

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УМР  
А.А.Панфилов

« 07 » 04 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экс./зачет)
4	7/252	36	36	18	117	экс. (45 ч.)
Итого	7/252	36	36	18	117	экс. (45 ч.)

Владимир 2015

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Физика твердого тела» является ознакомление с основами современной физики твердого тела, включающих общие представления о строении кристаллов, механизмах протекающих в кристаллах процессах, влиянии структуры твердых тел на их физические свойства. Изучение дисциплины должно способствовать формированию глубоких знаний в области физики и выработке способности сопоставлять наблюдаемые физические явления с фундаментальными физическими закономерностями.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физика твердого тела» относится к базовой части ОПОП подготовки бакалавров по направлению «Нанотехнологии и микросистемная техника». Для освоения данной дисциплины учащимся требуются знания, получаемые в рамках следующих предшествующих дисциплин: физика, введение в нанотехнологии.

Успешное освоение дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» предполагает наличие у обучающихся следующих знаний, умений и навыков, полученных при изучении указанных дисциплин и в ходе прохождения учебной и производственной практик: знание основных физических законов в области квантовой физики; знакомство с математическим аппаратом описания поведения квантовых систем; знание основных физических закономерностей, характеризующих протекание процессов в твердых телах.

В то же время, освоение данной фундаментальной дисциплины необходимо для успешного освоения последующих дисциплин, таких как основы кристаллографии, физические основы микро- и наносистемной техники, а также при написании дипломной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**Знать:** основные законы, описывающие физические процессы, протекающие в твердых телах (ОПК-2);

**Уметь:** устанавливать причинно-следственную связь между наблюдаемыми явлениями и основными закономерностями физики твердого тела (ОПК-1); использовать средства компьютерной техники для решения современных задач области физики твердого тела (ПК-1).

**Владеть:** способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов физики твердого тела (ОПК-1); способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат физики твердого тела (ОПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими общепрофессиональными компетенциями:

способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1); способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет: 7 зачетных единиц, 252 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС			КП / КР
1	Механические и тепловые свойства твердых тел	4	1-3	6		6	2		20		7/50	-
2	Электронные свойства твердых тел	4	4-11	12		10	6		36		10/35	Рейтинг-контроль №1
3	Магнитные свойства вещества	4	12-15	10		12	6		31		10/35	Рейтинг-контроль №2
4	Сверхпроводимость	4	16-18	8		8	4		30		11/55	Рейтинг-контроль №3
Всего		4	18	36		36	18		117		38/42	Экзамен (45 ч.)

#### Содержание дисциплины

#### РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

## **Тема 1. Строение кристаллов и их механические свойства.**

Кристаллы, аморфные тела и жидкости. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Трансляционная симметрия. Типы элементарных ячеек. Модель сплошной среды. Обратимые (упругие) деформации. Закон Гука. Предел упругости. Необратимые (пластические) деформации. Текучесть. Предел прочности. Дефекты кристаллической решетки (точечные, линейные, двумерные и объемные). Влияние дефектов на свойства кристаллов.

## **Лекции 2. Тепловые свойства кристаллов.**

Модель теплового движения кристаллической решетки. Классическая теория теплоемкости кристалла. Закон Дюлонга и Пти. Теория Дебая. Нормальные колебания кристаллической решетки. Частота и температура Дебая. Тепловое расширение кристаллов. Температура плавления. Теплопроводность кристаллической решетки.

## **РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

### **Тема 3. Модель свободных электронов металла**

Теория электронного газа П. Друде. Закон Видемана-Франца. Квантовая теория Зомерфельда. Распределение Ферми-Дирака.

### **Темы 4-6. Зонная теория кристаллов.**

Волновая функция электрона в периодическом потенциальном поле. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Теорема Крамерса. Уравнение движения электрона проводимости в электрическом поле. Эффективная масса электрона. Собственные полупроводники. Понятие дырки. Зависимость электропроводности собственного полупроводника от температуры. Примесные полупроводники. Примеси донорного и акцепторного типов. Электронная и дырочная проводимости. Диэлектрики. Проводимость диэлектриков. Электрический пробой диэлектриков. Пьезоэлектрики и сегнетоэлектрики.

## **РАЗДЕЛ 3. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА**

### **Темы 7-8. Основные виды магнетиков**

Магнитные свойства атома. Магнитные моменты элементарных частиц. Магнетон Бора и ядерный магнетон. Гиромагнитное отношение. Отклик атома на внешнее магнитное поле. Эффект Зеемана. Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Магнитная восприимчивость и проницаемость. Диа-, пара- и ферромагнетики. Основные свойства ферромагнетиков. Домены. Температура Кюри. Кривая намагничивания. Гистерезис. Физическая природа ферромагнетизма. Обменное взаимодействие электронов. Антиферромагнетики. Ферримагнетики. Спиновые волны.

