



Рабочая программа дисциплины Б1.В.01 Теория конденсированного состояния составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки/ специальности 03.04.02 Физика (Физика конденсированного состояния (теория, эксперимент и дидактика))

Программу составил (и):

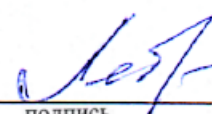
А.В. Скачедуб, доцент кафедры теор. физики  
и комп. технологий, кандидат физ.- мат. наук



\_\_\_\_\_

подпись

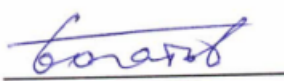
Рабочая программа дисциплины Б1.В.01 Теория конденсированного состояния утверждена на заседании кафедры теоретической физики и компьютерных технологий  
протокол № 8 от «12» апреля 2023 г.  
Заведующий кафедрой (выпускающей) Лебедев К.А.



\_\_\_\_\_

подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета  
протокол № 10 от «20» апреля 2023 г.  
Председатель УМК факультета Богатов Н.М.



\_\_\_\_\_

подпись

Рецензенты:

В.А. Никитин, к.т.н., доцент кафедры оптоэлектроники

Л.Р. Григорян, генеральный директор ООО НПФ «Мезон»  
кандидат физико-математических наук

## **1 Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)**

### **1.1 Цель освоения дисциплины**

Данная дисциплина ставит своей целью дать магистрантам глубокие и прочные знания в области основных взаимодействиях, ответственных за формирование физических свойств конденсированных сред и научить их осознанно применять эти знания к прикладным задачам.

### **1.2 Задачи дисциплины**

Основной задачей является формирование систематических знаний по основным разделам физики конденсированного состояния, необходимых для выполнения самостоятельных научных исследований и лабораторного практикума в рамках учебного курса; ознакомление с основными методами исследования и расчета физических характеристик твердых тел, изучение физических свойств конденсированных сред на атомно-молекулярном уровне; изучение экспериментальных основ физики конденсированного состояния в их в будущей профессиональной деятельности.

Воспитательная задача дисциплины заключается в создании у магистров навыка самостоятельной исследовательской работы. В связи с этим следует знакомить магистров с современным состоянием физики конденсированного состояния, возникшими в настоящее время в этой области физики проблемами, перспективными направлениями, и т.п.

### **1.3 Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования**

Дисциплина «Теория конденсированного состояния» относится к вариативной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана.

Изучение дисциплины базируется на следующих курсах: «Кристаллофизика», «Физика конденсированного состояния вещества», «Кристаллография». Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из термодинамики, оптики, кристаллографии.

### **1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся общекультурной компетенции ОК-1 и профессиональной компетенции ПК-1.

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ПК-1	Способен проводить наблюдения и измерения в области физики конденсированного состояния, составлять их описания и формулировать выводы.	основные процессы, происходящие при выращивании и легировании кристаллов	изменять условия выращивания и легирования кристаллов с целью достижения заданных параметров структуры и свойств	основными методами формирования структуры кристаллов.

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
2.	ПК-3	Готов применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	основные законы конденсированных сред, основные понятия химической и физической кристаллографии, особенности морфологии кристаллов.	под руководством исследователей работать на стендах для оптических исследований материалов; осмысливать и интерпретировать основные положения теории роста кристаллов, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники.	четкими представлениями о современных научных концепциях современной теории конденсированного состояния вещества.

## 2 Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач. ед. (144 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице (для магистрантов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры (часы)			
		9			
<b>Контактная работа, в том числе:</b>					
<b>Аудиторные занятия (всего):</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	-	-	-
Занятия лекционного типа	23	23	-	-	-
Лабораторные занятия	23	23	-	-	-
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)	-	-	-	-	-
<b>Иная контактная работа:</b>					
Контроль самостоятельной работы (КСР)	-	-	-	-	-
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3	-	-	-
<b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>					
Курсовая работа	-	-	-	-	-
Проработка учебного (теоретического) материала	5	5	-	-	-

Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)		-	-	-	-	-
Реферат		-	-	-	-	-
Подготовка к текущему контролю		12	12	-	-	-
<b>Контроль:</b>						
Подготовка к экзамену		26,7	26,7	-	-	-
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>час.</b>	<b>144</b>	<b>144</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>в том числе контактная работа</b>	<b>28,3</b>	<b>28,3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>зач. ед.</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

## 2.2 Структура дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.

Основные разделы дисциплины, изучаемые в 9 семестре (очная форма).

