

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»  
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,  
д.ф.-м.н., профессор

С.Б. Вениг

2023 г.



Рабочая программа дисциплины  
Электродинамика сплошных сред

Направление подготовки бакалавриата  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата  
«Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2023 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Латышева Е.В.		08.06.23
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		08.06.23
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал.В.		08.06.23
Специалист Учебного управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Электродинамика сплошных сред» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений и выработка практических навыков в области физики взаимодействия электромагнитных волн с веществом, распространения электромагнитных волн в средах с дисперсией, численных методов, используемых при решении задач в области электродинамики сплошных сред.

Задачами освоения дисциплины являются:

- усвоение основ теории взаимодействия электромагнитного излучения с материальными средами.
- приобретение навыков решения практические задач, связанных с разработкой различных электродинамических устройств.
- овладение основами применения методов электродинамики сплошных сред к решению задач, возникающих в физике твёрдого тела и в смежных областях.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Электродинамика сплошных сред» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, проходящими подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», в течение 6 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, теоретическим основам радиоэлектроники и подготавливает студентов к изучению в том же или в последующих семестрах таких дисциплин как «Физика полупроводников», «Микроэлектроника и наноэлектроника», «Твердотельная электроника», «Квантовая и оптическая электроника», а также ряда дисциплин при продолжении обучения в магистратуре.

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	<b>1.1_Б.ОПК-1.</b> Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов. <b>2.1_Б.ОПК-1.</b> Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.	<b>Знать</b> основные положения, законы и методы естественных наук и математики, используемые в области электродинамики сплошных сред; основы теории взаимодействия электромагнитного излучения с материальными средами. <b>Уметь</b> аргументированно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области

	<p><b>3.1_Б.ОПК-1.</b> Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>электродинамики сплошных сред; решать практические задачи, связанные с разработкой различных электродинамических устройств.</p> <p><b>Владеть</b> знаниями физики и математики, необходимыми при решении конкретных задач в области электродинамики сплошных сред; основами применения методов электродинамики сплошных сред к решению задач, возникающих в физике твёрдого тела и в смежных областях.</p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лек	Лабораторные		Пр		СРС
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка			
1	Введение.	6	1	2			2	2	
2	Уравнения Максвелла.	6	2-3	4			4	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
3	Основные представления физики волновых процессов	6	4-5	4			4	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
4	Дисперсия диэлектрической проницаемости	6	6-7	4			4	6	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы. Контрольная работа
5	Распространение электромагнитных волн в диэлектриках	6	8-9	4			4	8	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы

6	Сегнетоэлектрики и магнетики.	6	10-11	4			4	6	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
7	Электромагнитное излучение с точки зрения электродинамики и оптики	6	12-13	4			4	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
8	Переменное электромагнитное поле.	6	14-15	4			4	4	Проверка выполнения заданий самостоятельной работы
9	Распространение электромагнитных волн.	6	16	2			2	2	
	<b>Итого:</b>	<b>6</b>		<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>32</b>	<b>44</b>	
	<b>Контроль</b>	<b>6</b>		<b>36</b>					
	<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>6</b>							<b>Экзамен</b>
	<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>			<b>144</b>					

### Содержание дисциплины

- 1. Введение.** Предмет курса.
- 2. Уравнения Максвелла.** Электростатика проводников и диэлектриков. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Свободные и связанные заряды. Уравнения Лоренца–Максвелла. Векторы поляризации и намагниченности среды, индукции и напряженностей полей. Электродинамическая теорема Гаусса. Граничные условия.
- 3. Основные представления физики волновых процессов.** Простейшие типы электромагнитных волн. Плоские электромагнитные волны в плотных средах. Физическая природа электромагнитных волн. Уравнения электромагнитных волн как решения уравнений Максвелла. Передача сигналов с помощью волн. Спектральные разложения. Волновые пакеты.
- 4. Дисперсия диэлектрической проницаемости.** Формулы Крамерса-Кронига. Фазовая и групповая скорости в диспергирующей среде.
- 5. Распространение электромагнитных волн в диэлектриках.** Решение уравнений Максвелла в предположении пространственной однородности диэлектрика и падающей плоской волны. Локальные электрические поля в диэлектрике. Поляризуемость. Соотношение Клаузиуса-Мосотти. Показатель преломления жидкой смеси веществ. Доказательство справедливости соотношения Клаузиуса-Мосотти для жидкой смеси веществ.
- 6. Сегнетоэлектрики и магнетики.** Феноменологическая теория, внешняя аналогия и различие физической природы.
- 7. Электромагнитное излучение с точки зрения электродинамики и оптики.** Распространение в неоднородной среде. Отражение и преломление. Формулы Френеля. Преобразование плоских волн при преломлении. Поглощение электромагнитных волн. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Неоднородные плоские волны. Электромагнитные флуктуации. Тео-

