

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Директор строительного-
технологического института


Власов В.В.

« 12 » 05 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Физика конденсированного состояния»

Направление подготовки (специальность) 04.03.02 «Химия, физика и
механика материалов»

Профиль (Специализация)

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Нормативный срок обучения 4 года

Форма обучения очная

Разработчики программы  Тутов Е.А. (доктор хим. наук, профессор каф. физики)

Программа обсуждена на заседании кафедры физики

« 21 » 04 2015 года Протокол № 8

Зав. кафедрой  Абрамов А. В.

Воронеж 2015

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Физика конденсированного состояния является фундаментальной основой современного материаловедения. Ее большое прикладное значение обусловило то, что число исследований, выполняемых в этой области физики, превышает число исследований в других областях. Все это делает актуальной подготовку специалистов высшей квалификации по этому направлению.

Курс «Физика конденсированного состояния» входит в базовую часть профессионального цикла дисциплин, служит связующим звеном между блоками естественнонаучных и специальных дисциплин.

Целями курса «Физика конденсированного состояния» являются: теоретическое и практическое изучение основ физики конденсированного состояния, включающих общие представления о структуре твердого тела, о процессах, происходящих внутри и на поверхности твердого тела, об основных зависимостях между атомно-электронной структурой твердых тел, их составом и различными физическими свойствами - механическими, тепловыми, электрическими, магнитными, оптическими и другими; формирование представлений об основных взаимодействиях, ответственных за формирование физических свойств конденсированных сред.

Физика конденсированного состояния создает универсальную базу для изучения общепрофессиональных и специальных дисциплин, закладывает фундамент последующего обучения в магистратуре, аспирантуре. Она даёт цельное представление о физических законах окружающего мира в их единстве и взаимосвязи, вооружает бакалавров необходимыми знаниями для решения научно-технических задач.

Значение курса физики конденсированного состояния в высшем и среднем образовании определено ролью науки в жизни современного общества. Поэтому программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» должна быть сформирована таким образом, чтобы дать студентам представление об основных разделах физики конденсированного состояния, познакомить их с наиболее важными экспериментальными и теоретическими результатами.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» предназначена для ознакомления студентов с современной физической картиной мира, приобретения навыков экспериментального исследования физических явлений и процессов, изучения теоретических методов анализа физических явлений, обучения грамотному применению положений фундаментальной физики к научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и технологий, а также выработки у студентов основ естественнонаучного мировоззрения и ознакомления с

историей развития физики конденсированного состояния и основных её открытий.

В результате освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» студент должен изучить физические явления и законы, границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях; представлять себе фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки; знать назначение и принципы действия важнейших физических приборов.

Кроме того, студент должен приобрести навыки работы с приборами и оборудованием современной технической лаборатории; навыки использования различных методик физических измерений и обработки экспериментальных данных; навыки проведения адекватного физического и математического моделирования, а также применения методов физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.

Предполагается, что бакалавр должен понимать и использовать в своей практической деятельности базовые концепции и методы, развитые в современном естествознании. Эти концепции и методы должны лечь в основу преподавания дисциплин естественнонаучного и инженерного циклов, а также дисциплин специализации.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

Задачами дисциплины являются:

1. формирование систематических знаний по основным разделам физики конденсированного состояния необходимых для выполнения самостоятельных научных исследований и лабораторного практикума в рамках учебного плана бакалавриата, знакомство с основными методами исследования и расчета физических характеристик твердых тел;
2. расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных законов физики твердых тел, и способов практического использования их свойств;
3. развитие понимания взаимосвязи структуры и состава твердых тел, и многообразия их физических свойств;
4. создание основы для последующего изучения вопросов физики, химии и механики строительных материалов;
5. привитие студентам навыков: практического овладения методами теоретического описания и основными теоретическими моделями твердого тела, постановки физического эксперимента по изучению свойств твердых тел и основными экспериментальными методиками.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной

программы подготовки бакалавров. Основные положения должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих общепрофессиональных и специальных дисциплин. Знания и практические навыки, полученные при изучении данной дисциплины, используются студентами так же при изучении естественнонаучных дисциплин, при подготовке курсовых и дипломных работ.

При формировании программы дисциплины «Физика конденсированного состояния» учтено, что математическая и естественнонаучная подготовка должны составлять единый блок и реализоваться на начальной стадии основной образовательной программы ВПО. При формировании компетенций в области физики конденсированного состояния необходимо учитывать, что естественные науки и математика играют важную роль в формировании не только общенаучных компетенций, но и инструментальных, социально-личностных и общепрофессиональных компетенций. При этом часть общенаучных, инструментальных и социально-личностных компетенций формируется при участии гуманитарных и социально-экономических дисциплин. В то же самое время курс физики конденсированного состояния является одной из базовых дисциплин и требует последовательного ознакомления студентов с различными разделами дисциплины, таким образом, чтобы очередной дидактический модуль опирался на материал, представленный в предшествующих модулях.

При ее освоении используются знания следующих дисциплин.

