

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев  
20.06.2018г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Б1.Б.17 Химическая физика твердого тела**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**  
04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:**
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Даринский Борис Михайлович, доктор физико-математических наук профессор
- 7. Рекомендована:** Научно-методическим советом химического факультета, протокол №5 от 24.05.2018
- 8. Учебный год:** 2020-2021

**Семестр(ы): 5**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

1. Формирование у студентов умений и навыков использования фундаментальных законов, теорий классической и квантовой физики твердого тела в самостоятельной практической деятельности.

2. Формирование у студентов научного мировоззрения, творческого мышления и навыков самостоятельной познавательной деятельности.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1, вариативная часть

Для освоения курса необходимо знание законов квантовой и классической механики, электродинамики и математических методов исследования а также умение их применять для описания свойств и явлений в твердых телах.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-4	способностью использования феноменологических, математических и численных	<b>знать:</b> классификацию, структуру, свойства кристаллических твердых тел, методы их исследования; основные модели теоретического описания явлений и свойств твердых тел, таких как тепловых, электрических, магнитных, механических и оптических, химических реакций в твердых телах. <b>уметь:</b> использовать знания для интерпретации свойств, процессов включая объекты, полученные самостоятельно в рамках научно-исследовательской деятельности. <b>владеть:</b> навыками проведения самостоятельной интерпретации результатов экспериментальных исследований в области синтеза и наблюдаемых свойств твердотельных систем.

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4/144.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

## 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		5	№ семестра	...
Аудиторные занятия	68	68		
в том числе:				
лекции	34	34		
практические	34	34		
лабораторные				
Самостоятельная работа	40	40		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час./ экзамен – 36 час.)		Экзамен 36		
Итого:	144	144		

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Геометрия кристаллических решеток	Прямая и обратная решетки. Решетка Браве, примитивная ячейка Вигнера –Зейца. Классификация решеток Браве. Точечные и пространственные кристаллические группы симметрии. Представления групп.
1.2	Фононы	Классические колебания кристаллической решетки. Спектр Акустические и оптические волны. Квантование колебаний, фононы. Энергетическая плотность фононов. Теория решеточной теплоемкости. Модели Дебая и Эйнштейна.
1.3	Модель свободных электронов в кристаллах	Краевые условия Кармана-Борна. Энергетический спектр. Плотность состояний. Распределение Ферми-Дирака. Поверхность Ферми. Статическая и динамическая электропроводность. Оптические свойства. Коэффициент отражения. Электронная теплоемкость. Теплопроводность металла.
1.4	Волны Блоха	Уравнение для блоховских электронов. Импульс и скорость блоховского электрона. Модель Кронига-Пени. Зависимость энергии электрона от квазиимпульса в трехмерном кристалле. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны. Метод сильной связи. Функции Ванье. Тензор эффективной массы. Спин-орбитальное взаимодействие блоховских электронов.
1.5	Полуклассическая динамика электронов	Свободные электроны в постоянном электромагнитном поле. Энергетический спектр электрона в однородном магнитном поле. Эффект де Гааза-ван Альфена. Осцилляции теплоемкости и проводимости.
1.6	Классификация твердых тел	Классификация твердых тел на основе проводимости. Одновалентные, двух валентные, трехвалентные, четырехвалентные металлы, полуметаллы, переходные металлы, редкоземельные металлы.
1.7	Диэлектрические свойства изоляторов	Теория локального поля. Механизмы поляризуемости диэлектриков. Сильные электрические поля. Электрический пробой. Пирозлектричество. Сегнетоэлектрики.
1.8	Электронная структура и электрические свойства полупроводников	Примеры зонных структур полупроводников. Число носителей заряда в чистом полупроводнике в условиях термодинамического равновесия. Примесные уровни. Равновесная концентрация носителей в примесном полупроводнике. Проводимость по примесной зоне.
1.9	Магнитные свойства твердых тел	Намагниченность и магнитная восприимчивость. Атомная восприимчивость. Восприимчивость диэлектриков с заполненной атомной оболочкой. Ларморовский диамагнетизм. Основное состояние ионов с частично заполненной оболочкой. Правило Хунда. Парамагнетизм диэлектриков. Парамагнетизм Паули металлов. Диамагнетизм электронов проводимости. Синглетные и триплетные состояния двухэлектронной системы. Механизмы обменного взаимодействия. Прямой обмен, косвенный обмен, сверхобмен, обмен между делокализованными электронами. Типы магнитных структур. Ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики. Домены, доменные границы и доменные структуры.
1.10	Сверхпроводимость	Идеальный сверхпроводник. Незатухающие токи. Магнитные свойства. Энергетическая щель. Уравнение Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Квантование магнитного потока. Сверхпроводящее тунеллирование. Эффект Джозефсона.
1.11	Дефекты в кристаллах	Точечные дефекты в кристаллах разных классов. Центры окраски. Дислокации. Дислокационные стенки. Межкристаллитные границы.
1.12	Возбуждения в твердых	Экситоны, поляроны, плазмоны, магноны, флукуоны,

