



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
**ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологий

ОДОБРЕНО:

Руководитель ОП

Л.И. Минеев

(подпись)

28 августа 2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Физика конденсированного состояния вещества

Уровень высшего образования:	бакалавриат
Квалификация выпускника:	бакалавр
Направление подготовки:	03.03.02 Физика
Направленность (профиль) образовательной программы:	Фундаментальная и прикладная физика



### 1. Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины (модуля) «Физика конденсированного состояния вещества» являются изучение основных теорий конденсированного состояния, позволяющих объяснять и прогнозировать физические свойства вещества, приобретение практических навыков использования фундаментальных понятий физики конденсированного состояния вещества для решения конкретных задач

### 2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина входит в вариативную часть цикла (Б1.В.09), базовых дисциплин, модуль «Экспериментальная и техническая физика». Предлагаемая программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО 3++ 03.03.02 Физика. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Физика атома и атомного ядра», «Квантовая теория», «Термодинамика», «Химия», «Линейная алгебра», «Аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Математический анализ».

Для освоения данной дисциплины студент должен:

**Знать:** основы курсов общей физики, строение твердых и жидких тел, основы общей химии (строение атома, типы химических связей)

**Уметь:** пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и принципами физики.

**Иметь: практический опыт/ Иметь навыки:** владения математическим аппаратом физики (вычисление производных и интегралов, решение обыкновенных линейных и дифференциальных уравнений, операции с векторами и матрицами)

**Владеть:** математическим аппаратом физики (вычисление производных и интегралов). Материал курса может служить ориентиром при изучении ряда специальных дисциплин, таких как физика реального кристалла, физические свойства кристаллов, физическое материаловедение, физика жидких кристаллов.

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине.

#### 3.1. Компетенции, формированию которых способствует данная дисциплина согласно матрице соответствия компетенций и составляющих ОП

- **ПК-6** Способен проводить теоретические и экспериментальные исследования, инновационные и опытно-конструкторские разработки в области фундаментальной и прикладной физики в составе исследовательских коллективов
- **ПК-7** Способен разрабатывать методики проведения испытаний, проводить обработку и анализ результатов экспериментов и публично представлять результаты научных исследований в доступной и современной форме

#### 3.2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями.

**знать** теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики конденсированного состояния вещества, методов теоретических и экспериментальных исследований в физике конденсированного состояния вещества (ПК-6, ПК-7);

**уметь** понимать, излагать и критически анализировать базовую физическую информацию (ПК-6, ПК-7);



# Основная профессиональная образовательная программа

## 03.03.02 Физика

(Фундаментальная и прикладная физика)

пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики конденсированного состояния вещества для объяснения физических свойств твердых тел; (ПК-6, ПК-7);

**иметь: практический опыт/ Иметь навыки: владения** методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации, расчета параметров, характеризующих физические свойства кристаллических тел, на базе моделей физики конденсированного состояния вещества (ПК-6, ПК-7).

### 4. Содержание дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества»

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

#### 4.1. Содержание дисциплины по разделам (темам), соотнесенное с видами и трудоемкостью занятий лекционно-семинарского типа

Объем иной контактной работы и самостоятельной работы обучающегося по дисциплине указан в учебном плане образовательной программы.

указан в учебном плане образовательной программы.

№ п/ п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды занятий, их объем (в ак. часах, по очной/заочной форме обучения)		Формы текущего контроля успеваемости (по очной/заочной форме обучения)  Формы промежуточной аттестации
				Занятия лекцион- ного типа	Заняти я семина рского, практи ческого и лаборат орного типа	
1	Введение: основные законы кристаллографии, кристаллографические проекции	5	1,2	4	4 практ.за н.	Домашняя практическая работа №1 с сеткой Вульфа
2	Симметрия кристаллических многогранников	5	3-7	8	4 практ.за н.	Домашняя контрольная работа №2 с сеткой Вульфа (плоскости и оси симметрии)



Основная профессиональная образовательная программа

03.03.02 Физика

(Фундаментальная и прикладная физика)

3	Симметрия структуры кристаллов	5	8-11	6	4 практ.зан н.	Домашняя контрольная работа №3 (Расчет и построение гномостереографической проекции кристалла гексагональной сингонии)
4	Обобщенная симметрия.	5	12	2		
5	Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии в кристаллофизике. Тензорное описание физических свойств в кристаллах.	5	13-14	4	2 практ.зан н.	
6	Кристаллохимия характеристики, типы химических связей в кристаллах	5	15-16	4	2 практ.зан н.	
7	Строение реального кристалла:	5	17	4		
8	Рост кристаллов.	5	18	4		Зачет (бланковое тестирование)
9	Контроль полученных знаний и умений					
ИТОГО 72 часа, из них				36	16	