Философия (гуманитарный, социальный и экономический цикл): материя и основные формы ее существования; познание как отражение действительности; диалектика как учение о всеобщей связи и развитии.

Математика (математический и естественнонаучный цикл): Алгебра, аналитическая геометрия; определители и системы уравнений; введение в анализ функции одного переменного; дифференциальное исчисление функции одной переменной; исследование функции и построение графика; приближенное решение уравнений; интегральное исчисление; обыкновенные дифференциальные уравнения; основы теории вероятности; элементы математической статистики.

Информатика (математический и естественнонаучный цикл): используются навыки программирования, работы с ЭВМ в лабораторном практикуме, курсовом проектировании.

Химия (математический и естественнонаучный цикл): таблица Менделеева, закон действующих масс.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является предшествующей для специальных дисциплин при анализе принципиальных ограничений, накладываемых фундаментальными законами на возможности конкретных технических конструкций.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» направлен на формирование следующих компетенций:

- общепрофессиональное использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования,
- производственно-технологическая и производственно-управленческая: владением технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные физические явления и основные законы физики; границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях;
- фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки;
- назначение и принципы действия важнейших физических приборов;

Уметь:

- объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий;
- указать, какие законы описывают данное явление или эффект;
- истолковывать смысл физических величин и понятий;
- работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории;
- использовать различные методики измерений и обработки экспериментальных данных;
- использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем;

Владеть:

- навыками использования основных общезначимых законов и принципов в важнейших практических приложениях;
- навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;
- навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной технической лаборатории;
- навыками обработки и интерпретирования результатов эксперимента;

- навыками использования методов физического моделирования в инженерной практике.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика конденсированного состояния» составляет 3 зачетных единиц (1 зач единица 36 ч).

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры | |
|--|-------------|----------|-----|
| | | 5 | 6 |
| Аудиторные занятия (всего) | 144 | 72 | 72 |
| В том числе: | | | |
| Лекции | 72 | 36 | 36 |
| Практические занятия (ПЗ) | 36 | 18 | 18 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 36 | 18 | 18 |
| Самостоятельная работа (всего) | 108 | 36 | 72 |
| Вид аттестации (э-экзамен, з-зачет) | | 3 | Э |
| Общая трудоемкость, час. | 252 | 108 | 144 |
| зач.ед. | 7 | 3 | 4 |

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Содержание разделов дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела |
|-----------|---|--|
| 1 семестр | | |
| 1 | Атомная структура и строение твердых тел. | Классификация твердых тел по типам химической связи и свойствам: диэлектрики, полупроводники, металлы. Элементарные вещества, бинарные и сложные соединения, твердые растворы. Монокристаллы, поликристаллические и аморфные вещества, жидкие кристаллы, квазикристаллы. Полиморфизм. Дефекты в твердых телах. |
| 2 | Методы исследования и описания атомной структуры конденсированных сред. | Элементы симметрии, трансляционная симметрия. Элементарная ячейка, решетки Бравэ, ячейка Вигнера-Зейтца. Дифракция рентгеновских лучей на моно- и поликристаллах, уравнение Вульфа-Бреггов. |

| | | |
|-----------|---|---|
| | | Анизотропия монокристаллов, кристаллофизический принцип фон Неймана. |
| 3 | Тепловые колебания решетки. | Оптические и акустические фононы. Элементы статистики фононов. Температура Дебая. Ангармонизм колебаний атомов и тепловое расширение твердых тел. |
| 4 | Электронное строение твердых тел. Основы зонной теории. | Волновые функции и энергетический спектр электронов в твердом теле. Квазиимпульс и эффективная масса носителей заряда в полупроводниках. Зоны Бриллюэна. |
| 5 | Статистика равновесных электронов и дырок в полупроводниках. | Уровень Ферми и его температурная зависимость. Собственные и примесные полупроводники. Вырождение электронного газа в полупроводниках. |
| 6 | Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. | Электропроводность полупроводников и ее температурная зависимость. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Эффект Холла. Термоэлектрические и термомагнитные эффекты в полупроводниках. |
| 2 семестр | | |
| 7 | Оптические и фотоэлектрические явления в конденсированных средах. | Фотоиндуцированные переходы электронов в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Фотопроводимость. Центры окраски. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока в полупроводниках. Диэлектрическая релаксация. Длина экранирования. |
| 8 | Поверхностные явления в полупроводниках. | Электронные процессы на поверхности твердых тел при хемосорбции. Эффект поля, его исследование и использование. Основы физики МДП-структур. |
| 9 | Контактные явления в гетерогенных системах. | Работа выхода электронов. Контакт двух металлов, контакт металла с полупроводником. Понятие о варизонных полупроводника, полупроводниковых сверхрешетках и гетероструктурах. |
| 10 | Диэлектрические свойства твердых тел. | Механизмы поляризации диэлектриков. Электрострикция, пьезоэффект, пироэффект. Сегнетоэлектрики, электреты. |
| 11 | Магнитные свойства твердых тел. | Природа диа-, пара- и ферромагнетизма. Ферримагнетики, антиферромагнетики. Понятие о мультиферроиках. |
| 12 | Основы физики и химии наноматериалов. | Свойства индивидуальных наночастиц. Металлические нанокластеры. Полупроводниковые наночастицы. Молекулярные кластеры. Методы стабилизации наночастиц. Углеродные |

| | | |
|--|--|--|
| | | наноструктуры. Объемные наноструктурированные материалы. |
|--|--|--|