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Вне аудиторная работа
			Л	ПР	ЛР	СР
1	2	3	4	5	6	7
1.	Основные понятия теории конденсированного состояния	10	2	-	4	4
2.	Динамика кристаллической решётки	3	2	-	-	1
3.	Электронные состояния в кристалле	11	2	-	5	4
4.	Электрон-фононное взаимодействие	3	2	-	-	1
5.	Электронные свойства твёрдых тел	3	2	-	-	1
6.	Оптические свойства твёрдых тел	11	2	-	5	4
7.	Сверхпроводимость	2	1	-	-	1
8.	Системы с пониженной размерностью	2	1	-	-	1
	<i>Итого по дисциплине:</i>	45	14	-	14	17
	<i>Всего:</i>					

## 2.3 Содержание разделов дисциплины

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Основные понятия теории конденсированного состояния	Адиабатический принцип Борна-Эренфеста. Кристаллическая структура и ее описание. Симметрия кристалла, точечные и пространственные (федоровские) группы. Классификация решеток Бравэ. Обратная решетка, ее свойства. Особые точки в зоне Бриллюэна, звезда волнового вектора.	Защита ЛР № 1

		Связь точечной симметрии элементарной ячейки с физическими свойствами кристалла.	
2.	Динамика кристаллической решётки	Динамика кристаллической решетки. Квантование колебаний решетки, акустические и оптические фононы. Ангармонизм, диаграммы Фейнмана, описывающие фонон-фононное взаимодействие. Электронные волны в кристалле.	Устный опрос
3.	Электронные состояния в кристалле	Уравнение Шредингера для электрона в периодическом потенциале. Эффективная масса. Методы вычисления эффективной массы. Приближение почти свободных электронов и приближение сильной связи. Примеси и примесные уровни, локализация электронов. Квантование системы электронов, электроны и дырки. Статистика носителей заряда. Энергия Ферми, электронная теплоемкость. Кулоновское и обменное взаимодействие в электронно-дырочной системе. Экситоны большого радиуса, их наблюдение в полупроводниках. Экситоны малого радиуса, безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения с помощью экситонов. Плазмоны.	Защита ЛР № 2
4.	Электрон-фононное взаимодействие	Взаимодействие электронов с колебаниями решётки. Поляритоны.	Устный опрос
5.	Электронные свойства твердых тел	Электронные свойства твердых тел. Электропроводность, связь между электропроводностью и теплопроводностью.	Устный опрос
6.	Оптические свойства твердых тел	Матрица плотности и ее свойства. Уравнение Лиувилля (Неймана). Отклик конденсированной среды на внешнее возмущение, формула Кубо-Гринвуда для обобщенной восприимчивости. Прямые и не прямые оптические межзонные переходы в полупроводниках. Поляритоны. Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников.	Защита ЛР № 3
7.	Сверхпроводимость	Сверхпроводники, их свойства. Фазовый переход второго рода как спонтанное нарушение симметрии. Изотопический эффект. Магнитные свойства сверхпроводников, эффект Мейсснера, глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Уравнение	Устный опрос

		Гинзбурга-Ландау. Микроскопическая теория сверхпроводимости, длина когерентности. Сверхпроводники второго рода, вихри Абрикосова. Высокотемпературная сверхпроводимость. Сверхпроводимость в системах с тяжелыми фермионами (общие понятия).	
8.	Системы с пониженной размерностью	Системы с пониженной размерностью. Квантовые точки. Электронное строение квантовых точек. Функционал плотности, уравнение Кона-Шэма. Одномерные системы, разделение заряда и спина, сверхпроводимость одномерных систем. Двумерные системы. Поверхностные состояния электронов.	Устный опрос

### 2.3.2 Занятия семинарского типа

Практические задания в аудитории по данному курсу согласно учебному плану не предусмотрены.

