

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 19.10.2023 08:08:27  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»



Утверждаю:

Руководитель ООП

 И.А. Каплунов

«30» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Электродинамика диэлектрических сред**

Направление подготовки

03.04.03. Радиофизика

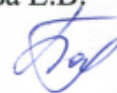
профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

1 курса очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Барabanова Ф.В.



Тверь, 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** освоения дисциплины является изучение свойств диэлектриков, помещенных во внешнее электрическое поле, для получения знаний необходимых для освоения ООП и последующей профессиональной деятельности.

**Задачами** освоения дисциплины является формирование представлений о взаимосвязи строения и свойств веществ, умения применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Электродинамика диэлектрических сред» относится к модулю Полупроводники и диэлектрики Блока 1 «Дисциплины» части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина изучается в 1 семестре и имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи со всеми дисциплинами профессиональных модулей ООП. Для освоения дисциплины от слушателей требуются предварительные знания и навыки из курсов направления подготовки бакалавриата

Освоение дисциплины обеспечивает изучение следующих дисциплин образовательной программы: «Специализированный физический практикум - 2», «Твердотельная электроника», а также прохождение практик и подготовку к выпускной квалификационной работе.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетных единицы, 144 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 30 часов, лабораторные работы 30 часов;

**самостоятельная работа:** 84 часа, в том числе контроль 27 часов.

#### 4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p>УК-4. Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия</p>	<p>УК-.4.1. Устанавливает контакты и организует общение в соответствии с потребностями совместной деятельности, используя современные коммуникационные технологии. УК-4.2. Составляет в соответствии с нормами русского языка деловую документацию разных жанров.</p>
<p>ПК-2. Способен проводить разработку и внедрение современных технологических процессов, освоение нового оборудования.</p>	<p>ПК-2.1. Проводит измерение электрофизических и структурных параметров формируемых функциональных материалов и изделий электроники, анализирует результаты. ПК-2.2. Оперировать технологическим и измерительным оборудованием, организует контроль за работой оборудования.</p>
<p>ПК-3. Способен обеспечить функционирование радиоэлектронных комплексов</p>	<p>ПК-3.2 Анализирует информацию о качестве функционирования радиоэлектронных комплексов, вносит предложения по улучшению эксплуатационных характеристик радиоэлектронных комплексов; ПК-3.3. организует и проводит ремонт радиоэлектронных комплексов и их составных частей.</p>

#### 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 1 семестре

6. Язык преподавания: русский.

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

**1.Для студентов очной формы обучения**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостояте льная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всег о	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
<b>1.Диэлектрики. Поляризация диэлектриков.</b> 1.Виды диэлектриков. 2. Поляризация диэлектриков. Время релаксации. 3. Виды поляризации.	16	4		4		8
<b>2. Диэлектрики в постоянном электрическом поле.</b> 1. Локальное поле в диэлектрике. 2.Макроскопическое поле в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость. Уравнение Клаузиуса-Моссоти. 3. Поляризация полярных и неполярных диэлектриков (газов и жидкостей).	18	6				12
<b>3. Диэлектрики в переменном электрическом поле.</b> 1. Диэлектрические потери. 2. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Спектр распределения времен релаксации 3. Механизмы диэлектрических потерь. 4. Дисперсия диэлектрической проницаемости . Виды дисперсии. 5.Модельные функции для релаксационной поляризации. 6. Модели дисперсии для упругой поляризации.	38	10		13		15
<b>4. Электропроводность диэлектриков.</b>	45	10		13		22

1. Носители заряда в диэлектриках. 2. Влияние электропроводности на диэлектрический спектр. 3. Взаимосвязь диэлектрических спектров и спектров импеданса и проводимости. 4. Импедансная спектроскопия. 5. Эквивалентные схемы замещения.						
<b>ЭКЗАМЕН</b>	27					27
<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>30</b>		<b>30</b>		<b>84</b>

