

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.08.2022 12:51:26  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc3ad1bf75f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП



*[Handwritten signature]*

Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика нелинейных кристаллов**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Большакова Н.Н.

*[Handwritten signature]*

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** изучения дисциплины «Физика нелинейных кристаллов» является углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики сегнетоэлектрических явлений.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

- 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**

Дисциплина «Физика нелинейных кристаллов» изучается в элективном модуле «Диэлектрики» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения дисциплины необходимы знания и компетенции приобретенные при изучении предшествующих дисциплин «Кристаллография», «Физика конденсированного состояния вещества», «Физика диэлектриков», «Физика пьезоэлектриков и пирозлектриков».

Изучение физики нелинейных кристаллов необходимо для последующего освоения дисциплин «Физические свойства сегнетоэлектриков», «Нанотехнологии в физике конденсированного состояния». Профессиональные компетенции приобретенные при изучении дисциплины необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 3 зачетные единицы, 108 академических часов, **в том числе:**

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

**самостоятельная работа:** 48 часов, 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
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие.
ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	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.
ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов.	ПК-3.1. Осуществляет анализ структуры материалов.

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

Экзамен в 7 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

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

Учебная программа –	го (час	Контактная работа (час.)	ель ная раб
---------------------	------------	-----------------------------	-------------------

наименование разделов и тем		Лекции	Лабораторные занятия	
<p><b>Глава 1. Нелинейные параметры порядка: деформация, поляризация, намагниченность.</b></p> <p>Введение.</p> <p>1.1. Частотная классификация нелинейных эффектов.</p> <p>1.2. Терминология.</p> <p>1.3. Реверсивные нелинейные эффекты.</p> <p>1.4. Эффекты самовоздействия.</p> <p>1.5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.</p>	8	2	2	4
<p><b>Глава 2 Спонтанная поляризация и динамика решетки нелинейного кристалла..</b></p> <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>	11	4	4	3
<p><b>Глава 3. Исследование мягких мод нелинейных кристаллов методами рассеяния света и нейтронов</b></p> <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>	9	4	2	3
<p><b>Глава 4. Нелинейные оптические эффекты.</b></p> <p>4.1. Генерация второй гармоники.</p> <p>4.2. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики</p>	9	2	4	3
<p><b>Глава 5. Сегнетоэластики – механические аналоги</b></p>	7	2	2	3

<b>сегнетоэлектриков.</b> 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.				
<b>Глава 6. Сегнетоэлектрики с особым типом упорядочения.</b> 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.	7	2	2	3
<b>Глава 7. Несоразмерная фаза в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках.</b> 7.1. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки. 7.2. Солитоны.	7	2	2	3
<b>Глава 8. Флексоэлектрический эффект</b> Введение. 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.	7	2	2	3
<b>Глава 9. Ферроики</b> Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.	7	2	2	3
<b>Подготовка к экзамену</b>	36			36
<b>ИТОГО</b>	108	22	22	64

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- планы лабораторных занятий и методические рекомендации к ним;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;

– сборники заданий для самоконтроля.

#### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Теория функций комплексного переменного» участвует в формировании профессиональных компетенций ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин», ПК-2 «Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта» и ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»

**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.)

#### **1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин»**

<b>Этап формирования компетенции, в котором</b>	<b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков</b>	<b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b>
---	---	---

участвует дисциплина		
Начальный владеть	математическим аппаратом для описания свойств нелинейных кристаллов	
Начальный уметь	ориентироваться в микроскопических теориях нелинейных кристаллов <i>Пример.</i> Модель типа порядок-беспорядок. 2.4. Соотношение Лиддана- Сакса-Теллера	<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	особенности нелинейных свойств в сегнетоэластиках, ферромагнетиках и сегнетоэлектриках <i>Пример.</i> Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики	<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 владеть	Продемонстрировать навыки владения полученными знаниями для инновационной деятельности	
Промежуточный уметь	Продемонстрировать умение исследования мягких мод нелинейных кристаллов методами рассеяния света и нейтронов <i>Пример.</i> Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.	<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 знать	Сегнетоэластики – механические аналоги сегнетоэлектриков. <i>Пример.</i> Рассмотреть, термодинамические соотношения для несобственных сегнетоэлектриков и их основные следствия.	<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-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин»**

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

1. Частотная классификация нелинейных эффектов.

