

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Специальный физический практикум**

Кафедра Общей и теоретической физики, физического факультета

**Образовательная программа**

03.03.02 Физика

Профиль подготовки

фундаментальная физика

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Форма обучения

очная

Статус дисциплины: вариативная

Махачкала 2020

Рабочая программа дисциплины составлена в 2020 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» (уровень бакалавриат) от «7» августа 2014г. № 937.

Разработчик: кафедра общей и теоретической физики.

Абдулвагабов Мизафрудин Шахович, к.ф.-м.н., доцент,

Аливердиев Абутраб Александрович, д. ф.-м.н., профессор,

**Рабочая программа дисциплины одобрена:**

на заседании кафедры общей и теоретической физики от «21» января 2020г., протокол №5.

Зав. кафедрой



Муртазаев А.К.

на заседании Методической комиссии физического факультета  
от «28» февраля 2020г., протокол №6

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «26» марта 2020г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Специальный физический практикум» входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02 – «Физика» (профиль – фундаментальная физика) и является обязательной для изучения.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой общей и теоретической физики.

Содержание дисциплины в 5 семестре охватывает круг вопросов, связанных с изучением кристаллической структуры твердых тел, колебаний решетки, законов движения электрона в идеальном газе и возмущенных периодических полях, а также формированием зонной структуры энергетического спектра электронов в твердых телах на основе модели сильной связи электронов с ионным остовом решетки.

Содержание дисциплины в 7 семестре охватывает круг вопросов, связанных с изучением основ теории сигналов.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

- общекультурных – ОК-7;
- общепрофессиональных – ОПК- 2, ОПК-3;
- профессиональных – ПК-1, ПК-5.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лабораторные занятия и самостоятельную работу.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме текущий контроль в форме опросов, коллоквиума и промежуточный контроль в форме зачет.

Объем дисциплины 5 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамены	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе								
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					КСП		
		Всего	из них						
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия		консультации			
5	72	50	-	50	-	-	-	22	Зачет
7	108	54	-	54	-	-	-	54	Зачет
5,7	180	104	-	104	-	-		76	

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Специальный физический практикум» в 5 семестре являются подготовка бакалавров – физиков широкого профиля, умеющих грамотно решать многочисленные практически и теоретически важные задачи, в том числе возникающие на стыках различных научных направлений.

Целями освоения дисциплины «Специальный физический практикум» в 7 семестре являются подготовка бакалавров – физиков широкого профиля, умеющих грамотно решать как фундаментальные, так и прикладные задачи, связанные с работой с сигналами различной природы.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02– «Физика» (профиль – фундаментальная физика). Для освоения дисциплины в 5 семестре необходимы знания дисциплин: общий курс физики, математический анализ, линейная алгебра, дифференциальные и интегральные уравнения и информатика. Для освоения дисциплины в 7 семестре необходимы знания дисциплин: «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Методы математической физики», «Электродинамика», «Численные методы и математическое моделирование». Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать курсы естественнонаучного цикла, спецкурсы по выбору студента.

В рамках лабораторного практикума используется умение студентов производить расчеты с помощью средств вычислительной техники. Это позволяет существенно приблизить уровень статистической культуры обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих студента приобретают опыт общения с ЭВМ и использования статистических методов обработки результатов наблюдений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ОК-7	способность к и самоорганизации самообразованию.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• общие принципы квантовой теории твердого тела;</li> <li>• общие принципы теории сигналов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать и интерпретировать всю сумму жизненных и профессиональных знаний, которые формируют стандарты общекультурной эрудированности человека в определенной среде;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <p>системой знаний, понятий и представлений о человеке, как о представителе этнического общества.</p>
ОПК-2	способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные физические и математические термины, используемые при работе с квантовыми схемами и алгоритмами, и обозначения и представления;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать в дальнейшей профессиональной деятельности базовые знания теории сигналов с учетом границ применимости моделей;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• системой знаний, понятий и навыков по реализации математических алгоритмов работы с сигналами;</li> </ul>

ОПК-3	Способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы теоретической физики;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками использования базовых знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</li> </ul>
ПК-1	способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы физики;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать полученные ранее знания и навыки в новой области;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• системой знаний основных физических принципов регистрации и обработки сигналов;</li> </ul>
ПК-5	способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные физические явления и основные законы теоретической физики, границы их применимости;</li> <li>• способы применения законов в важнейших практических приложениях.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать различные методики измерений и обработки экспериментальных знаний;</li> <li>• использовать методы адекватного теоретического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.</li> </ul> <p><b>Владеть навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;</li> <li>• обработки и интерпретирования результатов эксперимента;</li> <li>• использования методов физического</li> </ul>

