

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 10.07.2024 12:02:42  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



*[Handwritten signature]*

Б.Б.Педько

«21»

мая

2024 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*

*[Handwritten signature]*

Тверь, 2024

## 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

<b>Общая трудоемкость</b>	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
<b>в том числе:</b>	
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	<p>2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.</p> <p>2.2. Модель ангармонических осцилляторов.</p> <p>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".</p> <p>2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).</p> <p>2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.</p>	Лек	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
2.2	<p>2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.</p> <p>2.2. Модель ангармонических осцилляторов.</p> <p>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".</p> <p>2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).</p> <p>2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.</p>	Лаб	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	

2.3	<p>2.1. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.</p> <p>2.2. Модель ангармонических осцилляторов.</p> <p>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".</p> <p>2.6. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).</p> <p>2.7. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.</p>	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	<p>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.</p> <p>3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.</p>	Лек	7	4	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э3 Э4	
3.2	<p>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.</p> <p>3.3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.</p>	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 сегнетоэластиков. 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 сегнетоэластиков. 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 сегнетоэластиков. 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. Флексозлектрический 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. 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: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=20581">https://znanium.com/catalog/document?id=20581</a>

### 9.1.2. Дополнительная литература

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

### 9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

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

### 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, видекамеры

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

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

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

**Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

Самостоятельная работа студентов предполагает:

–обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;

–углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;

–использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам

**Темы для самостоятельного изучения (возможные темы для рефератов).**

1. Когерентное рассеяние нейтронов псевдоспиновыми волнами
2. Исследование мягких сегнетоэлектрических мод кристаллов титаната свинца ( $PbTiO_3$ )
3. Мягкие моды в ниобате лития ( $LiNbO_3$ ) и танталате лития ( $LiTaO_3$ )
4. Нейтронные исследования кристаллов тигиподифосфата олова ( $Sn_2P_2S_6$ ).
5. Затухание мягкого фона и центральная мода (центральный пик)
6. Рэлеевское рассеяние (центральный пик) в кристаллах  $LiNbO_3$  и  $LiTaO_3$ .

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Физика нелинейных кристаллов» участвует в формировании профессиональных компетенций ПК-2 «Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок».

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-2:** Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	Современными методами экспериментального и теоретического исследований нелинейных кристаллов	
Начальный уметь	Продемонстрировать умение объяснить сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода. <i>Пример.</i> Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды".	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов. <i>Пример.</i> Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

Промежуточный <b>владеть</b>	Продемонстрировать навыки владения материалом по физике нелинейных кристаллов. <i>Пример.</i> Описать гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.	
Промежуточный <b>уметь</b>	Продемонстрировать умение применять полученные знания в области научных исследований <i>Пример.</i> Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Промежуточный <b>знать</b>	Основные законы в области физики нелинейных кристаллов и методы расчета диэлектрической проницаемости.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-2:** Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Термодинамические соотношения для сегнетоэластиков.
2. Сегнетоэластические домены и их наблюдение.
3. Процессы переключения в сегнетоэластиках.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Несобственные сегнетоэлектрики.
2. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.
3. Общие представления об антисегнетоэлектриках.
4. Основные представители.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом.
2. Причины размытия фазового перехода.
3. Кинетика перехода.
4. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением.

#### **Требования к рейтинг-контролю**

Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются) и по результатам зачета.

#### **Рейтинг 1 (Темы: 1-5)**

##### **Рейтинг**

Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1-5.

30 баллов, из них 10 –текущая работа, 10- посещаемость, 10- контрольная работа. 6-ая неделя.

##### **1. Задача на темы 1-5.**

##### **2. Теоретический вопрос**

**Список вопросов, выносимых в рейтинг- контроль. Первая контрольная точка.**

1. Частотная классификация нелинейных эффектов. Терминология.
2. Реверсивные нелинейные эффекты.
3. Эффекты самовоздействия.
4. Двухчастотные эффекты при близких частотах.
5. Метод самосогласованного поля. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.
6. Модель ангармонических осцилляторов.
7. Модель типа порядок-беспорядок.
8. Соотношение Лиддана- Сакса-Теллера. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода.
9. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды".
10. Возможные причины исходной нестабильности решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).
11. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектричества.
12. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов.
13. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.

14. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.
15. Генерация второй гармоники.
16. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики
17. Термодинамические соотношения для сегнетоэластиков.
18. Сегнетоэластические домены и их наблюдение. Процессы переключения в сегнетоэластиках.
19. Несобственные сегнетоэлектрики. Термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.

### Рейтинг 2 (Темы 6-9)

Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 6-9.

30 баллов, из них 10 –текущая работа, 10- посещаемость, 10- контрольная работа. 10-ая неделя

#### 1. Задача на темы 6-9

#### 2. Теоретический вопрос

#### Список вопросов, выносимых в рейтинг контроль. Вторая контрольная точка

1. Общие представления об антисегнетоэлектриках. Основные представители.
2. Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом. Причины размытия фазового перехода.

Кинетика перехода.

3. Сегнетоэлектрики с магнитным упорядочением. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.

4. Причины образования несоизмерной фазы с точки зрения динамики решетки.

5. Солитоны.

6. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость.

7. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации - новый электромеханический эффект. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.

8. Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.

**Критерии:** работа на каждом практическом занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 6.1. Рекомендуемая литература

##### а) Основная литература:

1. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах / С. А. Гриднев, Ю. Е. Калинин, А. В. Ситников, О. В. Стогней. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 355 с. — ISBN 978-5-00101-853-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/135512>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Нестеров А. А. Технология синтеза порошков сегнетоэлектрических фаз [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2010. — 226 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47157.html>

##### б) Дополнительная литература:

1. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд : учебное пособие / под редакцией К. М. Рабе [и др.] ; перевод с английского Б. А. Струкова, А. И. Лебедева. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 443 с. — ISBN 978-5-00101-827-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151471>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Алешкевич В.А. Электромагнетизм: учебник. - М.: Физматлит, 2014. - 404 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275299>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### 9. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБНОВЛЕНИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (ИЛИ МОДУЛЯ)

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г

2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021