

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КСР/КП
1	4	144	48	32	0	28	0	Э
Итого	4	144	48	32	0	28	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе представлены современные взгляды на физику фазовых переходов, основные аналитические методы исследования критических точек, физика магнитных систем, современная теория взаимодействующего электронного газа в веществе и физика сверхпроводимости.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель данной дисциплины - дать необходимые теоретические знания, модели для описания фазовых переходов в конденсированном состоянии вещества, научить современным аналитическим подходам к описанию новых перспективных твердотельных материалов

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина готовит студентов к изучению других дисциплин специализации, относящихся к физике сверхпроводимости (включая ВТСП) и новым материалам с необычными фазовыми переходами

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в	Физические, математические и компьютерные модели явления; компьютерные программы и алгоритмы для научно-исследовательских и прикладных целей.	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования

<p>предметной области по профилю специализации, выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей.</p>		<p>процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.</p>
<p>Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении</p>	<p>Запланированные этапы исследования; результаты наблюдений и измерений.</p>	<p>ПК-20.1 [1] - Способен пользоваться основными теоретическими моделями физики конденсированного состояния вещества, взаимодействия излучения с веществом в конденсированном состоянии, моделями фазовых переходов и физики сверхпроводимости, экспериментальными методами исследования структурных и</p>	<p>3-ПК-20.1[1] - знать основные теоретические модели физики конденсированного состояния вещества, модели взаимодействия оптического излучения с веществом, классификацию фазовых переходов, основные экспериментальные факты и применения физики сверхпроводимости и</p>

<p>эксперимента и обработке данных с использованием современных теоретических моделей, экспериментальных данных и компьютерных технологий.</p>		<p>электронных свойств, современными достижениями физики сверхпроводимости, полупроводников и гетероструктур.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003</p>	<p>криогенной техники, современные достижения физики полупроводников и гетероструктур; У-ПК-20.1[1] - уметь сформулировать теоретическую и математическую модель для изучаемой задачи физики конденсированного состояния вещества, провести необходимые расчеты величин и оценки параметров; В-ПК-20.1[1] - владеть основными теоретическими моделями физики конденсированного состояния вещества, взаимодействия излучения с веществом, физики фазовых переходов и сверхпроводимости</p>
<p>инновационный;</p>			
<p>Сбор и анализ информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей.</p>	<p>Научно-технические и организационные решения.</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 26.003</p>	<p>3-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ; У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и</p>

			<p>моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий;  В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p>
--	--	--	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	24/16/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1

2	Часть 2	9-16	24/16/0		25	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		48/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-20.1, У-ПК-20.1, В-ПК-20.1