## **РАЗДЕЛ 4. СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ**

**Тема 9. Физические свойства сверхпроводников. Эффекты Джозефсона**

Явление сверхпроводимости. Критическая температура. Куперовские пары. Энергетическая щель. Магнитные свойства сверхпроводников. Поверхностный сверхпроводящий ток. Эффект Мейснера. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники второго рода. Квантование магнитного потока. Эффект Ааронова – Бома. Система слабосвязанных сверхпроводников. Эффекты Джозефсона. Сверхпроводящий квантовый интерференционный детектор магнитного поля. Высокотемпературная сверхпроводимость.

#### **Темы лабораторных работ**

1. Определение постоянной Стефана-Больцмана
2. Изучение температурной зависимости электропроводности полупроводников
3. Исследование структуры твердых тел методами растровой электронной микроскопии.
4. Исследование состава твердых тел методами рамановской микроскопии.

#### **Темы практических занятий**

1. Постоянная Маделунга.
2. Теплоемкость твердых тел.
3. Типы кристаллических решеток.
4. Волновая функция электрона в одномерном периодическом потенциале. Возникновение запрещенных зон.
5. Метод сильной связи для расчета зонной структуры твердого тела.
6. Метод слабой связи (разложение по бегущим волнам).
7. Сфера Ферми.
8. Поверхность Ферми в двумерных и трехмерных кристаллах.
9. Сверхпроводимость.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Проведение лекционных занятий обеспечено специализированными аудиториями, оборудованными компьютерами и электронными проекторами, что позволяет сопровождать чтение лекций демонстрацией компьютерных слайдов. Проведение лекционных занятий по дисциплине происходит по классической форме. Преподавателем формулируется проблематика лекции и круг задач, подлежащих рассмотрению. При этом демонстрируется взаимосвязь данной тематики с материалами предыдущих лекций. Затем преподавателем раскрывается содержание данной темы. В ходе лекции обучающимся задаются вопросы, позволяющие им самостоятельно находить решения поставленных проблем на основе имеющихся у них знаний, полученных ими в ходе предыдущих лекций и предшествующих курсов. Для повышения уровня

усвоения лекционного материала и приобретения практических навыков проектирования предусматривается активная форма проведения практических занятий в виде совместного разбора и решения задач.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **Вопросы для рейтинг-контроля №1:**

1. Кристаллы, аморфные тела и жидкости. Сходства и различия.
2. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Трансляционная симметрия.
3. Типы элементарных ячеек.
4. Модель сплошной среды. Обратимые (упругие) деформации. Закон Гука. Предел упругости. Необратимые (пластические) деформации.
5. Дефекты кристаллической решетки (точечные, линейные, двумерные и объемные). Влияние дефектов на свойства кристаллов.
6. Модель теплового движения кристаллической решетки.
7. Классическая теория теплоемкости кристалла. Закон Дюлонга и Пти.
8. Теория теплопроводности Эйнштейна.
9. Теория Дебая. Нормальные колебания кристаллической решетки. Частота и температура Дебая.
10. Тепловое расширение кристаллов. Температура плавления. Теплопроводность кристаллической решетки.

### **Вопросы для рейтинг-контроля №2:**

1. Теория электронного газа П. Друде. Закон Видемана-Франца.
2. Квантовая теория Зомерфельда. Распределение Ферми-Дирака.
3. Волновая функция электрона в периодическом потенциальном поле. Теорема Блоха.
4. Эффективная масса электрона в кристалле.
5. Зонная теория твердого тела и статистика носителей заряда.
6. Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории.
7. Электропроводность полупроводников (собственная, примесная).
8. Влияние примесей на процесс электропроводности.
9. Генерация и рекомбинация носителей заряда в полупроводниках.
10. Диффузия и дрейф носителей заряда в полупроводниках.
11. Поведение полупроводников в сильных электрических полях.

12. Механизм образования p–n-перехода, высота и ширина потенциального барьера в равновесном состоянии.

### Вопросы для рейтинг-контроля №3:

1. Магнитные свойства атома. Магнитные моменты элементарных частиц. Магнетон Бора и ядерный магнетон. Гиромангнитное отношение.
2. Отклик атома на внешнее магнитное поле. Эффект Зеемана.
3. Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Магнитная восприимчивость и проницаемость.
4. Диа-, пара- и ферромагнетики.
5. Основные свойства ферромагнетиков. Домены. Температура Кюри. Кривая намагничивания. Гистерезис.
6. Физическая природа ферромагнетизма. Обменное взаимодействие электронов.
7. Антиферромагнетики. Ферримагнетики.
8. Явление сверхпроводимости. Критическая температура.
9. Куперовские пары. Энергетическая щель.
10. Магнитные свойства сверхпроводников. Поверхностный сверхпроводящий ток. Эффект Мейснера. Критическое магнитное поле.
11. Сверхпроводники второго рода.
12. Квантование магнитного потока.