№ п/ п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды занятий, их объем (в ак. часах, по очной/заочной форме обучения)		Формы текущего контроля успеваемости (по очной/заочной форме обучения) Формы промежуточной аттестации
				Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	
1	Введение: Конденсированное состояние вещества, классификация твердых тел	6	1	2	2 практ.зан	Решение домашних заданий (задачи по пройденным темам курса)
2	Принципы строения конденсированных систем. Ближний и дальний порядок,	6	2-4	2	4 практ.зан	



# Основная профессиональная образовательная программа

03.03.02 Физика

(Фундаментальная и прикладная физика)

	функция радиального распределения частиц, принципы плотной и валентной упаковок.					
3	Металлы: теория металлов Друде, свободный электронный газ Ферми	6	5-7	6	6 практ.зан	
4	Основы теории энергетических зон кристаллов.	6	8	2	2 практ.зан	
5	Полупроводники	6	9-10	4	6 практ.зан	
6	Диэлектрики, их свойства	6	11-12	4	4 практ.зан	Контрольная работа №1
7	Сверхпроводимость	6	13	2	2 практ.зан	
8	Магнитные свойства твердых тел	6	14	4	2 практ.зан	
9	Динамика кристаллической решетки	6	15	2	2 практ.зан	Решение домашних заданий (задачи по пройденным темам курса)
10	Тепловые свойства диэлектриков. Модели Дебая и Эйнштейна.	6	16	4	2 практ.зан	
12	Механические свойства твердых тел	6	17	2	4 практ.зан	Контрольная работа №2
12	Контроль	6				экзамен
ИТОГО 144 часа, из них				34	34	36

## 4.2. Развернутое описание содержания дисциплины по разделам (темам)

Все содержание состоит из десяти разделов, каждый из которых включает в себя лекции и практическое занятие, задания для самостоятельной работы, домашние работы

### 4.2.1. Разделы курса

1. Введение: Конденсированное состояние вещества, классификация твердых тел
2. Принципы строения конденсированных систем.
3. Металлы: теория металлов Друде, свободный электронный газ Ферми.
4. Основы теории энергетических зон кристаллов.
5. Полупроводники и диэлектрики, их свойства.
6. Сверхпроводимость.
7. Магнитные свойства твердых тел.
8. Динамика кристаллической решетки.
9. Тепловые свойства диэлектриков. Модели Дебая и Эйнштейна.
10. Равновесие фаз и фазовые превращения.

*Краткое содержание разделов.*



### ***1 семестр- Структура кристаллических тел***

1. Введение: кристаллическое состояние, анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристалла и пространственная решетка. Основные законы геометрической кристаллографии: законы постоянства углов и рациональных параметров. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая, гномостереографическая, гномоническая, соотношения между ними.

2. Симметрия кристаллических многогранников: определение симметрии, элементы симметрии. Принцип Кюри. Аналитическая запись преобразований симметрии. Теоремы о сочетании элементов симметрии. Кристаллографические категории, сингонии и системы координат. Классы симметрии: общие определения и системы обозначений. Международные символы и символы Шенфлиса. Вывод и описание 32 классов симметрии.

Точечные группы симметрии.

Кристаллический многогранник: идеальная форма. Простые формы. Распределение простых форм по классам. Голоэдриа и гемиздриа. Комбинации простых форм. Закон поясов.

3.. Симметрия структуры кристаллов Решетки Бравэ. Элементы симметрии кристаллических структур. Теоремы о сочетании элементов симметрии структур. Пространственные группы симметрии. Правильные системы точек.

Кристаллическая решетка: прямые и плоскости решетки. Свойства плоскостей. Обратная решетка. Основные сведения об экспериментальном определении структуры кристаллов.

4. Обобщенная симметрия. Расширение понятия симметрии.: антисимметрия и цветная симметрия, симметрия подобия, частичная симметрия, статистическая симметрия.

5. Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии в кристаллофизике. Тензорное описание физических свойств в кристаллах. Влияние симметрии кристаллической решетки на физические свойства кристаллов.

6. Кристаллохимия: Атомные и ионные радиусы. Координационное число и координационный многогранник. Число атомов в ячейке. Определение стехиометрической формулы вещества. Плотнейшие упаковки частиц. Типы химических связей в кристаллах.. Ионная связь. Физические основы ковалентной связи. Ковалентная связь в молекулах и кристаллах. Металлическая связь. Ван-дер-Ваальсова связь. Промежуточные типы связи. Энергия связи в кристаллах с ионной и ван-дер-ваальсовой связью. Основные типы структур. Политипия. Изоморфизм

7.. Строение реального кристалла: Идеальный и реальный кристалл. Классификация дефектов в реальных кристаллах. Точечные дефекты атомной структуры кристалла. Дислокации. Зависимость физико-химических свойств кристаллов от реальной структуры.

