

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Кубанский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)



**Рабочая программа дисциплины**

**Б1.В.ОД.1 Физика конденсированного состояния**

для подготовки аспирантов

Направление

**03.06.01 Физика и астрономия**

**Профиль 01.04.07 - Физика конденсированного состояния**

**Заочная форма обучения**

Краснодар  
2016

Программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденными 30 июля 2014 г. № 867, зарегистрированный в Министерстве юстиции Российской Федерации 25.08.2014 г. № 33836

Автор(ы):  В.А. Исаев, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики и информационных систем физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ»

Рецензент(ы):  Тумаев Е.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерных систем физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ»

Программа одобрена на заседании кафедры физики и информационных систем от «23» мая 2016 года, протокол № 17.

Одобрено на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета «29» мая 2016 г., протокол № 5.

Подписи:

Зав. кафедрой  Н.М. Богатов

Декан  
физико-технического факультета  Н.А. Яковенко

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Учебная дисциплина « Физика конденсированного состояния» ставит своей целью формирование у аспирантов и соискателей представления об основных физических свойствах твердых тел и закономерностях их строения.

Основные задачи дисциплины:

- формирование систематических знаний по основным разделам физики конденсированного состояния, необходимых для выполнения самостоятельных научных исследований;
- ознакомление с основными методами исследования и расчета физических характеристик твердых тел, изучение физических свойств микромира и квантовых явлений на атомно-молекулярном уровне;
- изучение экспериментальных основ физики конденсированного состояния.

Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из термодинамики, оптики, кристаллографии.

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

«Физика конденсированного состояния» является основной дисциплиной аспирантуры направления 03.06.01 – Физика и астрономия. Изучение дисциплины в физике конденсированного состояния базируется на знаниях аспирантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл общей и теоретической физики.

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате изучения курса аспирант должен:

В процессе изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» аспирант должен:

- **знать** основные понятия этого предмета, понимать содержание фундаментальных законов и основных моделей физики конденсированного состояния;
- **уметь** формулировать основные определения предмета, использовать уравнения физики конденсированного состояния для конкретных физических ситуаций, проводить необходимые математические преобразования, объяснять содержание фундаментальных принципов и законов, а также способы решения задач.
- **обладать навыками** применения физики конденсированного состояния к решению конкретных задач.

**Компетенция обучающегося, формируемая в результате освоения дисциплины:**

владеть теоретическими и экспериментальными методами исследования природы кристаллических и аморфных веществ в твердом и жидком состояниях и изменения их свойств при различных внешних воздействиях (ПК-2).

**4. Содержание и структура дисциплины «Физика конденсированного состояния»**

**4.1. Содержание разделов дисциплины**

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля	Разработано с участием работодателя
1	Раздел 1. Основные положения физики конденсированного состояния вещества	Введение. Структура твердых тел. Кристаллы и аморфные вещества. Трансляционная симметрия кристаллов. Решетка Бравэ. Кристаллографические системы координат. Функции, описывающие физические величины в кристалле. Обратная решетка. Зона Бриллюэна, индексы Миллера. Понятие о рентгеноструктурном анализе. Теорема Блоха, приведение к зоне Бриллюэна. Подсчет числа состояний в зоне Бриллюэна	Устный опрос	
2	Раздел 2. Взаимодействие между атомами в конденсированной среде	Межатомное взаимодействие и основные типы связей в конденсированных средах. Энергетические характеристики химической активности	Устный опрос	

		<p>атомов (потенциал ионизации, энергия химического сродства, электроотрицательность).          Общая характеристика сил межатомного взаимодействия.          Элементарная теория химических сил связи в атомах и молекулах.          Ионные, ковалентные и молекулярные кристаллы, металлы.          Водородная связь.          Потенциальная энергия взаимодействия атомов в конденсированной среде.          Энергия связи атомов в твердом теле и ее оценка для различных типов связей. Постоянная Маделунга.</p>		
3	<p>Раздел 3.          Колебания кристаллической решетки</p>	<p>Колебания кристаллической решетки. Типы колебаний. Продольная волна в однородном стержне. Колебания линейного моноатомного кристалла. Линейный кристалл с двумя атомами в элементарной ячейке. Тепловые свойства кристаллов. Модель Эйнштейна, модель Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Эксперимент Каплянского.</p>	<p>Устный опрос</p>	
4	<p>Раздел 4.          Электронные свойства твердых тел</p>	<p>Электронные свойства твердых тел. Свободные электроны. Энергия Ферми. Теплоемкость электронного газа. Электропроводность</p>	<p>Устный опрос</p>	

