

**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**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Сверхпроводниковые квантовые системы
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовых наноструктур, материалов и устройств
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - 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: О.В. Астафьев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовых наноструктур, материалов и устройств 25.03.2025

Аннотация

В курсе рассматриваются принципы функционирования сверхпроводниковых квантовых цепей: анализируются двухуровневые системы, обсуждается квантовая механика электрических цепей. Изучается связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими системами.

Акцентируется понятие искусственного атома - резонатора. Обсуждаются особенности реальных квантовых систем. Специальное внимание уделяется эффектам декогеренции и диссипативной динамике. Рассматривается экспериментальная реализация квантово-оптических систем на чипе.

Курс входит в сетевую программу МФТИ-Сколтех, территориально занятия проводятся в Сколтехе.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление с физикой сверхпроводниковых квантовых систем.

Задачи дисциплины

Познакомить студентов с базовыми физическими принципами сверхпроводниковых квантовых систем, с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям.

Продемонстрировать экспериментальные применения таких систем как в физике, так и в технологии.

Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

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
	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-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	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-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 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
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-1.2 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-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
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)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Квантовую механику искусственных квантовых систем.
- Базовые принципы квантовой оптики искусственных квантовых систем на чипе.
- Экспериментальные методы для исследований в области искусственных квантовых систем.

уметь:

- Описывать электрические цепи и поля в квантово-механических терминах.
- Описывать различные типы искусственных атомов как квантовые схемы на кристалле и вывести Гамильтонианы сверхпроводящих квантовых систем на основе заряда и потока. Вычислять временную эволюцию управляемой двухуровневой системы и отображать её на сферу Блоха.
- Объяснять физический смысл сильного взаимодействия искусственных атомов с различными элементами и полями; описывать взаимодействие квантованных электромагнитных полей с искусственными атомами; объяснять разницу между естественными и искусственными атомами и преимущество последних для конкретных применений.
- Объяснять фундаментальные квантово-оптические явления с одиночными искусственными атомами; работу квантово-оптических устройств на основе искусственных квантовых систем; объяснять, как экспериментально реализовывать основные квантовые оптические явления на чипе.

владеть:

- Аппаратом описания реальных квантовых систем;
- Численными методами для описания эволюции квантовых систем;
- Методами симуляции квантово-оптических систем.

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	Двухуровневые системы.	4			4
2	Квантовая механика электрических цепей.	4			5
3	Принципы сверхпроводниковых квантовых цепей.	4			5

4	Связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими системами. Искусственный атом-резонатор.	6			4
5	Реальные квантовые системы. Эффекты декогеренции. Диссипативная динамика.	4			4
6	Квантовая оптика на чипе.	4			4
7	Экспериментальная реализация квантово-оптических систем на чипе.	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: 2 (Весенний)

1. Двухуровневые системы.

Тема посвящена квантовой механике двухуровневых систем. Будет рассмотрен гамильтониан двухуровневой системы, волновая функция, её отображение и отображение её динамики на сфере Блоха; приведены примеры физических реализаций и приближение двухуровневых систем; рассмотрены примеры записи чисел в физических состояниях двухуровневых систем; введено определение квантового бита.

2. Квантовая механика электрических цепей.

В этой теме будет рассмотрена квантовая механика электрических цепей; потенциальная и кинетическая энергии ёмкости и индуктивности; квантовая механика LC-резонатора. Будут показаны вывод гамильтониана электрической схемы; операторы рождения/уничтожения фотонов в резонаторах; квантование поля в копланарных резонаторах.

3. Принципы сверхпроводниковых квантовых цепей.

Задача этой темы – познакомить с основными типами сверхпроводниковых квантовых схем. Будет рассмотрена квантовая механика джозефсоновских переходов, квантование заряда и магнитного потока; показан вывод операторов заряда и сверхпроводниковой фазы, связь между ними и коммутационные соотношения. Также будут рассмотрены зарядовые и потоковые кубиты, зарядовый базис, вывод гамильтонианов зарядового и потокового кубитов.

4. Связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими системами. Искусственный атом-резонатор.

Будет рассматриваться связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими элементами цепи, в частности, с гармоническим осциллятором. Практические реализации: сверхпроводниковые кубиты связанные с копланарным резонатором. Вывод гамильтониана Джеймса-Каминса для сверхпроводникового кубита, связанного с резонатором. Вывод силы связи между кубитом и резонатором.

5. Реальные квантовые системы. Эффекты декогеренции. Диссипативная динамика.

Тема посвящена динамике реальных квантовых систем. Будут рассмотрены эффекты диссипации и декогеренции квантовой системы. Будут введены матрица плотности и квантовое кинетическое уравнение для описания диссипативной динамики квантовой системы. Сфера Блоха для диссипативной квантовой системы. Вывод уравнений Блоха для двухуровневой системы.

6. Квантовая оптика на чипе.

Эта тема посвящена описанию подходов квантовой оптики для электронных схем со сверхпроводниковыми кубитами. Будет рассмотрено приближение вращающейся волны; описание динамики сверхпроводниковой квантовой системы на языке вторичного квантования. Будут рассмотрены сдвиг энергий из-за штарковского и лэмбовского эффектов. Будет введена концепция физически сильной связи между квантовой системой и окружением.

7. Экспериментальная реализация квантово-оптических систем на чипе.

Здесь будут приведены примеры экспериментальной реализации квантово-оптических эффектов со сверхпроводниковыми квантовыми системами. Приведены примеры контроля состояний в квантовой системе, контроля и манипуляции единичными фотонами, трёх-уровневой квантовой системой и т.д.

