

**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>      | Solid-State Quantum Computing/Твердотельные квантовые вычисления  |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Общая и прикладная физика<br>Физтех-школа физики и исследований им. Ландау<br>кафедра Российского квантового центра |
| <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: А.В. Устинов, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры Российского квантового центра 30.04.2021

## Аннотация

Этот курс в первую очередь посвящен экспериментальной физике - физическим основам твердотельных квантовых вычислений. Квантовые вычисления - это быстро развивающаяся междисциплинарная область, включающая идеи из квантовой механики, физики конденсированного состояния, квантовой оптики и квантовой обработки информации. За последние несколько лет квантовые компьютеры превратились из мечты в реальность и открыли захватывающие возможности для будущего. В то время как классические компьютеры кодируют информацию в битах, квантовые компьютеры построены с использованием квантовых битов или кубитов. В лекционном курсе будут рассмотрены различные типы кубитов - квантового "железа", которое может быть использовано или уже используется для создания квантовых компьютеров на основе твердотельных технологий.

Мы начнем с краткого введения в концепцию квантовой обработки информации. Затем будут обсуждаться различные экспериментальные реализации кубитов. После краткого обзора микроскопических кубитов (атомов, ионов, фотонов) мы поговорим о существующих твердотельных квантовых платформах, таких как полупроводниковые квантовые точки, вакансии в алмазе, твердотельные примесные спины и другие квантовые двухуровневые системы. Эти подходы в настоящее время позволяют создавать простейшие одно- или двухкубитные схемы. Мы также кратко обсудим интересные теоретические предложения о еще неисследованных типах кубитов, использующие, например, электроны на поверхности сверхтекучего гелия, примесные спины в фуллеренах, и другие.

Основное внимание в курсе будет уделяться сверхпроводникам. После краткого введения в сверхпроводимость мы подробно обсудим сверхпроводящие квантовые схемы. Такие схемы с несколькими кубитами в настоящее время используются в существующих квантовых компьютерах, реализованных Google, IBM, Rigetti и другими ИТ-компаниями. Мы обсудим функционирование различных типов сверхпроводящих кубитов, поговорим об источниках потерь и причинах дефазировки энергии, различных механизмах декогеренции и стратегиях повышения когерентности сверхпроводящих кубитов. В течение последних нескольких лекций мы сосредоточимся на таких продвинутых темах, как квантовая электродинамика схем, манипулирование и считывание кубитов, а также поговорим о методах коррекции ошибок квантовых вычислений.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Ознакомить студентов с одним из основных направлений развития квантовых технологий – квантовыми вычислениями, в частности с твердотельными квантовыми вычислениями.

### Задачи дисциплины

научить студентов ориентироваться в основных физических платформах и алгоритмах для обработки и передачи квантовой информации.

## 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-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации   |
| УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия | УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке |
|   | УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные                       |

|   |   |
|---|---|
|   | УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия   |
| УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки  | УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности  |
|   | УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами  |
| 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-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия | ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия   |
|   | ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту   |
| 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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты  |

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

основные концепции квантовой обработки информации;  
экспериментальные реализации кубитов;  
существующие твердотельные квантовые платформы;  
теоретические предложения по еще не исследованным типам кубитов, использующим, например, электроны на поверхности сверхтекучего гелия, примесные спины в фуллеренах и другие;  
реализации сверхпроводящих квантовых схем.

уметь:

решать широкий спектр задач, связанных с физическими основами твердотельных квантовых вычислений.

владеть:

подходами к созданию простейших одно- или двухкубитных схем, таких как полупроводниковые квантовые точки, алмазные вакансии, твердотельные примесные спины и другие квантовые двухуровневые системы;  
основными принципами функционирования различных типов сверхпроводящих кубитов, механизмами декогеренции и стратегиями повышения когерентности сверхпроводящих кубитов.

