

**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:	Прецизионные измерения
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой радиофизики
курс:	1
квалификация:	магистр

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

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Н.Н. Колачевский, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой радиофизики 25.05.2020

Аннотация

Дисциплина предназначена для студентов, прослушавших курс общей физики, курсы квантовой механики, нелинейной оптики и атомной спектроскопии. Программа курса включает следующие основные разделы: статистические методы описания сигналов с флуктуирующей фазой, общая теория относительности в приложении к передаче сигналов времени и частоты, прецизионные измерения в астрофизике, глобальная система спутниковой навигации, двухуровневая система, метод Рэмси, микроволновые стандарты частоты, метод лазерного охлаждения и захвата нейтральных атомов, прецизионные измерения в ультрахолодных атомах, захват и охлаждение ионов, уравнения Матвея, прецизионные измерения в ионных ловушках, прецизионные измерения с использованием методов квантовой логики, измерение оптических частот, приближение к границе точности, фундаментальные ограничения на точность измерений, захват и охлаждение ионов, прецизионные измерения в ионных ловушках.. В результате овладения дисциплиной обучающийся получит базовые знания в области описания флуктуационных процессов и методов прецизионных измерений.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- представить на глубоком уровне основные теоретические и экспериментальные методы прецизионных измерений и методы описания флуктуаций, ограничивающих точность измерений.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области описания флуктуационных процессов и методов прецизионных измерений в астрофизических и лабораторных исследованиях;
- закрепление у студентов базовых знаний в области квантовой оптики (описание взаимодействия электромагнитного излучения с атомами);
- обучение студентов основным принципам и методам прецизионных измерений в современной физике, описание методов прецизионных измерений в астрофизике и космическом сегменте, тесты Общей теории относительности, представление современных методов синтеза точных сигналов времени и частоты, определение ряда фундаментальных констант, изучение методов захвата и лазерного охлаждения ионов и нейтральных атомов, фундаментальное ограничение точности из-за квантовой природы;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области прецизионных измерений 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
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности

	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
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-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований 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:

- принципы описания флуктуационных процессов в осциллирующих системах;
- принципы передачи сигналов времени и частоты, принципы лазерного охлаждения и захвата атомов и ионов;
- основные методы возбуждения и считывания атомных систем;
- методы измерения оптических частот.

уметь:

- выполнять анализ шумовых характеристик;
- решать задачи из области прецизионных измерений в лабораторных и астрофизических измерениях;
- выполнять преобразование времени и частоты при передаче сигналов.

владеть:

- методами описания флуктуаций во временном и спектральном представлении и их взаимном преобразовании;
- методами преобразования частоты и времени в рамках ОТО;
- методами описания лазерного охлаждения и удержания атомов;
- методами расчета взаимодействия атомных систем с резонансным излучением.

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	Статистические методы описания сигналов с флуктуирующей фазой.	1	2		2
2	Общая теория относительности в приложении к передаче сигналов времени и частоты.	1	2		2
3	Прецизионные измерения в астрофизике.	1	1		2
4	Глобальная система спутниковой навигации.	1	1		3
5	Двухуровневая система. Метод Рэмси. Микроволновые стандарты частоты.	1	1		3
6	Метод лазерного охлаждения и захвата нейтральных атомов. Прецизионные измерения в ультрахолодных атомах.	1	1		3
7	Захват и охлаждение ионов. Уравнения Матве. Прецизионные измерения в ионных ловушках.	1	1		3
8	Прецизионные измерения с использованием методов квантовой логики.	2	1		3
9	Измерение оптических частот.	2	1		3
10	Приближение к границе точности. Фундаментальные ограничения на точность измерений.	2	2		3
11	Захват и охлаждение ионов.	2	2		3
Итого часов		15	15		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. Статистические методы описания сигналов с флуктуирующей фазой.

Коррелированные флуктуации. Аллановская девиация. Типы шумовых процессов в стандартах частоты. Связь аллановской девиации и спектральной плотности мощности шума. Вычисление аллановской девиации для различных шумовых процессов.

Спектр мощности квазимонохроматического сигнала с флуктуирующей фазой. Построение корреляционной функции. Спектральная форма линии. Случай мелких высокочастотных и глубоких низкочастотных флуктуаций фазы, соответствующие формы линии. Преобразование спектра в нелинейных процессах.

2. Общая теория относительности в приложении к передаче сигналов времени и частоты.

Понятие о метрике пространства-времени. Метрика Минковского. Пространство-время в теории гравитации Эйнштейна. Основы геометрии ОТО. Преобразование времени во вращающейся системе координат, гравитационный сдвиг, эффект Саньяка. Методы передачи сигналов времени и частоты. Сличение часов. Методы односторонней и двусторонней передачи.

3. Прецизионные измерения в астрофизике.

