

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2025 17:22:56
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.М. Семенова

«24»

июня

2025 г.



Рабочая программа дисциплины

Физика нелинейных кристаллов

Закреплена за
кафедрой:

Физики конденсированного состояния

Направление
подготовки:

03.03.02 Физика

Направленность
(профиль):

**Физика, технологии и компьютерное моделирование
функциональных материалов**

Квалификация:

Бакалавр

Форма обучения:

очная

Семестр:

7

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Большакова Наталья Николаевна

Н.Б.Смирнов

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики сегнетоэлектрических явлений.

Задачи:

- Расширение научного кругозора и эрудиции обучающихся на базе изучения фундаментальных результатов физики нелинейных кристаллов;
- практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями физики нелинейных кристаллов и основными экспериментальными методиками.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Кристаллография

Физика конденсированного состояния вещества

Физика диэлектриков

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

Нанотехнологии в физике конденсированного состояния

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе:	
аудиторные занятия	52
самостоятельная работа	21
часов на контроль	27

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

ПК-2.1: Проводит экспериментальные исследования с применением научно-исследовательского оборудования в соответствии с утвержденными методиками

ПК-2.2: Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	7

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
------------	-----------------------------	-------------	----------------	-------	-----------	------------

	Раздел 1. 1. Нелинейные параметры порядка: деформация, поляризация, намагниченность					
1.1	Введение. 1.1. Частотная классификация нелинейных эффектов. 1.2. Терминология. 1.3. Реверсивные нелинейные эффекты. 1.4. Эффекты самовоздействия. 1.5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.	Лек	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
1.2	Введение. 1.1. Частотная классификация нелинейных эффектов. 1.2. Терминология. 1.3. Реверсивные нелинейные эффекты. 1.4. Эффекты самовоздействия. 1.5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.	Лаб	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
1.3	Введение. 1.1. Частотная классификация нелинейных эффектов. 1.2. Терминология. 1.3. Реверсивные нелинейные эффекты. 1.4. Эффекты самовоздействия. 1.5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.	Ср	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 2. 2. Спонтанная поляризация и динамика решетки нелинейного кристалла					

2.1	2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля. 2.2. Модель ангармонических осцилляторов. 2.3. Модель типа порядок-беспорядок. 2.4. Соотношение Лиддана-Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода. 2.5. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды". 2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера). 2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.	Лек	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
2.2	2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля. 2.2. Модель ангармонических осцилляторов. 2.3. Модель типа порядок-беспорядок. 2.4. Соотношение Лиддана-Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода. 2.5. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды". 2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера). 2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.	Лаб	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	

2.3	2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля. 2.2. Модель ангармонических осцилляторов. 2.3. Модель типа порядок-беспорядок. 2.4. Соотношение Лиддана-Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода. 2.5. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды". 2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера). 2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.	Ср	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 3. 3. Исследование мягких мод нелинейных кристаллов методами рассеяния света и нейтронов					
3.1	3.1. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов. 3.2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии. 3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.	Лек	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
3.2	3.1. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов. 3.2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии. 3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.	Лаб	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	

3.3	3.1. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов. 3.2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии. 3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.	Ср	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 4. 4. Нелинейные оптические эффекты					
4.1	4.1. Генерация второй гармоники. 4.2. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики.	Лек	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
4.2	4.1. Генерация второй гармоники. 4.2. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики.	Лаб	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
4.3	4.1. Генерация второй гармоники. 4.2. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики.	Ср	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 5. 5. Сегнетоэластики – механические аналоги сегнетоэлектриков					
5.1	5.1. Термодинамические соотношения для сегнето-эластиков. 5.2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках. 5.3. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.	Лек	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	

5.2	5.1. Термодинамические соотношения для сегнето-эластиков. 5.2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках. 5.3. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.	Лаб	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
5.3	5.1. Термодинамические соотношения для сегнето-эластиков. 5.2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках. 5.3. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.	Ср	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 6. 6. Сегнетоэлектрики с особым типом упорядочения					
6.1	6.1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители. 6.2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода. Кинетика перехода. 6.3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.	Лек	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
6.2	6.1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители. 6.2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода. Кинетика перехода. 6.3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.	Лаб	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	

6.3	6.1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители. 6.2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода. Кинетика перехода. 6.3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.	Ср	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 7. 7. Несоразмерная фаза в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках					
7.1	7.1. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки. 7.2. Солитоны.	Лек	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
7.2	7.1. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки. 7.2. Солитоны.	Лаб	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
7.3	7.1. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки. 7.2. Солитоны.	Ср	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 8. 8. Флексоэлектрический эффект					
8.1	8.1. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость. 8.2. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации – новый электромеханический эффект. 8.3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.	Лек	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
8.2	8.1. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость. 8.2. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации – новый электромеханический эффект. 8.3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.	Лаб	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	

8.3	8.1. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость. 8.2. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации – новый электромеханический эффект. 8.3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.	Ср	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 9. 9. Ферроики					
9.1	Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.	Лек	7	3	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
9.2	Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.	Лаб	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
9.3	Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.	Ср	7	2	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
	Раздел 10. Экзамен					
10.1		Экзамен	7	27		

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Оценочные материалы для проведения текущей аттестации представлены в приложении 2

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации представлены в приложении 2

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Требования к рейтинг-контролю представлены в приложении 2

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

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Нестеров, Панич А.Е., Технология синтеза порошков сегнетоэлектрических фаз, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2010, ISBN: 978-5-9275-0721-4, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=20581

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Алешкевич В. А., Электромагнетизм, Москва: Физматлит, 2014, ISBN: 978-5-9221-1555-1, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275299

9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	ЭБС «ИНФРА-М»: http://www.znaniyum.com
Э2	ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН»: http://www.biblioclub.ru
Э3	ЭБС «ЛАНЬ»: http://e.lanbook.com
Э4	Сервер информационно-методического обеспечения учебного процесса ТвГУ: http://edc.tversu.ru

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Foxit Reader

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС ТвГУ
2	ЭБС BOOK.ru
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
6	ЭБС «ЮРАИТ»
7	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-35	комплект учебной мебели, экран настенный, переносной ноутбук, проекторы
3-4а	компьютеры, проектор, экран, переносной ноутбук, сумка для ноутбука, коммутатор, видеокамеры

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) представлены в приложении 1