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

Учебная аудитория, оснащенная медиапроектором, экраном, маркерной либо меловой доской. Криостат растворения, векторный анализатор цепей, генератор синусоидального микроволнового сигнала.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. M. Orszag, Quantum Optics: Including Noise Reduction, Trapped Ions, Quantum Trajectories, and Decoherence, 2nd edition, Springer-Verlag, 2007.

Дополнительная литература

1. Coherent control of macroscopic quantum states in a single-Cooper-pair box. Y. Nakamura, Yu. A. Pashkin, J. S. Tsai, Nature 398, 786–788 (1999).
2. Strong coupling of a single photon to a superconducting qubit using circuit quantum electrodynamics. A. Wallraff, D. I. Schuster, A. Blais, L. Frunzio, R.- S. Huang, J. Majer, S. Kumar, S. M. Girvin, R. J. Schoelkopf, Nature 431, 162–167 (2004).
3. Single artificial-atom lasing. O. Astafiev, K. Inomata, A. O. Niskanen, T. Yamamoto, Yu. A. Pashkin, Y. Nakamura, J. S. Tsai, Nature 449, 588–590 (2007).
4. Resonance Fluorescence of a Single Artificial Atom. O. Astafiev, A. M. Zagoskin, A. A. Abdumalikov Jr., Yu. A. Pashkin, T. Yamamoto, K. Inomata, Y. Nakamura, J. S. Tsai, Science 327, 840-843 (2010).

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

https://mipt.ru/upload/medialibrary/9bf/astafiev_mipt.pdf

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

Ресурс Canvas (Сколтех), все студенты получают индивидуальный доступ.
Google.meet.com

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

Студент, изучающий дисциплину, должен использовать знания, полученные в предыдущих физических курсах, для освоения современных высокотехнологичных направлений физики, связанных с сверхпроводниковыми квантовыми системами.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные типы сверхпроводниковых квантовых систем, уметь применять полученные знания в случае самостоятельной работы по исследованию и разработке конкретных устройств и материалов.

Успешное освоение курса требует творческой самостоятельной работы студента по анализу предложенной для разбора темы.

Показателем владения материалом служит умение отвечать на вопросы в ходе и после сообщения по разобранной теме, а также задавать вопросы коллегам в ходе их сообщений о других темах курса.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

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 квантовых наноструктур, материалов и устройств
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: О.В. Астафьев, канд. 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-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	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-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	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-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)

ограничения различных методов решения	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-4.1 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
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-1.2 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-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
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)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Сверхпроводниковые квантовые системы» обучающийся должен:

знать:

- Квантовую механику искусственных квантовых систем.
- Базовые принципы квантовой оптики искусственных квантовых систем на чипе.
- Экспериментальные методы для исследований в области искусственных квантовых систем.

уметь:

- Описывать электрические цепи и поля в квантово-механических терминах.
- Описывать различные типы искусственных атомов как квантовые схемы на кристалле и вывести Гамильтонианы сверхпроводящих квантовых систем на основе заряда и потока. Вычислять временную эволюцию управляемой двухуровневой системы и отображать её на сферу Блоха.
- Объяснять физический смысл сильного взаимодействия искусственных атомов с различными элементами и полями; описывать взаимодействие квантованных электромагнитных полей с искусственными атомами; объяснять разницу между естественными и искусственными атомами и преимущество последних для конкретных применений.
- Объяснять фундаментальные квантово-оптические явления с одиночными искусственными атомами; работу квантово-оптических устройств на основе искусственных квантовых систем; объяснять, как экспериментально реализовывать основные квантовые оптические явления на чипе.

владеть:

- Аппаратом описания реальных квантовых систем;
- Численными методами для описания эволюции квантовых систем;
- Методами симуляции квантово-оптических систем.

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

1. Что такое эффект Штарка для системы искусственного атома-резонатора? Выведите или покажите штарковский сдвиг для системы кубит-резонатор.
2. Изобразите схематически измерительную установку для экспериментов квантовой оптики с сверхпроводниковыми квантовыми системами. Опишите назначение каждого элемента.
3. Приведите пример эксперимента квантовой оптики на сверхпроводниковых квантовых системах. Опишите такой эксперимент.
4. Напишите квантовое кинетическое уравнение для двухуровневой системы. Что такое процессы декогерентности? Какие два основных типа декогерентных процессов известны для двухуровневой системы? Как учитывается декогерентность в кинетических уравнениях?
5. Выведите уравнения Блоха. Как диссипативная динамика двухуровневой системы отображается на динамику спина $1/2$.

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

1. Найдите собственные энергии и собственные вектора для двухуровневой системы в общем виде.
2. Приведите пример сверхпроводникового кубита и опишите его работу. Выведите гамильтониан кубита.
3. Приведите пример операторов напряжения и тока в копланарном резонаторе. Докажите, что гамильтониан такого резонатора может быть сведён к гамильтониану гармонического осциллятора.
4. Приведите пример системы: сверхпроводниковая система-резонатор. Выведите член взаимодействия между кубитом и резонатором. Какое приближение необходимо при этом использовать?
5. Напишите гамильтониан Джейнса-Каммингса (Jaynes-Cummings). Объясните физический смысл каждого члена.
6. Искусственный атом как резонатор
7. Экспериментальная реализация квантово-оптических систем на чипе.
8. Связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими системами
9. Квантовая оптика на чипе.
10. Принципы сверхпроводниковых квантовых цепей.
11. Диссипативная динамика

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Двухуровневые системы.

2. Реальные квантовые системы.

Билет 2.

1. Квантовая механика электрических цепей.
2. Эффекты декогеренции.

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 недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо 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 твёрдо 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

При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора.

Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.

Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.