

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  
президиумом  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

«Электродинамика плазмы»

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.03 «Радиофизика»

---

Направленность образовательной программы  
«Радиофизика и электроника»

---

Квалификация (степень)  
бакалавр

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2022

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Электродинамика плазмы» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла образовательной программы по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика».

Дисциплина изучается на четвертом курсе бакалавриата, в 8-ом семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения модулей «Общая физика» (дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Векторный и тензорный анализ»), модуля «Методы математической физики» из базовой части математического и естественно-научного цикла, а также дисциплин «Электродинамика» и «Прикладная электродинамика» из базовой части профессионального цикла.

**Целями освоения дисциплины «Электродинамика плазмы»** являются получение основ знаний в области теории электромагнитных волновых процессов в плазме, изучение плазмы как среды с особыми электромагнитными свойствами, а также методов описания линейных волновых процессов в плазме.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-2</i>  способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии  (этап освоения - завершающий)	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

<p><i>ПК-1</i></p> <p>способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p> <p>(этап освоения - завершающий)</p>	<p>Знать: простейшие модели электродинамики плазмы, а также основные стандартные задачи в данной области</p> <p>Уметь: анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования в рамках простейших моделей электродинамики плазмы</p>
---	--

### 3. Структура и содержание дисциплины «Электродинамика плазмы»

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 23 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (22 часа – практические занятия, в том числе 1 час – мероприятия текущего контроля успеваемости, и 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 49 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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			Занятия лабораторного типа			Всего								
Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	
Введение	5						2					2			3			
Основные свойства плазмы в рамках простейших моделей	14						4					4			10			
Общее феноменологическое описание плазмы как	12						4					4			8			

среды с временной и пространственной дисперсией																		
Методы описания поляризации 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 запираания 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. Образовательные технологии**

Для реализации компетентного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

#### **5. 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.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-2: способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (этап освоения – завершающий)

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 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, 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 выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

**ПК-1:** способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования (этап освоения - завершающий)

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание простейших моделей электродинамики плазмы, а также основных стандартных задач в данной области	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

Умение анализировать физические аспекты теории и возможность ее использования в рамках простейших моделей электродинамики плазмы	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
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

## 6.2. Описание шкал оценивания.

Для оценки результатов обучения студентов применяется двузначная шкала оценивания, которая имеет следующие значения: зачет, не зачет.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций:

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить части из двух разделов содержания дисциплины.

6.4. Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенций:

*Пример экзаменационного билета:*

Вопрос 1. Условие квазинейтральности плазмы в заданном пространственном объеме.

Вопрос 2. Уравнения Максвелла для плазмы, рассматриваемой как проводник или как диэлектрик.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2022. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/met\\_mat\\_Mil.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf).

2. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Электродинамика плазмы».**

а) основная литература:

1. [Александров А. Ф., Богданкевич Л. С., Рухадзе А. А. - Основы электродинамики плазмы: \[учеб. пособие для физ. и инж.-физ. спец. вузов\]. - М.: Высшая школа, 1978. - 407 с.](#)
2. Голант, В.Е. Основы физики плазмы. [Электронный ресурс] / В.Е. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 448 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/1550> — Загл. с экрана.
3. Ландау, Л.Д. Теретическая физика. Т.Х. Физическая кинетика. [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2002. — 536 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2692> — Загл. с экрана.

б) дополнительная литература:

1. [Электродинамика плазмы./Ахиезер А. И., Ахиезер И. А., Половин Р. В., Ситенко А. Г., Степанов К. Н. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. - 719 с.](#)
2. [Кролл Н., Трайвелипис А - Основы физики плазмы. - М.: Мир, 1975. - 526 с.](#)
3. [Кадомцев Б. Б. - Коллективные явления в плазме. - М.: Наука, 1988. - 304 с.](#)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

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

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным Государственным Образовательным Стандартом Высшего Профессионального Образования с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика», квалификация - бакалавр.

Автор программы \_\_\_\_\_ Гильденбург В.Б.

Рецензент \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. \_\_\_\_\_ Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «09» декабря 2021 года, протокол № 07/21.