

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Спецпрактикум по физике твердого тела
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 120 час.

Самостоятельная работа: 150 час.

Всего часов: 270, всего зач. ед.: 6

Программу составил: Т.П. Сорокина, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии наноструктур 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Спецпрактикум по физике твердого тела" предусматривает освоение экспериментальных методов объемных (упругих, тепловых, электрических, химических, магнитных и т.д.) и поверхностных свойств твердых тел; изучения твердых тел (металлов, диэлектриков, полупроводников, магнетиков, композитных материалов) с учетом структуры, симметрии и типов химических связей в них, а также базовые приложения различных эффектов и свойств твердых тел.

Задачи курса:

- формирование практических навыков в экспериментальной области физики твердого тела и физического материаловедения;
- освоение работы на современных исследовательских установках для структурного анализа электронной и атомно-силовой микроскопии, нанотвердомерии, электрических измерений полупроводниковых структур, ВЧ акустических исследований твердых тел и др.;
- приобретение практических умений и навыков в организации экспериментального и теоретического моделирования физических процессов в твердых телах.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- современные проблемы физики твердого тела и физического материаловедения;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике твердого тела и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- постановку проблем физико-химического моделирования.

Уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции, дефектообразование) по экспериментальным данным ;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

Владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции) по экспериментальным данным;
- методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники, способами расчетов проводимости, диэлектрических и магнитных свойств теплоемкости;
- математическим моделированием физических задач.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Исследование оптических свойств твердых тел
2. Электронно-микроскопические исследования на просвечивающем электронном микроскопе
3. Исследование акустических свойств материалов и пьезоэлектрических слоистых структур и их зависимости от давления и температуры
4. Исследование транспортных, калориметрических и механических свойств наноструктурных металлоуглеродных материалов

5. Методы спекания объемных образцов керамик и изучение фазовых переходов при высоких давлениях

6. Атомно-силовая микроскопия

7. Исследование свойств наноструктур на основе алмаза методами компьютерного моделирования.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- освоение экспериментальных методов объемных (упругих, тепловых, электрических, химических, магнитных и т.д.) и поверхностных свойств твердых тел; изучения твердых тел (металлов, диэлектриков, полупроводников, магнетиков, композитных материалов) с учетом структуры, симметрии и типов химических связей в них, а также базовые приложения различных эффектов и свойств твердых тел.

### Задачи дисциплины

- формирование практических навыков в экспериментальной области физики твердого тела и физического материаловедения;
- освоение работы на современных исследовательских установках для структурного анализа электронной и атомно-силовой микроскопии, нанотвердомерии, электрических измерений полупроводниковых структур, ВЧ акустических исследований твердых тел и др.;
- приобретение практических умений и навыков в организации экспериментального и теоретического моделирования физических процессов в твердых телах.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- современные проблемы физики твердого тела и физического материаловедения;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике твердого тела и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- постановку проблем физико-химического моделирования.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции, дефектообразование) по экспериментальным данным;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной мира;

навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;

оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции) по экспериментальным данным;

методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники, способами расчетов проводимости, диэлектрических и магнитных свойств теплоемкости;

математическим моделированием физических задач.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Исследование оптических свойств твердых тел			20	25
2	Просвечивающий микроскоп			20	25
3	Исследование акустических свойств материалов и пьезоэлектрических слоистых структур и их зависимости от давления и температуры			20	25
4	Свойства наноструктурных металлоуглеродных материалов			15	19
5	Изучение фазовых переходов при высоких давлениях			15	19
6	Атомно-силовая микроскопия			15	19
7	Методы компьютерного моделирования углеродных материалов			15	18
Итого часов				120	150
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		270 час., 6 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Исследование оптических свойств твердых тел

- а) фотолюминисценция;
- б) спектроскопия резонансного комбинационного рассеяния;
- в) фурье-спектроскопия ИК-поглощения и отражения.

###### 2. Просвечивающий микроскоп

Электронно-микроскопические исследования с использованием просвечивающего электронного микроскопа.

