, дисциплина по выбору
2	11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи	Вакуумная и плазменная электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре ООП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

В дисциплине рассматриваются: классификация видов плазмы, движение частиц в электромагнитных полях, колебания и волны в плазме, равновесные состояния в магнитном поле, кинетическая теория волн в плазме, численные методы решения задач физики плазмы.

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен:

знать: общую физику, классическую электродинамику, физику пучков заряженных частиц,

уметь: применять методы математической физики.

1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель преподавание дисциплины — формирование широких, систематических физических представлений об основных явлениях в плазме, способах описания ансамбля заряженных частиц и их взаимодействия с электромагнитными полями для использования этих знаний при решении различных задач электрофизики и электроники, физики и техники устройств с плазмой.

В результате изучения дисциплины аспирант должен

знать:

- виды плазмы и ее характеристики;
- физические процессы в плазме, определяющие ее свойства (перенос, колебания, движение в электромагнитных полях);

уметь:

- рассчитывать основные параметры плазмы: дебаевский радиус, плазменную частоту, сечения взаимодействия, частоты столкновений, скорости дрейфа в электромагнитных полях;
- получать дисперсионные соотношения для различных типов колебаний в плазме, инкременты неустойчивостей.
- оценивать параметры плазмы в различных электрофизических устройствах.

1.3. Формируемые компетенции

Освоение настоящей дисциплины дает вклад в формирование у обучающихся следующих компетенций:

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

ПК-1: Наличие широких, целостных и глубоких знаний о физических процессах в плазме, видах и характеристиках плазмы (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение оценивать и рассчитывать характеристики плазмы и плазменных процессов, в том числе с целью проектирования электрофизических устройств, содержащих плазму (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: 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-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практика	Самостоятельная работа
1	РАЗДЕЛ 1. Основные понятия о плазме	6	—	12
2	РАЗДЕЛ 2. Движение заряженных частиц в электромагнитном поле, явления переноса в плазме	8	—	16
3	Раздел 3. Колебания и волны в «холодной» плазме	6	—	12
4	Раздел 4. Кинетическая теория волн в плазме	8	—	16
5	Раздел 5. Равновесие плазмы в магнитном поле. Z-пинч, токамак	4	—	8
6	Раздел 6. Обзор численных методов решения задач физики плазмы	4	—	8
	ВСЕГО	36	—	72

2.2. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
	ПЕРВЫЙ СЕМЕСТР	36	1
	РАЗДЕЛ 1. Основные понятия о плазме	6	0,17
1	Тема 1.1. Основные параметры плазмы Дебаевский радиус, плазменная частота, плазменный параметр. Критерии существования плазмы, классификация видов плазмы (классическая идеальная, классическая неидеальная, квантовая идеальная, квантовая неидеальная),	2	0,055
2	Тема 1.2. Упругие столкновения в плазме Дальнодействие, «транспортное» сечение, время установления равновесных состояний («максвеллизация», энергообмен), ионизационное равновесие.	2	0,055
3	Тема 1.3. Излучение плазмы Тормозное излучение, рекомбинационное излучение, линейчатое излучение.	2	0,055
	РАЗДЕЛ 2. Движение заряженных частиц в электромагнитном поле, явления переноса в плазме	8	0,22
4	Тема 2.1. Однородные поля	2	0,055

	Движение частиц в однородных E и H полях, дрейф в скрещенных полях		
5	<u>Тема 2.2. Неоднородные поля</u> Движение частиц в неоднородных E и H полях (градиентный и центробежный дрейф, магнитные зеркала, постоянство магнитного потока), адиабатические инварианты.	2	0,055
6	<u>Тема 2.3. Диффузионные явления в плазме</u> Диффузия без магнитного поля (амбиполярная диффузия), при наличии магнитного поля (в том числе боровская диффузия).	2	0,055
7	<u>Тема 2.4. Теплопроводность и проводимость плазмы</u> Механизмы теплопроводности плазмы. Механизмы электропроводности плазмы.	2	0,055
Раздел 3. Колебания и волны в «холодной» плазме		6	0,17
8	<u>Тема 3.1. Основные уравнения, описывающие колебательные процессы в плазме</u> Дисперсионные соотношения, классификация колебаний по частотам	2	0,055
9	<u>Тема 3.2. Волны без магнитного поля, альфвеновские и магнитозвуковые волны,</u> верхнегибридная и нижнегибридная моды	2	0,055
10	<u>Тема 3.3. Электромагнитные волны в плазме</u> Электромагнитные волны распространяющиеся перпендикулярно магнитному полю и распространяющиеся параллельно магнитному полю.	2	0,055
Раздел 4. Кинетическая теория волн в плазме		8	0,22
11	<u>Тема 4.1. Кинетическое уравнение</u> Самосогласованное поле, уравнение Власова.	2	0,055
12	<u>Тема 4.2. Продольные волны</u> (затухание Ландау, пучковая неустойчивость, ионный звук),	2	0,055
13	<u>Тема 4.3. Поперечные волны</u> Аномальный скин-эффект.	2	0,055
14	<u>Тема 4.4. Решение кинетического уравнения при наличии магнитного поля</u> Циклотронный резонанс, циклотронное и затухание.	2	0,055
Раздел 5. Равновесие плазмы в магнитном поле. Z-пинч, токамак		4	0,11
15	<u>Тема 5.1. Устойчивость границы плазмы в магнитном поле</u> энергетический принцип устойчивости в магнитной гидродинамике	2	0,055
16	<u>Тема 5.2. Z-пинч, токамак</u>	2	0,055
Раздел 6. Обзор численных методов решения задач физики плазмы		4	0,11
17	<u>Тема 6.1. Математические модели плазмы</u>	2	0,055
18	<u>Тема 6.2. Численные методы, применяемые в физике плазмы</u> Метод магнитной гидродинамики Метод частиц	2	0,055
СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ		36	1,0

2.3. Практические (семинарские) занятия — не предусмотрены.

