

**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>	Взаимодействие излучения с веществом
<b>по направлению:</b>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электрофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

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

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: П.В. Короленко, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры электрофизики 12.06.2024

## Аннотация

Курс предназначен для студентов, аспирантов и стажеров, специализация которых предполагает подготовку в области оптики лазеров и взаимодействия лазерного излучения с веществом. Работа с ним требует предварительного знакомства с физической оптикой в рамках курса общей физики, а также определенных знаний по электродинамике и квантовой механике.

Пособие посвящено физике воздействия поля световой волны на вещество. Содержащийся в нем материал объединен общностью подхода к описанию механизма взаимодействия электромагнитного поля и среды распространения. Используемый формализм опирается на аппарат волновой квантовой механики, позволяющий при помощи уравнения Шредингера оценить вероятность тех или иных оптических переходов в атомах или молекулах. При этом частицы вещества рассматриваются в качестве абстрактных квантовомеханических систем, состояния которых характеризуются набором волновых функций и энергетических уровней.

Актуальность курса определяется быстрым развитием современных оптических технологий, связанных с созданием квантовых оптических устройств на основе контроля квантового состояния частиц среды при помощи оптического воздействия, нелинейно-оптических систем, а также приборов, на основе излучения, поглощения и усиления оптического излучения, использующихся в различных областях науки и техники.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

освоение студентами фундаментальных знаний в области взаимодействия электромагнитного излучения с атомами и молекулами, газообразным и конденсированным состояниями вещества.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области взаимодействия оптического излучения с квантовыми объектами и современной теории излучения, интегрирующей общезначимую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам работы, создания и использования новейших квантовых устройств, выявлению особенностей их функциональных характеристик;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области электрофизики, оптики когерентного излучения, в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий.

## 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-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 области фотоники и оптоинформатики
	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

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
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
	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 в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

основные концепции, законы и принципы взаимодействия квантовой двухуровневой и многоуровневой системы с классическим и квантовым электромагнитным полем;  
основные теоретические и экспериментальные методы, используемые в области воздействия света на квантовые системы;  
основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития квантовой и нелинейной оптики, физики взаимодействия излучения с веществом.

уметь:

проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике взаимодействия излучения с веществом;  
осуществлять процедуру измерения физических величин и правильно оценивать степень их достоверности;  
анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;  
видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

владеть:

методикой экспериментальной работы с современными источниками излучения и приборами регистрации их характеристик;  
основными приемами проведения модельных расчетов;  
навыками представления своих результатов на семинарах и конференциях;  
навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;  
правилами написания научных статей.

### 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	Когерентное взаимодействие	2			2
2	Фотонное эхо	2			2
3	Солитоны	2			2

4	Уравнения движения для матрицы плотности	2			2
5	Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей уровней	2			2
6	Восприимчивость двухуровневой системы	2			2
7	Соотношения Крамерса - Кронига	2			2
8	Взаимодействие света со сложными системами	2			2
9	Фотонная структура процессов взаимодействия	2			2
10	Поглощение и испускание фотонов	2			2
11	Светодинамика атомов	2			2
12	Воздействие на свободные электроны	2			2
13	Оптика сверхсильных полей	2			2
14	Металлооптика	2			2
15	Взаимодействие излучения с диэлектриками и полупроводниками	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Когерентное взаимодействие

Резонансное приближение. Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Динамическое полевое уширение. Нутации. Когерентное затухание. Метод медленных амплитуд.  $\pi/2$  и  $\pi$ -импульсы.

##### 2. Фотонное эхо

Поляризация при воздействии двумя короткими резонансными импульсами. Обратимая расфазировка. Длительность сигнала эха.

##### 3. Солитоны

Синус-уравнение Гордона. Автомодельное решение. 2-импульс. Взаимодействие солитонов.

##### 4. Уравнения движения для матрицы плотности

Физический смысл диагональных и недиагональных элементов матрицы. Учет релаксационных процессов. Продольная и поперечная релаксации.

##### 5. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей уровней

Вывод уравнений для поля, поляризации и разности заселенностей уровней из уравнения для движения матрицы плотности. Физический смысл входящих в уравнения членов. Фактор Лоренца.

##### 6. Восприимчивость двухуровневой системы

Восприимчивость двухуровневой системы и эффекты насыщения. Физический смысл параметра насыщения. Предельные значения поглощаемой и излучаемой мощности. Физические факторы, влияющие на значение коэффициента поглощения. Ширина линии.

#### 7. Соотношения Крамерса - Кронига

Физический источник взаимосвязи коэффициентов поглощения и показателей преломления. Структура соотношений Крамерса – Кронига и их практическое значение.

#### 8. Взаимодействие света со сложными системами

Процессы в система одиночный уровень - зона уровней. Распад нижнего уровня в зону. Распределение заселенностей в зоне. Система типа зона- зона. Вырожденные зоны.

