

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Basics of Semiconductor Electronics/Основы полупроводниковой электроники
<b>по направлению:</b>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Д.А. Свинцов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и технологии наноструктур 01.02.2021

## Аннотация

Курс посвящен введению в основные физические принципы, лежащие в основе процессов, протекающих в полупроводниках, а также математическому и численному моделированию классических полупроводниковых структур (p-n переход, биполярный транзистор, полевой транзистор).

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Дать студентам знания об основных физических принципах описания полупроводниковых материалов, основах математического и численного моделирования процессов, протекающих в полупроводниках и полупроводниковых структурах, обзор стандартных (классических) полупроводниковых структур и приборов на их основе.

#### Задачи дисциплины

- овладение необходимыми основами теории полупроводников;
- изучение методов описания электронного транспорта в полупроводниках;
- получение знаний о стандартных полупроводниковых приборах.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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
	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 в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого	ПК-2.1 Способен самостоятельно или в составе научного коллектива планировать и проводить научные исследования в области фотоники и оптоинформатики

коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию

ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные принципы описания зарядового транспорта в полупроводниках
- основные принципы работы стандартных полупроводниковых приборов

уметь:

- рассчитывать вольтамперные характеристики приборов (диодов, полевых транзисторов)

владеть:

- методами вычисления характеристик полупроводниковых нанoeлектронных устройств
- основными методами решения уравнений электродинамики и электронного транспорта (уравнение Больцмана, диффузионно-дрейфовые и гидродинамические уравнения) применительно к полупроводниковым приборам
- методами оценки параметров носителей заряда (энергетический спектр, подвижность, длина свободного пробега) в низкоразмерных системах

### 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	Зонная структура и статистика носителей заряда в полупроводниках	3			3
2	Основные низкоразмерные системы	2			2
3	Кинетическая теория транспорта в полупроводниках: общие сведения	4			4
4	Электропроводность полупроводников	2			2
5	Термо- и магнитоэлектрические явления	2			2
6	«Продвинутые» методы решения кинетического уравнения	3			3
7	Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках	2			2
8	Контактные явления в полупроводниках	2			2
9	Протекание тока в p-n переходе	2			2
10	Протекание тока в структуре «металл-полупроводник»	2			2
11	Полевые транзисторы «металл-диэлектрик-полупроводник» (МДП)	4			4
12	Миниатюризация МДП-транзисторов и законы масштабирования	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

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

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Зонная структура и статистика носителей заряда в полупроводниках

Зонная структура полупроводников, электроны и дырки. Эффективная масса и ее происхождение. Прямозонные и непрямозонные полупроводники – на примере кремния, германия и арсенида галлия. Статистика носителей заряда и вычисление уровня Ферми. Легированные полупроводники, оценка энергии донорного уровня. Концентрация носителей в легированном полупроводнике как функция температуры. Сильно легированные полупроводники.

##### 2. Основные низкоразмерные системы

Понятие о гетероструктурах. Размерное квантование и квантовые ямы. Двумерные полупроводники на основе моно- и би-слоев: графен, двухслойный графен, халькогениды переходных металлов. Зонная структура основных двумерных материалов. Применение метода сильной связи для расчета зонной структуры.

##### 3. Кинетическая теория транспорта в полупроводниках: общие сведения

Кинетическое уравнение Больцмана для одночастичной функции распределения. Столкновения носителей с примесями, фононами и друг с другом. Квантово-механическое вычисление вероятности рассеяния. Интеграл столкновений в кинетическом уравнении для различных механизмов рассеяния.

##### 4. Электропроводность полупроводников

Транспортное время релаксации и его микроскопическое вычисление для рассеяния на примесях и фононах. Вычисление проводимости в однородных полях и исследование ее зависимости от температуры для полупроводников и металлов. Исследование электропроводности графена. Диффузия носителей заряда и электрохимический потенциал. Связь подвижности и коэффициента диффузии.

##### 5. Термо- и магнитоэлектрические явления

Кинетическое уравнение при наличии градиента температуры. Вычисление электронной теплопроводности и коэффициента Зеебека (на приме электронов в графене). Принцип работы термоэлектрического генератора и элемента Пельтье. Кинетическое уравнение в магнитном поле. Эффект Холла и его вычисление. Особенности эффекта Холла в двумерной системе. Метод измерения подвижности носителей по эффекту Холла.

