

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Саровский физико-технический институт -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, член корр.РАН, д.ф.м.н.

_____ А.К.Чернышев

«___» _____ 2022 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>3.04.01 «Прикладные математика и физика»</u>
Наименование образовательной программы	<u>электрофизика</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>магистр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры _____ Заведующий кафедрой «ЭФ»,
д.ф.м.н., доцент

протокол № 2 от 04.02.2022г.

_____ Ю.Б. Кудасов
04.02.2022г. 2022г.

г. Саров, 2022г.

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КР	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗСО/
1	48	4	144	32	16	0	60	0	Экз. 36
2	48	4	144	32	16	0	69	0	Экз. 27
ИТОГО	96	8	288	64	32	0	129	0	63

АННОТАЦИЯ

В курсе «Физика плазмы» даются основные представления о месте физики плазмы в естественных науках, о роле этой дисциплины в развитии фундаментальных знаний о природе. Проводится ознакомление с основными понятиями, методами физики плазмы, с современным состоянием знаний, решаемыми проблемами. Показывается роль физики плазмы в науке и технике. Обеспечивается необходимый объем базовых знаний об основных понятиях, методах и свойствах плазмы для дальнейшего углубленного изучения и проведения самостоятельных научных исследований в различных разделах физики плазмы. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. высшая математика (дифференциальные уравнения и интегральное исчисление), общая физика (основы термодинамики и молекулярной физики, электричество и магнетизм)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса «Физика плазмы» - дать представление студентам о месте физики плазмы в ряде естественных наук, о роле этой дисциплины в развитии фундаментальных знаний о природе. Показать роль физики плазмы в науке и технике. Обеспечить необходимый для дальнейшего углубленного изучения и проведения самостоятельных научных исследований в различных разделах физики плазмы, объем базовых знаний об основных понятиях и методах и свойствах плазмы.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Физика плазмы» входит в обязательную часть первого блока дисциплин учебного плана, по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» по программе «Электрофизика».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский			
планирование и проведение научных работ в соответствии с утвержденным направлением исследований в области электрофизики	мощные электрофизические установки: мощные источники электрических импульсов, крупномасштабные лабораторные электрофизические установки высоковольтные и сильноточные системы, ускорители заряженных частиц, мощные ВЧ- и СВЧ-генераторы, взрывомагнитные источники энергии, диагностические комплексы, и вспомогательное оборудование	ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательски испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра	З-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов избранной предметной области У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Код и наименование общепрофессиональной	Код и наименование общепрофессиональной
ОПК-3 Способен в рамках своей профессиональной деятельности анализировать, выявлять, формализовать и находить решения фундаментальных и прикладных научно-технических, технологических и инновационных задач	З-ОПК-3 Знать современные методы анализа, обработки информации и решения фундаментальных и прикладных научно-технических, технологических и инновационных задач. У-ОПК-3 Уметь решать типовые задачи профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности. В-ОПК-3 Владеть навыками использования современных методов анализа, обработки и формализации информации в сфере профессиональной деятельности, а также решения фундаментальных и прикладных научно-технических, технологических и инновационных задач

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС			
			64	32	-	129			
Семестр № 1									
1.	РАЗДЕЛ 1	1-16	32	16	-	60			
1.1.	Что такое плазма?	1-4	8	4		15	УО	3	
1.2.	Элементарная теория столкновения.	5-8	8	4		15	УО	3	
1.3	Методы описания плазмы. МГД приближение.	9-11	8	4		15	УО	3	
1.4	Методы описания плазмы. Кинетическая теория.	12-15	8	4		15	УО	3	
Рубежный контроль		15						ДЗ	5
Промежуточная аттестация							Экзамен	36	0-50
Посещаемость								5	
Итого:			32	16		60	36	100	
Семестр № 2									
2.	РАЗДЕЛ 2	1-16	32	16	-	69			
2.1	Плазма электрическим поле.	1-3	8	3	-	14	УО	3	
2.2	Плазма магнитном поле.	4-6	8	3	-	14	УО	3	
2.3	Равновесие плазмы в магнитном поле Плазменные неустойчивости.	7-11	8	4	-	14	УО	3	
2.4	Плазменные волны.	12-14	4	3	-	14	УО	3	
2.5	Плазма высокой плотности энергии.	15	4	3	-	13	УО	3	
Рубежный контроль		15						ДЗ	5
Промежуточная аттестация		Экзамен-16					36	0-50	
Посещаемость								5	
Итого:			32	16		69	36	100	

