Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Факультет естественных наук

Согласовано

Декан ФЕН

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Резников В.А..

*подпись*

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Избранные главы физики твердого тела**

направление подготовки: 04.04.01 Химия

направленность (профиль): Химия

Форма обучения: очная

Разработчик:

к.х.н. Чижик С.А. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Зав. каф. физической химии

академик РАН, д.х.н., проф. Пармон В.Н. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Руководитель программы:

чл.-корр. РАН, проф. Нетесов С.В. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Новосибирск, 2020

**Содержание**

[1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 3](#_Toc21097778)

[2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 3](#_Toc21097779)

[3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося 4](#_Toc21097780)

[4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 4](#_Toc21097781)

[5. Перечень учебной литературы 7](#_Toc21097782)

[6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся 7](#_Toc21097783)

[7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины 7](#_Toc21097784)

[8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине 8](#_Toc21097785)

[9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине 8](#_Toc21097786)

[10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине 8](#_Toc21097787)

Приложение 1 Аннотация по дисциплине

Приложение 2 Оценочные средства по дисциплине

# Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

| Результаты освоения образовательной программы  (компетенции) | Индикаторы | Результаты обучения по дисциплине |
| --- | --- | --- |
| **М-ПК-4.** Способен использовать современные инструментальные методы для установления физических и физико-химических свойств известных и новых соединений и материалов | **М-ПК-4.1.** Исследует физические и физико-химические свойства (оптические, магнитные, электрические, каталитические, термические и т. п.) известных и новых соединений и материалов с применением современного научного оборудования и программного обеспечения | - имеет представление о механических, оптических, тепловых, электрических и магнитных свойствах твердых тел |
| **М-ПК-5.** Способен выбирать обоснованные подходы к анализу связи структура-свойство и к конструированию веществ и материалов c заданными химическими, физическими, физико-химическими свойствами и/или биологической активностью | **М-ПК-5.1.** Применяет знания о химических, физических, физико-химических свойствах и биологической активности известных веществ и материалов при анализе соотношения «структура-свойство» | - знает некоторые положения физики твердого тела, критически важные для материаловедения |
| **М-ПК-5.2.** Проводит анализ закономерностей «структура – свойство» в рядах известных аналогов, выявляет корреляции «структура – свойство» | - умеет использовать знания основ физики твердого тела при анализе закономерностей «структура – свойство» |

# 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплины (практики), изучение которых необходимо для освоения дисциплины Избранные главы физики твердого тела: физическая химия, физика, химия твердого тела.

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Избранные главы физики твердого тела: производственная практика, научно-исследовательская работа, итоговая государственная аттестация.

# 3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Трудоемкость дисциплины – 2 з.е. (72 ч)

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр –экзамен

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Вид деятельности | Семестр |
| 1 |
| 1 | Лекции, ч | 18 |
| 2 | Практические занятия, ч | 18 |
| 3 | Лабораторные занятия, ч |  |
| 4 | Занятия в контактной форме, ч  из них | 39 |
| 5 | из них аудиторных занятий, ч | 36 |
| 6 | групповая работа с преподавателем, ч | - |
| 7 | консультаций, час. | 1 |
| 8 | промежуточная аттестация, ч | 2 |
| 9 | Самостоятельная работа, час. | 33 |
| 10 | Всего, ч | 72 |

Реализация дисциплины включена в практическую подготовку в ИХТТМ СО РАН при проведении следующих видов занятий, часть из которых предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью:

- лекции;

- практические занятия.

# 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

***1 семестр***

Лекции (18 ч)

