

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

М.Ю. Глявин



« 15 » апреля 2022г.

Рабочая программа дисциплины

Физика плазмы

Уровень образования

высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Научная специальность

1.3.9. Физика плазмы

(шифр, наименование)

Форма обучения

очная

Нижний Новгород
2022

1. Место и цели дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Дисциплина «Физика плазмы» относится к числу специальных дисциплин программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программы аспирантуры), является обязательной для освоения и изучается на третьем году обучения, в пятом семестре.

Освоение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, сформированные на двух предшествующих уровнях образования и на первых двух годах обучения в аспирантуре. В частности, на знания, умения и навыки, полученные в ходе освоения таких дисциплин, как «Методы магнитного удержания плазмы», «Физика газового разряда», «Геофизическая электродинамика», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Теория колебаний и волн», «Электромагнитные волны», «Основы кинетики и электродинамики плазмы», «Линейные и нелинейные волновые процессы в плазме», «Электродинамика квазиоптических систем», «Высокочастотная релятивистская электроника», «Статистическая радиофизика», «Микроволновая спектроскопия» и т.п. При освоении данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки по математическому анализу, математической физике и дифференциальным уравнениям, приобретенные в бакалавриате и магистратуре.

Основными целями освоения дисциплины являются формирование у аспирантов углубленных знаний о методах удержания и поддержания плазмы в лабораторных магнитных ловушках разного типа, об основных физических процессах в газовом разряде, об основных физических явлениях в околоземном космическом пространстве; ознакомление с современными методами диагностики плазмы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Аспирант, освоивший дисциплину «Физика плазмы», должен:

Знать современное состояние науки в области физики плазмы; современные подходы к моделированию различных явлений в области физики плазмы и оценке полученных результатов.

Уметь самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики плазмы и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий; представлять результаты научно-исследовательской деятельности (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес сообществу.

Уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования; оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области физики плазмы и возможности их внедрения.

Владеть навыками проведения научных исследований в области физики плазмы с учетом характеристик и возможностей современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

По результатам освоения дисциплины «Физика плазмы» аспиранты сдают кандидатский экзамен по научной специальности 1.3.9. Физика плазмы.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 114 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов – подготовка к сдаче кандидатского экзамена, 44 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1:

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Программа-минимум кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.9. Физика плазмы	38	16		16	22
Дополнительная программа кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.9. Физика плазмы (подготовка в соответствии с программой, разработанной в ИПФ РАН)	38	16		16	22
Аттестация по дисциплине – кандидатский экзамен				2	36
Итого		114			

Таблица 2:

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 1.3.9. Физика плазмы		
1	Термодинамика плазмы	Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми—Дирака, модель Томаса—Ферми.
2	Элементарные процессы	Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.
3	Физическая кинетика	Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Кинетика возбужденных молекул в плазме.
4	Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	Движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта.
5	Магнитная гидродинамика плазмы	Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.
6	Неустойчивость плазмы	Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике, пинч. Неустойчивость плазмы, виды неустойчивости, перегревная и ионизационная неустойчивости. Энергетический принцип МГД-устойчивости.
7	Колебания и волны в плазме	Основные типы колебаний и волн в плазме: лэнгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно-звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн
8	Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме	Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение

9	Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой	Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн
10	Излучение плазмы	Элементарные радиационные процессы, интенсивность спектральных линий, сплошные спектры, вынужденное испускание. Пробег излучения, перенос излучения в среде, оптически прозрачная и непрозрачная плазма, лучистая теплопроводность.
11	Диагностика плазмы	Зондовые методы, оптические методы, СВЧ-методы, корпускулярные методы, лазерное рассеяние, магнитные измерения.
12	Электрический разряд в газах	Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда.
13	Гидродинамические и тепловые явления в плазме	Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности. Токовые слои.
Дополнительная программа кандидатского экзамена по специальности 1.3.9. Физика плазмы		
1	Кинетический и гидродинамический методы описания плазмы	Уравнение Лиувилля и условия корректного перехода к кинетическому уравнению с самосогласованным полем для одночастичной функции распределения. Разлет бесстолкновительной плазмы (ограниченной и из полупространства). Приближенное описание столкновений в рамках кинетического уравнения. Интегралы столкновений в форме Больцмана и Ландау, уравнение Фоккера-Планка. «Тау-приближение» для интеграла столкновений. Кинетическое описание упругих и неупругих столкновений электронов с атомами и молекулами. Приближенное описание кинетики электронов в слабом однородном электрическом поле. Явление убегающих электронов. Моменты функции распределения и переход к гидродинамическому описанию плазмы. Приближение квазигидродинамики, вывод диффузионных уравнений, явление термодиффузии и теплопроводности. Амбиполярная диффузия. «Вмороженность» магнитного поля в плазму. Нагрев электронов в постоянном и высокочастотном электрическом поле при наличии столкновений.
2	Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	Релятивистские уравнения движения заряженных частиц в электромагнитном поле. Точные решения в однородных постоянных полях и в поле бегущей плоской волны. Движение заряженной частицы в магнитной ловушке, адиабатические инварианты, неклассический перенос. Движение частицы в слабо неоднородном высокочастотном электромагнитном поле, высокочастотный потенциал, влияние внешнего магнитного поля. Движение электрона в пространственно периодическом электрическом поле. Квазиимпульс и зонный спектр электронов. Экранировка зарядов в кристалле в приближении случайных фаз.
3	Волны в плазме	Макроскопическая электродинамика сред с временной и пространственной дисперсией, материальные уравнения. Плоские монохроматические волны, тензор диэлектрической проницаемости, соотношения Крамерса-Кронига. Распространение волновых пакетов, плотность энергии и плотность потока энергии квазимонохроматических электромагнитных волн в среде с временной и пространственной дисперсией, волны с отрицательной энергией. Тензор диэлектрической проницаемости в холодной изотропной плазме в рамках гидродинамического описания. Тензор диэлектрической проницаемости изотропной плазмы в рамках кинетического описания. Электромагнитные и потенциальные волны в изотропной плазме. Тензор диэлектрической проницаемости в холодной магнитоактивной плазме в рамках гидродинамического описания. Тензор диэлектрической проницаемости магнитоактивной плазмы в рамках кинетического описания. Классификация волн в магнитоактивной плазме. Распространение электромагнитных волн в плавнеоднородной плазме. Геометрическая оптика, ВКБ-приближение. Каустики, структура поля в окрестности каустики. Линейная трансформация волн в изотропной и маг-