		металлов. Магнетизм электронного газа. Модель почти свободных электронов. Модель сильно связанных электронов. Примеси в кристалле.		
5	Раздел 5. Диэлектрики	Диэлектрические свойства твердых тел. Электронная поляризация. Упругая ионная поляризация. Ориентационная поляризация. Тепловая ионная поляризация.	Устный опрос	
6	Раздел 6. Сегнетоэлектрики и магнетики	Сегнетоэлектрики. Антисегнетоэлектрики. Понятие о фазовых переходах второго рода. Магнитные свойства твердых тел. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферро- и антиферромагнетизм. Теплоемкость магнетиков. Температура Кюри.	Устный опрос	
7	Раздел 7. Оптические свойства конденсированных сред	Оптические свойства диэлектрических кристаллов. Зонная структура. Электроны и дырки. Донорные и акцепторные уровни. Уровень Ферми в примесном полупроводнике. Проводимость полупроводников. Эффект Холла. Прямые и непрямые оптические переходы в полупроводниках. Полупроводниковые лазеры.	Устный опрос	
8	Раздел 8.	Сверхпроводимость.	Устный	

	Сверхпроводимость	Уравнение Лондонов, эффект Мейсснера. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Микроскопическая теория сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость.	опрос	
9	Раздел 9. Локализованные состояния в конденсированных средах	Термостимулированная поляризация и деполяризация. Точечные дефекты в твердых телах: дефекты Шоттки и Френкеля. Диффузия. Центры окраски. Дислокации, описание дислокаций.	Устный опрос	

## 4.2 Структура дисциплины

Распределение трудоемкости (3 курс)

Вид работы	Трудоемкость, часов		
	1 семестр	2 семестр	Всего
Общая трудоемкость	108		108
Аудиторная работа:	44		44
<i>Лекции (Л)</i>	18		18
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	18		18
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	8		8
Самостоятельная работа:	28		28
Реферат (Р)			
Самостоятельное изучение разделов			
Самоподготовка			
Подготовка и сдача экзамена			
Вид итогового контроля			

## Разделы дисциплины, изучаемые на 3 курсе аспирантуры

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа (СРС)
			Л	ПЗ	КСР	
1	Раздел 1	16	2	2	–	2
2	Раздел 2	16	2	2	–	2
3	Раздел 3	16	2	2	–	2
4	Раздел 4	12	2	2	–	2
5	Раздел 5	16	2	2	–	4
6	Раздел 6	8	2	2	–	4
7	Раздел 7	12	2	2	–	4
8	Раздел 8	1	2	2	–	4
9	Раздел 9	1	2	2	–	4
	<i>Итого:</i>	108	18	18	–	28

## 4.3 Семинарские и практические занятия

№ ЛР	Наименование практического и семинарского занятия	Содержание	Форма текущего контроля
1	Кристаллография и структура кристаллов	Решетки, как шаровые упаковки. Структуры элементов и соединений. Координационное число. Атомный и ионный радиус. Пустоты в плотнейших упаковках. Понятие о структурном типе. Методы определения структуры и ориентации монокристаллов	Защита лабораторной работы № 1
2	Химические связи и энергия решетки	Связь кристаллохимических, структурных и физических свойств кристаллов на примере титогаллатов и твердых растворов на их основе, силикатов редких земель, кристаллов со структурой шеелита	Устный опрос
3	Тепловые свойства кристаллической решетки	Теплоемкость твердых тел. Модели Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Теплоемкость металлов. Учет	Устный опрос

