

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Электродинамика сплошных сред
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: С.Н. Бурмистров, д-р физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 28.05.2021

## Аннотация

Курс лекций по Электродинамике сплошных сред предлагается студентам первого курса магистратуры в качестве специального дополнения к программе базового курса теоретической физики МФТИ. Для понимания курса достаточно знания основных положений базового курса теоретической физики, включающего теорию поля, квантовую механику и статистическую физику. Цель курса - изложить максимально просто и физически ясно основные теоретические положения, и методы макроскопического описания электромагнитного поля в веществе. Каждая лекция сопровождается семинаром с разбором задачи, которая служит дополнением к теоретическому материалу лекции. По завершении курса студент защищает курсовую работу и сдает устный экзамен.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- дать студентам знания, необходимые для описания различных физических явлений в области электродинамики сплошных сред и методы построения соответствующих математических моделей. Показать соответствие системы уравнений Максвелла, положенных в основу электродинамики, существующим экспериментальным данным. Дать практические навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению и определить область её применимости.

#### Задачи дисциплины

- Обучить студентов основам макроскопической электродинамики сплошных сред;
- овладеть математическим аппаратом электродинамики сплошных сред;
- изучить способы описания электромагнитных полей в конденсированных средах;
- освоить основные методы решения задач электродинамики сплошных сред.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Постулаты и принципы электродинамики сплошных сред;
- уравнения Максвелла, физические свойства проводящих, диэлектрических, магнитных и сверхпроводящих сред;
- методы и приближения, используемые для макроскопического описания электромагнитных полей в конденсированных средах.

уметь:

- Применять постулаты и принципы электродинамики сплошных сред для описания электромагнитных полей в конкретных конденсированных средах;
- пользоваться математическими методами электродинамики сплошных сред для решения физических задач.

владеть:

- Основными методами математического аппарата электродинамики сплошных сред;
- навыками теоретического анализа физических проблем, связанных с электрическими и магнитными свойствами конденсированных сред.

#### **4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

##### **4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий**

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Магнитостатическое поле	2	2		5
2	Рэлеевское рассеяние	2	2		5
3	Взаимодействие частиц с веществом	4	4		5
4	Квазистационарное поле	4	4		5
5	Магнитные среды	6	6		5
6	Постоянный ток	2	2		5
7	Рассеяние электромагнитных волн в среде	2	2		5
8	Электромагнитное поле в среде	4	4		5
9	Электростатическое поле	4	4		5
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

##### **4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)**

Семестр: 1 (Осенний)

###### **1. Магнитостатическое поле**

Магнитная проницаемость. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамика магнетиков. Эффект де-Гааза-ван Альфена и диамагнитные домены.

###### **2. Рэлеевское рассеяние**

Рассеяние малым изменением частоты. Рэлееское рассеяние в газах и жидкостях. Комбинационное рассеяние.

### 3. Взаимодействие частиц с веществом

Прохождение быстрых частиц через вещество. Ионизационные потери. Излучение Черенкова. Переходное излучение.

### 4. Квазистационарное поле

Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффект.

Поверхностный импеданс. Циклотронный резонанс.

### 5. Магнитные среды

Ферромагнетики. Обменная энергия. Энергия магнитной анизотропии. Тензор высокочастотной восприимчивости и спектр спиновых волн.

Свойства ферромагнетика. Ферромагнетизм вблизи точки Кюри. Намагничивание ферромагнетика. Доменная стенка. Доменная структура

Антиферромагнетики. Обменная энергия. Энергия магнитной анизотропии. Антиферромагнетик вблизи точки Нееля. Метамагнитный переход. Вектор Дзялошинского. Слабый ферромагнетизм. Геликоидальные структуры.

Сосуществование сверхпроводимости и магнетизма. Ферромагнитные и антиферромагнитные сверхпроводники. Разрушение сверхпроводимости. Спин-спиральная фаза.

### 6. Постоянный ток

Плотность тока и проводимость. Эффект Холла. Термоэлектрические явления. Квантовые эффекты в проводимости.

### 7. Рассеяние электромагнитных волн в среде

Рассеяние электромагнитных волн в среде. Длина экстинкции. Ширины линий излучения и рассеяния.

### 8. Электромагнитное поле в среде

Уравнения электромагнитного поля. Сила Абрагама. Граничные условия. Плотность потока энергии. Электродинамика движущихся диэлектриков.

Диэлектрическая проницаемость.

Дисперсия диэлектрической проницаемости. Аналитические свойства. Распространение волн в плазме.

### 9. Электростатическое поле

Проводники. Энергия проводников в поле. Силы, действующие на проводник.

Диэлектрики. Диэлектрическая проницаемость. Тензор деполяризующих коэффициентов.

Термодинамика диэлектриков. Термодинамические соотношения. Силы, действующие на диэлектрик. Сегнетоэлектрики.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- а) Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: стандартная учебная аудитория. Желательно также применение мультимедийного оборудования (проектор), для лучшей организации лекции.
- б) Необходимое программное обеспечение: не требуется.
- в) Обеспечение самостоятельной работы: наличие учебников и задачников по курсу теоретической физики вообще и общей теории относительности в частности в библиотеке института, доступ в Интернет для получения вспомогательного учебного и консультативного материала на сайте кафедры теоретической физики.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.
2. Сборник задач по электродинамике [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин ; под ред. М. М. Бредова .— 3-е изд., испр. — М. : Регулярная и хаотическая динамика, 2002 .— 640 с.