Пульсары как астрофизические источники периодических импульсов. Физика пульсаров. Флуктуации частоты. Пульсары в двойных системах. Дрейф периастрия в двойных системах. Излучение гравитационных волн. Методы регистрации спектров квазаров. Калибровка астрофизических спектрометров. Поиск экзопланет. Поиск дрейфа и градиента постоянной тонкой структуры.

4. Глобальная система спутниковой навигации.

Орбиты спутников, сдвиги частоты, точность измерений. Кодировка и декодировка данных. Методы CDMA, TDMA, FDMA. Коррекция ошибок. Шкалы времени TAI, UTC. Синхронизация времени между удаленными объектами. Учет дисперсии атмосферы.

5. Двухуровневая система. Метод Рэмси. Микроволновые стандарты частоты.

Двухуровневая система. Оптические уравнения Блоха. Вектор псевдоспина. Осцилляции Раби. Возбуждение последовательностью когерентных взаимодействий. Метод Рэмси. Микроволновые стандарты частоты. Водородный мазер. Условия генерации. Шумовые характеристики водородного лазера. Пучковые цезиевые часы и их характеристики. Атомная интерферометрия. Дифракция атомов на лазерных волнах, интерферометр Борде.

6. Метод лазерного охлаждения и захвата нейтральных атомов. Прецизионные измерения в ультрахолодных атомах.

Лазерное охлаждение атомов. Оптическая патока. Доплеровский предел. Субдоплеровское охлаждение, сизифовский метод. Предел отдачи. Ловушки для нейтральных атомов. Магнитная дипольная, оптическая дипольная, магнито-оптическая ловушка. Атомный фонтан. Атомы в оптических решетках.

7. Захват и охлаждение ионов. Уравнения Матье. Прецизионные измерения в ионных ловушках.

Методы захвата заряженных частиц. Ловушка Пауля. Уравнения стабильности, параметры Матье. Псевдопотенциал. Частоты микро- и макродвижения.

Ловушка Пеннинга. Магнетронная, циклотронная и аксиальные частоты. Прецизионное измерение масс в ловушке Пеннинга. Методы охлаждения ионов в ловушках. Лазерное охлаждение. Доплеровский предел. Охлаждение на боковых колебательных частотах. Режим Лэмба-Дике. Спектроскопия сильнозапрещенных переходов.

8. Прецизионные измерения с использованием методов квантовой логики.

Метод квантовых скачков. Элементы квантовой логики в ионных ловушках. Операция CNOT. Передача информации между часовым и считывающим ионами. Симпатическое охлаждение. Прецизионная спектроскопия с использованием метода квантовой логики.

9. Измерение оптических частот.

Спектральные свойства фемтосекундного лазера. Фазовая и групповая скорости распространения импульса в резонаторе, возникновение офсетной частоты. Расширение спектра в нелинейном волокне, фотонно-кристаллические волокна. Нелинейный интерферометр. Метод регистрации и стабилизации офсетной частоты. Измерение абсолютной частоты лазерного излучения с помощью фемтосекундного синтезатора частот.

10. Приближение к границе точности. Фундаментальные ограничения на точность измерений.

Приближение к квантовому пределу. Соотношение неопределенности. Квантовые флуктуации электромагнитного поля. Флуктуации населенности в квантовых поглотителях. Использование сжатых и перепутанных состояний для подавления шумов. Флуктуации в твердых телах, тепловые шумы. Квантовый предел стабильности интерферометра. Предельная чувствительность детекторов гравитационных волн.

11. Захват и охлаждение ионов.

Уравнения Матве. Прецизионные измерения в ионных ловушках.

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

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Ф. Риле “Стандарты частоты”, Москва, Физматлит 2009.
2. В.П. Шляйх “Квантовая оптика в фазовом пространстве”, Москва физматлит 2005.

Дополнительная литература

1. Измерение времени. Основы GPS [Текст]/К. Одуан, Б. Гино , -1995
2. Измерение малых сил в физических экспериментах [Текст], монография/В. Б. Брагинский, А. Б. Манукин, -М., Наука, 1974
1. Д.Д. Иваненко, Г.А. Сарданашвили “Гравитация”, Москва, Едиториал УРСС 2004.

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

Не используются

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Matlab, Matematica.

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 напряжённой самостоятельной работы студента в соответствии с данными в рабочей программе. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- при необходимости подготовку к практическим занятиям, коллоквиумам, экзамену.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять знания на практике студенту необходимо решать как можно больше 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 практические занятия.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

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 квантовой радиофизики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

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

Разработчик: Н.Н. Колачевский, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
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-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований 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 «Прецизионные измерения» обучающийся должен:

знать:

- принципы описания флуктуационных процессов в осциллирующих системах;
- принципы передачи сигналов времени и частоты, принципы лазерного охлаждения и захвата атомов и ионов;
- основные методы возбуждения и считывания атомных систем;
- методы измерения оптических частот.

уметь:

- выполнять анализ шумовых характеристик;
- решать задачи из области прецизионных измерений в лабораторных и астрофизических измерениях;
- выполнять преобразование времени и частоты при передаче сигналов.

