

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 21.09.2022 14:22:45
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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



Утверждаю:

Руководитель ООП

А.В. Солнышкин

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления

Направление подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль)

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

2 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Кислова И.Л.

Тверь, 2022

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью дисциплины является изучение теоретических основ микроскопического описания сегнетоэлектрических явлений и установление связи сегнетоэлектричества с более общей областью структурных переходов и критических явлений.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование представлений об основных понятиях и идеях динамики кристаллической решетки;
- обобщение микроскопических теорий сегнетоэлектрических и связанных с сегнетоэлектричеством явлений, базирующихся на динамике кристаллической решетки;
- знакомство с современными экспериментальными средствами исследования динамики решетки.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления» относится к модулю Нелинейные диэлектрики и полупроводники Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она способствует углублению и расширению знаний о физических свойствах и их взаимосвязи со структурой конденсированных сред. Учебная дисциплина непосредственно связана с дисциплинами «Диэлектрическая спектроскопия», «Нелинейные диэлектрики», «Специализированный физический практикум по диэлектрическим материалам».

Уровень начальной подготовки для успешного освоения дисциплины: обучающийся должен *иметь представление* о молекулярно-кинетической теории вещества, использующей статистические законы, и о термодинамике, изучающей макроскопических свойств тел и явлений природы; *знать* основные законы электродинамики, оптики и квантовой механики, а также *владеть*

математическим аппаратом теорий функции комплексного переменного и дифференциальных уравнений.

Изучению данной дисциплины предшествуют «Теоретическая физика», «Физика конденсированного состояния вещества», «Физика нелинейных материалов», «Физика полупроводников», «Термодинамика и статистическая физика». Освоение дисциплины необходимо для понимания концепции мягкой моды при описании фазовых переходов в сегнетоэлектрических материалах на основе динамики решетки, а также для изучения основных экспериментальных методов исследования коллективной динамики в конденсированных средах. Освоение дисциплины способствует подготовке студентов к работе по специальным методам исследований твердых тел.

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

контактная аудиторная работа: лекции 26 часов, практические занятия 26 часов;

самостоятельная работа: 92 часа, в том числе контроль 27 часов.

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

<i>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</i>	<i>Планируемые результаты обучения по дисциплине</i>
ПК-1. Осуществляет проектирование и разработку продукции в части, касающейся разработки объемных нанокерамик, соединений и композитов на их основе, а также выбора расходных и вспомогательных материалов	ПК-1.1. Реализует лабораторный технологический процесс на технологическом оборудовании материаловедческого подразделения в соответствии с разработанными рекомендациями и получает партии пробных образцов новых материалов; ПК-1.2. Организует процесс измерения и испытания полученных образцов на контрольном, измерительном и испытательном оборудовании; ПК-1.3. Разрабатывает рекомендации по изменению состава, структуры, режимов и способов обработки материалов.
ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.	ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений; ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение

	научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.
--	---

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 3 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.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Практические занятия		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
Раздел 1. Динамическая теория сегнетоэлектриков типа смещения. 1.1. Динамика решетки и сегнетоэлектрические фазовые переходы в кубических двухатомных кристаллах. 1.2. Мягкие моды и восприимчивость. 1.3. Квазигармоническое приближение. 1.4. Затухание сегнетоэлектрической моды.	18	4		4		10
Раздел 2. Мягкие моды в рамках псевдоспинового формализма. 2.1. Некоторые сведения из модели Изинга. 2.2. Динамика параметра порядка в сегнетоэлектриках типа порядок – беспорядок. 2.3. Эффекты туннелирования в водородсодержащих сегнетоэлектриках.	18	4		4		10
Раздел 3. Симметрия мод колебаний. 3.1. Необходимые сведения о представлениях трансляционных, точечных и пространственных групп. 3.2. Общая характеристика и классификация колебаний кристаллической решетки. 3.3. LO-TO расщепление колебаний в полярных кристаллах.	18	4		4		10