#### 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: Основы квантовых вычислений              | 2   |          |                 | 2              |
| 2                     | Микроскопические кубиты                            | 2   |          |                 | 2              |
| 3                     | Твердотельные кубиты                               | 4   |          |                 | 4              |
| 4                     | Сверхпроводимость и джозефсоновские переходы       | 2   |          |                 | 2              |
| 5                     | Фазовый и потоковый кубит                          | 2   |          |                 | 2              |
| 6                     | Зарядовый кубит                                    | 2   |          |                 | 2              |
| 7                     | Считывание состояний кубитов                       | 2   |          |                 | 2              |
| 8                     | Трансмон   | 2   |          |                 | 2              |
| 9                     | Флюксониум, сверхиндуктивность, кубит g-потока     | 2   |          |                 | 2              |
| 10                    | Действия с кубитами и гейты                        | 2   |          |                 | 2              |
| 11                    | Декогеренция, двухуровневые дефекты                | 2   |          |                 | 2              |
| 12                    | Электроника для измерения и управления кубитами    | 2   |          |                 | 2              |
| 13                    | Квантовые процессоры, симуляторы, коррекция ошибок | 4   |          |                 | 4              |
| 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. Введение: Основы квантовых вычислений

Общее введение в квантовые вычисления. Физические ограничения существующих классических вычислительных платформ.

## 2. Микроскопические кубиты

Микроскопические кубиты: Атомы, ионы, фотоны.

## 3. Твердотельные кубиты

Твердотельные кубиты: полупроводниковые квантовые точки, примесные спины, NV-центры, примесные спины в фуллеренах, электроны на поверхности жидкого гелия. Простейшие одно- или двухкубитные схемы.

## 4. Сверхпроводимость и джозефсоновские переходы

Основное внимание в курсе будет уделяться сверхпроводникам. Поэтому мы посвятим отдельную лекцию основам сверхпроводимости и джозефсоновским переходам.

## 5. Фазовый и потоковый кубит

С этой лекции мы начнем детально обсуждать сверхпроводящие квантовые схемы. Такие схемы в настоящее время используются в существующих квантовых компьютерах. В этой лекции мы будем обсуждать фазовые и потоковые кубиты.

## 6. Зарядовый кубит

Первым экспериментально продемонстрированным в 1999 году типом сверхпроводящих кубитов были зарядовые кубиты. Мы обсудим эти пионерские эксперименты и поговорим о проблеме зарядового шума, ограничивающего время когерентности таких кубитов.

## 7. Считывание состояний кубитов

Квантовая электродинамика схем (circuit QED), модель Джэйнса-Каммингса и считывание кубитов.

## 8. Трансмон

Трансмоны являются в настоящее время наиболее широко используемыми сверхпроводниковыми кубитами в квантовых процессорах. Мы обсудим преимущества трансмонов, а также их ограничения и недостатки.

## 9. Флуксониум, сверхиндуктивность, кубит g-потока

Флуксониум является результатом эволюции потокового кубита и открывает новые перспективы для построения квантовых схем. Важнейшим элементом в таких схемах является сверхиндуктивность, свойства которой мы будем обсуждать.

## 10. Действия с кубитами и гейты

В этой лекции мы будем говорить о манипулировании квантовыми состояниями кубитов, об одно- и двухкубитных вентилях (гейтах), об инструментах управления взаимодействием между кубитами.

## 11. Декогеренция, двухуровневые дефекты

Мы поговорим об источниках потерь и причинах дефазировки кубитов, различных механизмах декогеренции и стратегиях повышения когерентности сверхпроводящих кубитов.

## 12. Электроника для измерения и управления кубитами

Управление сверхпроводниковыми кубитами требует генерации коротких микроволновых импульсов с точно заданными амплитудой и фазой. Измерение кубитов включает в себя усиление слабых микроволновых сигналов с использованием параметрических и малошумящих криогенных усилителей. Мы обсудим детали работы практических схем.

## 13. Квантовые процессоры, симуляторы, коррекция ошибок

Квантовые процессоры делятся на устройства для выполнения универсальных квантовых протоколов и квантовые симуляторы. Мы обсудим преимущества и практические ограничения различных подходов. Вторая часть лекции будет посвящена практическим методам коррекции ошибок квантовых вычислений.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Введение в физику сверхпроводников [Текст] : учеб. пособие для физ. спец. вузов : доп. М-вом высш. и сред. спец. образования СССР / В. В. Шмидт .— М. : Наука, 1982 .— 237 с. - Библиогр.: с. 230-232. - Предм. указ.: с. 233-235. - 10 500 экз.
1. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения / Пер. с англ. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 512 с. - ISBN 978-5-9221-1096-9

### Дополнительная литература

1. Quantum Computing: An Applied Approach by Jack D. Hidary, Publisher: Springer
2. Principles and Methods of Quantum Information Technologies, Editors: Yamamoto, Yoshihisa, Semba, Kouichi (Eds.)
3. Quantum Semiconductor Devices and Technologies. Editors: Pearsall, Tom (Ed.)

