

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна
Должность: проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 21.08.2025 10:37:47
Уникальный программный ключ:
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

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



Утверждаю:

Руководитель ООП

А.В. Солнышкин

«24» июня 2025 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.

Кислова

Тверь, 2025

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.)				Самостоя- тельная 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

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.	Лекции. Практические занятия.	Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии
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. 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 $\vec{k} = 0$, $\vec{k} \neq 0$.		Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии
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.	Лекции. Практические занятия.	Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии
Раздел 5. Примеры исследования мягких мод в сегнетоэлектриках 5.1. Когерентное рассеяние нейтронов мягкими фононами и псевдоспиновыми волнами. 5.2. Примеры исследования	Лекции. Практические занятия.	Изложение теоретического материала (презентация) Информационные технологии (использование ПО MathCAD), дискуссионные технологии

мягких мод методами оптической спектроскопии.		
Раздел 6. Рэлеевское рассеяние и проблема центрального пика 6.1. Затухание мягкого фонона 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 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 MCd.

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. Том 2 : учебник для вузов / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 380 с. — ISBN 978-5-507-47708-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/407759>

2. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2003-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212135>

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. Физика твердого тела [Электронный ресурс] / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков; Матухин В. Л., Ермаков В. Л. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 224 с
<https://e.lanbook.com/book/210305>

5. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] / А. И. Ансельм; Ансельм А. И. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 624 с. <https://e.lanbook.com/book/212255>

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/>
4. 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>
5. Богомолов А.А., Солнышкин А.В. Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления: Учеб. пособие. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2008.

2) Программное обеспечение

Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows

Adobe Acrobat Reader

Google Chrome

OpenOffice

Mathcad 15 M010

Notepad++

Origin 8.1 Sr2

Многофункциональный редактор ONLYOFFICE

VLC media player

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. ЛО-ТО 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 ($\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$).

Тема 6. Рэлеевское рассеяние и проблема центрального пика.

Вопросы для обсуждения:

1. Затухание мягкого фонона 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 $\vec{k} = 0$, $\vec{k} \neq 0$.
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.	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 Щ 1516	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows Adobe Acrobat Reader Google Chrome OpenOffice Mathcad 15 M010 Notepad++

Тверь, Садовый пер., д. 35)	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 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. Частотометр 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 Рisoammeter 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	Origin 8.1 Sr2 Многофункциональный редактор ONLYOFFICE VLC media player
-----------------------------	---	---

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

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