

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета Небольсин В.А.  
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Основы сверхпроводимости»

**Направление подготовки** 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

**Профиль** Техника и физика низких температур

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2019

Автор программы \_\_\_\_\_ /А.В. Сергеев/

Заведующий кафедрой Физики твердого тела \_\_\_\_\_ /Ю.Е. Калинин/

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ /О.В. Калядин/

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

обеспечение фундаментальными знаниями в области физики сверхпроводящего состояния твердого тела (понятие сверхпроводимости; основные закономерности; влияние внешних условий на сверхпроводимость; термодинамика сверхпроводников) и получение практических навыков в области физики сверхпроводников

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

- освоение фундаментальных представлений об особом состоянии некоторых твердых тел после охлаждения их до температуры ниже критической;

- изучение основ фундаментальной теории БКШ, ее связь с происходящей перестройкой в подсистеме электронов, влияние кристаллической решетки;

- усвоение связи между технологией создания сверхпроводников их критическими параметрами и свойствами с целью управления последними.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Основы сверхпроводимости» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы сверхпроводимости» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в сверхпроводниках на основе существующих методик
	Уметь использовать базовые знания электродинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области сверхпроводимости
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата электродинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с практическим применением сверхпроводников.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Основы сверхпроводимости» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	90	54	36
В том числе:			
Лекции	36	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18	-
Лабораторные работы (ЛР)	36	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	63	18	45
Часы на контроль	27	-	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	180	72	108
зач.ед.	5	2	3

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий**

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Физические свойства материалов при низких температурах	Общие сведения о сверхпроводниках. Свойство газов при низких температурах. Открытие сверхпроводимости. Развитие теории сверхпроводимости. Применение сверхпроводников. Ускорительные магниты. ЯМР – томографы. Применение низкотемпературных сверхпроводников в энергетике. Применение высокотемпературных сверхпроводников	4	6	6	6	22
2	Классическая электродинамика и термодинамика сверхпроводников	Сопротивление сверхпроводников. Эффект Мейснера. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Классическая электродинамика сверхпроводников. Теория Лондонов. Двухжидкостная модель сверхпроводников. Уравнение Лондонов. Уравнение Лондонов для векторного потенциала. Проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Полная система уравнений сверхпроводника. Кинетическая индуктивность. Квантование магнитного потока в сверхпроводниках. Обобщенный импульс заряженной частицы в магнитном поле. Квант магнитного потока. Основные принципы термодинамики. Термодинамика перехода в сверхпроводящее	6	6	6	6	24

		состояние. Связь между магнитными и тепловыми свойствами сверхпроводника. Теплоемкость и теплопроводность сверхпроводника.					
3	Нелокальная электродинамика Пиппарда. Поверхностная энергия сверхпроводников. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода	Длина когерентности сверхпроводников, параметр Гинзбурга – Ландау. Поверхностная энергия сверхпроводников. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Промежуточное состояние в сверхпроводниках 1-го рода. Промежуточное состояние цилиндрического сверхпроводника с током. Намагничивание сверхпроводников 1-го рода. Общие свойства сверхпроводников 2-го рода. Магнитное поле одиночного вихря. Смешанное состояние сверхпроводников 2-го рода. Проникновение вихрей в сверхпроводник. Сила взаимодействия между вихрями. Первое критическое поле. Второе критическое поле. Поверхностная сверхпроводимость. Намагничивание сверхпроводников 2-го рода.	6	6	6	6	24
4	Теории сверхпроводимости	Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау. Общие свойства квантовых жидкостей. Квантовые свойства электронов проводимости в металле. Квантовые свойства ионной решетки металлов. Экспериментальные данные, важные для построения микроскопической теории сверхпроводимости. Кристаллографический эксперименты. Изотопический эффект. Коэффициент отражения электромагнитного излучения от поверхности сверхпроводника. Электрон – фононное взаимодействие. Куперовские пары. Свойства основного состояния сверхпроводника. Энергетическая щель. Незатухающий ток в сверхпроводниках.	6		6	15	27
5	Сверхпроводники 2-го рода в токовом состоянии	Силы, действующая на вихревую нить. Течение потока. Пиннинг. Энергия вихря в сверхпроводящей пластине с током. Взаимодействие вихря с нормальным включением. Теория критического состояния Кима – Андерсона. Модель критического состояния Бина – Лондона. Модель критического состояния Кима.	6		6	15	27
6	Высокотемпературные сверхпроводники	Открытие высокотемпературной сверхпроводимости. История открытия Кристаллическая структура. Особенности кристаллической структуры. Химическая сложность и химические сверхпроводники. Особенности физических свойств Особенности сверхпроводящих свойств. Фазовые соотношения. Катионная нестехиометрия. Висмутовые ВТСП, ртутники, геометрическая стабильность. Анионная нестехиометрия. "Химическое давление" и гофрировка структуры, а также расслаивание с образованием нанофлуктуация состава. Диаграммы Time-Temperature-Transformation. Методы синтеза ВТСП-фаз и получение ВТСП-материалов. Ленты в металлической оболочке. Тонкие пленки. Крупнокристаллическая керамика. Монокристаллы. Применение ВТСП.	8		6	15	29