3.4. Правила отбора в оптических колебательных спектрах. 3.5. Изменение симметрии при фазовом переходе в рамках теоретико-группового подхода. 3.6. Симметрия оптических мягких мод при $\vec{k} = 0$, $\vec{k} \neq 0$.						
Раздел 4. Экспериментальные методы исследования мягких мод в сегнетоэлектриках 4.1. Рассеяние нейтронов в твердых телах. 4.2. Методики исследования мод колебаний методами рассеяния света. 4.3. Метод ИК-спектроскопии отражения.	18	4		4		10
Раздел 5. Примеры исследования мягких мод в сегнетоэлектриках 5.1. Когерентное рассеяние нейтронов мягкими фонами и псевдоспиновыми волнами. 5.2. Примеры исследования мягких мод методами оптической спектроскопии.	18	4		4		10
Раздел 6. Рэлеевское рассеяние и проблема центрального пика 6.1. Затухание мягкого фона и центральная мода (центральный пик). 6.2. Рэлеевское рассеяние (центральный пик) в кристаллах LiNbO_3 и LiTaO_3	27	6		6		15
Контроль	27					27
ИТОГО	144	26		26		92

III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Раздел 1. Динамическая теория сегнетоэлектриков типа смещения. 1.1. Динамика решетки и сегнетоэлектрические фазовые переходы в кубических двухатомных кристаллах. 1.2. Мягкие моды и восприимчивость. 1.3. Квазигармоническое приближение. 1.4. Затухание сегнетоэлектрической моды.	Лекции. Практические занятия.	Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии

<p>Раздел 2. Мягкие моды в рамках псевдоспинового формализма.</p> <p>2.1. Некоторые сведения из модели Изинга.</p> <p>2.2. Динамика параметра порядка в сегнетоэлектриках типа порядок – беспорядок.</p> <p>2.3. Эффекты туннелирования в водородсодержащих сегнетоэлектриках.</p>	<p>Лекции. Практические занятия.</p>	<p>Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии</p>
<p>Раздел 3. Симметрия мод колебаний.</p> <p>3.1. Необходимые сведения о представлениях трансляционных, точечных и пространственных групп.</p> <p>3.2. Общая характеристика и классификация колебаний кристаллической решетки.</p> <p>3.3. LO-TO расщепление колебаний в полярных кристаллах.</p> <p>3.4. Правила отбора в оптических колебательных спектрах.</p> <p>3.5. Изменение симметрии при фазовом переходе в рамках теоретико-группового подхода.</p> <p>3.6. Симметрия оптических мягких мод при $\vec{k} = 0$, $\vec{k} \neq 0$.</p>		<p>Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии</p>
<p>Раздел 4. Экспериментальные методы исследования мягких мод в сегнетоэлектриках</p> <p>4.1. Рассеяние нейтронов в твердых телах.</p> <p>4.2. Методики исследования мод колебаний методами рассеяния света.</p> <p>4.3. Метод ИК-спектроскопии отражения.</p>	<p>Лекции. Практические занятия.</p>	<p>Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии</p>
<p>Раздел 5. Примеры исследования мягких мод в сегнетоэлектриках</p> <p>5.1. Когерентное рассеяние нейтронов мягкими фононами и псевдоспиновыми волнами.</p> <p>5.2. Примеры исследования</p>	<p>Лекции. Практические занятия.</p>	<p>Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии</p>

мягких мод методами оптической спектроскопии.		
Раздел 6. Рэлеевское рассеяние и проблема центрального пика 6.1. Затухание мягкого фона и центральная мода (центральный пик). 6.2. Рэлеевское рассеяние (центральный пик) в кристаллах LiNbO_3 и LiTaO_3	Лекции. Практические занятия.	Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Форма проведения промежуточного контроля: студенты, освоившие программу курса «Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления» могут сдать экзамен 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:

ПК-1. Осуществляет проектирование и разработку продукции в части, касающейся разработки объемных нанокерамик, соединений и композитов на их основе, а также выбора расходных и вспомогательных материалов:

ПК-1.1. Реализует лабораторный технологический процесс на технологическом оборудовании материаловедческого подразделения в соответствии с разработанными рекомендациями и получает партии пробных образцов новых материалов;

ПК-1.2. Организует процесс измерения и испытания полученных образцов на контрольном, измерительном и испытательном оборудовании;

Задание: Рассмотреть исследование мягких мод в кристаллах титаната свинца PbTiO_3 методами оптической спектроскопии.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки: ответ целостный, верный, теоретически обоснованный.