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоят. работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
<b>Модуль 1. Кристаллические решетки. Электрон в периодическом поле.</b>								
1.	Кристаллические решетки.	5	-	4	-	-	4	опрос
2.	Уравнение Шредингера для кристалла.		-	6	--	-	2	опрос
3.	Одноэлектронное приближение.		-	4	-	-	2	опрос
4.	Периодический потенциал и теорема Блоха.		-	6	-	-	2	опрос
5.	Электрон в периодическом поле.		-	4	-	-	2	опрос
<b>Итого по модулю 1</b>			-	24	-	-	12	коллоквиум
<b>Модуль 2. Энергетический спектр электронов в кристалле.</b>								
1.	Граничное условие Борна – Кармана.	5	-	4	-	-	2	опрос
2.	Зоны Бриллюэна.		-	4	--	-	2	опрос
3.	Плотность уровней.		-	4	-	-	2	опрос
4.	Приближение почти свободных электронов.		-	4	-	-	2	опрос
5.	Приближение сильно связанных электронов.		-	4	-	-	2	опрос
6.	Энергетический спектр электронов в кристалле.		-	6	-	-		опрос
<b>Итого по модулю 2</b>			-	26	-	-	10	зачет
<b>Модуль 3. Введение в теорию сигналов. Описание сигналов.</b>								
1.	Общие сведения и понятия теории сигнала.	7	-	2	-	-	2	опрос

2.	Математические модели сигналов. Виды моделей. Классификация сигналов.			-	4	-	-	4	опрос
3.	Типы сигналов. Аналоговый сигнал. Дискретный сигнал. Цифровой сигнал. Преобразования типа сигналов. Графическое отображение сигналов. Тестовые сигналы.			-	4	-	-	4	опрос
4.	Системы преобразования сигналов. Общее понятие систем. Основные системные операции. Линейные системы.			-	4	-	-	4	опрос
5.	Информационная емкость сигналов. Понятие информации. Количественная мера информации. Энтропия.			-	4	-	-	4	опрос
<b>Итого по модулю 3</b>				-	18	-	-	18	контрольная работа
<b>Модуль 4. Пространство и метрология сигналов</b>									
1.	Пространство сигналов. Множества сигналов. Линейное пространство сигналов.			-	4	-	-	4	опрос
2.	Норма сигналов. Метрика сигналов. Скалярное произведение сигналов.			-	2	--	-	2	опрос
3.	Коэффициент корреляции сигналов. Координатный базис пространства.			-	4	-	-	4	опрос
4.	Пространства функций. Ортонормированный базис пространства. Разложение сигнала в ряд.	7		-	4	-	-	4	опрос
5.	Задачи дискретизации функций. Принципы дискретизации. Воспроизведение сигнала.			-	4	-	-	4	опрос
<b>Итого по модулю 4</b>				-	18	-	-	18	контрольная работа
<b>Модуль 5. Корреляция сигналов.</b>									
1.	Автокорреляционные функции сигналов.			-	4	-	-	4	опрос
2.	Взаимкорреляционные функции сигналов			-	2	--	-	2	опрос
3.	Спектральные плотности корреляционных функций.	7		-	4	-	-	4	опрос
4.	Математическое описание шумов и помех.			-	4	-	-	4	опрос
5.	Оценка периодических сигналов в шуме.			-	4	-	-	4	опрос

<i>Итого по модулю 5</i>	-	18	-	-	18	зачет
<b>ИТОГО</b>	-	<b>104</b>	-	-	<b>76</b>	

### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

##### **Модуль 1. Кристаллические решетки. Электрон в периодическом поле.**

Решетки Бравэ и основные векторы. Простая, объёмно-центрированная и гранецентрированная кубические решетки. Примитивная ячейка, ячейка Вигнера – Зейтца и условная ячейка. Гексагональная и плотноупакованная структура.

Уравнение Шредингера для твердого тела. Одноэлектронное приближение Периодический потенциал и теорема Блоха. Электрон в периодическом поле.

##### **Модуль 2. Энергетический спектр электронов в кристалле.**

Граничное условие Борна – Кармана. Число состояний электронов в энергетической зоне. Зоны Бриллюэна. Плотность уровней и особенности Ван Хова. Приближение почти свободных электронов. Приближение сильно связанных электронов. Энергетический спектр электронов в кристалле. Модель Кронига – Пенни.

##### **Модуль 3. Введение в теорию сигналов. Описание сигналов.**

Общие сведения и понятия теории сигнала. Математические модели сигналов. Виды моделей. Классификация сигналов. Типы сигналов. Аналоговый сигнал. Дискретный сигнал. Цифровой сигнал. Преобразования типа сигналов. Графическое отображение сигналов. Тестовые сигналы. Системы преобразования сигналов. Общее понятие систем. Основные системные операции. Линейные системы. Информационная емкость сигналов. Понятие информации. Количественная мера информации. Энтропия.