<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>63</b>	<b>153</b>
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

## 5.2 Перечень лабораторных работ

- Изучение резистивного сверхпроводящего перехода
- Изучение индуктивного сверхпроводящего перехода
- Влияние силы транспортного тока на резистивный переход
- Влияние внешнего магнитного поля на резистивный переход
- Приготовление смеси порошков для изготовления иттриевого металлооксида и его синтез
- Размол иттриевого металлооксида, прессование и спекание ВТСП

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в сверхпроводниках на основе существующих методик	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать базовые знания электродинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области сверхпроводимости	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата электродинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с практическим применением сверхпроводников.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

#### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»

«НЕ ЗАЧТЕНО»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в сверхпроводниках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Уметь использовать базовые знания электродинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области сверхпроводимости	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата электродинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с практическим применением сверхпроводников.	Тест	Выполнение теста на 60-100%	В тесте менее 60% правильных ответов

ИЛИ

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	Знать способы расчета количественных характеристик процессов, протекающих в сверхпроводниках на основе существующих методик	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Уметь использовать базовые знания электродинамики для выполнения расчетно-экспериментальных работ и решения научно-технических задач в области сверхпроводимости	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов
	Владеть навыками использования физико-математического аппарата электродинамики для решения задач возникающих в ходе профессиональной деятельности и связанных с практическим применением сверхпроводников.	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-85%	Выполнение теста на 50-70%	В тесте менее 50% правильных ответов

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Сверхпроводящими элементами являются...
  - = Алюминий, свинец, олово, ниобий
  - Медь, железо, бор, литий
  - Натрий, калий, сера, никель
  - Гелий, неон, аргон, криптон
2. Явление сверхпроводимости было открыто в...
  - Античное время
  - Середине XIX века
  - = 1911 г.
  - 1969 г.
3. Принцип работы СКВИДа основан на эффекте...
  - Мейснера
  - Шубникова
  - Холла
  - = Джозефсона
4. Какие фазы можно наблюдать на фазовой диаграмме сверхпроводника первого рода  $B = f(T)$ ?
  - Мейснеровская фаза, Шубниковская фаза
  - = Мейснеровская фаза, нормальная фаза
  - Шубниковская фаза, нормальная фаза
  - Нормальная фаза, Джозефсоновская фаза
5. Явление сверхпроводимости открыл...
  - А. Эйнштейн
  - Э. Резерфорд
  - = Х. Каммерлинг-Оннес
  - Л. Ландау
6. Как называется фаза, которая в сверхпроводниках второго рода является устойчивой в области магнитных полей от  $B_{c1}$  до  $B_{c2}$ ?
  - = Шубниковская фаза
  - Мейснеровская фаза
  - Нормальная фаза
  - Джозефсоновская фаза
7. Как называется фаза, которая в сверхпроводниках второго рода является устойчивой в области магнитных полей от 0 до  $B_{c1}$ ?
  - Шубниковская фаза
  - = Мейснеровская фаза
  - Нормальная фаза
  - Джозефсоновская фаза
8. Как называется фаза, которая в сверхпроводниках первого рода является устойчивой в области магнитных полей от 0 до  $B_{c1}$ ?
  - Шубниковская фаза
  - = Мейснеровская фаза
  - Нормальная фаза
  - Джозефсоновская фаза
9. Смешанное состояние сверхпроводников (фаза Шубникова) была продемонстрирована экспериментально Л.В. Шубниковым в 1937 г. Кто из ученых в 1957 г. дал теоретическое обоснование смешанному состоянию, за что в 2003 году получил Нобелевскую премию?
  - Л.Д. Ландау