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	48	32	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	24	16	0
1	<b>Тема 1</b> Введение. Фазовые переходы в системе многих частиц. Классификация фазовых переходов. Нарушения симметрии при фазовом переходе. Переход парамагнетик - ферромагнетик. Поле упорядочения. Обменное взаимодействие между магнитными моментами.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Тема 2</b> Модель Изинга. Приближение поля Вейсса. Уравнение Вейсса. Свободная энергия ферромагнетика в модели Изинга. Температура перехода Кюри-Вейсса. Теплоемкость, восприимчивость, учет флуктуаций.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Тема 3</b> Точные решения в одномерной и двумерной моделях Изинга. Отсутствие фазового перехода в одномерном случае.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Тема 4</b> Модель Гайзенберга для ферромагнетиков. Квантовая и классическая модели. Основное состояние. Возбуждения в ферромагнетике. Спиновые волны. Магноны. Термодинамика магнонов.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Тема 5</b> Антиферромагнетизм. Основное состояние. Спектр и термодинамика возбуждений в антиферромагнетиках. Классическая антиферромагнитная модель. Понятие о ферримагнетизме.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Тема 6</b> Переход пар-жидкость. Конденсация. Уравнение Ван-дер-Вальса. Модель решеточного газа. Переход жидкость-твердое тело. Кристаллизация.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Тема 7</b> Зонная теория ферромагнетизма. Спиновый парамагнетизм в теории Стонера. Критерий ферромагнетизма Стонера. Переход металл-диэлектрик. Модель Хаббарда. Модели Мотта. Переход металл-диэлектрик в неупорядоченных системах. Модель Андерсона.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Тема 8</b> Бозе-эйнштейновская конденсация. Возбуждения в неидеальном бозе-газе. Сверхтекучесть. Критерий сверхтекучести Ландау.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	24	16	0
9	<b>Тема 9</b> Сверхпроводимость как термодинамический фазовый переход второго рода. Основные экспериментальные факты для низкотемпературных и высокотемпературных	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	сверхпроводников. Обзор феноменологических теорий сверхпроводимости. Теория Лондонов. Природа эффективного притяжения между электронами. Диэлектрический формализм.			
10	<b>Тема 10</b> Куперовские пары. Энергия связи и радиус. Теория БКШ. Гамильтониан БКШ. Волновая функция БКШ. Уравнение для параметра порядка при нулевой температуре. Энергия конденсации.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Тема 11</b> Возбуждения в сверхпроводниках. Спектр возбуждений. Щель в спектре возбуждений. Основное уравнение БКШ. Критическая температура перехода. Термодинамика сверхпроводников. Теплоемкость и ее температурная зависимость.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Тема 12</b> Теория эффекта Мейснера. Глубина проникновения. Поглощение электромагнитного поля и ультразвука. Туннельный эффект в сверхпроводниках. Эффект Джозефсона. Неравновесная сверхпроводимость при электромагнитной и туннельной инжекции.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Тема 13</b> Уравнения Гинзбурга-Ландау (Г-Л) для пространственно-неоднородных систем. Функционал Г-Л. Феноменологический вывод. Характерные длины. Лондоновская длина. Длина когерентности. Параметр Г-Л. Теория Боголюбова и уравнения Боголюбова. Квазичастицы Боголюбова. Обезразмеренная, градиентноинвариантная форма уравнений Г-Л.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 14</b> Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Термодинамический потенциал сверхпроводника. Критическое термодинамическое магнитное поле. Поверхностная энергия сверхпроводник-нормальный металл в присутствии магнитного поля. Сверхпроводники первого и второго рода. Неоднородное (вихревое) проникновение магнитного поля. Квантование потока. Вихри Абрикосова. Нижнее критическое магнитное поле. Верхнее критическое магнитное поле. Структура и свойства вихревых нитей.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Тема 15</b> Взаимодействие вихревых нитей. Решетка вихрей. Намагниченность сверхпроводников первого и второго рода. Теорема площадей. Влияние неоднородностей, границ и дефектов на проникновение магнитного поля. Поверхностная сверхпроводимость. Контактные явления. Тонкие пленки. Жесткие сверхпроводники второго рода. Пиннинг нитей. Критический ток. Критическое состояние. Вязкое движение и крип вихрей. "Грязные" сверхпроводники. Влияние немагнитных и магнитных примесей на критическую температуру. Теорема Андерсона	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

16	<b>Тема 16</b> Сверхпроводники со структурой A15. Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП).	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
1	<b>Тема 1</b> Модель Изинга без взаимодействия. Классическая трехмерная модель Гайзенберга без взаимодействия.
2	<b>Тема 2</b> Модель Изинга с взаимодействием в приближении среднего поля. Классическая модель Гайзенберга с взаимодействием в приближении среднего поля.
3	<b>Тема 3</b> Антиферромагнитная модель Изинга с взаимодействием. Классическая антиферромагнитная модель Гайзенберга.
4	<b>Тема 4</b> Одномерные ферромагнитные и антиферромагнитные модели Изинга. Точное решение. Двумерный Изинг. Точное решение Онзагера.
5	<b>Тема 5</b> Ферромагнетизм в модели Изинга. Плоский ферромагнетик. Связь модели со сверхпроводимостью.
6	<b>Тема 6</b> Спиновые волны в ферромагнетиках. Спектр магнонов. Антиферромагнитные возбуждения. Термодинамика.
7	<b>Тема 7</b> Делокализованные магнитные моменты. Модель Стонера. Модель Хаббарда. Простейшие свойства Гамильтониана.
8	<b>Тема 8</b> Сверхтекучесть. Возбуждения в сверхтекучей жидкости.
9	<b>Тема 9</b> Некоторые свойства идеального ферми-газа. Плотность состояний, энергия, корреляционные функции.

