

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

\_\_\_\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Физика конденсированного состояния Б3.Б.1

Направление подготовки: 222900.62 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Садыков Э.К.

**Рецензент(ы):**

Петухов В.Ю.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров Л. Р.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Садыков Э.К. Кафедра физики твердого тела Отделение физики, Edgar.Sadykov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью дисциплины "Физика конденсированного состояния" является: знакомство с представлениями об электронных состояниях и решеточных колебаниях в трансляционно-периодической среде (функции Блоха, зонная теория), с квантовым поведением электронной и колебательной систем в кристалле (эффекты вырождения электронного газа, нулевые колебания). Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных компетенций (ПК).

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "БЗ.Б.1 Профессиональный" основной образовательной программы 222900.62 Нанотехнологии и микросистемная техника и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Данная учебная дисциплина включена в раздел "БЗ.ДВ.1 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Курс "Физика конденсированного состояния" опирается на электродинамику, статистическую термодинамику и квантовые представления о веществе, на освоенный материал по атомной физике и физике ядра. Задача этого курса - показать, как свойства реальных материалов способствуют применению их на практике, как физические эффекты дают начало многочисленным функциональным приборам или оригинальным методам исследования. Курс знакомит студентов с основными разделами физики твердого тела и закладывает базу теоретических знаний для продвижения в этой области. Целью является также определенный обзор фундаментальных проблем физики конденсированного состояния. В программу курса включено рассмотрение различных типов связей между атомами в кристалле, различных моделей колебательного движения и возможных типов электронных состояний. Затрагиваются основы рентгеноструктурного анализа и методов мессбауэровской спектроскопии. Проводится анализ возможных типов магнитных состояний кристалла и вычисление их отклика на внешнее магнитное поле. Значительное внимание уделено введению в инструментарий физики твердого тела, основанный на трансляционной симметрии кристаллов: обратная решетка, закон дисперсии, теорема Блоха, законы сохранения квазиимпульса и энергии.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                        | Расшифровка приобретаемой компетенции  |
|---|--|
| ОК-7<br>(общекультурные компетенции)    | способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);  |
| ОПК-2<br>(профессиональные компетенции) | способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2); |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Природу и характер колебательного движения атомов в кристалле, квантовый характер электронных состояний в кристалле (волновая природа, принцип Паули), классические и квантовые модели движения магнитных моментов в магнитных кристаллах. Законы дисперсии для возбуждений в твердых телах, полуклассические уравнения движения для электронов в кристалле, явления переноса во внешних полях, смысл внутренней энергии в твердых телах, теплоемкость. Экспериментальные проявления квантового характера движений на микроскопическом уровне (в частности, эффекты вырождения электронного газа) в твердых телах.

2. должен уметь:

Производить оценку энергии элементарных возбуждений. Интерпретировать формирование отклика на внешний сигнал для различных методов физического эксперимента с учетом элементарных возбуждений. Различать особенности экспериментов, использующих дифракционный или резонансный принцип.

3. должен владеть:

Методами расчетов и представлением о принципе работы базовых измерительных приборов, необходимых для проведения простейших экспериментов, что должно обеспечиваться такими структурными элементами программы как решение задач. Представлениями зонной теории электронных и колебательных состояний в кристалле, знанием экспериментальных результатов, объяснение которых возможно только при условии привлечения квантовой теории. Знаниями основных экспериментальных методов физики твердого тела: рентгеноструктурного анализа, ядерно-физических методов исследования твердых тел (метод дифракции нейтронов, мессбауэровской спектроскопии). Эти способности приобретаются в процессе самостоятельных занятий при подготовке к семинарским занятиям.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Оперировать представлениями зонной теории электронных и колебательных состояний в кристалле, об экспериментальных результатах, объяснение которых возможно только при условии привлечения квантовой теории.

Демонстрировать знание основных экспериментальных методов физики твердого тела: рентгеноструктурного анализа, ядерно-физических методов исследования твердых тел (метод дифракции нейтронов, мессбауэровской спектроскопии). Эти способности приобретаются в процессе семинарских занятий..