### 2.3.3 Лабораторные занятия

№ ЛР	Наименование лабораторной работы	Тематика лабораторной работы	Форма текущего контроля
1	Основные понятия теории конденсированного состояния	Симметрия кристалла, точечные и пространственные (федоровские) группы. Классификация решеток Бравэ	Защита ЛР № 1
2	Электронные состояния в кристалле	Вычисление параметров интенсивности электронных переходов между уровнями для $f$ -элементов, находящихся в кристаллической матрице	Защита ЛР № 2
3	Оптические свойства твердых тел	Расчёт оптических и люминесцентных параметров кристаллов, активированных редкоземельными ионами	Защита ЛР № 3

## 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Наименование раздела	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1.	Основные понятия теории конденсированного состояния	<p>1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p> <p>2. Матухин В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p> <p>3. Фомин Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела: учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2014. - 186 с. : ил, схем. табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074</a>.</p> <p>4. Гордиенко А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487</a>.</p>
2.	Динамика кристаллической решётки	<p>1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p> <p>2. Матухин В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p> <p>3. Фомин Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела: учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2014. - 186 с.: ил. схем, табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074</a>.</p> <p>4. Гордиенко А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487</a>.</p>
3.	Электронные состояния в кристалле	<p>1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p>



		<p>2. Матухин В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p> <p>3. Фомин Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела: учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2014. - 186 с. : ил. схем, табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074</a>.</p> <p>4. Гордиенко, А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487</a>.</p> <p>5. Тумаев, Евгений Николаевич Процессы переноса энергии электронного возбуждения в конденсированных средах: монография / Е. Н. Тумаев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т - Краснодар: [Кубанский государственный университет], 2013.</p>
4.	Электрон-фононное взаимодействие	<p>1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p> <p>2. Матухин В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p> <p>3. Фомин Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела: учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2014. - 186 с.: ил. схем. табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074</a>.</p> <p>4. Гордиенко А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487</a>.</p>
5.	Электронные свойства твердых тел	<p>1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p> <p>2. Матухин В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p> <p>3. Фомин Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела: учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2014. - 186 с.: ил, схем, табл. - Библиогр. в кн. - ISBN</p>

		<p>978-5-4475-2829-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259074</a>.</p> <p>4. Гордиенко А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232487</a>.</p> <p>5. Кудряшов С.Н. Основные методы решения практических задач в курсе «Уравнения математической физики»: учебное пособие / С.Н. Кудряшов, Т.Н. Радченко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Факультет математики, механики и компьютерных наук. - Ростов-н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2011. - 308 с. - ISBN 978-5-9275-0879-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=241103">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=241103</a>.</p>
6.	Оптические свойства твердых тел	<p>1. Музыка А.Ю. Механика и электромагнетизм: тексты лекций по общей физике: лекции / А.Ю. Музыка. - Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. - 280 с.: ил. - (Высшая школа). - ISBN 978-5-4458-9569-5; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=256579">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=256579</a>.</p> <p>1. Гольдаде, В.А. Физика конденсированного состояния : пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук ; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p> <p>2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p>
7.	Сверхпроводимость	<p>1. Бёккер, Ю. Спектроскопия / Ю. Бёккер; пер. Л.Н. Казанцева. - Москва: РИЦ "Техносфера", 2009. - 528 с. - (Мир химии). - ISBN 978-5-94836-220-5; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=88994">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=88994</a>.</p> <p>2. Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко; науч. ред. Л.А. Алешина. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 978-5-94836-327-1; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=233466">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=233466</a>.</p>
8.	Системы с пониженной размерностью	<p>1. Гольдаде, В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=93309</a>.</p> <p>2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/262">https://e.lanbook.com/book/262</a>.</p>

		<p>3. Кудряшов, С.Н. Основные методы решения практических задач в курсе «Уравнения математической физики»: учебное пособие / С.Н. Кудряшов, Т.Н. Радченко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Факультет математики, механики и компьютерных наук. - Ростов-н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2011. - 308 с. - ISBN 978-5-9275-0879-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=241103">http:// biblioclub.ru/index.php? page=book&amp;id=241103</a>.</p>
--	--	--

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

### **3 Образовательные технологии**

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, разбор конкретных ситуаций, творческие задания, мозговой штурм.

