

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Семинар по нанооптике и спектроскопии
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра нанооптики и спектроскопии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

2 (весенний) - Зачет

3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.Г. Вайнер, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры нанооптики и спектроскопии 04.06.2020

## Аннотация

Целью проведения семинара по нанооптике и спектроскопии является ознакомление студентов с последними научными достижениями и новыми направлениями науки в быстроразвивающихся отраслях современной оптики и спектроскопии, а также с перспективными применениями новых знаний и технологий в близких по тематике к исследованиям, ведущимся на базовой кафедре областях. На семинарах студенты знакомятся с новыми работами по лазерной спектроскопии наноразмерных систем, в том числе с исследованиями нанообъектов биологической природы; работами по атомной физике, включая работы по оптике и спектроскопии экстремального ультрафиолета и холодных атомов; исследованиями по молекулярной спектроскопии, в первую очередь по молекулярной спектроскопии сверхвысокого разрешения; работами по спектроскопии сверхвысокого пространственного разрешения; наноплазмонике и другими исследованиями и разработками, в рамках тематики кафедры. Для приобретения навыков самостоятельной работы над научной литературой студенты, после ознакомления со статьей или серией статей, выбранных преподавателем, готовят научный доклад по изученному материалу, а после его представления проводится дискуссия по прослушанной информации. В качестве материала преподаватель выбирает статьи, содержащие интересные новые результаты по выбранной тематике или близких к ней. Часть докладов на семинарах представляется самим преподавателем, часть - студентами.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Целью семинара является ознакомление студентов с новейшими достижениями науки и технологий в области современной оптики, нанооптики и лазерной спектроскопии, а также с перспективными применениями новых научных результатов.

#### Задачи дисциплины

Усвоение студентами основ современной науки в области оптики, нанооптики и лазерной спектроскопии.

### 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 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-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов

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
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные концепции, законы и принципы, лежащие в основе, физической оптики, нанооптики и спектроскопии объектов различной природы;
- основные теоретические и экспериментальные методы оптики, применяемые при изучении микро- и нанообъектов различной природы;
- основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития оптической физики.

уметь:

- проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования в области оптики, нанооптики и спектроскопии;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;
- видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

владеть:

- методикой экспериментальной работы с объектами различной природы, включая нанообъекты;
- культурой проведения модельных расчетов;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками 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	Введение в экспериментальную нанооптику.		7		3
2	Основные понятия классической и квантовой электродинамики.		8		4
3	Элементарные квантовые излучатели света.		7		4
4	Излучение света и оптические взаимодействия вблизи элементарных точечных излучателей.		8		4

5	Плазмоны в металлах. Объемные и поверхностные плазмоны. Локализованный плазмонный резонанс.		7		4
6	Оптическая микроскопия в дальнем и ближнем поле.		8		4
7	Силы, возникающие при действии света на объекты.		7		4
8	Взаимодействия, вызванные квантовыми флуктуациями.		8		3
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Введение в экспериментальную нанооптику.

Что такое нанооптика, какие объекты и явления она изучает.

Что понимается под терминами нано- и мезообъекты, нано- и мезоструктуры.

Основные физические и оптические явления, связанные с взаимодействием света с объектами наноразмеров, отличие физических и оптических свойств нанообъектов от свойств макроскопических тел и основные физические причины этого отличия: пространственное ограничение (конфайнмент), квантово-размерные эффекты, вклад поверхностных состояний, возрастание вклада квантовых флуктуаций и др.

##### 2. Основные понятия классической и квантовой электродинамики.

Общий формализм. Уравнения Максвелла и волновые уравнения.

Материальные уравнения и граничные условия. Формулы Френеля. Поляризационные эффекты при прохождении и отражении света на границе двух сред.

Монохроматические поля. Пространственное представление полей зависящих от времени. Угловое спектральное распределение излучения.

Параксиальное приближение. Гауссовы лазерные пучки, эрмитово-гауссовские и лаггеррово-гауссовы моды. Продольные поля в фокальной плоскости.

Перенос энергии излучением. Закон сохранения энергии.

Формализм функции Грина. Нестационарная функция Грина.

Полное внутреннее отражение. Нарушенное полное внутреннее отражение. Запрещенный свет. Эванесцентные поля.

##### 3. Элементарные квантовые излучатели света.

Металлические наносферы, наноцилиндры, нанопроволоки. Использование металлических наночастиц в качестве оптических и спектральных нанозондов.

Хромофорные молекулы. Спектр поглощения и излучения хромофорных молекул. Спектральная ширина линий, спектральная релаксация, взаимодействие света с матрицей. Использование одиночных флуоресцентных молекул в качестве спектрального нанозонда. Спектроскопия одиночных молекул.

Нанокристаллы и полупроводниковые квантовые точки. Зависимость спектров излучения и поглощения от размеров наночастиц. Применения нанокристаллов и квантовых точек в качестве оптического нанозонда.

Однофотонные излучатели на квантовых точках, флуоресцентных молекулах и N V центрах замещения.

#### 4. Излучение света и оптические взаимодействия вблизи элементарных точечных излучателей.

Квантование электромагнитного поля в присутствии материальных тел. Гамильтониан “частица + поле”.