#### **4. Структура и содержание дисциплины/ модуля**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных(ые) единиц(ы) 288 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет и экзамен в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю Тематический план дисциплины/модуля

| N   | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля                                       | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|-----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|     |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 1.  | Тема 1. Основные разделы физики твёрдого тела.                        | 6       | 1,2                | 4   | 3                       | 0                      | устный опрос              |
| 2.  | Тема 2. Электронная структура твердых тел.                            | 6       | 3,4                | 4   | 6                       | 4                      | устный опрос              |
| 3.  | Тема 3. Статистика носителей в полупроводниках.                       | 6       | 5,6                | 4   | 6                       | 12                     | устный опрос              |
| 4.  | Тема 4. Колебательное движение в твердых телах.                       | 6       | 7,8                | 4   | 3                       | 12                     | устный опрос              |
| 5.  | Тема 5. Вычисление электропроводности в полупроводниках и в металлах. | 6       | 9                  | 2   | 3                       | 0                      | устный опрос              |
| 6.  | Тема 6. Квантование колебаний решетки.                                | 6       | 10                 | 2   | 3                       | 6                      | коллоквиум                |
| 7.  | Тема 7. Температурное поведение теплоемкости твердых тел.             | 6       | 11                 | 2   | 6                       | 0                      | устный опрос              |
| 8.  | Тема 8. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам.          | 6       | 12,13              | 4   | 9                       | 16                     | устный опрос              |
| 9.  | Тема 9. Оптические свойства твердых тел.                              | 6       | 14,15              | 4   | 6                       | 0                      | устный опрос              |
| 10. | Тема 10. Электрическая доменная неустойчивость в полупроводниках.     | 6       | 16                 | 2   | 3                       | 4                      | коллоквиум                |

| N   | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля |
|-----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------|
|     |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                           |
| 11. | Тема 11. Физика<br>твердого тела в<br>развитии: актуальные<br>области исследования. | 6       | 17,18              | 4   | 6                       | 0                      | устный опрос              |
|     | Тема . Итоговая<br>форма контроля   | 6       |                    | 0   | 0                       | 0                      | экзамен<br>зачет          |
|     | Итого   |         |                    | 36  | 54                      | 54                     |                           |

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Основные разделы физики твёрдого тела.

###### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Классификация твердых тел по типу связи между атомами. Симметрия кристаллических решеток. Обратная решетка.

###### **практическое занятие (3 часа(ов)):**

Решение задач: на симметрию кристаллических решеток, обратную решетку. Задачи по физике твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

##### Тема 2. Электронная структура твердых тел.

###### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Электронные состояния в кристалле. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Блоховские состояния. Зона Бриллюэна. Закон дисперсии. Эффективная масса. Скорость электрона. Квазиимпульс электрона. Скорость изменения квазиимпульса. Полуклассическая модель динамики электронов в кристалле. Метод эффективной массы. Примесные уровни. Примесные зоны. Классификация твердых тел по электропроводности. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Блоховские состояния. Закон дисперсии. Эффективная масса. Классификация твердых тел по электропроводности. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Блоховские состояния. Закон дисперсии. Эффективная масса. Классификация твердых тел по электропроводности.

###### **практическое занятие (6 часа(ов)):**

Решение задач: на симметрию кристаллических решеток, обратную решетку. Задачи по физике твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

###### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Рентгеноструктурный анализ (4 часа).

##### Тема 3. Статистика носителей в полупроводниках.

###### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Статистика носителей в полупроводниках. Функция плотности состояний. Концентрация носителей. Вырожденное и невырожденное распределение носителей. Явления переноса, Кинетическое уравнение Больцмана. Анализ кинетического уравнения Больцмана. Интеграл столкновений. Приближение релаксации. Время релаксации импульса. Механизмы рассеяния носителей. Электропроводность. Зависимость подвижности от температуры.

###### **практическое занятие (6 часа(ов)):**

Решение задач: Модели магнитного упорядочения. Задачи по физике твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

**лабораторная работа (12 часа(ов)):**

Температурная зависимость электропроводности в металлах и полупроводниках (6 часов).  
Эффект Холла. (6 часов).

**Тема 4. Колебательное движение в твердых телах.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Колебания решетки. Модель Эйнштейна и модель Дебая для колебательного движения.  
Акустические и оптические ветви колебаний. Квантование решеточных колебаний. Фононы.  
Закон дисперсии для фононов. Модель Дебая.