##### **Модуль 4. Пространство и метрология сигналов.**

Пространство сигналов. Множества сигналов. Линейное пространство сигналов. Норма сигналов. Метрика сигналов. Скалярное произведение сигналов. Коэффициент корреляции сигналов. Координатный базис пространства. Пространства функций. Ортонормированный базис пространства. Разложение сигнала в ряд.

## Модуль 5. Корреляция сигналов. Дискретные преобразования.

Корреляция сигналов. Автокорреляционные функции сигналов. Взаимнокорреляционные функции сигналов. Спектральные плотности корреляционных функций. Задачи дискретизации функций. Математическое описание шумов и помех. Оценка периодических сигналов в шуме.

### 4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине.

Содержание темы		Объем в часах
<b>Модуль 1. Кристаллические решетки. Электрон в периодическом поле.</b>		
1.	Найти зависимость энергии электрона от волнового вектора у нижнего края (у дна) энергетической зоны. Зависимость энергии электрона от волнового вектора в простой кубической решетке известна.	6
2.	Найти зависимость энергии электрона от волнового вектора у верхнего края (у потолка) энергетической зоны. Зависимость энергии электрона от волнового вектора в простой кубической решетке известна.	6
3.	Построить зависимости энергии, квантовомеханической средней скорости и эффективной массы электронов от волнового вектора в первой зоне Бриллюэна. Энергия электронов от волнового вектора в простой кубической решетке задана.	6
4.	Рассчитать плотность электронных состояний в случае электронного свободного газа. Построить зависимости плотности состояний от энергии электронов.	6
<b>Модуль 2. Энергетический спектр электронов в кристалле.</b>		
1.	Электрон движется в одномерном периодическом потенциальном поле, создаваемом атомами, находящимися на расстоянии $d$ друг от друга. Показать, что волновые функции электронов могут иметь вид: $u(x)e^{i\vec{k}x}$ , где $u(x)$ – функция той же периодичности что и потенциал. Предполагая, что в трехмерном случае волновая функция имеет определенный вид $u(x)e^{i\vec{k}\vec{r}}$ , определить значение волнового вектора для гранецентрированной кубической решетки.	4
2.	Найти зависимость энергии электронов от волнового вектора в случае простой кубической решетки (каждый атом окружен шестью ближайшими соседями) в методе сильной связи.	4
3.	Найти зависимость энергии электронов от волнового вектора в случае объемно-центрированного куба (каждый атом окружен	4

	восемью ближайшими соседями) в методе сильной связи.	
4.	Найти зависимость энергии электронов от волнового вектора в случае гранецентрированного куба (каждый атом окружен двадцатью ближайшими соседями) в методе сильной связи.	4
5.	Найти зависимость энергии электронов от волнового вектора в периодическом поле гексагональной плотноупакованной структуры.	4
6.	Энергетический спектр электронов в кристалле. Модель Кронига – Пенни. Построить график зависимости энергии электрона от волнового вектора для потенциала Кронига – Пенни.	6
<b>Модуль 3. Введение в теорию сигналов. Описание сигналов.</b>		
1.	Охарактеризовать простейшие сигналы.	4.
2.	Составить сигналы в рамках заданных математических моделей. Гармонические, полигармонические, почти периодические, аperiodические сигналы. Шумы и помехи. Стационарные и нестационарные сигналы.	8
3.	Провести графическое отображение сигналов. Охарактеризовать типы сигналов и преобразования типа сигналов.	8
4.	Ознакомиться с теорией систем преобразования сигналов и построить алгоритмы простейших систем, содержащих основные системные операции для компьютерной обработки.	8
5.	Ознакомиться с понятием информационной емкости сигнала. На основании теоремы Шеннона вычислить энтропию заданных ансамблей.	8
<b>Модуль 4. Пространство и метрология сигналов</b>		
1.	Пространство сигналов. Множества сигналов. Линейное пространство сигналов. На основании аксиом определить, образует то или иное множество линейное пространство.	8
2.	Определить норму и скалярное произведение заданных сигналов.	4
3.	Определить коэффициент корреляции заданных сигналов.	8
4.	Разложить сигнал в ортонормированный ряд.	8
5.	Провести дискретизацию непрерывного сигнала и восстановления. Проанализировать возможную потерю информации.	8
<b>Модуль 5. Корреляция сигналов</b>		
1.	Составить автокорреляционные функции заданных сигналов.	8
2.	Составить взаимокорреляционные функции заданных пар сигналов.	4
3.	Определить спектральные плотности корреляционных функций.	8
4.	Описать и промоделировать различные виды помех.	8

## 5. Образовательные технологии

В течение семестра студенты посещают лекции, решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Аттестация проводится после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

### Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ (проектов);
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки.

Разделы и темы для самостоятельного изучения	Виды и содержание самостоятельной работы
Кристаллические решетки.	Примитивная решетка. Ячейка Вигнера – Зейтца и условная ячейка.
Уровни электрона в периодическом потенциале.	Периодический потенциал и теорема Блоха. Граничные условия Борна – Кармана. Плотность уровней. Особенности Ван Хова.