*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

ДЗ – домашнее задание

Э– экзамен

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	РАЗДЕЛ 1	
1.1.	Тема 1 . Что такое плазма?	Дебаевский радиус экранирования. Плазменная частота. Понятие о столкновениях.
1.2.	Тема 2. Элементарная теория столкновения.	Дифференциальное и полное сечение рассеяния. Транспортное сечение рассеяния. Пробег и частота столкновения частиц. Кулоновские столкновения. Сечение «катастрофических» столкновений. Сечение малоугловых столкновений. Понятие о слабо и сильно ионизированной плазме. Проводимость плазмы. Дрейфовая скорость. Закон Ома. Проводимость слабо и сильно ионизированной плазмы. Средняя энергия электронов. Время установления. О соотношении дрейфовой и направленной скоростей. Диффузия частиц в плазме. Соотношение Эйнштейна.
1.3	Тема 3 . Методы описания плазмы. МГД приближение.	Разряженная плазма. Движение отдельных частиц. Вывод уравнения непрерывности, движение и энергии. Слабоионизированная низкотемпературная плазма. Упрощения уравнений гидродинамики. Уравнение Пуассона для определения электрического поля. Высокотемпературная плазма. Двухжидкостные МГД-уравнения. Плазменные колебания, Дебаевский радиус экранирования. Уравнение одножидкостной гидродинамики. Уравнение Максвелла. Идеальная плазма. Давление магнитного поля. Понятие о вмороженности. Физический смысл идеальности плазмы. Скин слой – критерий идеальности плазмы.
1.4	Тема 4 . Методы описания плазмы. Кинетическая теория.	Понятие о функции распределения. Уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы. Интервал столкновений. Уравнение Больцмана. Равновесная функция распределения. Н-теорема Больцмана. Ионизационное равновесие. Уравнение Саха. Вывод уравнений МГД приближения методом моментов. Времена релаксации в плазме.
2.	РАЗДЕЛ 2	
2.1.	Тема 5. Плазма в электрическом поле.	Проводимость плазмы. Эффект «убегания плазмы» электронов. Амбиполярная диффузия в низкотемпературной плазме. Решение уравнений диффузии. Диффузия от мгновенного источника. Диффузия в плоском слое. Стационарный газовый разряд. Диффузия в полностью ионизированной плазме.
2.2.	Тема 6. Плазма в магнитном поле	Движение частиц плазмы в магнитном поле. Движение в скрещенных электрических магнитных полях. Движение частиц плазмы в неоднородных магнитном и электрическом поле. Движение частиц плазмы в нестационарных магнитном и электрическом поле. Низкотемпературная плазма. Диффузия частиц поперек магнитного поля. Высокотемпературная плазма в нестационарном магнитном и электрическом поле. Бомовская диффузия.
2.3	Тема 7. Равновесие плазмы	Равновесие плазменного шнура с током. Понятие устойчивости. Основные виды неустойчивостей. Резистивные дрейфовые волны. Гравитационная неустойчивость. Стабилизация магнитным полем

	магнитном поле Плазменные неустойчивости.	Двухпоточковая неустойчивость.
2.4	Тема 8. Плазменные волны.	Представление волн. Групповая и фазовая скорость. Плазменные колебания. Электронные плазменные волны. Затухание Ландау. Звуковые волны. Ионно-звуковые волны. Электростатически электронные колебания в магнитном поле. Ионные волны в магнитном поле. Нижнегибридная частота. Электромагнитные волны. Электромагнитные волны, распространяющиеся перпендикулярно и параллельно магнитному полю. Отсечки и резонансы. Магнитозвуковые волны.
2.5	Тема 9. Плазма высокочастотных плотностей энергии.	Нелинейные явления. Уравнения газодинамики. Понятие ударной волны. Ударные волны. Условия на разрыве. Ударная адиабата для случая идеального газа с постоянной теплоемкостью. Сильный взрыв в однородной атмосфере. Равновесное излучение и абсолютно черное тело. Уравнение переноса излучения. Приближение лучистой теплопроводности. Тепловые волны.