		<p>нитоактивной плазме, эффект предельной поляризации волн. Поглощение волн в областях плазменного и циклотронного резонанса. Резонансные характеристики простейших плазменных объектов – плоский слой, цилиндр, шар. Нормальный и аномальный скин-эффект. Поверхностные волны на границе плазменного полупространства. Каналирование волн в слоях с повышенной и пониженной плотностью плазмы.</p>
4	<p>Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме</p>	<p>Эволюция функции распределения электронов в поле монохроматической плазменной волны. Эхо в плазме. Квазилинейная теория, релаксация электронного пучка в плазме, ускорение частиц плазменной турбулентностью, механизм Ферми. Понятие об абсолютной и конвективной неустойчивости. Кинетические и гидродинамические неустойчивости электромагнитных волн в плазме. Новые методы ускорения заряженных частиц и фотонов в плазме; ускорение на кильватерной волне и волне биений.</p>
5	<p>Нелинейные эффекты в плазме</p>	<p>Механизмы трехволнового взаимодействия в плазме. Примеры трехволновых процессов. Распадные неустойчивости. Соотношения Мэнли-Роу. Модифицированный распад. Процессы индуцированного рассеяния волн. Механизмы нелинейного самовоздействия волн в плазме (тепловые, силовые, ионизационные, релятивистские). Уравнения движения плазмы с учётом усреднённой силы со стороны высокочастотного поля. Модуляционная неустойчивость, ленгмюровские солитоны. Примеры самовоздействия электромагнитных волн в плазме (волноводные каналы, солитоны огибающих, ионизационное каналирование поверхностных волн). Сильная и слабая турбулентность плазмы. Параметрическое возбуждение ионно-звуковой и ленгмюровской волн в высокочастотном поле. Генерация “кавитонов” в области плазменного резонанса. Ионно-звуковые солитоны. МГД и бесстолкновительные ударные волны. Аномальные диффузия, теплопроводность и сопротивление.</p>
6	<p>Излучение плазмы</p>	<p>Виды излучения: Тормозное, магнитотормозное, черенковское, переходное, комптоновское. Нормальный и аномальный эффект Доплера. Особенности излучения релятивистских электронов. Синхротронное излучение в плазме. Сила реакции излучения; давление излучения в плазме. Тепловое и нетепловое излучения плазмы. Уравнение переноса излучения. Реабсорбция излучения, связь коэффициента поглощения и излучательной способности среды, метод коэффициентов Эйнштейна. Усиление излучения в неравновесной плазме. Рассеяние электромагнитных волн на флуктуациях плотности плазмы.</p>
7	<p>Специальные разделы физики плазмы: космическая плазма</p>	<p>Магнитосфера Земли: формирование магнитосферы, особенности движения частиц, механизмы ускорения и потерь заряженных частиц в магнитосфере. Динамика радиационных поясов. Механизмы возбуждения основных видов электромагнитных излучений в магнитосферной плазме. Циклотронные мазеры. Физика космических лучей. Механизмы их ускорения в оболочках сверхновых, в окрестностях нейтронных звезд и активных ядер галактик. Диффузия космических лучей в магнитном поле Галактики. Проблема космических лучей сверхвысоких энергий. Плазменные магнитосферы и радиоизлучение Юпитера, Солнца, пульсаров и активных галактик. Звёздный ветер. Токовые слои и их неустойчивости. Аккрецирующие рентгеновские источники. Релятивистские джеты и выбросы. Космические гамма-всплески.</p>
8	<p>Специальные разделы физики плазмы: УТС</p>	<p>Стационарный и инерционный управляемый термоядерный синтез, реакции термоядерного синтеза, критерий Лоусона, пороговая температура. Основные системы для магнитного удержания плазмы (токамак, стеларатор, прямая ловушка). МГД-неустойчивости плазменного шнура и методы их стабилизации. Критерий устойчивости Шафранова-Крускала. Диффузия Пфирша – Шлютера, «банановый» перенос в тороидальных и тандемных ловушках, бутстреп–ток. Методы нагрева и генерации тока в термоядерной плазме. Механизм поглощения лазерного излучения в плотной плазме, абляционное сжатие мишени, энергия поджига реакции,</p>

		системы с быстрым поджигом. Лазерный реактивный двигатель. Усиление ВУФ в рекомбинирующей плазме.
9	Специальные разделы физики плазмы: разряд	Физика газового разряда, классификация разрядов, их основные особенности и примеры (равновесный и неравновесный разряды; низкочастотный, высокочастотный и оптический разряды). Принцип подобия для высокочастотного пробоя газа. Ограничение электронной концентрации в плазме неравновесного разряда, поддерживаемого в сфокусированных пучках электромагнитных волн. Распространение разряда навстречу падающему электромагнитному излучению. Плазменно-пучковый разряд. ЭЦР разряд в прямой магнитной ловушке, классификация режимов удержания плазмы, генерация многозарядных ионов. Плазмотроны атмосферного давления и их применения. Дуговой плазмотрон, ВЧ-плазмотрон, СВЧ плазмотрон. ВЧ источники плазмы, применение в микроэлектронике.
10	Специальные разделы физики плазмы: аэрозольная плазма	Вигнеровский и пылевой кристаллы. Особенности распространения электромагнитных волн в пылевой плазме. Рассеяние электромагнитных волн на аэрозолях.
11	Специальные разделы физики плазмы: антенна в плазме	Излучение электромагнитных волн в плазме сторонними источниками (антеннами, пучками заряженных частиц). Использование плазмы для согласования антенны со средой.