Излучение точечного электрического диполя.

Понятие ближнего и дальнего поля. Перенос энергии дипольного излучения.

Мультипольное разложение.

Взаимодействие с континуумом электромагнитных мод. Локальная плотность состояний. Скорость спонтанной релаксации и время жизни.

#### Семестр: 3 (Осенний)

#### 5. Плазмоны в металлах. Объемные и поверхностные плазмоны. Локализованный плазмонный резонанс.

Теория Друде-Зоммерфельда. Взаимодействие электронных возбуждений в металлах с электромагнитным излучением. Оптика металлов, объемный плазмонный резонанс, вклад межзонных переходов.

Свойства поверхностных плазмонов-поляритонов. Возбуждение поверхностных плазмонов, поверхностные плазмоны в нанооптике. Локализованные плазмонные возбуждения, возбуждение плазмонов в металлических наносферах, спазер.

Гигантское комбинационное рассеяние вблизи наночастиц благородных металлов и на шероховатостях поверхности, SERS- и TERS-спектроскопия.

#### 6. Оптическая микроскопия в дальнем и ближнем поле.

Дифракционный предел пространственного разрешения. Функция рассеяния точечного излучателя. Критерий Аббе.

Конфокальная микроскопия, нелинейная конфокальная микроскопия.

Нелинейное и селективное возбуждение, эффекты насыщения, STED-микроскопия, микроскопия, основанная на детектировании флуоресцентных изображений одиночных хромофорных молекул, субволновая STORM- и PALM-микроскопия.

Методы ближнепольной микроскопии. Преобразование излучения ближнего поля в излучение дальнего поля. Подсветка и детектирование в ближнем поле. Подсветка объекта в дальнем поле и детектирование сигналов в ближнем поле и наоборот. Сканирующая туннельная оптическая микроскопия. Модуляционные техники. SIAM-микроскопия.

#### 7. Силы, возникающие при действии света на объекты.

Дипольное приближение. Силы в монохроматическом поле.

Тензор напряжений Максвелла. Давление излучения.

Кеплеровская и градиентная составляющие силы светового давления.

Силы светового давления в ближнем оптическом поле.

Оптический пинцет.

#### 8. Взаимодействия, вызванные квантовыми флуктуациями.

Флуктуационно-диссипационная теорема. Функция отклика системы.

Флуктуационно-индуцированные силы. Потенциал Казимира-Полдера. Дисперсионное взаимодействие. Сила Казимира. Электромагнитное трение.

Излучение флуктуирующих источников. Белый шум, излучение абсолютно черного тела.

Когерентность, спектральный сдвиг и перенос тепла.

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

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Основы оптики [Текст]/М. Борн, Э. Вольф, -М., Наука, 1973
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005. — 662 с.
3. Курс теоретической физики [Текст] : в 2 т. Т. 2 : учеб. пособие для вузов / В. Г. Левич, Ю. А. Вдовин, В. А. Мямлин ; под ред. В. Г. Левича. — 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1971. — 936 с.
4. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика. М., Физматлит, 2001.
5. Л. Новотный, Б. Хехт. Основы нанооптики. М., Физматлит, 2009.
6. В.В. Климов. Наноплазмоника. М., Физматлит, 2010.
7. Б. Салех, М. Тейх. Оптика и фотоника. Принципы и применения. (учебное пособие в 2-х томах). Долгопрудный, Интеллект, 2012.
8. В.Н. Грибов. Квантовая электродинамика. М., РХД, 2001.
9. Л.А. Вайнштейн. Электродинамика, М., Радио и Связь, 1988.
10. Дж. Джексон. Классическая электродинамика. М., Мир, 1965.
11. Р. Лоудон. Квантовая теория света. М., Мир, 1976.
12. А.С. Давыдов. Квантовая механика. М. Наука, 1973.

### Дополнительная литература

1. Оптическая когерентность и квантовая оптика [Текст] = Optical coherence and quantum optics/Л. Мандель, Э. Вольф, -М., Физматлит, 2000
2. Квантовая механика [Текст]/Л. Шифф, -М., Изд-во иностранной лит., 1959
3. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 1/К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер, -М., Мир, 1984
4. Дж.А. Стрэттон. Теория электромагнетизма. М., ГИТТЛ, 1948.
5. В.П. Быков, Г.В. Шевелев. Излучение атома вблизи материальных тел. М., Наука 1986.
6. Н. Ашкфорт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М., Мир, 1979.
7. Б.А. Гришанин. Квантовая электродинамика для радиофизиков. М., Изд. МГУ, 1981.
8. С.Г. Раутиан. Введение в физическую оптику. М., Либрикон 2009.
9. Осадько И.С. Микроскоп ближнего поля как инструмент для исследования наночастиц. Успехи физических наук. Том 180. С. 83. 2010.

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

<http://lib.mipt.ru/catalogue/1447/?t=764> – электронная библиотека Физтеха, раздел «Оптика».  
<http://lib.mipt.ru/catalogue/94/?t=748> – электронная библиотека Физтеха, раздел «Физика».  
<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».  
<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.  
<http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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

На семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. документов.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Курс «Семинар по нанооптике и спектроскопии» является междисциплинарным, и объединяет знания из различных областей физики, оптики, химии и других наук. Студент, изучающий курс, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания при постановке и проведении экспериментальных исследований и анализе полученных данных.

