

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур

\_\_\_\_\_ (Середин П.В.)  
28.08.2020г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.08 Физика конденсированного состояния**

**1. Код и наименование направления подготовки:**

03.03.02 Физика

**2. Профиль подготовки:**

Физика наноматериалов и новых медицинских технологий

**3. Квалификация выпускника:** бакалавр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра физики твердого тела и наноструктур

**6. Составители программы:**

Середин Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент

**7. Рекомендована:**

кафедрой физики твердого тела и наноструктур, протокол от 28.08.2020. №1

**8. Учебный год:** 2022/2023

**Семестр:** седьмой

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

- ознакомление студентов с основными приближениями, используемыми в физике твердого тела при моделировании зонного спектра в приближении Хартри-Фока с периодическим потенциалом, на основе самосогласования эффективного периодического потенциала кристалла;
- формирование знаний о фундаментальных свойствах твердых тел на основе зонной теории;
- усвоение основ атомного и электронного строения твердых тел и их определяющего влияния на оптические и электрофизические свойства.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к вариативной части блока Б1.

## 11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	способностью использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук	знать основные определения и свойства конденсированных твердых тел, силы связи в твердых телах, точечную и трансляционную симметрию, взаимнообратный векторный базис решетки. Должен знать основы зонной теории твердых тел и основные электронные свойства металлов, полупроводников и диэлектриков, уметь правильно применять фундаментальные представления об атомном и электронном строении для объяснения оптических и электрофизических свойств различных твердых тел; знать классификацию дефектов в твердых телах и основные типы химических связей; уметь описывать различные конденсированные состояния
ОПК-3	способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	
ПК-4	способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2/72.

Форма промежуточной аттестации зачет с оценкой

## 13 Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		7 семестр		
Аудиторные занятия	32	32		
в том числе: лекции	16	16		

практические	16	16		
лабораторные	–	–		
Самостоятельная работа	40	40		
Форма промежуточной аттестации	зачет с оценкой	зачет с оценкой		
Итого:	72	72		

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1.	Приближения в твердом теле.	Нерелятивистское приближение, 1-ое и 2-ое адиабатическое, одноэлектронное приближение
2.	Уравнение Хартри –Фока .	Волновая функция в виде определителя Слэтера, приближения Хартри-Фока и Хартри, обменное взаимодействие, обменный потенциал, Теорема Купманса. Метод самосогласования.
3.	Трансляционная симметрия и периодический потенциал в кристаллах	Группы трансляций. Эффективный периодический потенциал в кристалле. Теорема Блоха.
4.	Зонное приближение и зоны Бриллюэна	Обратная решетка, взаимнообратный векторный базис решетки в матричном представлении. Зоны Бриллюэна. Эквивалентные состояния в кристалле. Граничные условия Борна-Кармана.
5.	Разрешенные и запрещенные зоны. Эффективная масса квазичастиц в кристалле.	Уравнение квантования для периодической части функции Блоха. Зависимость от волнового вектора. Группа волнового вектора. Приведенный и неприведенный зонный спектр. Закон дисперсии энергии в кристалле. Разрешенные и запрещенные зоны. Электроны и дырки.
6.	Плотность электронных состояний. Энергия Ферми.	Функция плотности состояний. Особенности Ван-Хова. Уровень Ферми. Поверхность Ферми в металлах.
7.	Методы расчета зонного спектра.	Метод слабой связи. Модель пустой решетки. Метод сильной связи. Примеры зонного спектра для 0D, 1D, 2D, 3D кристаллов. Методы присоединенных плоских волн ППВ, ортогонализированных плоских волн ОПВ, псевдопотенциала.
8.	Металлы, полупроводники и диэлектрики в зонном приближении	Зонные спектры s,p-металлов и d-металлов. Зонные спектры алмаза, кремния, германия, полупроводников АЗВ5. Прямые и не прямые переходы. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Узкозонные и широкозонные полупроводники.

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Приближения в твердом теле.	2	2		5	9
2	Уравнение Хартри –Фока .	2	2		5	9
3	Трансляционная симметрия и периодический потенциал в кристаллах	2	2		5	9
4	Зонное приближение и зоны Бриллюэна	2	2		5	9
5	Разрешенные и запрещенные зоны.	2	2		5	9

	Эффективная масса квазичастиц в кристалле.					
6	Плотность электронных состояний. Энергия Ферми.	2	2		5	9
7	Методы расчета зонного спектра.	2	2		5	9
8	Металлы, полупроводники и диэлектрики в зонном приближении	2	2		5	9
	Итого:	16	16		40	72

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

Изучение дисциплины предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;

- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/167762">https://e.lanbook.com/book/167762</a> (дата обращения: 13.07.2021).
2.	Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г. И. Епифанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1001-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/167893">https://e.lanbook.com/book/167893</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	<i>Павлов П.В. Физика твердого тела./ П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - М.: Высш. шк., 1993.</i>
4.	<i>Делоне Н.Б. Основы физики конденсированного вещества./ Н.Б. Делоне. - М.: Физматлит. 2011</i>
5.	<i>Ашкрофт Н. Физика твердого тела. Т. I, II./ Н. Ашкрофт, Н. Мермин. - М.: Мир, 1979</i>
6.	<i>Займан Дж. Принципы теории твердого тела./ Дж. Займан. - М.: Мир, 1974.</i>

