

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Физика низких температур М1.ДВ.2

Направление подготовки: 011800.68 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Тагиров М.С.

**Рецензент(ы):**

Тагиров Л.Р.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров М. С.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_г

Регистрационный No

Казань  
2014

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) заведующий кафедрой, д.н. (профессор) Тагиров М.С. Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии Отделение радиофизики и информационных систем, Murat.Tagirov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины - Физика низких температур являются усвоение основных понятий, законов и моделей данного раздела Физики конденсированного состояния, знакомство с физическими основами экспериментальных методик измерения при низких и сверхнизких температурах, получение знаний о классических и современных экспериментальных результатах исследований свойств твердых тел в условиях глубокого охлаждения.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М1.ДВ.2 Общенаучный" основной образовательной программы 011800.68 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина "Физика низких температур" входит в блок профессионального цикла подготовки магистров по направлению 011800.68 - "Радиофизика" и является необходимой для изучения в рамках магистерской программы "Физика магнитных явлений"

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук
ОК-5 (общекультурные компетенции)	способность порождать новые идеи (креативность)
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки;
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки);

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основные физические законы, на которых базируется техника получения и измерения низких и сверхнизких температур

2. должен уметь:

объяснить основы квантово-механической теории зарядовой, массовой и спиновой (магнитной) сверхтекучести

3. должен владеть:

знаниями о специфических физических явлениях, которые происходят при низких и сверхнизких температурах

4. должен демонстрировать способность и готовность:

работать со спецлитературой и в Интернете на английском языке

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение в физику низких температур	3	1	2	0	0	
2.	Тема 2. Явления переноса при низких температурах	3	2	2	0	0	дискуссия устный опрос устный опрос
3.	Тема 3. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная)	3	3	2	0	0	домашнее задание
4.	Тема 4. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах	3	4	2	0	0	домашнее задание
5.	Тема 5. Электроны и жидкий гелий	3	5	2	0	0	реферат
6.	Тема 6. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого $^4\text{He}$ и $^3\text{He}$	3	6	2	0	0	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Свойства квантовых кристаллов. Теплоемкость, теплопроводность	3	7	2	0	0	реферат
8.	Тема 8. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства	3	8	2	0	0	творческое задание
9.	Тема 9. Спиновая (магнитная) сверхтекучесть	3	9	2	0	0	реферат
10.	Тема 10. Бозе-эйнштейновская конденсация	3	10	2	0	0	реферат
11.	Тема 11. Эффекты Джозефсона	3	11	2	0	0	дискуссия
12.	Тема 12. Лазерное охлаждение	3	12	2	0	0	научный доклад
13.	Тема 13. Нейтронные звезды	3	13-14	4	0	0	презентация дискуссия
	Тема . Итоговая форма контроля	3		0	0	0	зачет
	Итого			28	0	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Введение в физику низких температур

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Определение температуры и классификация областей температурной шкалы. Излучение черного тела. Температура Вселенной.

##### Тема 2. Явления переноса при низких температурах

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Электропроводность и теплопроводность металлов и сплавов при низких и сверхнизких температурах. Скачок Капицы.

##### Тема 3. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная)

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

История исследований сверхпроводимости. Теория БКШ. История исследований высокотемпературной сверхпроводимости. Практическое использование сверхпроводников.

##### Тема 4. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Механизмы теплопроводности твердых тел при низких и сверхнизких температурах. Роль фононов и электронов. Скачок Капицы на границе раздела твердое тело и жидких гелий. Магнитная связь на границе.

##### Тема 5. Электроны и жидкий гелий

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Вигнеровские кристаллы и их свойства.

**Тема 6. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого  $4\text{He}$  и  $3\text{He}$**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Двухжидкостная модель Ландау. Критические скорости.

**Тема 7. Свойства квантовых кристаллов. Теплоемкость, теплопроводность**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Необыкновенные свойства квантовых кристаллов, их теплопроводность и теплоемкость.

**Тема 8. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Равновесное и неравновесное термодинамические состояние квантовой жидкости -  $\text{He-3}$ .

**Тема 9. Спиновая (магнитная) сверхтекучесть**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Магнитная сверхтекучесть и ее основные свойства.

**Тема 10. Бозе-эйнштейновская конденсация**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Бозе-Эйнштейновская конденсация атомов - новое состояние конденсированной материи.

**Тема 11. Эффекты Джозефсона**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Виды слабых связей. Эффект близости. Стационарный эффект Джозефсона.