### **Дополнительная литература**

1. Классическая электродинамика [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. М. Бредов, В. В. Румянцев, И. Н. Топтыгин ; под ред. И. Н. Топтыгина .— М. : Наука, 1985 .— 400 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Программой не предусмотрено.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Индивидуальная работа предполагает самостоятельное выполнение студентом определенного в «Задании» набора упражнений и задач в соответствии с тематикой семинарских занятий. При необходимости студент получает консультацию по выполнению отдельных задач у преподавателя ведущего занятия как во время проведения семинарских занятий, так и во внеурочное время по согласованию с преподавателем. «Задание» раздается всем студентам в виде учебно-методического материала, содержащего программу курса и упражнения, и задачи, включенные в два домашних задания. Студент также имеет возможность в течение семестра получать консультации по выполнению курсовой работы.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Фундаментальная и прикладная физика природных систем Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.Н. Бурмистров, д-р физ.-мат. наук, доцент, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Электродинамика сплошных сред» обучающийся должен:

### знать:

- Постулаты и принципы электродинамики сплошных сред;
- уравнения Максвелла, физические свойства проводящих, диэлектрических, магнитных и сверхпроводящих сред;
- методы и приближения, используемые для макроскопического описания электромагнитных полей в конденсированных средах.

### уметь:

- Применять постулаты и принципы электродинамики сплошных сред для описания электромагнитных полей в конкретных конденсированных средах;
- пользоваться математическими методами электродинамики сплошных сред для решения физических задач.

### владеть:

- Основными методами математического аппарата электродинамики сплошных сред;
- навыками теоретического анализа физических проблем, связанных с электрическими и магнитными свойствами конденсированных сред.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Аттестация по дисциплине «Электродинамика сплошных сред» осуществляется в форме сдачи итогового экзамена после осеннего семестра изучения.

Итоговый экзамен проводится по итогам работы студента в семестре в случае успешного сдачи задания и курсовой работы. Если студент не усвоил дисциплину и результаты его работы в семестре оказались неудовлетворительными, то студент не допускается к экзамену. При неудовлетворительной сдаче экзамена студентом проводится дополнительный экзамен.

Умения и навыки студентов определяются по итогам сдачи домашнего задания и курсовой работы. Задание содержит 16 задач, одна из них отмеченная звездочкой повышенной сложности, необязательна. Задачи разбираются на семинарских (практических) занятиях. Навыки студентов проверяются в результате сдачи домашнего задания и защиты курсовой работы.

Примеры контрольных заданий:

А. Найти спектр малых колебаний плоской границы раздела между двумя диэлектрическими жидкостями в однородном внешнем электрическом поле. Получить условие электрокапиллярной неустойчивости поверхности раздела.

Б. Полый металлический ящик в форме куба резонирует в ТЕ моде. Оценить добротность резонатора, зная проводимость металла. Найти число резонансов, которые можно наблюдать.

В. Магнитное поле приложено вдоль границы между двумя невязкими идеально проводящими жидкостями с разными плотностями, находящимися в поле тяжести. Найти спектр колебаний границы и условие ее устойчивости.

### **За. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре, сдачи домашнего задания, защиты курсовой работы.

Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационный билет содержит только теоретические вопросы.

Традиционная форма билета содержит два теоретических вопроса по программе курса.

Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.



Пример билета:

1. Термодинамические соотношения и свободная энергия магнетика.
2. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы

#### 46. Критерии оценивания

Студенты, которые не сдали домашнее задание или не защитили курсовую работу, считаются не усвоившими материал и к экзамену не допускаются.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за экзамен и 10 баллов за курсовую работу и не менее 9 баллов за задание.
	9	9 баллов за экзамен, не менее 9 баллов за курсовую работу и не менее 8 баллов за задание.
	8	8 баллов за экзамен, не менее 8 баллов за курсовую работу и не менее 7 баллов за задание.
Хорошо	7	7 баллов за экзамен, не менее 7 баллов за курсовую работу и не менее 6 баллов за задание.
	6	6 баллов за экзамен, не менее 6 баллов за курсовую работу и не менее 5 баллов за задание.
	5	5 баллов за экзамен, не менее 5 баллов за курсовую работу и не менее 4 баллов за задание.
удовлетворительно	4	4 балла за экзамен, не менее 4 баллов за курсовую работу и не менее 3 баллов за задание.
	3	3 балла за экзамен, не менее 3 баллов за курсовую работу и не менее 3 баллов за задание.
неудовлетворительно	2	2 балла за экзамен
	1	1 балл за экзамен

#### 5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Студенты, допущенные к экзамену, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 40 минут. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, ответивший правильно

- на все два вопроса, получает оценку «отлично» (8), (9) или (10), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на поясняющие вопросы;
- на один вопрос и неточно на второй получает оценку «хорошо» (5), (6) или (7), в зависимости от полноты ответа на поясняющие вопросы;

- на один вопрос и неправильно на второй получает оценку «удовлетворительно» (4) или (3), в зависимости от полноты ответа на поясняющие вопросы;
- ни на один вопроса получает оценку «неудовлетворительно» (2) или (1), в зависимости от ответа на поясняющие вопросы.

Во время проведения экзамена пользование учебной, учебно-методической и справочной литературой не допускается. Во время экзамена должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом экзаменационной сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи экзамена.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.