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Физика плазмы» являются занятия лекционного типа и самостоятельная работа обучающегося. Аспирантам даются задания по самостоятельной подготовке материалов по тематике занятий, которые впоследствии обсуждаются с научными руководителями. При необходимости организуются групповые и индивидуальные консультации обучающихся с руководителем образовательной программы.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе дисциплины и контролируется научным руководителем аспиранта. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика плазмы» проводится в форме кандидатского экзамена по научной специальности 1.3.9. Физика плазмы с оценкой по следующей шкале: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). Кандидатский экзамен сдается по совокупности всех освоенных за время обучения специальных дисциплин.

Критерии оценок:

Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант дает полный и развернутый ответ на все заданные теоретические вопросы; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированное решение сформулированной задачи с незначительными недочетами, способен успешно решить дополнительную задачу. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение
---------	---

	методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все заданные теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полное решение сформулированной задачи с некоторыми недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 90%.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированное решение сформулированной задачи. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы, как на заданные теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решение сформулированной задачи с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владении методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.

Вопросы по программе кандидатского экзамена

1. Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, идеальная и неидеальная плазма, классическая и вырожденная плазма, дебаевский радиус, потенциал пробного заряда в плазме.
2. Столкновения заряженных частиц в плазме, задача Резерфорда, кулоновский логарифм. Торможение пробной заряженной частицы в плазме.
3. Элементарные процессы в плазме. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом. Фоторекомбинация и фотоионизация.
4. Ионизация равновесной плазмы, формула Саха, снижение потенциала ионизации, условие термодинамического равновесия.
5. Кинетическое описание плазмы. Функция распределения. Уравнение Больцмана и Власова, самосогласованное и действующее поле. Приближение парных соударений.
6. Описание кулоновских столкновений в рамках кинетического уравнения Больцмана. Интеграл столкновений в форме Ландау, релаксационная форма интеграла столкновений (- приближение). Н-теорема Больцмана.
7. Гидродинамическое описание плазмы. Моменты функции распределения и вывод системы гидродинамических уравнений полностью ионизированной плазмы.
8. Одножидкостная и двухжидкостная гидродинамика. Идеальная магнитная гидродинамика, законы сохранения. Вмороженность и проникновение магнитного поля в плазму.
9. Явления переноса в плазме. Кинетические коэффициенты для изотропной плазмы. Теплопроводность и проводимость плазмы. Термосила. Тензор вязких натяжений.
10. Проводимость плазмы в слабом однородном электрическом поле. Задача Спитцера. Явление убегающих электронов.
11. Кинетические коэффициенты для плазмы в однородном магнитном поле. Закон Ома и эффект Холла.
12. Амбиполярное поле. Амбиполярная и униполярная диффузия. Аномальная (бомовская) диффузия.

13. Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике. Бессиловые конфигурации. Пинчи. Равновесие тороидальной плазмы.
14. МГД неустойчивости плазменного шнура и методы их стабилизации. Энергетический принцип МГД-устойчивости.
15. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Релятивистские уравнения движения заряженных частиц в электромагнитном поле. Точные решения в однородных постоянных полях и в поле бегущей плоской волны.
16. Дрейфовое приближение. Движение частицы в магнитных ловушках, адиабатические инварианты, неоклассический перенос.
17. Движение частицы в слабо неоднородном высокочастотном электромагнитном поле. Высокочастотный потенциал.
18. Феноменологическое описание электромагнитных волн в изотропных и анизотропных средах с пространственной и временной дисперсией. Плоские электромагнитные волны, тензор диэлектрической проницаемости. Нормальные волны, двулучепреломление, поляризация нормальных волн.
19. Распространение волновых пакетов. Фазовая и групповая скорость плотность энергии и плотность потока энергии. Электромагнитные волны и потенциальные колебания, резонансы среды.
20. Продольная и поперечная диэлектрическая проницаемость изотропной плазмы с максвелловскими распределениями ионов и электронов по импульсам. Нормальные волны в однородной изотропной плазме. Электромагнитные волны, ленгмюровские электронные и ионные колебания, ионно-звуковые волны.
21. Тензор диэлектрической проницаемости в холодной магнитоактивной плазме. Циклотронный резонанс. Нормальные волны в однородной магнитоактивной плазме. Вистлеры. Магнитозвуковые волны. Альфвеновские волны. Моды Бернштейна.
22. Диссипация энергии электромагнитных волн и колебаний в плазме. Затухание из-за соударений. Затухание Ландау. Соотношения Крамерса-Кронига.
23. Излучение волн заряженными частицами. Тормозное излучение. Черенковское излучение. Циклотронное излучение. Синхротронное излучение. Нормальный и аномальный эффект Доплера. Сила реакции излучения.
24. Излучение плазмы. Тепловое и нетепловое излучение. Уравнение переноса излучения. Реабсорбция излучения, связь коэффициентов поглощения и излучательной способности среды. Метод коэффициентов Эйнштейна.
25. Кинетические и гидродинамические неустойчивости электромагнитных волн в плазме. Волны с отрицательной энергией. Понятие об абсолютной и конвективной неустойчивости.
26. Взаимодействие пучков заряженных частиц с плазмой. Пучковая неустойчивость. Квазилинейная теория плазменных колебаний. Релаксация электронного пучка в плазме.
27. Некогерентное рассеяние электромагнитных волн на флуктуациях плотности плазмы. Предел коротких волн. Предел длинных волн, коллективное рассеяние.
28. Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме. Геометрическая оптика. Линейная трансформация волн. Нормальный и аномальный скин-эффект. Поверхностные волны на границе плазменного полупространства.
29. Нелинейные эффекты в плазме. Трехволновые процессы в плазме. Соотношения Мэнли-Роу. Распадные неустойчивости. Модифицированный распад. Индуцированное рассеяние волн.
30. Механизмы нелинейного самовоздействия волн в плазме. Гидродинамическое описание плазмы с учетом усредненной силы со стороны высокочастотного поля. Самофокусировка. Модуляционная неустойчивость. Ленгмюровский солитон.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т. 3: Квантовая механика – 5 экз.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т. 5: Статистическая физика – 5 экз.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т.7: Электродинамика сплошных сред – 4 экз.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т. 10: Физическая кинетика. – 4 экз.
5. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979. – 5 экз.
6. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы. М.: Высш. шк., 1988. – 3 экз.
7. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988. – 4 экз.
8. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. – 3 экз.
9. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000. – 5 экз.
10. Русанов В.Д., Фридман А.А. Физика химически активной плазмы. М.: Наука, 1984. – 9 экз.
11. Фортон В.Е., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы. М.: ОИХФ, 1984. – 3 экз.
12. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1980, т.10. – 6 экз.
13. Сборник научных трудов «Взаимодействие сильных электромагнитных волн с бесстолкновительной плазмой» под ред. А.Г. Литвака, 1980 [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/emv.pdf>
14. Proceedings of the International Workshop Strong Microwaves in Plasmas, 2006, 2003, 2000, 1996, 1993, 1991. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/b1s.html>