		вклада свободных электронов.	
4	Электронная теория металлов. Зонная структура твердых тел	Электропроводность диэлектриков и металлов. Влияние поверхностных уровней на электрические свойства твердых тел. Поляризация диэлектриков. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Сегнетоэлектрики.	Устный опрос
5	Диэлектрики. Сегнетоэлектрики	Основные понятия кристаллофизики. Связь кристаллохимических, структурных и физических свойств кристаллов на примере титогаллатов и твердых растворов на их основе, силикатов редких земель, кристаллов со структурой шеелита	Устный опрос
6	Магнитные свойства твердых тел	Сегнетоэлектрики. Антисегнетоэлектрики. Понятие о фазовых переходах второго рода. Магнитные свойства твердых тел. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферро- и антиферромагнетизм. Теплоемкость магнетиков. Температура Кюри.	Устный опрос
7	Оптические свойства твердых тел	Оптические свойства диэлектрических кристаллов. Зонная структура. Электроны и дырки. Донорные и акцепторные уровни. Уровень Ферми в примесном полупроводнике. Проводимость полупроводников. Эффект Холла. Прямые и непрямые оптические переходы в полупроводниках. Полупроводниковые лазеры.	Защита лабораторной работы № 2
8	Сверхпроводимость	Сверхпроводимость. Уравнение Лондонов, эффект Мейсснера. Уравнение Гинзбурга-Ландау.	Устный опрос

		Микроскопическая теория сверхпроводимости. Высокотемпературная сверхпроводимость.	
9	Контрольная работа		

#### 4.4 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Рекомендуется следующий график и календарный план самостоятельной работы аспирантов по учебным неделям (18 недель):

№ уч. недели	Темы учебной дисциплины, рекомендуемые для обязательного изучения	Темы учебной дисциплины, рекомендуемые для самостоятельного изучения
1	Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах	Метод термодинамических потенциалов
2	Понятие о структурном типе. Рентгенно-фазовый анализ, Рентгено-структурный анализ, ориентировка кристаллов методом рентгеновской дифракции.	Элементы кристаллохимии. Решетки, как шаровые упаковки. Структуры элементов и соединений. Координационное число. Атомный и ионный радиус. Пустоты в плотнейших упаковках
3	Методы роста кристаллов с подпиткой, Киропулуса и Бриджмена-Стокбаргера	Методы определения структуры и ориентации монокристаллов
4	Выполнение практических заданий, тестов и контрольных работ	
5	Программный комплекс TOPOS	Сравнение проблемы классической и современной кристаллографии
6	Работа с базами данных Программа IsoCryst. Программа Dirichlet	Программа AutoCN Программа IsoTest
7	Выполнение практических заданий, тестов и контрольных работ	
8	Кристаллофизика и современная кристаллохимия	Тензорный и матричный подходы.
9	Первичная обработка экспериментальных данных. Ошибки, возникающие при первичной обработке экспериментальных данных, и их причины. Методы усреднения экспериментальных данных.	Проблемы точности, верхняя и нижняя границы ошибок эксперимента. Косвенный характер экспериментальных данных, их обработка и интерпретация
10	Выполнение практических заданий, тестов и контрольных работ	

## 5. Образовательные технологии

При реализации учебной работы по освоению курса «Физика конденсированного состояния» используются современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проектные методы обучения;
- исследовательские методы в обучении;
- проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: метод проектов, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Интерактивные технологии, используемые при изучении дисциплины

Семестр	Вид занятия (Л, ПР, ЛР)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
1	<i>Л</i>	дискуссия	4
	<i>ПР</i>	интерактивный	10
	<i>ЛР</i>	Метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм	10
<i>Итого:</i>			24

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Текущий контроль:

- контрольные вопросы по разделам учебной программы.
- практические задания.
- контрольные работы (4, во время самостоятельной работы, итоговая контрольная работа)

Промежуточный контроль:

- экзамен.

В процессе подготовки выступлений и дискуссий формируются и оцениваются компетенции ПК-2.