Большая часть лекций и лабораторные занятия проводятся с использованием современных справочных материалов. Для проведения меньшей части лекционных занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержимого, позволяющего слушателю воспринимать особенности изучаемой профессии, зачастую играющие решающую роль в понимании и восприятии, а так же формировании профессиональных компетенций. Используются программы моделирования физических процессов в физике конденсированного состояния и программы онлайн-контроля знаний магистрантов (в том числе программное обеспечение дистанционного обучения).

По изучаемой дисциплине магистрантам предоставляется возможность открыто пользоваться (в том числе копировать на личные носители информации) подготовленными ведущим данную дисциплину лектором материалами в виде электронного комплекса сопровождения, включающего в себя: электронные конспекты лекций; электронные варианты учебно-методических пособий.

Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях:

- технология развития критического мышления;
- лекции с проблемным изложением;
- изучение и закрепление нового материала (использование вопросов, Сократический диалог);
- обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем («Займи позицию (шкала мнений)», проективные техники, «Один – вдвоем – все вместе», «Смени позицию», «Дискуссия в стиле телевизионного ток-шоу», дебаты, симпозиум);
- разрешение проблем («Дерево решений», «Мозговой штурм», «Анализ казусов»);
- творческие задания;

- работа в малых группах;
- технология компьютерного моделирования численных расчетов.

Проведение всех занятий лабораторного практикума предусмотрено в классе снабженном всем необходимым оборудованием и компьютерами для эффективного выполнения соответствующих лабораторных работ.

По итогам выполнения каждой лабораторной работы магистрант предоставляет и защищает разработанную программу численного моделирования и расчета, причем в беседе с преподавателем должен продемонстрировать знание как теоретического и экспериментального материала, относящегося к работе, так и необходимых для практической реализации работы компьютерных технологий. После защиты лабораторной работы магистрант обязан предоставить откорректированную и оптимизированную программную разработку в формате использованной компьютерной системы.

Дополнительная форма контроля эффективности усвоения материала и приобретения практических навыков заключается в открытой интерактивной защите лабораторной работы на устном выступлении перед аудиторией сокурсников.

Сопровождение самостоятельной работы магистранты также организовано в следующих формах:

- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы и путем подготовки докладов;
- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

## **4 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

### **4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля**

Текущий контроль: проверка выполнения лабораторных работ, ответы на вопросы по соответствующим разделам изучаемой дисциплины.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

#### **Структура твердых тел**

1. Адиабатический принцип Борна-Эренфеста. Нарушение адиабатичности.
2. Точечная и трансляционная симметрия кристаллической решетки. Типы элементарных ячеек, сингония, категория.
3. Связь физических свойств кристалла с симметрией кристаллической решетки.
4. Зона Бриллюэна. Особые точки в зоне Бриллюэна. Звезда волнового вектора.

#### **Колебания решетки**

5. Квантование колебаний одноатомной кристаллической решетки. Канонические коммутационные соотношения.
6. Квантование колебаний решетки с несколькими сортами атомов в элементарной ячейке. Оптические и акустические фононы.
7. Ангармонизм как взаимодействие фононов.  $N$ - и  $U$ - процессы взаимодействия фононов.

#### **Электроны в твердом теле**

16. Уравнение Шредингера для электрона в периодическом потенциале. Зонная структура твердых тел.
17. Эффективная масса, вычисление эффективной массы в приближении сильной связи.
18. Локализованные состояния электронов. Глубокие и мелкие уровни.
19. Статистика Ферми-Дирака. Квантование системы электронов. Канонические

антикоммутиационные соотношения.

20. Волновое число и энергия Ферми. Температура вырождения ферми-систем.

21. Особенности квантования системы электронов в конденсированных средах. Электроны и дырки. Гамильтониан системы электронов и дырок.

22. Взаимодействие электронов и дырок. Экситоны большого радиуса (Ванье-Мотта).

23. Экситоны малого радиуса (Френкеля). Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения с помощью экситонов Френкеля.

#### **Электрон-фононное взаимодействие**

24. Элементарная теория полярона. Энергия связи, закон дисперсии, эффективная масса.