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.		РАЗДЕЛ 1
1.1.	1 Тема. Простые модели квантовых систем.	Плоскополяризованная электромагнитная волна как пример двумерного пространства состояний, вывод закона Малюса. Простые задачи на матричное представление стационарного уравнения Шредингера и молекулярные орбитали. Квантовые 1D, 2D и 3D ямы с бесконечными стенками, энергия состояний и волновые функции. Тонкая пленка, условия появления двумерного электронного газа.
1.2.	2 Тема. Основные понятия кристаллографии.	Элементы симметрии. Принцип Кюри. Основные кристаллографические структуры (простая кубическая, ГЦК, ОЦК, ГПУ, перовскиты). Вывод формулы Брэгга-Вульфа. Оценка шероховатости сверхрешетки по количеству пиков в рентгеновской дифракции.
1.3	3 Тема. Многочастичные системы.	Ферми- и бозе-системы. Простые примеры многочастичных волновых функций. Детерминант Слэтера. Связь координатной и спиновой частей. Четность. Схема Юнга, простые задачи.
1.4	4 Тема. Программа LMTAR и система MindLab.	Принципы работы, интерфейс программы, примеры расчета электронной структуры веществ, использование встроенной базы данных.
1.5	5 Тема. Многочастичные системы.	Изменение кинетической и потенциальной (кулоновской и обменной) энергий с изменением плотности. Предел высоких плотностей вещества. Простые решения в теории Томаса-Ферми. Теоремы вириала и Гелмана-Фейнмана.
1.6	6 Тема. Модель Хаббарда.	Двухатомная двухэлектронная молекула с хаббардовским взаимодействием U , предел большого U . Вывод t - J модели. Трехатомная двухэлектронная молекула: применение метода Гуцвиллера.
2.		РАЗДЕЛ 2
2.1.	7 Тема.	Векторная модель атома. Правила Хунда. Заполнение оболочек

	Магнитные свойства свободных атомов и ионов.	Спиновый и орбитальный магнитный момент. Задачи на структуру d и f-атомов и ионов.
2.2.	8 Тема. Кристаллическое поле.	Заполнение d-оболочек под действием сильного и слабого кристаллического поля. Расчет эффективных магнитных моментов ионов в кристаллическом поле. Задачи на условия возникновения эффекта Яна-Теллера.
2.3	9 Тема. Модели магнетизма.	Вычисление температуры Кюри в (классической) модели Гейзенберга в приближении среднего поля. Закон Кюри-Вейса. Вывод зависимости намагниченности ферромагнетика от температуры (теория среднего поля) вблизи критической температуры.
2.4	10 Тема. Фазовые переходы 1-ого рода	Расчет линии фазового перехода в различных термодинамических координатах (в том числе и для магнитных веществ).
2.5	11 Тема. Фазовые переходы 2-ого рода	Определение термодинамических характеристик вещества по термодинамическому потенциалу в рамках теории Ландау.
2.6	12 Тема. Флуктуационная теория фазовых переходов.	Связь критических индексов. Определение индексов по экспериментальным данным.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 1				
Раздел 1	Простые модели квантовых систем.	ОПК-3 ПК-3	3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-1-2
	Основные понятия кристаллографии.		3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-3-5
	Многочастичные системы.		3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-6-8
	Программа LMTAR и система MindLab.		3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-9-11
	Многочастичные системы.		3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-12-13
	Модель Хаббарда.		3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-14-15
Рубежный контроль		ОПК-3 ПК-3	3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	ДЗ-15
Промежуточная аттестация		ОПК-3 ПК-3	3-ОПК-3; У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Экзамен-16

Семестр 2				
Раздел 2	Магнитные свойства свободных атомов и ионов.	ОПК-3 ПК-3	3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-1-2
	Кристаллическое поле.		3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-3-5
	Модели магнетизма.		3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-6-8
	Фазовые переходы 1-ого рода.		3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-9-11
	Фазовые переходы 2-ого рода.		3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-12-13
	Флуктуационная теория фазовых переходов.		3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-14-15
Рубежный контроль		ОПК-3 ПК-3	3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	ДЗ-15
Промежуточная аттестация		ОПК-3 ПК-3	3-ОПК-3;У-ОПК-3; В-ОПК-3 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Экзамен-16

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

5.2.1 Примерные темы домашнего задания (ДЗ)

1. Столкновение заряженных частиц в слабо и сильно ионизированной плазме
2. Времена релаксации в плазме.
3. Диффузия частиц в плазме.