### Вопросы текущего контроля:

1. Основные закономерности формирования конденсированы сред.
2. Основные методы изучения кристаллических структур
3. Основные теоретические методы физики твердого тела;
4. Основные физические свойства твердых тел;
5. Качественно объяснение основных состояний в твердом теле.
6. Основные закономерности структуры и физических свойств жидкого состояния.

7. Основные закономерности структуры и физических свойств аморфного состояния.
8. Основные концепции физики квазичастиц.
9. Описание электронных состояний в конденсированных средах.
10. Методы квантовой механики в физике конденсированного состояния.
11. Простейшие задачи физики конденсированного состояния.
12. Методы описание кристаллических структур.
13. Основные приближенных волновых функций электронов в кристалле.
14. Электронные энергетические спектры.
15. Основные приближения физики конденсированного состояния.
16. Физические свойства веществ в твердом состоянии.
17. Физические свойства веществ в жидком состоянии.
18. Физические свойства веществ в аморфном состоянии.

### **Вопросы для углубленного самостоятельного изучения:**

1. Особенности структуры основных видов конденсированных сред: кристаллических твердых тел, полимеров, жидких кристаллов, аморфных твердых тел, стекол, жидкостей.
2. Энергия связи в твердых телах.
3. Молекулярные кристаллы, ионная связь,
4. Ковалентная связь.
5. Металлическая связь, кристаллы с водородной связью.
6. Пространственная решетка кристаллов, ее свойства: решетка Бравэ, ее базис.
7. Трансляционная симметрия и симметрия направлений, типы решеток, ячейка Вигнера-Зейтца.
8. Обратная решетка кристаллов, первая зона Бриллюэна.
9. Дифракция и интерференция волн в кристаллах. Условие дифракции Вульфа-Брэгга в прямой и обратной решетках.
10. “Приведенный” волновой вектор, квазиимпульс; общие свойства стационарных состояний.
11. Акустические фононы.
12. Оптические фононы.
13. Взаимодействие фононов.
14. Электрон в периодическом поле: одномерная задача, модель Кронига-Пенни; трехмерная задача, решение уравнения Шредингера,
15. Зоны дозированной энергии, ее периодичность, функции Блоха, пакет блоховских функций, его групповая скорость.
16. Эффективная масса, тензор обратной эффективной массы, его связь с изоэнергетической поверхностью, эффективный гамильтониан, квантовые уравнения движения.
17. Локализованные состояния: решение уравнения Шредингера.
18. Приближенные методы вычисления одноэлектронных состояний: метод эффективной массы.
19. Приближенные методы вычисления одноэлектронных состояний.

20. Вторичное квантование системы электронов: представление чисел заполнения для фермионов, переход от координатного представления, операторные функции, одночастичный и двухчастичный операторы.
21. Дырочное представление, описание процессов рождения и аннигиляции пары квазичастиц электрон-дырка.
22. Классификация твердых тел на основе энергетического спектра их одноэлектронных состояний: металл, диэлектрик, полупроводник, примесные полупроводники, полуметаллы.
23. Плотность одноэлектронных состояний в шкале энергий.
24. Статистика электронов в твердом теле: функция распределения Ферми.
25. Собственные значения и собственные функции гамильтониана частицы в магнитном поле (теория Ландау).
26. Метод потенциала деформаций для кристаллов с ковалентной связью.
27. Кинетические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников.
28. Экситоны Френкеля и Ванье.
29. Взаимодействие света с кристаллической решеткой, поляритоны.
30. Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников.
31. Поверхностные состояния электронов.
32. Диамагнетизм и парамагнетизм твердых тел.
33. Ферромагнетизм. Обменное взаимодействие и его роль в возникновении ферромагнетизма.
34. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.
35. Кривая намагничивания. Ферромагнитные домены.
36. Магнитный резонанс.
37. Влияние дефектов кристаллической решетки на свойства твердых тел.
38. Физические свойства аморфных твердых

### **ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН**

1. Введение. Предмет физики твердого тела.
2. Кристаллы и аморфные вещества.
3. Трансляционная симметрия кристаллов.
4. Кристаллографические системы координат.
5. Функции, описывающие физические величины в кристалле.
6. Обратная решетка.
7. Кристаллы инертных газов.
8. Ионная связь. Ионные кристаллы.
9. Ковалентная связь. Ковалентные кристаллы.
10. Металлическая связь.
11. Ионные и атомные радиусы.
12. Продольная волна в однородном стержне.
13. Колебания линейного моноатомного кристалла.
14. Линейный кристалл с двумя атомами в ячейке.
15. Тепловые свойства кристаллов.
16. Свободные электроны.
17. Модель почти свободных электронов.