#### **Электронные свойства твердых тел**

25. Электропроводность металлов и полупроводников. Связь между тепло- и электропроводностью (закон Видемана-Франца).

#### **Отклик конденсированной среды на внешнее возмущение**

26. Матрица плотности, ее свойства. Уравнение движения для матрицы плотности.

27. Отклик конденсированной среды на внешнее возмущение. Формула Кубо-Гринвуда.

28. Оптические свойства полупроводниковых кристаллов. Прямозонные и непрямозонные переходы.

#### **Сверхпроводимость**

29. Свойства сверхпроводящего состояния. Бозе-конденсация. Аналогия между сверхтекучестью и сверхпроводимостью.

30. Феноменологическая теория токового сверхпроводящего состояния. Уравнение Гинзбурга-Ландау.

31. Микроскопическая теория сверхпроводимости. Гамильтониан Фрелиха. Преобразование Боголюбова.

32. Высокотемпературная сверхпроводимость, сверхпроводимость в системах с тяжелыми фермионами.

#### **Системы с пониженной размерностью**

33. Квантовые точки: электронная структура, уравнение Кона-Шэма.

34. Одномерные системы, разделение заряда и спина, бозонизация. Сверхпроводимость в одномерных системах.

35. Поверхностные состояния электронов. Особенности двумерных систем.

Итоговый контроль: Экзамен.

### **4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Текущий контроль:

– контрольные вопросы по разделам учебной программы.

– практические задания (подготовка докладов).

Темы докладов:

1. Кристаллическая структура и ее описание. Симметрия кристалла, точечные и пространственные (федоровские) группы. Классификация решеток Бравэ.

2. Динамика кристаллической решетки. Квантование колебаний решетки, акустические и оптические фононы.

3. Электронные волны в кристалле. Уравнение Шредингера для электрона в периодическом потенциале. Эффективная масса. Примеси и примесные уровни, локализация электронов.

4. Квантование системы электронов, электроны и дырки. Статистика носителей заряда. Энергия Ферми, электронная теплоемкость

5. Кулоновское и обменное взаимодействие в электронно-дырочной системе. Экситоны большого радиуса. Экситоны малого радиуса, безызлучательный перенос энергии

электронного возбуждения с помощью экситонов.

6. Электронные свойства твердых тел. Электропроводность, связь между электропроводностью и теплопроводностью (закон Видемана-Франца).

7. Матрица плотности и ее свойства. Уравнение Лиувилля (Неймана). Отклик конденсированной среды на внешнее возмущение, формула Кубо-Гринвуда для обобщенной восприимчивости. Прямые и не прямые оптические межзонные переходы в полупроводниках.

8. Сверхпроводники, их свойства. Фазовый переход второго рода как спонтанное нарушение симметрии. Изотопический эффект. Магнитные свойства сверхпроводников, эффект Мейсснера, глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Микроскопическая теория

9. Системы с пониженной размерностью. Квантовые точки. Электронное строение квантовых точек. Одномерные системы, разделение заряда и спина. Бозонизация. Двумерные системы. Поверхностные состояния электронов.

При экзаменационной форме проведения промежуточной аттестации используется пятибалльная система оценок, определенная «Положением об экзаменах и зачетах».

**Оценка "5"** ("отлично") выставляется магистранту, обнаружившему всестороннее систематическое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять практические задания, освоившему основную литературу и знакомому с дополнительной литературой, рекомендованной программой. "Оценка "5" ("отлично") выставляется магистрантам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

**Оценка "4"** ("хорошо") выставляется магистранту, обнаружившему полное знание учебно-программного материала, успешно выполнившего предусмотренные программой задачи, усвоившему основную рекомендованную литературу. Оценка "4" ("хорошо") выставляется магистранту, показавшему систематический характер знаний по дисциплине и способному к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебы и профессиональной деятельности.

**Оценка "3"** ("удовлетворительно") выставляется магистранту, обнаружившему знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, предусмотренных программой. Оценка "3" ("удовлетворительно") выставляется магистрантам, обладающим необходимыми знаниями, но допустившим неточности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий.

**Оценка "2"** ("неудовлетворительно") выставляется магистранту, обнаружившему существенные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка "2" ("неудовлетворительно") ставится магистрантам, которые не могут продолжать обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## **5 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1 Основная литература**

1. Гольдаде, В.А. Физика конденсированного состояния: пособие / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93309>.

