

**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>	Нанопотоника
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.В. Вагов, phd (д.ф.-м.н.)

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур  
10.04.2023

## Аннотация

Настоящий курс представляет из себя введение в теоретическую нанофотонику – описание физики опто-электрических систем, где свет сильно взаимодействует с материальными объектами, имеющими размеры порядка нескольких нанометров. Природа света и состояние вещества в таких системах являются существенно квантовыми. Нанофотоника играет огромное значение для создания систем связи и компьютеров нового типа, основанного на изменении квантовых состояний физических объектов – так называемая квантовая информатика. Основные задачи, которые стоят перед учеными в этой области связаны с разработкой и совершенствованием методов для контролируемого создания, манипуляций, передачи и измерений квантовых состояний света.

В курсе рассматриваются следующие основные вопросы. Постановка проблемы взаимодействия света с веществом и определение предмета квантовая оптика. Повторение основ классической теории электромагнитных волн. Введение в квантовую теорию электромагнитного поля. Описание различных квантовых состояний света, их создание, характеристики и измерение. Взаимодействие света с веществом в классическом и квантовом мире, совместные квантовые состояния света и вещества. Теоретическое описание изменения состояний света в наносистемах, простые квантовые системы с несколькими уровнями, наиболее распространенные модели, используемые в оптике наносистем, и их анализ. Общий подход к описанию открытых квантовых систем. Временная эволюция света и контроль состояний фотонов в наносистемах. Запутанные квантовые состояния, квантовые корреляции и их измерения. Потеря когерентности и квантовая релаксация.

Курс полезен тем, кто хочет заниматься или просто познакомиться с квантовой оптикой и физическими системами, где она реализуется, а также тем, кто хочет узнать о физических основах квантовой информатики. Курс содержит весь необходимый материал и не требует специализированных знаний. Однако, для полноценного понимания материала требуются базовые знания классической механики, электродинамики, квантовой механики и статистической физики. Кроме того, необходимы базовые знания высшей математики, включая теорию обыкновенных дифференциальных уравнений и линейной алгебры. Контроль знаний студентов проводится в виде учета активности студентов, опросов, решении задач и экзамена.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины «Нано-фотоника» является знакомство студентов с физическими основами и принципами функционирования новых типов электро-оптических приборов, составляющих основу для построения систем квантовой коммуникации и информации.

### Задачи дисциплины

В ходе курса будут изучены принципы квантования электромагнитного поля и основы квантовой оптики, различия между проявлениями классической и квантовой природы света в природе и оптических приборах, дано описание света как совокупности (ансамбля) квантовых частиц, объяснены основные методы квантового описания света, рассмотрены типы состояний света, способы его генерации и измерения, даны примеры расчетов квантового поведения света в простых оптических приборах, рассмотрена природа квантовых корреляций, способы их измерений, их связь с состояниями света, природа взаимодействия света с квантовыми наносистемами, дано теоретическое описание квантовых состояний света с использованием простых моделей с несколькими уровнями, рассмотрена природа квантовой динамики открытых систем, потери квантовой когерентности и релаксации, рассмотрены основные теоретические подходы описания динамики открытых систем.

## 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

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-1.3 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-2.3 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-3.2 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-1.2 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-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы квантования электромагнитного поля и основы квантовой оптики, различия между проявлениями классической и квантовой природы света в природе и оптических приборах, типы состояний света, способы его генерации и измерения, природу квантовых корреляций, способы их измерений, их связь с состояниями света, природу взаимодействия света с квантовыми наносистемами, природу квантовой динамики открытых систем, физическую природу потери квантовой когерентности и релаксации.

уметь:

- практически применять основные теоретические методы для описания квантового описания света, рассчитать квантовое поведение света в простых оптических приборах, может описать теоретически взаимодействие света с квантовыми наносистемами используя простые модели.

владеть:

- базовыми теоретическими методами квантовой оптики для описания взаимодействия света с наносистемами.

#### 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	Краткое введение в классическое описание электромагнитных волн	4	1		5
2	Квантовое описание электромагнитного поля	4	2		6
3	Описание света как совокупности квантовых частиц. Типы квантовых состояний и их характеристики	4	2		6
4	Генерация квантовых состояний. Квантовые аналоги оптических приборов. Измерения	4	2		6
5	Взаимодействие квантованного света с веществом. Составные моды света и материи	4	2		6
6	Квантовая механика света на простых моделях	4	2		6
7	Временная эволюция квантовых систем, взаимодействующих с фотонами и другими модами возбуждений внешней среды	4	2		6
8	Квантовые корреляции света. Измерения и корреляционные характеристики состояний света	2	2		4
Итого часов		30	15		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Краткое введение в классическое описание электромагнитных волн

Уравнения Максвелла, кулоновская калибровка, разделение поля на потенциальную и роторную части, потенциальные и роторные переменные для описания поля, собственные моды света, общее решение уравнений Максвелла через собственные моды, уравнения поля как динамические уравнения Гамильтона.