б) дополнительная литература

1. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1968. – 2 экз.
2. “Электродинамика плазмы” (под ред. Ахиезера А.И.). – М.: Наука, 1974. – 2 экз.
3. Власов С. Н., Таланов В. Н. “Самофокусировка волн”. – Н. Новгород, ИПФ РАН, 1997. – 3 экз.
4. Железняков В.В. “Радиоизлучение Солнца и планет”. – М.: Наука, 1964. – 2 экз.
5. Беспалов П. А., Трахтенгерц В. Ю. “Альфвеновские мазеры”. - ИПФ АН СССР, Горький, 1986. – 3 экз.
6. Райзер Ю. П. “Физика газового разряда”. – М.: Наука, 1987. – 4 экз.
7. Мареев Е. А., Чугунов Ю. В. “Антенны в плазме”. - ИПФ РАН, Н. Новгород, 1991. – 3 экз.
8. Баранов В.Б., Краснобаев К.В. “Гидродинамическая теория космической плазмы”. – М.: Наука, 1977. – 3 экз.
9. Владимиров В.В., Волков А.Ф., Мейлихов Е.З. “Плазма полупроводников”. – М.: Атомиздат., 1979. – 2 экз.
10. Ситенко А.Г. “Флуктуации и нелинейное взаимодействие волн в плазме”. – Киев: Наукова думка, 1977. – 3 экз.
11. Ашкрофт Н., Мермин Н. “Физика твёрдого тела”. – М.: Мир, 1979, т.1. – 7 экз.
12. На переднем крае астрофизики./ Под ред. Ю. Эвретта. – М.: Мир, 1979. – 2 экз.
13. Физика внегалактических источников радиоизлучения./ Под ред. Р.Д. Дагке-саманского. – М.: Мир, 1987. – 2 экз.
14. Дюдерштадт Дж., Мозес Г. “Инерциальный термоядерный синтез”. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 3 экз.

15. Плазменная гелиогеофизика. В 2-х т. / Ред. Л. М. Зеленый. - М.: Физматлит, 2008– 2 экз.

в) Интернет-ресурсы: Physics of Plasmas <http://phys.org/journals/physics-of-plasmas/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Автор: _____ А.Г. Шалашов

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности **1.3.9. Физика плазмы**
по физико-математическим наукам

В основу настоящей программы положена программа, разработанная экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Российского научного центра «Курчатовский институт», Института общей физики РАН, Московского физико-технического института (государственного университета), Объединенного института высоких температур РАН, физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Московского государственного инженерно-физического института. Программа охватывает следующие дисциплины: статистика, элементарные процессы, физическая кинетика, магнитная гидродинамика, электродинамика сплошных сред, физика волновых процессов.

1. Термодинамика плазмы

Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми—Дирака, модель Томаса—Ферми.

2. Элементарные процессы

Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.

3. Физическая кинетика

Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Кинетика возбужденных молекул в плазме.

4. Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях

Движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта.

5. Магнитная гидродинамика плазмы

Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, вмороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.

6. Неустойчивость плазмы

Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике, пинч. Неустойчивость плазмы, виды неустойчивости, перегревная и ионизационная неустойчивости. Энергетический принцип МГД-устойчивости.

7. Колебания и волны в плазме

Основные типы колебаний и волн в плазме: лэнгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно-звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн.

8. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме

Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение.

9. Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой

Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн.

10. Излучение плазмы

Элементарные радиационные процессы, интенсивность спектральных линий, сплошные спектры, вынужденное испускание. Пробег излучения, перенос излучения в среде, оптически прозрачная и непрозрачная плазма, лучистая теплопроводность.

11. Диагностика плазмы

Зондовые методы, оптические методы, СВЧ-методы, корпускулярные методы, лазерное рассеяние, магнитные измерения.

12. Электрический разряд в газах

Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда.

13. Гидродинамические и тепловые явления в плазме

Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности. Токовые слои.

Основная литература

1. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1968.
2. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.
3. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
4. Основы физики плазмы. Т.1, 2 и доп. к т. 2. / Под ред. Р.З. Сагдеева, М.Н. Розенблюта. М.: Энергоатомиздат, 1984—1985.
5. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том. Ч. I—IV/ Под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000.
6. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы. М.: Высш. шк., 1988.
7. Трубников Б.А. Теория плазмы: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1996.
8. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез: Учеб. для вузов. М.: МФТИ, 1999.
9. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988.
10. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
11. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т. 3: Квантовая механика Т. 5: Статистическая физика. Т.7: Электродинамика сплошных сред. Т. 10: Физическая кинетика.
13. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000.
14. Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Наука, 1998.
15. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольгрена. М.: Мир, 1971.
16. Диагностика плазмы / Под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда. М.: Мир, 1967.
17. Смирнов Б.М. Физика атома и иона. М.: Энергоатомиздат, 1986.
18. Смирнов Б.М. Физика слабоионизированного газа. М.: Наука, 1972.
19. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. В 2 т. М.: Атомиздат, 1975—1977. Т. 1, 1975; Т. 2, 1977.
20. Веденов А.А. Задачник по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1981.
21. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982.