Ключевые понятия и термины полностью раскрыты. Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы –30 баллов;•теоретическая аргументация неполная или смысл ключевых понятий не объяснен –20 баллов;•допущены ошибки, приведшие к искажению смысла. терминологический аппарат раскрыт –10 баллов;•допущены ошибки, свидетельствующие о непонимании темы. Терминологический аппарат не раскрыт –0 баллов;•верно решены задачи, иллюстрирующая знание курса –10 баллов;•при решении задач, допущены арифметические ошибки –5 баллов;•при решении задач, допущены логические ошибки –3 балла;•решение задач неверно или отсутствует –0 баллов.

ПК-1.3. Разрабатывает рекомендации по изменению состава, структуры, режимов и способов обработки материалов.

Задание: Изучить воздействие лазерного излучения на металлические и диэлектрические пленочные материалы

Способ аттестации: устный

Критерии оценки: ответ целостный, верный, теоретически обоснованный.

Ключевые понятия и термины полностью раскрыты. Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы –30 баллов;•теоретическая аргументация неполная или смысл ключевых понятий не объяснен –20 баллов;•допущены ошибки, приведшие к искажению смысла. терминологический аппарат раскрыт –10 баллов;•допущены ошибки, свидетельствующие о непонимании темы. Терминологический аппарат не раскрыт –0 баллов;•верно решены задачи, иллюстрирующая знание курса –10 баллов;•при решении задач, допущены арифметические ошибки –5 баллов;•при решении задач, допущены логические ошибки –3 балла;•решение задач неверно или отсутствует –0 баллов.

ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений

Задание: рассчитать с помощью пакета Mathcad результаты лазерного воздействия и в выбрать адекватные значения параметров лазерной обработки

Критерии оценки: ответ целостный, верный, теоретически обоснованный. Ключевые понятия и термины полностью раскрыты. Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы –30 баллов;•теоретическая аргументация неполная или смысл ключевых понятий не объяснен –20 баллов;•допущены ошибки, приведшие к искажению смысла. терминологический аппарат раскрыт –10 баллов;•допущены ошибки, свидетельствующие о непонимании темы. Терминологический аппарат не раскрыт –0 баллов;•верно решены задачи, иллюстрирующая знание курса –10 баллов;•при решении задач, допущены арифметические ошибки –5 баллов;•при решении задач, допущены логические ошибки –3 балла;•решение задач неверно или отсутствует –0 баллов.

Задание: провести анализ полученных данных, сравнить с теоретическими значениями, приведенными в литературе.

Критерии оценки: ответ целостный, верный, теоретически обоснованный. Ключевые понятия и термины полностью раскрыты. Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы –30 баллов;•теоретическая аргументация неполная или смысл ключевых понятий не объяснен –20 баллов;•допущены ошибки, приведшие к искажению смысла. терминологический аппарат раскрыт –10 баллов;•допущены ошибки, свидетельствующие о непонимании темы. Терминологический аппарат не раскрыт –0 баллов;•верно решены задачи, иллюстрирующая знание курса –10 баллов;•при решении задач, допущены арифметические ошибки –5 баллов;•при решении задач, допущены логические ошибки –3 балла;•решение задач неверно или отсутствует –0 баллов.

ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.

Задание: Разработать теоретическую модель, апробировать ее с помощью пакета MSd.