3. Исследование акустических свойств материалов и пьезоэлектрических слоистых структур и их зависимости от давления и температуры

а) метод длинного импульса;

б) импульсный эхо-метод.

Семестр: 2 (Весенний)

4. Свойства наноструктурных металлоуглеродных материалов

Исследование транспортных, калориметрических и механических свойств наноструктурных металлоуглеродных материалов.

5. Изучение фазовых переходов при высоких давлениях

Методы спекания объемных образцов керамик и изучение фазовых переходов при высоких давлениях.

6. Атомно-силовая микроскопия

а) зондовая нанолaborатория;

б) сканирующий нанотвердомер.

7. Методы компьютерного моделирования углеродных материалов

Исследование свойств наноструктур на основе алмаза методами компьютерного моделирования.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Необходимое оборудование для лабораторных занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система), лабораторное оборудование ФГБНУ ТИСНУМ.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Василевский А.С. Физика твердого тела. Уч. пособие. 2010 год. 210 стр. DJVU. 26.8 Мб.
2. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. 2006 год. - 632 с.
3. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела. —М.: Физматлит, 2001.
4. Верещагин И.К., Кокин В.А. [и др.]. Физика твердого тела. 2-е изд.испр. - 2001 год. 240 стр. djvu. 7.6 Мб.
5. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика. Конденсированные состояния. Уч. пособие. 2008 год. - 327 с.

### **Дополнительная литература**

1. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. Учебник. 1986год. - 304 с.
2. Павлов П.В., Хохлов А.Г. Физика твердого тела – М: Высшая школа, 2000.
3. Каганов М.И. Электроны, фононы, магноны. 2-е изд. - 2008. - 192 с.
4. Сирота Д.И. Физика твердого тела: Сборник задач с подробными решениями. 2-е изд., испр. - 2010. - 184 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Информационные ресурсы: Журналы по физике твердого тела (Физика твердого тела, Кристаллография, ЖТФ, Письма в ЖТФ, Physica Status Solidi b, Physical Review B и др.), доступные через Internet научные и научно-технические журналы, электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

- 1) Vienna Ab initio Simulation Package (VASP)
- 2) Spanish Initiative for Electronic Simulations with Thousands of Atoms (SIESTA)
- 3) opEn-Source Package for Research in Electronic Structure, Simulation, and Optimization (Quantum ESPRESSO) opEn-Source Package for Research in Electronic Structure, Simulation, and Optimization (Quantum ESPRESSO)

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	Т.П. Сорокина, канд. физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Спецпрактикум по физике твердого тела» обучающийся должен:

### знать:

современные проблемы физики твердого тела и физического материаловедения;  
теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике твердого тела и ее приложениях;  
принципы симметрии и законы сохранения;  
постановку проблем физико-химического моделирования.

### уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции, дефектообразование) по экспериментальным данным;  
планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной мира;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;  
оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции) по экспериментальным данным;  
методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники, способами расчетов проводимости, диэлектрических и магнитных свойств теплоемкости;  
математическим моделированием физических задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 1-ом семестре:



1. Методы микроструктурных исследований: электронная микроскопия, туннельный и атомно-силовой микроскопы, дифракционные методы
2. Экспериментальные дифракционные методы рентгеноструктурного анализа
3. Условие дифракции и обратная решетка. Построение Эвальда
4. Уравнения дифракции Лауэ
5. Представление о силах связи электростатической и квантово-механической природы. Основные условия образования кристаллов
6. Энергия химической связи. Кристаллы инертных газов. Происхождение сил Ван-дер-Ваальса – Лондона
7. Природа сил отталкивания. Принцип Паули. Потенциал Ленарда-Джонса
8. Ионные кристаллы. Энергия Маделунга. Объемный модуль упругости кубических кристаллов
9. Энергия ковалентного кристалла. Степень ионности связи в кристаллах бинарных соединений
10. Металлические кристаллы. Металлическая связь и ее особенности. Энергия связи металлического кристалла
11. Кристаллы с водородными связями. Природа водородной связи и ее особенности
12. Квантование энергии колебаний атомов решетки
13. Неупругое рассеяние фотонов и нейтронов на акустических фононах. Квазиимпульс. Законы сохранения энергии и импульса
14. Неупругое рассеяние нейтронов на фононах как метод изучения фононного спектра в твердых телах
15. Температурная зависимость теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга-Пти
16. Функция распределения Планка для фононов. Модель Эйнштейна теплоемкости твердых тел
17. Приближение Дебая для акустических типов колебаний твердого тела
18. Плотность фононных мод. Циклические граничные условия Борна-Кармана
19. Теория теплоемкости твердых тел Дебая. Температура Дебая
20. Ангармонизм колебаний решетки. Тепловое расширение
21. Теплопроводность твердых тел
22. Определение тензора деформаций. Бесконечно малые и конечные деформации. Однородные и неоднородные деформации
23. Тензор механических напряжений, его внутренняя симметрия
24. Закон Гука для анизотропной сплошной среды
25. Постоянные упругой податливости и упругой жесткости
26. Энергия упругой деформации
27. Тензор упругих модулей для кубического кристалла. Объемный модуль упругости и упругие постоянные кубического кристалла
28. Уравнение движения упругой анизотропной сплошной среды
29. Уравнения Кристоффеля. Скорости упругих волн и константы упругости кубического кристалла
30. Диэлектрическая восприимчивость. Диэлектрическая проницаемость
31. Поле Лорентца. Связь макро- и микроскопических свойств диэлектриков
32. Диэлектрическая релаксация. Уравнение Дебая
33. Комплексная диэлектрическая проницаемость
34. Тангенс диэлектрических потерь
35. Диэлектрические потери при различных типах поляризации
36. Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ): метрологические ограничения и технологические возможности. Зонд, как средство измерения. Поиски эффектов чувствительных к изменению расстояния.
37. Что такое пьезосканер, кантилевер и какие бывают иглы у СЗМ. Почему СТМ плохо работает на воздухе. Возможно ли атомарное разрешение в АСМ. Почему СЗМ помещают в вакуум.
38. Основные принципы и потенциальные возможности сканирующей зондовой микроскопии.
39. Туннельный эффект и возможности Сканирующего Туннельного Микроскопа. Силы взаимодействия между твердыми телами и Атомно Силовой Микроскоп.
40. Пьезокерамические сканеры и манипуляторы, используемые в СЗМ. Специфика конструктивных решений, используемых в СЗМ NanoScan.

41. Что такое пьезорезонансный датчик и почему частоту мерить легче, чем амплитуду. Зачем в пьезосканеры встраивают емкостные датчики перемещения.
42. Изучение типичных конструктивных решений, используемых в СЗМ. Особенности систем управления сканирующими зондовыми микроскопами.
43. Что такое обратная связь по перемещению и почему быстродействие всех узлов СЗМ пытаются сделать как можно выше.
44. Многофункциональные СЗМ, технологического назначения. Знакомство с семейством микроскопов NTEGRA российской фирмы НТ-МДТ. Обзор основных зарубежных производителей СЗМ и их специализации.
45. Лоренцева микроскопия магнитных доменов
46. Особенности современных просвечивающих электронных микроскопов. Дополнительные приставки к электронному микроскопу.
47. Идеальные или гауссовы изображения. Сила Лоренца. Линзы. Формула линзы. Ход лучей в микроскопе.
48. Аберрации.
49. Дифференциальное эффективное сечение. Эффективная толщина.
50. Темнопольная микроскопия. Стереомикроскопия и анализ следов
51. Эффекты двойной дифракции.

