

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

Электродинамика плазмы

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Электродинамика плазмы 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 осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать: простейшие модели электродинамики плазмы, а также основные стандартные задачи в данной области Уметь: использовать полученные знания при решении стандартных задач электродинамики ПК-1.2: Знать: основные методы исследования уравнений электродинамики плазмы Уметь: анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования в рамках простейших моделей электродинамики плазмы	Тест	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в	ПК-2.1: Знать: основные разделы теории электромагнитных волновых процессов в плазме, а также методы описания линейных волновых процессов Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии ПК-2.2:	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	Знать: основные аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования электромагнитного поля Уметь: самостоятельно выбирать наиболее эффективный метод исследования для решения конкретных задач профессиональной деятельности ПК-2.3: Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики		
--	--	---	--	--

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	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	22
- 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	в том числе
--	-------	-------------

	(часы)	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
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
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	0	22	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.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

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.

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 - Тест) 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) $L \leq r_{DE}$
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

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) 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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.

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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальный набор	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы навыки	Продемонстрирован творческий

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	подход к решению 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. Условие квазинейтральности плазмы в заданном пространственном объеме.
2. Условия идеальности и отсутствия вырождения в плазме.
3. Собственные ленгмюровские колебания. Ленгмюровская частота.

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

1. Дисперсионное уравнение для ионно-звуковой волны в области малых волновых чисел. Условие слабого затухания ионного звука.

2. Решение уравнения для поля в неоднородной плазме в ВКБ-приближении.

3. Характер особенности электрического поля в окрестности точки плазменного резонанса в неоднородной плазме

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.

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

Основная литература:

1. Александров Андрей Фёдорович. Основы электродинамики плазмы : [учеб. пособие для физ. и инж.-физ. специальностей вузов] / под ред. А. А. Рухадзе. - М. : Высшая школа, 1978. - 407 с. : ил. - 1.20., 6 экз.
2. 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>.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 10. Физическая кинетика / под ред. Л. П. Питаевского. - 2-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2001. - 536 с. - ISBN 5-9221-0125-0 (т. 10). - ISBN 5-9221-0053-X : 167.00., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Электродинамика плазмы / под ред. Ахиезера А. И. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. - 719 с. - 3.05., 9 экз.
2. 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.
3. 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):

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека): <http://e.lanbook.com/>;
<http://www.biblioclub.ru>.

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.

Рецензент(ы): Гавриленко Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук.

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

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