**практическое занятие (3 часа(ов)):**

Решение задач: Вычисление парамагнитной восприимчивости. Задачи по физике твердого  
тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция  
физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

**лабораторная работа (12 часа(ов)):**

Внутренний фотоэффект (8 часов). Вольт-амперная характеристика р-п перехода (4 часа).

**Тема 5. Вычисление электропроводности в полупроводниках и в металлах.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Особенности проводимости в полупроводниках и металлах. Вырождение электронного газа.  
Статистика электронов в металле. Зависимость уровня Ферми от температуры в металлах.  
Электронная теплоемкость в металлах. Соотношения и явления, свидетельствующие о  
вырождении электронного газа.

**практическое занятие (3 часа(ов)):**

Решение задач: Вычисление закона дисперсии для спиновых волн (магнонов) Задачи по  
физике твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция  
физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

**Тема 6. Квантование колебаний решетки.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Нулевые колебания. Квантовые кристаллы. Акустоэлектрический эффект. Фононы и их  
взаимодействие с электронами. Квантование колебаний решетки. Фононы. Операторы  
рождения, оператор числа фононов, оператор смещения. Выражение для энергии колебаний  
кристалла. Представление вторичного квантования.

**практическое занятие (3 часа(ов)):**

Решение задач: Представление вторичного квантования. представление оператора смещения  
через фононные операторы. Расчет фононных процессов рассеяния. Задачи по физике  
твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция  
физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

**лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Исследование биполярного транзистора ( 6 часов).

**Тема 7. Температурное поведение теплоемкости твердых тел.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Решеточная теплоемкость. Поведение решеточной теплоемкости твердых тел с температурой.  
Закон Дебая. Температура Дебая, как важная характеристика кристалла . Соотношение  
между решеточной теплоемкостью и электронной теплоемкостью.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Решение задач: Вычисление фактора Дебая -Валлера. Выражения для температур много  
ниже и больше температуры Дебая. Роль нулевых колебаний решетки. Задачи по физике  
твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция  
физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

**Тема 8. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Магнетизм твердых тел: парамагнетизм, диамагнетизм, состояние магнитного упорядочения. Магнитная восприимчивость. Модель Вейсса. Типы магнитного упорядочения. Магнитные возбуждения ? спиновые волны, методы исследования магнетизма твердых тел. Физические принципы элементов памяти на магнитных материалах. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам. Магнитное упорядочение. Модель Вейсса. Температура Кюри. Спиновые волны. Доменная структура. Стенки Блоха.

**практическое занятие (9 часа(ов)):**

Семинарские занятия: 1.МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ 2.СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ, МАГНОНЫ. 3.МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ ВЕЙССА. 4.АДИАБАТИЧЕСКОЕ РАЗМАГНИЧИВАНИЕ. 5,6,11,15.Магнитное упорядочение. Спиновые волны

**лабораторная работа (16 часа(ов)):**

Исследование характеристик солнечной батареи при различных сопротивлениях нагрузки и освещения (6). Магнитное упорядочение и фазовый переход в магнетиках. Определение точки Кюри (6 ч.). Исследование светодиодов(4 ч.).

**Тема 9. Оптические свойства твердых тел.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Оптические свойства твердых тел. Коэффициент поглощения в полупроводниках (межзонные переходы). Прямые оптические переходы. Полупроводники с прямой зонной структурой. Твердотельные излучатели: инжекционные лазеры, светодиоды. Условие инверсии в полупроводниках. Пороговый ток. Гетеропереходы в инжекционных лазерах. Электронное и оптическое ограничение. Квантовый выход, КПД инжекционных диодов.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Семинарские занятия: 1.ОБРАТНАЯ РЕШЕТКА КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛАХ. 2.ФАКТОР ДЕБАЯ-ВАЛЛЕРА. 3. ОСНОВЫ РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОГО АНАЛИЗА 4. ОСНОВЫ РЕНТГЕНО ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ 1,10,13,14.Коэффициент поглощения. Активная среда.

**Тема 10. Электрическая доменная неустойчивость в полупроводниках.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Нарушение закона Ома в сильных полях. Электрическая доменная неустойчивость в полупроводниках. Горячие электроны. Электронная температура. Дрейфовый механизм неустойчивости. Концентрационный механизм. Эффект Ганна, генераторы Ганна.

