

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МЕТРОЛОГИИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

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./КР/КП
8	2	72	12	20	0		13	0	Э
Итого	2	72	12	20	0	7	13	0	

## АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины является ознакомление студентов с классическими методами описания фазовых переходов в модели Изинга в приближении среднего поля. При изучении курса студенту необходимо усвоить физические основы физики фазовых переходов первого и второго рода. Знать и понятия «фаза», «фазовый переход», «приближение среднего поля», «параметр порядка». Понимать отличие фазовых переходов первого и второго рода. Уметь выводить уравнения Ланжевена, Ван-дер-Ваальса. Понимать пределы применимости моделей Изинга и Гейзенберга, а так же решеточной модели. Для более полного понимания курса необходимо углубить познания в области квантовой физики. Научиться применять методы описания многочастичных квантовомеханических систем – вторичное квантование, применять теоретические знания для решения задачи исследования моделей в области фазовых переходов. Необходимо ознакомиться с фазовыми переходами металл-изолятор и Бозе-конденсацией. В рамках курса предусмотрено ознакомление студентов с современными методами статистической физики, применяемых для решения актуальных задач (таких как: плавление нанокластеров металлов, огрубление поверхности твердых тел и т.д.)

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины является ознакомление студентов с классическими методами описания фазовых переходов в модели Изинга в приближении среднего поля.

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

Курс предполагает знание основ квантовой физики, физике твердого тела.

### 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
проектно-конструкторский			
Организация и	Производство	ПК-1.2 [1] - Способен	3-ПК-1.2[1] - Знание

планирование производственного процесса; наладка технологического оборудования; изготовление оптических волокон; контроль качества изготовления оптических волокон	легированных редкоземельными ионами оптических волокон, включающее в себя производство заготовок, вытяжку активного оптического волокна и его тестирование	к разработке и исследованию в области лазерной спектроскопии; эффектов когерентного пленения населенности уровней; оптических и ядерных стандартов частоты  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.038	основы лазерной спектроскопии, эффектов когерентного пленения населенности уровней, оптических и ядерных стандартов частоты; У-ПК-1.2[1] - Уметь использовать в своей профессиональной деятельности основные методики и средства измерения для разработок в области лазерной спектроскопии; эффектов когерентного пленения населенности уровней; оптических и ядерных стандартов частоты; В-ПК-1.2[1] - Владеть основами разработки и исследования оптических систем для лазерной спектроскопии; эффектов когерентного пленения населенности уровней; оптических и ядерных стандартов частоты
научно-исследовательский			
Анализ поставленной задачи исследований в области лазерной техники и лазерных технологий;- математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, разработка программ и их отдельных блоков, отладка и настройка для решения задач лазерной техники и лазерных технологий;	процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного	ПК-1 [1] - Способен к математическому моделированию процессов и объектов лазерной техники и технологий на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004, 40.011	3-ПК-1[1] - Знать возможности стандартных пакетов автоматизированного проектирования при математическом моделировании объектов лазерной техники и технологий.; У-ПК-1[1] - Уметь решать типичные математические задачи на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования; В-ПК-1[1] - Владеть навыками самостоятельной

<p>проведение экспериментальных исследований взаимодействия лазерного излучения с веществом; проведение измерений по заданным методикам с выбором технических средств и обработкой результатов; составление описаний проводимых исследований и разрабатываемых проектов; осуществление наладки, настройки, юстировки и опытной проверки лазерных приборов и лазерных технологических систем;</p>	<p>излучения; программное обеспечение и компьютерное моделирование в лазерной технике и лазерных технологиях.</p>		<p>разработки программ при математическом моделировании процессов и объектов лазерной техники и технологий</p>
--	---	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального</p>

		модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	--	---

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 2	9-12	4/4/0		25	КИ-12	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/20/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1,

