

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»
(РУДН)*

*Факультет физико-математических и естественных наук
Институт физических исследований и технологий*

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности
03.03.02 «Физика»**

**Квалификация (степень) выпускника
бакалавр**

1. Цели и задачи дисциплины: формирование физических представлений о закономерностях поведения плазмы в магнитном поле для применения этих знаний при работе в различных областях науки и техники.

2. Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Основы физики плазмы» относится к дисциплинам вариативной части образовательной программы по направлению 03.03.02 – Физика. Изучение дисциплины базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению: на модуле «Математика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин, модуле «Общая физика», модуле «Теоретическая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин, дисциплинах вариативной части профессионального цикла: «Теория колебаний и волн», «Введение в физику УТС».

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Радиофизика	Теория колебаний и волн, Физическая кинетика

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: Физические основы и математические методы, необходимые для понимания и предсказания поведения плазмы.

Уметь: исходя из известной микроструктуры плазмы, объяснить механизм различных процессов, которые проходят в этой среде.

Владеть: методами усреднения для получения приближенных уравнений движения заряженной частицы в НЧ и ВЧ электромагнитных полях.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр	
		9	A
Аудиторные занятия (всего)	68	36	32
В том числе:			
Лекции	34	18	16
Практические занятия (ПЗ)			
Семинары (С)	34	18	16
Лабораторные работы (ЛР)			
Самостоятельная работа (всего)	40		40
В том числе:			

Курсовой проект (работа)			
Расчетно-графические работы			
Реферат			
Другие виды самостоятельной работы			
Изучение литературы по дисциплине			
Самостоятельное решение задач по дисциплине			
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)			
Общая трудоемкость, час	108	36	72
зач. ед.	3	1	2

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Тема 1. Общие сведения о плазме	Определение плазмы. Квазинейтральность плазмы. Дебаевский радиус.
2	Тема 2 Плазменные колебания.	Ленгмюровские колебания. Дисперсионное уравнение для ленгмюровских колебаний. Затухания Ландау. Декремент затухания.
3	Тема 3 Классификация видов плазмы	Разреженные и плотные, классические и квантовые виды плазм. Квантовые и статистические веса. Формула Саха.
4	Тема 4 Столкновение частиц в плазме	Частота столкновений. Формула Резерфорда. Длина свободного пробега. Кулоновское рассеяние электронов на ионах. Рассеяние электронов на электронах. Рассеяние ионов на ионах. Кулоновский логарифм. Обмен тепловой энергией между заряженными частицами.
5	Тема 5 Электрический ток в плазме	Явления переноса в плазме. Закон Ома для плазмы. Электропроводность плазмы. Состояние непрерывного ускорения для электронов. Возбуждение и раскачивание в плазме различных колебаний и волн.
6	Тема 6 Плазма в высокочастотном поле.	Уравнение движения. Собственная немагнитная индуктивность. Диэлектрические свойства плазмы. Дисперсионная кривая э/м волн в плазме. Проникновение э/м волн в плазму. Высокочастотное давление.
7	Тема 7 Теплопроводность плазмы	Коэффициент теплопроводности плазмы. Закон Видемана Франца для плазмы.
8	Тема 8 Гидродинамическое описание плазмы	Уравнения Эйлера. Уравнение одножидкостной гидродинамики плазмы. Уравнение диффузий.
9	Тема 9 Звук в плазме	Бесстолкновительный звук. Фазовая и тепловая скорость. Квазичастицы-волны.
10	Тема 10 Кинетическое уравнение для плазмы	Функция распределения, фазовое пространство. Уравнение Пуассона. Дисперсионное уравнение колебаний плазмы без магнитного поля. Функция распределения резонансных частиц. Неустойчивость Бунемана, аномальное сопротивление. Коллективный метод ускорения
11	Тема 11 Излучение плазмы	Неупругое взаимодействие частиц. Тормозное излучение. Частотный спектр излучения плазмы. Интенсивность

		излучения. Комтон-эффект на свободных электронах. Коэффициент лучистой теплопроводности
12	Тема 12 Неустойчивости в плазме	Пучковая неустойчивость. Параметрическая неустойчивость. Модуляционная неустойчивость и коллапс ленгмюровских волн. Желобковая неустойчивость. МГД неустойчивость. Тиринг-моды. Дрейфовая микронеустойчивость
13	Тема 13 Движение заряженных частиц в магнитных полях	Электрический дрейф. Градиентный дрейф. Центробежный дрейф. Поляризационный дрейф. Гравитационный дрейф. Ток намагничивания
14	Тема 14 Адиабатические инварианты движения частиц в магнитном поле	Закон сохранения адиабатического инварианта. Первый адиабатического инвариант. Второй адиабатического инвариант. Третий адиабатического инвариант. Движение частиц в радиационных поясах Земли.
15	Тема 15 Гидродинамика плазмы в магнитном поле	Уравнения Эйлера. Уравнение непрерывности. Обобщенный закон Ома. Коэффициент магнитной вязкости. Эффект Холла. Неустойчивости типа «змеи», «перетяжки», «изгиба». Образование магнитной поверхности.
16	Тема 16 Равновесие плазмы в магнитном поле	Инерция плазмы. Уравнение диффузии плазмы в магнитном поле. Теплопроводность плазмы в магнитном поле.