- = А.А. Абрикосов
  - П.Л. Капица
  - А. Пиппард
10. Действием какой силы описывается в сверхпроводниках второго рода, находящихся в смешанном состоянии, движение вихревых нитей магнитного поля?
- Силы Ньютона
  - = Силы Лоренца
  - Силы Ампера
  - Силы Кориолиса
11. Впервые сверхпроводимость была обнаружена в...
- = Ртути
  - Меди
  - Ниобии
  - Уране
12. Если в сверхпроводящем кольце создать ток, а потом поместить кольцо над постоянным магнитом так, чтобы магнитное поле этого тока противодействовало магнитному полю магнита, то кольцо...
- Упадет на магнит
  - Притянется к магниту
  - Начнет вращаться
  - = Зависнет над магнитом
13. В настоящее время сверхпроводимость объясняется в рамках теории...
- Э. Резерфорда
  - Н. Бора
  - П. Капицы
  - = Бардина-Купера-Шриффера
14. Теория сверхпроводимости базируется на...
- Законах классической механики
  - Теории относительности
  - Теории фотоэффекта
  - = Квантомеханических эффектах

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных за-**

#### **дач**

1. При обычных температурах сопротивление проводников с увеличением температуры...
  - Равно нулю
  - Остается постоянным
  - = Увеличивается
  - Уменьшается
2. Для сверхпроводника первого рода критическое магнитное поле это...
  - = Значение поля, выше которого сверхпроводник находится в нормальном состоянии
  - Значение поля, выше которого сверхпроводник находится в сверхпроводящем состоянии
  - Значение поля, выше которого сверхпроводник находится в смешанном состоянии
  - Значение поля, выше которого сверхпроводник находится в фазе Шубникова
3. Критический ток сверхпроводника – это...
  - Минимальный постоянный ток, который может выдержать сверхпроводник без потери сверхпроводящего состояния
  - = Максимальный постоянный ток, который может выдержать сверхпроводник без потери сверхпроводящего состояния
  - Минимальный переменный ток, который может выдержать сверхпроводник без потери сверхпроводящего состояния



- Максимальный переменный ток, который может выдержать сверхпроводник без потери сверхпроводящего состояния
4. Значение критического тока для сверхпроводника первого рода зависит от температуры...
- Для каждого материала своя закономерность
  - Увеличивается при увеличении температуры
  - Не зависит от температуры
  - = Уменьшается при увеличении температуры
5. Значение критического поля для сверхпроводника первого рода зависит от температуры...
- Для каждого материала своя закономерность
  - Увеличивается при увеличении температуры
  - Не зависит от температуры
  - = Уменьшается при увеличении температуры
6. Сверхпроводимость – это ...
- = Свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения
  - Свойство некоторых материалов обладать малым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения
  - Свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры абсолютного нуля
  - Свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры выше определённого значения
7. Эффект Мейснера заключается в ...
- Полном вытеснении магнитного поля вокруг сверхпроводника при его переходе в сверхпроводящее состояние
  - Частичном вытеснении магнитного поля из объёма сверхпроводника
  - = Полном вытеснении магнитного поля из объёма сверхпроводника при его переходе в сверхпроводящее состояние
  - Полном проникновении магнитного поля из объёма сверхпроводника при его переходе в сверхпроводящее состояние
8. Температура сверхпроводящего перехода ртути...
- = ~4,2 К
  - ~3,2 К
  - ~2,2 К
  - ~1,2 К
9. Куперовская пара – это...
- Связанное состояние двух взаимодействующих через фотон электронов
  - Связанное состояние двух взаимодействующих через фотон позитронов
  - = Связанное состояние двух взаимодействующих через фонон электронов
  - Связанное состояние двух взаимодействующих через фонон позитронов
10. Заряд пары Купера составляет...
- Заряд, противоположный по знаку заряду электрона
  - Заряд электрона
  - Нулевой заряд электрона
  - = Удвоенный заряд электрона
11. К сверхпроводникам какого рода относятся все одноэлементные сверхпроводники?
- = Первого рода
  - Второго рода
  - Первого и второго рода
  - Утверждение является неверным
12. Явление сверхпроводимости заключается в том, что носители заряда в проводнике...

Отсутствуют  
Неподвижны  
= Двигутся без потерь энергии  
Двигутся с излучением энергии

1. В сверхпроводнике носитель заряда движется без потерь энергии, потому что...

= Уровень его энергии меньше минимальной энергии кванта

Движение происходит с ускорением

Уровень его энергии бесконечно велик

Он получает внешнюю энергию

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Спин куперовской пары равен...

= 0

1/2

-1/2

1

2. Изотопический эффект в сверхпроводниках заключается в том, что ...

= Критические температуры обратно пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего элемента

Критические поля обратно пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего элемента

Критические токи обратно пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего элемента

Критические температуры прямо пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего элемента

3. Эффекты Джозефсона – это...

