

**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:	Преобразование лазерного излучения
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра лазерных систем и структурированных материалов
курс:	1
квалификация:	магистр

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

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

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

Программа обсуждена на заседании кафедры лазерных систем и структурированных материалов 04.06.2020

Аннотация

После создания лазеров начало быстро развиваться новое направление физики – нелинейная оптика. Оно описывает круг оптических явлений, связанных со взаимодействием интенсивного света с веществом; именно появление лазерных источников, способных генерировать световые волны достаточной интенсивности, сделало возможным быстрый прогресс экспериментальных, а затем и теоретических исследований в данной области. При высоких интенсивностях наблюдается широкий круг нелинейных эффектов, приводящих к генерации света на новых частотах, а также позволяющих проводить исследования вещества с помощью нелинейной спектроскопии.

Дальнейший прогресс в лазерной физике позволил получить поля напряженностью, сравнимой с атомной. Описание взаимодействия поля и вещества в таких условиях потребовало развития совершенно новых методов, что связано с невозможностью рассмотрения внешнего электромагнитного поля как малого возмущения. Это направление получило название «физика взаимодействия сильного поля с веществом» и долгое время развивалось в значительной степени независимо от ставших уже традиционными направлений нелинейной оптики. В рамках настоящего курса будут изложены вопросы, связанные с преобразованием лазерного излучения, как относящиеся к классическим разделам нелинейной оптики и спектроскопии, так и к описанию нелинейно-оптических явлений в сильных полях.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в области взаимодействия лазерного излучения с веществом, овладение методами и возможными подходами к проблеме, а также пониманием способов их практического применения.

Задачи дисциплины

формирование базовых знаний в области основных нелинейно оптических явлений, которые протекают при больших интенсивностях воздействия на вещество, и использование этих явлений для создания новых приборов лазерной техники с уникальными возможностями и свойствами - как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;

обучение студентов основным принципам и подходам области физики взаимодействия излучения с веществом, освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;

формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области физики взаимодействия излучения с веществом в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 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	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

на научном языке формулировать профессиональные задачи	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
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

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

уметь:

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

владеть:

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

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Исторический очерк.	2	2		3
2	Лазер на красителе.	2	2		3
3	Импульсный режим генерации.	2	2		3
4	Основные характеристики импульсов лазерного излучения.	2	2		3
5	Нелинейные эффекты самовоздействия интенсивных импульсов в среде.	2	2		3
6	Проблема измерения скорости света.	2	2		3
7	Принципы генерации УКИ.	2	2		3
8	Когерентность.	2	2		3
9	Схемы фемтосекундных лазеров.	2	2		3
10	Усиление УКИ.	2	2		3
11	Терагерцовые пучки.	2	2		3
12	Нелинейная релятивистская оптика.	2	2		3
13	Прецизионная метрология частоты и времени.	2	2		3
14	Генерация высших гармоник.	2	2		3
15	Современное состояние проблемы .	2	2		3
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Исторический очерк.

Первый импульсный лазер Маймана. Метод Q-модуляции. Затворы: механические (вращающийся диск с отверстием, вращающаяся призма), электрооптические затворы Керра и Поккельса, акустооптический, просветляющийся поглотитель. Теоретическое рассмотрение на основе скоростных уравнений. Метод синхронизации мод (mode-locking). Активная синхронизация мод. Пассивная синхронизация мод с помощью просветляющегося поглотителя, одновременная Q-модуляция и синхронизация мод. Флуктуационная теория. Необходимость применения просветляющегося поглотителя с малым временем просветленного состояния (быстрый поглотитель). Красители в качестве активной среды, большая ширина спектра генерации с принципиальной возможностью генерации фемтосекундных импульсов. Особенности лазера с ламповой накачкой с пассивной синхронизацией мод с помощью красителей. Использование просветляющегося поглотителя со сравнительно большим временем просветленного состояния (медленный поглотитель).

2. Лазер на красителе.

