

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)

Физика конденсированных сред

Направление подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль)

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

1 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., доцент Солнышкин А.В.

Тверь, 2025

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью дисциплины является формирование у студентов углубленных теоретических знаний в области физики конденсированного состояния, а именно освоить ряд вопросов, излагаемых в различных разделах физики твердого тела, (кристаллографии, рентгенографии, физики металлов, оптическая спектроскопии) с общих позиций теории групп.

Задачами освоения дисциплины являются:

формирование у студентов общего представления о симметрии кристаллической решетки с точки зрения аксиом теории групп;

изучение эффектов, связанных с колебаниями кристаллической решетки и движением электронов в кристаллическом поле и основанных на рассмотрении теории групп;

подготовка студентов к изучению специальных обзоров и оригинальных работ по отдельным вопросам данной области знания.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физика конденсированных сред» относится к Блоку 1. Дисциплины обязательной части учебного плана.

Содержательно она способствует углублению и расширению знаний для дальнейшего изучения физических свойств и структуры конденсированных сред. Учебная дисциплина непосредственно связана с дисциплинами «Физика полярных диэлектриков», «Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления», «Нелинейные диэлектрики», «Специальный физический практикум».

Уровень начальной подготовки для успешного освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества»: 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 механики, молекулярной физики, электродинамики и оптики, а также владеть математическим аппаратом

векторной алгебры, математического анализа, теории групп и тензорного исчисления.

3. Объем дисциплины: 6 зачетных единиц, 216 академических часов, **в том числе:**

контактная аудиторная работа: лекции 45 часов, практические занятия 15 часов;

самостоятельная работа: 156 часов, 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>
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач.	ОПК-1.1. Анализирует поставленную научно-исследовательскую задачу, формулирует конечную цель и составляет развернутый план ее решения используя фундаментальные знания физики; ОПК-1.2. Выбирает оптимальные и актуальные методы исследования для решения поставленных научно-исследовательских задач; ОПК-1.3. Планирует экспериментальную часть научно-исследовательской работы с учетом имеющейся базы измерительных приборов и устройств.
ОПК-2. Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики.	ОПК-2.1. Планирует проведение научно-исследовательской работы по заданной теме; ОПК-2.2. Определяет порядок проведения научно-исследовательской работы по предложенной теме
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.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 1 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. Симметрия и стационарные состояния кристаллов.						
1.1. Адиабатическое приближение.	14	3		1		10
1.2. Пространственная решетка кристаллов. Обратная решетка	14	3		1		10
1.3. Собственные значения и собственные функции оператора трансляции.	14	3		1		10
1.4. Общие свойства стационарных состояний кристаллов, основанные на их симметрии	14	3		1		10
Раздел 2. Фононы в ковалентных кристаллах						
2.1. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке.	14	3		1		10
2.2. Фононы в трехмерном кристалле	14	3		1		10
2.3. Взаимодействие между фононами	14	3		1		10
Раздел 3. Фононы в ковалентных и ионных кристаллах						
3.1. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке.	14	3		1		10
3.2. Фононы в трехмерном кристалле.	14	3		1		10
3.3. Теория оптических ветвей колебаний	14	3		1		10
Раздел 4. Плазменные и спиновые волны						
4.1. Плазменные волны в кристаллах. Возбуждение плазменных волн.	14	3		1		10
4.2. Спиновые волны в	20	3		1		16

ферромагнетиках. Магноны. Взаимодействие магнонов с фононами. Взаимодействие магнонов между собой.						
Раздел 5. Одноэлектронные состояния в кристалле						
5.1. Электрон в периодическом поле. Уравнение Кронига и Пенни	14	3		1		10
5.2. Приближение совершенно свободных, абсолютно связанных и сильно связанных электронов	14	3		1		10
5.3. Вторичное квантование для систем электронов	14	3		1		10
экзамен	27					27
ИТОГО:	216	45		15		156

III. Образовательные технологии

Учебная программа-наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Раздел 1. Симметрия и стационарные состояния кристаллов. 1.1. Адиабатическое приближение. 1.2. Пространственная решетка кристаллов. Обратная решетка. 1.3. Собственные значения и собственные функции оператора трансляции. 1.4. Общие свойства стационарных состояний кристаллов, основанные на их симметрии.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Самостоятельное изучение теоретического материала Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
Раздел 2. Фононы в ковалентных кристаллах. 2.1. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке. 2.2. Фононы в трехмерном кристалле. 2.3. Взаимодействие между фононами.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Самостоятельное изучение теоретического материала Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
Раздел 3. Фононы в ковалентных и ионных кристаллах. 2.1. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Самостоятельное изучение теоретического материала Активное слушание.</i>