Совокупность явлений, имеющих место в контактах двух несверхпроводников через слабую связь

= Совокупность явлений, имеющих место в контактах двух сверхпроводников через слабую связь

Совокупность явлений, имеющих место в контактах двух полупроводников через слабую связь

Совокупность явлений, имеющих место в контактах двух сверхпроводников через энергетическую щель

4. Стационарный эффект Джозефсона состоит в том, что...

Через контакт в отсутствие приложенного магнитного поля и напряжения может течь постоянный сверхпроводящий ток

При конечном напряжении через контакт помимо обычного постоянного тока будет течь переменный сверхпроводящий ток

= Через контакт в отсутствие приложенного напряжения может течь постоянный сверхпроводящий ток

Среди приведенного выше нет верных утверждений

5. Нестационарный эффект Джозефсона состоит в том, что...

Через контакт в отсутствие приложенного магнитного поля и напряжения может течь постоянный сверхпроводящий ток

= При конечном напряжении через контакт помимо обычного постоянного тока будет течь переменный сверхпроводящий ток

Через контакт в отсутствие приложенного напряжения может течь постоянный сверхпроводящий ток

Среди приведенного выше нет верных утверждений

6. Что такое СКВИД?

= Сверхчувствительный магнитометр

Сверхчувствительный термометр

- Сверхчувствительный манометр  
Сверхчувствительный гальванометр
7. Фонон – это...
- Частица, квант колебательного движения атомов кристалла
  - = Квазичастица, квант колебательного движения атомов кристалла
  - Квазичастица, квант электромагнитного излучения атомов кристалла
  - Частица, квант электромагнитного излучения атомов кристалла
8. Разница между сверхпроводниками первого и второго рода наиболее отчетливо проявляется характере зависимости намагниченности сверхпроводника от...
- = Внешнего магнитного поля
  - Температуры
  - Транспортного тока
  - Намагниченности
9. Какую фазу невозможно наблюдать на фазовой диаграмме сверхпроводника второго рода  $B = f(T)$
- Шубниковская фаза
  - Мейснеровская фаза
  - Нормальная фаза
  - = Джозефсоновская фаза
10. В идеальном однородном сверхпроводнике второго рода при воздействии внешнего магнитного поля  $B_a$ , причем  $B_{c1} < B_a < B_{c2}$ , сверхпроводник переходит в фазу Шубникова, то есть пронизывается нитями магнитного потока. Как относительно друг друга располагаются нити магнитного потока в сверхпроводнике в данном случае?
- Располагаются относительно друг друга по углам квадратов
  - = Располагаются относительно друг друга по углам равносторонних треугольников
11. Характеристика сверхпроводника, которая определяет, насколько глубоко может проникнуть в него магнитное поле – это...
- Средняя протяженность куперовской пары
  - Длина когерентности
  - = Глубина проникновения (Лондоновская)
  - Параметр Гинзбурга-Ландау
12. Характерная длина, на которой волновая функция (параметр порядка) сверхпроводника существенно меняется, мера «жесткости» плотности куперовских пар – это...
- Средняя протяженность куперовской пары
  - = Длина когерентности
  - Глубина проникновения (Лондоновская)
  - Параметр Гинзбурга-Ландау
13. Отношение глубины проникновения к длине когерентности – это...
- Средняя протяженность куперовской пары
  - Длина когерентности
  - Глубина проникновения (Лондоновская)
  - = Параметр Гинзбурга-Ландау

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Общие сведения о сверхпроводниках.
2. Свойство газов при низких температурах.
3. Открытие сверхпроводимости.
4. Развитие теории сверхпроводимости.

5. Применение сверхпроводников.
  6. Ускорительные магниты.
  7. ЯМР – томографы.
  8. Применение низкотемпературных сверхпроводников в энергетике Применение высокотемпературных сверхпроводников
  9. Сопротивление сверхпроводников.
  - 10.Эффект Мейснера.
  - 11.Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
  - 12.Классическая электродинамика сверхпроводников.
  - 13.Теория Лондонов.
  - 14.Двухжидкостная модель сверхпроводников.
  - 15.Уравнение Лондонов.
  - 16.Уравнение Лондонов для векторного потенциала.
  - 17.Проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
  - 18.Полная система уравнений сверхпроводника.
  - 19.Кинетическая индуктивность.
  - 20.Квантование магнитного потока в сверхпроводниках.
  - 21.Обобщенный импульс заряженной частицы в магнитном поле.
  - 22.Квант магнитного потока.
  - 23.Основные принципы термодинамики.
  - 24.Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние.
  - 25.Связь между магнитными и тепловыми свойствами сверхпроводника.
  - 26.Теплоемкость и теплопроводность сверхпроводника.
  - 27.Длина когерентности сверхпроводников, параметр Гинзбурга – Ландау.
  - 28.Поверхностная энергия сверхпроводников.
  - 29.Сверхпроводники 1-го и 2-го рода.
  - 30.Промежуточное состояние в сверхпроводниках 1-го рода.
  - 31.Промежуточное состояние цилиндрического сверхпроводника с током.
  - 32.Намагничивание сверхпроводников 1-го рода.
  - 33.Общие свойства сверхпроводников 2-го рода.
  - 34.Магнитное поле одиночного вихря.
  - 35.Смешанное состояние сверхпроводников 2-го рода.
  - 36.Проникновение вихрей в сверхпроводник.
  - 37.Сила взаимодействия между вихрями.
  - 38.Первое критическое поле.
  - 39.Второе критическое поле.
  - 40.Поверхностная сверхпроводимость.
  - 41.Намагничивание сверхпроводников 2-го рода.
- 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**
1. Теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау.
  2. Общие свойства квантовых жидкостей.
  3. Квантовые свойства электронов проводимости в металле.