Электроны в слабом периодическом потенциале.	Теория возмущения и слабые периодические потенциалы. Поверхность Ферми и зоны Бриллюэна. Геометрический структурный фактор. Энергетические зоны в одномерном случае.
Динамическая форма отображения сигналов	Разложение сигналов по единичным импульсам. Единичные импульсы. Разложение сигнала. Импульсный отклик
Энергетические спектры сигналов	Мощность и энергия сигналов. Скалярное произведение сигналов. Взаимный энергетический спектр. Энергетический спектр сигнала.
Дискретизация сигналов	Спектр дискретного сигнала. Интерполяционный ряд Котельникова-Шеннона. Дискретизация с усреднением.
Дискретные преобразования сигналов	Преобразование Фурье. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Преобразование Лапласа. Уравнение дискретной свертки.
Модели случайных сигналов и помех.	Телеграфный сигнал. Белый шум. Гауссовый шум. Гауссовы случайные процессы.

Результаты самостоятельной работы учитываются при аттестации студента (зачет). При этом проводятся: тестирование, опрос на практических занятиях, заслушиваются доклады, проверка контрольных работ и т.д.

Студентам представляется раздаточный материал: методическое пособие и литература по выполнению лабораторных работ.

## **7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

### **7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.**

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ПООП (при наличии))	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОК-7		<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• общие принципы квантовой теории твердого тела;</li> <li>• общие принципы теории сигналов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать и интерпретировать всю сумму жизненных и профессиональных знаний, которые формируют стандарты общекультурной эрудированности человека в определенной среде;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b> системой знаний, понятий и представлений о человеке, как о представителе этнического общества.</p>	Письменный опрос

ОПК-2		<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные физические и математические термины, используемые при работе с квантовыми схемами и алгоритмами, и обозначения и представления;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать в дальнейшей профессиональной деятельности базовые знания теории сигналов с учетом границ применимости моделей;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• системой знаний, понятий и навыков по реализации математических алгоритмов работы с сигналами;</li> </ul>	Разноуровневые задачи и задания
ОПК-3		<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы теоретической физики;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками использования базовых знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</li> </ul>	Письменный опрос

ПК-1		<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы физики;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать полученные ранее знания и навыки в новой области;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• системой знаний основных физических принципов регистрации и обработки сигналов;</li> </ul>	Письменный опрос
ПК-5		<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные физические явления и основные законы теоретической физики, границы их применимости;</li> <li>• способы применения законов в важнейших практических приложениях.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать различные методики измерений и обработки экспериментальных знаний;</li> <li>• использовать методы адекватного теоретического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем.</li> </ul> <p><b>Владеть навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• применения основных методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач;</li> <li>• обработки и интерпретирования результатов эксперимента;</li> </ul>	Письменный опрос

		<ul style="list-style-type: none"> <li>использования методов физического моделирования в инженерной практике.</li> </ul>	
--	--	--	--

## 7.2. Типовые контрольные задания

### 7.2.1. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.

#### 5 семестр

1. Волновая функция свободно движущегося электрона.
2. Волны де Бройля.
3. Фазовая скорость и дисперсия волн де Бройля.
4. Связь волновых характеристик со скоростью микрочастиц.
5. Уравнение Шредингера для кристалла.
6. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация.
7. Одноэлектронное приближение.
8. Метод Хартри-Фока.
9. Периодический потенциал. Теорема Блоха.
10. Число состояний электронов в энергетической зоне. Граничное условие Борна-Кармана
11. Почти свободные электроны в периодическом потенциальном поле.
12. Импульс и энергия Ферми
13. Плотность состояний.
14. Кристаллическая структура и решетки с базисом.
15. Гексагональная плотноупакованная структура.
16. Решетка Бравэ и основные векторы.
17. Примитивная ячейка, ячейка Вигнера – Зейтца и условная решетка.
18. Обратная решетка.
19. Обратная решетка как решетка Бравэ.
20. Первая зона Бриллюэна.
21. Обозначения узлов и направлений.
22. Индексы Миллера для плоскостей.
23. Приведенный волновой вектор. Зоны Бриллюэна.
24. Электрон в кристалле - квазичастица.
25. Поверхность Ферми. Построение поверхности Ферми.
26. Особенности Ван Хофа в плотности уровней.
27. Метод сильно связанных электронов.

28. Уравнение Шредингера для одномерной модели периодического потенциала. Модель Кронига – Пенни.
29. Эффективная масса электрона в кристалле.
30. Скорость электрона в кристалле.
31. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна энергетической зоны.
32. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у потолка энергетической зоны.
33. Метод эффективной массы.

