

**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)
по дисциплине:	Введение в общую теорию относительности
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Дифференцированный зачет

6 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: М.И. Зельников, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 26.05.2020

Аннотация

Курс предназначен для выработки студентами умений и навыков применения математического аппарата ОТО для решения задач небесной механики, релятивистской астрофизики и космологии.

В рамках курса студенты знакомятся с основными способами и примерами решения уравнений Эйнштейна по теории возмущений для описания генерации и распространения гравитационных волн, в пространствах, обладающих аксиальной, сферической или максимальной симметрией. Рассматриваются особенности движения частиц в окрестностях черных дыр Шварцшильда и Керра, методы учёта расширения Вселенной при решении астрофизических задач, основы теории космологической инфляции и генерации структуры под действием гравитационной неустойчивости.

Курс базируется на дисциплине «Математический аппарат общей теории относительности», и может быть полезен для работы в областях как теоретической, так и наблюдательной космологии и астрофизики.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

– познакомить студентов с основными методами решения уравнений Эйнштейна в задачах релятивистской астрофизики и космологии.

Задачи дисциплины

- о продемонстрировать применения методов ОТО к решению основных задач космологии и астрофизики.
- о научить формулировать задачи космологии и астрофизики на математическом языке ОТО.
- о дать приобрести первоначальные навыки в решении основных типов задач ОТО в областях космологии и астрофизики.

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
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-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-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
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-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	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-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные методы ОТО, применяемые в решении основных задач космологии и астрофизики: основные методы ОТО, применяемые в решении основных задач космологии и астрофизики.

уметь:

- формулировать и решать задачи космологии и астрофизики на математическом языке ОТО (решение уравнений Эйнштейна в частных случаях, небесная механика в окрестности черных дыр и др.)

владеть:

- навыками применения освоенных методов ОТО в решении задач космологии и астрофизики.

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	Симметрии действия	2	2		10
2	Решение уравнений Эйнштейна по теории возмущений	2	2		10
3	Сферически-симметричные решения уравнений Эйнштейна	2	2		10
4	Небесная механика в сферически-симметричной метрике	3	3		10
5	Черные дыры.	3	3		10
6	Небесная механика в окрестности черных дыр	3	3		10
7	Максимально-симметричные пространства.	3	3		6
8	Пространства с максимально-симметричным подпространством.	3	3		6
9	Физические эффекты расширения Вселенной	3	3		6
10	Теория инфляции.	3	3		6
11	Гравитационная неустойчивость	3	3		6
Итого часов		30	30		90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Симметрии действия

Группа инвариантности действия.

Общая формула вариации действия при произвольном преобразовании.

Инвариантность действия при конечномерных преобразованиях: 1-я теорема Нетер.

Инвариантность при бесконечномерных (калибровочных) преобразованиях: 2-я теорема Нетер.

Связи и тождества Нетер. Количество степеней свободы в калибровочных теориях.

Калибровка. Примеры: связи и тождества Нетер в электродинамике.

Связи и тождества Нетер в ОТО.

2. Решение уравнений Эйнштейна по теории возмущений

Возмущения метрики как калибровочные поля.

Калибровочные преобразования для возмущений метрики.

Тензор с обратным следом. Калибровка Лоренца.

Поперечно-бесследовая калибровка.

Линеаризованный тензор Римана.

Линеаризованные уравнения Эйнштейна.

Гравитационные волны.

Коротковолновое приближение.

Распространение гравитационных волн.

Эффективный тензор энергии-импульса гравитационных волн.

Излучение гравитационных волн.

3. Сферически-симметричные решения уравнений Эйнштейна

Определение сферической симметрии.
Общий вид сферически-симметричной метрики.
Обобщенная теорема Биркгофа.
Сферически-симметричное решение уравнений Эйнштейна в пустоте.
Метрика Шварцшильда.
Шварцшильдовские черные дыры.
Смысл особенностей в центре и на гравитационном радиусе в метрике Шварцшильда.
Ускорение покоящегося наблюдателя.
Радиальное падение безмассовой и массивной частиц.
Гравитационное красное и фиолетовое смещения.