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

| № п.п. | Наименование обеспечиваемых дисциплин | №№ разделов данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|--|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| 1 | Физико-химическая механика свойств материалов | + | + | | | | | | + | + | | | | + | | |
| 2 | Специальные конструкционные и функциональные структуры | | | | | | | | + | + | | | | + | | |
| 3 | Структурная химия и кристаллохимия | + | + | | | | | | | | | | | + | | |
| 4 | Основы химико-технологических процессов и производств | | | | | | | | + | | | | | + | | |
| 5 | Химия обжиговых и тугоплавких материалов | | | + | | | | | + | | | | | + | | |
| 6 | УИРС | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | |

5.3. Разделы дисциплины и виды занятий

| № п.п | Наименование раздела дисциплины | Лекц | Практ. занят. | Лабор. занят. | СРС | Всего час. |
|-------|---|------|---------------|---------------|-----|------------|
| 1 | Атомная структура и строение твердых тел. | 6 | 3 | 2 | | |
| 2 | Методы исследования и описания атомной структуры конденсированных сред. | 6 | 3 | 4 | | |
| 3 | Тепловые колебания решетки. | 6 | 3 | - | | |
| 4 | Электронное строение твердых тел. | 6 | 3 | - | | |

| | | | | | | |
|----|---|---|---|---|--|--|
| | Основы зонной теории. | | | | | |
| 5 | Статистика равновесных электронов и дырок в полупроводниках. | 6 | 3 | 6 | | |
| 6 | Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. | 6 | 3 | 6 | | |
| 7 | Оптические и фотоэлектрические явления в конденсированных средах. | 6 | 3 | 6 | | |
| 8 | Поверхностные явления в полупроводниках. | 6 | 3 | 6 | | |
| 9 | Контактные явления в гетерогенных системах. | 6 | 3 | 6 | | |
| 10 | Диэлектрические свойства твердых тел. | 6 | 3 | - | | |
| 11 | Магнитные свойства твердых тел. | 6 | 3 | - | | |
| 12 | Основы физики и химии наноматериалов. | 6 | 3 | - | | |
| | | | | | | |

5.4. Лабораторный практикум

| № п/п | Раздел дисциплины | Наименование лабораторных работ | Трудо-емкость (час) |
|-------|---|--|---------------------|
| 1. | Методы исследования и описания атомной структуры конденсированных сред. | 1. Рентгеновские лучи и их спектры | 2 |
| | | 2. Изучение дифракции рентгеновских лучей на монокристаллах | 4 |
| | | 3. Изучение дифракции рентгеновских лучей на поликристаллах. Анализ дебаеграмм. | 6 |
| 2. | Кинетические явления в полупроводниках. Уравнение Больцмана. | 4. Изучение температурной зависимости электропроводности полупроводников. | 3 |
| | | 5. Изучение термоэлектрических явлений. | 3 |
| 3. | Оптические и фотоэлектрические явления в конденсированных средах. | 6. Изучение поляризации света. | 3 |
| | | 7. Изучение оптического поглощения в конденсированных средах. Определение параметров зонного строения твердых тел. | 3 |
| | | 8. Изучение центров окраски в твердых телах. | |
| | | 9. Изучение генерационно-рекомбинационных | |

| | | | |
|----|---|---|--------|
| | | процессов в твердых телах. Определение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда. | 3 3 |
| 4. | Поверхностные явления в полупроводниках. | 10. Изучение электронных процессов на поверхности твердых тел при хемосорбции (хемосорбционный эффект поля). | 3 |
| 5. | Контактные явления в гетерогенных системах. | 11. Изучение зонного строения и электрофизических свойств контактов металл-полупроводник, двух полупроводников. | 3 |
| | | | |

5.5. Практические занятия

| № п/п | Раздел дисциплины | Тематика практических занятий | Трудоемкость (час) |
|-------|---|---|--------------------|
| 1. | Атомная структура и строение твердых тел. Методы исследования и описания атомной структуры конденсированных сред. | Элементы кристаллографии | 4 |
| | | Типы связей в твердых телах. Энергия взаимодействия атомов кристаллической решетки. | 4 |
| 2. | Тепловые колебания решетки. | Теория теплоемкости твердых тел | 3 |
| | | Фононы. Фазовая и групповая скорость. Теплопроводность. Тепловое расширение. | 3 |
| 3. | Электронное строение твердых тел. Основы зонной теории. | Электрические свойства металлов. | 4 |
| 4. | Диэлектрические свойства твердых тел. | Физические свойства диэлектриков. | 9 |
| 5. | Магнитные свойства твердых тел. | Магнитные свойства твердых тел. Магнитная восприимчивость, намагниченность. | 9 |

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ, КУРСОВЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Не предусмотрены.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО И ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Студенты, завершившие изучение дисциплины «Физика», должны обладать следующими компетенциями:

- востребованная общекультурная компетенция (ВОК) - способность и готовность приобретать с большой степенью самостоятельности новые знания в области физики конденсированного состояния, используя современные образовательные и информационные технологии;
- профессиональная компетенция (ВПК) - способность применять знания о физико-химических процессах, физико-математический аппарат, необходимый для решения задач, имеющих естественнонаучное содержание и возникающих в сфере профессиональной деятельности.

