

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»  
(БГТУ им. В.Г.Шухова)



УТВЕРЖДАЮ  
ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА

Ястребинский Р.Н.

« 25 » 05 2022 г.

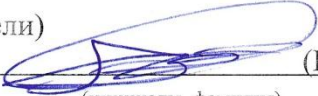
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Физика конденсированного состояния»**

Научная специальность:


1.3.8. Физика конденсированного состояния  
(код и наименование научной специальности)

Белгород 2022

Рабочая программа дисциплины Физика конденсированного состояния составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов, утвержденными приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

Составитель (составители)  
д-р техн. наук, доцент  (Р.Н. Ястребинский)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с базовой кафедрой по группе научных специальностей  
Теоретической и прикладной химии  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, проф.  (В.И. Павленко)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)


« 13 » мая 2022 г., протокол № 9

Рабочая программа обсуждена на базовой кафедре по группе научных специальностей аспирантуры

Теоретической и прикладной химии


(наименование кафедры)

« 13 » мая 2022 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, проф.  (В.И. Павленко)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Одобрена научно-методической комиссией института

« 16 » мая 2022 г., протокол № 9

Председатель канд. техн. наук, доц.  (Л.А. Порожнюк)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |   |
|--|---|
| 1. Перечень сокращений, используемых в тексте рабочей программы дисциплины.....                                    | 4 |
| 2. Цель изучения дисциплины .....  | 4 |
| 3. Требования к результатам освоения дисциплины.....   | 4 |
| 4. Объем дисциплины .....  | 5 |
| 5. Содержание дисциплины .....   | 5 |
| 6. Ресурсное обеспечение.....  | 7 |
| 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....   | 7 |
| 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «интернет», необходимых для освоения дисциплины ..... | 8 |
| 10. Перечень лицензионного программного обеспечения:.....  | 9 |
| 11. Оценочные средства .....   | 9 |

## **1. Перечень сокращений, используемых в тексте рабочей программы дисциплины**

- з.е. – зачетная единица
- ФГТ– Федеральные государственные требования
- ФОС – фонд оценочных средств
- Пр – практическое занятие
- Лаб – лабораторное занятие
- Лек – лекции
- СР – самостоятельная работа

## **2. Цель изучения дисциплины**

Дать обучающимся углубленные знания в области теоретического и экспериментального исследования состояния конденсированных веществ, воздействия различных видов излучений на природу изменений их физических свойств, выработать умения самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий, необходимые для успешного осуществления трудовой деятельности.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

**В результате изучения дисциплины, аспирант должен:**

**Знать:**

-магнитные свойства твердых тел, квантовые эффекты в сверхпроводниках, нанотехнологии

**Уметь:**

- решать задачи, опираясь на полученные теоретические знания;
- уметь работать с измерительными приборами и экспериментальными установками;
- самостоятельно провести измерения, обработать результаты и представить их в форме, удобной для последующего анализа;
- самостоятельно анализировать полученную информацию и составить отчет с соответствующими выводами и рекомендациями.

**Владеть:**

- навыками работы с измерительной аппаратурой по конденсированному состоянию веществ;
- основами программного моделирования процессов конденсированного состояния;
- навыками получения и использования информации в научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния и особенностях строения и свойств конденсированных систем.

#### 4. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зач. единиц, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации – экзамен

| Вид учебной работы  | Всего часов | Семестр № 4 |
|---|-------------|-------------|
| Общая трудоемкость дисциплины, час  | 72          | 72          |
| <b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>  | 8           | 8           |
| лекции  | 8           | 8           |
| лабораторные  | -           | -           |
| практические  |             |             |
| <b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>          | 64          | 64          |
| Курсовой проект   | -           | -           |
| Курсовая работа   | -           | -           |
| Расчетно-графическое задание  | -           | -           |
| Индивидуальное домашнее задание (реферат)   |             |             |
| Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия) | 28          | 28          |
| Экзамен   | 36          | 36          |

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1 Наименование тем, их содержание и объем

##### Курс2 Семестр 4

| № п/п                                   | Наименование раздела (краткое содержание)   | Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час |                      |                      |                        |
|---|---|---|----------------------|----------------------|------------------------|
|   |   | Лекции  | Практические занятия | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа |
| 1. Магнитные свойства твердых тел       |   |   |                      |                      |                        |
|   | Магнитные характеристики вещества; Магнитные свойства электронного газа; Природа парамагнетизма диэлектриков; Дополнительные сведения о парамагнитных явлениях; Природа ферромагнетизма; Антиферромагнетизм, ферримагнетизм; Спиновые волны; Доменная структура ферромагнетиков | 3   |                      | -                    | 9                      |
| 2. Квантовые эффекты в сверхпроводниках |   |   |                      |                      |                        |
|   | Куперовская пара как отдельная квазичастица; Квантование магнитного потока; Туннельные эффекты  | 3   |                      | -                    | 9                      |