В результате изучения дисциплины студент должен хорошо знать и понимать основные понятия классической электродинамики, физической и волновой оптики, квантовой механики и основ квантовой электродинамики, атомной и молекулярной физики, физики конденсированных сред и владеть соответствующим математическим аппаратом. В частности, студент должен владеть навыками решения интегральных и дифференциальных уравнений, знать основные специальные функции и владеть матричным исчислением. На основе полученных знаний студент должен уметь объяснять и предсказывать основные свойства нанообъектов и применять полученные знания для решения различных задач в области нанооптики и смежных областей.

Для того, чтобы студенты лучше усваивали материалы занятий перед каждой лекцией проводится краткое обсуждение предыдущего материала в ходе которого студенты отвечают на вопросы по этому материалу.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к практическим занятиям, зачету и дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи и отвечать на вопросы. При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученные материалы. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной форме. Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра нанооптики и спектроскопии
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

2 (весенний) - Зачет

3 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** Ю.Г. Вайнер, 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-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-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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Семинар по нанооптике и спектроскопии» обучающийся должен:

### знать:

- основные концепции, законы и принципы, лежащие в основе, физической оптики, нанооптики и спектроскопии объектов различной природы;
- основные теоретические и экспериментальные методы оптики, применяемые при изучении микро- и нанообъектов различной природы;
- основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития оптической физики.

### уметь:

- проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования в области оптики, нанооптики и спектроскопии;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;
- видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

**владеть:**

- методикой экспериментальной работы с объектами различной природы, включая нанобъекты;
- культурой проведения модельных расчетов;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.

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

Примеры контрольных заданий:

1. Показать, что усредненный поток энергии, распространяющейся перпендикулярно поверхности прозрачного диэлектрика во внешнем направлении, для эванесцентного поля при полном внутреннем отражении равен нулю.
2. Вывести формулы Френеля на основе граничных условий.
3. Определить минимальный размер фокусировки гауссовского пучка.
4. Оценить минимальное расстояние между двумя точечными источниками, которое может быть измерено в методе локализационной микроскопии в условиях ограничения шумом источника.
5. Рассчитать продольную компоненту электрического поля для гауссовского пучка.

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

Аттестация по дисциплине «Семинар по нанооптике и спектроскопии» осуществляется в форме зачетов: недифференцированный – в осеннем семестре, дифференцированный – в весеннем. Зачеты проводятся в устной форме.

Примерный перечень контрольных вопросов:

1. Каковы основные отличия ближнего поля от дальнего?
2. Каков диапазон характерных размеров локальных элементов сложных структур или частиц, которые относят к нанобъектам, и какие физические причины лежат в основе этого факта?
3. Чем определяется ширина спектра спонтанного излучения элементарного точечного излучателя в среде, в частности, в микрорезонаторе?
4. В каких случаях возникают поверхностные волны? Почему их называют неоднородными?
5. Во всех ли случаях применимы уравнения Максвелла-Лоренца при расчетах оптических свойств нанобъектов?
6. Чем отличается условие оптического возбуждения поверхностного плазмона от случая возбуждения локализованного поверхностного плазмона?
7. Как можно возбудить поверхностный плазмон?
8. В каких случаях проявляется наличие продольной компоненты вектора электрического поля в излучении?

Примеры билетов, используемых для проведения зачета, дифференцированного зачета:

1. Макроскопическая электродинамика. Граничные условия. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
2. Сила Лоренца, тензор напряжений Максвелла, механическое действие оптического излучения на микро- и нанотела. Оптический пинцет.
3. Объемные и поверхностные плазмоны в металлах, закон дисперсии плазмонных возбуждений. Плазмонный резонанс в металлических наночастицах.
4. Скорость спонтанной релаксации элементарных излучателей в вакууме и среде, теорема Парселла, микрорезонаторы.
5. Излучение точечного диполя, ближнее поле, квазистатическая зона, дальнее поле. Распространяющиеся и нераспространяющиеся электромагнитные поля.
6. Полное и нарушенное полное внутреннее отражение (НПВО), эванесцентные волны, применения НПВО для аналитики.
7. Угловое спектральное представление оптических полей. Пропагаторы поля. Угловое спектральное представление поля диполя.

8. Элементарные точечные излучатели, одиночные флуоресцентные молекулы в твердотельной матрице, квантовые точки, металлические наноструктуры.
9. Пространственное разрешение оптического микроскопа, оптический микроскоп ближнего поля.
10. Гауссовский лазерный пучок. Моды Лаггера и Эрмита. Тороидальные моды. Продольные компоненты электрического поля.

#### 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 (пусть не сразу, а после размышления) 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 учебной 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

При проведении устного зачета обучающемуся предоставляется один час на подготовку. Опрос обучающегося при устном зачете не должен превышать одного астрономического часа.

Зачет проводится по итогам текущей успеваемости путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.

Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой и калькулятором.