Экспериментальные особенности: накачка сфокусированным пучком непрерывного лазера, резонатор Когельника, активная среда и поглотитель в виде свободно текущих струй. Оптимизация с целью сокращения длительности импульса: режим “сталкивающихся импульсов”, компенсация дисперсии групповых скоростей. Усиление импульсов. Схема задающий генератор-усилитель (MOPA = master oscillator +powerful amplifier). Проблема усиленного спонтанного излучения (ASE) . Метод усиления чирпированных импульсов. Переход к твердотельным активным средам на основе вибронных кристаллов (пример Ti:сапфир). Пассивная синхронизация мод на основе эффекта керровской линзы. Прорыв в десятки и единицы фс. Волоконные лазеры и усилители.

3. Импульсный режим генерации.

Основные мотивации стремления сокращать длительность импульса: повышение разрешающей способности методик исследований сверхбыстрых явлений, повышение пиковой мощности и, следовательно, интенсивности и напряженности электрического поля световой волны. Новейшие достижения (рекорды) в области генерации ультракоротких импульсов (УКИ)

4. Основные характеристики импульсов лазерного излучения.

Фурье-ограниченные импульсы. Соотношения между длительностью шириной спектра. Эффекты распространения импульса в среде. Материальная дисперсия и дисперсия групповых скоростей (ДГС). Методы управления ДГС, оптическое волокно, призмный компенсатор, решетчатый растягиватель и компрессор импульсов, чирпирующие зеркала.

5. Нелинейные эффекты самовоздействия интенсивных импульсов в среде.

Самофокусировка (эффект керровской линзы), фазовая самомодуляция. Активные среды, источники и способы накачки, особенности резонатора для реализации эффекта керровской линзы, накачка оптического активного волокна через двойную оболочку.

6. Проблема измерения скорости света.

Методы и методики измерения. История: Галилей, Рёмер, Брэдли, Фуко, Физо. Стробоскоп. Развертка (Сегнер, Уитстон). Прямые электронные методы. Оптические корреляционные методы. Автокорреляторы интенсивности. Автокорреляция интенсивности в сочетании со спектральным разложением (FROG, SPIDER).

7. Принципы генерации УКИ.

Метод синхронизации мод (активной и пассивной). Механизмы действия быстрого и медленного насыщающегося поглотителя. Искусственный (безынерционный) поглотитель.

8. Когерентность.

Когерентность пространственная и временная, методы измерения и примеры использования лазерных источников с различной степенью когерентности. Особенности временной когерентности излучения лазеров фемтосекундных импульсов непрерывного действия.

9. Схемы фемтосекундных лазеров.

СРМ-лазер на красителях. Лазер с керровской линзой. Волоконный лазер.

Теоретическое рассмотрение генерации фемтосекундных импульсов в лазере с керровской линзой.

10. Усиление УКИ.

Особенности и ограничения. Многопроходовые схемы. Регенеративное усиление. Схема усиления чирпированных импульсов. Принцип действия, радиолокационная аналогия. Схемы растяжения и сжатия импульсов дифракционными решетками. Примеры мощных систем тера- и петаваттного уровня. Сжатие импульса до длительности менее 5фс.

11. Терагерцовые пучки.

Терагерцовые пучки, УКИ в субмиллиметровом диапазоне. Оптоэлектроника, когерентная Фурье-спектроскопия дальнего ИК диапазона.

12. Нелинейная релятивистская оптика.

Индукцированные ядерные реакции. Управляемый термоядерный синтез. Эксперименты по нелинейным эффектам квантовой электродинамики.

13. Прецизионная метрология частоты и времени.

Системы волоконно-оптических генераторов суперконтинуума. Проблема измерения и контроля фазы несущей волны в фемтосекундных импульсах. Схемы измерения абсолютных оптических частот и передачи информации со скоростью свыше 1Тбит/с.

14. Генерация высших гармоник.

Импульсы рентгеновского диапазона аттосекундной длительности.

15. Современное состояние проблемы .

Существующие приборы и лазеры со сверхкороткой длительностью импульса. Современные мощные лазеры. Фундаментальные проблемы уменьшения длительности и увеличения мощности. Проблемы измерения сверхкоротких импульсов.