элементарной ячейке. 2.2. Фононы в трехмерном кристалле. 2.3. Теория оптических ветвей колебаний.		<i>Групповое решение задач.</i>
Раздел 4. Плазменные и спиновые волны 4.1. Плазменные волны в кристаллах. Возбуждение плазменных волн. 4.2. Спиновые волны в ферромагнетиках. Магноны. Взаимодействие магнонов с фононами. Взаимодействие магнонов между собой.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Самостоятельное изучение теоретического материала Активное слушание. Групповое решение задач.</i>
Раздел 5. Одноэлектронные состояния в кристалле. 5.1. Электрон в периодическом поле. Уравнение Кронига и Пенни. 5.2. Приближение совершенно свободных, абсолютно связанных и сильно связанных электронов. 5.3. Вторичное квантование для систем электронов	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Изложение теоретического материала (презентация) Самостоятельное изучение теоретического материала Активное слушание. Групповое решение задач.</i>

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Форма проведения промежуточного контроля: студенты, освоившие программу курса «Физика конденсированных сред» 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.).

Пример билета для окончательной аттестации:

1. Понятие эквивалентного представления. Приводимые и неприводимые представления. Таблица представлений.

2. Одномерный кристалл с одним атомом в элементарной ячейке: граничные условия жесткого закрепления атомов, переход к обобщенным координатам, энергия и гамильтониан.

3. Рассмотреть все операции симметрии двумерной фигуры – прямоугольника. Записать полную таблицу умножения операций симметрии и составить таблицу характеров.

Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач:

ОПК-1.1. Анализирует поставленную научно-исследовательскую задачу, формулирует конечную цель и составляет развернутый план ее решения используя фундаментальные знания физики;

ОПК-1.2. Выбирает оптимальные и актуальные методы исследования для решения поставленных научно-исследовательских задач;

ОПК-1.3. Планирует экспериментальную часть научно-исследовательской работы с учетом имеющейся базы измерительных приборов и устройств.

Форма аттестации:

Описать гамильтониан, закон дисперсии и рассмотреть акустические фононы для одномерного кристалла с одним атомом в элементарной ячейке

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки: •

1 уровень – рассмотрены энергетические состояния и записан гамильтониан для фононов в одномерном кристалле (1 балл).

2 уровень – рассмотрены энергетические состояния, записан гамильтониан для фононов в одномерном кристалле и представлен закон дисперсии (3 балла).

3 уровень – полностью описаны гамильтониан, закон дисперсии и рассмотрены акустические фононы для одномерного кристалла с одним атомом в элементарной ячейке (5 баллов).

ОПК-2. Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики.

ОПК-2.1. Планирует проведение научно-исследовательской работы по заданной теме;

ОПК-2.2. Определяет порядок проведения научно-исследовательской работы по предложенной теме

Для всех индикаторов один способ аттестации:

Форма аттестации:

Рассмотреть операторы пространственных групп и винтовые оси.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки: •

1 уровень – определены операции, соответствующие винтовым осям (1 балл).

2 уровень – детально рассмотрены операторы пространственных групп и винтовые оси (2 балла).

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

Для всех индикаторов один способ аттестации:

Форма аттестации:

Определить звезду волнового вектора и найти неприводимые представления для центра первой зоны Бриллюэна квадратной двумерной решетки.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки: •

1 уровень – определены лучи звезды волнового вектора (1 балл).

2 уровень – правильно использован подход для определения неприводимых представлений, в ходе решения допущены некоторые ошибки, ответ получен неверный (3 балла).

3 уровень – дается верный ход решения и получен правильный ответ (5 баллов).

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Епифанов Г. И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 288 с. - ISBN 978-5-8114-1001-9. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167893>
2. Матухин В. Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс]. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 224 с. - ISBN 978-5-8114-0923-5.— Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/167762>
3. Жандун, В. С. Задачи по физике конденсированного состояния вещества : учебное пособие / В. С. Жандун. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2020. — 124 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/165909>
4. Захаров А. Ю. Теоретические основы физического материаловедения. Статистическая термодинамика модельных систем [Электронный ресурс] /- Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 256 с. - ISBN 978-5-8114-2092-6. <https://e.lanbook.com/book/168906>
5. Аплеснин, С. С. Физика твердого тела. Теория, задачи и лабораторные работы / С. С. Аплеснин, А. М. Харьков. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 364 с. — ISBN 978-5-507-45393-1. — Текст : электронный // Лань :

электронно-библиотечная система. — URL:
<https://e.lanbook.com/book/302603>

6. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 6-е изд. (эл.). — Москва : Лаборатория знаний, 2024. — 296 с. — ISBN 978-5-93208-863-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/400142>

б) Дополнительная литература:

Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; науч. ред. Л.А. Алешина. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 978-5-94836-327-1 ; [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466>

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>

Гордиенко, А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач : учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232487>

Сорокин В. С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники [Электронный ресурс] - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 384 с. - ISBN 978-5-8114-2002-5. <https://e.lanbook.com/book/168894>

Сорокин В. С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики [Электронный ресурс] - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 448 с. - ISBN 978-5-8114-2003-2. <https://e.lanbook.com/book/168852>

Физика твердого тела и полупроводников. Исследование температурной зависимости энергии Ферми методом термоЭДС / Р. П. Дикарева, С. П. Хабаров С.П. - Новосиб.:НГТУ, 2011. - 20 с.: ISBN 978-5-7782-1666-2; [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=556696>

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>

2) Программное обеспечение

Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows

Adobe Acrobat Reader

Google Chrome

Notepad++

Многофункциональный редактор ONLYOFFICE

OpenOffice

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

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 свойств и процессов в конденсированных средах, а также его обсуждение в группе.

