

**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>	Общая теория относительности
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова Физтех-кластер академической и научной карьеры
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.В. Слепцов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании Физтех-кластера академической и научной карьеры 11.07.2022

## Аннотация

Курс знакомит студентов с основами общей теории относительности, необходимыми для работы в современной математической и теоретической физике и понимания современной научной литературы.

Темы, которые курс затрагивает, включают приложения дифференциальной и Римановой геометрии к описанию искривленного пространства-времени; уравнения Эйнштейна; простейшие решения уравнений Эйнштейна; предел слабого гравитационного поля; гравитационные волны; чёрные дыры.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Обучение студентов общей теории относительности, построение необходимой базы для решения содержательных задач современной математической физики.

#### Задачи дисциплины

Последовательное и детальное изложение основных принципов общей теории относительности; детальный разбор технических деталей вычислений с применением дифференциальной геометрии в общей теории относительности; построение действия Эйнштейна-Гильберта и его простейших обобщений; анализ уравнений Эйнштейна и их простейших решений.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
УК-5 Способен осмысливать культурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском аспектах	УК-5.2 Имеет представление о системах этических и интеллектуальных ценностей и норм, их значении в истории общества
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.1 Определяет приоритеты профессиональной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
--	--

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

концепции и идеи лежащие в основе общей теории относительности (ОТО); Уравнения Эйнштейна и примеры их решений; Физические предсказания ОТО и её границы применимости.

уметь:

из первых принципов выводить: классические эффекты ОТО; действие Эйнштейна-Гильберта и уравнения Эйнштейна; простейшие решения ОТО.

владеть:

математическим аппаратом и методами ОТО в приложениях для решения различных задач и работы с научными текстами.

### 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	Геодезические	3	3		15
2	Элементы дифференциальной геометрии	3	3		15
3	Уравнения Эйнштейна	3	3		15
4	Предел слабого гравитационного поля, гравитационные волны	3	3		15
5	Чёрные дыры	3	3		15
Итого часов		15	15		75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

##### 1. Геодезические

Нерелятивистские частицы и уравнения геодезических. Геодезические на двумерной сфере. Релятивистские частицы, пространство-время Минковского и причинность. Взаимодействие релятивистской частицы с электромагнитным и гравитационным полями. Взаимодействия с полями произвольного спина.1 Принцип эквивалентности. Замедление времени. Гравитационное красное смещение. Аффинная параметризация геодезической для массивных и безмассовых частиц, уравнения геодезической в пространстве-времени. Метрика Шварцшильда. Эффективный потенциал в метрике Шварцшильда и орбиты планет. Прецессия перигелия. Влияние притяжения других планет (Венеры и Юпитера) на прецессию перигелия Меркурия. Отклонение света в гравитационном поле, гравитационное линзирование.

## 2. Элементы дифференциальной геометрии

Многообразия. Тензоры, векторы, ковекторы и формы. Метрика; Риманово и лоренцево многообразия, форма объема, двойственность Ходжа. Действие Максвелла. Теория Ходжа. Связности и ковариантная производная, кривизна и кручение, связность Леви-Чивиты. Теорема Гаусса. Параллельный перенос, нормальные координаты и экспоненциальное отображение, голономия, девиация геодезических. Тензор Риччи и тензор Эйнштейна. 1-формы связности и 2-формы кривизны.

## 3. Уравнения Эйнштейна

Действие Эйнштейна-Гильберта, космологическая постоянная; диффеоморфизмы и тождество Бьянки; Решения вакуумных уравнений Эйнштейна: пространство-время Минковского, пространство-время де Ситтера и анти-де Ситтера, решение Taub-NUT; Симметрии и изометрии, векторы Киллинга, сохраняющиеся величины; Асимптотика пространства-времени, конформные преобразования и диаграммы Пенроуза; Взаимодействие гравитации с материей, тензор энергии-импульса, идеальные жидкости, спиноры, энергетические условия; Примеры космологических решений.

## 4. Предел слабого гравитационного поля, гравитационные волны

Линеаризованная теория гравитации, действие Паули-Фирца, калибровочная симметрия, ньютоновский предел; Гравитационные волны, калибровка де Дондера, бесследовая поперечная калибровка, поляризации гравитационных волн, LIGO и детектирование гравитационных волн; Рождение гравитационных волн, двойные системы, квадруполь как источники гравитационных волн, квазитензор энергии-импульса для гравитационного поля, псевдотензор Ландау-Лифшица; тензор Белла-Робинсона; Разрывности Вельтмана-ван-Дамма-Захарова; теорема Вайнберга-Виттена.

