

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Физика нейтрино
<b>по направлению:</b>	Ядерные физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии
<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

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: Э.В. Бугаев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных взаимодействий и космологии 04.06.2020

## Аннотация

Курс посвящен теоретическому описанию свойств нейтрино — легчайшей частицы, слабо взаимодействующей с веществом. Особое внимание уделено вопросу природы массы нейтрино (т.н. Дираковского или Майорановского типа), а также уникальному свойству нейтрино — осцилляциям. Пользуясь инструментами квантовой теории поля, из лагранжиана нейтринного поля последовательно выводятся экспериментально проверяемые предсказания и обсуждаются результаты современных экспериментов по проверке этих предсказаний.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики и астрофизики нейтрино;
- изучение возможностей экспериментального изучения свойств нейтрино, а также возможностей практического применения знаний о нейтрино.

#### Задачи дисциплины

формирование базовых знаний в области физики и астрофизики нейтрино как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;

обучение студентов принципам создания экспериментальных установок, исследующих свойства нейтрино, выявление особенностей их функциональных характеристик в сравнении с известными экспериментальными установками.

формирование подходов к выполнению теоретических исследований студентами в области физики нейтрино в рамках выпускных работ на степень магистра.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ОПК-1.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.2 Способен составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты
	ОПК-1.3 Владеет систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования, применять знания в области профессиональной деятельности для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	ПК-1.2 Умеет создавать теоретические и математические модели в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.3 Владеет навыками работы с современными расчетными программными средствами

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;  
современные проблемы физики, астрофизики, математики;  
теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;  
принципы симметрии и законы сохранения;  
новейшие открытия естествознания;  
постановку проблем физического моделирования;  
о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной мира;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;  
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	Уравнения Дирака и Вейля.	3			3
2	Уравнения Майораны.	3			3
3	Осцилляции нейтрино.	4			4
4	Классическая теория слабого взаимодействия.	2			2
5	Взаимодействие нейтрино с веществом.	2			2
6	Электромагнитные свойства нейтрино.	2			2
7	Нейтрино в калибровочных теориях слабого взаимодействия.	2			2
8	Рождение нейтрино в атмосфере.	2			2
9	Астрофизические и космологические нейтрино.	2			2
10	Нейтрино от термоядерных реакций на Солнце.	2			2
11	Нейтринная томография Земли.	2			2
12	Двойной бета-распад и свойства нейтрино.	2			2
13	Нейтринные эксперименты на ускорителях и в космических лучах.	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. Уравнения Дирака и Вейля.

Спиноры и спинорные представления группы Лоренца. Ковариантность уравнения Дирака. Зарядовое сопряжение как симметрия уравнения Дирака. Спиральность и киральность. Левые и правые спиноры. Пространственное отражение. Уравнения Вейля и его дискретная симметрия. Комбинированная инверсия. Теория двухкомпонентного нейтрино. Несохранение чётности и его экспериментальная проверка. Спиральность нейтрино.

##### 2. Уравнения Майораны.

Гипотеза Майораны о тождественности нейтрино и антинейтрино. Уравнения Майораны и их связь с уравнениями Вейля. Двухкомпонентные и четырёхкомпонентные майорановские спиноры. Квантование майорановского поля. Пропагаторы майорановских частиц.

##### 3. Осцилляции нейтрино.

Природа осцилляций нейтрино. Различные виды осцилляций – осцилляции аромата, осцилляции спиральности, киральности, осцилляции нейтрино-антинейтрино. Осцилляции майорановских нейтрино. Осцилляции при распространении нейтрино в вакууме и в веществе. Матрица смешивания нейтрино и её свойства.

##### 4. Классическая теория слабого взаимодействия.

Гамильтониан взаимодействия нейтрино с лептонами и нуклонами. Лептон-адронные процессы – бета-распад, захват электронов, захват нейтрино. Лептонные числа и их сохранение. Нейтральные и заряженные токи.

##### 5. Взаимодействие нейтрино с веществом.

Нейтрино-лептонные взаимодействия. Взаимодействия нейтрино с ядрами при низких энергиях – ядерные матричные элементы, формула для сечения. Взаимодействия нейтрино с нуклонами при высоких энергиях. Партонная модель и масштабная инвариантность. Слабые формфакторы нуклона, структурные функции нуклона.

##### 6. Электромагнитные свойства нейтрино.

Магнитный момент дираковского и майорановского нейтрино. Взаимодействия нейтрино, обусловленные ненулевым магнитным моментом. Порядок величины магнитного момента в простых моделях. Экспериментальные проявления магнитного момента нейтрино.

##### 7. Нейтрино в калибровочных теориях слабого взаимодействия.

Унитарный предел и перенормируемость слабых взаимодействий. Стандартная теория электрослабого взаимодействия. Нейтрино-кварковые взаимодействия. Безмассовость нейтрино в стандартной модели. Расширении стандартной модели. Члены, содержащие массу нейтрино, в лагранжианах электрослабой модели.

##### 8. Рождение нейтрино в атмосфере.

Ядерный каскадный процесс в атмосфере- рождение широкого атмосферного ливня. Нейтрино от распадов пионов и каонов, рождающихся в каскадах. Энергетические спектры атмосферных нейтрино. Нейтрино от распадов мезонов, содержащих тяжёлые кварки –«прямые нейтрино». Осцилляции нейтрино в потоках атмосферных нейтрино и их экспериментальные проявления.

#### 9. Астрофизические и космологические нейтрино.

Ускорение космических лучей. Механизм Ферми. Источники космических лучей и нейтрино высоких энергий в галактике и во внегалактическом пространстве. Внегалактический изотропный фон нейтрино. Космологические ограничения на массу нейтрино. Нейтрино от вспышек Сверхновых. Процессы нейтринного охлаждения звёзд. Нейтринная светимость и спектр нейтрино от коллапса звезды. Регистрация вспышек Сверхновых по нейтринному излучению.

#### 10. Нейтрино от термоядерных реакций на Солнце.

Термоядерные циклы – протон-протонный и углеродно-азотный. Потоки нейтрино от Солнца. Эксперименты по регистрации нейтрино от Солнца и открытие явления нейтринных осцилляций.

#### 11. Нейтринная томография Земли.

Недра Земли как источник низкоэнергетических антинейтрино. Зависимость величины потока антинейтрино от модели строения недр Земли. Экспериментальная регистрация антинейтрино от Земли. Томографические проекты.

#### 12. Двойной бета-распад и свойства нейтрино.

Безнейтринный двойной бета-распад. Майорановское или дираковское нейтрино? Экспериментальные проблемы регистрации безнейтринного двойного бета-распада. Нейтринные эксперименты на ускорителях и в космических лучах.

#### 13. Нейтринные эксперименты на ускорителях и в космических лучах.

Эксперименты по регистрации массы нейтрино. Современные эксперименты по изучению параметров моделей осцилляций нейтрино и измерению параметров нейтринной матрицы смешивания. Эксперименты в космических лучах – поиски астрофизических локальных источников нейтрино высокой энергии. Регистрация нейтрино от взаимодействия космических лучей с фоном микроволнового излучения во внегалактическом пространстве.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6.Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Введение в квантовую теорию поля [Текст] : [учебник для вузов] / М. Пескин, Д. Шредер ; пер. с англ. под ред. А.А. Белавина, А. В. Беркова .— М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001 .— 784 с.
2. Введение в теорию ранней Вселенной : Космологические возмущения. Инфляционная теория [Текст]/Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков , -М., КРАСАНД, 2016
3. Физика массивных нейтрино/ Бояркин О.М..Москва, КомКнига, 2006,-200с., ISBN 5-484-00376-8.

#### Дополнительная литература

1. Слабое взаимодействие в физике ядра, частиц и астрофизике [Текст]/К. Гротц, Г. В.Клапдор-Клайнротхауз, пер. с нем. Ю. А. Данилова, -М., Мир, 1992
2. Физика массивных нейтрино [Текст] = Physics of massive neutrinos/Ф. Боум, П. Фогель, -М., Мир, 1990

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

<http://scitation.aip.org/>

<http://www.sciencemag.org/>

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab и др.

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

Студент, изучающий курс «Физика нейтрино», 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, уверенно разбираться в указанных выше разделах современной теоретической физики. Обучающийся должен уметь применять полученные знания для решения различных задач физики нейтрино и нейтринной астрофизики, при этом используются конспекты, учебники, рекомендуемые данной программой.

По заданию преподавателя решаются задачи, выданные преподавателем по итогам занятий, используются конспект лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на семинарах;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль самостоятельной работы студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и экспериментальные данные.

При подготовке к занятиям необходимо повторять ранее пройденный материал. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, подготовка к практическому занятию, решение задач. Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему занятия.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Ядерная физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

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

**Разработчик:** Э.В. Бугаев, д-р физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ОПК-1.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.2 Способен составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты
	ОПК-1.3 Владеет систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования, применять знания в области профессиональной деятельности для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	ПК-1.2 Умеет создавать теоретические и математические модели в области ядерной физики и технологий
	ПК-1.3 Владеет навыками работы с современными расчетными программными средствами

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика нейтрино» обучающийся должен:

### знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;  
современные проблемы физики, астрофизики, математики;  
теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;  
принципы симметрии и законы сохранения;  
новейшие открытия естествознания;  
постановку проблем физического моделирования;  
о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной мира;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;  
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.

Возможные темы курсовых работ:

1. Дискретные симметрии уравнений Дирака, Вейля и Майораны.
2. Энергетическая зависимость сечений в четырёхфермионной теории слабого взаимодействия (в первом порядке теории возмущений).
3. Взаимодействие нейтрино с кварками в рамках партонной модели.
4. Осцилляции спиральности при распространении нейтрино в магнитном поле.
5. Поток нейтрино от Солнца (оценка по порядку величины) от pp-цикла термоядерных реакций.
6. Фермиевская модель ускорения космических лучей.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика нейтрино» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

1. Спинорные волновые функции фермионов. Лоренц-инвариантность волновых уравнений.
2. Уравнение Дирака. Приводимость дираковского представления группы Лоренца.
3. Вывод уравнений Вейля из уравнения Дирака (в безмассовом пределе).
4. Киральность и спиральность – на примере решений уравнения Вейля.
5. Дискретная симметрия уравнений Вейля.
6. Двухкомпонентная теория нейтрино. Комбинированная инверсия.
7. Дискретные симметрии уравнения Дирака. Зарядовое сопряжение.
8. Уравнения Майораны. Инвариантность массовых членов этих уравнений.
9. Двухкомпонентные и четырёхкомпонентные майорановские спиноры.
10. Квантование майорановского поля.
11. Осцилляции ароматов нейтрино.
12. Система двух майорановских нейтрино. Диагонализация массовой части лагранжиана.
13. Осцилляции спиральности нейтрино при движении в магнитном поле.
14. Осцилляции при распространении нейтрино в веществе. Эффект Михеева-Смирнова-Вольфенштейна.
15. Лагранжиан четырёхфермионного слабого взаимодействия. Заряженные и нейтральные токи.
16. Нейтрино-лептонные взаимодействия.
17. Магнитный момент дираковского нейтрино. Равенство нулю диагонального магнитного момента майорановского нейтрино.
18. Безмассовость нейтрино и отсутствие осцилляций в стандартной модели электрослабого взаимодействия.
19. Дираковская и майорановская массы в расширениях электрослабой модели.
20. Нейтрино-кварковые взаимодействия в стандартной модели.
21. Источники нейтрино при взаимодействиях космических лучей в атмосфере.
22. Фермиевский механизм ускорения космических лучей. Локальные астрофизические источники нейтрино.
23. Нейтрино от Солнца. Оценка величины потока нейтрино в случае протон-протонного цикла термоядерных реакций.
24. Нейтрино от взаимодействия космических лучей с микроволновым излучением.
25. Источники антинейтрино от Земли.
26. Эксперимент по регистрации массы нейтрино.
27. Эксперименты по измерению параметров осцилляций на ускорителях.

Примеры экзаменационных билетов, используемых для проведения экзамена:

Билет 1

1. Уравнения Вейля. Теория двухкомпонентного нейтрино.

2. Электромагнитные взаимодействия нейтрино. Магнитный момент дираковского и майорановского нейтрино.
3. Показать, используя уравнение Дирака, что операторы киральности и спиральности частицы совпадают в пределе, когда масса частицы равна нулю.

#### Билет 2

1. Осцилляции в пучках антинейтрино и осцилляции нейтрино-антинейтрино.
2. Матрица смешивания нейтрино в случае трёх типов нейтрино, её свойства и параметризация.
3. Проверить Лоренц-инвариантность массовых членов Лагранжиана нейтринного поля (в случае, когда нейтрино майорановское).

#### Билет 3

1. Осцилляции в нерелятивистской квантовой механике.
2. Способы экспериментальной проверки гипотезы о майорановской природе нейтрино.
3. Показать, используя общий вид Лагранжиана нейтринного поля, что квантовое поле дираковского нейтрино может быть представлено в виде суперпозиции двух майорановских полей с равными массами.

#### Критерии оценивания

Оценку «отлично (10)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную и дополнительную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, разбирающийся в основных научных концепциях по изучаемой дисциплине, проявивший творческие способности и научный подход в понимании и изложении учебного программного материала, ответ отличается богатством и точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценка «отлично (9)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению, ответ отличается точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценку «отлично (8)» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (7)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (6)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, отличавшийся достаточной активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы.

Оценку «хорошо (5)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для их самостоятельного устранения.

Оценку «удовлетворительно (4)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя допущенных погрешностей.

Оценку «удовлетворительно (3)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, однако допустивший погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя наиболее существенных погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях или отсутствие знаний по значительной части основного учебно-программного материала, не выполнившему самостоятельно предусмотренные программой основные задания, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не отработавшему основные практические, семинарские, лабораторные занятия, допускающему существенные ошибки при ответе, и который не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, не ответившему на заданные (отказ от ответа, представленный ответ полностью не по существу содержащихся в экзаменационном задании вопросов).

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 45 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также всей необходимой литературой для решения задачи; при ответах на устные вопросы пользоваться литературой запрещено.