18. Модель сильно связанных электронов.
19. Примеси в кристалле.
20. Электронная поляризация.
21. Упругая ионная поляризация.
22. Ориентационная поляризация.
23. Тепловая ионная поляризация.
24. Сегнетоэлектрики.
25. Диамagnetизм.
26. Парамагнетизм.
27. Ферро– и антиферромагнетизм.

**На экзамене в процессе ответов на вопросы оцениваются компетенции ПК-2.**

## **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **7.1 Основная литература:**

- Локшин, Геннадий Рафаилович Основы радиооптики: [учебное издание] /Г. Р. Локшин -Долгопрудный: Интеллект, 2009
- Салех, Бахаа Е. А., Тейх, М. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие : в 2 т.] Т. 2 /Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова - Долгопрудный: Интеллект, 2012
- Салех, Бахаа Е. А., Тейх, М. Оптика и фотоника. Принципы и применения: [учебное пособие : в 2 т.] Т. 1 /Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова - Долгопрудный: Интеллект, 2012
- Петров, Юрий Васильевич Основы физики конденсированного состояния: [учебное пособие] /Ю. В. Петров -Долгопрудный: Интеллект, 2013
- Морозов, Александр Игоревич Элементы современной физики твердого тела: [учебное пособие] /А. И. Морозов -Долгопрудный: Интеллект, 2015

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Цвелик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. М., «Физматлит», 2002, 320 стр.
2. Займан Дж. Электроны и фононы. М: ИЛ, 1962, 488 стр.
3. Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела, М.: Наука, 1983, 336 стр.
4. Маделунг О. Физика твердого тела, М.: Наука, 1985, 184 стр.
5. Шаскольская М.П. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1984.
6. Физическая энциклопедия. М.: Научн. Изд-во «Большая Российская энциклопедия», 1998.
7. Физика твердого тела. Энциклопедический словарь. Киев, Наукова думка. 1996.
8. Физика твердого тела. Лабораторный практикум. М.: Высшая школа, 2001.
9. Павлов П.В., Хохлов А.Ф., Физика твердого тела, М.: «Высшая школа», 2000.
10. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М., 1988.

11. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1979.
12. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт.1,2, М., 1979.
13. Свирский М.С. Электронная теория вещества М. «Просвещение», 1980.
14. Писаренко В.Ф. Физика твердого тела (краткий конспект лекций). Краснодар, 2003 г.
15. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость. М.: Атомиздат, 1989, 312 стр.
16. Задачи по физике твердого тела, под ред. Дж. Голдсмида, М.: «Наука», 1976, 431 стр.
17. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики. М.: «Мир», 1981, 246 с.
18. Гинзбург И.Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела. М.: изд-во «Лань», 2007, 544 стр.
19. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана 2006, 360 с.

### **7.3 Программное обеспечение**

1. Программы статистической обработки данных.
2. Программы онлайн-контроля знаний аспирантов (в том числе программное обеспечение дистанционного обучения).
3. Программный комплекс «ТОПОС».

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения занятий имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам:

- лекционная аудитория, оснащенная мультимедийными проекторами с возможностью подключения к Wi-Fi, документ-камерой, маркерными досками для демонстрации учебного материала;
- технологическое оборудование для синтеза и роста кристаллов, а также оптические стенды;
- специализированные компьютерные классы с подключенным к ним периферийным устройством и оборудованием;
- аппаратное и программное обеспечение (и соответствующие методические материалы) для проведения самостоятельной работы по дисциплине.