#### 9. Фотонная структура процессов взаимодействия

Процедура вторичного квантования светового поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Волновая функция ансамбля фотонов. Энергия нулевых колебаний.

#### 10. Поглощение и испускание фотонов

Формализм описания поглощения и испускания фотонов. Вероятности стимулированных процессов. Спонтанное испускание в дипольном приближении. Коэффициенты Эйнштейна.

#### 11. Светодинамика атомов

Сила светового давления. Ускорение и замедление атомов в световом поле. Светоиндуцированный дрейф в смеси атомов. Разделение изотопов.

#### 12. Воздействие на свободные электроны

Описание взаимодействия света со свободными электронами в нерелятивистском и релятивистском приближениях. Оценка вкладываемой мощности. Обратный тормозной эффект.

#### 13. Оптика сверхсильных полей

Способы получения фемтосекундных импульсов. Значение магнитной составляющей сверхсильного поля. Ускорение заряженных частиц. Генерация высоких гармоник. Рождение электрон-позитронных пар в поле фемтосекундных импульсов.

#### 14. Металлооптика

Комплексная диэлектрическая проницаемость. Решения уравнений Максвелла для металлов. Глубина проникновения излучения в металл. Зависимость коэффициентов отражения от длины волны излучения.

#### 15. Взаимодействие излучения с диэлектриками и полупроводниками

Комплексная диэлектрическая проницаемость. Решения уравнений Максвелла для металлов. Глубина проникновения излучения в металл. Зависимость коэффициентов отражения от длины волны излучения.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютерными аудио и видео средствами.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; отв. ред. Л. П. Питаевский .— 4-е изд., испр. — М. : Наука, 1989 .— 768 с.
2. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике [Текст] / В. М. Акулин, Н. В. Карлов .— М. : Наука, 1987 .— 312 с.
3. Короленко П.В. Взаимодействие излучения с веществом. М.:Издательство Московского университета. 1992.

### Дополнительная литература

1. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М : Изд-во МГУ, 1998 .— 656 с.
2. Лекции по квантовой электронике [Текст] / Н. В. Карлов .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1988 .— 336 с.
3. Квантовая электродинамика [Текст] : учеб. пособие для студентов физ. спец. ун-тов / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .— 4-е изд., испр. — М. : Физматлит, 1989, 2001, 2002, 2006 .— 720 с.
4. Оптический резонанс и двухуровневые атомы [Текст], монография/Л. Аллен, Дж. Эберли , -М., Мир, 1978

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

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
3. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
4. <https://optics.phys.msu.ru> – сайт кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ; раздел студентам, учебные материалы.

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

Предполагается использование для дистанционного обучения портал электронных образовательных ресурсов: <https://distant.msu.ru/login/signup.php>, а также электронный ресурс Яндекс.Телемост.

## 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.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Фотоника и оптоинформатика
<b>профиль подготовки:</b>	Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электрофизики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

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

**Разработчик:** П.В. Короленко, д-р физ.-мат. наук, профессор



## 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-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 области фотоники и оптоинформатики
	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
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
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
	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 в области фотоники и оптоинформатики к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Взаимодействие излучения с веществом» обучающийся должен:

### знать:

основные концепции, законы и принципы взаимодействия квантовой двухуровневой и многоуровневой системы с классическим и квантовым электромагнитным полем;  
основные теоретические и экспериментальные методы, используемые в области воздействия света на квантовые системы;  
основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития квантовой и нелинейной оптики, физики взаимодействия излучения с веществом.

### уметь:

проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике взаимодействия излучения с веществом;  
осуществлять процедуру измерения физических величин и правильно оценивать степень их достоверности;  
анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;  
видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

**владеть:**

методикой экспериментальной работы с современными источниками излучения и приборами регистрации их характеристик;  
основными приемами проведения модельных расчетов;  
навыками представления своих результатов на семинарах и конференциях;  
навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;  
правилами написания научных статей.

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

Примеры заданий контрольной работы:

1. Определить частоту оптических нутаций при известном матричном элементе дипольного момента перехода и известной плотности мощности падающей на вещество волны.
2. Определить выходную мощность оптического усилителя при известных параметрах усиливающего стержня и известной входной мощности.
3. Найти взаимосвязь между коэффициентом поглощения и показателем преломления в области линии поглощения вещества.

Примеры задач из домашних заданий:

1. Графически представить деформацию контура усиления активного вещества в лазере при однородном и неоднородном уширении линии.
2. Объяснить физическую причину высокого значения параметра насыщения CO<sub>2</sub>-лазера.
3. Опираясь на основные положения квазиклассической модели взаимодействия излучения с веществом, установить условие, когда вещество не будет переизлучать падающую световую волну.