**практическое занятие (3 часа(ов)):**

Семинарские занятия: 1. ЭФФЕКТ ГАННА 2. ИНЖЕКЦИОННЫЙ ЛАЗЕР (НА P-N ПЕРЕХОДЕ). 2,9.Полупроводниковый инжекционный лазер (4 ч.). Исследование светодиодов ( 4 ч.).

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Полупроводниковый инжекционный лазер (4 ч.).

**Тема 11. Физика твердого тела в развитии: актуальные области исследования.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Современные материалы: новые представления, новые структуры. Функциональные возможности полупроводниковых и магнитных гетероструктур. Представление о топологических диэлектриках.

**практическое занятие (6 часа(ов)):**

Семинарские занятия: 1. СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. 2. ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА. 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА ДИСПЕРСИИ ФОНОНОВ. 4. НЕЙТРОНОГРАФИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

| N | Раздел Дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|---|-------------------|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
|---|-------------------|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|

Тема 1. Основные

Регистрационный номер

Страница 8 из 17.



разделы физики твёрдого тела.

устному опросу

| N   | Раздел<br>Дисциплины   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды<br>самостоятельной<br>работы<br>студентов | Трудоемкость<br>(в часах) | Формы контроля<br>самостоятельной<br>работы |
|-----|--|---------|--------------------|--|---------------------------|---|
| 2.  | Тема 2. Электронная структура твердых тел.                                 | 6       | 3,4                | подготовка к устному опросу                    | 4                         | устный опрос                                |
|     |  |         |                    | подготовка к устному опросу                    | 4                         | устный опрос                                |
| 3.  | Тема 3. Статистика носителей в полупроводниках.                            | 6       | 5.6                | подготовка к устному опросу                    | 6                         | устный опрос                                |
| 4.  | Тема 4. Колебательное движение в твердых телах.                            | 6       | 7,8                | подготовка к устному опросу                    | 4                         | устный опрос                                |
|     |  |         |                    | подготовка к устному опросу                    | 6                         | устный опрос                                |
| 5.  | Тема 5. Вычисление электропроводности в полупроводниках и в металлах.      | 6       | 9                  | подготовка к устному опросу                    | 6                         | устный опрос                                |
| 6.  | Тема 6. Квантование колебаний решетки.                                     | 6       | 10                 | подготовка к коллоквиуму                       | 8                         | коллоквиум                                  |
| 7.  | Тема 7. Температурное поведение теплоемкости твердых тел.                  | 6       | 11                 | подготовка к устному опросу                    | 8                         | устный опрос                                |
| 8.  | Тема 8. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам.               | 6       | 12,13              | подготовка к устному опросу                    | 12                        | устный опрос                                |
| 9.  | Тема 9. Оптические свойства твердых тел.                                   | 6       | 14,15              | подготовка к устному опросу                    | 8                         | устный опрос                                |
| 10. | Тема 10. Электрическая доменная неустойчивость в полупроводниках.          | 6       | 16                 | подготовка к коллоквиуму                       | 6                         | коллоквиум                                  |
| 11. | Тема 11. Физика твердого тела в развитии: актуальные области исследования. | 6       | 17,18              | подготовка к устному опросу                    | 14                        | устный опрос                                |
|     | Итого  |         |                    |  | 90                        |   |

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Традиционные: учебно-методическая литература, конспекты лекций, электронные версии обзорных статей и монографий. Эффективное использование семинарских форм аудиторных занятий, средств визуализации, презентаций в формате PPT.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Основные разделы физики твёрдого тела.**

устный опрос , примерные вопросы:

Перечень вопросов: Типы связи между атомами в твердых телах. Характерные энергии связи. Симметрия кристаллических решеток. Обратная решетка как инструментальный описания кристаллической решетки. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 2. Электронная структура твердых тел.**

устный опрос , примерные вопросы:

устный опрос , примерные вопросы:

Перечень вопросов: Смысл закона дисперсии. Критерий одноэлектронного приближения. Эффективная масса электрона. Электрон как квазичастица. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 3. Статистика носителей в полупроводниках.**

устный опрос , примерные вопросы:

Роль теоремы Блоха в кристаллах. Вырожденное и невырожденное распределение носителей. Физический смысл электронного вырождения. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 4. Колебательное движение в твердых телах.**

устный опрос , примерные вопросы:

устный опрос , примерные вопросы:

Отличия модели Эйнштейна и модели Дебая. Особенности квантовых кристаллов. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 5. Вычисление электропроводности в полупроводниках и в металлах.**

устный опрос , примерные вопросы:

Как влияет электронное вырождение на электропроводность. Особенности проводимости в металлах и полупроводниках. Как зависит подвижность носителей в примесных полупроводниках. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 6. Квантование колебаний решетки.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Закон Дебая для теплоемкости. Квантование колебаний решетки. Оператор рождения, уничтожения. Как проявляются колебания решетки в экспериментах по рассеянию рентгеновских лучей и гамма фотонов . (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 7. Температурное поведение теплоемкости твердых тел.**

устный опрос , примерные вопросы:

Решеточная теплоемкость. Закон Дебая. Как определяется температура Дебая для данного вещества. Как связана температура Дебая с фононным спектром кристалла. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 8. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам.**

устный опрос , примерные вопросы:

Классификация твердых тел по магнитным свойствам. Чем отличаются парамагнитные восприимчивости по Ланжевену и по Бриллюэну. Модель магнитного упорядочения Вейсса. Что такое молекулярное поле Вейсса. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

### **Тема 9. Оптические свойства твердых тел.**

устный опрос , примерные вопросы:

Электролюминесценция на p-n переходе. Активная среда в инжекционном лазере. Условие инверсии (заселенностей) в полупроводниках. Какие преимущества имеет двойная гетероструктура. Чем отличаются гетеропереходы от обычных p-n переходов. (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

#### **Тема 10. Электрическая доменная неустойчивость в полупроводниках.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Вопросы к коллоквиуму: Неустойчивость физических процессов в твердых телах. Привести примеры "полезных" неустойчивостей . (направлен на формирование компетенций ОК-7, ОПК-2)

#### **Тема 11. Физика твердого тела в развитии: актуальные области исследования.**

устный опрос , примерные вопросы:

Топологические диэлектрики.

#### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету и экзамену:

Примерные вопросы к экзамену:

1. Элементы кристаллографии. Ячейка Вигнера-Зейтца.
2. Свойства обратной решетки.
3. Колебания решетки. Модель Эйнштейна, модель Дебая.
4. Колебания решетки: акустическая ветвь колебаний.
5. Колебания решетки: оптическая ветвь колебаний.
6. Квантование колебаний решетки. Фононы.
7. Колебательная энергия, теплоемкость твердых тел, закон Дебая.
8. Функции Блоха для электронов. Зона Бриллюэна. Эффективная масса.
9. Скорость электрона. Скорость изменения квазиимпульса.
10. Закон дисперсии для свободных электронов и блоховских электронов.
11. Определение закона дисперсии методом ЛКАО; простая кубическая решетка.
12. Полуклассическое движение блоховских электронов во внешних полях.
13. Функция плотности электронных состояний. Концентрация носителей.
14. Классификация твердых тел по их электропроводности.
15. Классификация твердых тел по магнитным свойствам. Магнитная восприимчивость.
16. Магнитное упорядочение в твердых телах. Модель молекулярного поля Вейсса.
17. Представление о спиновых волнах.
18. Металлы. Электронная теплоемкость. Электронное "вырождение".
19. Оптические свойства твердых тел. Полупроводники как лазерные материалы.
20. Эффект Мессбауэра.
21. Условия дифракции излучений на кристалле.
22. Явления неустойчивости в полупроводниках.

#### **ТЕМЫ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1. ОБРАТНАЯ РЕШЕТКА КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛАХ.
2. ИНЖЕКЦИОННЫЙ ЛАЗЕР (НА P-N ПЕРЕХОДЕ).
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА ДИСПЕРСИИ ФОНОНОВ.
4. ЯВЛЕНИЯ НА P-N ПЕРЕХОДЕ. КОНТАКТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ.
5. МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ ВЕЙССА.
6. АДИАБАТИЧЕСКОЕ РАЗМАГНИЧИВАНИЕ.
7. СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.
8. ЭФФЕКТ МЕССБАУЭРА.

