

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Космология и гравитация
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких энергий
<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: В.О. Соловьев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высоких энергий 04.06.2020

## Аннотация

Уравнения Фридмана, полученные из ОТО, в совокупности с современным значением постоянной Хаббла и данными о процентном содержании различных видов вещества во Вселенной позволяют построить сценарий истории Вселенной и производить основные расчеты, причем без необходимости применения сравнительно сложного математического аппарата ОТО. Экстраполяция в прошлое наблюдаемого состояния Вселенной позволяет выделить основные этапы ее эволюции: первичное состояние очень высокой плотности и температуры, эпохи нуклеосинтеза, рекомбинации, образования первичных звезд и галактик, переход к режиму ускоренного расширения.

Картина звездного неба заполнена, в основном, звездами главной последовательности Герцшпрунга-Рассела, относящимся к Населению 1. В курсе обсуждаются несложные уравнения механического и термодинамического равновесия этих звезд, основанные на ньютоновской теории гравитации и уравнении состояния идеального газа. В качестве более экзотического примера рассматриваются белые карлики, для описания которых требуются элементы теории вырожденного электронного газа, как нерелятивистского, так и релятивистского (предел Чандрасекара). Обсуждается также возникновение первичных звезд (Населения 3) в «Темные века» Вселенной.

В курсе рассматривается математический аппарат ОТО и особенности этой теории. Для точного решения сферически симметричной задачи (решения Шварцшильда) обсуждается движение точечных частиц и фотонов. Задача Коши для гравитационного поля рассматривается на основе гамильтонова формализма ОТО (подход Дирака и Арновитта-Дезера-Мизнера). Даются сведения об излучении и детектировании гравитационных волн, а также о перспективах гравитационной астрономии.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Ознакомление с современным состоянием космологии.

### Задачи дисциплины

Обучить студентов методам решения задач космологии и связям между физикой микромира и Вселенной.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
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-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 рамках тематической области своей профессиональной деятельности

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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	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
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований 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 планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	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:

Уравнение Фридмана, современный состав Вселенной, уравнения состояния, уравнения Эйнштейна, решение Шварцшильда, свойства гравитационных волн, уравнение равновесия звезды.

уметь:

Экстраполировать состав и свойства материи в прошлое и будущее, решать уравнения движения в сильных и слабых гравитационных полях.

владеть:

Методами тензорного анализа и римановой геометрии, теории возмущений, термодинамики и статистической физики в искривленном пространстве-времени.

### 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 Фридмана и их решения.	2			2

2	Наблюдательные данные о Вселенной в целом.	2			2
3	Свойства ранней Вселенной.	3			3
4	Эпоха рекомбинации.	2			2
5	Проблема начальных условий и теория инфляции.	3			2
6	Математический аппарат ОТО.	3			3
7	Решение Шварцшильда и геодезические.	2			2
8	Теория возмущений и эффекты ОТО.	2			2
9	Гравитационная устойчивость звезд.	3			3
10	Уравнения связей ОТО.	2			2
11	Гамильтонова формулировка ОТО.	2			2
12	Излучение и детектирование гравитационных волн.	2			3
13	Гравитационные волны как источник информации о Вселенной.	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 Фридмана и их решения.

Два уравнения, полученные А. Фридманом в 1922 году явились самым неожиданным и сильным предсказанием ОТО. Из них следовало, что Вселенная не может быть статической. Все возможные сценарии эволюции были рассмотрены и проанализированы в работах Фридмана 1922 и 1924 гг. В модифицированных теориях гравитации структура уравнений, в основном, сохраняется.

##### 2. Наблюдательные данные о Вселенной в целом.

Начиная с 1920-х годов появляется все больше доказательств расширения Вселенной, уточненное значение постоянной Хаббла предсказывает ее возраст около 14 млрд. лет, данные по реликтовому излучению свидетельствуют о горячем прошлом, об однородности и изотропности ранней Вселенной, о малости ( $10^{-5}$ ) отклонений. Можно считать установленным процентный состав вещества (темная энергия, темная материя, барионная материя, излучение) и близость геометрии пространства к плоской.

##### 3. Свойства ранней Вселенной.

Экстраполяция картины мира в прошлое с помощью уравнений Фридмана позволяет вычислять плотность и температуру вещества в ранней Вселенной вплоть до ее возраста в доли секунд, а наши знания физики микромира дают возможность описывать эпохи нуклеосинтеза, рекомбинации, возникновение фона реликтового излучения и т.п.