### Вопросы к экзамену

1. Классификация твердых тел по типу связи. Основные типы химических связей в твердых телах.
2. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Постоянная Маделунга.
3. Ковалентная связь. Металлическая связь.
4. Элементарная ячейка кристаллической решетки. Трансляционная симметрия. Типы элементарных ячеек.
5. Модель сплошной среды. Обратимые (упругие) деформации. Закон Гука. Предел упругости.
6. Продольные и поперечные упругие волны. Фазовая скорость упругих волн. Фононы.
7. Классификация дефектов кристаллической решетки. Точечные дефекты. Равновесная концентрация тепловых дефектов
8. Классификация дефектов кристаллической решетки. Линейные дефекты.
9. Модель теплового движения кристаллической решетки. Классическая теория теплоемкости кристалла. Закон Дюлонга и Пти.
10. Квантовая теория Эйнштейна. Теплоемкость кристаллов вблизи абсолютного нуля температур.

11. Теория Дебая. Нормальные колебания кристаллической решетки. Частота и температура Дебая.
12. Классическая теория электронного газа П. Друде. Теплоемкость классического электронного газа. Закон Видемана-Франца.
13. Квантовая теория свободных электронов металлов А. Зоммерфельда. Одночастичное приближение. Энергетический спектр электронов. Плотность состояний свободных электронов.
14. Квантовая теория свободных электронов Зоммерфельда. Распределение Ферми-Дирака. Теплопроводность, электропроводность и теплоемкость электронного газа.
15. Волновая функция электрона в периодическом потенциальном поле. Теорема Блоха. Квазиимпульс.
16. Образование энергетических зон в кристалле в пределе слабого периодического потенциала.
17. Модель сильной связи электрона атомом и образование энергетических зон в кристалле.
18. Модель Кронинга-Пенни.
19. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми для электрона в кристалле. Разделение кристаллов на проводники, диэлектрики и полупроводники.
20. Движение электрона проводимости в электрическом поле. Эффективная масса электрона.
21. Собственные и примесные полупроводники. Понятие дырки. Примеси донорного и акцепторного типов. Электронная и дырочная проводимости. Концентрация свободных носителей.
22. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики.
23. Магнитные свойства атома. Эффект Зеемана.
24. Магнитное поле в веществе. Намагниченность. Магнитная восприимчивость и проницаемость. Понятие о диа-, пара- и ферромагнетиках.
25. Ферромагнетики и их свойства. Доменная структура. Кривая намагничивания.
26. Физическая природа ферромагнетизма. Обменное взаимодействие электронов. Антиферромагнетики. Ферромагнетики.
27. Сверхпроводимость и эффекты, связанные с ней.
28. Теория сверхпроводимости Лондонов.
29. Куперовские пары. Микроскопическая теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера.

#### Вопросы для самостоятельной работы студентов

6. Физическая модель границы металла. Работа выхода электрона.
7. Внешний и внутренний фотоэффекты



8. Понятие о гетероструктурах
9. Электрический контакт двух полупроводников с разными типами проводимости (p/n – переход).
10. Электрический контакт двух металлов. Внутренняя и внешняя контактные разности потенциалов.
11. Математический аппарат теории сверхпроводимости Лондонов.
12. Обменное взаимодействие.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) основная литература:**

1. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.
2. Физика твердого тела / Корнилович А.А., Ознобихин В.И., Суханов И.И. - Новоси�.:НГТУ, 2012. - 71 с.
3. Никитенков Н.Н. Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики: учебное пособие/ Никитенков Н.Н.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2013.— 203 с.

### **б) дополнительная литература:**

4. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния]: учебное пособие/ Байков Ю.А., Кузнецов В.М. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 294 с.
5. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие/ Гуртов В.А., Осауленко Р.Н.— М.: Техносфера, 2012.— 560 с.
6. Абрикосов А.А. Основы теории металлов: учебное пособие/ Абрикосов А.А.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.— 600 с.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. znanium.org
2. iprbookshop.ru
3. <http://www.studentlibrary.ru>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные аудитории, оснащённые доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором и ноутбуком. Для обеспечения проведения лабораторных работ и практических занятий имеются компьютерные классы кафедры ФиПМ и специализированные учебно-научные лаборатории лазерной стереолитографии (лаб. 123-3) и лазерной техники и лазерных технологий (лаб. 107-3).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочую программу составил доцент каф. ФПМФ И.Ю.Честнов И.Ю.Честнов

Рецензент

(представитель работодателя) И.Ю.Честнов, кафедра ФПМФ И.Ю.Честнов  
(место работы, должность, ФИО, подпись) Ангамов А.А.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФПМФ

Протокол № 11 от 07.04.15 года

Заведующий кафедрой Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Протокол № 11 от 07.04.15 года

Председатель комиссии Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рабочая программа одобрена на 2017-2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.17 года

Заведующий кафедрой Аракелян С. М.

Рабочая программа одобрена на 2018-2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 03.09.18 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_