- рия показателя преломления неплотных (разбавленных сред). Уменьшение фазовой скорости плоской электромагнитной волны в разбавленной среде.
8. **Переменное электромагнитное поле.** Уравнения Максвелла для переменного электромагнитного поля. Уравнения Д'Аламбера, их решения для векторов электромагнитного поля. Волновые уравнения. Поляризация монохроматических плоских электромагнитных волн. Эффект Доплера. Дисперсия волн и дисперсия физических параметров, характеризующих среду. Уравнения Максвелла и дисперсия в высокочастотном поле. Сверхпроводники в высокочастотном поле.
  9. **Распространение электромагнитных волн.** Распространение плоских электромагнитных волн в ферромагнитных пленках. Постоянное магнитное поле. Ферромагнетизм. Электромагнитные волны в проводящих средах, описываемых моделью Друде. Квазистационарное электромагнитное поле, скин-эффект. Квантовые размерные эффекты. Аналогия между квантовыми и электромагнитными волноведущими системами. Волноводы и длинные линии. Коаксиальный волновод.

#### **Примерная тематика практических занятий (семинаров)**

1. Усреднение уравнений Максвелла в среде, поляризация и намагниченность среды, векторы индукции и напряженностей полей. Граничные условия. Электростатика проводников и диэлектриков.
2. Постоянное магнитное поле. Ферромагнетизм. Квазистационарное электромагнитное поле, скин-эффект.
3. Уравнения электромагнитных волн. Дисперсия диэлектрической проницаемости, поглощение, формулы Крамерса-Кронига. Фазовая и групповая скорости в диспергирующей среде.
4. Теория показателя преломления плотных сред. Поляризуемость. Уравнения Максвелла для диэлектриков. Вектор поляризации, локальные поля в диэлектрике.
5. Решение уравнений Максвелла в предположении пространственной однородности диэлектрика и падающей плоской волны.
6. Отражение и преломление. Распространение в неоднородной среде. Электромагнитные волны в анизотропных средах.
7. Электромагнитные флуктуации.
8. Теория показателя преломления неплотных (разбавленных сред).

#### **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

В преподавании дисциплины «Электродинамика сплошных сред» используются следующие образовательные технологии:

- Информационно-коммуникационные технологии
- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

В процессе обучения предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий: адресация аудитории вопросов

и коллективный поиск ответов на них в форме дискуссий, встречи с известными специалистами и экспертами.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении части лекционных занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальный анализ вопросов физики взаимодействия электромагнитных волн с веществом, распространения электромагнитных волн в средах с дисперсией, численных методов, используемых при решении задач в области электродинамики сплошных сред.

### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода освоения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим занятиям, к контрольной работе, в выполнении заданий лектора.

#### Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;
- при подготовке к контрольной работе пользоваться лекциями и рекомендованной литературой;
- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время промежуточной аттестации.

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций:

- Решение задач расчета статических электрических полей систем заряженных проводников (диэлектриков).
- Применение теоремы Гаусса для расчета напряженности электрического поля для различных конфигураций зарядов, допускающих такое применение.
- Расчет напряженности электрического поля для различных конфигураций заряженных тел методом прямого интегрирования.
- Расчет показателя преломления смеси жидких диэлектриков по соотношению Клаузиуса - Москотти.
- Расчет глубины проникновения поля плоской электромагнитной волны в металлическую пленку.
- Сравнение соотношений для показателя преломления разбавленной и плотной среды.
- Соотношения между методом телеграфных уравнений и теорией Максвелла.

