

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

---

Радиофизический факультет  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**

---

Колебания и волны в плазменных средах  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
бакалавриат  

---

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
03.03.03 Радиофизика  

---

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная радиофизика  

---

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения  
очная  

---

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <i>Б1.В.ДВ.04.01, колебания и волны в плазменных средах</i> относится к части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен анализировать текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики.	ПК-1.1. Применяет основные методы анализа текущей научной и научно-технической литературы в области физики и радиофизики. ПК-1.2. Анализирует текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики.	Знать возможности применения теории однократного и многократного рассеяния волн в случайно-неоднородных средах  Уметь: использовать теорию однократного рассеяния для решения задач акустики  Владеть: навыками расчета характеристик акустических волн в случайно-неоднородных средах	<i>Собеседование, задания</i>
ПК-2. Способен осваивать и применять новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований	ПК-2.1. Обладает базовыми знаниями, необходимыми для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований	Знать: основные методы радиофизических измерений характеристик акустических волн в случайно-неоднородных средах	<i>Собеседование</i>

ных исследований в области радиофизики.	х исследований в области радиофизики. ПК-2.2. Осваивает и применяет новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.		
---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b> - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>22</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>49</b>
<b>КСР</b>	<b>1</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

	<b>Вс ег</b>	<b>В том числе</b>
--	------------------	--------------------

Наименование и краткое содержание разделов (тем) дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине		Контактная работа во взаимодействии с преподавателем, часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Введение	5		2		2	3
Основные свойства плазмы в рамках простейших моделей	14		4		4	10
Общее феноменологическое описание плазмы как среды с временной и пространственной дисперсией	12		4		4	8
Методы описания поляризационного отклика плазмы во внешнем электромагнитном поле	14		4		4	10
Основные типы волн в изотропной и магнитоактивной плазме	14		4		4	10
Волны в неоднородной плазме	12		4		4	8
В т. ч. текущий контроль	1		1		1	
Промежуточная аттестация – зачет						

### Содержание разделов дисциплины

#### **Раздел 1. Введение.**

Плазма в природе и в научной лаборатории. История развития исследований по физике плазмы. Актуальность предмета.

## **Раздел 2. Основные свойства плазмы в рамках простейших моделей.**

- 2.1. Параметры лабораторной, ионосферной и космической плазмы.
- 2.2. Основные процессы, управляющие балансом частиц в плазме: ионизация, рекомбинация, прилипание частиц; диффузия и конвекция. Плазма в состоянии термодинамического равновесия. Формула Саха.
- 2.3. Квазинейтральность, радиус дебаевского экранирования. Условие идеальности. Вырожденная и невырожденная плазма.
- 2.4. Собственные колебания; ленгмюровская (плазменная) частота.
- 2.5. Столкновения частиц в плазме. Парные кулоновские соударения. Сечение переноса импульса. Длина свободного пробега. Эффективная частота соударений. Соударения электронов с нейтральными частицами.
- 2.6. Элементарная теория поляризуемости плазмы в переменном поле, диэлектрическая проницаемость «холодной» плазмы.
- 2.7. Равенство действующего и среднего макроскопического поля в плазме.

## **Раздел 3. Общее феноменологическое описание плазмы как среды с временной и пространственной дисперсией.**

- 3.1. Различные варианты записи уравнений Максвелла для макроскопического электромагнитного поля в плазме (плазма как проводник или диэлектрик с комплексной проницаемостью).
- 3.2. Описание явлений временной и пространственной дисперсии. Общая линейная связь векторов электрической индукции и напряженности поля. Тензор диэлектрической проницаемости для гармонических полей в общем случае.
- 3.3. Материальное уравнение для монохроматических волн в случае слабой пространственной дисперсии. Общий вид тензора диэлектрической проницаемости изотропной среды с пространственной дисперсией. Поперечная и продольная диэлектрические проницаемости.

## **Раздел 4. Методы описания поляризационного отклика плазмы во внешнем электромагнитном поле.**

- 4.1. Квазигидродинамическое описание плазмы с конечной температурой частиц. Уравнение переноса импульса во внешнем электромагнитном поле, уравнение непрерывности, условие адиабатичности процесса.
- 4.2. Кинетическое описание плазмы. Кинетическое уравнение для функции распределения частиц по координатам и скоростям. Метод самосогласованного поля. Простейшая форма интеграла столкновений.
- 4.3. Уравнения для моментов функции распределения. Условие применимости гидродинамического описания.

## **Раздел 5. Основные типы волн в изотропной и магнитоактивной плазме.**

- 5.1. Материальное уравнение для монохроматического поля в плазме и дисперсионные уравнения для поперечной и продольной волн в рамках квазигидродинамической модели. Характер дисперсии, области прозрачности и запираения волны, длина волны, фазовая и групповая скорости, плотность энергии и плотность потока энергии.
- 5.2. Расчет поперечной и продольной диэлектрической проницаемости на основе кинетического описания. Дисперсионное уравнение для продольной волны. Затухание Ландау и пучковая неустойчивость.
- 5.3. Волны в плазме с учетом движения ионов. Ионно-звуковая волна. Дисперсия ионного звука в области малых и больших волновых чисел. Неизотермичность плазмы как условие слабого затухания ионного звука.
- 5.4. Тензор диэлектрической проницаемости «холодной» магнитоактивной плазмы в

рамках элементарной теории. Простейшие случаи распространения электромагнитной волны в магнитоактивной плазме.

