

Документ подписан простой электронной подписью.
Информация о владельце:
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна
Должность: проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 25.08.2025 16:35:17
Уникальный программный ключ:
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.В. Барабанова



«26» июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика диэлектриков

Закреплена за кафедрой:	Физики конденсированного состояния
Направление подготовки:	03.03.03 Радиофизика
Направленность (профиль):	Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные комплексы, системы автоматизированного проектирования)
Квалификация:	Бакалавр
Форма обучения:	очная
Семестр:	5

Программу составил(и):

д-р физ.-мат. наук, проф., Солнышкин Александр Валентинович

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Описание электрофизических свойств линейных диэлектриков, изучение методов их исследования и механизмов поляризации.

Задачи :

- 1) Изучить микроскопические механизмы и модели поляризации;
- 2) Освоить методы расчета диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь;
- 3) Рассмотреть методы диэлектрической релаксационной спектроскопии.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Математический анализ

Векторный и тензорный анализ

Электродинамика

Физика конденсированного состояния вещества

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Преддипломная практика

Научно-исследовательская работа

Физика конденсированного состояния вещества

Физика полупроводников

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе:	
самостоятельная работа	40

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-4.2: Применяет методы анализа научно-технической информации

ПК-4.3: Оформляет результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

УК-1.3: Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	5

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

№	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Сем.	Часов	Примечание
	Раздел 1. Макроскопические представления о поляризации диэлектриков				
1.1	Процесс поляризации диэлектриков. Вектор поляризации.	Лек	5	2	
1.2	Классификация диэлектриков. Механизмы поляризации.	Лек	5	2	
1.3	Поляризация диэлектриков и типы диэлектриков.	Лаб	5	4	
1.4	Процессы и механизмы поляризации линейных диэлектриков	Ср	5	10	
	Раздел 2. Микроскопические механизмы и модели индуцированной поляризации				
2.1	Особенности деформации (упругой и квазиупругой) поляризации. Электронно-деформационная поляризация.	Лек	5	2	
2.2	Ионно-деформационная поляризация. Дипольно-деформационная поляризация.	Лек	5	2	
2.3	Дипольная релаксационная поляризация.	Лек	5	2	
2.4	Тепловая ионная поляризация	Лек	5	2	
2.5	Микроскопические механизмы и модели поляризации	Лаб	5	6	
2.6	Особенности упругой и релаксационной типов поляризации.	Ср	5	10	
	Раздел 3. Методы расчета диэлектрической проницаемости				
3.1	Макроскопическое электрическое поле внутри диэлектрика	Лек	5	3	
3.2	Локальное поле в приближении Лорентца. Фактор Лорентца.	Лек	5	2	
3.3	Диэлектрическая проницаемость неполярных жидкостей и газов. Уравнение Клаузиуса-Мосотти.	Лек	5	3	
3.4	Поляризация полярных диэлектриков. Модель Онзагера. Тория Кирквуда	Лек	5	4	
3.5	Диэлектрическая проницаемость газов. Приближение Лоренца при расчете внутреннего поля.	Лаб	5	6	
3.6	Поляризация ионных кристаллов. Кристаллы с высокой диэлектрической проницаемостью. Поляризация полярных диэлектриков.	Лаб	5	6	

3.7	Диэлектрическая проницаемость и ее связь с поляризацией. Поляризуемость.	Ср	5	10	
	Раздел 4. Диэлектрические потери				
4.1	Тангенс угла диэлектрических потерь	Лек	5	2	
4.2	Диэлектрические потери, обусловленные электропроводностью диэлектриков	Лек	5	2	
4.3	Диэлектрические потери при релаксационной поляризации	Лек	5	2	
4.4	Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношения Кронига-Краммерса.	Лек	5	2	
4.5	Диэлектрические потери при деформационной поляризации.	Лек	5	2	
4.6	Процесс установления диэлектрической поляризации. Диэлектрические потери в диэлектриках с релаксационной поляризацией. Тангенс угла диэлектрических потерь.	Лаб	5	6	
4.7	Комплексная диэлектрическая проницаемость, соотношение Крамерса-Кронинга для линейных диэлектриков. Диэлектрические потери неоднородных диэлектриков	Лаб	5	6	
4.8	Диэлектрические потери. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Дисперсия диэлектрических характеристик.	Ср	5	10	

Образовательные технологии

Проблемная лекция.

Активизация творческой лекции.

Практические упражнения и подготовка докладов студентами.

Проведение лабораторных работ практикума «Физика диэлектриков».

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
2	Занятия с применением затрудняющих условий

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости представлены в виде следующих разделов, включающих основные понятия изучаемого курса:

- 1 раздел
2. Различные механизмы поляризации диэлектриков.
3. Ионно-деформационная поляризация.
4. Полярные и неполярные молекулы.
5. Дипольно-деформационная поляризация
6. Особенности деформационной (упругой и квазиупругой) поляризации.
7. Ионно-релаксационная поляризация.

8. Дипольно-релаксационная поляризация.
9. Электронно-деформационная поляризация.

2 раздел

1. Макроскопическое электрическое поле.
2. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Соотношение Крамерса-Кронинга для линейных диэлектриков.
3. Диэлектрическая проницаемость в неполярных жидкостях и газах. Уравнение Клаузиуса-Мосотти.
4. Диэлектрические потери при деформационной поляризации.
5. Поляризация полярных диэлектриков. Модель Кирквуда.
6. Тангенс угла диэлектрических потерь. Схемы замещения.
7. Диэлектрические потери, обусловленные электропроводностью диэлектриков.
8. Поляризация полярных диэлектриков. Модель Онзагера.
9. Локальное поле в приближение Лоренца.
10. Уравнение Дебая.
11. Диэлектрические потери при релаксационной поляризации.
12. Тангенс угла диэлектрических потерь. Схемы замещения.