	телах	электроны и дырки, тяжелые фермионы.
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Геометрия кристаллических решеток	Прямая и обратная решетки (простая кубическая, ГЦК, ОЦК, ГПУ). Индексы Миллера, расстояния между плоскостями.
2.2	Дефекты в кристаллах	Вектор Бюргерса, пластические деформации, формула Пича-Келлера.
2.3	Волны Блоха	Квазиимпульс, скорость движения квантового электрона, эффективная масса.
2.4	Электронная структура и электрические свойства полупроводников	Зонная структура полупроводников. Свободные носители зарядов. Химический потенциал.
2.5	Диэлектрические свойства изоляторов	Химические механизмы поляризации атомов в твердом теле
2.6	Магнитные свойства твердых тел	Магнитон Бора. Магнетизм атомов. Парамагнетизм зонных электронов. Обменная энергия, спин-орбитальное взаимодействие.
2.7	Проводимость металлов	Движение электронов в электрическом поле, длина свободного пробега

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Геометрия кристаллических решеток	2	6		4	12
2	Фононы	4	0		4	8
3	Модель свободных электронов в кристаллах	2	0		4	6
4	Волны Блоха	4	4		4	12
5	Полуклассическая динамика электронов	2	0		4	6
6	Классификация твердых тел	2	0		2	4
7	Диэлектрические свойства изоляторов	4	6		4	14
8	Электронная структура и электрические свойства полупроводников	4	6		4	14
9	Магнитные свойства твердых тел	4	6		4	14
10	Сверхпроводимость	2	0		2	4
11	Дефекты в кристаллах	2	6		2	10
12	Возбуждения в твердых телах	2	0		2	4
	Итого:	34	34		40	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Организация изучения дисциплины предполагает:

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- выполнение практического задания;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса по основным разделам дисциплины.
- ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12624>

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

**а) основная литература:**

№ п/п	Источник
1	Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштайн ; пер. с англ. К.Н. Золотовой, Д.О. Чаркина под ред. В.П. Зломанова. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 400 с.
2	Гуревич А.Г. Физика твердого тела : учебное пособие для студ. ун-тов и техн. ун-тов / А.Г. Гуревич ; Физ.-техн. ин-т им. А.Ф. Иоффе РАН. – СПб. : БХВ-Петербург : Невский диалект, 2004. – 318 с.
3	Бутягин П.Ю. Химическая физика твердого тела : [учебник для студ., обуч. по направлению 511700 "Химия, физика и механика материалов"] / П.Ю. Бутягин. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2006. – 269 с.
4	Епифанов Г.И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г.И. Епифанов. – Изд. 3-е, испр. – СПб. : Лань, 2010. – 287с.
5	Матухин В.Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. – СПб. : Лань, 2010. – 218 с.

**б) дополнительная литература:**

№ п/п	Источник
6	Ашкрофт Н. Физика твердого тела : в 2 т. / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М. : Мир, 1979. – Т.1 : пер.с англ. А.С. Михайлова; под ред. М.И. Каганова. – 1979. – 399 с.; Т.2 : пер. с англ. К.И. Кугеля, А.С. Михайлова; под ред. М.И. Каганова. – 1979. – 422 с.
7	Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Пер. с англ. А. А. Гусева. – М. : Гос. изд-во техн.-теорет. литературы, 1957. – 523 с.
8	Давыдов А.С. Теория твердого тела : Учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов / А.С. Давыдов. – М. : Наука, 1976. – 639с.
9	Займан Дж. Принципы теории твердого тела : Пер. со 2-го англ. изд. / Дж. Займан ; Под ред. В.Л. Бонч-Бруевича. – М. : Мир, 1974. – 472 с.
10	Брандт Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. – Изд. 2-е, испр. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 631 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
11	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)**

№ п/п	Источник
1	
2	

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12624>

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Персональные компьютеры с доступом в Интернет; мультимедийный проектор BENQ, экран, ноутбук.