##### 6. «Продвинутые» методы решения кинетического уравнения

Вариационный принцип для функции распределения. Вычисление проводимости графена, ограниченной электрон-дырочным рассеянием, с помощью вариационного принципа. Гидродинамический подход к решению кинетического уравнения. Анализ электро- и теплопроводности вблизи точки нейтральности в графене.

##### 7. Рекомбинация носителей заряда в полупроводниках

Методы создания неравновесных электронов и дырок: фотовозбуждение и токовая инжекция носителей. Понятие о квази-уровнях Ферми. Микроскопические механизмы рекомбинации электронов и дырок: излучательная рекомбинация, Оже-процесс, рекомбинация с испусканием фононов. Вычисление скорости и характерного времени излучательной рекомбинации.

#### 8. Контактные явления в полупроводниках

Р-п-переход и его зонная диаграмма. Расчет распределения поля в р-п-переходе (уравнение Пуассона). Ширина обедненного слоя. Контакт металл-полупроводник (контакт Шоттки), обсуждение и расчет его зонной диаграммы. Особенности экранирования в двумерных системах, особенности двумерных р-п-переходов и контактов Шоттки, методы их расчета.

#### 9. Протекание тока в р-п переходе

Макроскопические уравнения дрейфа и диффузии для электронов и дырок, их упрощение для легированной и обедненной области. Теория Шокли для тока, ограниченного рекомбинацией. Поведение р-п-перехода при обратном смещении. Пределы применимости диффузионно-дрейфовой теории для сверхкоротких р-п-переходов. Применение р-п-переходов для выпрямления (детектирования) излучения.

#### 10. Протекание тока в структуре «металл-полупроводник»

Диффузионно-дрейфовая теория для транспорта основных носителей. Микроскопические граничные условия на контакте с металлом (условия типа «поверхностной рекомбинации»). Ограничение тока инжекцией носителей и диффузией в полупроводнике. Применения контактов Шоттки.

#### 11. Полевые транзисторы «металл-диэлектрик-полупроводник» (МДП)

Электростатика МДП – структуры, зависимость концентрации носителей от напряжения на затворе. Инверсионный слой. Принцип работы полевого транзистора. Диффузионно - дрейфовая модель транспорта носителей в полевом транзисторе. Нелинейный режим вольтамперной характеристики и механизмы насыщения тока: насыщение скорости и отсечка канала. Характеристики полевого транзистора на основе графена.

#### 12. Миниатюризация МДП-транзисторов и законы масштабирования

Предельная частота полевых транзисторов в режиме логического ключа и в режиме усилителя слабого сигнала. Схемотехнические и внутренние факторы, влияющие на предельную частоту. Зависимость предельной частоты от длины канала при диффузионном и баллистическом режимах транспорта. Законы масштабирования для частоты и потребляемой мощности. Проблема снижения порогового напряжения. Эффекты флуктуаций концентрации примесей и структурных параметров в наноразмерных полевых транзисторах.

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

Комплект электронных презентаций/слайдов; аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук); при необходимости специальные технические средства для обучающихся инвалидов и лиц с ОВЗ.

### 6.Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Физика полупроводниковых приборов [Текст]/С. М. Зи , -М., Энергия, 1973
2. Физика полупроводников [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников .— М. : Наука, 1990 .— 688 с.

Literature fund of the basic departament:

3. С. Датта «Квантовый транспорт: от атома к транзистору», Москва, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009

#### Дополнительная литература

Literature fund of the basic departament:

1. L. Venema “Silicon electronics and beyond” Nature 479 стр. 309 (2011) – коллекция статей, посвященная проблемам миниатюризации в кремниевой электронике и альтернативным принципам транзисторов
2. H. Lu, A. Seabaugh. "Tunnel field-effect transistors: State-of-the-art" IEEE Journal of the Electron Devices Society vol. 2 iss. 4 p. 44-49 (2014); S. Cristoloveanu, J. Wan, A. Zaslavsky “A review of sharp-switching devices for ultra-low power applications” IEEE Journal of the Electron Devices Society, vol. 4 iss. 5, 215-226 (2016).
3. S. Salahuddin, S. Datta “Use of negative capacitance to provide voltage amplification for low power nanoscale devices” Nano letters, vol. 8 iss. 2, 405-410 (2008); W. Cao and K. Banerjee “Is negative capacitance FET a steep-slope logic switch?” Nat. Commun. vol. 11, p. 196 (2020).