### III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем (в строгом соответствии с разделом II РПД)	Вид занятия	Образовательные технологии
<b>1. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков.</b> 1. Виды диэлектриков. 2. Поляризация диэлектриков. Время релаксации. 3. Виды поляризации.	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Активное слушание Групповое решение задач Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>2. Диэлектрики в постоянном электрическом поле.</b> 1. Локальное поле в диэлектрике. 2. Макроскопическое поле в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость. Уравнение Клаузиуса-Моссоти. 3. Поляризация полярных и неполярных диэлектриков (газов и жидкостей).	<i>Лекции,</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Активное слушание Самостоятельное изучение теоретического материала</i>
<b>3. Диэлектрики в переменном электрическом поле.</b> 1. Диэлектрические потери. 2. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Спектр распределения времен релаксации 3. Механизмы	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Активное слушание Групповое решение задач Самостоятельное изучение теоретического материала</i>

диэлектрических потерь. 4. Дисперсия диэлектрической проницаемости . Виды дисперсии. 5. Модельные функции для релаксационной поляризации. 6. Модели дисперсии для упругой поляризации.		
<b>2. Электропроводность диэлектриков.</b> 1. Носители заряда в диэлектриках. 2. Влияние электропроводности на диэлектрический спектр. 3. Взаимосвязь диэлектрических спектров и спектров импеданса и проводимости. 4. Импедансная спектроскопия. 5. Эквивалентные схемы замещения.	<i>Лекции, лабораторные работы</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация)          Активное слушание          Групповое решение задач          Самостоятельное изучение теоретического материала</i>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

*Форма проведения промежуточного контроля:* студенты, освоившие программу курса «Электродинамика диэлектрических сред» могут получить зачет по итогам семестровой аттестации согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.).

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-4. Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия:**

УК-4.1. Устанавливает контакты и организует общение в соответствии с потребностями совместной деятельности, используя современные коммуникационные технологии.

УК-4.2. Составляет в соответствии с нормами русского языка деловую документацию разных жанров.

*Для всех индикаторов одни критерии оценивания.*

**Задание:** Письменный ответ на вопрос (примеры вопросов):

1. Упругая поляризация.
2. Газообразные диэлектрики.
3. Теория Друде.
4. Электронная проводимость диэлектриков.

**Способ аттестации:** письменный.

**Критерии оценки:** *оценка проводится по выполнению/не выполнению следующих требований:*

1. Тема раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения
2. Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы
3. Ответ характеризуется композиционной цельностью, соблюдена логическая последовательность
4. Нет лексико-грамматических ошибок

**ПК-2. Способен проводить разработку и внедрение современных технологических процессов, освоение нового оборудования:**

ПК-2.1. Проводит измерение электрофизических и структурных параметров формируемых функциональных материалов и изделий электроники, анализирует результаты.

ПК-2.2. Оперировать технологическим и измерительным оборудованием, организует контроль за работой оборудования.

*Для всех индикаторов одни критерии оценивания.*

**Задание:** Выполнение лабораторных работ:

1. Собрать экспериментальную установку для измерения вольт-амперных характеристик по схеме, представленной в описании лабораторной работы

2. Снять показания, необходимые для построения вольт-амперных характеристик, задействовав всех участников коллектива

3. Провести расчеты

**Способ аттестации:** письменный и устный.

**Критерии оценивания:** оценка проводится по выполнению/не выполнению следующих требований:

1. Работа выполнена в соответствии с заданием, правильно проведены расчеты.

2. Полученные результаты позволяют сформулировать грамотный вывод.

**ПК-3. Способен обеспечить функционирование радиоэлектронных комплексов:**

ПК-3.2 Анализирует информацию о качестве функционирования радиоэлектронных комплексов, вносит предложения по улучшению эксплуатационных характеристик радиоэлектронных комплексов;

ПК-3.3. Организует и проводит ремонт радиоэлектронных комплексов и их составных частей.

*Для всех индикаторов одни критерии оценивания.*

**Задание:**

защита лабораторных работ – по результатам эксперимента и выполненным расчетам провести анализ результатов и ответить на контрольные вопросы, обосновать сделанные выводы, объяснить расхождения (если они есть) с ожидаемым результатом, описать пути корректировки эксперимента для получения верных данных.