###### 2. Квантовое описание электромагнитного поля

Общий подход к квантованию поля, квантование в кулоновской калибровке, аналоги импульса и координат для квантового описания поля, уравнение Шредингера для поля, полевые операторы рождения и уничтожения, электромагнитное поле, как квантовый оператор, разложение оператора поля по собственным модам света, коммутационные соотношения, соотношения неопределенности Гейзенберга и проблема измерений.

### 3. Описание света как совокупности квантовых частиц. Типы квантовых состояний и их характеристики

Различные способы квантового описания света – волновая функция и матрица плотности, состояния Фока, вакуумное состояние света – эффект Казимира, квазиклассические состояния света, когерентные и «сплюснутые» состояния света, квантовый кот Шредингера, свет как статистический ансамбль.

### 4. Генерация квантовых состояний. Квантовые аналоги оптических приборов. Измерения

Генерация состояний Фока – атомные резонаторы и нелинейные кристаллы, генерация когерентных состояний, «сплюснутые» состояния света, элементарные оптические приборы – зеркала и делители, и их квантовые аналоги, измерения квантовых характеристик света.

### 5. Взаимодействие квантованного света с веществом. Составные моды света и материи

Общий подход к описанию взаимодействия света с веществом, возможность выбора мод и калибровочные преобразования, взаимодействие света с наноструктурами, дипольное разложение, комбинированные моды света и материи, поларитоны и плазмоны.

### 6. Квантовая механика света на простых моделях

Общий подход к квантово-механическому описанию света, основные составляющие, базовая модель Джейн-Каммингса, приближение вращающейся системы координат, осцилляции Раби, связанные квантовые состояния света и вещества, ступеньки Джейн-Каммингса и динамика ее состояний, коллапс и восстановление квантовых состояний.

### 7. Временная эволюция квантовых систем, взаимодействующих с фотонами и другими модами возбуждений внешней среды

Общий подход к изучению эволюции открытых квантовых систем, обобщенная модель эволюции квантовых систем, временное уравнение Шредингера для волновой функции и уравнение Лиувилля-фон Неймана для матрицы плотности, квантовая динамика и потеря квантовой когерентности, квантовое уравнение Ланжевена, основное уравнение динамики, метод интеграла по траекториям, феноменологические подходы и приближение Маркова, релаксация квантовых систем с памятью, релаксация двухуровневой системы – сравнение подходов.

### 8. Квантовые корреляции света. Измерения и корреляционные характеристики состояний света

Некоммутативность операторов поля и квантовые корреляции, основные величины и их связь с измерениями, корреляции амплитуд и корреляции интенсивностей, измерение состояния света через корреляции.

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

Учебная аудитория, доска, при необходимости мультимедиапроектор и экран.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Photons and Atoms, C. Cohen-Tannoudij, J. Dupont-Roc, G. Grynberg
2. Introductory quantum optics, C. Gerry and P. Knight

#### Дополнительная литература

1. Классическая электродинамика [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. М. Бредов, В. В. Румянцев, И. Н. Топтыгин ; под ред. И. Н. Топтыгина .— СПб. : Лань, 2003 .— 400 с.
2. Краткий курс теоретической физики [Текст]. Кн. 2 : Квантовая механика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1972 .— 368 с.
3. Principles of Optics, M. Born and E. Wolf

#### **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)**

Не предусмотрено.

#### **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 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 фундаментальной и прикладной физики микро- и наноструктур  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** А.В. Вагов, phd (д.ф.-м.н.)

## 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
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-1.3 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-2.3 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-3.2 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-1.2 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-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Нанопотоника» обучающийся должен:

**знать:**

- принципы квантования электромагнитного поля и основы квантовой оптики, различия между проявлениями классической и квантовой природы света в природе и оптических приборах, типы состояний света, способы его генерации и измерения, природу квантовых корреляций, способы их измерений, их связь с состояниями света, природу взаимодействия света с квантовыми наносистемами, природу квантовой динамики открытых систем, физическую природу потери квантовой когерентности и релаксации.

**уметь:**

- практически применять основные теоретические методы для описания квантового описания света, рассчитать квантовое поведение света в простых оптических приборах, может описать теоретически взаимодействие света с квантовыми наносистемами используя простые модели.

**владеть:**

- базовыми теоретическими методами квантовой оптики для описания взаимодействия света с наносистемами.