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. Принципы лазеров [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / О. Звелто ; пер. с англ. Д. Н. Козлова [и др.] ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова ; рус. пер. перераб. и доп. при участии автора книги .— 4-е изд. — СПб. : Лань, 2008 .— 720 с.
2. Принципы нелинейной оптики [Текст]/И. Р. Шен , -М., Наука, 1989
3. Нелинейная оптика [Текст]/Н. Бломберген , -М., Мир, 1966

Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : В 10 т. Т. 8 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц / Электродинамика сплошных средин. учеб. пособие для вузов - М.Наука,1982
2. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов [Текст]/С. А. Ахманов, В. А. Выслоух, А. С. Чиркин, -М., Наука, 1988
3. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М : Изд-во МГУ, 1998 .— 656 с.
4. Лазеры ультракоротких импульсов и их применения [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / П. Г. Крюков .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 248 с.
5. Лазеры сверхкоротких световых импульсов [Текст]/Й. Херман, Б. Вильгельми , -М., Мир, 1986

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

www.ufn.ru -- открытый архив журнала «Успехи физических наук»

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

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.exponenta.ru> – образовательный математический сайт.
3. <http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.
4. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
5. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
6. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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 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 преподавателю.

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 лазерных систем и структурированных материалов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.В. Стрелков, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Преобразование лазерного излучения» обучающийся должен:

знать:

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

уметь:

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

владеть:

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

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

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

Примеры контрольных вопросов:

1. Параметрическая генерация света.
2. Существующие приборы и лазеры со сверхкороткой длительностью импульса. Современные мощные лазеры.
3. Прецизионная метрология с использованием цугов фемтосекундных импульсов
4. Методы измерения длительности фемтосекундных лазерных импульсов. Стабилизация абсолютной фазы лазерного импульса
5. Теоретическое рассмотрение генерации фемтосекундных импульсов в лазере с керровской линзой.
6. Фундаментальные проблемы уменьшения длительности и увеличения мощности. Проблемы измерения сверхкоротких импульсов.
7. Когерентность пространственная и временная, методы измерения и примеры использования лазерных источников с различной степенью когерентности.

Примеры тем рефератов и докладов на семинаре:

1. Особенности временной когерентности излучения лазеров фемтосекундных импульсов непрерывного действия.
2. Системы волоконно-оптических генераторов суперконтинуума.
3. Схемы измерения абсолютных оптических частот и передачи информации со скоростью выше 1Тбит/с.

Билет №1

1. Самофокусировки оптических пучков; самовоздействие оптических импульсов.
2. Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии.

Билет №2

1. Генерация терагерцового излучения
2. Принцип действия лазера. Свойства лазерного излучения: монохроматичность, направленность когерентность. Типы лазеров

Билет №3

1. Нелинейные восприимчивости вещества
2. Самофокусировки оптических пучков; самовоздействие оптических импульсов

Билет №4

1. Генерация второй и третьей оптической гармоники
2. Генерация аттосекундных импульсов; методы измерения аттосекундных импульсов; взаимодействие интенсивного лазерного излучения с твердотельной плазмой

Билет №5

1. Вынужденное комбинационное рассеяние
2. Индуцированные ядерные реакции. Управляемый термоядерный синтез.

Билет №6

1. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна
2. Генерация гармоник высокого порядка при взаимодействии интенсивного лазерного излучения с газообразными средами

Билет №7

1. Вынужденное рассеяние в крыле линии Рэлея
2. Особенности временной когерентности излучения лазеров фемтосекундных импульсов непрерывного действия.

Билет №8

1. Материальная дисперсия и дисперсия групповых скоростей (ДГС). Методы управления ДГС, оптическое волокно, призмный компенсатор, решетчатый растягиватель и компрессор импульсов, чирпирующие зеркала.
2. Импульсы рентгеновского диапазона аттосекундной длительности.

Билет №9

1. Оптические корреляционные методы. Автокорреляторы интенсивности. Автокорреляция интенсивности в сочетании со спектральным разложением (FROG, SPIDER).
2. Схемы растяжения и сжатия импульсов дифракционными решетками. Примеры мощных систем тера- и петаваттного уровня. Сжатие импульса до длительности менее 5фс.

Билет №10

1. Метод синхронизации мод (активной и пассивной). Механизмы действия быстрого и медленного насыщающегося поглотителя.
2. Эксперименты по нелинейным эффектам квантовой электродинамики.

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 устной 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.