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

arXiv.org

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

Проектор, доска, Microsoft PowerPoint, Zoom (если будет удаленное обучение)

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;

– напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение рекомендованной литературы;

– проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;

– решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;

– подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями 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>   | Прикладные математика и физика  |
| <b>профиль подготовки:</b>                                     | Общая и прикладная физика<br>Физтех-школа физики и исследований им. Ландау<br>кафедра Российского квантового центра |
| <b>курс:</b>   | 1   |
| <b>квалификация:</b>   | магистр   |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен |   |
| <b>Разработчик:</b>  | А.В. Устинов, д-р физ.-мат. наук  |



## 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-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации  |
| УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия   | УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке  |
|   | УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные  |
|   | УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия   |
| УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки  | УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности  |
|   | УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами  |
| 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-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия | ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия   |
|   | ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту   |

|   |  |
|---|--|
| 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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты             |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Solid-State Quantum Computing/Твердотельные квантовые вычисления» обучающийся должен:

### знать:

основные концепции квантовой обработки информации;  
экспериментальные реализации кубитов;  
существующие твердотельные квантовые платформы;  
теоретические предложения по еще не исследованным типам кубитов, использующим, например, электроны на поверхности сверхтекучего гелия, примесные спины в фуллеренах и другие;  
реализации сверхпроводящих квантовых схем.

### уметь:

решать широкий спектр задач, связанных с физическими основами твердотельных квантовых вычислений.

### владеть:

подходами к созданию простейших одно- или двухкубитных схем, таких как полупроводниковые квантовые точки, алмазные вакансии, твердотельные примесные спины и другие квантовые двухуровневые системы;  
основными принципами функционирования различных типов сверхпроводящих кубитов, механизмами декогеренции и стратегиями повышения когерентности сверхпроводящих кубитов.

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

Не предусмотрен.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Физические ограничения существующих классических вычислительных платформ.
2. Микроскопические кубиты: атомы, ионы, фотоны.
3. Твердотельные кубиты: полупроводниковые квантовые точки, примесные спины, NV-центры, примесные спины в фуллеренах, электроны на поверхности жидкого гелия.
4. Простейшие одно- или двухкубитные схемы.
5. Основы сверхпроводимости и джозефсоновские переходы.
6. Фазовый и потоковый кубиты
7. Зарядовый кубит. Проблема зарядового шума.
8. Квантовая электродинамика схем (circuit QED), модель Джэйнса-Каммингса и считывание кубитов.
9. Трансмон. Преимущества, ограничения и недостатки.
10. Флюксониум и сверхиндуктивность
11. Манипулирование квантовыми состояниями кубитов. Одно- и двухкубитные вентили (гейты).
12. Инструменты управления взаимодействием между кубитами.
13. Источники потерь и причины дефазировки кубитов.
14. Механизмы декогеренции и стратегии повышения когерентности сверхпроводящих кубитов.

15. Электроника для измерения и управления кубитами. Детали работы практических схем.
16. Квантовые процессоры и симуляторы. Преимущества и практические ограничения различных подходов.
17. Коррекция ошибок квантовых вычислений.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Изложить принцип Ландаура и сформулировать его в контексте квантовой теории информации. Сформулировать принципиальные отличия обратимых и необратимых вычислений.
2. Виды сверхпроводниковых кубитов.

Билет 2.

1. Опишите основные области применения современных квантовых технологий и объясните их принципы. Квантовый объем как характеристика квантовых компьютеров.
2. Сформулировать критерии ДиВинченцо. Привести универсальный набор квантовых вентилей (гейтов).

Билет 3.

1. Сформулировать принцип Черча-Тьюринга-Дойча. Изложить концепцию квантовых вычислений.
2. Что такое потоковый кубит? Чем он отличается от флаксониума?

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

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