Нестационарный эффект Джозефсона.

**Тема 12. Лазерное охлаждение**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Доплеровское охлаждение. Лазерное антистоксово охлаждение твердых тел. Примеры лазерного охлаждения.

**Тема 13. Нейтронные звезды**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Источники энергии звёзд. Строение звезды. Эволюция звёзд в зависимости от массы.

Излучение пульсара. Нуклонная сверхтекучесть. Квантовые вихри.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Явления переноса при низких температурах	3	2	Подготовка к устному опросу	1	устный опрос
				Подготовка к устному опросу	0	устный опрос
				Участие в дискуссии	1	дискуссия
3.	Тема 3. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная)	3	3	Подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
4.	Тема 4. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах	3	4	Подготовка домашнего задания	4	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Электроны и жидкий гелий	3	5	Подготовка к реферату	4	реферат
6.	Тема 6. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого $^4\text{He}$ и $^3\text{He}$	3	6	Подготовка домашнего задания	2	домашнее задание
7.	Тема 7. Свойства квантовых кристаллов. Теплоемкость, теплопроводность	3	7	подготовка к реферату	4	реферат
8.	Тема 8. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства	3	8	Подготовка к творческому экзамену	4	творческое задание
9.	Тема 9. Спиновая (магнитная) сверхтекучесть	3	9	Подготовка к реферату	4	реферат
10.	Тема 10. Бозе-эйнштейновская конденсация	3	10	Подготовка к реферату	4	реферат
11.	Тема 11. Эффекты Джозефсона	3	11	Участие в дискуссии	4	дискуссия
12.	Тема 12. Лазерное охлаждение	3	12	Подготовка доклада	4	научный доклад
13.	Тема 13. Нейтронные звезды	3	13-14	Подготовка к презентации	2	презентация
				Участие в дискуссии	2	дискуссия
	Итого				44	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Курс лекций читается на основе мультимедийных технологий

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Введение в физику низких температур

### Тема 2. Явления переноса при низких температурах

дискуссия, примерные вопросы:

Прогресс физики низких температур. Прогресс в криогенной технике.

устный опрос, примерные вопросы:

Электропроводность металлов и сплавов при низких и сверхнизких температурах.

Экспериментальные температурные зависимости, приведенные в классической монографии О.В.Лоуносмаа.

устный опрос, примерные вопросы:

Электропроводность металлов и сплавов при низких и сверхнизких температурах.  
Экспериментальные температурные зависимости, приведенные в классической монографии О.В.Лоуносмаа.

### **Тема 3. Сверхпроводимость (низкотемпературная и высокотемпературная)**

домашнее задание , примерные вопросы:

Низкотемпературная сверхпроводимость (БКШ). Высокотемпературная сверхпроводимость, открытая в 1986 году Мюллером и Беднорцем.

### **Тема 4. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах**

домашнее задание , примерные вопросы:

Расчет теплового ключа на основе алюминия.

### **Тема 5. Электроны и жидкий гелий**

реферат , примерные темы:

Вигнеровские кристаллы.

### **Тема 6. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого $^4\text{He}$ и $^3\text{He}$**

домашнее задание , примерные вопросы:

Анализ и сопоставление фазовых диаграмм для  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$ .

### **Тема 7. Свойства квантовых кристаллов. Теплоемкость, теплопроводность**

реферат , примерные темы:

Твердые кристаллы  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$ .

### **Тема 8. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства**

творческое задание , примерные вопросы:

Составить трехмерный график с осями температура-магнитное поле-степень поляризации.

### **Тема 9. Спиновая (магнитная) сверхтекучесть**

реферат , примерные темы:

Реферат на основе обзорных статей Ю.М.Бунькова, В.В.Дмитриева и Г.Воловика, которые должны быть найдены в интернете.

### **Тема 10. Бозе-эйнштейновская конденсация**

реферат , примерные темы:

Атомная Бозе-Эйнштейновская конденсация.

### **Тема 11. Эффекты Джозефсона**

дискуссия , примерные вопросы:

Причины теплового сопротивления на границе раздела твердое тело - жидкий  $^4\text{He}$  и твердое тело - жидкий  $^3\text{He}$ . На основе модели Халатникова производятся оценки величины скачка Капицы.

### **Тема 12. Лазерное охлаждение**

научный доклад , примерные вопросы:

Классический эксперимент Э.Л.Андрионикашвили.