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование темы и их содержание | Объем,  час |
| **Раздел 1. Введение.** | |
| 1.1. Предмет и структура курса. Основные понятия. | 0,5 |
| 1.2. Основные физические свойства, характеризующие твердое состояние, и их взаимосвязь с особенностями строения. | 0,5 |
| **Раздел 2. Классификация строения твёрдых тел** | |
| 2.1. Аморфное и кристаллическое строение твёрдых тел; характеристика ближнего и дальнего порядка в их строении. Определение кристаллического состояния, как равновесного. Критерий вязкости для отделения жидкого и неупорядоченного твёрдого состояний. Метастабильность аморфного состояния. Термодинамическая стабильность кристаллического состояния. Полиморфизм. Фазовые переходы. | 1 |
| 2.2. Принципы описания и методы исследования структуры твёрдых тел. Понятие о симметрии при описании строения кристаллических веществ. Трансляционная симметрия. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Операции симметрии. Решетки Браве. Пространственные группы симметрии. Влияние симметрии кристаллов на их физические свойства. Анизотропия физических свойств. Тензорные величины. Принципы описания структуры аморфных тел. Симплексы. Радиальная функция распределения. Изучение строения кристаллических и аморфных тел дифракционными методами. Обратная решетка. За пределами принципов кристаллического и аморфного строения: квазикристаллы и паракристаллы. | 1 |
| 2.3. Классификация твердых тел по типам связи. Типы межатомных связей. Энергия связи. Вандерваальсово взаимодействие. Ковалентная связь. Ионная связь. Водородная связь. Металлическая связь. Влияние типа связи на ближний и дальний порядок в структуре твёрдых тел. | 1 |
| 2.4. Классификация твердых тел по типу и величине электропроводности и по ее температурной зависимости. Ионные, электронные и смешанные проводники. Влияние химической природы связи на электропроводность. Связь ионной проводимости кристаллов с точечными дефектами. Суперионники. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Металлическая проводимость в нестехиометрических соединениях. Классическая теория металлов Друде. | 1 |
| **Раздел 3. Механические свойства** | |
| 3.1. Упругие свойства. Деформации твердых тел. Энергия деформаций. Механические напряжения. Уравнения механического равновесия. Закон Гука для изотропных тел. Обобщенный закон Гука для анизотропных тел. Термоупругость. Напряженно-деформированные состояния в результате фазовых и химических превращений в кристаллах. | 1 |
| 3.2. Пластичность твердых тел. Основные механизмы пластичности твердых тел различного строения. Взаимосвязь пластичности кристаллических веществ с дефектностью. Температурная зависимость пластичности. Размерные эффекты. Эволюция дефектности и эффекты упрочнения в результате пластической деформации. | 1 |
| 3.3. Разрушение твердых тел. Теория хрупкого разрушения Гриффитса. Типы трещин. Локальные напряжения и деформации вблизи вершин статически нагруженных трещин. Силовой и энергетический критерии разрушения. Пластическое течение вблизи вершин трещин. Модели упругопластического разрушения. Динамическое разрушение. Усталостное разрушение. Прочность материалов. Влияние внешней среды на разрушение. Временная зависимость прочности. | 1 |
| **Раздел 4. Динамика кристаллической решетки.** | |
| 4.1. Колебания кристаллической решетки. Классическая теория гармонического кристалла. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантовая теория гармонического кристалла. Фононы. Нулевые колебания. Квантовый кристалл. Электрон-фононное взаимодействие. Поляроны. | 1 |
| **Раздел 5. Тепловые свойства** | |
| 5.1. Теполёмкость твёрдых тел. Закон Дюлонга-Пти. Теория теплоёмкости Эйнштейна. Теория Дебая. Статистика фононов. Теплоёмкость диэлектриков и металлов. Учёт вклада свободных электронов. | 0,5 |
| 5.2. Ангармонизм колебаний атомов решетки и его следствия. Тепловое расширение твердых тел. | 0,5 |
| 5.3. Теплопроводность твёрдых тел. Фононная теплопроводность и ее зависимость от температуры. Теплопроводность металлов. Учёт вклада свободных электронов. | 1 |
| **Раздел 6. Основы зонной теории.** | |
| 6.1. Статистика электронов в кристалле. Теория металлов Зоммерфельда. Энергия Ферми. Температура Ферми. Поверхность Ферми. | 0,5 |
| 6.2. Уравнение Шредингера для твёрдого тела. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Метод самосогласованного поля. Функции Блоха. Модель Кронига-Пенни. Приближение почти свободных электронов. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Метод сильной связи. Заполнение энергетических зон электронами и классификация твердых тел (металлы, полупроводники, диэлектрики). Эффективная масса электрона. Энергетические уровни примесных атомов и поверхностных состояний. | 1 |
| 6.3. Электронные дефекты в полупроводниках и диэлектриках. Дырки. Экситоны. Донорные и акцепторные состояния. Центры окраски. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность состояний. | 0,5 |
| **Раздел 7. Электрические свойства твёрдых тел.** | |
| 7.1. Основные свойства металлов. Электропроводность металлов. | 1 |
| 7.2. Электропроводность диэлектриков. | 0,5 |
| 7.3. Эффект Холла. | 0,5 |
| **Раздел 8. Свойства диэлектриков.** | |
| 8.1. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрическая восприимчивость. Упругая и тепловая поляризация. Связь поляризуемости с диэлектрической проницаемостью. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Пироэлектрики. Диэлектрические потери. | 1 |
| **Раздел 9. Магнитные свойства твёрдых тел** | |
| 9.1. Классификация магнетиков. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Обменное взаимодействие. Антиферромагнетизм. Ферримагнитные домены. | 1 |
| **Раздел 10. Оптические свойства твёрдых тел.** | |
| 10.1. Упругие и неупругие виды взаимодействия света с твёрдым телом. Отражение, преломление, рассеяние, вращение плоскости поляризации. Поглощение света. Фотолюминесценция. Фотоэлектрические эффекты. Оптические константы. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Коэффициент поглощения (коэффициент экстинкции), показатель преломления. Механизмы поглощения (межзонное, экситонное, поглощение свободными носителями заряда, примесное поглощение, фононное поглощение). Рекомбинационное излучение. Спонтанное и индуцированное излучение. Лазеры. | 1 |