Уровни освоения компетенций представлены в таблице:

| ВОК | Знать | Уметь | Владеть |
|-----------|--|--|---|
| Уровень 1 | основные способы и средства самостоятельного получения информации в данной предметной области. | самостоятельно получать знания: работать с конспектами, учебной, учебно-методической и справочной литературой, другими информационными источниками, воспринимать, осмысливать информацию, применять полученные знания по физике конденсированного состояния для решения учебных задач; ставить цели. | основами творческого инженерного мышления, логикой рассуждений, навыками самостоятельного получения информации в данной предметной области. |

| | | | |
|-----------|--|---|---|
| Уровень 2 | основные способы и средства самостоятельного получения и анализа информации в данной предметной области | самостоятельно получать знания: работать с конспектами, учебной, учебно-методической и справочной литературой, другими информационными источниками, воспринимать, осмысливать, анализировать информацию, применять полученные знания по физике конденсированного состояния для решения учебных задач | основами физико-математической культуры мышления, логикой рассуждений, навыками самостоятельного получения и анализа информации в данной предметной области для решения классических задач, требующих выбора подходящего метода решения и практического применения законов физики конденсированного состояния. |
| Уровень 3 | основные способы и средства самостоятельного получения, анализа и обобщения информации в данной предметной области | самостоятельно получать знания: работать с конспектами, учебной, учебно-методической и справочной литературой, другими информационными источниками, воспринимать, осмысливать, анализировать и обобщать информацию, применять полученные знания для решения творческих задач, в том числе в профессиональной деятельности; ставить цели, разбивать их на задачи и выбирать пути их достижения | физико-математической культурой мышления, логикой рассуждений, навыками самостоятельного получения, анализа и обобщения информации в данной предметной области для решения творческих задач с использованием основных теорий и законов, описывающих физико-химические процессы и теорий, в том числе в профессиональной сфере деятельности. |
| ВПК | Знать | Уметь | Владеть |
| Уровень 1 | основные определения, понятия и символику физики конденсированного | оценивать пределы применимости классического подхода, роль и | основными понятиями, терминами в области физики |

Уровень 2

состояния, классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов, важнейшие законы и теории, основные методы решения типовых задач; основные определения, понятия и символику физики конденсированного состояния; классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел; механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов; важнейшие законы и теории; основные методы доказательств законов и утверждений, основные методы, применяемые для решения творческих задач.

важность квантовых эффектов при описании физических процессов; решать типовые задачи классическими методами, графически иллюстрировать задачу, оценивать достоверность полученного результата, представлять и оформлять его; использовать основные законы и теории;

оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов; выбрать метод или алгоритм для решения типовой задачи, использовать его для решения, оценивать достоверность полученного результата, выбирать адекватную форму его представления; применять информационные технологии для решения стандартных задач, доказывать основные законы.

конденсированного состояния, методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, способами и формами представления экспериментальных данных, приемами решения типовых задач известными методами и алгоритмами, навыками использования основных законов.

основными понятиями, терминами в области физики конденсированного состояния, методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, способами и формами представления экспериментальных данных, приемами выбора и применения методов и алгоритмов для решения задач, навыками использования основных законов на практике.

| | | | |
|-----------|---|--|--|
| Уровень 3 | <p>основные определения, понятия и символику физики конденсированного состояния, классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока, особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов, важнейшие законы и теории, основные методы доказательств законов и утверждений, основные методы, применяемые для решения задач исследовательского характера.</p> | <p>оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов; строить простейшие модели для описания реальных процессов и состояний, выбирать оптимальный метод решения, обосновывать свой выбор, доказывать основные законы, использовать современные информационные технологии.</p> | <p>методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, комплексом умений самостоятельно комбинировать известные способы решения задач, приемами использования основных законов и методов решения задач исследовательского характера, включая методы моделирования, теоретического и экспериментального исследования, навыками использования современных информационных технологий и прикладных программ в профессиональной деятельности.</p> |
|-----------|---|--|--|

Студенты, завершившие изучение дисциплины, должны обладать следующими компетенциями (знать и уметь):

- иметь представление о строении твердого тела, о классификации всех типов кристаллических решеток;
- знать природу химической связи твердых тел и понимать зависимость микроскопических свойств кристаллов от внутреннего строения и типа химической связи;
- иметь представление об особенностях структуры реальных кристаллов по сравнению с теоретической моделью;
- понимать, как атомно-электронное строение вещества влияет на механические, магнитные и тепловые свойства твердых тел;
- знать основы зонной теории строения металлов, диэлектриков и полупроводников и на ее основе определять электрические и оптические свойства твердых тел;
- иметь представления о классической сверхпроводимости в твердых телах и современных материалах, в которых наблюдается высокотемпературная сверхпроводимость;
- понимать внутреннее строение и свойства некристаллических форм конденсированного состояния;
- знать современные методы исследования конденсированных состояний материалов.

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

| Уровень | Дескриптор компетенции и показатель оценивания | Оценка |
|---------------|---|--------------------------------|
| Недостаточный | Имеет представление о содержании дисциплины, но не знает основные определения, формулы, аксиомы, основные законы и теории к которым относится задание, не способен выполнить задание с очевидным решением, не владеет символикой, навыками и приемами решения типовых заданий. | Неудовлетворительно (не зачет) |
| Базовый | Знает и воспроизводит основные определения, формулы, аксиомы, законы и теории, владеет символикой, в соответствии с заданием применяет знания для выполнения типового задания, в котором очевиден способ решения, оценивает достоверность полученного решения. | Удовлетворительно (зачет) |
| Повышенный | Знает, понимает основные определения, формулы, аксиомы, законы и теории, демонстрирует умение применять их для выполнения задания, в котором нет явно указанных способов решения, оценивает достоверность полученного решения. Владеет символикой, основными приемами доказательства законов и утверждений. | Хорошо |
| | Знает, понимает основные определения, формулы, аксиомы, законы и теории, демонстрирует умение аргументировано применять их для выполнения задания, в котором нет явно указанных способов решения, оценивает достоверность полученного решения, проводит анализ решения, делает практические выводы и обобщения. Владеет символикой, теориями физики конденсированного состояния. Способен построить простейшую модель, оценить различные методы решения и выбрать оптимальный метод. Способен выдвинуть идею и презентовать свое решение. | Отлично |
| | | |

7.3. Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

Текущий контроль успеваемости осуществляется на практических и лабораторных занятиях: в виде опроса теоретического материала и умения применять его к решению задач у доски, в виде проверки домашних заданий, в виде тестирования по отдельным темам, проведением контрольных работ по разделам дисциплины. Контрольные работы проводятся на практических занятиях под контролем преподавателя. Варианты работ выдаются каждому студенту индивидуально. При условии защиты студентом выполненных

лабораторных работ и удовлетворительного написания контрольной работы студент допускается к сдаче экзамена.

Промежуточный контроль осуществляется на экзамене в виде письменного ответа на теоретические вопросы экзаменационного билета и последующей устной беседы с преподавателем по теме билета.

7.3.1. Примерная тематика РГР

Не предусмотрены

7.3.2. Примерная тематика и содержание КР

Типы связей в твердых телах.

Энергия взаимодействия атомов кристаллической решетки ионного типа.

№1. Рассчитать внутреннюю энергию 200 г каменной соли, постоянная кристаллической решетки которой равна 5,64 Å. Постоянная сил отталкивания 9,4.

Дано:

$$\mu = 59,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$a = 5,64 \text{ \AA} = 5,64 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$n = 9,4$$

$$\alpha = 1,75$$

$$U_{\min} - ? \text{ e}^2$$

Решение:

$$U_{\min} = - \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot \alpha \cdot e^2 / 4\pi\epsilon_0 r_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right), \text{ где}$$

e – заряд электрона

n – постоянная сил отталкивания

α – постоянная Маделунга

N_A – число Авогадро

r_0 – равновесное расстояние между частицами

$$r_0 = \frac{a}{2}$$

$$U_{\min} = - \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot \alpha \cdot e^2 \cdot 2 / 4\pi\epsilon_0 r_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) = - \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot \alpha \cdot e^2 / 2\pi\epsilon_0 r_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \approx - 0,2 / 58,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot (1,75 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2) / 2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5,64 \cdot 10^{-10} \cdot 0,9 = - 1,32 \cdot 10 \text{ Дж} = -1320 \text{ кДж}$$

№2. Как изменится равновесное расстояние r_0 между ионами и энергия решетки NaCl, если заряд иона возрастет вдвое?