Тема 1. Симметрия и стационарные состояния кристаллов.

Вопросы для обсуждения:

1. Пространственная решетка кристаллов.
2. Обратная решетка.
3. Собственные значения и собственные функции оператора трансляции.

Тема 2. Фононы в ковалентных кристаллах.

Вопросы для обсуждения:

1. Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке.
2. Упругие волны в кристаллах. Колебания решетки. Фононы. Колебания цепочки одинаковых атомов. I-зона Бриллюэна
3. Фононы в трехмерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке.

Тема 3. Фононы в ионных кристаллах.

Вопросы для обсуждения:

1. Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке.
2. Фононы в трехмерном кристалле с базисом.
3. Теория оптических ветвей колебаний.

Тема 4. Спектральная плотность фононов.

Вопросы для обсуждения:

1. Расчет спектральной плотности нормальных колебаний по Дебаю.
2. Спектральная плотность колебаний (фононов) реального кристалла.

Тема 5. Одноэлектронные состояния в кристалле.

Вопросы для обсуждения:

1. Электрон в периодическом потенциальном поле решетки.
2. Вторичное квантование для систем электронов.

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:

Адиабатическое приближение. Пространственная решетка кристаллов. Обратная решетка.

Операции симметрии и собственные состояния квантово-механической частицы.

Основные понятия теории групп. Полная таблица умножения операций симметрии.

Представление группы. Унитарные матрицы преобразований.

Понятие эквивалентного представления. Приводимые и неприводимые представления. Таблица представлений.

Вырождение, обусловленное симметрией.

Характеры, таблица характеров.

Соотношение ортогональности. Приведение представлений.

Приложение теории групп к задаче о колебаниях гармонической системы.

Собственные значения и собственные функции оператора трансляций.

Общие свойства стационарных состояний, базирующиеся на его симметрии.

Одномерный кристалл с одним атомом в элементарной ячейке: переход к коллективным координатам, функция Лагранжа и полная энергия, выраженные через обобщенные координаты.

Одномерный кристалл с одним атомом в элементарной ячейке: переход к квантовой механике, операторы рождения и уничтожения фононов.

Фононы в одномерном кристалле с одним атомом в элементарной ячейке: гамильтониан, закон дисперсии, акустические фононы.

Одномерный кристалл с одним атомом в элементарной ячейке: граничные условия жесткого закрепления атомов, переход к обобщенным координатам, энергия и гамильтониан.

Одномерный кристалл с двумя атомами в элементарной ячейке: переход к коллективным координатам, уравнение Лагранжа.

Одномерный кристалл с двумя атомами в элементарной ячейке: решение уравнения Лагранжа, акустическая и оптическая ветви колебаний.

Фононы в одномерном кристалле с двумя атомами в элементарной ячейке: операторы обобщенных координат и импульсов, переход к квантовому оператору гамильтониана.

Трехмерный моноатомный кристалл: переход к коллективным координатам, уравнение Лагранжа.

Трехмерный моноатомный кристалл: решение уравнения Лагранжа, акустические ветви колебаний.

Фононы в трехмерном кристалле: переход к квантовому оператору гамильтониана, фононный спектр в кристаллах с произвольным числом атомов в элементарной ячейке.

Теория оптических ветвей колебаний. Соотношение Лиддана-Сакса-Теллера.

Спектральная плотность частотного спектра упругих колебаний кристалла.

Взаимодействие между фононами. Теплопроводность кристаллической решетки.

Изучение спектра колебаний решетки с помощью рассеяния нейтронов.

Плазменные волны в кристаллах. Возбуждение плазменных волн.

Спиновые волны в ферромагнетиках. Магноны.

Электрон в периодическом поле.

Уравнение Кронига и Пенни.

Приближение совершенно свободных, абсолютно связанных и сильно связанных электронов.

Вторичное квантование для систем электронов.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на практических занятиях в качестве форм промежуточной аттестации (при полусеместровой и семестровой аттестации). 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

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Лекционная аудитория № 227 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Проектор Panasonic PT-VW340ZE 2 экран ScreenMedia 3. Комплект учебной мебели на 60 посадочных мест 4. Меловая доска 5. ПК	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows Adobe Acrobat Reader Google Chrome Notepad++ Многофункциональный редактор ONLYOFFICE OpenOffice

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

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