Критерии оценки: ответ целостный, верный, теоретически обоснованный. Ключевые понятия и термины полностью раскрыты. Факты и примеры в полном

объеме обосновывают выводы –30 баллов;•теоретическая аргументация неполная или смысл ключевых понятий не объяснен –20 баллов;•допущены ошибки, приведшие к искажению смысла. терминологический аппарат раскрыт –10 баллов;•допущены ошибки, свидетельствующие о непонимании темы. Терминологический аппарат не раскрыт –0 баллов;•верно решены задачи, иллюстрирующая знание курса –10 баллов;•при решении задач, допущены арифметические ошибки –5 баллов;•при решении задач, допущены логические ошибки –3 балла;•решение задач неверно или отсутствует –0 баллов.

Задание: ответ по темам курса (экзамен):

Пример экзаменационного билета:

1. Затухающие сегнетоэлектрические моды колебаний.
2. Методики исследования мод колебаний методами рассеяния света: рамановская спектроскопия.
3. Привести пример исследования мягкой моды в кристаллах титаната свинца $PbTiO_3$ методом рассеяния нейтронов.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки: **Способ аттестации:** устный

Критерии оценки: Высокий уровень (отлично): ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются всестороннее, систематическое и глубокое знание материала;

Средний уровень (хорошо): Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Знание основных характеристик раскрываемых категорий излагаются в рамках рекомендованного учебниками и положений, данных на лекциях. Допускаются отдельные погрешности и неточности при ответе;

Низкий уровень (удовлетворительно): Демонстрируются поверхностные знания вопроса. Имеются затруднения с выводами. Допускаются нарушения в

последовательности изложения. Ответ варьируется только в рамках лекционного курса и содержит знание сущности основных категорий дисциплины. Как правило, такой ответ краток, приводимые формулировки являются недостаточно четкими, в ответах допускаются неточности.

Неудовлетворительно: Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний. Ответ демонстрирует, что студент не разобрался с основными вопросами изученных в процессе обучения дисциплины (модуля). Данный балл ставится также студенту, списавшему ответы на вопросы и читающему эти ответы, не отрываясь от текста, а просьба объяснить или уточнить прочитанный таким образом материал по существу остается без ответа.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Сорокин, В.С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники: учебное пособие / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 384 с. — [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71735
2. Сорокин, В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики: учебник / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 448 с. — [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=67462
3. Гольдаде, В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук ; ред. Н.К. Мышкина. - Минск : Белорусская наука, 2009. - 648 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93309>

4. Богомолов А.А., Солнышкин А.В. Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления: Учеб. пособие. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2008.
5. Мясникова, А.Э. Электрон-фононные системы со спонтанным нарушением трансляционной симметрии : монография / А.Э. Мясникова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет». - Ростов : Издательство Южного федерального университета, 2010. - 240 с. - ISBN 978-5-9275-0741-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=241137>

б) Дополнительная литература:

1. Привалов, Е.Е. Электротехническое материаловедение : учебное пособие / Е.Е. Привалов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 234 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3795-1 ; [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=276299>
2. Паринов, И.А. Сверхпроводники и сверхпроводимость : словарь-справочник / И.А. Паринов. - Ростов-н/Д : Издательство Южного федерального университета, 2010. - Т. 3. Применения и перспективы. - 863 с. - ISBN 978-5-9275-0735-1 ; [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=241181>
3. Квятковский О.Е. Микроскопическая теория динамики решетки и природа сегнетоэлектрической устойчивости в кристаллах // Успехи физических наук, 1988. Т. 154, №1. С. 3 – 48 - Режим доступа: <https://ufn.ru/ru/articles/1988/1/a/>

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

1.	Презентации лекций в пакете Power Point
2.	Текстовые редакторы MS Office

3.	Графический редактор OriginPro 9.1
4.	Табличный редактор MS Excel
5.	ПО Mathcad

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» 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:

Материалы в личном кабинете студентов системы lms.tversu.ru

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

1) Планы практических занятий и методические рекомендации к ним.

Практические занятия включают в себя экспериментальное или теоретическое исследование динамики решетки, а также его обсуждение в группе.

Практические занятия предполагают решение задач по рассмотренному на лекциях теоретическому материалу. На практические занятия также выносятся выведение ряда формул из лекционного курса с подробными промежуточными выкладками, которые были опущены при чтении лекции.