5.2.2. Примерные задания к устному опросу (УО)

На практических занятиях студенты осваивают среду Maple, MatLab, широко используют компьютерные технологии, практически рассчитывают реальные физические системы. При УО – устном опросе тем лекционных занятий используются презентации, обсуждения последних научных работ, новые электрофизические установки и методы измерений. Прививаются навыки работы с научной литературой. Обязательным является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

Раздел 1	Вопросы	Макс. балл
1 Тема.	Дебаевский радиус экранирования.	2
2 Тема.	Проводимость плазмы. Дрейфовая скорость. Закон Ома. Проводимость слабо и сильно ионизированной плазмы.	2
3 Тема.	Средняя энергия электронов. Время установления. О соотношении дрейфовой и направленной скоростей. Диффузия частиц в плазме. Соотношение Эйнштейна.	2
4 Тема.	Уравнение одножидкостной гидродинамики. Уравнение Максвелла. Идеальная плазма.	2

5 Тема.	Давление магнитного поля. Понятие о вмороженности. Физический смысл идеальности плазмы. Скин-слой – критерий идеальности плазмы.	2
6 Тема.	Понятие о функции распределения.	2
7 Тема.	Вывод уравнений МГД-приближения методом моментов. Времена релаксации в плазме.	2
8 Тема.	Решение уравнений диффузии. Диффузия от мгновенного источника. Диффузия в плоском слое.	2
9 Тема.	Стационарный газовый разряд.	2
Раздел 2		
10 Тема.	Движение частиц плазмы в неоднородных магнитном и электрическом поле.	2
11 Тема.	Движение частиц плазмы в нестационарных магнитном и электрическом поле.	2
12 Тема.	Равновесие плазменного шнура с током.	2
13 Тема.	Гравитационная неустойчивость.	2
14 Тема.	Плазменные колебания. Электронные плазменные волны.	2
15 Тема.	Звуковые волны. Ионно-звуковые волны.	2
16 Тема.	Электромагнитные волны	2
17 Тема.	Ударная адиабата для случая идеального газа с постоянной теплоемкостью.	2
18 Тема.	Сильный взрыв в однородной атмосфере	2
19 Тема.	Тепловые волны	2

5.2.3. Примерные вопросы к устному опросу

1 семестр (УО-1)

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1. Распределение Больцмана. Дебаевский радиус экранирования.
2. Электронная плазменная частота.
3. Дифференциальное и полное сечения рассеяния. Транспортное сечение рассеяния. Пробег. Частота столкновений.
4. Кулоновские столкновения. Сечения малоугловых и катастрофических столкновений. Низкотемпературная и высокотемпературная плазма.

II. УРАВНЕНИЯ МГД

1. Уравнения непрерывности, движения, энергии.
2. Уравнения Максвелла. Уравнение Пуассона.
3. Дрейф электронов в электрическом поле. Температура электронов.
4. Диффузия частиц в плазме. Соотношение Эйнштейна.
5. Амбиполярная диффузия.

6. Диффузия частиц в магнитном поле (низкотемпературная плазма)
 7. Диффузия частиц в магнитном поле (высокотемпературная плазма).
- III. ДРЕЙФ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ
1. E-H дрейф заряженных частиц в плазме. Роль столкновений.
 2. Градиентный дрейф ().
 3. Диамагнитный дрейф.
 4. Центробежный дрейф.
 5. Магнитное зеркало (Пробкотрон).
 6. Поляризационный дрейф.
 7. Адиабатическое сжатие плазмы.
- IV. ПЛАЗМА КАК ЖИДКОСТЬ.
1. Уравнения одножидкостной МГД. Обобщённый закон Ома.
 2. Скин-слой. Идеальная плазма.
 3. Давление магнитного поля.

2 семестр (УО-2)

V. НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ПЛАЗМЕ

1. Двухпоточковая неустойчивость.
2. Неустойчивость Тейлора. Качественное рассмотрение.
3. Неустойчивость Тейлора. Инкремент нарастания.
4. Проблема удержания плазмы. Критерий Лоусона.