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семина.	СРС	Всего час.
1.	Общие сведения о плазме	1			-	2	3
2.	Плазменные колебания	1			2	2	5
3	Классификация видов плазмы	1			2	2	5
4	Столкновение частиц в плазме	1			4	4	9
5	Электрический ток в плазме	1			2	2	5
6	Плазма в высокочастотном поле	1			4	2	7
7	Теплопроводность плазмы	1			2	2	5
8	Гидродинамическое описание плазмы	1			2	4	7
9	Звук в плазме	1			2	4	7
10	Кинетическое уравнение для плазмы	1			2	2	5
11	Излучение плазмы	1			2	2	5
12	Неустойчивости в плазме	1			2	5	8
13	Движение заряженных частиц в магнитных полях	2			2	8	12
14	Адиабатические инварианты движения частиц в магнитном поле	1			2	4	7
15	Гидродинамика плазмы в магнитном поле	1			2	4	7
16	Равновесие плазмы в магнитном поле	1			2	8	11
	ИТОГО	17			34	57	108

6. Лабораторный практикум не предусмотрен учебным планом

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	2	Ленгмюровские колебания. Затухания Ландау.	2
2.	3	Разреженные и плотные, классические и квантовые виды плазм	2
3.	4	Обмен тепловой энергией между заряженными частицами	4
4.	5	Возбуждение и раскачивание в плазме различных колебаний и волн	2
5.	6	Собственная немагнитная индуктивность. Диэлектрические свойства плазмы	4
6.	7	Закон Видемана Франца для плазмы	2
7.	8	Гидродинамическое описание плазмы	2
8.	9	Бесстолкновительный звук. Квазичастицы-волны	2
9.	10	Неустойчивость Бунемана, аномальное сопротивление. Коллективный метод ускорения	2
10.	11	Неупругое взаимодействие частиц. Тормозное излучение	2
11.	12	МГД неустойчивость. Тиринг-моды. Дрейфовая микронеустойчивость	2
12.	13	Движение заряженных частиц в магнитных полях	4
13.	14	Движение частиц в радиационных поясах Земли	2
14.	15	Гидродинамика плазмы в магнитном поле	2
15.	16	Равновесие плазмы в магнитном поле	2

8. Примерная тематика курсовых проектов (работ) не предусмотрены учебным планом

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

Основная литература

1. В.И. Ильгисонис. Классические задачи физики горячей плазмы. Курс лекций. М., Изд. дом МЭИ, 2015.
2. В.И. Ильгисонис. Введение в теоретическую гидродинамику. М., РУДН, 2010.
3. Б.Б. Кадомцев. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 2008.

Дополнительная литература

1. Александров А.Ф., Кузелев М.В. Радиоп физика. Физика электронных пучков и основы высокочастотной электроники: учебное пособие. М.: КДУ, 2007, 300 с.
2. Ю.В. Бобылев, М.В. Кузелев. Нелинейные явления при электромагнитных взаимодействиях электронных пучков с плазмой. М.: Физматлит, 2009, 456 с.
3. Умнов А.М., Туриков В.А., Муратов М.Н., Сковорода А.А. Современные методы вычислительного эксперимента в прикладной физике. Учебное пособие. – М.:РУДН, 2008.
4. Ю.С. Сигов Вычислительный эксперимент: мост между прошлым и будущим физики плазмы. - М: Физматлит, 2008. 286 с.
5. К. Миямото. Основы физики плазмы и управляемого синтеза. М.: Физматлит. 2007.
6. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988.
7. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.
8. Чен Ф. Введение в физику плазмы. - М.: Мир, 1987.
9. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том. Ч. I-IV/ Под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000.

10. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы. М.: Высш. шк., 1988.
11. Трубников Б.А. Теория плазмы: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1996.
12. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез: Учеб. для вузов. М.: МФТИ, 1999.
13. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
14. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках. – М.: МИФИ, 2000.
15. Основы физики плазмы. Т.1, 2 и доп. к т. 2. / Под ред. Р.З. Сагдеева, М.Н. Розенблюта. М.: Энергоатомиздат, 1984-1985.
16. В.И. Ильгисонис. Введение в теоретическую гидродинамику. М., РУДН, 2010.
17. Смирнов Б.М. Введение в физику плазмы. - М.: Наука, 1982.
18. Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Наука, 1998.
19. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольгрёвена. М.: Мир, 1971.
Диагностика плазмы / Под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда. М.: Мир, 1967.
20. Г. Бейтман. МГД-неустойчивости. М.: Энергоиздат. 1982.
21. Г. Хакен Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. - М.: КомКнига, 2005. 248 с.
22. Ч. Бэдсел, А. Ленгдон Физика плазмы и численное моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
23. Умнов А.М., Туриков В.А., Муратов М.Н., Сковорода А.А. Современные методы вычислительного эксперимента в прикладной физике. Учебное пособие. – М.:РУДН, 2008.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://www.eps.org/> – Европейское физическое общество.

<http://www.kiae.ru/> – Курчатовский институт.

<http://www.kipt.kharkov.ua/.indexr.html> – национальный научный центр. Харьковский физико-технический институт.

<http://fusedweb.llnl.gov/>– исследования ядерной энергии.

<http://www.aip.org/>– американский институт физики

<http://top.msu.ru/> - каталог научно-образовательных ресурсов МГУ

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/> - Ядерная физика в Интернете (НИИЯФ МГУ).

<http://www.physics-words.com/> - толковые словари по физике

<http://prac-gw.sinp.msu.ru/atom.htm> - Практикум по ядерной и атомной физике МГУ

<http://www.phys.nsu.ru/> - сайт физического факультета Новосибирского государственного университета

<http://psj.nsu.ru/> - центр инновационных образовательных технологий Новосибирского государственного университета

<http://www.iop.org/> - web-сайт Международного Института Физики

<http://physics.nist.gov/lab.html> - физическая лаборатория Национального института стандартов и технологий США (включая базы экспериментальных данных)

<http://www.iaea.org/> - Международное агентство по атомной энергии

<http://www.vacuum.ru/> - (Рос вакуумное общество)

<http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html> - таблицы баз данных рентгеновской спектроскопии (институт стандартизации и технологий США)

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, мультимедийный проектор, интерактивная доска, лицензионное ПО: Microsoft Office (Word Excel PowerPoint), Adobe Acrobat 8.0 Pro, Maple, MatLab и MathCad, Simulink. Дисплейный класс для проведения занятий.

11. Методические рекомендации по освоению дисциплины:

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

Самостоятельная работа нужна для усвоения лекционного (теоретического) материала. Студентам предлагается делать самостоятельные доклады с использованием источников из обязательной части литературы.

12. Фонд оценочных средств по дисциплине

Вопросы для самоподготовки

1. Квазинейтральность плазмы. Пространственный и временной масштабы разделения зарядов в плазме. Дебаевское экранирование.
2. Плазменные колебания и плазменные волны. Ленгмюровская частота.
3. Плазма и идеальный газ. Тепловая и кулоновская энергия плазмы.
4. Степень ионизации термодинамически равновесной плазмы. Формула Саха.
5. Функция распределения электронов плазмы. Максвелловское распределение электронов по скоростям и средние значения. Релаксация функции распределения электронов и ионов в результате столкновений.
6. Система уравнений Власова для плазмы.
7. Столкновения частиц в плазме. Транспортное сечение. Кулоновский логарифм.
8. Дрейфовое приближение, условия применимости. Три составляющих дрейфового движения. Причины возникновения дрейфа и виды дрейфового движения.
9. Диффузионные процессы в плазме без магнитного поля. Коэффициенты свободной диффузии. Амбиполярная диффузия.
10. Проводимость плазмы. Закон Ома для плазмы. Убегающие электроны. Формула Дрейсера.
11. Проводимость плазмы в магнитном поле. Эффект Холла.
12. Диффузия плазмы в магнитном поле. Бомовская диффузия.
13. Магнитогидродинамическая модель плазмы. Приближения МГД теории.
14. «Законы» МГД теории плазмы: замороженность магнитного поля, магнитное давление, диффузия магнитного поля.
15. Равновесие плазмы в магнитном поле. Условие равновесия.
16. Неустойчивости плазмы. Энергетический принцип устойчивости. Неустойчивость Релея –Тейлора.
17. Адиабатические инварианты движения. Магнитная ловушка.
18. Характеристики волнового процесса. Фазовая и групповая скорость волны. Волновое уравнение. Дисперсионное уравнение. Уравнение для поля электромагнитной волны в плазме. Диэлектрическая проницаемость плазмы и дисперсионное уравнение.
19. Основные приближения гидродинамической модели плазмы при описании волновых процессов. Линеаризованная система уравнений гидродинамики.
20. Диэлектрическая проницаемость плазмы в гидродинамической модели. Электромагнитные волны в плазме. Метод отсечки.
21. Ленгмюровские плазменные волны. Затухание Ландау.
22. Ионно-звуковые волны.
23. Волны в плазме с магнитным полем. Классификация волн. Волны, на которые магнитное поле не влияет. Низкие частоты. Магнитогидродинамические волны. Средние частоты. Вистлеры. Высокие частоты. Эффект Фарадея.