## 5. Чёрные дыры

Решение Шварцшильда, теорема Биркгофа, координаты Эддингтона-Финкельштейна, диаграммы Крускала и диаграммы Пенроуза, слабая космическая цензура; Решение Рейсснера-Нордстрема, горизонты Коши и сильная космическая цензура, экстремальные черные дыры; Решение Керра, глобальная структура и диаграммы Пенроуза, эргосфера, процесс Пенроуза и сверхизлучение, теоремы об отсутствии волос.

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

Компьютер для использования интернет-ресурсов.

Проектор для демонстраций иллюстраций и визуального материала.

Учебная аудитория, доска.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Фонд базовой кафедры:

1. David Tong: Lectures on General Relativity, 2019.

2. Хрипович И.Б. Общая теория относительности. – 2-е изд., доп. - М.; Ижевск: Регуляр. и хаотич. динамика, 2009.

3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – Москва: Физматлит, 2006.

Дополнительная литература

Фонд базовой кафедры:

1. Nakahara, Geometry, Topology and Physics, CRC Press; 2nd edition 2003.
2. Вейнберг С. Гравитация и космология. – Москва: Мир, 1975.
3. Stefano Liberati, Advanced GR and QFT in Curved Spacetimes, 2022.

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

<http://arxiv.org>

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

Zoom, Google meet

**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 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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова Физтех-кластер академической и научной карьеры (Теоретическая и математическая физика)
<b>курс:</b>	<u>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.В. Слепцов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
УК-5 Способен осмысливать культурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском аспектах	УК-5.2 Имеет представление о системах этических и интеллектуальных ценностей и норм, их значении в истории общества
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.1 Определяет приоритеты профессиональной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации



ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая теория относительности» обучающийся должен:

### знать:

концепции и идеи лежащие в основе общей теории относительности (ОТО); Уравнения Эйнштейна и примеры их решений; Физические предсказания ОТО и её границы применимости.

### уметь:

из первых принципов выводить: классические эффекты ОТО; действие Эйнштейна-Гильберта и уравнения Эйнштейна; простейшие решения ОТО.

### владеть:

математическим аппаратом и методами ОТО в приложениях для решения различных задач и работы с научными текстами.

## 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 прошлого занятия.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Уравнения геодезической
2. Прецессия перигелия
3. Гравитационное линзирование.
4. Связность Леви-Чивиты.
5. Девиация геодезических
6. Векторы Киллинга
7. Тензор энергии-импульса
8. Диаграммы Пенроуза
9. Космическая цензура
10. Действие Паули-Фирца

Примеры контрольных заданий

1. Задержка Шапиро.

Радиус Шварцшильда для Солнца  $r_g = 3$  км, радиус Солнца  $7 \cdot 10^5$  км, радиусы орбит Венеры и Земли 108 км и  $1.5 \cdot 10^9$  км. Сигнал направляется с Земли на зонд, находящийся около Венеры так, что его луч проходит вблизи внешнего края Солнца. Найдите задержку по времени для такого сигнала за счет гравитационного поля Солнца. Можно считать, что в лидирующем приближении луч распространяется по прямой.

2. Собственное время падения на черную дыру.

Найдите собственное время падения частицы до горизонта событий и до сингулярности черной дыры.

3. Сечения захвата.

Найти сечения захвата медленных частиц для шварцшильдовской черной дыры.

4. Геодезические на фоне гравитационной волны.

Определите форму девиации геодезических на фоне гравитационных волн для  $+$  и  $\times$  поляризаций.

5. Сильная гравитационная волна (pp-волна)

Рассмотрим метрику вида:

$$ds^2 = -dudv + dx^2 + dy^2 + 2H(x, y, u)du^2, \quad u = t - z, \quad v = t + z.$$

Какой вид должна иметь функция  $H$ , чтобы эта метрика являлась решением уравнений Эйнштейна в пустоте?

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Уравнения геодезической.
2. Найти сечения захвата медленных частиц для шварцшильдовской черной дыры.

Билет 2.

1. Прецессия перигелия.
2. Найдите собственное время падения частицы до горизонта событий и до сингулярности черной дыры.

Билет 3.

1. Векторы Киллинга.
2. Задержка Шапиро.

Билет 4.

1. Диаграммы Пенроуза
2. Сильная гравитационная волна (pp-волна)

Билет 5.

1. Связность Леви-Чивиты.

2. Геодезические на фоне гравитационной волны.

#### 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 письменной 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.