### ***7 семестр***

1. Понятие сигнала.
2. Размерность сигналов.
3. Шумы и помехи.
4. Спектральное представление сигналов.
5. Математические модели сигналов.
6. Классификация сигналов.
7. Типы сигналов. Графическое отображение сигналов.
8. Системы преобразования сигналов.
9. Информационная емкость сигналов. Энтропия.
10. Линейное пространство сигналов.
11. Скалярное произведение и норма сигналов.
12. Корреляционные функции сигналов.
13. Автокорреляционная функция сигналов.
14. Взаимная корреляционная функция сигналов.
15. Спектральные плотности корреляционных функций.
16. Операция дискретизации.
17. Операция восстановления аналогового сигнала.
18. Операция квантования.
19. Операция цифро-аналогового преобразования.
20. Дельта-функция или функция Дирака.
21. Линейные системы.
22. Энтропия источника информации.
23. Информационная емкость сигналов.
24. Характеристики помех.

#### **7.2.2. Перечень вопросов к зачету.**

##### ***Первый зачет (5 семестр)***

1. Волновая функция свободно движущегося электрона.

2. Волны де Бройля.
3. Фазовая скорость и дисперсия волн де Бройля.
4. Связь волновых характеристик со скоростью микрочастиц.
5. Уравнение Шредингера для кристалла.
6. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация.
7. Одноэлектронное приближение.
8. Метод Хартри-Фока.
9. Периодический потенциал. Теорема Блоха.
10. Число состояний электронов в энергетической зоне. Граничное условие Борна-Кармана
11. Почти свободные электроны в периодическом потенциальном поле.
12. Импульс и энергия Ферми
13. Плотность состояний.
14. Кристаллическая структура и решетки с базисом.
15. Гексагональная плотноупакованная структура.
16. Решетка Бравэ и основные векторы.
17. Прimitивная ячейка, ячейка Вигнера – Зейтца и условная решетка.
18. Обратная решетка.
19. Обратная решетка как решетка Бравэ.
20. Первая зона Бриллюэна.
21. Обозначения узлов и направлений.
22. Индексы Миллера для плоскостей.
23. Приведенный волновой вектор. Зоны Бриллюэна .
24. Электрон в кристалле - квазичастица.
25. Поверхность Ферми. Построение поверхности Ферми.
26. Особенности Ван Хофа в плотности уровней.
27. Метод сильно связанных электронов.
28. Уравнение Шредингера для одномерной модели периодического потенциала. Модель Кронига – Пенни.
29. Эффективная масса электрона в кристалле.
30. Скорость электрона в кристалле.
31. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна энергетической зоны.
32. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у потолка энергетической зоны.
33. Метод эффективной массы.

### ***Второй зачет (7 семестр)***

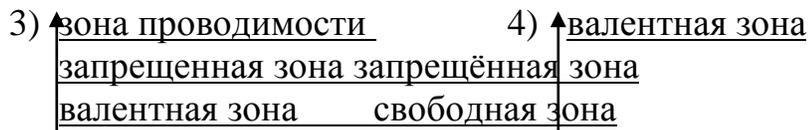
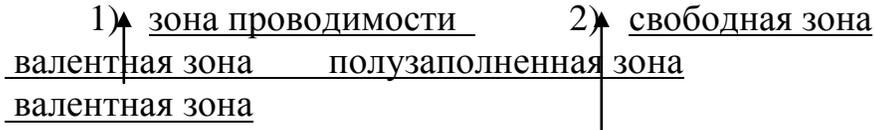
1. Понятие сигнала.
2. Размерность сигналов.
3. Шумы и помехи.

4. Спектральное представление сигналов.
5. Математические модели сигналов.
6. Классификация сигналов.
7. Типы сигналов. Графическое отображение сигналов.
8. Системы преобразования сигналов.
9. Информационная емкость сигналов. Энтропия.
10. Линейное пространство сигналов.
11. Скалярное произведение и норма сигналов.
12. Корреляционные функции сигналов.
13. Автокорреляционная функция сигналов.
14. Взаимная корреляционная функция сигналов.
15. Спектральные плотности корреляционных функций.
16. Операция дискретизации.
17. Операция восстановления аналогового сигнала.
18. Операция квантования.
19. Операция цифро-аналогового преобразования.
20. Дельта-функция или функция Дирака.
21. Линейные системы.
22. Энтропия источника информации.
23. Информационная емкость сигналов.
24. Характеристики помех.