Примеры тем рефератов:

1. Резонансное приближение: условие применения и основные получаемые на его основе результаты.
2. Фотонное эхо: оптимальные условия его наблюдения и использование в научном эксперименте.
3. Фемтосекундная оптика: настоящее и будущее.

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

Примерный перечень контрольных вопросов:

1. Когерентное взаимодействие. Резонансное приближение. Гамильтониан атома в электромагнитном поле.
2. Динамическое полевое уширение.
3. Нутации. Когерентное затухание. Метод медленных амплитуд.  $\pi/2$  и  $\pi$ -импульсы.
4. Фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность.
5. Поляризация при воздействии двумя короткими резонансными импульсами.
6. Обратимая расфазировка. Длительность сигнала эха. Синус-уравнение Гордона. Автомодельное решение.  $2\pi$ -импульс. Солитоны.
8. Релаксационные процессы. Уравнение движения матрицы плотности. Продольная и поперечная релаксации.
9. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей уровней.
10. Восприимчивость двухуровневой системы и эффекты насыщения. Ширина линии.
11. Дисперсионные соотношения Крамерса - Кронинга. Насыщение однородно- и неоднородно уширенных линий.
12. Когерентные процессы в сложных многоуровневых системах. Ансамблевое усреднение.
13. Система одиночный уровень - зона уровней. Распад нижнего уровня в зону. Распределение заселенностей в зоне. Система типа зона- зона. Вырождение зоны.
14. Фотонная структура процессов взаимодействия. Квантование поля.
15. Многофотонные процессы и виртуальные многофотонные процессы. Фотонная кратность процессов взаимодействия в разных порядках.

16. Однофотонные процессы. Поглощение и испускание фотонов. Вероятности стимулированных процессов.
17. Спонтанное испускание в дипольном приближении. Коэффициенты Эйнштейна.
18. Двухфотонные и трехфотонные процессы. Рассеяние света как двухфотонный процесс.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Когерентное взаимодействие. Резонансное приближение.
2. Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Динамическое полевое уширение.

Билет 2.

1. Оптические нутации. Когерентное затухание.
2. Фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность.

Билет 3.

1. Уравнение движения для элементов матрицы плотности.
2. Солитоны

Билет 4.

1. Метод медленных амплитуд.  $\rho_i/2$  и  $\rho_i$  - импульсы.
2. Процедура вторичного квантования.

Билет 5.

1. Воздействие на вещество фемтосекундных импульсов. Физические эффекты в сверхсильных полях.
2. Релаксационные процессы. Время поперечной и продольной релаксации.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал глубокие, всесторонние и систематизированные знания в полном объеме учебной программы курса, широкую эрудицию в этой области, умение уверенно применять полученные знания при решении конкретных задач, ответил на все вопросы и каким-либо способом проявил свою неординарность (например, основательные дополнительные знания по какому-то вопросу, слабо освещенному на лекциях);

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал глубокие и систематизированные знания в почти полном объеме учебной программы дисциплины, хорошую эрудицию в этой области, умение применять полученные знания при решении конкретных задач и ответил почти на все вопросы;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал основательные знания в объеме большей части программы курса, неплохую эрудицию в этой области, умение применять полученные знания при решении конкретных типовых задач и ответил на большую часть вопросов;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он продемонстрировал хорошие знания и понимание основ учебного курса, по существу грамотно излагает материал, иногда делая несущественные ошибки, умеет применять полученные знания при решении типовых задач, (не всегда сразу, либо после подсказки) допускает неточности в ответах или при решении задач, не ответил на значительную часть вопросов;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он продемонстрировал хорошие знания и неплохое понимание основ учебного курса, может изложить материал, но часто допускает ошибки, умеет применять полученные знания при решении типовых задач, только после размышлений или подсказки, допускает много неточностей и ошибок в ответах или при решении задач, ответил на меньшую часть вопросов;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если он знает лишь небольшую часть основного содержания учебного курса, допускает ошибки при изложении материала, часто грубые, не умеет без многих подсказок использовать полученные знания при решении типовых задач, не ответил на большинство вопросов и с трудом и очень плохо ответил на остальные вопросы;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если он имеет плохие знания по большей части основного содержания учебной курса, допускает грубые ошибки при изложении материала и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач, даже при подсказках, не ответил практически на все вопросы;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если он не знает основное содержание учебной курса, не может правильно излагать материал, не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач и не ответил ни на один вопрос;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, если он совершенно не знает содержание учебной курса, не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач и не ответил ни на один вопрос.

оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если он продемонстрировал знание и базовых основ учебного курса и умеет применять полученные знания при решении типовых задач, пусть даже после размышлений или подсказки;

оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если он не знает базовых основ содержания учебного курса и не умеет использовать полученные знания при решении типовых 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.