4. Небесная механика в сферически-симметричной метрике

Классические тесты ОТО. Вывод формулы для прецессии перигелия Меркурия.
Вывод угла отклонения света гравитационным полем Солнца.
Вывод гравитационного запаздывания радарного эха Марса.

5. Черные дыры.

Горизонт событий. Сингулярность.
Ловушечная поверхность.
Принцип космической цензуры.
Теорема Хокинга. Теорема "об отсутствии волос" у черных дыр.
Параметры стационарных черных дыр.
Метрики Шварцшильда, Керра, Керра-Ньюмана, Рейсснера-Нордстрема.

6. Небесная механика в окрестности черных дыр

Классификация траекторий в метрике Шварцшильда. Пространство-время вращающейся черной дыры Керра.
Горизонт, предел статичности и эргосфера. Небесная механика в геометрии Керра.
Траектории с отрицательной энергией. Идея Пенроуза об извлечении энергии из вращающихся черных дыр.

Семестр: 6 (Весенний)

7. Максимально-симметричные пространства.

Алгебра векторов Киллинга и геометрия. Однородность, изотропия и теоремы о них.
Максимальная симметрия и ее связь с однородностью и изотропией.
Тензор Римана максимально-симметричного пространства. Пространства постоянной кривизны. Конформная плоскостность. Координатная эквивалентность.
Метрика максимально-симметричного пространства. Пространства Лобачевского, де-Ситтера, анти-де-Ситтера.

8. Пространства с максимально-симметричным подпространством.

Пространственно однородные и изотропные решения.
Уравнения Эйнштейна с метрикой Робертсона-Уокера.
Ограничения на вещество.
Решения Фридмана для излучения, пыли и космологической постоянной.

9. Физические эффекты расширения Вселенной

Разбегание галактик.

Движение массивных и безмассовых частиц в расширяющейся вселенной.
Космологическое красное смещение.
Способы измерения расстояний в расширяющейся вселенной.
Эффект линзы.
Парадокс Ольберса.

10. Теория инфляции.

Теория горячей вселенной.
Реликтовое излучение.
Проблемы плоскостности и горизонта.
Инфляция (раздувание) как решение этих проблем.
Скалярное поле как генератор раздувания.
Теория инфляции.
Генерация неоднородностей в инфляции.
Проблема разогрева.
Полная история Вселенной.

11. Гравитационная неустойчивость

Теория Джинса.
Гравитационная неустойчивость в расширяющейся вселенной.
Скалярные, векторные и тензорные моды, их смысл.

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

Учебная аудитория с меловой, фломастерной, или интерактивной доской.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 2 : Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского - М. Физматлит, 2014, 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.
3. Ч.Мизнер, К.Торн, Дж.Уилер. Гравитация, тт.1-3, - М.: Мир, 1977
4. С.Вейнберг. Гравитация и космология. - М.: Мир, 1975

Дополнительная литература

1. Физика элементарных частиц и инфляционная космология [Текст]/А. Д. Линде, -М., Наука, 1990
2. Valeri P. Frolov & Andrei Zelnikov. Introduction to Black Hole Physics. – Oxford-New York: Oxford University Press, 2011.

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

<http://booksshare.net/index.php?id1=4&category=physics>
<http://mechmath.ipmnet.ru/lib/?s=relativity>
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/difgeometry.htm>
<http://lib.mipt.ru/catalogue>
<http://elibrary.rsl.ru/>
<http://www.benran.ru/>
<http://ufn.ru>

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

На лекциях возможно использование мультимедийных технологий, включая демонстрацию презентаций. На семинарах важно интерактивное взаимодействие со студентами при решении задач по темам курса, в форме ответов на вопросы и решения для этого, при необходимости, вспомогательных задач. Для такого интерактивного взаимодействия и совместного со студентами решения задач лучше всего подходит фломастерная или меловая доска.

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.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 6 (весенний) - Экзамен

Разработчик: М.И. Зельников, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

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
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-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-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
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-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	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-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в общую теорию относительности» обучающийся должен:

знать:

- основные методы ОТО, применяемые в решении основных задач космологии и астрофизики: основные методы ОТО, применяемые в решении основных задач космологии и астрофизики.

уметь:

- формулировать и решать задачи космологии и астрофизики на математическом языке ОТО (решение уравнений Эйнштейна в частных случаях, небесная механика в окрестности черных дыр и др.)