|    |   |   |   |   |    |
|----|---|---|---|---|----|
|    | в сверхпроводниках..  |   |   |   |    |
| 3. | Нанотехнологии в физике конденсированных сред   |   |   |   |    |
|    | Перспективы развития и применения наносистем;<br>Сканирующие микроскопы; Квантовые точки;<br>Резонансный туннельный транзистор; Лазеры на<br>квантовых точках.теплоемкости кристаллов; Тепловое<br>расширение твердых тел; Теплопроводность<br>кристаллической решетки. | 2 | - | - | 10 |
|    | ВСЕГО   | 8 |   | - | 28 |

*Примечание: в колонку «самостоятельная работа» входят подготовка к лекционным, практическим, лабораторным занятиям.*

## **5.2. Содержание практических (семинарских) занятий**

Практических занятий не предусмотрено.

## **5.3. Содержание лабораторных занятий**

Лабораторных занятий не предусмотрено.

## **6. Ресурсное обеспечение.**

*(Кадровый потенциал, материально-техническое оснащение, образовательные технологии, формы, методы и способы обучения).*

*Кафедра Прикладной и теоретической химии располагает кадровыми ресурсами, гарантирующими качество подготовки аспиранта по специальности Физика и астрономия в соответствии с ФГТ.*

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

Для введения занятий по дисциплине «Физика твердого тела» используются различные виды образовательных технологий, которые предусматривают использование материально-технического оборудования. При этом материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Аудитория УК №2, №331. Аккредитованный в Госстандарте РФ Центр «Радиационного мониторинга», оснащенный гамма-спектрометрическим трактом и имеющий обширный парк поверенного и аттестованного в «ВНИИФТРИ» дозиметрического и радиометрического оборудования, в том числе: Дозиметр-радиометр ДКС-96, дозиметр-радиометр «ДРБП-03», радиометр радона и торона «Альфарад плюс АРП», радиометр радона РРА-01М-01 «Альфарад», сцинтилляционный гамма-бета-спектрометр «Прогресс-БГ(П)» с использованием гамма- и бета-трактов спектрометра СКС-99 «Спутник», информационные стенды. Компьютер, проектор, экран с электроприводом, доска магнитно-меловая, информационные стенды.

Аудитория УК №2, №316. Лаборатория специальных композитов.

Вытяжной шкаф, муфельная печь, рН-метры, ионометры, сушильный шкаф, весы, компьютеры, пресс, насосы, мост переменного тока, кондуктометрическая ячейка.

Аудитория УК №2, №327. Специализированная мебель. Компьютеры, проектор, раздвижной экран, телевизор, видео- и DVD- проигрыватель, информационные стенды..

Аудитория УК №2, №325. Оснащена презентационной техникой и комплектом электронных презентаций. Специализированная мебель. Компьютер, проектор, экран с электроприводом, доска магнитно-меловая, информационные стенды. Компьютеры, подключенные к корпоративной

сети с выходом в Internet, проектор, раздвижной экран, телевизор, видео- и DVD- проигрыватель, информационные стенды. Видео лекция: Элементы физики твердого тела. Часть 4. Лекции 1-8 (д.ф-м.н., профессор Торчинский И.А.).

Лицензионное программное обеспечение MicrosoftWindows 7, Лицензия № 63-14к от 02.07.2014. Kaspersky End Point Security Стандартный Russian Edition 1000-1499 Node 1 year, Лицензионный договор № 29-16г от 13.07.2016. MicrosoftOffice, Лицензионный договор № 31401445414 от 25.09.2014. GoogleChrome.Приводится также перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем при необходимости).

## **8. Основная и дополнительная литература**

### **8.1. Перечень основной литературы**

1. Василевский, А.С. Физика твердого тела. Уч. Пособие для вузов / А.С. Василевский.- М.: Дрофа.- 2010.- 210 с.
2. Павлов, П.В. Физика твердого тела / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов // М.: Высш. шк.- 2000.- 210 с.
3. Савельев И.В. Курс физики. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И.В. Савельев // СПб: Лань.- 2007. – Режим доступа:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=71763](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71763)

### **8.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Головин, Ю. И. Введение в нанотехнику/ Ю. И. Головин // М.: Машиностроение.- 2007.- 342 с.
2. Смирнов, Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. // Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань.- 2013.- 220 с.
3. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений / В.П. Машкович //Справочник. -М.: Энергоатомиздат. 1982. –296 с.
4. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов/ Г. И. Епифанов // М: Лань.- 2011. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2023)

## **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm>
2. [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_colier](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier)



3. <http://journals.ioffe.ru/ftt/>

10. Перечень лицензионного программного обеспечения:

1. Операционные системы Microsoft Windows Professional 8.1, Windows 10  
Профессиональный пакет Office Professional Plus 2016
2. Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
3. КонсультантПлюс
4. Google Chrome или аналог

## **11. Оценочные средства**

Оценочные средства для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля знаний по дисциплине «Физика конденсированного состояния» представлены в виде фонда оценочных средств (далее – ФОС) в Приложении 1 к настоящей рабочей программе дисциплины.