##### 4. Эпоха рекомбинации.

Постепенное понижение температуры в конце концов делает энергетически выгодным присоединение электронов к ядрам и образование атомов. Мы рассматриваем процесс рекомбинации на основе уравнения Саха и получаем для возраста Вселенной в эту эпоху цифры около 370 тыс. лет.

## 5. Проблема начальных условий и теория инфляции.

Проблемы начальных условий в эпоху Большого Взрыва сейчас предлагается решать на основе теории экспоненциального быстрого раздувания масштаба длины в первые  $10^{-30}$  секунды (теория инфляции). Источником гравитационного поля в это время является вакуум КТП, плотность энергии которого не изменяется при расширении Вселенной, а давление вакуума является отрицательным, поэтому он порождает отталкивание, которое преодолевает стандартное для гравитации притяжение. Сценарий инфляции позволяет решить массу проблем теории Большого Взрыва: однородности, изотропности, плоскостности, отсутствия монополей и т.п.

## 6. Математический аппарат ОТО.

Стандартный математический аппарат ОТО включает тензорный анализ и риманову геометрию. Мы начинаем с использования криволинейных координат общего вида в плоском пространстве. Идеи римановой геометрии первоначально иллюстрируются на материале теории поверхностей. Вводятся основные понятия тензора, метрики, связности, ковариантного дифференцирования, тензоры Римана, Риччи, Эйнштейна. Строятся тензоры энергии-импульса материи. Из действия Гильберта-Эйнштейна выводятся уравнения ОТО.

## 7. Решение Шварцшильда и геодезические.

Обсуждается точное решение Шварцшильда, которое применяется к описанию динамики движения пробных тел и фотонов в присутствии сферически симметричного источника гравитации. Рассматривается рассеяние и падение на центр для вакуумного решения Шварцшильда. Вводятся понятия гравитационного радиуса тела, горизонта и центральной сингулярности.

## 8. Теория возмущений и эффекты ОТО.

Среди эффектов ОТО, наблюдаемых в сравнительно слабом поле рассматриваются отклонение луча света, красное смещение и аномальное движение перигелия Меркурия. Расчеты производятся в теории возмущений.

## 9. Гравитационная устойчивость звезд.

На основе ньютоновской теории тяготения выводится условие механического равновесия стационарной звезды. Моделируя вещество звезды уравнением состояния Менделеева-Клапейрона можно оценить, например, температуру в центре звезды. Светимость звезд Главной Последовательности обусловлена сравнительно медленной термоядерной реакцией горения водорода, т.е. превращения его, в конечном итоге, в гелий. Для описания физики внутри звезд принято использовать уравнение политропы, которое является достаточно общим и применяется не только к звездам Главной Последовательности, но и, например, к белым карликам, в которых доминирует вырожденный электронный газ.

## 10. Уравнения связей ОТО.

Тензор Эйнштейна тождественно удовлетворяет свернутым тождествам Бианки, что означает линейную зависимость между уравнениями ОТО и их производными. 4 из 10 уравнений ОТО не содержат вторых производных по времени, и, следовательно, являются ограничениями (связями), наложенными на начальные данные. В частности, таким свойством обладает и главное уравнение Фридмана. В соответствии с второй теоремой Нетер наличие связей является следствием инвариантности ОТО при общих преобразованиях 4-х координат пространства-времени.

## 11. Гамильтонова формулировка ОТО.

Наиболее ясное понимание структуры уравнений ОТО дает гамильтонов подход к этой теории. Здесь роль координат, как оказывается, играют компоненты метрики пространства, т.е. пространственно-подобной гиперповерхности, а роль импульсов играют компоненты тензора, построенного из внешней кривизны этой гиперповерхности. 4 уравнения связей находятся в инволюции в алгебре скобок Пуассона, что отражает свободу выбора семейства промежуточных гиперповерхностей при переходе от начального состояния к конечному.

## 12. Излучение и детектирование гравитационных волн.

Для излучения гравитационных волн необходимо присутствие системы с переменным квадрупольным моментом масс. Интенсивность излучения пропорциональна квадрату модуля третьей производной квадрупольного момента. В большинстве случаев эта интенсивность крайне мала, однако, как доказано недавними результатами установок LIGO, существуют катастрофические события, дающие огромный выброс энергии в виде гравитационных волн, порядка нескольких масс покоя Солнца. Оказывается, качественный вывод ключевых формул здесь можно провести без использования ОТО.

## 13. Гравитационные волны как источник информации о Вселенной.

Гравитационная астрономия дает большие надежды на возможность получить информацию о самых ранних эпохах развития Вселенной. Запуск космического детектора eLISA и других проектов позволит детектировать не только волны с частотой сотен Герц, но и более низкочастотные, а также повысит чувствительность. Вместе с нейтринной астрономией это позволит заглянуть в глубокое прошлое.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Введение в теорию ранней Вселенной : Теория горячего Большого взрыва [Текст]/Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков, -М., ЛЕНАНД, 2016
2. Сборник задач по теории относительности и гравитации [Текст] = Problem book in relativity and gravitation / А. Лайтман [и др.] ; пер. с англ. А. П. Бондарева, Ю. А. Данилова под ред. И. М. Халатникова .— М : Мир, 1979 .— 535 с.
3. С. Вайнберг. Космология. - М.: УРСС, 2012. - 605 стр.

### Дополнительная литература

1. Общая астрофизика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. В. Засов, К. А. Постнов ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Физический фак., Гос. астроном. ин-т им. П. К. Штернберга .— 2-е изд., испр. и доп. — Фрязино : Век 2, 2011 .— 576 с.
2. С чего началась космология: сб. статей / сост. В.И. Мацарский – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2014. - 568 стр.
3. А.Д. Долгов, Я.Б. Зельдович, М.В. Сажин. Космология ранней Вселенной. – М.: МГУ, 1988. – 199 стр.

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

сайт Астрономического института СПбГУ [http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/BOOK\\_1.pdf](http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/BOOK_1.pdf)  
- В.В. Иванов. Физика звезд. СПб, 2018 – 539 стр.

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

Не предусмотрены.

## **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 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>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких энергий
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	В.О. Соловьев, д-р физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
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-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 рамках тематической области своей профессиональной деятельности
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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	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
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований 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 планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	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 «Космология и гравитация» обучающийся должен:

**знать:**

Уравнение Фридмана, современный состав Вселенной, уравнения состояния, уравнения Эйнштейна, решение Шварцшильда, свойства гравитационных волн, уравнение равновесия звезды.

**уметь:**

Экстраполировать состав и свойства материи в прошлое и будущее, решать уравнения движения в сильных и слабых гравитационных полях.

**владеть:**

Методами тензорного анализа и римановой геометрии, теории возмущений, термодинамики и статистической физики в искривленном пространстве-времени.

**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**

Перечень контрольных вопросов:

1. Как оценить температуру фонового излучения в различные эпохи?
2. Как изменяется состав материи при эволюции Вселенной?
3. Когда можно говорить о термодинамическом равновесии в ранней Вселенной?
4. Какие проблемы ранней Вселенной решает сценарий инфляции?
5. Какова роль энергии вакуума в эволюции Вселенной?
6. Какова причина возникновения неоднородностей в ранней Вселенной?
7. Чем отличаются друг от друга первые космологические модели (Эйнштейна, де Ситтера и Фридмана)?
8. Чем обеспечивается равновесие различных компактных объектов?
9. Что свидетельствует о присутствии темной материи во Вселенной?
10. Какими наблюдениями установлено ускоренное расширение Вселенной?
11. Как может ставиться задача Коши в ОТО?
12. Какой смысл имеет алгебра связей в ОТО?

Примеры контрольных заданий:

1. Вычислить современный возраст Вселенной.
2. Вычислить возраст Вселенной в эпоху рекомбинации.
3. Найти время начала ускоренного расширения Вселенной.
4. Найти время, через которое масштабный фактор метрики удвоится.
5. Оценить необходимый рост масштабного фактора за время инфляции.
6. Вычислить сечение захвата медленно движущихся частиц в метрике Шварцшильда.
7. Вычислить прецессию орбиты финитного движения в метрике Шварцшильда в приближении слабого поля.
8. Найти время радиального свободного падения тела на гравитационный радиус метрики Шварцшильда.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Вывод уравнений ОТО из вариационного принципа.
2. Три населения звезд.

Билет 2.

1. Вывод уравнения траектории фотона в метрике Шварцшильда.
2. Главная последовательность Герцшпрунга-Рассела.

Билет 3.

1. Оценка возраста Вселенной в эпоху рекомбинации.
2. Уравнения Фридмана и их применение в космологии.

Билет 4.

1. Оценка предела Чандрасекара для белых карликов.
2. Температурная история Вселенной.

Билет 5.

1. Оценка возраста Вселенной по известным данным.
2. Галактики и их скопления.

#### 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 недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо 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 твёрдо 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**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.