**7.2.3. Примерные контрольные тесты для текущего и итогового контроля подготовленности студентов по курсу:**

1. Приближение почти свободных электронов дает более или менее удовлетворительной результат зонной структуры для:
  - 1) полупроводников
  - 2) диэлектриков
  - 3) для аморфных проводников
  - 4) металлов.
2. Блоховская функция имеет вид:
  - 1)  $\psi_k(r) = U_k(r)e^{ikr}$ ,
  - 2)  $\psi(r) = c_n e^{ikr}$ ,
  - 3)  $\psi(r) = \sum (c_n + 1)e^{ikr}$ ,
  - 4)  $\psi(r) = U_k(r) \sin kr$ .
3. Решетка Бравэ образованна всеми точками с радиусами- векторами  $\vec{R}$  вида  $\vec{R} = n_1\vec{a}_1 + n_2\vec{a}_2 + n_3\vec{a}_3$ , где  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$  - любые три вектора, не лежащие все в одной плоскости, а  $n_1, n_2, n_3$  -

- 1) все возможные четные числа
  - 2) все возможные целые числа
  - 3) сумма  $n_i$  обязательно четная
  - 4) все возможные нечетные числа.
4. Какие из энергетических зонных структур нарисованы для полупроводников и диэлектриков?



5. Сколько разрешенных состояний в  $k$  пространстве на единицу объема.

1)  $\left(\frac{k^2}{2\pi}\right)$ ,                      2)  $\left(\frac{k_x + k_y + k_z}{2\pi}\right)$ ,                      3)  $\left(\frac{k}{2\pi}\right)^3$ ,                      4)  $\left(\frac{2\pi}{k^3}\right)$ .

6. Для одномерной решетки с переходом от значения волнового вектора в произвольной точке задаются выражением:

1)  $k = \frac{\pi}{d} + \frac{2\pi}{d}n$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2$ .

2)  $k = \frac{\pi}{d}(n+1)$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2$ .

3)  $k = \frac{d}{2\pi}$ .

4)  $k = \frac{d}{2\pi} + \frac{d}{2\pi}n$ ,  $n = 0, \pm 1, \pm 2$ .

7. В одномерной решетке с периодом  $d$  границы зон соответствуют следующим значениям волнового вектора  $k$ .

1)  $k = \frac{\pi}{d}$

3)  $k = \pm \frac{\pi}{d}, \pm \frac{2\pi}{d}, \dots$

2)  $k = \frac{\pi}{d} + d$

4)  $k = \pm \frac{d}{\pi}, \pm \frac{2d}{\pi}, \dots$

8. Среднее расстояние между соседними уровнями энергии в разрешенной зоне с параметром решетки  $a = 0,4 \text{ нм}$ , в кристалле с объемом  $n = 1 \text{ см}^3$ , при ширине зоны 1 эВ.:

1)  $\Delta E = 10^6$  эв,    2)  $\Delta E = 1$  мэв,    3)  $\Delta E = 10^{-22}$  эв,    4)  $\Delta E = 10^{-25}$  эв.

9. Положение уровня Ферми в полупроводнике n- типа проходит:
- 1) по зоне проводимости
  - 2) выше зоны проводимости
  - 3) ниже середины запрещенной зоны
  - 4) выше середины запрещенной зоны.
10. Для обозначения плоскостей гексагональных кристаллов используется четырехосной системой координат. Каждая плотность обозначается четырьмя индексами.
- а) дополнительный индекс  $i$  ставится на 2-м месте и вычисляется через  $h$  и  $k$ :  $i=(h+k)$
  - б) дополнительный индекс  $i$  ставится на 1-м месте и вычисляется через  $k$  и  $l$ :  $i=-(k+l)$
  - в) дополнительный индекс  $i$  ставится на 3-м месте и вычисляется через  $h$  и  $l$ :  $i=h-l$
  - г) дополнительный индекс  $i$  ставится на 1-м месте и вычисляется через  $k$  и  $h$ :  $i=-(h+k)$ .
11. Для гексагональных кристаллов плотность базиса параллельная осям  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  имеет индексы.
- а)  $(0\ 0\ 0\ 1)$ ,    б)  $(0\ 1\ 0\ 0)$ ,    в)  $(1\ 0\ 0\ 1)$ ,    г)  $(1\ 1\ 0\ 0)$ .
12. Плоскости отсекают на осях отрезки  $A=1/2$ ,  $B=2$ ,  $C=1/3$ . Плоскость обозначают так:
- а)  $(4\ 6\ 1)$ ,    б)  $(1\ 6\ 4)$ ,    в)  $(4\ 1\ 6)$ ,    г)  $(6\ 4\ 1)$ .
13. Плоскости, параллельные базовым граням призмы, имеют индексы типа:
- а)  $(1\ 1\ 0\ 0)$ ,    б)  $(1\ 0\ \bar{1}\ 0)$ ,    в)  $(\bar{1}\ 0\ 1\ 0)$ ,    г)  $(1\ 0\ 0\ \bar{1})$ .
14. Каждый энергетический уровень, не вырожденной в изолированном атоме, расщепляется на:
- а)  $2N$ ,    б)  $(N+1)$ ,    в)  $2(N+1)$ ,    г)  $N$ .
- близко расположенных друг от друга подуровней, образующих энергетическую зону.
15. Если энергетический уровень имел в атоме  $(2\ell + 1)$ - кратное вырождение, то соответствующая ему энергетическая зона будет состоять из:
- а)  $2N(\ell+1)$ ,    б)  $2N$ ,    в)  $\ell(N+1)$ ,    г)  $N(2\ell+1)$  подуровней.
16. С увеличением энергии электроны в атоме:
- а) ширина разрешенных зон увеличивается, ширина запрещенных зон - уменьшается.