Практические занятия (18 ч)

|  |  |
| --- | --- |
| Содержание практического занятия | Объем, час |
| Семинар по теме: Классификация строения твёрдых тел | 2 |
| Семинар по теме: Механические свойства | 2 |
| Семинар по теме: Динамика кристаллической решетки | 2 |
| Семинар по теме: Тепловые свойства | 2 |
| Семинар по теме: Основы зонной теории | 2 |
| Семинар по теме: Электрические свойства твёрдых тел | 2 |
| Семинар по теме: Свойства диэлектриков | 2 |
| Семинар по теме: Магнитные свойства твёрдых тел | 2 |
| Семинар по теме: Оптические свойства твёрдых тел | 2 |

Самостоятельная работа студентов (33 ч)

|  |  |
| --- | --- |
| Перечень занятий на СРС | Объем, час |
| Закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала | 6 |
| Уточнение и дополнение сведений и знаний, полученных на лекциях | 4 |
| Выполнение домашнего задания | 6 |
| Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях | 2 |
| Подготовка к экзамену | 15 |

# 5. Перечень учебной литературы

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. Москва, Наука, 1978. (55 экз)

2. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. Москва, Мир, 1974. (34 экз.)

3. Блейкмор, Дж. Физика твердого тела М. : Мир, 1988 (10 экз)

4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. Москва, Мир, 1979. (17 экз)

# 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

5. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твёрдого тела. Москва Высшая школа, 2000 (6 экз)

6. Задачи по физике твердого тела. Под редакцией Г.Дж. Голдсмида. Москва, Наука, 1976 (18 экз)

7. Борн M., Кунь Х., Динамическая теория кристаллических решеток, M., 1958; (2 экз)

8. Гинзбург, И. Ф. Введение в физику твердого тела: Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела : учеб. пособие [для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2007 (50 экз)

# 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

***7.1 Ресурсы сети Интернет***

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);

- образовательные интернет-порталы;

- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, электронную почту, социальные сети.

***7.2 Современные профессиональные базы данных:***

- Реферативно-библиографическая база данных Scopus (Elsevier)

- Реферативно-библиографическая база данных Scifinder (Chemical Abstracts Service)

- Библиометрическая база данных Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.)

# 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

***8.1 Перечень программного обеспечения***

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

***8.2 Информационные справочные системы***

Не используются.

# 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации;

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

# 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень результатов обучения по дисциплине *Избранные главы физики твердого тела* и индикаторов их достижения представлен в разделе 1.

***10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине***

***Текущий контроль успеваемости:***

В течение семестра преподаватель контролирует посещаемость, оценивает уровень подготовки студента к каждому лекционному занятию в коллективном обсуждении тем, рассматриваемых в рамках курса, проверяет выполнение домашнего задания.

Итоговую оценку за семестр студент получает, сдавая экзамен в устной форме.

***Промежуточная аттестация:***

***Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Избранные главы физики твердого тела***

Таблица 10.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Код компетенции** | **Индикатор** | **Результат обучения по дисциплине** | **Оценочное средство** |
| **М-ПК-4** | **М-ПК-4.1.** Исследует физические и физико-химические свойства (оптические, магнитные, электрические, каталитические, термические и т. п.) известных и новых соединений и материалов с применением современного научного оборудования и программного обеспечения | - имеет представление о механических, оптических, тепловых, электрических и магнитных свойствах твердых тел | Экзамен |
| **М-ПК-5** | **М-ПК-5.1.** Применяет знания о химических, физических, физико-химических свойствах и биологической активности известных веществ и материалов при анализе соотношения «структура-свойство» | - знает некоторые положения физики твердого тела, критически важные для материаловедения | Экзамен |
| **М-ПК-5.2.** Проводит анализ закономерностей «структура – свойство» в рядах известных аналогов, выявляет корреляции «структура – свойство» | - умеет использовать знания основ физики твердого тела при анализе закономерностей «структура – свойство» | Экзамен |