В ходе освоения дисциплины в часы практических занятий студенты выполняют одну контрольную работу.

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций.

Контрольная работа (3 ВАРИАНТА).

1.ВАРИАНТ. Расчет глубины проникновения поля плоской электромагнитной волны в металлическую пленку.

2.ВАРИАНТ. Расчет показателя преломления смеси по соотношению Клаузиуса – Москотти.

3.ВАРИАНТ. Расчет плазменной частоты в зависимости от концентрации носителей.

При выполнении данной контрольной работы студент должен продемонстрировать знания решения уравнений Максвелла в предположении пространственной однородности среды и падающей плоской волны.

Результаты выполнения контрольных работ учитываются при проведении промежуточной аттестации студентов.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена (6-й семестр).

## Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Макроскопические уравнения Максвелла. Вывод уравнений Гельмгольца.
2. Концепция парциальных волн, критическая длина волны.
3. Отражение плоских волн от поверхности раздела. Коэффициенты отражения.
4. Импедансная трактовка явлений отражения электромагнитных волн на скачке диэлектрической проницаемости.
5. Возбуждение поверхностной электромагнитной волны на поверхности раздела при полном внутреннем отражении.
6. Поляризуемость. Уравнения Максвелла для диэлектриков. Вектор поляризации, локальные поля в диэлектрике.
7. Формула Клаузиуса - Мосотти.
8. Показатель преломления многокомпонентных плотных сред.
9. Методы проверки справедливости соотношения Клаузиуса- Мосотти.
10. Электромагнитные волны в металлах. Показатель преломления металлов.
11. Случай "низких" частот, скин-эффект.
12. Случай высоких частот. Прозрачность металлов. Плазменная частота.
13. Сегнетоэлектрики.
14. Связь между мнимой и действительной частями диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса - Кронига.
15. Спиновые волны.
16. Теория показателя преломления неплотных (разбавленных сред).

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	20	0	20	20	0	10	30	100

### *Программа оценивания учебной деятельности студента*

#### **6 семестр**

##### **Лекции**

Посещаемость, активность на лекциях – от 0 до 20 баллов

##### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.



### **Практические занятия:**

Посещаемость, корректность выполнение заданий – от 0 до 20 баллов

### **Самостоятельная работа**

Выполнение заданий на самостоятельную работу – от 0 до 20 баллов

### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### **Другие виды учебной деятельности:**

Контрольная работа - от 0 до 10 баллов

### **Промежуточная аттестация (экзамен)**

Экзамен проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

При проведении промежуточной аттестации  
ответ на «отлично» оценивается от 21 до 30 баллов;  
ответ на «хорошо» оценивается от 11 до 20 баллов;  
ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 10 баллов;  
ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 семестр по дисциплине «Электродинамика сплошных сред» составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Электродинамика сплошных сред» в оценку (экзамен):

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»
меньше 50 баллов	«неудовлетворительно»

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в конце 8 и 16 недель обучения.

## **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) литература:**

1. Пейсахович Ю. Г. Классическая электродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие. - 2-е изд. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2017. - 649 с. - ЭБС «IPRbooks». - URL: <https://www.iprbookshop.ru/91264.html>
2. Алексеев А. И. Сборник задач по классической электродинамике [Электронный ресурс]: учеб. пособие. 2-е изд., стер. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2021. – 320 с. - ЭБС "ЛАНЬ" — URL: <https://e.lanbook.com/book/167677>