4. Квантовые свойства ионной решетки металлов.
5. Экспериментальные данные, важные для построения микроскопической теории сверхпроводимости.
6. Кристаллографические эксперименты.
7. Изотопический эффект.
8. Коэффициент отражения электромагнитного излучения от поверхности сверхпроводника.
9. Электрон – фононное взаимодействие.
10. Куперовские пары.
11. Свойства основного состояния сверхпроводника.
12. Энергетическая щель.
13. Незатухающий ток в сверхпроводниках.
14. Силы, действующая на вихревую нить.
15. Течение потока.
16. Пиннинг.
17. Энергия вихря в сверхпроводящей пластине с током.
18. Взаимодействие вихря с нормальным включением.
19. Теория критического состояния Кима – Андерсона.
20. Модель критического состояния Бина – Лондона.
21. Модель критического состояния Кима.
22. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости.
23. История открытия Кристаллическая структура.
24. Особенности кристаллической структуры.
25. Химическая сложность и химические сверхпроводники.
26. Особенности физических свойств Особенности сверхпроводящих свойств.
27. Фазовые соотношения.
28. Катионная нестехиометрия.
29. Висмутовые ВТСП, ртутники, геометрическая стабильность.
30. Анионная нестехиометрия.
31. "Химическое давление" и гофрировка структуры, а также расслаивание с образованием наноплукуация состава.
32. Диаграммы Time-Temperature-Transformation.
33. Методы синтеза ВТСП-фаз и получение ВТСП-материалов.
34. Ленты в металлической оболочке.
35. Тонкие пленки.
36. Крупнокристаллическая керамика.
37. Монокристаллы.
38. Применение ВТСП.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

*Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 5 стандартных задач и 5 прикладных задач. Каждый правиль-*

ный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, правильно решенная задача оценивается в 2 балла. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 15 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 20 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Физические свойства материалов при низких температурах	ОПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, зачет
2	Классическая электродинамика и термодинамика сверхпроводников	ОПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, зачет
3	Нелокальная электродинамика Пиппарда. Поверхностная энергия сверхпроводников.	ОПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, зачет
4	Сверхпроводники 1-го и 2-го рода	ОПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, экзамен
5	Теории сверхпроводимости	ОПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, экзамен
6	Сверхпроводники 2-го рода в токовом состоянии	ОПК-1	Тест, устный опрос, защита лабораторных работ, экзамен

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

- Лыков С.Н. Сверхпроводимость полупроводников: Учеб. пособие / Под общ.ред. В.И.Ильина, А.Я.Шика. - СПб.: Наука, 2001. - 104 с
- Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. – М.: Педагогика, 1990. - 112 с.
- Вонсовский С.В. Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений. - Москва: Наука, 1977. - 383 с.
- Буккель В. Сверхпроводимость: Основы и приложения / Пер. с нем. Ю. А. Башкирова. – М.: Мир, 1975. - 366 с.
- Милошенко В.Е. Словарь терминов технической сверхпроводимости: Учеб. пособие. – Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 84 с. - 66-31

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

- SMath Studio
- Mathcad
- Advanced Grapher
- Microsoft Windows 10
- Microsoft Office 2013/2007
- Refprop 8.0
- <https://elibrary.ru>
- <https://cchgeu.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Учебная лаборатория физики низких температур, включающая: стенды для выполнения лабораторных работ; оборудование, инструменты, материалы необходимые для осуществления операции развития практических навыков; датчики для работы и проведения измерений.

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения практических занятий

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Основы сверхпроводимости» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета термодинамических и электродинамических свойств сверхпроводников. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>