**Способ аттестации:** устный.

**Критерии оценки:** оценка проводится по выполнению/не выполнению следующих требований:



1. Работа выполнена самостоятельно
2. Вывод по работе логично связан с целью и задачами
3. Ответы на вопросы правильные, развернутые, грамотно использованы термины и понятия
4. Объяснены расхождения теории и эксперимента
5. предложены пути корректировки экспериментальных данных.

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

##### 1) Рекомендуемая литература

##### а) основная литература:

1. Поплавко, Ю.М. Физика активных диэлектриков [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. М. Поплавко, Л. П. Переверзева, И. П. Раевский; Ю.М. Поплавко; Л.П. Переверзева; И.П. Раевский. - Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2009. - 480 с. – режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47175.html>.
2. Иванов, В.В. Физика диэлектриков: Учеб. пособие - Калинин : КГУ, 1981. - 86 с.
3. Сорокин В. С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники [Электронный ресурс] - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 384 с. - ISBN 978-5-8114-2002-5. <https://e.lanbook.com/book/168894>

##### б) дополнительная литература:

4. Борисова , М.Э. Физика диэлектриков : учебное пособие / М.Э. Борисова, С.Н. Койков. - Ленинград : Ленинградский государственный университет, 1979. – 239.
5. Сканакви, Г.И. Физика диэлектриков: область слабых полей. - Москва ; Ленинград : Гостехиздат, 1949. - 500 с.

Костюков, Н.С. Волновая теория диэлектриков / Н. С. Костюков, С. М. Соколова, Н. В. Еремина. - Благовещенск: Издательство ПКИ Зея, 2012. - 154 с. – режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=467683>

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.

MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.

Kaspersky Endpoint Security для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020

Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/М41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;

Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.ЭБС«ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;

3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1) журнал «Физика твердого тела» <http://journals.ioffe.ru/journals/1>

2) <http://physics.info/dielectrics/>

3) свойства материалов <http://materials.springer.com/>

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

***1) Перечень лабораторных работ:***

1. Диэлектрическая проницаемость материалов
2. Дисперсия диэлектрической проницаемости
3. Влияние проводимости на постоянном токе на диэлектрический спектр
4. Линейная дисперсия диэлектрической проницаемости
5. Расчет годографов импеданса и проводимости
6. Диагностика химических источников тока

Практические задания по демонстрации компетенций заключаются в устных или письменных ответах на поставленные преподавателем или составленным самими студентами вопросы. При этом оценивается обоснованность ответа, ясность и последовательность изложения мысли. Такая демонстрация компетенций проверяет уровень владения теоретическим и практическим материалом.

### **Текущий контроль успеваемости**

При выполнении лабораторной работы главным является знание и понимание того, что предстоит *сделать*, как это можно *осуществить* с помощью данного оборудования, и умение объяснить физику процессов и явлений, изучаемых в работе.

В *организационном* плане недопустимо сводить лабораторные работы только к снятию показаний с приборов. Весь процесс от предварительной подготовки, проведения экспериментов и до составления отчета и защиты является лабораторной работой и требует одинаково серьезного внимания ко всем этапам процесса. При подготовке необходимо предварительно до занятия изучить описание лабораторной работы. Приступив к работе, следует строго соблюдать указанный порядок выполнения экспериментальной и расчетной частей работы. Особенно важно строго соблюдать все установленные в лаборатории правила техники безопасности.

В *отчете* о лабораторной работе и при ее защите на основе полученных экспериментальных данных, проведенных расчетов и

погрешности необходимо дать толкование физических процессов, которые протекали в эксперименте.

Отчет о проделанной лабораторной работе должен содержать:

1. Стандартно оформленный *титульный лист*.
2. *Теоретическую часть* (цель работы, краткое описание лабораторной установки и методов измерений).
3. *Расчетную часть* (таблицы измерений, графики, расчет искомых величин и их погрешностей).
4. *Вывод по лабораторной работе*.

**промежуточный контроль** проводится в 1 семестре в форме экзамена.

Допуск к промежуточной аттестации возможен при условии сдачи всех лабораторных работ курса.