2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/262>.

3. Фомин, Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела: учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 186 с. : ил, схем. табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259074>.

4. Гордиенко, А.Б. Физика конденсированного состояния. Решение задач: учебное пособие / А.Б. Гордиенко, А.В. Кособуцкий, Д.В. Корабельников. - 2-е изд., доп. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2011. - 92 с. - ISBN 978-5-8353-1164-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232487>.

### **5.2 Дополнительная литература**

1. Тумаев, Евгений Николаевич Процессы переноса энергии электронного возбуждения в конденсированных средах: монография / Е. Н. Тумаев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кубанский гос. ун-т - Краснодар: [Кубанский государственный университет], 2013.

2. Бёккер, Ю. Спектроскопия / Ю. Бёккер; пер. Л.Н. Казанцева. - Москва: РИЦ "Техносфера", 2009. - 528 с. - (Мир химии). - ISBN 978-5-94836-220-5; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=88994>.

3. Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко ; науч. ред. Л.А. Алешина. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 978-5-94836-327-1; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466>.

4. Кудряшов, С.Н. Основные методы решения практических задач в курсе «Уравнения математической физики»: учебное пособие / С.Н. Кудряшов, Т.Н. Радченко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Факультет математики, механики и компьютерных наук. - Ростов-н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2011. - 308 с. - ISBN

## **6 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

№	Ссылка	Пояснение
1.	<a href="http://www.book.ru">http://www.book.ru</a>	BOOK.ru – электронная библиотечная система (ЭБС) современной учебной и научной литературы. Библиотека BOOK.ru содержит актуальную литературу по всем отраслям знаний, коллекция пополняется электронными книгами раньше издания печатной версии.
2.	<a href="http://www.ibooks.ru">http://www.ibooks.ru</a>	Айбукс.ру – электронная библиотечная система учебной и научной литературы. В электронную коллекцию включены современные учебники и пособия ведущих издательств России.
3.	<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>	Платформа ScienceDirect обеспечивает всесторонний охват литературы из всех областей науки, предоставляя доступ к более чем 2500 наименований журналов и более 11000 книг из коллекции издательства «Эльзевир».
4.	<a href="http://www.scopus.com">http://www.scopus.com</a>	База данных Scopus индексирует более 18 тыс. наименований журналов от 5 тыс. международных издательств, включая более 300 российских журналов.
5.	<a href="http://www.scirus.com">http://www.scirus.com</a>	Scirus – бесплатная поисковая система для поиска научной информации.
6.	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>	Научная электронная библиотека (НЭБ) содержит полнотекстовые версии научных изданий ведущих зарубежных и отечественных издательств.

## **7 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

На самостоятельную работу магистрантов отводится более 50% времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы магистрантов организовано в следующих формах:

1. Выполнение теоретических заданий по изучаемому разделу дисциплины.
2. Проверка знаний магистранта основана на контрольных вопросах, приведенных в описании работы и дополнительных вопросах, касающихся соответствующих разделов дисциплины.
3. Выполнение домашних заданий по практическим занятиям.
4. Усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы.
5. Консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

## **8 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **8.1 Перечень информационных технологий**

1. Компьютерное тестирование по итогам изучения разделов дисциплины.
2. Проверка заданий и консультирование посредством электронной почты.



3. Использование электронных презентаций при проведении практических занятий.

### **8.2 Перечень программного обеспечения**

1. Операционная система MS Windows.
2. Интегрированное офисное приложение MS Office.
3. Обеспечение информационной безопасности–антивирус.

## **9 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Лекционная аудитория, оснащенная презентационной техникой: проектор, экран, компьютер/ноутбук и соответствующим программным обеспечением. Специализированные демонстрационные стенды и установки для демонстраций опытов и физических явлений.
2.	Семинарские занятия	Не предусмотрено.
3.	Лабораторные занятия	Лаборатория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения.
4.	Курсовое проектирование	Не предусмотрено.
5.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитория, (кабинет).
6.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Аудитория, (кабинет).
7.	Самостоятельная работа	Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.