При подготовке к практическим занятиям студент должен изучить теоретический материал, рассмотренный на лекции.

Тема 1. Динамическая теория сегнетоэлектриков типа смещения.

Вопросы для обсуждения:

1. Квазигармоническое приближение. Гамильтониан ангармонического кристалла. Эффективный гармонический гамильтониан.

2. Условие для осуществления фазового перехода типа смещение.

Соотношение Лидена-Сакса-Теллера.

3. Модель ангармонического осциллятора.

4. Фазовый переход типа смещения. Динамика решетки и сегнетоэлектрические фазовые переходы в кубических двухатомных кристаллах.

Тема 2. Мягкие моды в рамках псевдоспинового формализма.

Вопросы для обсуждения:

1. Фазовые переходы в водородосодержащих сегнетоэлектриках.

2. Эффекты туннелирования: движение иона в поле с двухминимумным потенциалом.

3. Псевдоспиновое представление. Модель Изинга.

Тема 3. Симметрия мод колебаний.

Вопросы для обсуждения:

1. Основные определения теории групп. Представления и характеры точечных групп. Неприводимые представления пространственной группы.

2. LO-TO расщепление колебаний в полярных кристаллах.

3. Правила отбора в оптических колебательных спектрах.

4. Симметрия оптических мягких мод при $\vec{k} = 0$, $\vec{k} \neq 0$.

5. Изменение симметрии при фазовом переходе в рамках теоретико-группового подхода.

Тема 4. Экспериментальные методы исследования мягких мод в сегнетоэлектриках.

Вопросы для обсуждения:

1. Когерентное рассеяние нейтронов мягкими фононами и псевдоспиновыми волнами.

2. Метод рассеяния нейтронов для изучения сегнетоэлектрических и антисегнетоэлектрических переходов.

3. Оптическая спектроскопия при исследовании сегнетоэлектриков: рамановская спектроскопия (комбинационное рассеяние), бриллюэновское рассеяние и рэлеевская спектроскопия.

4. Спектроскопия инфракрасного поглощения и отражения.

Тема 5. Примеры исследования мягких мод в сегнетоэлектриках.

Вопросы для обсуждения:

1. Исследование мягких сегнетоэлектрических мод кристаллов титаната свинца $PbTiO_3$.

2. Мягкие моды в ниобате лития $LiNbO_3$ и танталате лития $LiTaO_3$.

3. Исследование мягких мод в кристалле тиогиподифосфата олова ($Sn_2P_2S_6$).

Тема 6. Рэлеевское рассеяние и проблема центрального пика.

Вопросы для обсуждения:

1. Затухание мягкого фона и центральная мода (центральный пик).

2. Рэлеевское рассеяние (центральный пик) в кристаллах $LiNbO_3$ и $LiTaO_3$.

2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

Самостоятельная работа студентов предполагает:

–обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и практическими 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.

Перечень вопросов для систематизации знаний:

1. Динамика решетки и сегнетоэлектрические фазовые переходы в кубических двухатомных кристаллах.

2. Мягкие моды и восприимчивость.
3. Гамильтониан ангармонического кристалла. Квазигармоническое приближение.
4. Затухающие сегнетоэлектрические моды колебаний.
5. Модель Изинга и ее применение к сегнетоэлектрикам
6. Динамика параметра порядка в сегнетоэлектриках типа порядок – беспорядок.
7. Эффекты туннелирования в водородосодержащих сегнетоэлектриках.
8. Основные определения теории групп.
9. Неприводимые и приводимые представления трансляционных групп.
10. Представления и характеры точечных групп.
11. Неприводимые представления пространственной группы. Фактор-группа.
12. Общая характеристика и классификация колебаний кристаллической решетки.
13. LO-TO расщепление колебаний в полярных кристаллах.
14. Правила отбора в оптических колебательных спектрах.
15. Изменение симметрии при фазовом переходе в рамках теоретико-группового подхода.
16. Симметрия оптических мягких мод при $\vec{k} = \mathbf{0}$, $\vec{k} \neq \mathbf{0}$.
17. Рассеяние нейтронов в твердых телах.
18. Методики исследования мод колебаний методами рассеяния света: рамановская спектроскопия.
19. Методики исследования мод колебаний методами рассеяния света: бриллюэновская спектроскопия, рэлеевская спектроскопия.
20. Метод ИК-спектроскопии отражения.
21. Затухание мягкого фонона и центральная мода (центральный пик).