- б) ширина разрешенной зон остается неизменной, ширина запрещенной зоны – уменьшается.
- в) ширина разрешенных зон и ширина запрещенных зон остается постоянной.
- г) ширина разрешенных зон уменьшается, ширина запрещенных зон – увеличивается.

17. В методе сильной связи получаем зонную структуру соответствующей S-зоны:

$$\begin{aligned} \text{а) } E(\kappa) &= E_s + \frac{\beta + \sum \gamma(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}}{1 + \sum \alpha(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}}, & \text{б) } E(\kappa) &= E_s - \frac{\beta + \sum \gamma(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}}{1 + \sum \alpha(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}}, \\ \text{в) } E(k) &= E_s + \beta + \sum \alpha(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}, & \text{г) } E(\kappa) &= \frac{E_s + \beta - \sum \gamma(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}}{1 + \sum \alpha(R)e^{i\bar{k}\bar{R}}}. \end{aligned}$$

18. В методе сильной связи зонная структура соответствующей S-зоны в случае г.ц.к.

$$\begin{aligned} \text{а) } E(k) &= E_s - \beta - 4\gamma \left( \cos \frac{1}{2}k_x a \cos \frac{1}{2}k_y a + \cos \frac{1}{2}k_y a \cos \frac{1}{2}k_z a + \cos \frac{1}{2} \cos k_z a \cos \frac{1}{2}k_x a \right) \\ \text{б) } E(k) &= E_s - \beta - 4\gamma \left( \cos \frac{1}{2}k_x a + \cos \frac{1}{2}k_y a + \cos \frac{1}{2}k_z a \right), \\ \text{в) } E(k) &= E_s - \beta - 4\gamma (\cos k_x a + \cos k_y a + \cos k_z a). \\ \text{г) } E(k) &= E_s + \beta + 12\gamma (\cos k_x a + \cos k_y a + \cos k_z a). \end{aligned}$$

19. Ортогонализованная плоская волна  $\Phi_k$  имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{а) } \Phi_k &= \sum_c b_c \psi_k^c(k), & \text{б) } \Phi_k &= U_k(r)e^{i\bar{k}\bar{R}}, & \text{в) } \Phi_k &= \sum_c b_c \psi_k^c(k) + U(r)e^{i\bar{k}\bar{R}}, \\ \text{г) } \Phi_k &= e^{i\bar{k}\bar{R}} + \sum_c b_c \psi_k^c(r). \end{aligned}$$

20. Псевдопотенциал определяется как:

- а) сумма реального периодического потенциала U и величины  $V^R$ ,
- б) сумма реального периодического потенциала U.
- в) сумма реального кристаллического потенциала.
- г) сумма функций Ванье.

21. Для расчета зон с использованием МТ-потенциала широко применяются:

- а) два метода (метод присоединенных плоских волн и метод ККР),
- б) только метод ККР,
- в) только метод присоединенных плоских волн,

г) методы ОПВ и ППВ.

22. МТ - потенциал совпадает:

- а) с потенциалом свободного атома,
- б) с потенциалом изолированного иона,
- в) с Кулоновским потенциалом,
- г) с псевдопотенциалом.

23. Геометрический структурный фактор имеет вид:

$$\text{а) } S_k = \beta + \sum_{j=1}^n e^{i\vec{k}\vec{R}_j}, \quad \text{б) } S_k = \beta + \sum_{j=1}^n e^{i\vec{k}(\vec{r}+\vec{R}_j)}, \quad \text{в) } S_k = \sum_{j=1}^n e^{i\vec{k}\vec{d}_j}, \quad \text{г) } S_k = \sum_{j=1}^n e^{i\vec{k}\vec{R}_j}.$$

24. Первая зона Бриллюэна есть совокупность точек:

- а) в  $k$  – пространстве, которых логично достичь из начальной точки, не пересекая ни одной брэгговской плоскости,
- б) в  $k$  – пространстве, которых можно достичь, пересекая всего одну брэгговскую плоскость,
- в) в  $k$  – пространстве удовлетворяющая условию периодичности, которых можно достичь из начальной точки,
- г) в  $k$  – пространстве, которых можно достичь из начальной точки путем трансляции вектора  $V\mathbf{R}$ .