#### **Раздел 6. Волны в неоднородной плазме.**

- 6.1. Отражение, преломление и трансформация волн на резкой границе плазмы.
- 6.2. Уравнения для полей s- и p- поляризованных волн в плоскостойкой плазме. ВКБ приближение для плазмы с плавным изменением плотности.
- 6.3. Структура поля в окрестности точки поворота.
- 6.4. Резонансное поглощение и линейная трансформация волн в окрестности точки критической плотности.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

##### **1. Виды самостоятельной работы:**

- еженедельно к каждому практическому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде вопросов и заданий.

##### **2. Порядок контроля выполнения самостоятельной работы:**

- контроль выполнения домашнего задания проводится в рамках каждого практического занятия;
- в рамках каждого аудиторного занятия проводится контроль посещаемости;
- список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Условие квазинейтральности плазмы в заданном пространственном объеме.
2. Условия идеальности и отсутствия вырождения в плазме.
3. Собственные ленгмюровские колебания. Ленгмюровская частота.
4. Понятия сечения соударений, длины свободного пробега, эффективной частоты соударений. Зависимость частоты электрон-ионных соударений от температуры электронов.
5. Диэлектрическая проницаемость «холодной» плазмы в отсутствие и при наличии соударений электронов с тяжелыми частицами.
6. Уравнения Максвелла для плазмы, рассматриваемой как проводник или как диэлектрик.
7. Общий вид линейного материального уравнения в произвольном поле при наличии временной и пространственной дисперсии.
8. Общий вид тензора диэлектрической проницаемости в изотропной среде.
9. Уравнения гидродинамики для плазмы с конечной температурой частиц.
10. Кинетическое уравнение с самосогласованным полем.
11. Плотность заряда и плотность тока как моменты функции распределения.
12. Материальное уравнение для плазмы в гидродинамическом приближении.
13. Поперечная и продольная волны в гидродинамическом приближении (поляризация волн, дисперсионное уравнение, фазовые и групповые скорости, плотности энергии и потока энергии)
14. Затухание Ландау для продольной волны.
15. Дисперсионное уравнение для ионно-звуковой волны в области малых волновых чисел. Условие слабого затухания ионного звука.
16. Решение уравнения для поля в неоднородной плазме в ВКБ-приближении.
17. Характер особенности электрического поля в окрестности точки плазменного резонанса в неоднородной плазме.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание основных разделов теории электромагнитных волновых процессов в плазме, а также методов описания линейных волновых процессов	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умение самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Шкала оценок по проценту правильно	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

выполнен ных контрольн ых заданий							
--	--	--	--	--	--	--	--

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
<b>зачтено</b>	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
18. Условие квазинейтральности плазмы в заданном пространственном объеме.	ПК-2
19. Условия идеальности и отсутствия вырождения в плазме.	ПК-2
20. Собственные ленгмюровские колебания. Ленгмюровская частота.	ПК-2
21. Понятия сечения соударений, длины свободного пробега, эффективной частоты соударений. Зависимость частоты электрон-ионных соударений от температуры электронов.	ПК-2



22. Диэлектрическая проницаемость «холодной» плазмы в отсутствие и при наличии соударений электронов с тяжелыми частицами.	ПК-2
23. Уравнения Максвелла для плазмы, рассматриваемой как проводник или как диэлектрик.	ПК-1
24. Общий вид линейного материального уравнения в произвольном поле при наличии временной и пространственной дисперсии.	ПК-2
25. Общий вид тензора диэлектрической проницаемости в изотропной среде.	ПК-2
26. Уравнения гидродинамики для плазмы с конечной температурой частиц.	ПК-1
27. Кинетическое уравнение с самосогласованным полем.	ПК-1
28. Плотность заряда и плотность тока как моменты функции распределения.	ПК-2
29. Материальное уравнение для плазмы в гидродинамическом приближении.	ПК-1
30. Поперечная и продольная волны в гидродинамическом приближении (поляризация волн, дисперсионное уравнение, фазовые и групповые скорости, плотности энергии и потока энергии)	ПК-1
31. Затухание Ландау для продольной волны.	ПК-2
32. Дисперсионное уравнение для ионно-звуковой волны в области малых волновых чисел. Условие слабого затухания ионного звука.	ПК-2
33. Решение уравнения для поля в неоднородной плазме в ВКБ-приближении.	ПК-1
34. Характер особенности электрического поля в окрестности точки плазменного резонанса в неоднородной плазме	ПК-2

### 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1

Выбрать правильный вариант ответа:

- Плазма является квазинейтральной ( $N_e \approx N_i$ ), если она занимает объем, линейный размер  $L$  которого по отношению к дебаевскому радиусу  $r_{DE}$ :
  - $L \gg r_{DE}$
  - $L = 1 / r_{DE}$
  - $L < r_{DE}$
 Обозначения:  $N_e$  – концентрация электронов,  $N_i$  – концентрация ионов.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- Голант, В.Е. Основы физики плазмы. [Электронный ресурс] / В.Е. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2022. — 448 с. — <https://e.lanbook.com/book/210629>
- Гинзбург В. Л. - Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967. - 683 с. – 95 экз.

б) дополнительная литература:

1. Кролл Н., Трайвелипис А - Основы физики плазмы. - М.: Мир, 1975. - 526 с. – 8 экз.
2. Кадомцев Б. Б. - Коллективные явления в плазме. - М.: Наука, 1988. - 304 с. – 12 экз.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор (ы) Гильденбург В.Б.

Заведующий кафедрой Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.