Темы рефератов

1. Плазменные колебания
2. Классификация видов плазмы
3. Столкновение частиц в плазме
4. Электрический ток в плазме
5. Плазма в высокочастотном поле
6. Теплопроводность плазмы
7. Гидродинамическое описание плазмы
8. Звук в плазме
9. Кинетическое уравнение для плазмы
10. Излучение плазмы
11. Неустойчивости в плазме
12. Движение заряженных частиц в магнитных полях
13. Адиабатические инварианты движения частиц в магнитном поле
14. Гидродинамика плазмы в магнитном поле
15. Равновесие плазмы в магнитном поле

Вопросы для промежуточной аттестации

1. Распределение потенциала пробного заряда в плазме.
2. Радиус Дебая. Зависимость от концентрации заряженных частиц и их температуры.
3. Плазменная частота. Ленгмюровские колебания и ленгмюровские волны..
4. Плазма и идеальный газ. Что общего?
5. Тепловая и кулоновская энергия плазмы.
6. Формула Саха.
7. Максвелловское распределение электронов по скоростям и средние значения.
8. Что такое «конус потерь»?
9. Общее выражение для скорости дрейфового движения.
10. Зависимость полного сечения взаимодействия фотонов от энергии.
11. Выражение для проводимости плазмы.
12. Классическая и неоклассическая диффузия в плазме.
13. Амбиполярная диффузия.
14. Приближения магнитной гидродинамики для плазмы.
15. Закон вмороженности магнитного поля.
16. Закон магнитного давления.
17. Закон диффузии магнитного поля.
18. Неустойчивость Релея-Тейлора.
19. Соотношение Беннетта для пинча.
20. Условие равновесия плазмы в магнитном поле.
21. Дисперсионное уравнение для электромагнитной волны в плазме. Метод отсечки.
22. Затухание Ландау.
23. Звук и ионный звук.
24. Альфвеновские волны в плазме.
25. Вистлеры.
26. Эффект Фарадея.

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Основы физики плазмы»

Направление/Специальность: 03.03.02 Физика

Код контролируемой компетенции или ее части	Контролируемый раздел дисциплины	Контролируемая тема дисциплины	Наименование оценочного средства						Баллы темы	Баллы раздела
			Текущий контроль			Промежуточная аттестация				
			Опрос	Реферат	Посещение лекций	Экзамен/Зачет		
ПК-1	Раздел 1: Общие сведения о плазме	Тема 1: Классификация видов плазмы	10	5		10			25	50
		Тема 2: Столкновение частиц в плазме	10	5		10			25	
ПК-1	Раздел 2: Плазма в высокочастотном поле	Тема 1: Гидродинамическое описание плазмы	10	5		10			25	50
		Тема 2: Неустойчивости в плазме	10	5		10			25	
		Итого:	40	20		40			100	100

Ответ на зачете оценивается по следующим критериям (максимально можно набрать 40 баллов):

Набрано баллов	Критерии
33-40 баллов	1) содержание материала билета раскрыто полностью; 2) материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, точно используется терминология; 3) показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; 4) продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов; 5) ответ самостоятельный, без наводящих вопросов; 6) допущены одна–две неточности при освещении второстепенных вопросов, которые исправляются после замечаний или наводящих вопросов.
25-32 баллов	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом имеет один из недостатков: 1) в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие сути содержания ответа; 2) допущены один–два недочета при освещении основного содержания ответа (выполнения практического задания), исправленные после замечания экзаменатора; 3) допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые исправляются после замечания экзаменатора.
16-24 баллов	1) неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но продемонстрированы общее понимание вопроса и умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала; 2) имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, выполнении практических заданий, исправленные после нескольких наводящих вопросов; 3) при неполном знании теоретического материала выявлена недостаточная сформированность компетенций, умений и навыков, студент не может применить теорию в новой ситуации
менее 16 баллов	1) не раскрыто основное содержание учебного материала; 2) обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; 3) допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов. 4) ответ на вопрос полностью отсутствует. 5) отказ от ответа.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.03.02

Директор института физических исследований и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза