

**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>	Обзор материалов и устройств нано- и оптоэлектроники
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовых наноструктур, материалов и устройств
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.В. Рязанов, д-р физ.-мат. наук, профессор

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

## Аннотация

Курс включает лекции активно работающих специалистов по различным аспектам физики конденсированного состояния, связанным с разработками устройств и материалов нано- и оптоэлектроники. Каждый лектор предлагает учащимся на выбор набор актуальных и классических публикаций по тематике лекции, как правило, экспериментальных. Студенты выбирают наиболее близкую или интересную им тематику и одну статью по этой тематике из предложенного набора.

Семинары посвящены разбору выбранных статей. Разбор предполагает анализ общей концепции работы, изложение особенностей эксперимента и его обработки, а также основных положений моделей, используемых авторами при интерпретации данных. Подготовка разбора требует обращения к дополнительным источникам, прежде всего предшествующим работам. Возможен также разбор серий статей.

Курс входит в сетевую программу МФТИ-Сколтех, территориально занятия проводятся в Сколтехе, на английском языке. В семинарах участвуют аспиранты ОП КНМУ.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- ознакомление с современным состоянием исследований и разработок в области опто- и наноэлектроники.

### Задачи дисциплины

Познакомить студентов с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям.

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-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий 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-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	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

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-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:

- основные понятия по теме дисциплины, ключевые количественные соотношения.

уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

### 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	Сверхпроводящая спинтроника.	5	5		5
2	Терагерцовые устройства.	5	5		5
3	Устройства электроники на основе сверхпроводящих материалов.	5	5		5
4	Сверхпроводящие кубиты.	5	5		5
5	Квантовая оптика сверхпроводящих кубитов.	5	5		5
6	Одноэлектронные устройства.	5	5		5
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

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

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Сверхпроводящая спинтроника.

- основные соотношения, заложенные в основу функционирования устройств спинтроники
- особенности сверхпроводящей спинтроники
- примеры реализации устройств
- важнейшие технологии устройств

##### 2. Терагерцовые устройства.

- особенности терагерцового излучения
- генерация терагерцового излучения, основные типы источников
- детекторы терагерцового излучения
- терагерцовые сенсоры

##### 3. Устройства электроники на основе сверхпроводящих материалов.

- гетероструктуры на основе нормальных и сверхпроводящих металлов
- гетероструктуры на основе ферромагнитных и сверхпроводящих металлов
- важнейшие технологии создания наноразмерных гетероструктур
- принципы и алгоритмы сверхпроводящей цифровой одноквантовой электроники
- примеры реализации устройств

##### 4. Сверхпроводящие кубиты.

- когерентные сверхпроводящие структуры на основе субмикронных джозефсоновских переходов
- типы сверхпроводящих кубитов
- методы микроволнового манипулирования квантовыми состояниями кубитов
- времена когерентности кубитов, основные источники декогерентности
- детектирование дефектных зарядовых двух-уровневых систем

##### 5. Квантовая оптика сверхпроводящих кубитов.

- сверхпроводящий кубит как искусственный атом
- спектр сверхпроводящего кубита, ангармонизм
- реализация лазерного эффекта и других эффектов квантовой оптики с помощью сверхпроводящих кубитов (искусственных атомов)
- резонансная флюоресценция на искусственном атоме – сверхпроводящем кубите

##### 6. Одноэлектронные устройства.

- явление кулоновской блокады
- одноэлектронный бокс и одноэлектронный транзистор
- явления в сверхпроводящих туннельных контактах с большой кулоновской энергией
- блоховские осцилляции и стандарт тока на сверхпроводящих туннельных переходах

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

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Н. В. Кленов, А.Е. Щеголев, С.В. Бакурский, А.А. Киселев, И.И. Соловьев, М.В. Терешонок, Макроскопическая квантовая электроника: от основ к применениям, М.: Брис-М, 2016, 164 с.

### Дополнительная литература

1. S.K. Tolpygo, Superconductor digital electronics: Scalability and energy efficiency issues (Review Article), Low Temperature Physics 42, 361 (2016).
2. D. S. Holmes, A. L. Ripple, and M. A. Manheimer, Energy-Efficient Superconducting Computing—Power Budgets and Requirements, IEEE Trans. Appl. Supercond. 23(3), 1701610 (2013).
3. Z. A. K. Durrani, Single-Electron Devices and Circuits in Silicon, World Scientific, 2009.
4. S.M Anlage, The physics and applications of superconducting metamaterials (Review Article) Journal of Optics 13, 024001 (2010).
5. Nanofabrication Using Focused Ion and Electron Beams: Principles and Applications. Edited by I. Utke, S. Moshkalev, P. Russell, Oxford University Press, USA, 2012.
6. Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology, Springer Science & Business Media, 2012.
7. K.K. Likharev, V.K. Semenov, RSFQ Logic/Memory Family: A New Josephson Junction Technology for sub-THz Clock Frequency Digital Systems, IEEE Trans. Appl. Supercond. AS-1, 3 (1991).
8. A. Zagoskin, A. Blais, Superconducting qubits, Physics in Canada 63, 216 (2007).
9. J. Clarke, F.K. Wilhelm, Superconducting quantum bits, Nature 453, 1031 (2008).

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

Ресурс Canvas (Сколтех), студенты получают индивидуальный доступ

<https://mipt.ru/education/chairs/kvantovye-nanostruktury-materialy-i-ustroystva/obrazovanie/obzor-materialov-i-ustroystv-nano-i-optoelektroniki.php>

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

Представление материала на доске и/или при помощи медиапроектора. Разбор современных публикаций по теме дисциплины, индивидуально. Выбор статьи для разбора каждым студентом производится из списка предложенных статей, доступных в Canvas.

## **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 опто- и наноэлектроникой.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные типы изучаемых устройств, уметь применять полученные знания в случае самостоятельной работы по разработке и созданию конкретных устройств нано- или оптоэлектроники.

Успешное освоение курса требует творческой самостоятельной работы студента по анализу предложенной для разбора статьи (как правило, экспериментальной) и изложения содержания этой статьи на семинаре.

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

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

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:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** В.В. Рязанов, д-р физ.-мат. наук, профессор

# 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий 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-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)	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения

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-4.1 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 «Обзор материалов и устройств нано- и оптоэлектроники» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия по теме дисциплины, ключевые количественные соотношения.

### уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

**владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

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

1. Провести разбор статьи «Resonance fluorescence of a single artificial atom» (Science 327 (2010) 840).
2. Провести разбор статьи «Coherent control of macroscopic quantum states in a single –Cooper-pair box» (Nature 398 (1999) 786).
3. Провести разбор статьи «Strong coupling of a single photon to a superconducting qubit using circuit quantum electrodynamics» (Nature 431 (2004) 162).
4. Провести разбор статьи «Andreev bound states and their signatures» (Phys. Trans. Royal Soc. A 376 (2018) 20180140).
5. Провести разбор серии статей, посвященных пи-контактам на основе структур сверхпроводник/ферромагнетик/сверхпроводник (Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 2427; J. Low Temp. Phys. 136 (2004) 385; Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 197003).

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

1. Планируется заказать изготовление ячейки сверхпроводящей памяти в виде кольца с одним джозефсоновским переходом в HYPRES Inc по разработанному этой компанией 4-металлическому ниобиевому процессу. Размер перехода  $4 \times 4$  мкм. При каких размерах такая ячейка способна сохранить цифровое состояние для каждого значения критической плотности тока?
2. При каких размерах сверхпроводящее кольцо с одним джозефсоновским переходом способно сохранить цифровое состояние в виде кванта магнитного потока, если критический ток перехода равен 40 мкА?
3. Двухконтактный СКВИД имеет квадратную форму с внешним размером стороны 50 мкм и шириной стороны 20 мкм. Магнитное поле, перпендикулярное плоскости образца, задается катушкой из 10 витков диаметром 10 мм. Рассчитать период зависимости критического тока от тока источника магнитного поля.
4. Что такое Релеевское рассеяние? Какие иные типы рассеяния существуют, в чем их отличия?
5. Каковы основные технологические этапы изготовления копланарной структуры с волноводом? Какую роль в технологической схеме играет теневое напыление?
6. Поясните устройство экспериментальной установки, описанное в статье «Implementation of superconductor/ferromagnet/ superconductor -shifters in superconducting digital and quantum circuits» (Nature Physics 6 (2010) 593–597). Дайте интерпретацию полученных экспериментальных зависимостей.
7. Поясните постановку эксперимента в работе «Switching a spin valve back and forth by current-induced domain wall motion» (Appl. Phys. Lett. 83 (2003) 509). Дайте интерпретацию соответствующих экспериментальных зависимостей.
8. Поясните особенности проведения эксперимента, обсуждаемого в статье «Azbel'-Kaner-like cyclotron resonance in a two-dimensional electron system» (Phys. Rev. B 96 (2017) 161405). Дайте интерпретацию наблюдаемых резонансов.
9. Поясните принцип проведения экспериментов, принятый в работе «Observation of Retardation Effects in the Spectrum of Two-Dimensional Plasmons» (Phys. Rev. Lett. 90 (2003) 156801). Дайте интерпретацию представленных спектров.
10. Поясните технологическую схему, использованную в работе «Fabrication and measurements of hybrid Nb/Al Josephson junctions and flux qubits with  $\pi$ -shifters» (Supercond. Sci. Technol. 28 (2015) 025009). Дайте интерпретацию представленных в той работе экспериментальных зависимостей.

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Двухконтактный СКВИД имеет квадратную форму с внешним размером стороны 50 мкм и шириной стороны 20 мкм. Магнитное поле, перпендикулярное плоскости образца, задается катушкой из 10 витков диаметром 10 мм. Рассчитать период зависимости критического тока от тока источника магнитного поля.

2. Что такое Релеевское рассеяние? Какие иные типы рассеяния существуют, в чем их отличия?

Билет 2.

1. Планируется заказать изготовление ячейки сверхпроводящей памяти в виде кольца с одним джозефсоновским переходом в HYPRES Inc по разработанному этой компанией 4-металлическому ниобиевому процессу. Размер перехода  $4 \times 4$  мкм. При каких размерах такая ячейка способна сохранить цифровое состояние для каждого значения критической плотности тока?

2. При каких размерах сверхпроводящее кольцо с одним джозефсоновским переходом способно сохранить цифровое состояние в виде кванта магнитного потока, если критический ток перехода равен 40 мкА?

### 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**

Для оценки знаний используются задания по разбору статей. При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по заданию на дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.