8. Рост кристаллов. Основные представления о росте кристаллов. Равновесная форма роста кристаллов. Реальные форма роста кристаллов. Макроскопические дефекты кристаллов. Сrostки и двойники. Эпитаксия. Методы выращивания кристаллов.

### ***2 семестр –Теории физики конденсированного состояния вещества, свойства конденсированных тел***

11. Введение: Конденсированное состояние вещества, классификация твердых тел.

12. Принципы строения конденсированных систем, Ближний и дальний порядок, функция радиального распределения частиц, принципы плотной и валентной упаковок

13. Металлы. Теория металлов Друде. Металлы в приближении свободных электронов (модель металла. Свободный электронный газ Ферми (СЭГФ) в металлах. Расчет характеристик металлов с учетом СЭГФ: энергия связи, электронная теплоемкость, теплопроводность).



14. Основы теории энергетических зон кристаллов. Модель. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна.. Энергетические зоны и поверхность Ферми в модели пустой решетки. Приложение зонной теории. Электропроводность Классификация твердых тел.
15. Полупроводники и диэлектрики, их свойства. Полупроводниковые кристаллы. Собственные и несобственные полупроводники. Концентрация носителей. Р-п переход. Диэлектрики. Классификация диэлектриков. Свойства диэлектриков: теории локального поля и поляризуемости. Диэлектрическая проницаемость. Пироэлектричество. Сегнетоэлектричество (классификация сегнетоэлектрических кристаллических фаз, фазовые переходы.) Антисегнетоэлектричество. Пьезоэлектричество.
16. Сверхпроводимость. Сверхпроводящие материалы. Критическая температура. Магнитные свойства (критическое поле). Микроскопическая теория и эффект Мейснера. Энергетическая щель. Уравнение Лондонов. Теория сверхпроводимости Бардина - Купера-Шриффера. Одночастичное туннелирование. Сверхпроводники второго рода.
17. Магнитные свойства твердых тел. Диа- пара- ферромагнетизм. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Формула Ланжевена и закон Кюри. Квантовая теория парамагнетизма. Парамагнитная восприимчивость электронов проводимости. Ферромагнитный порядок. Магнитная структура ферромагнетиков. Ферромагнитные домены.
18. Динамика кристаллической решетки. Анализ упругих деформаций. Энергия упругодеформированного тела. Закон Гука. Упругие волны в кристаллах. Гармоническое приближение. Фонон. Импульс фонона. Неупругое рассеяние фотонов, рентгеновских лучей, нейтронов на фононах. Колебания в решетке из одинаковых атомов, в решетке, содержащей дефект. Ангармонизм.
19. . Тепловые свойства диэлектриков. Теплоемкость кристаллической решетки. Модели Дебая и Эйнштейна. Сравнение решеточной и электронной удельных теплоемкостей.
20. Механические свойства твердых тел. Упругие характеристики. Связь деформации и напряжений.

## 5. Образовательные технологии

Основные технологии: модульного обучения, проблемного обучения, технология выбора, информационно-коммуникационные.

Все содержание состоит из **девятнадцати модулей**, каждый из которых включает в себя лекции и практическое занятие, задания для самостоятельной работы, домашние контрольные работы, задание по выполнению реферата.

Основой самостоятельной деятельности является выполнение домашних контрольных заданий и написание реферата по одной из выбранных тем. Студентам предоставляется **выбор** тематики и характера выполнения проекта.

Изучение курса строится по следующей стратегии: студенты посещают все аудиторные занятия (лекции, практические), выполняют все текущие домашние задания, работают над рефератом под руководством преподавателя через очные консультации

При проведении практических занятий используются следующие методы: методы: дискуссия, групповая работа, решение ситуационных задач.

Основные технологии: модульного обучения, проблемного обучения, технология выбора, информационно-коммуникационные.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся



Самостоятельная работа студента предполагает:

1. выполнение домашних контрольных работ по изученным на практических занятиях темам (учебно-методические разработки практических занятий выдаются в электронном виде каждому студенту);

## **7. Характеристика оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Домашние контрольные работы, проверяющие полученные умения и навыки работы с сеткой Вульфа при построении стереографических и гномостереографических проекций кристаллов, умения расчета кристаллографических проекций. Каждая выполненная контрольная работа оценивается от 5 до 10 баллов (которые учитываются при выставлении итоговой оценки на экзамене). Типовые варианты контрольных работ находятся в приложении к РП в разделе «Фонд оценочных средств»).

