

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Колебания и волны в плазменных средах

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная радиофизика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 Колебания и волны в плазменных средах относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики	<p>ПК-1.1: Применяет основные методы анализа текущей научной и научно-технической литературы в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-1.2: Анализирует текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать возможности применения теории однократного и многократного рассеяния волн в случайно-неоднородных средах</p> <p>Уметь: использовать теорию однократного рассеяния для решения задач акустики</p> <p>Владеть: навыками расчета характеристик акустических волн в случайно-неоднородных средах</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать возможности применения теории однократного и многократного рассеяния волн в случайно-неоднородных средах</p> <p>Уметь: использовать теорию однократного рассеяния для решения задач акустики</p> <p>Владеть: навыками расчета характеристик акустических волн в случайно-неоднородных средах</p>	Задания	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять новейшие методы проведения теоретических и	ПК-2.1: Обладает базовыми знаниями, необходимыми для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области	ПК-2.1: Знать: основные методы радиофизических измерений характеристик акустических волн в случайно-неоднородных средах	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

экспериментальных исследований в области радиофизики	радиофизики ПК-2.2: Осваивает и применяет новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.2: Знать: основные методы радиофизических измерений характеристик акустических волн в случайно-неоднородных средах		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	22
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	49
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Введение	5	2		2	3
Тема 2. Основные свойства плазмы в рамках простейших моделей	14	4		4	10
Тема 3. Общее феноменологическое описание плазмы как среды с временной и пространственной дисперсией	12	4		4	8
Тема 4. Методы описания поляризационного отклика плазмы во внешнем электромагнитном поле	14	4		4	10
Тема 5. Основные типы волн в изотропной и магнитоактивной плазме	14	4		4	10

Тема 6. Волны в неоднородной плазме	12	4		4	8
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	22	0	23	49

Содержание разделов и тем 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 плоскостной 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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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 текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Выбрать правильный вариант ответа:

1. Плазма является квазинейтральной ($N_e \approx N_i$), если она занимает объем, линейный размер L которого по отношению к дебаевскому радиусу r_{DE} :

- а) $L \gg r_{DE}$
- б) $L = 1/r_{DE}$
- в) $L < r_{DE}$

Обозначения: N_e – концентрация электронов, N_i – концентрация ионов.

2. Плазменная частота выражается следующей формулой:

- а) $\omega_p = (4\pi e^2 N_e / m)^{1/2}$
- б) $\omega_p = k \cdot c$
- в) $\omega_p = m / 4\pi e^2 N_e$

Обозначения: e – заряд электрона, m – масса электрона, k – волновое число, c – скорость света, N_e – концентрация электронов

3. Плотность энергии электрического поля в плазменной среде равна:

- а) $w = \epsilon |E|^2 / (8\pi)$
- б) $w = [d(\epsilon \cdot \omega) / d\omega] \cdot |E|^2 / (16\pi)$

$$в) w = \mu |H|^2 / (8\pi)$$

Обозначения: E – вектор напряженности электрического поля, H – вектор напряженности магнитного поля, ϵ – диэлектрическая проницаемость, μ – магнитная проницаемость, ω – частота.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Вопросы для собеседования совпадают с контрольными вопросами

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне

Оценка	Критерии оценивания
	не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	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 ошибок	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. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	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 и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые	Имеется минимальный набор навыков для	Продemonстрированы базовые навыки при решении	Продemonстрированы базовые навыки при решении	Продemonстрированы навыки при решении	Продemonстрирован творческий подход к решению

	навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	навыки. Имели место грубые ошибки	решения стандартных задач с некоторым и недочетами	стандартных задач с некоторым и недочетами	стандартных задач без ошибок и недочетов	нестандартных задач без ошибок и недочетов	нестандартных задач
--	--	-----------------------------------	--	--	--	--	---------------------

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	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
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Уравнения Максвелла для плазмы, рассматриваемой как проводник или как диэлектрик
2. Уравнения гидродинамики для плазмы с конечной температурой частиц.
3. Кинетическое уравнение с самосогласованным полем.
4. Материальное уравнение для плазмы в гидродинамическом приближении.
5. Поперечная и продольная волны в гидродинамическом приближении (поляризация волн, дисперсионное уравнение, фазовые и групповые скорости, плотности энергии и потока энергии)
6. Решение уравнения для поля в неоднородной плазме в ВКБ-приближении.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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. Общий вид линейного материального уравнения в произвольном поле при наличии временной и пространственной дисперсии.
7. Общий вид тензора диэлектрической проницаемости в изотропной среде.
8. Плотность заряда и плотность тока как моменты функции распределения.
9. Затухание Ландау для продольной волны.
10. Дисперсионное уравнение для ионно-звуковой волны в области малых волновых чисел. Условие слабого затухания ионного звука.
11. Характер особенности электрического поля в окрестности точки плазменного резонанса в неоднородной плазме

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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»

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Голант В. Е. Основы физики плазмы / Голант В. Е., Жилинский А. П., Сахаров И. Е. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 448 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-1198-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799728&idb=0>.
2. Гинзбург Виталий Лазаревич. Распространение электромагнитных волн в плазме. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1967. - 683 с. : с черт. - 3.01., 95 экз.

Дополнительная литература:

1. Кролл Н. Основы физики плазмы / пер. с англ. Л. А. Большова, Ю. А. Дрейзина ; под ред. А. М. Дыхне. - М. : Мир, 1975. - 526 с. - 52.00., 8 экз.
2. Кадомцев Борис Борисович. Коллективные явления в плазме. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Наука, 1988. - 304 с. - 3.10., 12 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Гильденбург Владимир Борисович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.