## 19. Фонд оценочных средств:

### 19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ОПК-4 способностью использования феноменологических, математических и численных.	знать: классификацию, структуру, свойства кристаллических твердых тел, методы их исследования; основные модели теоретического описания явлений и свойств твердых тел, таких как тепловых, электрических, магнитных, механических и оптических, химических реакций в твердых телах.	Все разделы	Устный опрос,
	уметь: использовать знания для интерпретации свойств, процессов включая объекты, полученные самостоятельно в рамках научно-исследовательской деятельности.	Все разделы	Устный опрос
	владеть: навыками проведения самостоятельной интерпретации результатов экспериментальных исследований в области синтеза и наблюдаемых свойств твердотельных систем.	Все разделы	Устный опрос
<b>Промежуточная аттестация</b>			<b>КИМ</b>

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

### 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

#### Пример:

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание классификации твердых тел по структурам, электрическим, механическим, магнитным, оптическим характеристикам;
- 2) знание моделей процессов, лежащих в основе этих характеристик
- 3) знание моделей физических и химических процессов в твердых телах;
- 4) умение использовать знания для интерпретации процессов свойств широкого круга твердотельных объектов;
- 5) владение способностью иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения научных проблем.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения конкретных задач в области физики и химии твердых тел.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен использовать знания для интерпретации процессов синтеза и свойств широкого круга твердых тел, допускает отдельные ошибки при изложении природы явлений и свойств твердых тел.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен описать конкретные закономерности, не умеет устанавливать связь между природой и проявлениями различных свойств.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	–	Неудовлетворительно

**19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### **19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:**

1. Прямая и обратная решетки кристаллов. Зона Бриллюэна.
2. Волновые функции электронов в периодическом кристаллическом поле. Волны Блоха. Энергетические зоны.
3. Модель свободных в металлах. Энергетическая плотность. Поверхность Ферми.
4. Волны Блоха в периодическом поле ионов металлов. Форма поверхности Ферми.
5. Теплопроводность и проводимость металлов.
6. Одновалентные, двухвалентные, трехвалентные, четырехвалентные металлы, полуметаллы, переходные металлы, редкоземельные металлы.
7. Волновые функции кристаллических диэлектриков.
8. Механизмы поляризуемости диэлектриков. Вектор поляризации. Диэлектрическая проницаемость.
9. Сильные электрические поля. Электрический пробой.
10. Пироэлектричество.
11. Сегнетоэлектричество.
12. Деформация кристаллов. Тензор упругих модулей.
13. Пьезоэффект. Пьезомодули.
14. Примеры зонных структур полупроводников. Носители заряда в чистом полупроводнике в условиях термодинамического равновесия.
15. Примесные уровни. Равновесная концентрация носителей в примесном полупроводнике. Проводимость по примесной зоне.
16. Pn-переходы в полупроводниках. Вольт-амперная характеристика.
17. Намагниченность и магнитная восприимчивость.
18. Парамагнетизм Паули металлов.
19. Атомная магнитная восприимчивость. Восприимчивость диэлектриков с заполненной атомной оболочкой. Ларморовский диамагнетизм.
20. Синглетные и триплетные состояния двухэлектронной системы. Механизмы обменного взаимодействия.

21. Прямой обмен, косвенный обмен, сверхобмен, обмен между делокализованными электронами.
22. Типы магнитных структур. Ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики. Геликоидальные структуры.
23. Взаимодействие магнитного момента с решеткой в кристаллах.
24. Домены, доменные границы и доменные структуры.
25. Оптические свойства металлов.
26. Оптические свойства полупроводников и диэлектриков.
27. Идеальный сверхпроводник. Незатухающие токи. Магнитные свойства.
28. Энергетическая щель. Уравнение Лондонов.
29. Теория Гинзбурга-Ландау. Квантование магнитного потока.
30. Сверхпроводящее тунелирование. Эффект Джозефсона.
31. Точечные дефекты в кристаллах разных классов. Центры окраски.
32. Дислокации. Решеточный потенциальный рельеф. Модель дислокационной пластичности.
33. Межкристаллитные границы. Специальные границы. Дислокационные стенки.
34. Возбуждения в твердых телах. Фононы.
35. Экситоны, поляроны, плазмоны.
36. Магноны в магнетиках.
37. Электроны и дырки в полупроводниках.

#### **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса, защиты рефератов выполнения практического задания. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.