VI. ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ.

1. Представление волн. Фазовая и групповая скорости.
2. Электронные плазменные колебания.
3. Электронные плазменные волны.
4. Электронные плазменные колебания в магнитном поле.
5. Звуковые волны.
6. Ионно-звуковые волны.
7. Плазменное приближение.
8. Электростатические ионно-циклотронные волны.
9. Нижнегибридная частота.

VII. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

1. Волновое уравнение. Случай $H=0$.
2. Приложения электромагнитных волн. Метод отсечки, лазерная интерферометрия. фокусировка лазерного излучения, коротковолновая радиосвязь.
3. Электромагнитные волны, распространяющиеся $\perp H$.
4. Электромагнитные волны, распространяющиеся $\parallel H$.
5. Магнитозвуковая волна.
6. Альфвеновская волна.

VIII. КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

1. Уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы.
2. Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений.
3. Равновесная плазма. Распределение Максвелла по скоростям.
4. Распределение Больцмана по внутренним степеням свободы, в потенциальном поле.

5.2.4. Примерные вопросы к экзамену

1-семестр (Э-1)

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1. Распределение Больцмана. Дебаевский радиус экранирования.
2. Электронная плазменная частота.

3. Дифференциальное и полное сечения рассеяния. Транспортное сечение рассеяния. Пробег. Частота столкновений.
4. Кулоновские столкновения. Сечения малоугловых и катастрофических столкновений. Низкотемпературная и высокотемпературная плазма.

II. УРАВНЕНИЯ МГД

1. Уравнения непрерывности, движения, энергии.
2. Уравнения Максвелла. Уравнение Пуассона.
3. Дрейф электронов в электрическом поле. Температура электронов.
4. Диффузия частиц в плазме. Соотношение Эйнштейна.
5. Амбиполярная диффузия.
6. Диффузия частиц в магнитном поле (низкотемпературная плазма)
7. Диффузия частиц в магнитном поле (высокотемпературная плазма).

III. ДРЕЙФ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

1. E-N дрейф заряженных частиц в плазме. Роль столкновений.
2. Градиентный дрейф ($\vec{v}_D \perp \vec{H}$).
3. Диаманитный дрейф.
4. Центробежный дрейф.
5. Магнитное зеркало (Пробкотрон).
6. Поляризационный дрейф.
7. Адиабатическое сжатие плазмы.

IV. ПЛАЗМА КАК ЖИДКОСТЬ.

1. Уравнения одножидкостной МГД. Обобщённый закон Ома.
2. Скин-слой. Идеальная плазма.
3. Давление магнитного поля.

2 семестр (Э-2)

V. НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ПЛАЗМЕ

1. Двухпоточковая неустойчивость.
2. Неустойчивость Тейлора. Качественное рассмотрение.
3. Неустойчивость Тейлора. Инкремент нарастания.
4. Проблема удержания плазмы. Критерий Лоусона.

VI. ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛАЗМЕ.

1. Представление волн. Фазовая и групповая скорости.
2. Электронные плазменные колебания.
3. Электронные плазменные волны.
4. Электронные плазменные колебания в магнитном поле.
5. Звуковые волны.
6. Ионно-звуковые волны.
7. Плазменное приближение.
8. Электростатические ионно-циклотронные волны.
9. Нижнегибридная частота.

VII. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

1. Волновое уравнение. Случай $H=0$.

2. Приложения электромагнитных волн. Метод отсечки, лазерная интерферометрия. фокусировка лазерного излучения, коротковолновая радиосвязь.
3. Электромагнитные волны, распространяющиеся \parallel \mathbf{H} .
4. Электромагнитные волны, распространяющиеся \perp \mathbf{H} .
5. Магнитозвуковая волна.
6. Альфвеновская волна.

VIII. КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

1. Уравнение Власова для бесстолкновительной плазмы.
2. Уравнение Больцмана. Интеграл столкновений.
3. Равновесная плазма. Распределение Максвелла по скоростям.
4. Распределение Больцмана по внутренним степеням свободы, в потенциальном поле.
5. H-Больцмана.