владеть:

- методами описания флуктуаций во временном и спектральном представлении и их взаимном преобразовании;
- методами преобразования частоты и времени в рамках ОТО;
- методами описания лазерного охлаждения и удержания атомов;
- методами расчета взаимодействия атомных систем с резонансным излучением.

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 к экзамену:

- 1) Коррелированные флуктуации. Аллановская девиация. Типы шумовых процессов в стандартах частоты.
- 2) Связь аллановской девиации и спектральной плотности мощности шума. Вычисление аллановской девиации для различных шумовых процессов.
- 3) Спектр мощности квазимонохроматического сигнала с флуктуирующей фазой. Построение корреляционной функции. Спектральная форма линии.
- 4) Случай мелких высокочастотных и глубоких низкочастотных флуктуаций фазы, соответствующие формы линии. Преобразование спектра в нелинейных процессах.
- 5) Понятие о метрике пространства-времени. Метрика Минковского. Пространство-время в теории гравитации Эйнштейна. Основы геометрии ОТО. Преобразование времени во вращающейся системе координат, гравитационный сдвиг, эффект Саньяка.
- 6) Методы передачи сигналов времени и частоты. Сличение часов. Методы односторонней и двусторонней передачи.
- 7) Пульсары как астрофизические источники периодических импульсов. Физика пульсаров. Флуктуации частоты. Пульсары в двойных системах.
- 8) Дрейф периастрия в двойных системах. Излучение гравитационных волн. Методы регистрации спектров квазаров. Калибровка астрофизических спектрометров. Поиск экзопланет. Поиск дрейфа и градиента постоянной тонкой структуры.
- 9) Орбиты спутников, сдвиги частоты, точность измерений. Кодировка и декодировка данных. Методы CDMA, TDMA, FDMA.
- 10) Коррекция ошибок. Шкалы времени TAI, UTC. Синхронизация времени между удаленными объектами. Учет дисперсии атмосферы.
- 11) Двухуровневая система. Оптические уравнения Блоха. Вектор псеводспина. Осцилляции Раби. Возбуждение последовательностью когерентных взаимодействий.
- 12) Метод Рэмси.
- 13) Микроволновые стандарты частоты. Водородный мазер. Условия генерации. Шумовые характеристики водородного лазера. Пучковые цезиевые часы и их характеристики.
- 14) Атомная интерферометрия. Дифракция атомов на лазерных волнах, интерферометр Борде.
- 15) Лазерное охлаждение атомов. Оптическая патока. Доплеровский предел.
- 16) Субдоплеровское охлаждение, сизифовский метод. Предел отдачи.
- 17) Ловушки для нейтральных атомов. Магнитная дипольная, оптическая дипольная, магнито-оптическая ловушка.
- 18) Атомный фонтан. Атомы в оптических решетках.

- 19) Методы захвата заряженных частиц. Ловушка Пауля. Уравнения стабильности, параметры Матье.
- 20) Псевдопотенциал. Частоты микро- и макродвижения.
- 21) Ловушка Пеннинга. Магнетронная, циклотронная и аксиальные частоты. Прецизионное измерение масс в ловушке Пеннинга.
- 22) Методы охлаждения ионов в ловушках. Лазерное охлаждение. Доплеровский предел. Охлаждение на боковых колебательных частотах. Режим Лэмба-Дике. Спектроскопия сильнозапрещенных переходов.
- 23) Метод квантовых скачков. Элементы квантовой логики в ионных ловушках. Операция CNOT.
- 24) Передача информации между часовым и считывающим ионами. Симпатическое охлаждение. Прецизионная спектроскопия с использованием метода квантовой логики.
- 25) Спектральные свойства фемтосекундного лазера. Фазовая и групповая скорости распространения импульса в резонаторе, возникновение офсетной частоты. Расширение спектра в нелинейном волокне, фотонно-кристаллические волокна. Нелинейный интерферометр.
- 26) Метод регистрации и стабилизации офсетной частоты. Измерение абсолютной частоты лазерного излучения с помощью фемтосекундного синтезатора частот.
- 27) Приближение к квантовому пределу. Соотношение неопределенности. Квантовые флуктуации электромагнитного поля. Флуктуации населенности в квантовых поглотителях.
- 28) Использование сжатых и перепутанных состояний для подавления шумов. Флуктуации в твердых телах, тепловые шумы. Квантовый предел стабильности интерферометра. Предельная чувствительность детекторов гравитационных волн.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Коррелированные флуктуации. Аллановская девиация. Типы шумовых процессов в стандартах частоты.
2. Лазерное охлаждение атомов. Оптическая патока. Доплеровский предел.

Билет 2.

1. Связь аллановской девиации и спектральной плотности мощности шума. Вычисление аллановской девиации для различных шумовых процессов.
2. Субдоплеровское охлаждение, сизифовский метод. Предел отдачи.

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