Решение

Из равенства нулю первой производной от энергии кристалла имеем:

а) для иона с зарядом e

$$N \left(\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0 e^2} - \frac{nb}{r_0 e^{n+1}} \right) = 0, \text{ или } \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0 e^2} = \frac{nb}{r_0 e^{n+1}} \Rightarrow \text{умножим на } r_0 e^{n+1}$$

$$\frac{\alpha e^2 \cdot r_0 e^{n+1}}{4\pi\epsilon_0 r_0 e^2} = nb \text{ или } \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot r_0 e^{n-1} = nb N_0; \quad r_0 e^{n-1} = \frac{4\pi\epsilon_0 nb}{\alpha e^2} \text{ откуда}$$

$$r_0 e = \left(\frac{4\pi\epsilon_0 nb}{\alpha e^2} \right)^{1/n-1}$$

б) для иона с зарядом $2e$

$$r_0(2e) = \left(\frac{4\pi\epsilon_0 nb}{4\alpha e^2} \right)^{1/n-1} = \left(\frac{4\pi\epsilon_0 nb}{\alpha e^2} \right)^{1/n-1} \cdot \left(\frac{1}{4} \right)^{1/n-1} = r_0(e) \cdot 4^{1/n-1}$$

$$\text{Итак, } r_0(2e) = r_0(e) \cdot 4^{1/n-1}$$

Найдем связь $U(e)$ и $U(2e)$ при равновесном расстоянии r_0 :

$$U(e) = - \frac{N\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0(e)} \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

$$U(2e) = - \frac{N\alpha 4e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0(2e)} \left(1 - \frac{1}{n} \right) = \text{подставим выше найденное соотношение}$$

$$\text{между } r_0(e) \text{ и } r_0(2e) = - \frac{N\alpha 4e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0(e) \cdot 4^{1/n-1}} \left(1 - \frac{1}{n} \right) = U(e) \cdot 1/4^{1/n-1} =$$

$$4^{n/n-1} \cdot U(e)$$

$$\text{Итак, } U(2e) = 4^{n/n-1} \cdot U(e)$$

№3. В выражении полной энергии кристаллической решетки ионного типа

член $\frac{B}{r^n}$, соответствующий силам отталкивания, часто заменяют $C \cdot e^{-r/\rho}$, вид которого легче объяснить теоретически. Чему равно расстояние $r_0 = r_0(n, \rho)$, при котором эти две энергии отталкивания дают одинаковые значения энергии решетки?

Решение:

$$U(r) = -N \left(\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} - C \cdot e^{-r/\rho} \right)$$

Определим первую производную при $r=r_0$

$$\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r_0} = N \left(\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0^2} - \frac{1}{\rho} C \cdot e^{-r_0/\rho} \right) = 0 \text{ Отсюда: } \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0^2} = \frac{1}{\rho} C \cdot e^{-r_0/\rho},$$

откуда коэффициент $C = \frac{\alpha e^2 \rho}{4\pi\epsilon_0 r_0^2 (e^{-r_0/\rho})}$

Подставим этот коэффициент в $U(r_0)$:

$$U(r_0) = -N \left(\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} - \frac{\alpha e^2 \rho}{4\pi\epsilon_0 r_0^2 (e^{-r_0/\rho})} \cdot e^{-r_0/\rho} \right) = -N \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(1 - \frac{\rho}{r_0} \right)$$

Сравним последнее выражение для энергии с $U(r_0) = -N \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \cdot \left(1 - \frac{1}{n} \right)$

Из сравнения видно, что $-\frac{\rho}{r_0} = -\frac{1}{n} \Rightarrow r_0 = \rho \cdot n$

Задачи для самостоятельного решения

1. Считая, что основная часть энергии кристалла ионного типа обусловлена кулоновским, т.е. электростатическим, взаимодействием, определить энергию 200 г каменной соли, постоянная решетки которой $a = 5,64 \text{ \AA}$. Воспользовавшись решением задачи №1, оценить в процентах долю энергии отталкивания в общую энергию данного кристалла каменной соли.
2. С какой силой взаимодействуют между собой соседние ионы цезия и хлора в кристалле хлористого цезия? (Ответ: $1,8 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$).

Теория теплоемкости твердых тел (классическая и квантовая по Эйнштейну).

№1. Найти удельные теплоемкости кристаллов алюминия и меди по классической теории.

$C_\mu = n \cdot 3R$ n - число частиц в формуле кристалла

$$1. \text{ Al } C = \frac{Cv}{\mu} = 3R/\mu_{\text{Al}} = 3 \cdot 8,31 / 26,98 \cdot 10^{-3} = 924 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$2. \text{ Cu } C = \frac{Cv}{\mu} = 3R/\mu_{\text{Cu}} = 3 \cdot 8,31 / 63,55 \cdot 10^{-3} = 392 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

№2. Вычислить удельные теплоемкости кристаллов NaCl и CaCl_2 по классической теории

$$1. \text{NaCl } C = \frac{n \cdot 3R}{\mu} = 2 \cdot 3 \cdot 8,31 / 58,46 \cdot 10^{-3} = 853 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$2. \text{CaCl}_2 \ C = \frac{n \cdot 3R}{\mu} = 3 \cdot 3 \cdot 8,31 / 110,98 \cdot 10^{-3} = 674 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

№3. Чему равна теплоемкость единицы объема кристалла бромида алюминия (AlBr_3) по классической теории? Плотность кристалла $3,01 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Дано:

$$\mu = 266,68 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$3,01 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 8,31 / 266,68 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho = 3,01 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{При } V = 1 \text{ м}^3 \quad \rho \equiv m, \text{ поэтому}$$

$$C = \frac{m}{\mu} \cdot n \cdot C_v = \frac{\rho}{\mu} \cdot n \cdot 3R =$$

$$= 1,13 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{К} = 1,13 \text{ МДж/м}^3 \cdot \text{К}$$

C - ?