владеть:

- навыками применения освоенных методов ОТО в решении задач космологии и астрофизики.

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 типовых задач:

1. Гравитационные волны. Вычислить изменения радиуса круговой орбиты двойной системы за счет излучения гравитационных волн.
2. Линейные эффекты гравитации. Вычислить гравитационное притяжение двух параллельных лазерных лучей в линейном приближении.
3. Небесная механика в сферически-симметричной метрике. Вычислить отклонение лучей света гравитационным полем Солнца, задержку эха при радиолокации Марса.
4. Метрика Шварцшильда. Вычислить наблюдаемую на пространственной бесконечности светимость источника, покоящегося на заданном расстоянии от горизонта черной дыры.
5. Метрика Шварцшильда. Вычислить максимальный угол поворота под горизонтом траектории (массивной, безмассовой) частицы, падающей из бесконечности в черную дыру.
6. Метрика Керра. Доказать невозможность дальнейшей «раскрутки» экстремально вращающейся черной дыры путем поглощения частиц, падающих из бесконечности.
7. Метрика Керра. Вывести модифицированный «закон Кеплера» для круговых орбит в экваториальной плоскости черной дыры Керра.
8. Теория инфляции. Вывести зависимость масштабного фактора от величины инфлатонного поля на стадии инфляции для степенного инфлатонного потенциала общего вида.
9. Разогрев после инфляции. Вывести эффективное уравнение состояния для затухающих осцилляций однородного инфлатонного поля в квадратичном потенциале.
10. Степенная инфляция. Найти потенциал инфлатонного поля, обеспечивающий степенную инфляцию с показателем степени больше единицы.
11. Космология. Вычислить спектр светимости звездного неба для расширяющейся фридмановской Вселенной, равномерно заполненной одинаковыми источниками постоянного излучения со степенным спектром.
12. Космология. Вычислить зависимость наблюдаемой частоты гамма-всплесков от их наблюдаемой интенсивности в предположении, что гамма-всплески генерируются в среднем через равные промежутки времени источниками, равномерно заполняющими расширяющуюся фридмановскую Вселенную.

Перечень контрольных вопросов:

1. Симметрии действия. 1-я и 2-я теоремы Нетер. Связи и тождества Нетер.
2. Линеаризованные уравнения Эйнштейна. Виды калибровок.
3. Гравитационные волны и их эффективный тензор энергии-импульса.
4. Распространение и генерация гравитационных волн.
5. Сферически-симметричные решения уравнений Эйнштейна.

6. Теоремы Биркгофа.
7. Метрика Шварцшильда.
8. Шварцшильдские черные дыры и их свойства.
9. Классификация геодезических в метрике Шварцшильда.
10. Небесная механика в статической сферически-симметричной метрике.
11. Прецессия перигелия Меркурия.
12. Метрика Керра. Горизонт, предел статичности и эргосфера.
13. Небесная механика в метрике Керра.
14. Однородность, изотропия. Максимально-симметричные пространства.
15. Уравнения Эйнштейна с метрикой Робертсона-Уокера.
16. Решения Фридмана для излучения, пыли и космологической постоянной.
17. Разбегание галактик.
18. Космологическое красное смещение.
19. Эффект линзы в расширяющейся Вселенной.
20. Парадокс Ольберса в расширяющейся Вселенной.
21. Теория горячей Вселенной.
22. Проблемы плоскостности и горизонта.
23. Теория инфляции.
24. Теория Джинса.
25. Гравитационная неустойчивость в расширяющейся Вселенной.

Примеры экзаменационных билетов в 6-ом семестре:

Билет 1.

1. Теория Джинса. Гравитационная неустойчивость в расширяющейся вселенной.
2. Уравнения Эйнштейна с метрикой Робертсона-Уокера. Ограничения на вещество.

Билет 2.

1. Классические тесты ОТО. Вывод формулы для прецессии перигелия Меркурия. Вывод угла отклонения света гравитационным полем Солнца.
2. Теория горячей вселенной. Реликтовое излучение. Проблемы плоскостности и горизонта. Инфляция (раздувание) как решение этих проблем.

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 оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене и дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.