2. Терминология.
3. Реверсивные нелинейные эффекты.
4. Эффекты самовоздействия.
5. Двухчастотные эффекты при близких частотах.

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

1. Метод самосогласованного поля.
2. Свободная энергия в методе самосогласованного поля.
3. Модель ангармонических осцилляторов.
4. Модель типа порядок-беспорядок.
5. Соотношение Лиддана- Сакса-Теллера.
6. Сегнетоэлектрические фазовые переходы с точки зрения динамики кристаллической решетки. Мягкая мода.

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

1. Исследование дисперсионных зависимостей нелинейных кристаллов в неполярной и полярной фазах методами рассеяния света и нейтронов.
2. Определение собственного вектора мягкой моды и его симметрии.
3. Диффузное рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов. Флуктуации поляризации.
4. Генерация второй гармоники.
5. Сегнетоэлектрические кристаллы - материалы нелинейной оптики

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-2 «Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта»**

Этап формирования компетенции, в котором	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
--	--	--



участвует дисциплина		
Начальный владеть	Современными методами экспериментального и теоретического исследований нелинейных кристаллов	
Начальный уметь	Продemonстрировать 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 владеть	Продemonстрировать навыки владения материалом по физике нелинейных кристаллов. <i>Пример.</i> Описать гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.	
Промежуточный уметь	Продemonстрировать 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 знать	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 «Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта»**

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.

**3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»**

Этап формирования компетенции, в котором	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
--	--	--

участвует дисциплина		
Начальный владеть	<p>Продemonстрировать навыки владения материалом по сегнетоэлектрикам с особым типом упорядочения</p> <p><i>Пример.</i> Описать общие представления об антисегнетоэлектриках.</p>	
Начальный уметь	<p>Продemonстрировать умение решать типичные примеры по сегнетоэлектрикам с особым типом упорядочения</p> <p><i>Пример.</i> Сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом.</p>	<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	<p>Продemonстрировать знания по сегнетоэлектрикам с особым типом упорядочения</p> <p><i>Пример.</i> Объяснить причины размытия фазового перехода..</p>	<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 владеть	<p>Продemonстрировать навыки владения материалом по несоразмерной фазе в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках.</p> <p><i>Пример.</i> Солитоны.</p>	
Промежуточный уметь	<p>Продemonстрировать умение объяснить причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки.</p>	<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 знать	<p>Продemonстрировать знания по флексоэлектрическому эффекту</p> <p><i>Пример.</i> Описать изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации – новый электромеханический эффект.</p>	<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-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»**

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

1. Элементы термодинамической теории сегнетомагнетиков.
2. Причины образования несоразмерной фазы с точки зрения динамики решетки.
3. Солитоны.

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

1. Нелинейная упругость и затухание звука. Сегнетоупругость.
2. Изменение кривизны пленки сегнетоэлектрика при поляризации - новый электромеханический эффект.
3. Поляризация сегнетоэлектрической пластины изгибом.

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

1. Нелинейные эффекты пересечения: электромеханические, магнитоэлектрические.
2. Экспериментальная проверка концепции "мягкой моды".
3. Возможные причины исходной неустойчивости решетки (коллективный эффект Яна-Теллера).

**V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

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>

**VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Электронные библиотечные системы:

ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znanium.com>

ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>

ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>

Сервер информационно-методического обеспечения учебного процесса ТвГУ  
<http://edc.tversu.ru>

**VII. Методические указания 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 тиогиподифосфата олова ( $Sn_2P_2S_6$ ).
5. Затухание мягкого фонона и центральная мода (центральный пик)
6. Рэлеевское рассеяние (центральный пик) в кристаллах  $LiNbO_3$  и  $LiTaO_3$ .

***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. 8.3. 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.

## VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по



**дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

## IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебно-научная лаборатория физики диэлектриков, пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков-полупроводников № 35 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Экран настенный ScreenMedia 153*203 (M082-08147)</li> <li>2. Ноутбук DELL Ispiron 1300 (1.7 GHz) 15.4WXGA. 512MB. 80GB</li> <li>3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,2 200 ANSI Lm,</li> <li>4. Проектор Quadra 250 X</li> <li>5. Комплект учебной мебели на 24 посадочных мест.</li> </ol>	<p>Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017.</p>

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт</li> <li>2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь</li> <li>3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D</li> <li>4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»</li> </ol>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав IC00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно</p>

лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	7. Комплект учебной мебели	MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
---	----------------------------	--

## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ 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
---	----------	---	--