	Электронная и фононная подсистемы. Диэлектрическая проницаемость. Модель желе.
10	<b>Тема 10</b> Свойства куперовской пары: энергия связи с учетом кулоновского отталкивания, средний размер пары.
11	<b>Тема 11</b> Гамильтониан и основное состояние БКШ: нормировка, квантовые средние. Унитарное преобразование, преобразование Боголюбова, соотношения коммутации. Возбужденные состояния и квазичастицы Боголюбова.
12	<b>Тема 12</b> Термодинамика сверхпроводников. Эффект Мейснера, эффект Джозефсона.
13	<b>Тема 13</b> Уравнения Лондонов и Гинзбурга-Ландау. Электродинамика. Расчеты простейших распределений поля в тонких и массивных сверхпроводниках. Феноменология уравнений Гинзбурга-Ландау и две характерные длины. Пространственное распределение параметра порядка.
14	<b>Тема 14</b> Термодинамический потенциал. Критические токи и поля. Распределение тока и поля. Критические токи и поля тонких пленок. Термодинамический подход. Квантование магнитного потока
15	<b>Тема 15</b> Нижнее и верхнее критические поля. Вихри Абрикосова. Взаимодействие вихревых нитей. Решетка вихрей. Кривая намагничивания СП второго рода. Теорема площадей.
16	<b>Тема 16</b> Граница сверхпроводника. Поверхностная сверхпроводимость. Взаимодействие вихрей с границей. Барьер Бина-Ливингстона. Пининг на границе. Пининг на неоднородностях.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия с применением компьютерных технологий в виде лекций и также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в изучении материала, повторении ранее пройденных тем, выполнении и сдаче домашнего задания. Для того чтобы дать современное состояние физики фазовых переходов, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в рамках Научной сессии НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-20.1	З-ПК-20.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-20.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-20.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	«неудовлетворительно»		выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	-----------------------	--	--

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе ВТСП, дигрида магния и пниктидов : Учебное пособие, М.: НИЯУ МИФИ, 2019
2. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе соединений А-15 : Учебное пособие, М.: НИЯУ МИФИ, 2019
3. 620 Р19 Процессы получения, структура и свойства сверхпроводников на основе оксидных соединений и MgB<sub>2</sub> : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. ЭИ Е 67 Физика твердого тела : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.8 Сверхпроводящие материалы, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
6. ЭИ К 31 Численные методы квантовой статистики : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2010
7. 538.9 С24 Сверхтекучесть и бозе-конденсация : учебное пособие для вузов, В. А. Кашурников [и др.], Москва: МИФИ, 2008
8. ЭИ С24 Сверхтекучесть и бозе-конденсация : учебное пособие для вузов, В. А. Кашурников [и др.], Москва: МИФИ, 2008
9. ЭИ К31 Современные проблемы физики конденсированного состояния : , В. А. Кашурников, А. В. Красавин, Москва: МИФИ, 2008
10. 536 К31 Численные методы квантовой статистики : , В. А. Кашурников, А. В. Красавин, Москва: Физматлит, 2010
11. ЭИ Ш19 В<sub>i</sub>-ВТСП: структура и сверхпроводимость : учебное пособие для вузов, В. Ф. Шамрай, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 669 Д 13 Диаграмма состояния сплавов системы "железо-карбид  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>C" : монография, Москва: Инфра-Инженерия, 2021
2. ЭИ К 78 Компьютерный практикум в среде matlab : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2020
3. ЭИ К31 Методы Монте-Карло для физических систем : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
4. ЭИ К31 Методы точной диагонализации в квантовой физике : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
5. ЭИ Б 22 Моноксид европия для спинтроники : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. ЭИ А 76 Основы спинтроники : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
7. ЭИ З-24 Сборник задач по физическому материаловедению : учебно-методическое пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2021
8. ЭИ С 76 Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем : учебник, Москва: МЭИ, 2019
9. ЭИ Е 48 Строение и свойства металлических расплавов : учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2020
10. ЭИ Ф 80 Уравнения состояния вещества от идеального газа до кварк-глюонной плазмы : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2012
11. ЭИ П 85 Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
12. 53 К31 Вычислительные методы в квантовой физике : учеб. пособие для вузов, В. А. Кашурников, А. В. Красавин, Москва: МИФИ, 2005
13. 537 Л88 Сверхпроводимость полупроводников : Учеб.пособие для вузов, Лыков С.Н., СПб: Наука, 2001
14. 539.1 С24 Сверхтекучесть гелия-3 : сборник статей, пер. с англ., Москва: Мир, 1977
15. 538.9 Ш73 Введение в физику сверхпроводников : , Шмидт В.В., Москва: МЦНМО, 2000
16. 536 Э19 Вблизи абсолютного нуля : , Эдельман В.С., М.: Физматлит, 2001

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. сайт кафедры №70 НИЯУ МИФИ (<http://kaf70.mephi.ru/>)
2. сайт Американского физического общества (<http://www.aps.org>)
3. сайт издательства Elsevier ()

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

При изучении дисциплины необходимо твердо усвоить современный взгляд на классификацию фазовых переходов. На примере фазовых переходов парамагнетик-ферромагнетик, парамагнетик-антиферромагнетик необходимо уметь формулировать и использовать приближение среднего поля, анализировать тип фазового перехода, рассчитывать температурные характеристики. Иметь представление об осях и плоскостях легкого намагничивания, об температуре Кюри и Вейсса.