Зачет проводится в форме бланкового тестирования (Типовые варианты контрольных работ находятся в приложении к РП в разделе «Фонд оценочных средств»). Тест содержит 25 вопросов, каждый из которых оценивается в 5 баллов (таким образом максимальный балл 125).

Оценка «зачтено» ставится при условии выполнения домашних работ (общая сумма 15 баллов) и 60 баллов выше за ответы на вопросы итогового теста.

Оценка «незачтено» ставится при условии невыполнения даже одной из домашних контрольных работ (общая сумма 15 баллов) и ниже 60 баллов за ответы на вопросы итогового теста.

Текущий контроль успеваемости по второму семестру изучения курса физики конденсированного состояния вещества проводится два раза в семестр. Студентам даются контрольные работы, включающие основные типы задач по пройденным темам. Каждая выполненная контрольная работа оценивается по пятибалльной шкале. Полученные оценки учитываются при выставлении итоговой оценки на экзамене. Типовые варианты контрольных работ находятся в приложении к РП в разделе «Фонд оценочных средств»).

Экзамен проводится в форме собеседования по теоретическим вопросам, а также предполагает решение задачи.

Оценка «удовлетворительно» ставится при условии выполнения контрольных работ (общая сумма 6 баллов и выше)) и частичных ответов на предложенные вопросы билета и частичное решение задачи

Оценка «хорошо» ставится при условии выполнения контрольных работ (общая сумма 8 баллов и выше)) и частичных ответов на предложенные вопросы билета и правильное решение задачи, либо полное раскрытие одной из тем билета и частичное решение задачи.

Оценка «отлично» ставится при условии выполнения контрольных работ (общая сумма 10 баллов), правильных ответов на вопросы билета и правильное решение задачи

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### Основная учебная литература:

1. Ю. К. Егоров-Тисменко. Кристаллография и кристаллохимия : учебник для студентов вузов /. — 2-е изд. — М. : КДУ, 2010. — 587 с. — ISBN 978-5-98227-687-23/





2. Новоселов, К.Л. Основы геометрической кристаллографии : учебное пособие / К.Л. Новоселов ; Министерство образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». - Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. - 73 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442772>
3. Батаев, И.А. Кристаллография: обозначение и вывод классов симметрии : учебное пособие / И.А. Батаев, А.А. Батаев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск : НГТУ, 2015. - 60 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2740-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438293>
4. В.А.Матухин, В.Л.Ермаков Физика твердого тела. М. изд-во Лань. 2010
5. Г.И.Епифанов Физика твердого тела. М. Изд-во Лань. 2010
6. Гольдаде В. А., Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с. <http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93309>
7. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия : учебное пособие / Ю.М. Басалаев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 403 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8353-1712-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278304>

*Дополнительная учебная литература:*

1. М.П.Шаскольская. Кристаллография : учебное пособие для студентов вузов / .— Изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1984. — 375 с .
2. Современная кристаллография. Т.1-4. Под ред. Б.К.Вайнштейна. М.: Наука. 1979
3. М. П. Шаскольская Кристаллы /.— Изд. 2-е, испр. — М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — 207 с.
4. Элементы физики твёрдого тела : учебное пособие / сост. В.Я. Чечуев, С.В. Викулов, И.М. Дзю. - Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2012. - 160 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=230498>
5. 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 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466>
6. Г.А.Миронова Конденсированное состояние вещества. От структурных единиц до живой материи. М., Изд-во МГУ. Т.1-2 2006
7. Диэлектрические кристаллы : симметрия и физические свойства / В. А. Сандлер, Н. В. Сидоров, М. Н. Палатников ; Российская Академия Наук ; Кольский научный центр ; под ред. В. Т. Калининкова. — Апатиты : Кольский научный центр РАН, 2010 Ч. 1. — 2010. — 201 с. — ISBN 978-5-91137-118-0.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Система электронной поддержки образовательного процесса «Мой университет»

<https://uni.ivanovo.ac.ru>

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru);  
<http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/ebs-universitetskaya-biblioteka>

Электронная библиотека ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/elibnew>

Электронный каталог НБ ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/ek>

Программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, пакет офисных программ Microsoft Office и(или) LibreOffice, интернет-браузер Microsoft Edge и(или) Yandex Browser.

#### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Возможность выхода студентов в Интернет, ПК, проектор, экран или интерактивная доска. ксерокс для размножения раздаточных материалов, библиотечный фонд Ивановского государственного университета.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.03.02 Физика  
(Фундаментальная и прикладная физика)

**Автор(ы) рабочей программы дисциплины:** доцент, канд. физ.-мат. наук, доцент  
Пашкова Тамара Викторовна

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры фундаментальной  
физики и нанотехнологий « 28 » августа 2024 г., протокол № 1