

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

|                            |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>  |
| <b>по дисциплине:</b>      | Квантовая оптика  |
| <b>по направлению:</b>     | Электроника и нанoeлектроника   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Микро- и нанoeлектроника<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра квантовой электроники |
| <b>курс:</b>               | 4   |
| <b>квалификация:</b>       | бакалавр  |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Ю.А. Кротов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 30.05.2022

## Аннотация

Курс "Квантовая оптика" предусматривает ознакомление слушателей с основами квантовой оптики и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

Задачи дисциплины:

- приобретение слушателями теоретических знаний и навыков в области квантовой оптики;
- подготовка слушателей к изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- приобретение навыков в применении методов квантовой оптики в лазерной физике и других естественнонаучных дисциплинах.

По результатам освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- ☐ Основные понятия квантовой теории света.
- ☐ Понятие-Когерентное состояние – собственное состояние оператора уничтожения, выражение через стационарные состояния, развитие во времени, координатное представление.
- ☐ Понятие- Сжатое состояние, определение, координатное представление, развитие во времени, сжатый вакуум, среднее число частиц и коэффициент сжатия.
- ☐ Основные факты и формулы для теории излучения абсолютно черного тела-Планка, фото-эффекта Эйнштейна, эффекта Комптона
- ☐ Операторы рождения и уничтожения, оператор числа частиц, система стационарных состояний линейного осциллятора.

Уметь:

- ☐ Уметь квантовать поле и записывать его в различных представлениях.
- ☐ Применять понятие силы осциллятора в решении задач по взаимодействию света с атомом.
- ☐ Рассчитывать объем когерентности и фактор вырождения э-м. поля.
- ☐ Представлять на фазовой плоскости состояния э-м поля в различных представлениях.
- ☐ Оценивать пространственную и временную когерентность и влиять на них.

Владеть:

- ☐ Теорией соответствия для атомных переходов.
- ☐ Теорией вторичного квантования для различных описаний э-м. поля.
- ☐ Понятием динамической поляризации атома и применять его при расчете сечений поглощения и рассеяния.
- ☐ Соотношением Крамерса-Кронинга для вычисления мнимой и действительной частей динамической поляризуемости.
- ☐ Понятием запутанных состояний (парадоксом ЭПР) и получением и применением их в квантовой оптике.

Темы и разделы курса:

1. Основные понятия квантовой оптики.
2. Корреляционные функции первого порядка
3. Квантование поля и различные представления
4. Теорема Винера-Хинчина. Теорема Ван Циттерта - Цернике
5. Измерение пространственной когерентности второго порядка
6. Канонические переменные
7. Состояния квантовой системы в обозначениях Дирака
8. Основные типы состояний поля
9. Когерентные состояния
10. Собственные состояния операторов обобщенной координаты и импульса
11. Связь координатного и импульсного базисов с когерентным

12. Атом и его квантовая природа
13. Поляризуемость атома
14. Поляризационное тормозное излучение и динамическая поляризация атома
15. Опыты по обнаружению гравитационных волн
16. Наблюдение фотона без его уничтожения
17. ЭПР парадокс и его следствия
18. Квантование поля и различные представления

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- ознакомление слушателей с основами квантовой оптики и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

### Задачи дисциплины

- приобретение слушателями теоретических знаний и навыков в области квантовой оптики;
- подготовка слушателей к изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- приобретение навыков в применении методов квантовой оптики в лазерной физике и других естественнонаучных дисциплинах.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики   |
|   | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях |

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ основные понятия квантовой теории света;
- ☐ понятие Когерентное состояние – собственное состояние оператора уничтожения, выражение через стационарные состояния, развитие во времени, координатное представление;
- ☐ понятие Сжатое состояние, определение, координатное представление, развитие во времени, сжатый вакуум, среднее число частиц и коэффициент сжатия;
- ☐ основные факты и формулы для теории излучения абсолютно черного тела-Планка, фото-эффекта Эйнштейна, эффекта Комптона;
- ☐ операторы рождения и уничтожения, оператор числа частиц, система стационарных состояний линейного осциллятора.

уметь:

- ☐ уметь квантовать поле и записывать его в различных представлениях;
- ☐ применять понятие силы осциллятора в решении задач по взаимодействию света с атомом;
- ☐ рассчитывать объем когерентности и фактор вырождения э-м поля;
- ☐ представлять на фазовой плоскости состояния э-м поля в различных представлениях;
- ☐ оценивать пространственную и временную когерентность и влиять на них.

владеть:

- ☐ теорией соответствия для атомных переходов;
- ☐ теорией вторичного квантования для различных описаний э-м поля;
- ☐ понятием динамической поляризации атома и применять его при расчете сечений поглощения и рассеяния;
- ☐ соотношением Крамерса-Кронинга для вычисления мнимой и действительной частей динамической поляризуемости;
- ☐ понятием запутанных состояний (парадоксом ЭПР) и получением и применением их в квантовой оптике.