3 раздел

1. Потери, обусловленные электропроводностью диэлектриков.
2. Тепловой пробой. Теория Вагнера. Три вида теплового пробоя.
3. Потери при релаксационной поляризации.
4. Электрический пробой. Теория Роговского. Теория Иоффе.
5. Потери при деформационной поляризации.
6. Электропроводность щелочно-галогидных кристаллов.
7. Релаксационный диэлектрический спектр. Диаграмма Коула-Коула.
8. Термоэлектреты.
9. Размытие релаксационного спектра. Диаграммы Коула-Коула для набора времен релаксации.
10. Фотоэлектреты.

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Задание:

Ответ на вопрос: 1. Описать диэлектрическую проницаемость в неполярных жидкостях и газах. Уравнение Клаузиуса-Мосотти.

2. Описать Различные механизмы поляризации диэлектриков.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки:

- Имеется полный ответ – 3 балла
- Ответ недостаточно обоснован – 2 балла
- Дан неверный ответ – 0 баллов

Задание:

Решить практическую задачу: 1. Рассчитать тангенс угла диэлектрических потерь при параллельных схемах замещения.

2. Построить диаграмму Коула-Коула для релаксационных диэлектрических спектров.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- Имеется полный ответ – 3 балла
- Ответ недостаточно обоснован – 2 балла
- Дан неверный ответ – 0 баллов

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Изучение курса заканчивается зачетом.

На первый модуль отводится 30 баллов, которые распределяются следующим образом:

Контрольная – до 10 баллов;

Текущий контроль - до 20 баллов.

На второй модуль отводится 70 баллов, которые распределяются следующим образом:

Контрольная – до 10 баллов;

Текущий контроль - до 20 баллов.

Выполнение лабораторных работ – 30 баллов

2. Зачет проводится в день, определенный деканатом в рамках расписания учебного процесса.

3. Студенты, набравшие в течение семестра 40 баллов получают «зачет» без выполнения дополнительных заданий, выносимых на зачет.

4. На зачете предлагается ответить на вопросы по курсу

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рекомендуемая литература

Перечень программного обеспечения

1	Adobe Acrobat Reader
2	Google Chrome
3	Mathcad 15 M010
4	Origin 8.1 Sr2

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Журналы American Institute of Physics (AIP)
2	Журналы издательства Taylor&Francis
3	БД Scopus
4	БД Web of Science
5	ЭБС «Лань»
6	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
7	Архивы журналов издательства The Institute of Physics
8	Архивы журналов издательства Nature

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-35	комплект учебной мебели, экран настенный, переносной ноутбук, проекторы

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Посещение лекций и занятий лабораторного практикума.
2. Изучение учебно-методических материалов согласно разделам рабочей программы.
3. Изучение теоретической части и выполнение лабораторных работ по дисциплине "Физика диэлектриков".
4. Защита результатов, полученных при выполнении лабораторных работ.
5. Проверка знаний согласно материалам, представленным в фонде оценочных средств.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие типы контроля:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

Тестовые задания охватывают содержание всего пройденного материала.

Индивидуальное собеседование, письменная работа проводятся по разработанным вопросам по отдельному учебному элементу программы (дисциплине).

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие типы контроля:

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности практические контрольные задания разделяются на простые и комплексные задания.

Простые практические контрольные задания предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;
- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);
- задания на оценку последствий принятых решений;
- задания на оценку эффективности выполнения действия.

Вопросы к зачету:

Макроскопические представления о поляризации диэлектриков.

Различные механизмы поляризации диэлектриков.

Диэлектрическая проницаемость.

Энергетические соотношения для поляризованного диэлектрика.

Микроскопические механизмы и модели поляризации.
Особенности деформационной поляризации.
Электронно-деформационная поляризация.
Ионно-деформационная поляризация.
Обобщенная модель деформационной поляризации.
Особенности тепловой (релаксационной) поляризации.
Дипольно-релаксационная поляризация.
Электронно-релаксационная поляризация.
Методы расчета диэлектрической проницаемости.
Диэлектрическая проницаемость газов.
Приближение Лоренца при расчете внутреннего поля.
Поляризация ионных кристаллов.
Кристаллы с высокой диэлектрической проницаемостью.
Поляризация полярных диэлектриков.
Макроскопические представления о диэлектрических потерях.
Процесс установления диэлектрической поляризации.
Диэлектрические потери в диэлектриках с релаксационной поляризацией.
Тангенс угла диэлектрических потерь.
Комплексная диэлектрическая проницаемость.
Соотношение Крамерса-Кронинга для линейных диэлектриков.
Диэлектрические потери неоднородных диэлектриков.
Различные механизмы потерь в диэлектриках.
Потери, обусловленные электропроводностью диэлектриков.
Потери при релаксационной поляризации.
Потери при деформационной поляризации.
Диэлектрические потери в окрестности дисперсии.
Релаксационный диэлектрический спектр.
Размытие спектра.
Релаксационные потери при различных временах релаксации.
Диаграмма Коула-Коула.
Резонансный диэлектрический спектр.
Размытие спектра.
Пробой твердых диэлектриков.
Тепловой пробой.
Теория Вагнера.
Три вида теплового пробоя.
Электрический пробой.
Теория Роговского.
Теория Иоффе.
Квантовая теория электрического пробоя.
Пробой электронного происхождения.
Электрический пробой в “толстом слое”.
Стадии пробоя твердых диэлектриков.
Электропроводность щелочно-галоидных кристаллов
Электреты.