2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

№	содержание самостоятельной работы	часы
1	Проработка лекционного материала	60
2	Подготовка к зачету	12
ИТОГО:		72

2.4.1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у лектора (заведующего отделом ИСЭ СО РАН).

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

2.4.2. Вопросы для самоконтроля при самоподготовке

1. Определение дебаевского радиуса, плазменной частоты, плазменного параметра, условий существования плазмы.
2. Виды плазмы, физические принципы классификации.
3. Упругие столкновения в плазме (транспортное сечение), время установления равновесных состояний.
4. Движение заряженных частиц в однородном электрическом и в однородном магнитном поле, неоднородном магнитном поле. Градиентный и центробежный дрейф.
5. Адиабатические инварианты движения заряженных частиц в медленно изменяющемся магнитном поле.
6. Процессы переноса в плазме. Проводимость, теплопроводность, диффузия амбиполярная, диффузия Бомовская.
7. Волны в холодной плазме без магнитного поля. Продольные волны, поперечные волны, эффект «отсечки».
8. Альфвеновские и магнитозвуковые волны.
9. Излучение в плазме. Тормозное излучение, рекомбинационное излучение, линейчатое излучение.
10. Верхнегибридные и нижнегибридные моды колебаний в плазме.
11. Классификация неустойчивостей в плазме. Двухпоточковая неустойчивость.
12. Гравитационная неустойчивость, переход к желобковой неустойчивости.
13. Кинетическое уравнение, самосогласованное поле, уравнение Власова.
14. Продольные волны с позиций уравнения Власова. Затухание Ландау, ионный звук.
15. Поперечные волны с позиций уравнения Власова. Аномальный скин-эффект
16. Решение кинетического уравнения при наличии магнитного поля. Циклотронный резонанс и циклотронное затухание.
17. Z-пинч. Токамак. Физические принципы удержания плазмы.
18. Энергетические принципы устойчивости в магнитной гидродинамике.
19. Физические модели плазмы. Проводящая сплошная среда.
20. Математические модели плазмы. Система уравнений сохранения. Кинетическое уравнение.
21. Численные методы применяемые в физике плазмы.
22. Особенности применения конечно-разностных методов к решению задач физики плазмы.
23. Возможности и пределы применимости метода частиц при решении задач физики плазмы.
24. Условия достаточные для сохранения адиабатической инвариантности.
25. Явление «вмороженности» магнитного поля в плазме.
26. Эффект убегающих электронов в плазме при наличии электрического поля.
27. Оценить плотность кулоновской энергии в плазме.
28. Получить уравнения гидродинамики из кинетического уравнения.
29. Поляризационный дрейф. Магнитное поле постоянно, электрическое поле изменяется во времени.
30. Дрейф в однородном магнитном поле и неоднородном электрическом поле.
31. Кулоновский логарифм. Определение и физический смысл пределов.
32. Понятие замагниченности заряженных частиц в плазме.
33. Стабилизация «сосисочной» неустойчивости внешним магнитным полем.
34. Диамагнитные свойства плазмы, оценка магнитной восприимчивости.
35. Ионизационное равновесие по Саха.

3. Учебно-методические материалы

3.1. Рекомендуемая литература

1. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З.. Физика плазмы для физиков. – М.: Атомиздат, 1979.
2. Франк-Каменецкий А. Д. Лекции по физике плазмы. – М.: Атомиздат, 1964.
3. Чен Ф. Введение в физику плазмы. – М.: Мир, 1987.
4. Веденов А.А Задачник по физике плазмы. – М.: Атомиздат, 1981.
5. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. – М.: Физматлит, 2001.
6. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
7. Бэдсел Ч., Ленгдон А. Физика плазмы и численное моделирование. – М.: Энергоиздат, 1989. 455 с.

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства мультимедиа,
- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет,
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН.

5. Оценка качества освоения дисциплины

5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием балльной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	20
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	10
Решение задач (самостоятельная работа)	20
Дифференцированный зачет	50
Максимальный суммарный балл	100

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

- «Отлично»: 41—50 баллов.
- «Хорошо»: 31—40 баллов.
- «Удовлетворительно»: 16—30 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 15 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:

- «Отлично»: 81—100 баллов.
- «Хорошо»: 61—80 баллов.
- «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.
- «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	+	+	+			
Подготовка реферата	+	+	+	+		
Решение задач (самостоятельная работа)	+	+	+	+	+	+
Дифференцированный зачет	+	+	+	+		

Рабочая программа составлена на основании:

федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлениям подготовки 03.06.01 Физика и астрономия и 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспортов специальностей научных работников 01.04.13 — электрофизика, электрофизические установки; 05.27.02 — вакуумная и плазменная электроника;

- программ-минимумов кандидатских экзаменов по выше перечисленным специальностям, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы
академик РАН, д.ф.-м.н.

Н. А. Ратахин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.
Протокол № 13 от «24» августа 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу дисциплины «Физика плазмы» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.
Протокол № ____ от « » _____ 20__ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.