## 12. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2023/2024 учебный год.


Протокол № 14 заседания кафедры от «30» 06 2023 г.

Заведующий кафедрой



В.И. Павленко  
подпись, ФИО

Директор института



Р.Н Ястребинский

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2024/2025 учебный год.

Протокол № 12 заседания кафедры от «28» 06 2024 г.

Заведующий кафедрой



В.И. Павленко

подпись, ФИО

Директор института



Р.Н Ястребинский

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**входного, текущего контроля/промежуточной аттестации аспирантов**  
**при освоении программы аспирантуры, реализующей ФГТ**

ДИСЦИПЛИНА  
«Физика конденсированного состояния»

**Группа научных специальностей: 1.3 Физические науки**

Научная специальность программы:  
1.3.8 Физика конденсированного состояния

*Аттестационные материалы, контрольно-измерительные т.е. вопросы, билеты, тесты, задачи, по которым кафедра оценивает уровень подготовки аспиранта, при этом типовые контрольные задания или иные материалы, должны быть направлены не только на оценку знаний, но и на оценку умений, навыков и (или) опыта деятельности:*

*- материалы, устанавливающие содержание и порядок проведения промежуточных аттестаций (зачетов, экзамена);*

*- примерные темы контрольных работ (при наличии в УП) и требования к их выполнению и оформлению;*

*- примерные темы курсовых работ (при наличии их в УП) и требования к их выполнению и оформлению;*

*- возможная (примерная) тематика научно-исследовательских работ по профилю дисциплины и требования к их выполнению и оформлению.*

*2) Описание технологии оценивания.*

*3) Критерии оценки, т.е. за что кафедра ставит «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».*

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности в процессе освоения образовательной программы**

**Перечень теоретических вопросов для контроля самостоятельной работы.**

### **1. Общие представления об устройстве кристаллов**

Запишите в общем виде уравнение Шредингера для кристалла в целом и отдельно вид каждого оператора. Составьте краткое резюме на тему «В чем состоит адиабатическое приближение?».

В чем отличие энергии кристалла, найденной в адиабатическом приближении, от ее точного значения? Укажите границы применимости адиабатического приближения.

При прохождении электрического тока по образцу возникает сопротивление. При изучении этого вопроса мы выходим за рамки адиабатического приближения или нет? Почему энергия электронного состояния должна иметь минимум?

Из какого условия теоретически находятся равновесные положения ядер, т. е. структура решетки?

Какую роль при движении ядер играет энергия электронного состояния?

Как определяется энергия колебаний ядер при фиксированном состоянии электронной подсистемы?

В чем состоит физическая основа валентного приближения? Охарактеризуйте различные типы химической связи между атомами в кристалле и приведите примеры тел с каждым видом связи.

Что такое «дырка»? Как она перемещается по образцу? Какую роль при ее движении может играть туннельный эффект?

Дайте определения основных понятий: векторы основных трансляций, вектор решетки, базисный вектор. Объясните термины: элементарная ячейка, примитивная ячейка, кристаллографическая ячейка, симметричная ячейка. Как строится симметричная ячейка?

## **2. Электронная подсистема**

Что такое обратная решетка кристалла? Как связаны векторы основных трансляций прямой и обратной решеток?

С какой целью вводится понятие эффективного потенциала? Повторите по курсу квантовой механики особенности, характеризующие систему невзаимодействующих микрочастиц, и выразите их в виде ряда четких утверждений и формул. Попытайтесь дать качественное обоснование периодичности эффективного поля в кристалле.

Сформулируйте основные положения зонного приближения. Как скажется на волновой функции системы невзаимодействующих частиц учет их тождественности и спина?

Какому фундаментальному соотношению удовлетворяет волновая функция частицы, движущейся в периодическом поле? Рассмотрите одномерное и трехмерное движения. Укажите общий вид функций Блоха.

Дайте определение валентной зоны и зоны проводимости. Что можно сказать об этих зонах применительно к металлам, полупроводникам и диэлектрикам?

Постройте (схематически) изоэнергетические поверхности для закона дисперсии.

В чем состоит сущность приближения эффективной массы? Когда применимо это приближение? Почему оно играет важную роль в физике твердого тела?

Дайте обоснование модели независимых и свободных электронов, опираясь на все описанные ранее приближения.

В каких случаях электроны в кристаллах металлов и других веществ можно рассматривать как идеальный газ классических корпускул?