25. Особенности Ван Хова называют, когда в формуле  $g_n(\varepsilon) = \int_{S_n(\varepsilon)} \frac{ds}{4\pi^3} \frac{1}{|\nabla \varepsilon_n(\mathbf{k})|}$

плотности уровней:

- а) интеграл имеет максимальное значение,
- б) в каждой элементарной ячейке  $g_n(\varepsilon)$  имеет минимальное значение,
- в) в каждой ячейке  $g_n(\varepsilon)$  имеет постоянное значение,
- г) когда градиент  $\varepsilon_n$  обращается в нуль, в подинтегральном выражении.

26. В  $k$  – пространстве каждой частично заполненной зоне соответствует поверхность, называя поверхность Ферми:

- а) отделяющая занятые уровни от незанятых,
- б) поверхность, примыкающая к свободной зоне,
- в) поверхность с максимальной энергией электронов
- г) поверхность, образуемая в заполненной зоне.

27. Координационным числом называется – это:

- а) общее число соседей в ячейке Вигнера - Зейтца,

- б) число атомов в элементарной ячейке,
- в) число решеток Бравэ в примитивной ячейке,
- г) число ближайших соседей в решетке Бравэ.

**Таблица ответов к тестам.**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
4	1	2	3	3	1	3	3	4	4	4	1	3	4
<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	
4	1	2	1	4	1	1	2	3	4	4	1	4	

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

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

Лабораторные занятия

- посещение занятий и наличие конспекта – 15 баллов,
- получение допуска к выполнению работы – 20 баллов,
- выполнение работы и отчета к ней – 25 баллов,
- защита лабораторной работы – 40 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос – 60 баллов,
- письменная контрольная работа – 30 баллов,
- тестирование – 10 баллов.

### **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

*а) основная литература:*

1. Борчердс Р.Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р.Е. Борчердс. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск:

Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html> (17.10.2018)

2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела / М.: Мир, 1979. — т. 1. — 400с.;
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела / М.: Мир, 1979. — т. 2. — 422с.;
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / М., 1978. — 792с.;
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / М., 1974. — 472 с.;
6. Маделунг О. Физика твердого тела. Локализованные состояния / М.: Наука, 1985. — 184с.;

**б) дополнительная литература:**

1. Кашенко А.П. Физика твердого тела. Физика ядра. Ядерные реакции [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям и домашним заданиям по дисциплинам: «Взаимодействие излучения с веществом», «Теоретическая физика», «Физические свойства твердых тел» / А.П. Кашенко, Г.С. Строковский, С.И. Шарапов. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — 20 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55674.html> (12.10.2018)
2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела / М.: URSS, 2015.— изд-е 4. — 496с. — ISBN 978-5-9710-1474-4;
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников / М.: Лань, 2016. — изд-е 4. — 624с. — ISBN 978-5-8114-0762-0;
3. Киреев П.С. Физика полупроводников / М.: Высшая школа, 1975. — изд-е 2. — 584с.;
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников / М.: Лань, 2010. — изд-е 4. — 400с. — ISBN 978-5-8114-0922-8;
5. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел / М.: Мир, 1981. — 576с.
6. Давыдов А.В. Сигналы и линейные системы. Тематические лекции: Учебное пособие в электронной форме. — Екатеринбург, УГГУ, ИГиГ, каф. ГИН
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / М.: Высшая школа, 1988.

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

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>  
Лицензионный договор № 2693/17 от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Доступ открыт с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке (доступ будет продлен)
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) договор № 55\_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг. (доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеки на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания.
5. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
7. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
8. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
9. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
10. Федеральный центр образовательного законодательства <http://www.lexed.ru>
11. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
12. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.
13. **Springer**. Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ предоставлен на неограниченный срок

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов;
- тезисы лекций,
- описание лабораторных работ.

Оптимальным путем освоения дисциплины является посещение и выполнение всех лабораторных.

На лабораторных занятиях рекомендуется деятельность студента в форме выполнения лабораторной работы, также предполагается возможность задавать вопросы на уточнение понимания. Подготовка к лабораторным занятиям включает проработку материалов лекций, рекомендованной учебной литературы.

Перед проведением зачета проводится коллективная аудиторная консультация. В целом рекомендуется регулярно посещать занятия и выполнять текущие задания, что обеспечит достаточный уровень готовности к сдаче зачета.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

1. Электронные ресурсы издательства «Лань» <http://e.lanbook.com><http://physweb.ru/db/section/e190500000>;
2. Ресурсы российской электронной библиотеки <http://elibrary.ru/>;
3. Компьютерное оборудование, информационные материалы, имеющиеся на кафедре теоретической и математической физики ДГУ и в библиотеке ДГУ.

## **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Технические средства обучения, используемые в учебном процессе для освоения дисциплины:

1. компьютерное оборудование;
2. пакет плакатов и графиков, используемых в ходе текущей работы, а также для промежуточного и итогового контроля;
3. электронная библиотека курса и Интернет-ресурсы – для самостоятельной работы.