Следует овладеть современным математическим и физическим аппаратом в области физики фазовых переходов и быть в состоянии продемонстрировать основные критерии фазового превращения.

Знать основные фазовые переходы металл-изолятор. Уметь продемонстрировать аналогию между фазовым переходом газ-жидкость и парамагнетик-ферромагнетик на примере решеточной модели. Знать модели Хаббарда, Стонера, Келдыша-Копаева, Мотта.

Иметь представление о бозе-газе, о явлении бозе-конденсации, о взаимодействующем бозе-газе и его возбуждениях, о критерии сверхтекучести.

Следует уметь показать отсутствие фазовых переходов в одномерном случае.

Следует усвоить микроскопический подход к описанию сверхпроводимости как типичному примеру квантового фазового перехода по Бардину, Куперу и Шрифферу, а также феноменологический подход Гинзбурга-Ландау. Уметь описывать основное и возбужденные состояния сверхпроводника, термодинамические характеристики.

Знать такие явления, как экранировка магнитного поля сверхпроводником, квантование магнитного потока, критические магнитные поля, критический ток.

Иметь представление о вихревом состоянии сверхпроводника, о динамике вихрей Абрикосова. Уметь рассчитать критические параметры тонкой пленки, оценить влияние дефектов структуры и поверхности.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Необходимо показать студентам современные взгляды на физику фазовых переходов, познакомить с основными аналитическими методами исследования критических точек, с физикой магнитных систем, с современной теорией взаимодействующего электронного газа в веществе и с физикой сверхпроводимости. Научить методам теории среднего поля, критериям определения точек фазового перехода, критических индексов, теорией Ландау фазовых переходов второго рода. Познакомить с различными примерами фазовых переходов первого и второго рода в физике конденсированного состояния, с различными моделями сильнокоррелированных систем. Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых

студентам физико-математических специальностей: квантовая механика, теория вероятностей, статистическая физика и термодинамика, теоретическая и экспериментальная физика твердого тела.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и специальным физическим дисциплинам: квантовая механика, статистическая физика, физика твердого тела. Необходимо уметь работать с матрицами, решать задачи на собственные значения, знать аппарат вторичного квантования, основные типы квантовой статистики. Необходимо ориентироваться в задачах физики твердого тела, в кристаллических решетках, в фононной и электронной подсистеме твердого тела, в магнитных явлениях.

В рамках курса следует рассмотреть современные взгляды на физику фазовых переходов на примере широкого класса моделей, в частности в рамках теории среднего поля: теорию магнитного упорядочения, теорию Ван дер Ваальса, феноменологическую теорию фазовых переходов Ландау для описания термодинамических фазовых переходов. Следует представить широкий спектр моделей конденсированного состояния: модели Изинга, Гейзенберга и Хаббарда, взаимодействующие Ферми- и Бозе-газы, бозонную модель Хаббарда. Необходимо рассмотреть различные типы магнитного упорядочения: ферромагнитное, антиферромагнитное, спиновые волны, зонный ферромагнетизм. Значительное внимание следует уделить также таким фазовым превращениям, как плавление и отвердевание, переходы металл - диэлектрик, бозе - конденсация. Наряду с приближенными результатами теории среднего поля обязательно нужно рассмотреть ряд точнорешаемых низкоразмерных задач (одномерная и двумерная модели Изинга, одномерная модель Хаббарда), для которых удастся точно получить ответ на наличие или отсутствие фазового перехода.

Во второй части курса следует рассмотреть явление сверхпроводимости как ярчайший пример фазового перехода в конденсированном состоянии. Обсудить эксперимент и теорию, модель Бардина-Купера-Шриффера и теорию Гинзбурга-Ландау. Рассмотреть термодинамические и неравновесные свойства сверхпроводников, спектр возбуждений, токовые и магнитные явления, классы сверхпроводников. Обсудить проблемы современного состояния, применения явления сверхпроводимости.

Автор(ы):

Кашурников Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н.,  
профессор