Таблица 10.2

|  |  |
| --- | --- |
| **Критерии оценивания результатов обучения** | **Шкала**  **оценивания** |
| **Экзамен:**  –  наличие полных ответов на все вопросы с непринципиальными неточностями,  – осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность ответов,  – точность и корректность применения терминов и понятий,  – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. | *отлично* |
| **Экзамен:**  –  наличие полных ответов на все вопросы с несущественными ошибками,  – осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность ответов, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явлений,  – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок,  – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок. | *Хорошо* |
| **Экзамен:**  –  наличие ответов на все вопросы, часть из которых неполные и/или с существенными ошибками,  – осмысленность и структурированность в изложении материала, наличие ошибок в логике, аргументации и объяснении отдельных процессов и явлений,  – корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок,  – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы. | *Удовлетворительно* |
| **Экзамен:**  –  наличие ответов не на все вопросы, часть из которых неполные и/или с существенными ошибками,  – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала,  –  грубые ошибки в применении терминов и понятий,  – отсутствие ответов на дополнительные вопросы. | *Неудовлетворительно* |

***Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения***

1. Назовите основные различия между кристаллическими и аморфными твердыми телами.

2. Кристаллическая решетка, базис, вектор кристаллической решетки, вектор внутренних смещений.

3. Типы межатомных связей. Вандерваальсово взаимодействие. Ионная связь.

4. Типы межатомных связей. Ковалентная и водородная связь. Металлическая связь.

5. Операции симметрии в кристаллической решетке. Трансляционная симметрия.

6. Решетка Браве. Основные типы двухмерных решеток Браве и их симметрии.

7. Решетка Браве. Основные типы трехмерных решеток Браве. Базоцентрированная, объемоцентрированная, гранецентрированная.

8. Кристаллографическая плоскость и кристаллографическое направление. Индексы Миллера.

9. Колебания одноатомной линейной цепочки масс. Дисперсионное соотношение. Длинноволновый и коротковолновый пределы.

10. Колебания двухатомной линейной цепочки масс. Дисперсионное соотношение. Длинноволновый и коротковолновый пределы.

11. Теплоемкость твердых тел. Фононы. Классическая модель теплоемкости.

12. Модель теплоемкости Эйнштейна. Функция Эйнштейна. Температура Эйнштейна.

13. Модель теплоемкости Дебая. Функция Дебая. Температура Дебая.

14. Дифракция в кристаллах. Три вида излучения для изучения кристаллов. Условие Брэгга.

15. Обратное пространство. Условие Брэгга в обратном пространстве.

16. Статистика электронов в кристалле. Уравнение Шредингера. Валентная аппроксимация. Приближение самосогласованного поля.

17. Статистика электронов в кристалле. Уравнение Шредингера. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение.

18. Статистика электронов в кристалле. Уравнение Шредингера. Функции Блоха. Область определения волнового вектора и его дискретность.

19. Статистика электронов в кристалле. Основные различия между металлами диэлектриками и полупроводниками.

20. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные состояния. Элементарная теория примесных состояний.

21. Статистика носителей зарядов в полупроводниках. Плотность состояний. Взаимная компенсайия доноров и акцепторов.

22. Потенциальный барьер. Работа выхода. Эмиссия электронов с поверхности твердого тела.

23. Контактная разность потенциалов. Контакт металл-металл. Контакт металл-полупроводник.

24. p-n-переход. Вольтамперная характеристика p-n-перехода. Полупроводниковые приборы.

Дополнительные вопросы

1. Объемоцентрированная, базоцентрированная, гранецентрировання решетка.

2. Вектор кристаллической решетки и вектор внутренних смещений.

3. Типы межатомных связей.

4. Сколько основных типов двухмерных решеток Браве?

5. Кристаллографическая плоскость.

6. Кристаллографическое направление.

7. Дисперсионная кривая однородной линейной цепочки масс.

8. Дисперсионная кривая двухатомной линейной цепочки масс.

9. Дисперсионная кривая однородной трехмерной решетки.

10. Классическая модель теплоемкости.

11. Основные положения модели теплоемкости Эйнштейна.

12. Основные положения модели теплоемкости Дебая.

13. Три вида излучения для изучения кристаллов.

14. Условие Брэгга.

15. Условие Брэгга в обратном пространстве.

16. Валентная аппроксимация.

17. Приближение самосогласованного поля.

18. Адиабатическое приближение.

19. Одноэлектронное приближение.

20. Функции Блоха.

21. Собственные и примесные полупроводники.

22. Потенциальный барьер.

23. Работа выхода.

24. Виды эмиссии электронов с поверхности твердого тела.

25. Контактная разность потенциалов.

26. Вольтамперная характеристика p-n-перехода.

26. Вольтамперная характеристика p-n-перехода.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 2), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

**«Избранные главы физики твердого тела»**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа) | Дата и №  протокола Ученого совета ФЕН | Подпись  ответственного |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |