

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

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

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. №6

Рабочая программа дисциплины

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

профиль "Теоретическая физика"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2022

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к базовой части Б1.Б блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на третьем году обучения, в шестом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Общая физика», «Математика».

Целями освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» являются:

- формирование у студентов понимания основных физических явлений и специфики применения физических законов для их описания в веществе, находящемся в конденсированном состоянии;
- формирование представлений о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества.

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Физика конденсированного состояния» составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 64 часа занятия лекционного типа, в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 114 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (60 часов самостоятельная работа в течение семестра, 54 часа самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Введение. Понятие конденсированного состояния вещества. Методы исследования структуры, элементного и фазового состава конденсированного состояния.	12	6	—	—	6	6
Тема 2. Межатомное взаимодействие в конденсированном состоянии. Природа химической связи в конденсированном состоянии.	12	6	—	—	6	6
Тема 3. Дефекты в кристаллах.	12	6	—	—	6	6
Тема 4. Деформация твердых тел.	12	6	—	—	6	6
Тема 5. Динамика кристаллической решетки.	12	6	—	—	6	6
Тема 6. Электрическая поляризация конденсированного состояния.	10	4	—	—	4	6
Тема 7. Неквантовые теории для описания электронов проводимости в конденсированном состоянии.	12	6	—	—	6	6
Тема 8. Основы зонной теории твердых тел.	12	6	—	—	6	6
Тема 9. Электрическая проводимость твердых тел.	10	6	—	—	6	4
Тема 10. Оптика конденсированного состояния.	10	6	—	—	6	4
Тема 11. Магнитные явления в конденсированном состоянии.	10	6	—	—	6	4
В т.ч. текущий контроль	2	2				—
Промежуточная аттестация – экзамен						

3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) методика «мозговой штурм».

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, подготовку к коллоквиуму и промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, вопросы для коллоквиума приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Физика конденсированного состояния» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация);
- коллоквиум (текущий контроль).

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний и наличие умений, перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Физика конденсированного состояния»:

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 Эвальда.
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 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. Температурная зависимость проводимости в собственном полупроводнике.
30. Температурная зависимость проводимости в примесном полупроводнике (на примере донорной примеси).
31. Принципы создания полупроводниковой электроники. Барьеры Шотки, p-n-переходы и МДП-структуры: основные типы приборов.
32. Полупроводниковые гетеропереходы: типы переходов, их основные свойства и применение.
33. Основные свойства сверхпроводников. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода.
34. Термодинамика сверхпроводников. Термодинамический смысл критического магнитного поля. Энтропия и теплоемкость сверхпроводников.
35. Уравнения Лондонов для электрического и магнитного полей в сверхпроводниках. Лондоновская глубина проникновения.
36. Физические идеи, лежащие в основе теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера.
37. Эффекты Джозефсона и туннелирование Живера на сверхпроводящих контактных системах.
38. СКВИД. Принципы создания электроники на сверхпроводниках.
39. Электронный упругий механизм поляризации диэлектриков. Частотная зависимость электронной поляризуемости.
40. Ионный упругий механизм поляризации диэлектриков.
41. «Остаточные лучи» в ионных диэлектриках. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера.
42. Дипольный упругий механизм поляризации диэлектриков.
43. Тепловые (релаксационные) механизмы поляризации диэлектриков. Закон Кюри для параэлектриков.
44. Частотная зависимость тепловой поляризации (решение Дебая).
45. Расчет локального электрического поля в диэлектрике по Лоренцу. Уравнение Клаузиуса-Мосотти.
46. Диэлектрические потери при ВЧ-поляризации.
47. Механизмы переноса заряда в диэлектриках. Инжекционные токи в диэлектриках.
48. Сегнетоэлектрики. «Поляризационная катастрофа». Переходы «сегнетоэлектрик-параэлектрик» (по теории фазовых переходов Гинзбурга-Ландау).
49. Особенности энергетического спектра электронов и механизмы проводимости в аморфных полупроводниках.
50. Диамагнетизм атомов и молекул по Ланжевону.
51. Парамагнетизм атомов и молекул по Ланжевону (классическое рассмотрение). Закон Кюри.

52. Парамагнетизм атомов и молекул по Ланжевену (квантовое рассмотрение). Закон Кюри.
53. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
54. Роль обменного взаимодействия в возникновении магнитного порядка в твердых телах (модель Гейзенберга).
55. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетиков. Модель усредненного обменного поля (модель Вейсса). Закон Кюри-Вейсса.
56. Доменная структура ферромагнетиков.
57. Принципы парамагнитного резонанса на примере одиночной магнитной частицы.
58. Уравнения Блоха. Спектральные линии дисперсии и поглощения. ЭПР и ЯМР.
59. Электроны проводимости в сильных магнитных полях. Уровни Ландау. Эффекты де Гааза–ван Альфена и Шубникова–де Гааза.
60. Циклотронный резонанс. Определение компонентов тензора эффективной массы в полупроводниках методом циклотронного резонанса.
61. Ферромагнитный резонанс. Роль формы образца.
62. Антиферромагнитный резонанс.
63. Основные механизмы поглощения электромагнитного излучения в твердых телах.
64. Фотопроводимость. Роль ловушек.
65. Фотоэдс в полупроводниках (эффект Дэмбера).
66. Механизмы нетеплового излучения твердых тел. Принцип работы твердотельного лазера (рубиновый лазер, полупроводниковый лазер).

6.3.2. Для текущего контроля по предмету (коллоквиум) обучающимся предлагаются 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 Эвальда.
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.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – Физика твердого тела. (М.: ВШ, 2000. Фонд ФБ ННГУ, 10 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686>;
Нижний Новгород: изд. ННГУ, 1993. Фонд ФБ ННГУ: 20 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=288601>)
2. Ч. Киттель. – Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
Свободный доступ:
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm>

б) дополнительная литература:

1. Г.И. Елифанов. – Физика твердого тела, 4-е изд., стереотипное. – Издательство “Лань”, 2011.
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/2023/#1>
2. Дж. Рейсленд. – Физика фононов. – М.: Мир, 1975.
Свободный доступ:
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm>
3. В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. – Физика твердого тела. – Издательство “Лань”, 2010.
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/262/#1>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ
<http://www.lib.unn.ru/>.
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

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями самостоятельно установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор:

доцент кафедры электроники
твёрдого тела физического
факультета, к. ф.-м. н., доцент _____ / Карзанов В.В. /

Рецензент:

Зав. кафедрой электроники
твёрдого тела физического
факультета, д. ф.-м. н., профессор _____ /Демидов Е.С. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ от « » _____ 2021 года,
протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ _____ / Перов А.А. /