

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана
физического факультета _____

Малышев А.И.

« 30 » августа 2017г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физика конденсированного состояния

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 «Физика»

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очно-заочная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2017

год набора 2017

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к дисциплинам базовой части Б1.Б.10.5 блока 1 основной профессиональной образовательной программы по направлению 03.03.02 «Физика». Данная дисциплина преподаётся в восьмом семестре.

Для усвоения курса необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Физика» (общий курс), «Кристаллография», «Математическая физика». Всестороннее овладение данной дисциплиной является необходимым условием для последующего изучения студентами таких дисциплин, как «Физика полупроводников», «Физические основы электроники», «Нанoeлектроника» и т.д.

Целью освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» является формирование у студентов систематизированных знаний в следующих областях:

- Методы исследования атомной структуры конденсированного состояния
- Типы связей и дефекты кристаллической решетки
- Механические свойства твердых тел. Колебания атомов кристаллической решетки и тепловые свойства кристаллов
- Тепловые, электрические, оптические и магнитные свойства
- Сверхпроводимость
- Свойства аморфных твердых тел.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

| Формируемые компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций |
|--|---|
| ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин | <p>31 (ПК-1) Знать физико-математический аппарат, необходимый для решения задач в области физики конденсированного состояния и смежных с ней дисциплинах.</p> <p>32 (ПК-1) Знать на базовом уровне методы определения кристаллической структуры, механических, электрических, оптический и магнитных свойств твердого тела.</p> <p>У1 (ПК-1) <i>Уметь</i> решать типовые учебные задачи по основным разделам физики конденсированного состояния</p> <p>У2 (ПК-1) <i>Уметь</i> использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в физике конденсированного состояния и смежных дисциплинах.</p> <p>В1(ПК-1) <i>Владеть</i> навыками использования теоретических основ базовых разделов физики твердого тела и естественнонаучных дисциплин при решении конкретных задач по физике конденсированного состояния</p> |
| ПК-4 способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин | <p>31 (ПК-4) Знать основные принципы описания физических явлений в конденсированном состоянии, понимать связь между пространственной структурой, природой межатомных взаимодействий и свойствами вещества в конденсированном состоянии, иметь представления о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества.</p> |

| | |
|--|---|
| | <p><i>У1 (ПК-4) Уметь</i> применять полученные теоретические знания и математический аппарат для решения теоретических и экспериментальных задач в области физики твердого тела</p> <p><i>У2 (ПК-4) Уметь</i> определять кристаллическую структуру, механические, электрические, оптические и магнитные свойства</p> <p><i>В1 (ПК-4) Владеть</i> способностью прогнозировать изменение свойств и характеристик твердотельных структур при изменении внешних условий или воздействий</p> |
|--|---|

3. Структура и содержание дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Объем дисциплины составляет 7 зачетных единиц, всего 252 часа, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 218 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|--|--------------|--|---------------------------|----------------------------|--------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Всего | |
| | Очно-заочное | Очно-заочное | Очно-заочное | Очно-заочное | Очно-заочное | Очно-заочное |
| 1. Введение. Понятие конденсированного состояния вещества. Методы исследования структуры, элементного и фазового состава конденсированного состояния | | 2 | 2 | | | 11 |
| 2. Межатомное взаимодействие в конденсированном состоянии. Природа химической связи в конденсированном состоянии | | 2 | - | | | 11 |
| 3. Дефекты в кристаллах | | 1 | - | | | 20 |
| 4. Деформация твердых тел | | 2 | 2 | | | 20 |
| 5. Динамика кристаллической решетки | | 2 | 2 | | | 20 |
| 6. Электрическая поляризация конденсированного состояния | | 2 | 2 | | | 20 |
| 7. Неквантовые теории для описания электронов проводимости в конденсированном состоянии | | 2 | 2 | | | 20 |
| 9. Электрическая проводимость твердых тел | | 2 | 2 | | | 20 |
| 10. Оптика конденсированного состояния | | 1 | 2 | | | 20 |
| 11. Магнитные явления в конденсированном состоянии | | 2 | 2 | | | 20 |
| В т.ч.текущий контроль | 2 | | 2 | | 2 | |
| Промежуточная аттестация - Экзамен | | | | | | |

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение в дисциплину
 - 1.1. Предмет и содержание курса
 - 1.2. Понятие конденсированного состояния вещества
 - 1.3. Методы исследования структуры, элементного и фазового состава конденсированного состояния
2. Межатомное взаимодействие в конденсированном состоянии
 - 2.1. Классификация твердых тел по типу связи. Природа химической связи
 - 2.2. Энергия связи
 - 2.3. Молекулярные, ионные, ковалентные кристаллы и металлы
3. Дефекты в кристаллах
 - 3.1. Классификация дефектов
 - 3.2. Тепловые точечные дефекты, расчет равновесной концентрации
 - 3.3. Тепловые дефекты в бинарных кристаллах
 - 3.4. Радиационные дефекты
 - 3.5. Дислокации
 - 3.6. Контур и вектор Бюргера
 - 3.7. Напряжения, необходимые для образования дислокаций в совершенных кристаллах
 - 3.8. Движение дислокаций. Напряжения и энергия дислокаций
 - 3.9. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами
 - 3.10. Источники дислокаций.
 - 3.11. Дефекты упаковки и частичные дислокации
 - 3.12. Границы зерен
4. Деформация твердых тел
 - 4.1. Напряженное и деформированное состояние
 - 4.2. Закон Гука для изотропных и анизотропного твердого тела
 - 4.3. Пластические свойства твердого тела
 - 4.4. Хрупкое разрушение
5. Динамика кристаллической решетки
 - 5.1. Одномерные колебания однородной струны
 - 5.2. Упругие волны в монокристаллах
 - 5.3. Колебания одноатомной линейной цепочки, одномерной решетки с базисом и трехмерной решетки
6. Электрическая поляризация конденсированного состояния
 - 6.1. Поляризация диэлектриков. Основные характеристики
 - 6.2. Упругие виды поляризации: электронная, ионная, дипольная
 - 6.3. Тепловая поляризация
 - 6.4. Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью
 - 6.5. Частотная зависимость диэлектрической поляризации
 - 6.6. Особенности поляризации нецентросимметричных диэлектриков
 - 6.7. Сегнетоэлектрики
 - 6.8. Диэлектрические потери
7. Неквантовые теории для описания электронов проводимости в конденсированном состоянии
 - 7.1. Теория Друде
 - 7.2. Принципы теории Зоммерфельда
8. Электрическая проводимость твердых тел
 - 8.1. Электропроводность металлов
 - 8.2. Электропроводность диэлектриков
 - 8.3. Свойства твердых тел в сильных электрических полях

- 8.4. Явление сверхпроводимости. основные экспериментальные факты, основные теоретические представления о сверхпроводимости. Электроника на сверхпроводниках
9. Оптика конденсированного состояния
 - 9.1. Взаимодействие света с кристаллами
 - 9.2. Поглощение и рекомбинационное излучение
 - 9.3. Спонтанное и индуцированное излучение. Твердотельные лазеры.
10. Магнитные явления в конденсированном состоянии
 - 10.1. Классификация магнетиков
 - 10.2. Природа диа-, пара- и ферромагнетизма
 - 10.3. Поле Вейсса, модель усредненного обменного поля. Закон Кюри-Вейсса
 - 10.4. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм
 - 10.5. Ферромагнитные домены
 - 10.6. Магнитный резонанс
 - 10.7. Электроны проводимости в сильных магнитных полях. Эффекты де Гааза. Уровни Ландау. Циклотронный резонанс

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят в следующих формах:

- лекционной, студенты знакомятся с основными представлениями, моделями и теориями физики конденсированного состояния
- семинарских занятий, направленных на решение задач по прочитанному на лекциях материалу, студенты приобретают навыки математического описания конкретных эффектов и явлений, учатся количественно оценивать важные физические параметры
- контроль за самостоятельной работой студентов через разбор решенных ими задач
- курсовой работы, заканчивается публичной защитой, имеет своей целью развитие у студентов навыков самостоятельного освоения современной научной информации на примере темы, заданной научным руководителем, а также навыков описания и публичного представления научных результатов.
- самостоятельной работы студентов, которая включает в себя активное изучение лекционного материала вместе с решением задач при использовании соответствующих разделов учебных пособий и описаний лабораторных работ, а также изучение современной научной литературы по одному из актуальных вопросов физики конденсированного состояния в рамках курсовой работы.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Оценочными средствами для контроля текущей успеваемости являются текущие оценки в ходе регулярной и равномерной для каждой группы студентов работы на семинарских (решение задач) и индивидуальные оценки после выполнения всего цикла решения задач.

В качестве промежуточного контроля предусмотрен коллоквиум в середине семестра и контрольная работа по решению задач.

Как одна из форм самостоятельной работы студентов планируется курсовая работа по одному из актуальных вопросов физики конденсированного состояния в виде литературного обзора, тема работы задается индивидуально научным руководителем.

Для прохождения аттестации по предмету проводится экзамен, включающий в себя теоретические вопросы и задачи, а также зачет по итогам выполнения лабораторных работ и курсовой работы (зачет с оценкой).

Перечень задач для практических занятий подбирается преподавателем с учетом уровня подготовленности группы. Для этого рекомендуется использовать пособие [7], а также отдельные задачи в пособиях [2-6] в списке основной литературы.

Вопросы для самоконтроля:

Для промежуточного контроля по предмету (коллоквиум) рекомендуются следующие вопросы:

1. Условия Вульфа-Брэгга и Лауэ для дифракции рентгеновского излучения в кристалле. Основные рентгеновские методы исследования структуры кристаллов.
2. Принципы геометрической теории дифракции рентгеновских лучей в кристалле. Построение Эвольда.
3. Межатомное взаимодействие в двухатомной молекуле и в кристалле. Электроотрицательность. Основные виды химической связи в кристаллах.
4. Подсчет энергии связи в молекулярных кристаллах.
5. Подсчет энергии связи в ионных кристаллах.
6. Принципы расчета энергии связи в ковалентных кристаллах методом ЛКАО (на примере молекулы водорода).
7. Основные типы дефектов в кристаллах. Расчет равновесных концентраций точечных дефектов по Шоттки.
8. Расчет равновесных концентраций точечных дефектов по Френкелю.
9. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Механизмы движения дислокаций. Источники дислокаций.
10. Упругость твердого тела. Обобщенный закон Гука для кристаллов.
11. Пластические свойства твердых тел. Основные механизмы пластической деформации. Системы скольжения.
12. Упругие волны в кристаллах. Продольные и поперечные моды колебаний в кристаллах кубической сингонии.
13. Колебания одномерной моноатомной цепочки. Закон дисперсии.
14. Упругие колебания одномерной атомной цепочки с базисом. Акустические и оптические колебания.
15. Теплоемкость кристаллической решетки в модели Эйнштейна.
16. Теплоемкость кристаллической решетки по Дебаю. Спектральная плотность фононов.
17. Теплопроводность кристаллической решетки. Рассеяние фононов, N- и U-процессы.
18. Электронный упругий механизм поляризации диэлектриков. Действительная и мнимая составляющие поляризуемости, их зависимость от частоты переменного электрического поля.
19. Ионный упругий механизм поляризации диэлектриков. Спектральная зависимость поляризуемости для ионного механизма поляризации.
20. Дипольный упругий механизм поляризации диэлектриков.
21. Тепловые механизмы поляризации диэлектриков. Их зависимость от температуры и частоты электрического поля.
22. Уравнение Клазиуса-Мосотти. Границы его применимости.

23. Спектральная зависимость полной поляризуемости и диэлектрической проницаемости диэлектрика. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера.
24. Диэлектрические потери в переменном электрическом поле. Тангенс угла диэлектрических потерь. Эквивалентная схема диэлектрика.
25. Сегнетоэлектрики. «Поляризационная катастрофа». Применение теории фазовых переходов Гинзбурга-Ландау для описания спонтанной поляризации.
26. Описание электронного газа в металлах в рамках модели Друде: законы Ома и Видемана-Франца.
27. Эффект Холла в рамках модели Друде.
28. Ультрафиолетовая прозрачность и скин-эффект в металлах.

При подготовке к аттестации по предмету используются следующие контрольные вопросы, включаемые в экзаменационные билеты:

1. Условия Вульфа-Брэгга и Лауэ для дифракции рентгеновского излучения в кристалле. Основные рентгеновские методы исследования структуры кристаллов.
2. Принципы геометрической теории дифракции рентгеновских лучей в кристалле. Построение Эвольда.
3. Межатомное взаимодействие в двухатомной молекуле и в кристалле. Электроотрицательность. Основные виды химической связи в кристаллах.
4. Подсчет энергии связи в молекулярных кристаллах.
5. Подсчет энергии связи в ионных кристаллах.
6. Принципы расчета энергии связи в ковалентных кристаллах методом ЛКАО (на примере молекулы водорода).
7. Основные типы дефектов в кристаллах. Расчет равновесных концентраций точечных дефектов по Шоттки.
8. Расчет равновесных концентраций точечных дефектов по Френкелю.
9. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Механизмы движения дислокаций. Источники дислокаций.
10. Упругость твердого тела. Обобщенный закон Гука для кристаллов.
11. Пластические свойства твердых тел. Основные механизмы пластической деформации. Системы скольжения.
12. Упругие волны в кристаллах. Продольные и поперечные моды колебаний в кристаллах кубической сингонии.
13. Колебания одномерной монокристаллической цепочки. Закон дисперсии.
14. Упругие колебания одномерной атомной цепочки с базисом. Акустические и оптические колебания.
15. Теплоемкость кристаллической решетки в моделях Эйнштейна и Дебая. Спектральная плотность фононов.
16. Теплопроводность кристаллической решетки. Рассеяние фононов, N- и U-процессы.
17. Описание электронного газа в металлах в рамках модели Друде. Закон Ома, эффект Холла, закон Видемана-Франца.
18. Реакция электронного газа в металле на переменное электромагнитное поле. Скин-эффект и УФ прозрачность. Плазменная частота.
19. Плотность состояний электронов проводимости в металле по Зоммерфельду.
20. Уровень Ферми в металле и его зависимость от температуры в теории Зоммерфельда. Поверхность Ферми.
21. Теплоемкость и теплопроводность электронного газа в теории Зоммерфельда.
22. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле. Адиабатическое, валентное и одноэлектронное приближение. Циклические граничные условия Борна-Кармана.
23. Свойства волновой функции электрона в кристалле. Теорема Блоха.

24. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Квазиимпульс.
25. Энергетический спектр электрона в кристалле. Зонная структура. Зоны Бриллюэна.
26. Влияние дефектов на энергетический спектр электрона в кристалле. Поверхностные состояния (уровни Тамма).
27. Эффективная масса электрона в кристалле.
28. Температурная зависимость электронной проводимости в металлах.
29. Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода.
30. Термодинамика сверхпроводников. Термодинамический смысл критического магнитного поля. Энтропия и теплоемкость сверхпроводников.
31. Уравнения Лондонов для электрического и магнитного полей в сверхпроводниках. Лондоновская глубина проникновения.
32. Физические идеи, лежащие в основе теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера.
33. Эффекты Джозефсона и туннелирование Живера на сверхпроводящих контактных системах.
34. СКВИД. Принципы создания электроники на сверхпроводниках.
35. Электронный упругий механизм поляризации диэлектриков. Частотная зависимость электронной поляризуемости.
36. Ионный упругий механизм поляризации диэлектриков.
37. «Остаточные лучи» в ионных диэлектриках. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера.
38. Дипольный упругий механизм поляризации диэлектриков.
39. Тепловые (релаксационные) механизмы поляризации диэлектриков. Закон Кюри для параэлектриков.
40. Частотная зависимость тепловой поляризации (решение Дебая).
41. Расчет локального электрического поля в диэлектрике по Лоренцу. Уравнение Клаузиуса-Мосотти.
42. Диэлектрические потери при ВЧ-поляризации.
43. Механизмы переноса заряда в диэлектриках. Инжекционные токи в диэлектриках.
44. Сегнетоэлектрики. «Поляризационная катастрофа». Переходы «сегнетоэлектрик-параэлектрик» (по теории фазовых переходов Гинзбурга-Ландау).
45. Особенности энергетического спектра электронов и механизмы проводимости в аморфных полупроводниках
46. Диамагнетизм атомов и молекул по Ланжевону.
47. Парамагнетизм атомов и молекул по Ланжевону (классическое рассмотрение). Закон Кюри.
48. Парамагнетизм атомов и молекул по Ланжевону (квантовое рассмотрение). Закон Кюри.
49. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
50. Роль обменного взаимодействия в возникновении магнитного порядка в твердых телах (модель Гейзенберга).
51. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетиков. Модель усредненного обменного поля (модель Вейсса). Закон Кюри-Вейсса.
52. Доменная структура ферромагнетиков.
53. Принципы парамагнитного резонанса на примере одиночной магнитной частицы.
54. Уравнения Блоха. Спектральные линии дисперсии и поглощения. ЭПР и ЯМР.
55. Электроны проводимости в сильных магнитных полях. Уровни Ландау. Эффекты де Гааза - ван Альфена и Шубникова - де Гааза.
56. Циклотронный резонанс. Определение компонентов тензора эффективной массы в полупроводниках методом циклотронного резонанса.
57. Ферромагнитный резонанс. Роль формы образца.
58. Антиферромагнитный резонанс.

59. Основные механизмы поглощения электромагнитного излучения в твердых телах.
60. Фотопроводимость. Роль ловушек.
61. Фто-эдс в полупроводниках (эффект Дэмбера).
62. Механизмы нетеплового излучения твердых тел. Принцип работы твердотельного лазера (рубиновый лазер, полупроводниковый лазер).

Примеры задач, применяемых при аттестации:

1. Используя построение Эвольда, доказать справедливость соотношения:

$$\vec{k} = \vec{G} + \vec{H}$$
 где \vec{k} – волновой вектор, $\vec{G} = 2\pi\vec{H}$, \vec{H} – вектор обратной решетки кристалла.
2. Доказать эквивалентность двух вариантов записи интерференционного уравнения:

$$\vec{H} = \frac{\vec{S} - \vec{S}_0}{\lambda}$$
 и

$$\vec{H} = \frac{\vec{S} + \vec{S}_0}{\lambda}$$
 где \vec{H} – вектор обратной решетки кристалла, \vec{S} , \vec{S}_0 – направляющие косинусы, λ – длина волны, \vec{k} – волновой вектор, $\vec{G} = 2\pi\vec{H}$.
3. Показать, что решетки ГЦК и ОЦК являются взаимно обратными.
4. Найти обратную решетку для структуры графена (двумерная гексагональная решетка).
5. Исходя из принципа плотнейшей упаковки, оценить максимальный радиус атомов, способных создать твердый раствор внедрения в цинке без образования химических связей. Цинк имеет ГПУ-решетку, минимальное межатомное расстояние – 0,266 нм.
6. Оценить радиус нейтральных примесных атомов, которые могли бы разместиться в октаэдрических междоузлиях железа (ОЦК – решетка, минимальное расстояние между атомами 0,255 нм.)
7. Монокристаллический слиток кремния в форме длинного цилиндра длиной L и радиуса r упруго растягивается в направлении $\langle 100 \rangle$. Получить численные значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Использовать следующие значения упругих коэффициентов: $C_{11}=16,74 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=6,52 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=7,96 \times 10^{11}$ дин/см².
8. Монокристалл кремния подвергнут всестороннему упругому сжатию под давлением $P=10^6$ Па. Используя значения упругих коэффициентов $C_{11}=16,74 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=6,52 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=7,96 \times 10^{11}$ дин/см², определить относительное изменение объема кристалла. Чему будет равен модуль всестороннего сжатия?
9. Монокристалл германия в виде длинного параллелепипеда, ребра которого ориентированы в направлении $\langle 100 \rangle$, зажат между массивными держателями при комнатной температуре, а затем нагрет до 500 °С. Определить компоненты тензора упругих напряжений. Деформацией держателей пренебречь. Использовать следующие данные: упругие коэффициенты $C_{11}=12,98 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{12}=4,88 \times 10^{11}$ дин/см², $C_{44}=6,37 \times 10^{11}$ дин/см²; коэффициент линейного расширения $\alpha=5,92 \times 10^{-6}$ град.⁻¹.

10. Нанокристалл кремния находится в равновесии в аморфной матрице SiO_2 при комнатной температуре. Всю систему нагревают до 700°C . Коэффициент линейного расширения кремния при этой температуре $\alpha \approx 10^{-5} \text{ град.}^{-1}$, что на порядок превышает значение этого параметра для SiO_2 . Используя значения упругих коэффициентов для кремния $C_{11}=16,74 \times 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $C_{12}=6,52 \times 10^{11} \text{ дин/см}^2$, $C_{44}=7,96 \times 10^{11} \text{ дин/см}^2$, определить давление на нанокристалл со стороны матрицы.
 11. Скорость звука в меди составляет $V=3830 \text{ м/с}$. Используя приближение Дебая для теплоемкости, оценить частоту и температуру Дебая.
 12. Температура Дебая для золота равна $\theta=165 \text{ К}$. Используя приближение Дебая для теплоемкости, оценить скорость звука.
 13. В приближении Дебая получить выражение для спектральной плотности колебаний в двумерной моноатомной решетке.
 14. В приближении Зоммерфельда оценить скорость электрона на поверхности Ферми. Сравнить ее с тепловой скоростью в приближении Друде (модель идеального газа).
 15. В приближении Зоммерфельда получить выражение для плотности электронных состояний в двумерной моноатомной решетке.
 16. Изобразить вид статической вольтамперной характеристики туннельного сверхпроводящего контакта из двух сверхпроводящих металлов вблизи $T=0 \text{ К}$. Чему равны значения характерных напряжений в случае контакта свинца и олова? Использовать следующие значения для энергетических щелей: $2\Delta_{\text{Pb}}=27,3 \text{ мэВ}$, $2\Delta_{\text{Sn}}=18 \text{ мэВ}$.
 17. Оценить ток, при котором сверхпроводящая алюминиевая проволока перейдет в нормальное состояние при $T=0 \text{ К}$. Критическое магнитное поле для алюминия $B_c=0,0105 \text{ Тл}$, диаметр проволоки $d=1 \text{ мм}$.
 18. Показать, что металлический литий является парамагнетиком. Считать, что концентрация атомов лития $N_{\text{Li}}=6 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$, радиус $1s$ -орбит принять равным $a_0=0,053 \text{ нм}$.
 19. В рамках усредненного обменного поля оценить энергию обменного взаимодействия в никеле, приходящуюся на один атом. Считать, что спиновое число электронной оболочки равно $S=1/2$, температура Кюри для никеля $T_C=627 \text{ К}$.
 20. Тангенс угла диэлектрических потерь некоего диэлектрика на частоте 100 кГц имеет значение 10^{-5} , статическая диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,5$. Определить удельную эффективную проводимость и емкость этого материала для частоты 100 кГц .
-

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина «Физика конденсированного состояния»

| № | Перечень компетенций | Раздел дисциплины | Планируемые результаты |
|---|--|-------------------|--|
| 1 | ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин | 1-10 | З1 (ПК-1) З2 (ПК-1) У1 (ПК-1) У2 (ПК-1) В1(ПК-1) |
| 2 | ПК-4 способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин | 1-10 | З1 (ПК-4) У1 (ПК-4) У2 (ПК-4) В1 (ПК-4) |

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приводятся в Приложении.

6.2. Описание шкал оценивания

Промежуточная аттестация проводится в формах зачета и экзамена. Форма проведения – индивидуальное собеседование. При выставлении экзаменационной оценки учитываются результаты сдачи студентом промежуточных отчетов по лабораторным занятиям. Контроль текущей успеваемости включают в себя текущие отчеты по лабораторным работам, обсуждение полученных результатов с преподавателем.

Оценка «зачтено» ставится при полностью выполненных лабораторных заданиях и сданных отчетах. Экзаменационная оценка выставляется по принятой в ННГУ семибальной шкале. Экзаменационные оценки «превосходно» и «отлично» – соответствуют оценке 5 (отлично) по пятибальной шкале, оценки «очень хорошо» и «хорошо» – соответствуют оценке 4 (хорошо), оценка «удовлетворительно» – соответствует оценке 3 (удовлетворительно), оценки «неудовлетворительно» и «плохо» – соответствуют оценке 2 (неудовлетворительно).

6.3. Критерии оценивания результатов обучения для проведения аттестации обучающихся по дисциплине

| | |
|-----------|--|
| Зачтено | Полностью выполнены задания лабораторных работ. Сданы отчеты по лабораторным работам. Студент способен объяснить полученные результаты и сделать соответствующие выводы. |
| Незачтено | Не выполнены задания лабораторных работ. |

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций, используются билеты, состоящие из 2-х вопросов, составленных на основе контрольных вопросов (п. 5) и задачи. При проведении экзамена учитываются результаты выполнения лабораторных работ.

| | |
|--------------|--|
| превосходно | Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление. |
| отлично | Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы (задания) допускаются незначительные неточности. |
| очень хорошо | Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, однако имеются отдельные замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) |

| | |
|---------------------|--|
| | преподавателя с небольшими неточностями. |
| хорошо | Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практический задания, однако имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета). |
| удовлетворительно | Удовлетворительная подготовка. Студент выполнил не менее 2/3 практических заданий, имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя. |
| неудовлетворительно | Студент выполнил менее 1/3 практический заданий, показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. |
| плохо | Студент не выполнил практические задания. Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией. |

6.4. Типовые контрольные задания и материалы заданий практических занятий, необходимые для оценки результатов обучения.

Типовые контрольные (экзаменационные) вопросы и задания

Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского
Кафедра электроники твердого тела
Дисциплина: Физика конденсированного состояния

Экзаменационный билет №1

1. Условия Вульфа-Брэгга и Лауэ для дифракции рентгеновского излучения в кристалле. Основные рентгеновские методы исследования структуры кристаллов.
2. Ультрафиолетовая прозрачность и скин-эффект в металлах.
3. Задача. Исходя из принципа плотнейшей упаковки, оценить максимальный радиус атомов, способных создать твердый раствор внедрения в цинке без образования химических связей. Цинк имеет ГПУ-решетку, минимальное межатомное расстояние – 0,266 нм.

Зав. кафедрой _____

Экзаменатор _____

Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского
Кафедра электроники твердого тела
Дисциплина: Физика конденсированного состояния

Экзаменационный билет №2

1. Принципы геометрической теории дифракции рентгеновских лучей в кристалле. Построение Эвольды.
2. Эффект Холла в рамках модели Друде.
3. Задача. Показать, что металлический литий является парамагнетиком. Считать, что концентрация атомов лития $N_{Li}=6 \times 10^{22} \text{ см}^{-3}$, радиус $1s$ -орбит принять равным $a_0=0,053 \text{ нм}$.

Зав. кафедрой _____

Экзаменатор _____

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Методическое обеспечение:

а) основная литература:

1. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. - Физика твердого тела: учебник. - М.: Высшая школа, 2000. - 494 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686>
2. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров. – М.: Техносфера, 2007. <http://dssp.petrstu.ru/p/tutorial/ftt/giv.htm>
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=342141>
4. Задачи по физике твердого тела./ Под ред. Г.Дж.Голдсмида.- М.:Наука, 1976. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Goldsmid1976ru.djvu>
5. Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Том 2. Физические свойства твердых тел. Под редакцией А.Ф. Хохлова. Издание второе, исправленное. Москва: Высшая школа, 2001 -286 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=42525>

б) дополнительная литература:

1. Физический энциклопедический словарь./ Под ред. Прохорова А.М. - М.: Советская энциклопедия, 1983. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=444897>
2. Физические величины. Справочник./ Под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З.- М.: Энергоатомиздат, 1991. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=25449>
3. Рейсленд Дж. Физика фононов.- М.: Мир, 1975. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Rejslend1975ru.djvu>
4. Харисон У. Электронная структура и свойства твердых тел, т.1.- М.: Мир, 1983. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=82961>
5. Харисон У. Электронная структура и свойства твердых тел, т. 2.- М.: Мир, 1983. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=82962>
6. Щуров А.Ф. Введение в физику керамики: химическая связь, кристаллическая и электронная структура. – Нижний Новгород: изд.ННГУ, 1994. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81135>
7. Пул Ч., Оуэнс Ф. - Нанотехнологии: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки "Нанотехнологии". - М.: Техносфера, 2005. - 336 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=97002>
8. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. - М.: Мир, 1988. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78875>
9. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. – М.: Мир, 1981. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=7891>
10. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, т.1.- М.: Мир, 1979. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78867>
11. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, т. 2.- М.: Мир, 1979. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78865>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Пакет компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.
2. Журнал Успехи физических наук <http://ufn.ru/>

3. Журнал Физика твердого тела <http://journals.ioffe.ru/ftt/>
4. Журнал Физика и техника полупроводников <http://journals.ioffe.ru/ftp/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Материально-техническое обеспечение дисциплины необходимое количество учебников и учебных пособий в библиотеке ННГУ и в открытом доступе в internet. При выполнении некоторых расчетов студенты могут воспользоваться техническими возможностями одного из имеющихся на физическом факультете ННГУ терминал-классов с установленным лицензионным программным обеспечением.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 – «Физика».

| | | |
|-----------|-------|--|
| Автор (ы) | _____ | к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭТТ Сдобняков В.В. |
|-----------|-------|--|

| | | |
|-------------------------|-------|-------------------------------------|
| Рецензент (ы) | _____ | |
| Заведующий кафедрой ЭТТ | _____ | д.ф.-м.н. профессор Демидов Е.С. |

| | |
|---|----------------|
| Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета | |
| от « 30 » августа 2017 г., | протокол № б/н |

| | | |
|---|-------|----------------|
| Председатель учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ | _____ | Сдобняков В.В. |
|---|-------|----------------|

ПРИЛОЖЕНИЕ

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-1. Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

| Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ЗНАТЬ: Знать физико-математический аппарат, необходимый для решения задач в области физики конденсированного состояния и смежных с ней дисциплинах. | Отсутствие знаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| ЗНАТЬ: на методы определения кристаллической структуры, механических, электрических, оптический и магнитных свойств твердого тела. | Отсутствие умений | Фрагментарное использование умения решать типовые учебные задачи | В целом успешное, но не систематическое использование умения решать типовые учебные задачи по основным разделам радиотехники | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые учебные задачи по основным разделам (электро-) радиотехники | Сформированное умение применять решать типовые учебные задачи по основным разделам (электро-) радиотехники и цифровой электроники. |
| УМЕТЬ: решать типовые учебные задачи по основным разделам физики конденсированного состояния | Отсутствие умений | Фрагментарное умение использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в радиотехнике | В целом успешное, но не систематическое использование теоретических основ и математического аппарата при решении конкретных задач в радиотехнике | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование теоретических основ и математического аппарата при решении конкретных задач в радиотехнике | Сформированное умение использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в радиотехнике и смежных дисциплинах |
| УМЕТЬ: использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в физике конденсированного состояния и смежных дисциплинах. | Отсутствие умений | Фрагментарное умение использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в радиотехнике | В целом успешное, но не систематическое использование теоретических основ и математического аппарата при решении конкретных задач в радиотехнике | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование теоретических основ и математического аппарата при решении конкретных задач в радиотехнике | Сформированное умение использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в радиотехнике и смежных дисциплинах |
| ВЛАДЕТЬ: навыками использования теоретических основ базовых разделов физики твердого тела и естественнонаучных дисциплин при решении конкретных задач по физике конденсированного | Отсутствие умений | Фрагментарное умение использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в | В целом успешное, но не систематическое использование теоретических основ и математического аппарата при решении конкретных | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование теоретических основ и математического аппарата при решении | Сформированное умение использовать теоретические основы и математический аппарат при решении конкретных задач в радиотехнике и смежных |

| | | | | | |
|------------|--|--------------|----------------------|---------------------------------|-------------|
| состояния. | | радиотехнике | задач в радиотехнике | конкретных задач в радиотехнике | дисциплинах |
|------------|--|--------------|----------------------|---------------------------------|-------------|

ПК-4. Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин

| Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Критерии оценивания результатов обучения | | | | |
|--|--|---|--|---|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ЗНАТЬ: основные принципы описания физических явлений в конденсированном состоянии, понимать связь между пространственной структурой, природой межатомных взаимодействий и свойствами вещества в конденсированном состоянии, иметь представления о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества | Отсутств ие знаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| УМЕТЬ: применять полученные теоретические знания и математический аппарат для решения теоретических и экспериментальных задач в области физики твердого тела | Отсутств ие знаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| УМЕТЬ: определять кристаллическую структуру, механические, электрические, оптические и магнитные свойства | Отсутств ие знаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |
| ВЛАДЕТЬ: способностью прогнозировать изменение свойств и характеристик твердотельных структур при изменении внешних условий или воздействий | Отсутств ие знаний | Фрагментарные представления о математическом аппарате и основах математического моделирования | В целом успешные, но не систематические представления об основах математического аппарата в области информационных систем и технологий | В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий | Сформированные представления о математическом аппарате в области информационных систем и технологий и смежных дисциплинах. |