#### 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                     | Основные понятия квантовой оптики                                    | 2   |          |                 | 4              |
| 2                     | Корреляционные функции первого порядка                               | 2   |          |                 | 5              |
| 3                     | Квантование поля и различные представления                           | 2   |          |                 | 4              |
| 4                     | Теорема Винера-Хинчина. Теорема Ван Циттерта - Цернике               | 2   |          |                 | 5              |
| 5                     | Пространственная когерентность                                       | 2   |          |                 | 4              |
| 6                     | Канонические переменные  | 2   |          |                 | 5              |
| 7                     | Состояния квантовой системы в обозначениях Дирака                    | 2   |          |                 | 4              |
| 8                     | Основные типы состояний поля   | 2   |          |                 | 4              |
| 9                     | Когерентные состояния  | 2   |          |                 | 4              |
| 10                    | Собственные состояния операторов обобщенной координаты и импульса    | 2   |          |                 | 4              |
| 11                    | Связь координатного и импульсного базисов с когерентным              | 2   |          |                 | 4              |
| 12                    | Атом и его квантовая природа   | 2   |          |                 | 4              |
| 13                    | Поляризуемость атома   | 1   |          |                 | 4              |
| 14                    | Поляризационное тормозное излучение и динамическая поляризация атома | 1   |          |                 | 4              |
| 15                    | Опыты по обнаружению гравитационных волн                             | 1   |          |                 | 4              |
| 16                    | Наблюдение фотона без его уничтожения                                | 1   |          |                 | 4              |
| 17                    | ЭПР парадокс и его следствия   | 1   |          |                 | 4              |
| 18                    | Квантование поля   | 1   |          |                 | 4              |
| Итого часов           |  | 30  |          |                 | 75             |
| Подготовка к экзамену |  | 30 час.   |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |  | 135 час., 3 зач.ед.   |          |                 |                |

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

Семестр: 8 (Весенний)

###### 1. Основные понятия квантовой оптики

Представление поля в виде совокупности случайных величин.

Квазимонохроматический сигнал. Функция когерентно-спектральная плотность;

- автокорреляционная функция;

- спектральная плотность.

Внутренняя модуляция. Различные режимы генерации когерентного оптического излучения.

## 2. Корреляционные функции первого порядка

Выражение корреляционных функций высших порядков через КФ-1 для теплового излучения. КФ-1 как характеристика степени когерентности излучения. Длина продольной и радиус поперечной когерентности поля.

Измерение временной когерентности с помощью интерферометра Майкельсона.

Измерение пространственной когерентности с помощью интерферометра Юнга.

## 3. Квантование поля и различные представления

Объем когерентности  $V_{\text{ког}}$ . Фактор вырождения. Число фотонов в моде и в объеме когерентности.

## 4. Теорема Винера-Хинчина. Теорема Ван Циттерта - Цернике

Теорема Винера-Хинчина. Теорема Ван Циттерта - Цернике. Вывод и применение на практике.

## 5. Пространственная когерентность

Измерение пространственной когерентности второго порядка.

## 6. Канонические переменные

Уравнения, описывающие динамику канонических переменных в механике.

Скобки Пуассона и динамика произвольных функций от канонических переменных.

Схема квантования электромагнитного поля в рамках Гамильтонова формализма.

Определение канонических переменных для описания поля: переход к дискретным полевым переменным через разложение в ряд по системе собственных функций соответствующей краевой задачи выбор линейной комбинации амплитуд, оптимальный с точки зрения регистрации. Вторичное квантование.

## 7. Состояния квантовой системы в обозначениях Дирака

Состояние системы как вектор абстрактного векторного пространства разложение вектора состояния по различным базисным системам координат; представления волновой функции

«бра» и «кет» векторы, норма вектора свойства базисов:

- полнота;

- ортонормированность.

## 8. Основные типы состояний поля

Состояния с заданным числом фотонов (энергетические). Определение: собственные состояния оператора энергии для одной моды свободного поля и оператора числа фотонов в моде  $N=a^\dagger a$ .

Среднее число фотонов в энергетическом состоянии.

## 9. Когерентные состояния

Собственное состояние оператора уничтожения. Выражение через стационарные состояния. Развитие во времени, координатное представление. Когерентные состояния. Определение: правые и левые собственные состояния операторов  $a$  и  $a^+$  для одной моды поля. Собственные значения: комплексны, образуют непрерывный спектр. Средние от нормально упорядоченных операторов в когерентном состоянии.

## 10. Собственные состояния операторов обобщенной координаты и импульса

Операторы обобщенной координаты и импульса и их собственные состояния. Связь с действительной и мнимой частью аналитического сигнала одномодового излучения.

Собственные значения и собственные состояния. Свойства координатного и импульсного базисов:

- полнота;
- непрерывность;
- ортогональность;
- нормировка.

Представление состояния с заданным импульсом в координатном базисе и представление состояния с заданной обобщенной координатой в импульсном базисе. Схематическое представление на диаграмме состояний.

## 11. Связь координатного и импульсного базисов с когерентным

Средние значения обобщенной координаты и импульса в когерентном состоянии.

Волновые функции когерентных состояний в координатном и импульсном базисах.