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

№ п/п	Ресурс
7.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
8.	<a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a>
9.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
10.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
11.	<a href="http://www.iprbookshop.ru">www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
12.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
13.	<a href="http://chembaby.com/uchebnye-materialy/fiz/2-kurs/osnovy-fiziki-kondensirovannogo-sostoyaniya-veshhestva/">http://chembaby.com/uchebnye-materialy/fiz/2-kurs/osnovy-fiziki-kondensirovannogo-sostoyaniya-veshhestva/</a> ОСНОВЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА   ФИЗФАК МГУ

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

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; групповые консультации, индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-

исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Аудитория для проведения занятий лекционного типа  
Microsoft Windows 7 (договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019);  
ноутбук, мультимедиа-проектор, экран;

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

### 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-1, ОПК-3, ПК-4	знать основные определения и свойства конденсированных твердых тел, силы связи в твердых телах, точечную и трансляционную симметрию, взаимнообратный векторный базис решетки. Должен знать основы зонной теории твердых тел и основные электронные свойства металлов, полупроводников и диэлектриков, уметь правильно применять фундаментальные представления об атомном и электронном строении для объяснения оптических и электрофизических свойств различных твердых тел; знать классификацию дефектов в твердых телах и основные типы химических связей; уметь описывать различные конденсированные состояния	Приближения в твердом теле.	Устный опрос
		Уравнение Хартри –Фока .	Устный опрос
ОПК-1, ОПК-3, ПК-4		Трансляционная симметрия и периодический потенциал в кристаллах	Устный опрос
		Зонное приближение и зоны Бриллюэна	Устный опрос
		Разрешенные и запрещенные зоны. Эффективная масса квазичастиц в кристалле.	Устный опрос
		Плотность электронных состояний. Энергия Ферми.	Устный опрос
ОПК-1, ОПК-3, ПК-4		Методы расчета зонного спектра.	Устный опрос
		Металлы, полупроводники и диэлектрики в зонном приближении	Устный опрос

Промежуточная аттестация форма контроля - зачет с оценкой	Комплект КИМ
--	--------------

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

Для оценивания результатов обучения на экзамене и зачете используются следующие показатели

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретические основы дисциплины);
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ.

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 (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	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 зачету с оценкой

#### Контрольно-измерительный материал № 1

Химическая связь в твердых телах. Виды химической связи. Ковалентная, ионная, Ван-дер-Ваальса. Образование энергетических зон в твердых телах.

Диэлектрики. Механизмы электронной проводимости в диэлектриках. Поляроны.

#### Контрольно-измерительный материал № 2

Уравнение Шредингера для электрона в кристалле. Адиабатическое приближение

Ионная проводимость в диэлектриках. Суперионная проводимость.

#### Контрольно-измерительный материал № 3

Одноэлектронное приближение. Эффективное поле электронов

Сигнетоэлектрико спонтанная поляризация в кристаллах. Полевая зависимость поляризация. Гистерезис домена.

#### Контрольно-измерительный материал № 4

Теорема Блоха. Блохование волновых функций.

Температурная зависимость спонтанной по температуре Кюри. Переход от параэлектрика к сигнетоэлектрику

#### Контрольно-измерительный материал № 5

Приближение слабой и сильной связи для потенциала волновой функции электрона в кристалле

Магнитные свойства твердого тела. Диа- пара- ферро- и ферримангнетики.



#### **Контрольно-измерительный материал № 6**

Метод сильной связи. Характер энергетических зон. Интеграл перекрытия и обменный интеграл.

Атомная природа ферро- и ферримагнетизма. Орбитальный и силовой магнитный момент

#### **Контрольно-измерительный материал № 7**

Метод присоединенных плоских волн. Маффин-тин приближения для потенциала. Построение волновой функции.

Спонтанная намагниченность. Доменная структура и кривая намагниченности.

#### **Контрольно-измерительный материал № 8**

Расчет электронной структуры, плоскости электронных состояний и рентгеновских спектров кремния и алюминия

Взаимодействия электромагнитной волны с кристаллами. Поглощение и отражение света.

#### **Контрольно-измерительный материал № 9**

Электропроводность металлов. Зависимость проводимости металлов температуры. Остаточная проводимость

Оптические константы. Связь коэффициента поглощения света с плотностью электронных состояний.

#### **Контрольно-измерительный материал № 10**

Явления сверхпроводимости в металлах. БКШ-модель для сверхпроводимости.

Аморфные твердые тела. Ближний и дальний порядок. Функция радиального распределения атомов.

#### **Контрольно-измерительный материал № 11**

Высокотемпературные сверхпроводимости. Возможности их использования в энергетике

Электрические свойства аморфного полупроводников. Локализованные состояния. Прыжковая проводимость.

### **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: выполнения лабораторных работ.

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 и степень сформированности умений и навыков.

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