### **Тема 13. Нейтронные звезды**

дискуссия , примерные вопросы:

Нейтронная сверхтекучесть и её реализация в пульсарах.

презентация , примерные вопросы:

Бозе-Эйнштейновская конденсация магнонов в сверхтекучем  $^3\text{He}$  и в антиферромагнетиках. Иллюстрации доклада берутся из оригинальных статей Ю.М.Бунькова.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

При проведении практической занятий и выполнения самостоятельных работ активно используются Интернет ресурсы.

Список вопросов на зачет:

1. Методы получения и измерения низких температур.
2. Теплопроводность твердых тел при низких и сверхнизких температурах.
3. Сверхтекучесть. Основные свойства жидкого  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$ .
4. Рефрижераторы растворения.
5. Эффект Померанчука.
6. Гиперполяризованный гелий-3. Методы получения и основные свойства
7. Адиабатическое размагничивание.
8. Кондо эффект. Эффекты Холла. Закон для хаоса. Излучение черного тела. Температура Вселенной.
9. Эффекты Джозефсона.
10. Вигнеровские кристаллы. Магнитный механизм переноса энергии. Двухжидкостная модель. Критические скорости Распространение звуковых колебаний в жидком гелии. Эффект Джозефсона в жидком гелии.
11. Нейтронные звезды. Сверхтекучесть водорода.
12. Бозе-эйнштейновская конденсация магнонов .

Самостоятельная работа студентов позволяет развить следующие компетенции:

при подготовке рефератам - ПК-1, ПК-2

при подготовке к зачету - ОК-1, ПК-6

при устных опросах (дискуссия) - ОК-1, ОК-5

при подготовке домашнего задания - ОК-7, ПК-2, ПК-6

при подготовке творческого задания - ОК-5, ПК-1

при подготовке научного доклада - ОК-1, ПК-2, ПК-6

### 7.1. Основная литература:

1. Демихов К.Е., Панфилов Ю.В., Никулин Н.К., Автономова И.В. Вакуумная техника: справочник Машиностроение"Издательство: 2009, 590 стр.978-5-94275-436-5ISBN: <http://e.lanbook.com/view/book/723/>
2. Сверхпроводимость / В.Л. Гинзбург, Е.А. Андрияшин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Альфа-М, 2006. - 110 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Библиотека СОИ "Идеи и технологии будущего"). (переплет) ISBN 5-98281-088-6, <http://znanium.com/bookread.php?book=114620>
3. Искусство криогеники : низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях : [учебно-справочное руководство] / Г. Вентура, Л. Ризегари ; пер. с англ. под ред. Л. П. Межова-Деглина .- Долгопрудный : Интеллект, 2011 .- 332 с. : ил. ; 24

### 7.2. Дополнительная литература:

1. О.В.Лоунасмаа. Принципы и методы получения температур ниже 1К. М.:Мир, 1977
2. Г.К.Уайт. Экспериментальная техника в физике низких температур. М.:Изд-во физико-мат. Литературы, 1961.
3. Розанов, Л. Н.. Вакуумная техника: учебник для вузов по спец. "Электронное машиностроение"/Л.Н. Розанов.- Изд. 3-е, перераб. и доп.-М.: Высшая школа,2007.-391 с.
4. Шешин, Е. П. Вакуумные технологии : учеб. пособие / Е. П. Шешин. - Долгопрудный : Интеллект, 2009. - 501 с.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

BEC - [http://en.wikipedia.org/wiki/Bose?Einstein\\_condensate](http://en.wikipedia.org/wiki/Bose%E2%80%90Einstein_condensate)

HTSC - [http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature\\_superconductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity)

Superconductivity - - [http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature\\_superconductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity)

Superfluidity - <http://en.wikipedia.org/wiki/Superfluidity>

Superglass - <http://www.phys.ens.fr/~zamponi/archivio/talks/2009-02-24-firenze.pdf>

Supersolid - <http://en.wikipedia.org/wiki/Supersolid>

В.Л.Гинзбург - [http://ufn.ru/dates/nobel2003/Gin\\_nob\\_r.pdf](http://ufn.ru/dates/nobel2003/Gin_nob_r.pdf)

ИФТТ - <http://www.dynastyfdn.com/events/165>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Физика низких температур" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Предусмотрено использование мультимедийного проектора

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.68 "Радиофизика" и магистерской программе Физика магнитных явлений

Автор(ы):

Тагиров М.С. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Тагиров Л.Р. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.