3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учеб. пособие : в 10 т. Под ред. Л. П. Питаевского. - Т. 8: Электродинамика сплошных сред. - 4-е изд., стер. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 651с. ( в НБ СГУ 48 экз)
4. Современная электродинамика: в 2 ч. - Москва ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед. : Регуляр. и хаот. динамика [изд.], Ч. 1 : Микроскопическая теория / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. - 2-е изд., испр. - Москва ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед. : Регуляр. и хаот. динамика [изд.], 2005. – 733 с. ( в НБ СГУ 7 экз), 2003 (8 экз.)
5. Топтыгин И. Н. Современная электродинамика: учеб. пособие. - Москва ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед. : Регуляр. и хаот. динамика, - Ч. 2 : Теория электромагнитных явлений в веществе. - Москва ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед. : Регуляр. и хаот. динамика, 2005. – 847 с. ( в НБ СГУ 13 экз)
6. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности [Электронный ресурс] : сборник задач / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. - 4-е изд. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 480 с. - ЭБС "ЛАНЬ" . — URL: <https://e.lanbook.com/book/167812>
7. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности: учеб. пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. - 4-е изд., перераб. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 473 с. ( в НБ СГУ 11экз)
8. Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин ; под ред. М. М. Бредова. - 3-е изд., испр. - Москва : Регуляр. и хаотич. динамика, 2002. – 639 с. ( в НБ СГУ 13 экз)
9. Барыбин А.А. Электродинамика волноведущих структур. Теория возбуждения и связи волн. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 510с. ( в НБ СГУ 8 экз)
10. Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник. - 2-е изд., доп. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2007. - 703с. **Гриф МО** ( в НБ СГУ 113 экз)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. Каталог образовательных Интернет-ресурсов <http://window.edu.ru>

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

Занятия по дисциплине «Электродинамика сплошных сред» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками и пр. (презентации, программное обеспечение).

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор: доцент Е.В. Латышева

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 03 декабря 2019 года, протокол № 4.

Программа актуализирована в 2023г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 8 июня 2023 года, протокол № 10.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература:

1. Сборник задач по основам электродинамики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. Н. Крамм. - Москва : Лань, 2021. - 256 с. **Гриф УМО.** - ЭБС "ЛАНЬ".— URL: <https://e.lanbook.com/book/167874>
2. Лотов К.В. Физика сплошных сред [Электронный ресурс]/ Лотов К.В.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2019.— 144 с.— ЭБС «IPRbooks» . — URL: <https://www.iprbookshop.ru/92018.html>
3. Классическая электродинамика [Электронный ресурс] / М. М. Бредов, И. Н. Топтыгин, В. В. Румянцев. - Москва : Лань, 2021. - 400 с. - ЭБС "ЛАНЬ" . — URL: <https://e.lanbook.com/book/167717>
4. Пименов Ю.В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров. - Долгопрудный : Интеллект, 2008. - 535с. ( в НБ СГУ 1 экз)
5. Васильев М.Б. Электродинамика движущихся тел. Теории и эксперименты М-во образования и науки Рос. Федерации, Иркут. гос. техн. ун-т. - Иркутск: Иркут. гос. техн. ун-т [изд.], 2005. - 189с. ( в НБ СГУ 1 экз)
6. Классическая электродинамика: учеб. пособие / М. М. Бредов, В. В. Румянцев, И. Н. Топтыгин ; под ред. И. Н. Топтыгина. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2003. – 398 с. ( в НБ СГУ 3 экз)
7. Савельев И.В. Основы теоретической физики: учебник: в 2 т. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2005. - Т. 1: Механика. Электродинамика. - 3-е изд., стер. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2005. - 493с. ( в НБ СГУ 1 экз)
8. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие / В. А. Неганов [и др.] ; под ред. В. А. Неганова, С. Б. Раевского. - 3-е изд., доп. и перераб. - М.: Радиотехника, 2007. - 743с. ( в НБ СГУ 1 экз)
9. Мултановский В.В., Василевский А.С. Классическая электродинамика: учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. - М.: Дрофа, 2006. - 347с. **Гриф МО** ( в НБ СГУ 1 экз)
10. Шаляпин А.Л., Стукалов В. И. Введение в классическую электродинамику и атомную физику. - Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2006. - 488с. ( в НБ СГУ 2 экз)
11. Физика сплошных сред в задачах: [пособие] / Г. Е. Векштейн. - 2-е изд., доп. - М. ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2002. – 206 с. ( в НБ СГУ 4 экз)
12. Антипов Б.Л., Сорокин В.С., Терехов В.А. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы: Учеб. пособие для вузов по специальностям электронной техники / Под ред. В.А.Терехова. М.: Высшая школа, 2003.- 208 с. ( в НБ СГУ 2 экз)