## 9. ЭФФЕК ГАННА.

## 10. ФАКТОР ДЕБАЯ-ВАЛЛЕРА.

## 11. СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ, МАГНОНЫ.

## 12. НЕЙТРОНОГРАФИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

## 13. ОСНОВЫ РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОГО АНАЛИЗА

## 14. ОСНОВЫ РЕНТГЕНО ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ

## 15. МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

## ВОПРОСЫ ДЛЯ УСТНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ.

1. Чем вызвано использование понятия обратной решетки в аппарате физики твердого тела?
2. Может ли эффективная масса иметь отрицательное значение.
3. В каком случае справедлив закон действующих масс?
4. В каком случае говорят о "квантовых" кристаллах?
5. Используется ли теорема Блоха при описании колебаний узлов решетки (фононов) и колебаний их магнитных моментов (магнонов)?
6. В чем проявляется вырождение электронного газа?
7. Как согласовать протяженность блоховской функции с представлением об электроне как о локализованном объекте?
8. Как проявляется существование нулевых колебаний на опыте?
9. Почему мы говорим, что оптические переходы прямые?
10. Какова функция (миссия) интеграла столкновений в кинетическом уравнении Больцмана?
11. Чем отличается "физика твердого тела" от "механики твердого тела"?
12. Что является "неустойчивым" при реализации эффекта Ганна?
13. Чем отличаются оптические колебания в кристалле от акустических?
14. В чем проявляется вырождение электронного газа?

Основная и дополнительная литература приведена в 7.1, 7.2, 7.3; см. также

Задачи по физике твердого тела: перевод с английского/ под.ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

### 7.1. Основная литература:

1. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3, 500 экз.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=363421>

2. Основы физики частично упорядоченных сред : жидкие кристаллы, коллоиды, фрактальные структуры, полимеры и биологические объекты / М. Клеман, О. Д. Лаврентович ; пер. с англ.: Е. Б. Логинова [и др.] ; под. ред. С. А. Пикина, В. Е. Дмитриенко .? Москва : Физматлит, 2007 .? 680 с..

3. Основы физики конденсированного состояния : [учебное пособие] / Ю. В. Петров .? Долгопрудный : Интеллект, 2013 .? 213 с.

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Введение в физику твердого тела : перевод с английского / Ч. Киттель ; Под ред. и пер. А. А. Гусева; Пер. А. В. Пахнева .? Москва : Наука, 1978 .? 792 с. : ил.
2. Фейнмановские лекции по физике = The feynman lectures on physics : [полн. курс общ. физики] / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; Под ред. Я.А. Смородинского .? М. : Едиториал УРСС, 2004. Вып. 7: Физика сплошных сред / Пер. с англ. А. В. Ефремова и Ю. А. Симонова .? 3-е изд. ? 2004 .? 286, [1] с. : ил., граф. ; 22 .? ISBN 5-354-00705-4, 2000.
3. Задачи по физике твердого тела: перевод с английского/ под ред Г.Дж.Голдсмида. Главная редакция физико-математической литературы, М.: Наука, 1976. 431 с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Информационно-аналитическая система продвижения образовательных продук - <http://nano.fcior.edu.ru/card/27564/lekcii-po-discipline-sovremennye-problemy-fiziki-kondensirovannogo-sostoyaniya>  
МГУ им. Ломоносова - [shg.phys.msu.ru/educat/cond\\_mat/notes.html](http://shg.phys.msu.ru/educat/cond_mat/notes.html)  
нанотехнологическое сообщество Нанометр - [http://www.nanometer.ru/2010/04/03/msu\\_210223.html](http://www.nanometer.ru/2010/04/03/msu_210223.html)  
НИИЯФ МГУ им. Ломоносова - <http://nuclphys.sinp.msu.ru/solidst/index.html#%D1%81>  
Образовательный проект А.Н. Варгина - [www.ph4s.ru/book\\_ph\\_tv\\_telo.html](http://www.ph4s.ru/book_ph_tv_telo.html)

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Физика конденсированного состояния" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Лаборатория магнитных и полупроводниковых материалов.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки не предусмотрено .



Автор(ы):

Садыков Э.К. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Петухов В.Ю. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.