Распределение координаты и импульса в когерентном состоянии. Дисперсии обобщенной координаты и импульса в когерентном состоянии. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Схематическое изображение когерентных и энергетических состояний на диаграмме состояний. Временная эволюция когерентных состояний. Понятие сжатого света.

Дисперсии координаты и импульса в энергетическом состоянии. Координатное представление энергетических состояний.

## 12. Атом и его квантовая природа

Атом по Бору. Дискретные и непрерывные спектры атома водорода. Принцип соответствия, сила осциллятора и правило сумм .

## 13. Поляризуемость атома

Смещение электронной плотности в атомах, молекулах, ионах относительно атомных ядер частиц под действием внешнего электрического поля.

## 14. Поляризационное тормозное излучение и динамическая поляризация атома

Метод эквивалентных фотонов Ферми. Сечение ПТИ через эквивалентные фотоны и сечение рассеяния.

## 15. Опыты по обнаружению гравитационных волн

Квантовый предел точности измерений . Квантовонеразрушающие измерения.

16. Наблюдение фотона без его уничтожения

Эксперимент на основе трех R .

17. ЭПР парадокс и его следствия

Предложение Бома. Неравенства Бэлла. Запутанные состояния и квантовый компьютер.

18. Квантование поля

Квантование поля и различные представления. Примеры и решения.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Звелто О. Принципы лазеров. (М. Мир, 2008) -720 с.
2. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. (М. ФИЗМАТЛИТ, 2004) -320 с.
3. Тарасов Л. В. Четырнадцать лекций о лазерах. Изд. 2-е, перераб. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. — 176 с.
4. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М. Наука., 1988 – 336с.

Дополнительная литература

1. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 264 с..
2. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров.М., Физматгиз, 1963 г. - 640 стр..
3. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шокин. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М.: Радио и связь, 1985.-144с..
4. Панченко В.Я., Голубев В.С., Васильцов В.В., Галушкин М.Г. и др. Под ред. В.Я. Панченко Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок.М. ФИЗМАТЛИТ. 2009.

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

Не используются

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

на лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, прослушавший курс лекций, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех лекций, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;

2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|   |   |
|---|---|
| <b>по направлению:</b>  | Электроника и нанoeлектроника   |
| <b>профиль подготовки:</b>                                      | Микро- и нанoeлектроника<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра квантовой электроники |
| <b>курс:</b>  | 4   |
| <b>квалификация:</b>  | бакалавр  |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен |   |
| <b>Разработчик:</b>   | Ю.А. Кротов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник  |

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики   |
|   | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Квантовая оптика» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ основные понятия квантовой теории света;
- ☐ понятие Когерентное состояние – собственное состояние оператора уничтожения, выражение через стационарные состояния, развитие во времени, координатное представление;
- ☐ понятие Сжатое состояние, определение, координатное представление, развитие во времени, сжатый вакуум, среднее число частиц и коэффициент сжатия;
- ☐ основные факты и формулы для теории излучения абсолютно черного тела-Планка, фото-эффекта Эйнштейна, эффекта Комптона;
- ☐ операторы рождения и уничтожения, оператор числа частиц, система стационарных состояний линейного осциллятора.

### уметь:

- ☐ уметь квантовать поле и записывать его в различных представлениях;
- ☐ применять понятие силы осциллятора в решении задач по взаимодействию света с атомом;
- ☐ рассчитывать объем когерентности и фактор вырождения э-м поля;
- ☐ представлять на фазовой плоскости состояния э-м поля в различных представлениях;
- ☐ оценивать пространственную и временную когерентность и влиять на них.

### владеть:

- ☐ теорией соответствия для атомных переходов;
- ☐ теорией вторичного квантования для различных описаний э-м поля;
- ☐ понятием динамической поляризации атома и применять его при расчете сечений поглощения и рассеяния;
- ☐ соотношением Крамерса-Кронинга для вычисления мнимой и действительной частей динамической поляризуемости;
- ☐ понятием запутанных состояний (парадоксом ЭПР) и получением и применением их в квантовой оптике.

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

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос аудитории по теме предыдущей лекции

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

Вопросы к экзамену:

1. Корреляционные функции первого порядка
2. Квантование поля и различные представления
3. Теорема Винера-Хинчина. Теорема Ван Циттерта - Цернике
4. Измерение пространственной когерентности второго порядка
5. Канонические переменные
6. Состояния квантовой системы в обозначениях Дирака
7. Основные типы состояний поля

8. Когерентные состояния
9. Собственные состояния операторов обобщенной координаты и импульса
10. Связь координатного и импульсного базисов с когерентным
11. Атом и его квантовая природа
12. Поляризуемость атома
13. Поляризационное тормозное излучение и динамическая поляризация атома
14. Опыты по обнаружению гравитационных волн
15. Наблюдение фотона без его уничтожения
16. ЭПР парадокс и его следствия
17. Квантование поля и различные представления

Примеры экзаменационных билетов:

Пример 1.

1. Опыты по обнаружению гравитационных волн
2. Наблюдение фотона без его уничтожения

Пример 2.

1. Состояния квантовой системы в обозначениях Дирака
2. Основные типы состояний поля

Критерии оценивания

- 10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;

- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;

- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется до 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.