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета во 2-ом семестре:

1. Электронная проводимость, теплоемкость, теплопроводность металлов
2. Несостоятельность классических моделей
3. Теплопроводность металлов. Закон Видемана-Франца
4. Отражение электромагнитных волн от металла. Плазменные колебания электронного газа
5. Металлы, полуметаллы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения заполнения зон
6. Примеры зонных структур (алмаз, графит)
7. Строение поверхности Ферми и методы ее исследования (циклотронный резонанс, затухание ультразвука)
8. Эффект де Газа- ван Альфена
9. Динамика движения электронов. Электроны и дырки
10. Физическая интерпретация эффективной массы
11. Эффект Холла в металлах
12. Собственные полупроводники. Некристаллические полупроводники
13. Запрещенная зона
14. Фотопроводимость
15. Прямые и не прямые процессы поглощения фотонов
16. Экситоны
17. Уравнения Максвелла для магнетиков
18. Напряженность и индукция магнитного поля
19. Магнитная восприимчивость. Намагниченность
20. Диа-, пара- и ферромагнетики
21. Диамагнетизм атомов. Прецессия Лармора
22. Модель ферромагнетизма Гейзенберга. Обменное взаимодействие
23. Спиновые волны (магноны)
24. Ядерный магнитный резонанс. Уравнения движения для ядерной намагниченности. Спин-решеточная релаксация
25. Уравнения Блоха. Ширина резонансной линии
26. Ферромагнитный резонанс
27. Электронный парамагнитный резонанс
28. Инфракрасная спектроскопия твердых тел
29. Поглощение ИК излучения на колебательных переходах
30. ИК спектры и микроскопические параметры полосы поглощения
31. Комбинационное рассеяние света (классическое описание)
32. Результаты квантовой теории КРС. Тензор КРС. Параметры колебаний из спектров КРС

33. Правила отбора для симметрии колебаний, активных в ИК и КРС
34. Методы классификации колебаний. Общий метод Багавантама. Метод позиционной симметрии
35. Зависимость спектра от механических напряжений. Гидростатическое давление
36. Определение структуры кристаллов по колебательным спектрам. Характеристические частоты колебаний в спектрах
37. Локальные колебания. Резонансное КРС
38. Гигантское (усиленное поверхностью) КРС (SERS)
39. Гиперкомбинационное рассеяние света (ГКР)
40. Особенности оптической спектроскопии наноструктур
41. Фононы в наноструктурах. Конфайнмент фононов. Поверхностные фононы
42. Сверхрешетки
43. Сложение зон
44. Фонон-фононное взаимодействие. Кубическая аангармоничность
45. Бифононы. Ферми-резонанс
46. Нанолитография. Электронно-лучевая литография. Перьевая нанолитография.
47. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур.
48. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Параболическая и треугольная квантовые ямы. Параболическая потенциальная яма.
49. Напряженные слои. Влияние напряжений на валентную зону. Зонная структура в квантовых ямах.
50. Способы гибридизации атомов углерода.
51. Многостенные и одностенные углеродные нанотрубки, фуллерены и фуллереновые полимеры, графит, нанодiamond и аморфные алмазоподобные пленки, углеродные и азот-углеродные нановолокна.
52. Графеновые нанoeлектронные устройства.
- Основы экспериментальных методов исследования механических свойств сверхтвердых материалов
53. Твердость
54. Прочность и упругие модули
55. Износостойкость
56. Трещиностойкость
57. Коэффициент и тензор Грюнайзена - определение понятия
58. Различие динамического и статического нагружений
59. Зависимость упругих модулей от давления  
пьезоспектроскопия - основные понятия и соотношения
60. Что такое метод моделирования из первых принципов (ab initio)?
61. Объясните модель Томаса — Ферми.
62. Что такое теория функционала электронной плотности?
63. Какие существуют ограничения в применении теории функционала электронной плотности?
64. Докажите теорему Хоэнберга — Кона.
65. Что такое уравнения Кона-Шэма? Выведите эти уравнения.
66. Объясните приближение локальной электронной плотности в теории функционала электронной плотности.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5 баллов) - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2 балла) - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1 балл) - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Студент обязан выполнить все предусмотренные программой лабораторные работы и сдать выполненные работы на оценки не ниже "удовлетворительно". Итоговая оценка за семестр складывается как среднее арифметическое оценки, полученной на зачете и оценки за лабораторные работы. Опрос студента на устном зачете не должен превышать одного астрономического часа.