

**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

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

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