22. Генин Л.Г., Свиридов В.Г. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
23. Фортов В.Е., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы. М.: ОИХФ, 1984.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности **1.3.9. Физика плазмы**

Данная дополнительная программа содержит вопросы, не вошедшие в программу-минимум кандидатского экзамена по научной специальности физика плазмы, но являющиеся существенными для работ по физике плазмы, ведущихся с участием ИПФ РАН. Программу составляют семь тематических разделов современной физики плазмы, по каждому из которых составлен подробный список литературы.

В первых шести разделах подчёркнуты вопросы, включение которых в программу экзамена является обязательным. Неподчёркнутые вопросы и отдельные части последнего раздела могут включаться в программу экзамена в зависимости от специализации соискателя (аспиранта) по согласованию с его научным руководителем и председателем экзаменационной комиссии.

1. Кинетический и гидродинамический методы описания плазмы

Уравнение Лиувилля и условия корректного перехода к кинетическому уравнению с самосогласованным полем для одночастичной функции распределения. Разлет бесстолкновительной плазмы (ограниченной и из полупространства).

Приближенное описание столкновений в рамках кинетического уравнения. Интегралы столкновений в форме Больцмана и Ландау, уравнение Фоккера-Планка. τ - приближение для интеграла столкновений. Кинетическое описание упругих и неупругих столкновений электронов с атомами и молекулами. Приближенное описание кинетики электронов в слабом однородном электрическом поле. Явление убегающих электронов.

Моменты функции распределения и переход к гидродинамическому описанию плазмы. Приближение квазигидродинамики, вывод диффузионных уравнений, явление термодиффузии и теплопроводности. Амбиполярная диффузия. «Вмороженность» магнитного поля в плазму. Нагрев электронов в постоянном и высокочастотном электрическом поле при наличии столкновений.

Литература: **1.** Гл. 2 (§§ 7-13), гл. 4 (§§ 26, 27, 35-39); **2.** §§ 1-4, 9, 22, 27, 40, 45, 47, 50, 51, 58, 59; **3.** Гл. 1, §§ 12-16, задача 2 к гл. 3, §§ 49-53; **4.** Гл. 2 (§ 1, 2, 3, 11); **5.** § 38; **6.** Ст. 3; **7.** Ст. 1 (§§ 1, 2); **8.** Гл. 3-7, 9; **10.** § 2.5; **11.** §§ 9, 10, 13, 15, 21, 24, 26; **16.** §§ 3, 4; **43.** Гл. 2; **45.** §§ 6-10; **49.** §§ 14, 18, 19, 27, 30, 33; **54.** Гл.1; **63.** § 2.5.

2. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях

Релятивистские уравнения движения заряженных частиц в электромагнитном поле. Точные решения в однородных постоянных полях и в поле бегущей плоской волны.

Движение заряженной частицы в магнитной ловушке, адиабатические инварианты, неоклассический перенос.

Движение частицы в слабо неоднородном высокочастотном электромагнитном поле, высокочастотный потенциал, влияние внешнего магнитного поля и трения.

Движение электрона в пространственно периодическом электрическом поле. Квазиимпульс и зонный спектр электронов. Экранировка зарядов в кристалле в приближении случайных фаз.

Литература: **3.** Задача 7 к гл. 3; **9.** Ст. 4 (§§1-4); **10.** §§ 22, 23; **25.** Гл. 4; **47.** § 1.2; **49.** §§ 1-16; **56.** Гл. 4; **58.** Гл. 8, 9, 12, 17; **70.** §§ 3.2 – 3.4.

3. Волны в плазме

Макроскопическая электродинамика сред с временной и пространственной дисперсией, материальные уравнения. Плоские монохроматические волны, тензор диэлектрической проницаемости, соотношения Крамерса-Кронига. Распространение волновых пакетов, плотность энергии и плотность потока энергии квазимонохроматических электромагнитных волн в среде с временной и пространственной дисперсией, волны с отрицательной энергией.

Тензор диэлектрической проницаемости в холодной изотропной плазме в рамках гидродинамического описания. Тензор диэлектрической проницаемости изотропной плазмы в рамках кинетического описания. Электромагнитные и потенциальные волны в изотропной плазме.

Тензор диэлектрической проницаемости в холодной магнитоактивной плазме в рамках гидродинамического описания. Тензор диэлектрической проницаемости магнитоактивной плазмы в рамках кинетического описания. Классификация волн в магнитоактивной плазме.

Распространение электромагнитных волн в плавнонеоднородной плазме. Геометрическая оптика, ВКБ-приближение. Каустики, структура поля в окрестности каустики. Линейная трансформация волн в изотропной и магнитоактивной плазме, эффект предельной поляризации волн.

Поглощение волн в областях плазменного и циклотронного резонанса. Резонансные характеристики простейших плазменных объектов – плоский слой, цилиндр, шар. Нормальный и аномальный скин-эффект. Поверхностные волны на границе плазменного полупространства. Каналирование волн в слоях с повышенной и пониженной плотностью плазмы.

Литература: **2.** §§ 32, 33, 56, 57; **3.** Гл. 2, 4, 5, 8, 9; **4.** Гл. 4, 8; **5.** §§ 16-22; **11.** §§1-7, 12, 14, 19, 20, 27, 28; **12.** Гл. 2.; **13.** Гл. 2, 3; **16.** §§ 1, 5-8, 11, 12, 14; **25.** Гл. 11-13; **43.** § 7,8; **44.** §§ 2.2-2.4; **47.** §§ 2.1-2.8, 3.1, 3.2, 3.4; **48.** §§ 4.1-4.4; **49.** §§ 34-36; **55.** Гл. 3; **73.** Гл. 2, 3.

4. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме

Эволюция функции распределения электронов в поле монохроматической плазменной волны. Эхо в плазме.