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

Не используются

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

При подготовке и проведении лекционных занятий используется сеть интернет. Кроме того, используется Libre Office.

### **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 и понятия, 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 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>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики и технологии наноструктур
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	Д.А. Свинцов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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
	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 в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен самостоятельно или в составе научного коллектива планировать и проводить научные исследования в области фотоники и оптоинформатики
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Basics of Semiconductor Electronics/Основы полупроводниковой электроники» обучающийся должен:

### знать:

- основные принципы описания зарядового транспорта в полупроводниках
- основные принципы работы стандартных полупроводниковых приборов

### уметь:

- рассчитывать вольтамперные характеристики приборов (диодов, полевых транзисторов)

### владеть:

- методами вычисления характеристик полупроводниковых нанoeлектронных устройств
- основными методами решения уравнений электродинамики и электронного транспорта (уравнение Больцмана, диффузионно-дрейфовые и гидродинамические уравнения) применительно к полупроводниковым приборам
- методами оценки параметров носителей заряда (энергетический спектр, подвижность, длина свободного пробега) в низкоразмерных системах



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

Не предусмотрено.

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

Примеры контрольных теоретических вопросов:

1. Изобразить качественно электронный спектр носителей заряда в кремнии, германии и арсениде галлия с указанием характерных энергий.
2. Исходя из законов сохранения импульса и энергии, проанализировать возможность следующих процессов в прямозонных и непрямозонных полупроводниках (а) межзонное и внутризонное поглощение фотона (б) межзонная рекомбинация с участием оптического фонона (в) оже-рекомбинация
3. При каких условиях применимо приближение времени релаксации для интеграла столкновений (а) на примесях (б) на акустических фононах
4. Складываются или вычитаются вклады электронов и дырок в (а) проводимость (б) эффект Холла (в) термо-ЭДС?
5. Изобразите зонную диаграмму и положения квази-уровней Ферми в р-п-переходе (а) в состоянии равновесия (б) при прямом смещении (в) при обратном смещении.
6. Изобразите вольтамперную характеристику р-п-перехода. Как она изменяется при изменении температуры? А при освещении р-п-перехода
7. Изобразите схематически зависимость концентрации носителей заряда от напряжения на затворе в МДП - структуре.
8. Диэлектрическая проницаемость подзатворного диэлектрика МДП - транзистора была увеличена в два раза. Как при этом изменилось: (а) пороговое напряжение (б) ток открытого состояния (в) энергия по переключению из закрытого в открытое состояние
9. Изобразите зависимость напряжения на выходе логического инвертора на основе КМОП-пары от напряжений на затворах. Как изменится эта зависимость, если транзисторы не имеют четко выраженного насыщения тока (т.е. ток продолжает медленно расти при повышении напряжения на стоке).
10. Изобразите зависимость проводимости канала полевого транзистора от степени легирования, предполагая, что все примеси ионизованы. Изобразите также зависимость подвижности от концентрации легирующих примесей. При какой концентрации легирующих примесей в кремнии частота рассеяния на примесях станет сравнима с частотой рассеяния на фононах? Температура  $T=300\text{ K}$ .
11. Изобразите схематически вольт - затворные характеристики МДП транзистора и полевого транзистора с управляемым туннельным р-п-переходом. Укажите диапазоны напряжений, при работе в которых энергопотребление туннельного транзистора в режиме логического ключа меньше энергопотребления МДП - транзистора.