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на практических занятиях в качестве форм промежуточной аттестации в первой и второй половины семестра. 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.

VII. Материально-техническое обеспечение

Материально-техническая база необходимая и применяемая для осуществления образовательного процесса и программное обеспечение по дисциплине включает:

1) Специальные помещения, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

2) Для проведения занятий лекционного типа – наборы демонстрационного оборудования.

3) Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду.

4) Перечень оборудования для проведения лекционных или практических занятий:

- учебная доска (обычная или интерактивная);
- проектор, экран, ноутбук или ПК.

5) Лицензионное программное обеспечение:

- ПО MS Office;
- Mathcad.

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)	1. Экран настенный ScreenMedia 153*203 2. Ноутбук Samsung R 510 3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,2 200 ANSI Lm, 4. Комплект учебной мебели на 24 посадочных мест 5. Вольтметр ИЦ 1516 6. Вольтметр В-7-26 7. Вольтметр В-3-39 8. Генератор ГЗ-109 9. Магазин сопротивлений Р4830 10. Мост Р524 11. Мост Р-571 12. Измеритель В5-509	Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г. MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г. Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно

	<p>13. Микротвердомер ПМТ-3 14. Осциллограф С-1-65 15. Вольтметр В-3-42 16. Усилитель У4-28 17. Генератор ГЗ-34 18. Прибор Е7-11 19. Генератор ГЗ-102 20. Генератор Г-4-158 21. Частотомер ЧЗ-34 22. Вольтметр В-3-38 (2 шт) 23. Прибор КМС-6 24. Вольтметр В-7-27 25. Печь СУОП044 26. Источник питания Б-5-50 27. Измеритель Х1-38 28. Измеритель разности фаз Ф2-16 29. Прибор Picoammeter 6485 30. Пробник напряжения до 2500 В 31. Измеритель фаз Е-4-11 32. Термостат ИТИ 33. Прибор Х1-46 34. Выпрямитель ТЕС 35. Осциллограф С-1-68 36. Усилитель У5-11 37. Микроскоп 7М-9</p>	
<p>Учебно-научная лаборатория физики сегнето – и пирозлектриков № 45 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютерный измерительный комплекс Cel 1.2/256Mb/Монитор Rover Scan 115GS"/плата сбора данных интегрированная ЛА-н150-14PCI 2. Компьютер (монитор Philips 206VL, Intel Pen CPU G840/ 2x2048 Mb/ HDD 500 Gb/клав (2 шт) 3. Принтер Xerox Phaser 3150 4. Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5"(3 шт) 5. Микроскоп МВДС 6. Усилитель У4-28 7. Мост ВМ-509 8. Усилитель У5-11 (2 шт) 9. Мост Е-7-4 10. Измеритель ИМО-3 (2 шт) 11. Усилитель УЗ-33 12. Частотомер 13. Источник питания (2 шт) 14. Вольтметр (2 шт) 15. Милливольтметр 16. Вольтметр В-3-38 17. Выпрямитель ТЕС</p>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г Kaspersky Endpoint Security для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020 Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно Unreal Commander - бесплатно Почта Outlook – бесплатно Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»; Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011</p>

	18. Измеритель разности фаз Ф2-16 19. Измеритель Е-7 20. Осциллограф С-1 (6 шт) 21. Ультротермо УТО 22. Термостат У-4 23. Генератор ГЗ-112/1 24. Генератор ГЗ-33 25. Генератор ГЗ-112 (2 шт) 26. Генератор ГЗ-36 27. Усилитель У2-8	
--	--	--

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

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