Квазилинейная теория, релаксация электронного пучка в плазме, ускорение частиц плазменной турбулентностью, механизм Ферми.

Кинетические и гидродинамические неустойчивости электромагнитных волн в плазме. Абсолютные и конвективные неустойчивости.

Литература: **2.** §§ 35, 49, 62-65; **3.** Гл. 11; **4.** Гл. 10 (§§ 1-8); **6.** §9.1; **10.** §§ 2.16, 2.17, 2.19; **12.** Гл. 6 (§6); **14.** Гл. 4, 5 (§§ 2, 4); **15.** Ст. 1 (§5), ст. 3; **16.** §9; **17.** Ст. 1 (§§ 1, 2); **18.** Ст. 3; **19.** §5; **43.** §§ 12, 13; **46.** Гл. 1, §§ 12-17; **48.** §§ 3.1-3.4; **49.** §§ 38-39; **57.**; **60.** Гл. 1-6, 9-11.

Новые методы ускорения заряженных частиц и фотонов в плазме; ускорение на кильватерной волне и волне биений.

Литература: **31.**; **32.**; **67.** §2.6.

5. Нелинейные эффекты в плазме

Механизмы трехволнового взаимодействия в плазме. Распадные неустойчивости. Соотношения Мэнли-Роу. Модифицированный распад. Процессы индуцированного рассеяния волн.

Механизмы нелинейного самовоздействия волн в плазме (тепловые, силовые, ионизационные, релятивистские). Уравнения движения плазмы с учётом усреднённой силы со стороны высокочастотного поля. Модуляционная неустойчивость, ленгмюровские солитоны. Примеры самовоздействия электромагнитных волн в плазме (волноводные каналы, солитоны огибающих, ионизационное каналирование поверхностных волн).

Сильная и слабая турбулентность плазмы. Параметрическое возбуждение ионно-звуковой и ленгмюровской волн в высокочастотном поле. Генерация “кавитонов” в области

плазменного резонанса. Ионно-звуковые солитоны. МГД и бесстолкновительные ударные волны. Аномальная диффузия, теплопроводность и сопротивление.

Литература: **4.** § 9; **7.** Ст. 3 (гл. 1, 2, 3 (§§ 1, 3)); **10.** §§ 1.20, 2.20.; **14.** Гл. 3 (§§ 3, 4), гл. 4 (§ 3), гл. 5 (§§ 1, 3, 5); **18.** Ст. 2; **20.** Гл. 9; **21.** Гл. 4 (§ 12); **22.** Ст. 4 (§§ 2, 7); **23.**; **24.** Гл. 1-8; **44.** Гл. 1, 2, 6, 8; **45.** Гл. 2; **49.** § 43; **54.** Гл. 5; **55.** Гл. 8; **60.** Гл. 12-16; **67.** §§ 2.7, 2.9.

6. Излучение плазмы

Виды излучения: тормозное, магнитотормозное, черенковское, переходное, комптоновское. Нормальный и аномальный эффект Доплера. Особенности излучения релятивистских электронов. Синхротронное излучение в плазме. Сила реакции излучения; давление излучения в плазме.

Тепловое и нетепловое излучения плазмы. Уравнение переноса излучения. Реабсорбция излучения, связь коэффициента поглощения и излучательной способности среды, метод коэффициентов Эйнштейна. Усиление излучения в неравновесной плазме.

Рассеяние электромагнитных волн на флуктуациях плотности плазмы.

Литература: **4.** гл. II; **10.**; **13.** Гл. 5-7; **25.** Гл. 5-7, 10, 15; **26.**; **27.** Гл. 3 (§ 2), гл. 6 (§§ 1, 2), гл. 8; **49.** § 37; **54.** Гл. 10.

7. Специальные разделы физики плазмы

Космическая плазма

Магнитосфера Земли: формирование магнитосферы, особенности движения частиц, механизмы ускорения и потерь заряженных частиц в магнитосфере. Динамика радиационных поясов. Механизмы возбуждения основных видов электромагнитных излучений в магнитосферной плазме. Циклотронные мазеры.

Литература: **5.** §§ 30-32; **33.**; **34.**; **37.**; **38.**; **45.** §§ 32, 33; **53.**; **75.** гл. 4,9,11.

Физика космических лучей. Механизмы их ускорения в оболочках сверхновых, в окрестностях нейтронных звезд и активных ядер галактик. Диффузия космических лучей в магнитном поле Галактики. Проблема космических лучей сверхвысоких энергий.

Литература: **25.** Гл. 16; **61.** Гл. 1-3; **66.**; **68.**

Плазменные магнитосферы и радиоизлучение Юпитера, Солнца, пульсаров и активных галактик.

Литература: **13.** §§ 1, 19; **19.** Гл. 2, 3; **33.**; **35.**; **43.** §§ 20, 21; **50.**; **51.**; **62.** Гл. 2, 5, 10; **65.** Гл. 8, 9; **66.** Ст. 1; **69.** Гл. 3, 4, 7; **71.**

Звёздный ветер. Токовые слои и их неустойчивости.

Литература: **43.** § 22; **44.** Гл. 6; **45.** §§ 21-31; **65.** § 4.4; **69.** § 7.5.

Аккрецирующие рентгеновские источники. Релятивистские джеты и выбросы. Космические гамма – всплески.

Литература: **25.** Гл. 17; **62.** Гл. 5, 10; **63.**; **64.**; **69.** Гл. 2, 5, 6; **71.**

Вырожденная плазма внутри нейтронных звезд и белых карликов. Электрон – позитронная и кварк – глюонная плазма.

Литература: **50.**; **51.**; **69.** Гл. 1.

Равновесие и неустойчивости в ансамблях звезд.

Литература: **52.**; **65.** Гл. 3.

УТС

Стационарный и инерционный управляемый термоядерный синтез, реакции термоядерного синтеза, критерий Лоусона, пороговая температура.