№4. Определить изменение внутренней энергии кристалла никеля при нагревании от $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до $t_2 = 200^\circ\text{C}$. Масса кристалла $m = 20 \text{ г}$.

Дано:

$$m = 20 \text{ г} = 0,02$$

$$\mu = 58,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

потенциальной :

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 200^\circ\text{C}$$

Решение:

Для твердого тела энергия моля складывается в равных долях из энергии кинетической и энергии

$$E_\mu = \frac{3}{2} RT + \frac{3}{2} RT = 3RT$$

$$\text{Для любой массы } m \text{ кристалла} \quad E_m = \frac{m}{\mu} 3RT$$

C - ?

$$\text{следовательно } \Delta E_m = \frac{m}{\mu} 3R\Delta T = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 8,31}{58,7 \cdot 10^{-3}} \cdot 200 = 1699 \text{ Дж} \approx 1,7 \text{ кДж}$$

№5. Определить энергию и теплоемкость (по классической теории) системы, состоящей из 10^{25} классических трехмерных независимых гармонических осцилляторов при температуре 300К.

Дано:

Решение:

$$N = 10^{25} \text{ г}$$

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

МДж

$$t_2 = 200^\circ\text{C}$$

C - ?

E-?

$$E = \left(\frac{1}{2}kT + \frac{1}{2}kT\right) \cdot 3 \cdot N = 3kTN = 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^{25} = 0,124$$

$$C = \frac{dE}{dT} = 3kN = 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{25} = 4,14 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 414 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

№6. Чему равна средняя энергия $\langle \mathcal{E} \rangle$ линейного одномерного осциллятора по квантовой теории Эйнштейна при температуре $T = \theta$ ($\theta = 200\text{K}$)?

$$\text{Энергия одномерного осциллятора } \langle \mathcal{E} \rangle_{\text{кв}} = \frac{\pi\omega}{2} + \frac{\pi\omega}{e^{\frac{\pi\omega}{kT}} - 1} \quad \text{Но } \theta = \frac{\pi\omega}{k} \Rightarrow$$

$$\pi\omega = k\theta$$

$$\text{Следовательно, } \langle \mathcal{E} \rangle_{\text{кв}} = \frac{k\theta}{2} + \frac{k\theta}{e^{\frac{\theta}{T}} - 1} = k\theta \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e^{\frac{\theta}{T}} - 1} \right)$$

При $T = \theta$ имеем:

$$\langle \mathcal{E} \rangle_{\text{кв}} = k\theta \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{e - 1} \right) = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 200 \cdot (0,5 + 0,58) = 298 \cdot 10^{-23} = 2,98 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

№7. Определить частоту колебаний атомов серебра ν по квантовой теории Эйнштейна, если характеристическая температура θ серебра равна -108°C .

Решение:

$$\theta = \frac{\pi\omega}{k}, \quad \begin{cases} \omega = 2\pi\nu \\ \pi = h/2\pi \end{cases}; \quad \theta = \frac{h \cdot 2\pi\nu}{2\pi \cdot k} = \frac{h\nu}{k} \quad \text{откуда } \nu = \frac{\theta k}{h} = \frac{(-108 + 273) \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{6,62 \cdot 10^{-34}} =$$

$$34,4 \cdot 10^{11} \text{ Гц} = 3,44 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

№8. Определить по квантовой теории Эйнштейна изменение внутренней энергии одного килограмма кристалла при нагревании от нуля до $T_1 = 0,1\theta$. Принять $\theta = 300\text{K}$.

Решение:

Для одного трехмерного осциллятора при $T=0$ энергия равна $3 \cdot \frac{\pi\omega}{2}$. Для N_A осцилляторов $E_0 = N_A \cdot 3 \cdot \frac{\pi\omega}{2} = N_A \cdot \frac{3\pi\omega}{2} \cdot \frac{k}{k} = N_A \cdot \frac{3\theta k}{2} = \frac{3}{2} \theta R$

При $T>0$ для N_A осцилляторов имеем: $E = \frac{3}{2} \theta R + 3R \frac{\theta}{e^{\frac{\theta}{T}} - 1} = 3R \cdot \frac{300}{e^{10} - 1} = \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 300}{22026} = 0,34$ Дж.

№9. Найти нулевую энергию, которой обладает один килограмм кристалла цинка, если характеристическая температура для цинка равна 230 К.