### **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 по теме прошлого занятия.

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

#### Перечень контрольных вопросов

1. Разделение уравнений Максвелла (поля источников, вихревые поля)
2. Моды поля, получение мод из решений уравнений Максвелла
3. Полное решение уравнения Максвелла через решения для мод
4. Гамильтонова форма уравнений Максвелла, канонические переменные
5. Квантование уравнений Максвелла, переменные и операторы
6. Выбор канонических переменных для электромагнитного поля
7. Способы описаний квантового состояния поля: уравнение Шредингера, уравнения фон Неймана-Лиувилля
8. Представления Шредингера, Гейзенберга, уравнения Гейзенберга для поля
9. Операторы рождения, уничтожения, построение квантовых состояний Фока
10. Квантовые операторы поля
11. Состояния Фока, матричные элементы, коммутационные соотношения операторов поля
12. Интерпретация состояний Фока как квантовых частиц (фотонов), представления фотона в пространстве, измерения фотона
13. Оператор Гамильтона для полей, представление Гейзенберга и уравнения Гейзенберга для операторов поля
14. Операторы числа, импульса и энергии фотонов
15. Возможные состояния фотонов (фоковские, когерентные, сплюснутые, температурные), чистые, смешанные, способы определения

#### Примеры контрольных заданий

1. Разделение уравнений Максвелла (поля источников, вихревые поля)
2. Моды поля, получение мод из решений уравнений Максвелла
3. Полное решение уравнения Максвелла через решения для мод
4. Гамильтонова форма уравнений Максвелла, канонические переменные
5. Квантование уравнений Максвелла, переменные и операторы
6. Выбор канонических переменных для электромагнитного поля
7. Способы описаний квантового состояния поля: уравнение Шредингера, уравнения фон Неймана-Лиувилля
8. Представления Шредингера, Гейзенберга, уравнения Гейзенберга для поля
9. Операторы рождения, уничтожения, построение квантовых состояний Фока
10. Квантовые операторы поля
11. Состояния Фока, матричные элементы, коммутационные соотношения операторов поля

12. Интерпретация состояний Фока как квантовых частиц (фотонов), представления фотона в пространстве, измерения фотона
13. Оператор Гамильтона для полей, представление Гейзенберга и уравнения Гейзенберга для операторов поля
14. Операторы числа, импульса и энергии фотонов
15. Возможные состояния фотонов (фоковские, когерентные, сплюснутые, температурные), чистые, смешанные, способы определения
16. Способы получения разных состояний фотонов на практике
17. Вакуумное (основное) состояние поля, его природа, физические проявления, эффект Казимира, квантовые флуктуации поля
18. Коммутационные соотношения и квантовые флуктуации поля, флуктуации для разных типов состояний
19. Вычисление квантомеханических средних физических величин
20. Проявления квантовой природы света в простых оптических приборах (зеркала, отражатели), квантовые оптические схемы.
21. Идея эксперимента Хонга-Оу-Манделя на совпадения регистрации фотонов, измеряемые физические величины
22. Общие принципы построения теории для описания взаимодействия электромагнитного поля и материи, «минимальное взаимодействие»
23. Гамильтониан системы – вклад поля, материи, их взаимодействия, Гамильтонова форма уравнения движения
24. Неединственность разделения переменных на «материальные» и «полевые» компоненты, PZW преобразование (Пауэр-Циррау-Вулей), комбинированные электромагнитные моды в веществе (плазмоны)
25. PZW преобразование и мультипольное разложение, применение к системам малой размерности (наносистемам)
26. Модель Джеймса-Каммингса (ДК) для атома в резонаторе, основные приближения для ее вывода, ее применимость для описания систем квантовой оптики.
27. Динамические уравнения для модели ДК. Приближение вращающейся системы координат.
28. Квантовые состояния и их динамика для модели ДК, осцилляции Раби, конструктивная-деструктивная динамическая интерференция, коллапс и возрождение осцилляций.
29. Обобщение модели ДК на много атомов, примеры для небольшого количества атомов, роль внешней накачки
30. Физические основы измерений квантовых состояний света, измерения однофотонных состояний, измерение взаимных корреляций света
30. Квантовая динамика системы, связь со статическими характеристиками, такими как вероятность перехода
31. Физическая природа релаксаций в квантовой механике, типы релаксаций.
32. Связь релаксации и памяти в системе, марковские и немарковские релаксационные процессы
33. Способы теоретического описания релаксации в квантовой механике (точное решение, теория возмущений, формализм Линблада, приближение Маркова-Борна)
34. Основное уравнение для матрицы плотности, простые модели релаксации
35. Понятие чистой дефазировки.
36. Основы квантовой передачи информации

Пример экзаменационного билета

Билет 1.

1. Способы описаний квантового состояния поля: уравнение Шредингера, уравнения фон Неймана-Лиувилля
2. PZW преобразование и мультипольное разложение, применение к системам малой размерности (наносистемам)

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**

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта и экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.