



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологий

ОДОБРЕНО:

Руководитель ОП

(подпись)

А.И. Александров

28 августа 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Уровень высшего образования:	бакалавриат
Квалификация выпускника:	бакалавр
Направление подготовки:	28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Направленность (профиль) образовательной программы:	Материалы микро- и наносистемной техники

Иваново



1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов требуемых компетенций в области физики конденсированного состояния вещества.

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина является обязательной для изучения, относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Студент, приступающий к изучению дисциплины, должен обладать знаниями, умениями, навыками, полученными ранее в ходе изучения дисциплин: «Физика», «Химия

Для освоения данной дисциплины обучающийся 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)

Успешное освоение данной дисциплины будет способствовать готовности студентов к освоению дисциплин: «Материаловедение наноструктурированных материалов», «Наноматериалы в электронике», «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов», «Физика жидких кристаллов», «Физика поверхности».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

3.1. Компетенции, формированию которых способствует дисциплина (согласно матрице соответствия компетенций и составляющих ОП)

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению подготовки:

- а) универсальные (УК):
- б) общепрофессиональные (ОПК):
- в) профессиональные (ПК):

ПК-1. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом знаний теоретических и прикладных основ материаловедения, микромеханики и сопромата

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения формируемых компетенций

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

• **Знать**: теоретические основы, основные понятия точечной и пространственной симметрии, группы симметрии, основные понятия кристаллохимии, принципы симметрии, виды дефектов структуры реального кристалла, методы экспериментальных исследований кристаллофизики; (ПК-1)

• теоретические основы, основные понятия, законы и модели физики конденсированного состояния вещества, методов теоретических и экспериментальных исследований в физике конденсированного состояния вещества (ПК-1);

• **Уметь**: понимать, излагать и критически анализировать базовую физическую информацию (ПК-1);



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

- пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и принципами кристаллографии и кристаллофизики для описания структуры и симметрии физических свойств кристаллических тел (ПК-1);
- прогнозировать на основе знания симметрии структуры вещества наличие определенных физических свойств (ПК-1);
- использовать полученные теоретические знания для анализа конкретных кристаллографических задач (ПК-1);
- пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики конденсированного состояния вещества для объяснения физических свойств твердых тел; (ПК-1);
- **Иметь практический опыт/Иметь навыки:** владения методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации, графическими методами изображения кристаллов, расчета и построения кристаллографических проекций кристаллов различной симметрии, методикой определения при помощи проекций элементов симметрии и углов между гранями кристаллических многогранников, методами прогнозирования свойств кристаллических тел на основе анализа симметрии их структуры. (ПК-1);

методами расчета параметров, характеризующих физические свойства кристаллических тел, на базе моделей физики конденсированного состояния вещества (ПК-1).

4. Объем и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 академических 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.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	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, практического и лабораторного типа	
1	Введение: основные законы кристаллографии, кристаллографические проекции	5	4	4 практ.зан.	Домашняя практическая работа №1 с сеткой Вульфа
2	Симметрия кристаллических многогранников	5	8	4 практ.зан.	Домашняя контрольная работа №2 с сеткой Вульфа (плоскости и оси симметрии)



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

3	Симметрия структуры кристаллов	5	6	4 практ.зан.	Домашняя контрольная работа №3 (Расчет и построение гномостереографической проекции кристалла гексагональной сингонии)
4	Обобщенная симметрия.	5	2		
5	Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии в кристаллофизике. Тензорное описание физических свойств в кристаллах.	5	4	2 практ.зан.	
6	Кристаллохимия характеристики, типы химических связей в кристаллах	5	4	2 практ.зан.	
7	Строение реального кристалла:	5	4		
8	Рост кристаллов.	5	4		Зачет (бланковое тестирование)
9	Контроль полученных знаний и умений				
ИТОГО за семестр 72 часа, из них			36	16	
	Введение: Конденсированное состояние вещества, классификация твердых тел	6	2	2 практ.зан	Решение домашних заданий (задачи по пройденным темам курса)
	Принципы строения конденсированных систем. Ближний и дальний порядок, функция радиального распределения частиц, принципы плотной и валентной упаковок.	6	2	4 практ.зан	
	Металлы: теория металлов Друде, свободный электронный газ Ферми	6	6	6 практ.зан	
	Основы теории энергетических зон кристаллов.	6	2	2 практ.зан	



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

	Полупроводники	6	4	6 практ.зан	
	Диэлектрики, их свойства	6	4	4 практ.зан	Контрольная работа №1
	Сверхпроводимость	6	2	2 практ.зан	Решение домашних заданий (задачи по пройденным темам курса) Контрольная работа №2
	Магнитные свойства твердых тел	6	4	2 практ.зан	Решение домашних заданий (задачи по пройденным темам курса) Контрольная работа №2
	Динамика кристаллической решетки	6	2	2 практ.зан	
	Тепловые свойства диэлектриков. Модели Дебая и Эйнштейна.	6	4	2 практ.зан	
	Механические свойства твердых тел	6	2	4 практ.зан	Экзамен
	Итого за семестр		34	34	
	Итого за дисциплину		70	50	

4.2. Развернутое описание содержания дисциплины по разделам (темам)

(Указываются основные содержательные линии каждого раздела, темы, модуля.)

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.



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

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. Реальная форма роста кристаллов. Макроскопические дефекты кристаллов. Сrostки и двойники. Эпитаксия. Методы выращивания кристаллов.

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

1. Введение: Конденсированное состояние вещества, классификация твердых тел.
2. Принципы строения конденсированных систем, Ближний и дальний порядок, функция радиального распределения частиц, принципы плотной и валентной упаковок
3. 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).
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. . Тепловые свойства диэлектриков. Теплоемкость кристаллической решетки. Модели Дебая и Эйнштейна. Сравнение решеточной и электронной удельных теплоемкостей.



10. 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



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

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 втузов / .— 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



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

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:

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» 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

Учебные аудитории:

— для проведения занятий лекционного типа с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения, служащими для предоставления учебной информации большой аудитории;

— для проведения занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, выполнения курсовых работ (проектов) с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

Помещение для самостоятельной работы, оснащенное комплектом специализированной учебной мебели, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ЭИОС.

Демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия для занятий лекционного типа, обеспечивающие тематические иллюстрации: персональный компьютер, проектор, экран.



Основная профессиональная образовательная программа
28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»
Материалы микро- и наносистемной техники

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

Приложение 1. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приложение 2. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.