### **Контрольные вопросы к экзамену**

1. Диэлектрики.
2. Поляризация диэлектриков. Время релаксации.
3. Упругая электронная поляризации диэлектриков.
4. Упругая ионная поляризация.
5. Упругая дипольная поляризация.
6. Тепловая электронная поляризация диэлектриков
7. Тепловая ионная поляризация.
8. Тепловая дипольная поляризация.
9. Миграционная поляризация.
10. Локальное поле Лорентца.
11. Макроскопическое поле. Диэлектрическая проницаемость.
12. Поляризация неполярных жидкостей и газов. Уравнение Клаузиуса-Моссоти.
13. Поляризация полярных жидкостей и газов.
14. Диэлектрические потери в диэлектриках.
15. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Виды дисперсии.
16. Спектр распределения времен релаксации

17. Симметричные функции распределения времен релаксации.
18. Асимметричные функции распределения времен релаксации.
19. Модель одиночного осциллятора (теория Друде и Лоренца-Лорентца.)
20. Электропроводность диэлектриков.
21. Взаимосвязь диэлектрических спектров и спектров импеданса и проводимости
22. Эквивалентные схемы замещения.
23. Импедансная спектроскопия.
24. Диаграммы силы тока и напряжения.

## VII. Материально-техническое обеспечение

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Учебная аудитория № 218 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест.</li> <li>2. Экран настенный ScreenMedia 153x203</li> <li>3. Переносной комплект мультимедийной техники (ноутбук, проектор).</li> <li>4. Меловая доска</li> </ol>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно</p>
<p>Лаборатория твердотельной электроники № 247 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Научно-учебный программно-аппаратный комплекс для микроанализа и морфологического анализа поверхности и для подготовки кадров по основам нанотехнологии NanoEducator2</li> <li>2 Импульсный анализатор температуропроводности XFA 500LT</li> </ol>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г. Kaspersky Endpoint Security для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020 Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC -</p>

	<p>3 Нетбук Lenovo IdeaPadG560L-i352 15.6 WXGA LED Ci-350 (2.26 GHz ) DVD RW WiFi</p> <p>4 Осциллограф цифровой GDS-2102, 2 канала x 100МГ/USB/Good Wi11</p> <p>5 Мультиметр цифровой True RMS\Uni Trend (2 шт)</p> <p>6 Мультиметр цифровой Mastech M9803R</p> <p>7 Компьютер: Системный блок iRU Corp 510GT520-1024/DVD-RW/W7/Монитор ViewSonic TFT 21,5"/клав.,мышь Oklick.коврик (2 шт)</p> <p>8 Регулятор микропроцессорный МИНИТЕРМ 300.31</p> <p>9 Весы лабораторные ВЛ-120 с гирей калибровочной 100гE2</p> <p>10 МФУ Canon лазерный i-Sensys MF4410</p> <p>11 Газовый лазер ГН-2П, излуч. № 2803, ОП ИП №1076</p> <p>12 Мультиметр цифровой настольный профессиональный MS8040</p> <p>13 Осциллограф цифровой ATTEN ADS 1042 CML</p> <p>14 Осциллограф цифровой ATTEN ADS 1202 CAL</p> <p>15 Цифровой осциллограф ZET-302</p> <p>16 Модуль АЦП-ЦАП ZET-230 (с клеммной колодкой)</p> <p>17 Усилитель высоковольтный 677В-Н-СЕ</p> <p>18 Измеритель иммитанса E7-20 (2 шт)</p> <p>19 Лего-комплекты (5 шт)</p> <p>20 Фоточувствительный измеритель "Вектор-175"</p> <p>21 Генератор функциональный АНР -</p>	<p>бесплатно</p> <p>Google Chrome – бесплатно</p> <p>Unreal Commander - бесплатно</p> <p>Почта Outlook – бесплатно</p> <p>Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/М41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;</p> <p>Mathcad 15 M010 -</p> <p>Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011</p>
--	--	--

	1250 22 Измеритель температуры Center 303	
--	--	--

### **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

<b>№ п.п.</b>	<b>Обновленный раздел рабочей программы дисциплины</b>	<b>Описание внесенных изменений</b>	<b>Реквизиты документа, утвердившего изменения</b>
1.			
2.			