## **3. Сверхпроводимость**

Дайте качественное описание взаимодействия, объединяющего электроны в пары.

Какие электроны образуют куперовскую пару? Почему наличие щели в энергетическом спектре приводит к отсутствию сопротивления при движении куперовской пары? Поясните, почему увеличение температуры разрушает сверхпроводящее состояние.

С чем связано наличие критического значения для сверхтока? Почему в сверхпроводниках второго типа возможны большие значения критического

магнитного поля?

Объясните, что такое «дырка». Каков механизм перемещения дырки по образцу? От чего зависит концентрация электронов и дырок? Как она изменяется с ростом температуры?

Каковы основные и неосновные носители заряда в полупроводниках p- и n-типа? За счет чего достигается определенный тип проводимости? Как соотносится количество тех и других частиц?

Почему сопротивление полупроводников может падать с ростом температуры?

#### **4. Контактные явления**

Как возникают неравновесные носители заряда и в чем их отличие от равновесных?

Опишите на качественном уровне связь электрических и тепловых явлений. Укажите, какие эффекты должны наблюдаться.

Сформулируйте основные принципы линейной термодинамики неравновесных процессов.

Дайте определения основным понятиям: потоки, термодинамические силы, кинетические коэффициенты.

Почему величина термо-ЭДС для контакта двух полупроводников может оказаться во много раз больше, чем для контакта двух металлов?

Дайте определения терминам: собственный полупроводник, примесный полупроводник.

Почему в примесном полупроводнике концентрация основных носителей заряда может оказаться во много раз больше концентрации неосновных носителей заряда? Что такое электрохимический потенциал? Объясните качественно, почему p—n-переход обладает выпрямляющими свойствами. Как изготовить p—n-переход технически?

Постройте примерную вольт-амперную характеристику p—n-перехода.

Почему p—n-переход теряет свои свойства при высоких температурах и значительных обратных напряжениях? Опишите различные типы приборов, в которых используется p—n-переход.

#### **2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация осуществляется в форме экзамена. Для подготовки к ответу на вопросы студент случайным образом вытаскивает билет и готовится в течение 50 минут. Экзамен принимается в письменной форме с последующим собеседованием преподавателя со студентом по вопросам билета.

## **Перечень экзаменационных вопросов:**

Магнитные характеристики вещества;  
Магнитные свойства электронного газа;  
Природа парамагнетизма диэлектриков;  
Дополнительные сведения о парамагнитных явлениях;  
Природа ферромагнетизма;  
Антиферромагнетизм, ферримагнетизм;  
Спиновые волны;  
Доменная структура ферромагнетиков.  
Куперовская пара как отдельная квазичастица;  
Квантование магнитного потока;  
Туннельные эффекты в сверхпроводниках.  
Перспективы развития и применения наносистем;  
Сканирующие микроскопы;  
Квантовые точки;  
Резонансный туннельный транзистор;  
Лазеры на квантовых точках.

### **Пример оформления билета для сдачи экзамена**

**БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА**  
Кафедра теоретической и прикладной химии

Дисциплина: «Физика конденсированного состояния»  
Направление подготовки (специальность): 1.3 «Физические науки»  
Направленность программы (профиль, специализация): 1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №**

1. Магнитные характеристики вещества.
2. Куперовская пара как отдельная квазичастица.
3. Перспективы развития и применения наносистем.

Одобрено на заседании кафедры «                    » 20    г. Протокол № .

Зав. кафедрой    В.И. Павленко



### **3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности в процессе освоения образовательной программы**

Контроль освоения дисциплины «Физика твердого тела» на этапах текущей промежуточной аттестации проводится в соответствии с действующим Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

**Критерии оценки** при использовании экспресс-метода контроля тестирования представлены в виде процентного количества правильных ответов:

| Оценка              | Количество верных ответов, % | Числовой эквивалент |
|---------------------|------------------------------|---------------------|
| отлично             | 91-100                       | 5                   |
| хорошо              | 74-91                        | 4                   |
| удовлетворительно   | 61-73                        | 3                   |
| неудовлетворительно | 0-60                         | 2                   |

#### **Критерии оценки при проведении экзамена:**

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если он исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает основные понятия, законы, природу и сущность явлений и процессов в области физика твердого тела.

Оценка «**хорошо**» – обучающийся знает основные понятия, законы, природу и сущность явлений и процессов в области физика твердого тела, допускает незначительные ошибки.

Оценка «**удовлетворительно**» – обучающийся допускает неточности в основных понятиях, законах, явлений и процессов в области физика твердого тела.

Оценка «**неудовлетворительно**» – обучающийся знает основные понятия, но не знает законы, природу и сущность явлений и процессов в области физика твердого тела, допускает значительные ошибки.