5.2.5. Интерактивная форма, используемая в реализации дисциплины (УО)

Мозговой штурм;

Case-study (анализ конкретных задач или ситуаций).

Проблемы для интерактивных занятий	Условия	Интерактивная форма	Количество часов	Методы и средства контроля
Столкновения в плазме	При заданном прицельном параметре. Определить угол рассеяния и связать с длиной пробега частиц и частотой столкновения.	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	3	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов
Многokратное Кулоновское рассеивание	Для газоразрядной плазмы и термоядерной плазмы (с заданными параметрами). Оценить Кулоновский логарифм.	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	3	
Плазменные ленгмюровские колебания.	При заданных параметрах плазмы. Определить ленгмюровскую частоту и метод ее измерения.	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	3	
Дрейф частиц в плазме.	При заданных условиях. Сравнить скорости различных видов дрейфа (диамагнитный, центробежный и т.д.)	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	3	
Диффузия частиц в магнитном поле	Низкотемпературная плазма с низкой степенью ионизации. Коэффициент диффузии. Уравнение движения частиц с зарядом. Как влияет магнитное поле на удержание плазмы.	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	3	

5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Ф.Чен. Введение в физику плазмы. М.: Мир, 1987
2. В.Е.Голанд, А.П.Жилинский, С.А.Сахаров. Основы Физики плазмы. М.: Атомиздат, 1977
3. Д.А.Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1964

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Ю.П.Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука, 1967.
2. В.П.Силин. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Наука, 1971.
3. Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физ-Мат.Лит., 1963

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>)

2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>)
3. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия»
4. программное обеспечение (среда для LMTO расчетов MindLab 5.0, LMTART), интернет-ресурсы среда Maple, MatLab, базы данных aps.org, Elsevier.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины производится на базе учебной лаборатории кафедры в СарФТИ НИЯУ МИФИ учебного корпуса. Лаборатория оснащена современным оборудованием, позволяющим проводить практические занятия. Самостоятельная работа студентов осуществляется на рабочих местах, оснащенных макетами ЛР с соответствующим комплектом средств измерений и объектами исследований. Здесь же проводятся консультации по текущим вопросам и квалификационным работам.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

При чтении лекционного материала используется электронное сопровождение курса: справочно-иллюстративный материал воспроизводится и озвучивается в аудитории с использованием проектора и переносного компьютера в реальном времени. Электронный материал доступен студентам для использования и самостоятельного изучения на сайте института.

Практические работы являются частью занятия и выполняются под контролем наставника с использованием результатов практических занятий, в том числе – и в качестве практических занятий.

В качестве материально-технического обеспечения используются также ресурсы и программно-аппаратное обеспечение компьютерного класса.

При выполнении практических, научно-исследовательских, опытно-конструкторских, хозяйственных и госбюджетных работ используются современные средства измерения и контроля разных фирм и др. Имеются и используются оснащенные компьютерными системами управления исследовательские стенды и технологические комплексы.

9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении дисциплины применяются активная и интерактивная формы обучения в сочетании с самостоятельной работой. На аудиторных занятиях происходит изложение нового теоретического материала в виде лекций, разбираются решения типичных задач на применение полученных сведений для более глубокого понимания, проводится контроль выполнения домашних работ. Во время лекционных и практических занятий используются презентации и обсуждаются новые исследования которые появились в научной литературе.

Организация занятий обязательно включает диалог со студентами по вопросам решения задач. Во время контроля выполнения заданий, предложенных для внеаудиторной самостоятельной работы, производится выступление студентов с вариантами решений.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов состоит из двух взаимосвязанных частей. Первая представляет собой освоение теоретического материала, вторая –

приобретение практических навыков решения задач. Освоение теоретического материала производится по лекциям и указанной основной и дополнительной литературе. Решение задач, предложенных в качестве домашнего задания, позволяет студентам научиться решать типичные задачи.

В рабочем учебном плане предусмотрены 16 интерактивных часов — для проведения практических занятий.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 03.04.01 «Прикладные математика и физика», профиль подготовки: «Электрофизика»

Автор: профессор кафедры ЭФ, д.ф.м.н. Ивановский Андрей Владимирович

Рецензент: профессор кафедры ЭФ д.ф.м.н. Дубинов Александр Евгеньевич