Основные системы для магнитного удержания плазмы (токамак, стеларатор, прямая ловушка). МГД-неустойчивости плазменного шнура и методы их стабилизации. Критерий устойчивости Шафранова – Крускала. Диффузия Пфирша – Шлютера, «банановый» перенос в тороидальных и тандемных ловушках, бутстреп–ток. Методы нагрева и генерации тока в термоядерной плазме.

Механизм поглощения лазерного излучения в плотной плазме, абляционное сжатие мишени, энергия поджига реакции, системы с быстрым поджигом.

Литература: **4.**; **14.**; **28.**; **29.**; **30.**; **49.** §§ 3-16, 24, 25, 45-48; **67.** Гл. 2, 3; **74.**

Разряд

Физика газового разряда, классификация разрядов, их основные особенности и примеры (равновесный и неравновесный разряды; низкочастотный, высокочастотный и оптический разряды). Принцип подобия для высокочастотного пробоя газа. Ограничение электронной концентрации в плазме неравновесного разряда, поддерживаемого в сфокусированных пучках электромагнитных волн. Распространение разряда навстречу падающему электромагнитному излучению. Плазменно-пучковый разряд. ЭЦР разряд в прямой магнитной ловушке, классификация режимов удержания плазмы, генерация многозарядных ионов.

Литература: **39.**

Плазмотроны атмосферного давления и их применения. Дуговой плазмотрон, ВЧ-плазмотрон, СВЧ плазмотрон. ВЧ источники плазмы, применение в микроэлектронике.

Литература: **76-78;** **79-81.**

Аэрозольная плазма

Вигнеровский и пылевой кристаллы. Особенности распространения электромагнитных волн в пылевой плазме. Рассеяние электромагнитных волн на аэрозолях.

Литература: **40.**; **41.**; **70.** §3.3.

Антенна в плазме

Излучение электромагнитных волн в плазме сторонними источниками (антеннами, пучками заряженных частиц). Использование плазмы для согласования антенны со средой.

Литература: **42.**; **72.** §§ 7.2, 7.3, 7.5, 8.4; **73.** Гл. 2, 3.

Список литературы

1. Силин В.П. “Введение в кинетическую теорию газов”. – М.: Наука, 1971.
2. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. “Физическая кинетика”. – М.: Наука, 1979.
3. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. “Основы электродинамики плазмы”. – М.: Высшая школа, 1978.
4. Кролл Н., Трайвелпис А. “Основы физики плазмы”. – М.: Мир, 1975.
5. Гинзбург В.Л. “Распространение электромагнитных волн в плазме”. – М.: Наука, 1967.
6. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1963, т.1.
7. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1980, т.10.
8. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров С.А. “Основы физики плазмы”. – М.: Атомиздат, 1977.
9. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.), М.: Госатомиздат, 1963, т.2.
10. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. “Физика плазмы для физиков”. – М.: Атомиздат, 1979.
11. Силин В.П., Рухадзе А.А. “Электромагнитные свойства плазмы и плазмopodobных сред”. – М.: Атомиздат, 1961.
12. “Электродинамика плазмы” (под ред. Ахиезера А.И.). – М.: Наука, 1974.
13. Железняков В.В. “Излучение в астрофизической плазме”. – М.: Лиус – К, 1997.
14. Кадомцев Б.Б. “Коллективные явления в плазме”. – М.: Наука, 1988.
15. Михайловский А.Б. “Теория плазменных неустойчивостей”. – М.: Атомиздат, 1975.

16. Гинзбург В.Л., Рухадзе А.А. “Волны в магнитоактивной плазме”. - М.: Наука, 1975.
17. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1972, т.6.
18. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1964, т.4.
19. Каплан С.А., Цытович В.Н. “Плазменная астрофизика”. - М.: Наука, 1972.
20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. “Электродинамика сплошных сред”. – М., 1982.
21. Гуревич А.В., Шварцбург А.Б. “Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере”. – М.: Наука, 1973.
22. “Тепловые нелинейные явления в плазме”. – ИПФ АН СССР, Горький, 1979.
23. Литвак А.Г., Трахтенгерц В.Ю., ЖЭТФ, **60**, 1971, стр. 1702.
24. Власов С. Н., Таланов В. Н. “Самофокусировка волн”. – Н. Новгород, ИПФ РАН, 1997.
25. Гинзбург В.Л. “Теоретическая физика и астрофизика”. – М.: Наука, 1987.
26. Шеффилд Д.Ж. “Рассеяние электромагнитного излучения в плазме”. – М.: Атомиздат, 1978.
27. Бекефи Дж. “Радиационные процессы в плазме”. – М.: Мир, 1971.
28. Хеглер М., Кристиансен М. “Введение в управляемый термоядерный синтез”. – М.: Мир, 1980.
29. “Высокочастотный нагрев плазмы”. – ИПФ АН СССР, Горький, 1983.
30. Гильденбург В.Б. // В сб. “Нелинейные волны”. – М.: Наука, 1981, стр. 87.
31. Esarey E., Sprangle Ph., Krall J., Ting A., IEEE Trans. on Plasma Science, 1996, **24**, № 2, p. 252.
32. Горбунов Л.М., Андреев Н.И., УФН, 1999, **169**, № 1, стр. 53.
33. Акасофу С.И., Чепмен С. “Солнечно-земная физика”. – М.: Мир, 1975, т.2.
34. Тверской Б.А. “Динамика радиационных поясов”. – М.: Наука, 1968.
35. Железняков В.В. “Радиоизлучение Солнца и планет”. – М.: Наука, 1964.
36. Кадомцев Б.Б. // В сб. “Нелинейные волны”. – М.: Наука, 1979, стр. 131.
37. Беспалов П. А., Трахтенгерц В. Ю. “Альфвеновские мазеры”. - ИПФ АН СССР, Горький, 1986.
38. Зеленый Л. М., Бюхнер И. // В сб. “Волновые процессы в хвосте магнитосферы”. - М.: ВИНТИ, Итоги науки и техники, 1998, т. 28, стр.3.
39. Райзер Ю. П. “Физика газового разряда”. – М.: Наука, 1987.
40. Нефедов А. Н., Петров О. Ф., Фортгов В. Е., УФН, 1997, **167**, 1215.
41. Цытович В. Н., УФН, 1997, **167**, 57.
42. Мареев Е. А., Чугунов Ю. В. “Антенны в плазме”. - ИПФ РАН, Н. Новгород, 1991.
43. Пикельнер С.Б. “Основы космической электродинамики”. – М.: Наука, 1966.
44. Вайнштейн С.И., Быков А.И., Топтыгин И.Н. “Турбулентность, токовые слои и ударные волны в космической плазме”. – М.: Наука, 1989.
45. Баранов В.Б., Краснобаев К.В. “Гидродинамическая теория космической плазмы”. – М.: Наука, 1977.
46. Федорченко А.М., Коцаренко Н.Я. “Абсолютная и конвективная неустойчивость в плазме и твёрдых телах”. – М.: Наука, 1981.
47. Девидсон Р. “Теория заряженной плазмы”. – М.: Мир, 1978.
48. Владимиров В.В., Волков А.Ф., Мейлихов Е.З. “Плазма полупроводников”. – М.: Атомиздат., 1979.
49. Трубников Б.А. “Теория плазмы”. – М.: Энергоатомиздат, 1996.
50. Смит Ф.Г. “Пульсары”. – М.: Мир, 1979.
51. Бескин В.С., Гуревич А.В., Истомин Я.Н., УФН, 1986, **150**, № 2, с. 257.
52. Поляченко В.Л., Фридман А.М. “Равновесие и устойчивость гравитирующих систем”. – М.: Наука, 1976.
53. Лайонс Л., Уильямс Д. “Физика магнитосферы”. – М.: Мир, 1984.
54. Ситенко А.Г. “Флуктуации и нелинейное взаимодействие волн в плазме”. – Киев: Наукова думка, 1977.
55. Незлин М.В. “Динамика пучков в плазме”. – М.: Энергоиздат, 1982.

56. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. “Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях”. – М.: Наука, 1978.
57. Павленко В.Н., Ситенко А.Г. “Эховые явления в плазме и плазмоподобных средах”. – М.: Наука, 1988.
58. Ашкрофт Н., Мермин Н. “Физика твёрдого тела”. – М.: Мир, 1979, т.1.
59. Collins G.P., Fireballs of free quarks // Scientific American, 2000, № 4 (April), p.9; Schwarzschild B., Phys. Today, 2000, **53**, № 5, p. 20.
60. Кингсеп А.С. “Введение в нелинейную физику плазмы”. – М.: Изд-во МФТИ, 1996.
61. Дорман Л.И. “Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей”. – М.: Наука, 1975.
62. На переднем крае астрофизики./ Под ред. Ю. Эвретта. – М.: Мир, 1979.
63. Постнов К.А., УФН, 1999, **169**, № 5, стр. 546.
64. Бескин В.С., Парьев В.И., УФН, 1993, **163**, № 6, стр. 95.
65. Горбачкий В.Г. “Введение в физику галактик и скоплений галактик”. – М.: Наука, 1986.
66. Физика внегалактических источников радиоизлучения./ Под ред. Р.Д. Дагкесаманского. – М.: Мир, 1987.
67. Мак А.А., Соловьев Н.А. “Введение в физику высокотемпературной лазерной плазмы”. – Л.: ЛГУ, 1991.
68. O’Halloran T., Sokolsky P., Yoshida S., Phys. Today, 1998, **51**, № 1, p. 31.
69. Липунов В.М. “Астрофизика нейтронных звёзд”. – М.: Наука, 1987.
70. Пайнс Д. “Элементарные возбуждения в твёрдых телах”. – М.: Мир, 1965.
71. Bildstan L., Strohmayer T., Phys. Today, 1999, **52**, № 2, p.40.
72. Фелсен Л., Маркувиц Н. “Излучение и рассеяние волн”. – М.: Мир, 1978, т. 2.
73. Kondrat’ev I.G., Kudrin A.V., Zaboronkova T.M. “Electrodynamics of Density Ducts in Magnetized Plasmas”. – Gordon and Breach Science Publishers, 1999.
74. Дюдерштадт Дж., Мозес Г. “Инерциальный термоядерный синтез”. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
75. Плазменная гелиогеофизика. В 2-х т. / Ред. Л. М. Зеленый. - М.: Физматлит, 2008
76. С. В. Дресвин, С. Г. Зверев, Плазмотроны: конструкции, параметры, технологии : учеб. пособие для вузов ; СПбГПУ. - СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. - 207 с.
77. Рыкалин Н.Н., Сорокин Л.М. Металлургические ВЧ-плазмотроны. Электро- и газодинамика. - М.: Наука, 1987. - 161 с.
78. Полак Л.С. (ред.) Кинетика и термодинамика химических реакций в низкотемпературной плазме, Москва "Наука", 1965.]
79. Oleg A. Popov (ed.), High Density Plasma Sources Design, Physics and Performance, 1996
80. Stephen M. Rossnagel, J. J. Cuomo, William Dickson Westwood, Handbook of Plasma Processing Technology: Fundamentals, Etching, Deposition, and Surface Interactions, Noyes Publications, 1990.
81. Graves, D. B. (1994). Plasma processing. IEEE Transactions on Plasma Science, 22(1), 31–42. <https://doi.org/10.1109/27.281547>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

ПРОТОКОЛ

заседания экзаменационной комиссии от « ____ » _____ 20__ г.

Структурное подразделение: _____

СОСТАВ КОМИССИИ: Председатель: _____

утвержден приказом Зам.председателя: _____

№ _____ от _____ г. Члены комиссии: _____

СЛУШАЛИ:

Прием кандидатского экзамена по специальной дисциплине.

Научная специальность _____

шифр, наименование научной специальности

от _____

(фамилия, имя, отчество)

На экзамене были заданы следующие вопросы:

ПОСТАНОВИЛИ: считать, что _____

выдержал экзамен с оценкой _____

Председатель экзаменационной комиссии: _____

Заместитель председателя: _____

Члены экзаменационной комиссии: _____