Дано:

Решение:

$N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$ 1/кмоль
 $\theta = 230$ К
 $E_0 = ?$

Нулевая энергия одномерного кв. осциллятора $\frac{\pi\omega}{2}$
 Для киломоля кристалла $E_0 = N_A \cdot 3 \cdot \frac{\pi\omega}{2}$; $\theta = \frac{\pi\omega}{k} \Rightarrow \pi\omega = k\theta$
 Таким образом $E_0 = N_A \cdot 3 \cdot \frac{\theta k}{2} = \frac{3}{2} \theta R = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 230 =$
 $= 2866,95 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль}} = 2,87 \frac{\text{МДж}}{\text{кмоль}}$

Задачи для самостоятельного решения

1. Удельная теплоемкость алюминия при 20°C равна $840 \frac{\text{МДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Выполняется при этой температуре для него закон Дюлонга-Пти? (Ответ: нет)
2. Для нагревания металлического шарика массой 25 г от 10°C до 30°C затрачено 117 Дж теплоты. Определить теплоемкость шарика согласно закону Дюлонга-Пти и материал шарика. (Ответ: $108 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$, серебро).
3. Используя квантовую теорию Эйнштейна, вычислить изменение внутренней энергии одного килоатома кристалла при нагревании его на $\Delta T = 2\text{K}$ от температуры $T = \frac{1}{2} \theta$ (Ответ: 36 кДж).
4. С учетом нулевой энергии определить во сколько раз изменится средняя энергия квантового осциллятора, приходящаяся на одну степень свободы при повышении температуры от $T_1 = \frac{1}{2} \theta$ до $T_2 = \theta$ (Ответ: в 3,74 раза).
5. Определить отношение средней энергии квантовой осциллятора к средней энергии теплового движения молекул идеального газа при температуре $T = \theta$, где θ – характеристическая температура Эйнштейна. (Ответ: 1,16)

6. Определить относительную ошибку (в %), которая будет допущена, если при вычислении теплоемкости вместо значения, даваемого теорией Эйнштейна при $T=\theta$, воспользоваться значением, полученным по закону Дюлонга-Пти.

(Ответ: в 8,8%)

7. На нагревание металлического предмета массой 100 г от 20°C до 50°C затрачено 8,3 кДж теплоты. Определить, из какого металла изготовлен предмет, если указанный интервал температур выше характеристической температуры.

(Ответ: $9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$; бериллий)

7.4. Порядок процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности на этапе промежуточного контроля знаний

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена (зачета) обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также вычислительной техникой.

8. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), РАЗРАБОТАННОГО НА КАФЕДРЕ

1. Белко В.Н., Никишина А.И., Тарханов А.К., «Электричество и магнетизм». Лабораторный практикум по физике. Воронеж. ВГАСУ, 2012 г.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

| Вид учебных занятий | Деятельность студента |
|-----------------------|---|
| Лекция | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии. |
| Практические занятия | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму. |
| Лабораторные работы | Выполнения лабораторных работ проводить с использованием лабораторного практикума, где отражены рекомендации по их выполнению и защите. |
| Подготовка к экзамену | При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях. |

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендованная литература

Основная

- 1 Матухин, Вадим Леонидович. Физика твердого тела [Текст] : учеб. пособие / Матухин, Вадим Леонидович, Ермаков, Владимир Львович. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010 (Архангельск : ОАО "ИПП "Правда Севера", 2010). - 218 с.
- 2 Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. : учеб.

- пособие : рек. МО РФ. Т. 5 : Статистическая физика. Ч.1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского / Ландау, Лев Давидович, Лифшиц, Евгений Михайлович. - 5-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2010 59
- 3 Физика твердого тела [Текст] : учеб. пособие / Епифанов, Георгий Иванович. - 3-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2010 (Архангельск : ОАО "ИПП "Правда Севера", 2010). - 288 с. : ил. - Библиогр.: с. 282-283 (44 назв.).

Дополнительная

1. Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки (2011, Разумовская И.В., Прометей. МПГУ) .- ЭБС IPRbooks
2. Физико-химическая эволюция твердого вещества. Учебное пособие (2012, Мелихов И.В., БИНОМ. Лаборатория знаний) .- ЭБС IPRbooks

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА.

Аудиторный фонд.

12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (образовательные технологии)

Для более эффективного усвоения курса физики рекомендуется:

1. Чтение лекций по возможности осуществлять с использованием демонстрационных материалов и презентаций в программе «Microsoft Power Point», а также сопровождать ссылками на рекомендуемую литературу.
2. Перед выполнением лабораторных работ проводить самостоятельную подготовку теоретического и практического материала по теме лабораторной работы.
3. Подготовка тем для самостоятельной работы студентов, докладов и сообщений по тематике лекционного материала.
4. Лекции – учебные дискуссии (с использованием рабочих тетрадей, содержащих опорные конспекты изучаемых тем и пропущенные смысловые места для заметок, поправок, примеров) по темам, предусмотренным учебным планом.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ПрОПОП ВО по направлению подготовки 04.03.02 «Химия, физика и механика материалов»

Руководитель основной образовательной программы:

Доцент каф. химии

К.Х.Н., доцент

(занимаемая должность, ученая степень и звание)

О.В. Артамонова

(подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией строительно-технологического института « » _____ 20 г., протокол № ____.

Председатель

учёная степень и звание,

подпись, инициалы, фамилия

Эксперт

_____ (место работы)

_____ (занимаемая должность)

_____ (подпись) (инициалы, фамилия)

М П
организации