Перечень контрольных заданий:

1. Получить соотношение между эффективными массами электрона и дырки в двухзонной и трехзонной модели Кейна. Проверить его выполнение (или невыполнение) в полупроводниках GaAs, InSb, InP.
2. Оцените предельную скорость носителей заряда в кремнии в сильном электрическом поле, считая, что она ограничена быстрым испусканием оптических фононов. Сравните полученную величину с экспериментально измеренным значением.
3. Проанализируйте изменение суммарного тока при электрон - электронных столкновениях и сделайте вывод о том, при каких условиях электрон - электронное рассеяние может влиять на проводимость полупроводников
4. Рассчитайте ширину обедненного слоя в кремниевом р-п переходе с концентрацией доноров и акцепторов  $10^{18}\text{ см}^{-3}$  при комнатной температуре.
5. Оцените степень легирования р-п-перехода на основе арсенида галлия, при котором вероятность межзонного туннелирования электрона станет порядка  $10^{-3}$ .

6. Рассчитайте вольтамперную характеристику полевого транзистора, принимая, что локальная электронная плотность в канале пропорциональна локальной разности потенциалов между каналом и затвором (приближение плавного канала), а для локальной плотности тока верен закон Ома. Какие граничные условия на потенциал и электронную плотность на стоке и истоке следует использовать в данной модели, чтобы корректно описать режим насыщения тока?
7. Оцените предельную частоту переключения кремниевого полевого транзистора с длиной канала 90 нм, если используемое напряжение питания  $V_{dd}=0.5$  Вольт. Легирование канала отсутствует. Сравните в этих условиях длину свободного пробега электрона с энергией 25 мэВ (отсчитанной от дна зоны, при  $T=300$  К) и длину канала транзистора.
8. Оцените, может ли прямое туннелирование между стоком и истоком ограничивать ток закрытого состояния кремниевого полевого транзистора? Для оценок примите высоту барьера равной 0.25 эВ, длину канала 10 нм, температура  $T=300$  К. Уровень Ферми в контактах лежит у края зоны проводимости.
9. Канал некоторых типов современных кремниевых транзисторов представляет собой «брусочек» с характерными размерами 10 x 10 x 30 нм. При какой концентрации доноров флуктуация количества примесей в таких транзисторах станет порядка 10% от их общего числа?
10. Запишите классические уравнения движения Гамильтона для безмассового электрона в переменном электрическом поле. Укажите взаимные ориентации начального импульса электрона и поля, при котором даже при малой напряженности возможна генерация высших гармоник переменного электрического тока. Оцените амплитуды высших гармоник.
11. В условиях предыдущей задачи вычислите полную оптическую проводимость, включающую внутризонный вклад, который может быть рассчитан с помощью кинетического уравнения Больцмана. Рассматривая в качестве основного механизма рассеяния акустические фононы с деформационным потенциалом эВ и скоростью м/с, постройте зависимость полной проводимости от частоты (а) в равновесном состоянии (б) в условиях инверсной заселенности между зонами. Во втором случае укажите диапазоны частот, где межзонное усиление излучения может превышать внутризонное поглощение.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Изобразить качественно электронный спектр носителей заряда в кремнии, германии и арсениде галлия с указанием характерных энергий.
2. В условиях предыдущей задачи вычислите полную оптическую проводимость, включающую внутризонный вклад, который может быть рассчитан с помощью кинетического уравнения Больцмана. Рассматривая в качестве основного механизма рассеяния акустические фононы с деформационным потенциалом эВ и скоростью м/с, постройте зависимость полной проводимости от частоты (а) в равновесном состоянии (б) в условиях инверсной заселенности между зонами. Во втором случае укажите диапазоны частот, где межзонное усиление излучения может превышать внутризонное поглощение.

Билет 2.

1. Исходя из законов сохранения импульса и энергии, проанализировать возможность следующих процессов в прямозонных и непрямозонных полупроводниках (а) межзонное и внутризонное поглощение фотона (б) межзонная рекомбинация с участием оптического фонона (в) оже-рекомбинация
2. Изобразите зависимость проводимости канала полевого транзистора от степени легирования, предполагая, что все примеси ионизованы. Изобразите также зависимость подвижности от концентрации легирующих примесей. При какой концентрации легирующих примесей в кремнии частота рассеяния на примесях станет сравнима с частотой рассеяния на фононах? Температура  $T=300$  К.

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**

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.