							У-ПК-1, В-ПК-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

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	12	20	0
<b>1-8</b>	<b>Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 1</b>	8	16	0
1 - 8	<b>Тема 1</b> Введение. Фазовые переходы (ФП) первого и второго рода. Примеры ФП 1 и ФП 2. Магнитные ФП. Классификация магнетиков. Магнитное упорядочение. Природа магнитного момента у атома. Невзаимодействующие магнитные моменты во внешнем магнитном поле. Формула Ланжевена. Система локальных магнитных моментов со взаимодействием. Природа обменного взаимодействия. Молекулярное поле Вейсса. Модель Изинга. Приближение среднего поля атома. Уравнение Вейсса. Метод Брэгга-Вильямса. Теплоемкость в приближении среднего поля. Восприимчивость. Одномерная модель Изинга. Отсутствие ФП. Ближний и дальний порядок. Корреляционная функция в модели Изинга. Флуктуации при $T > T_C$ . Теплоемкость ФП вблизи $T_C$ . Теплоемкость ферромагнетика в приближении среднего поля.	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-12</b>	<b>Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 2</b>	4	4	0
9 - 12	<b>Тема 2</b> Модель Гейзенберга. Основное состояние ферромагнетика. Спиновые волны. Энергия магнонов. Термодинамика магнонов. Намагниченность. Теплоемкость. Парамагнетизм Паули. Ферромагнетизм в модели Стонера. Фазовый переход газ - жидкость (конденсация). Приближение среднего поля. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Конденсация - модель решеточного газа. Флуктуации в модели решеточного газа. Переход жидкость - твердое тело. Кристаллизация. Параметр порядка кристаллизации. Фазовый переход металл-изолятор. Переход Мотта. Бозе-конденсация в идеальном газе. Возбуждение в слабо неидеальном Бозе-газе.	Всего аудиторных часов		
		4	4	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>8 Семестр</i>
1 - 8	<b>Магнитные фазовые переходы</b> Примеры ФП 1 и ФП 2. Магнитное упорядочение. Природа магнитного момента у атома. Формула Ланжевена. Система локальных магнитных моментов со взаимодействием. Уравнение Вейсса. Метод Брэгга-Вильямса. Одномерная модель Изинга. Корреляционная функция в модели Изинга. Теплоемкость ферромагнетика в приближении среднего поля.
9 - 16	<b>Фазовые переходы 1 и 2 рода. Переход Металл-изолятор. Бозе- конденсация</b> Спиновые волны. Энергия магнонов. Термодинамика магнонов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Флуктуации в модели решеточного газа. Параметр порядка кристаллизации. Переход Мотта. Возбуждение в слабо неидеальном Бозе-газе.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки, курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

## 7. 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-12
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-12

ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12

### 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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «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.

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Е65 Equilibrium Statistical Physics : Phases of Matter and Phase Transitions, , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2008
2. ЭИ Б 82 Квантовая статистическая механика. : учебное пособие, Кондратьев А. С., Борисёнок С. В., Москва: Физматлит, 2011
3. ЭИ П 85 Квантово-статистическая теория твердых тел : , Мамонова М. В., Прудников В. В., Прудников П. В., Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 53 Л22 Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика.Ч.1, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2013
5. ЭИ Ф 80 Уравнения состояния вещества от идеального газа до кварк-глюонной плазмы : учебное пособие, Фортон В. Е., Москва: Физматлит, 2012
6. 539.1 Б82 Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах : учебное пособие для вузов, Троян В.И., Тронин В.Н., Борман В.Д., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Л22 Теоретическая физика Т.10 Физическая кинетика, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2007
2. 53 Л22 Теоретическая физика Т.9 Статистическая физика. Ч.2: Теория конденсированного состояния , Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2004
3. 544 С89 Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах : , Суздалев И.П., Москва: КРАСАНД, 2012

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

При изучении курса студенту необходимо усвоить физические основы физики фазовых переходов первого и второго рода. Знать и понятия «фаза», «фазовый переход», «приближение среднего поля», «параметр порядка». Понимать отличие фазовых переходов первого и второго

рода. Уметь выводить уравнения Ланжевена, Ван-дер-Ваальса. Понимать пределы применимости моделей Изинга и Гейзенберга, а так же решеточной модели. Для более полного понимания курса необходимо углубить познания в области квантовой физики. Научиться применять методы описания многочастичных квантовомеханических систем – вторичное квантование, применять теоретические знания для решения задачи исследования моделей в области фазовых переходов. Необходимо ознакомиться с фазовыми переходами металл-изолятор и Бозе-конденсацией. В рамках курса предусмотрено ознакомление студентов с современными методами статистической физики, применяемых для решения актуальных задач (таких как: плавление нанокластеров металлов, огрубление поверхности твердых тел и т.д.)

Текущий контроль обучения представлен следующим видом аттестации:

– Контроль итогов (на 8 и 16 неделе обучения).

На выбор преподавателя студенту выдается 5 вопросов из фонда вопросов. Время на подготовку – 20 минут. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а так же роль и активность отдельных студентов.

В рамках обучения дисциплине также предусмотрено выдача студентам Большого домашнего задания, включающего в себя ряд задач различного уровня сложности. При подготовке к Устным опросам и решению задач БДЗ рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1) Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика. Ч.1 / Ландау Л.Д. - Москва: Физматлит, 2013;

2) Квантовая статистическая механика Кондратьев А.С.; Борисёнок С.В. - Москва: Физматлит, 2011;

3) Уравнения состояния вещества: от идеального газа до кварк-глюонной плазмы / Фортов В.Е. - Москва: Физматлит, 2012;

4) Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах: учебное пособие для вузов / В.Д. Борман, В.Н. Тронин, В.И. Троян - Москва: НИЯУ МИФИ, 2011.

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

При изучении курса студенту необходимо усвоить физические основы физики фазовых переходов первого и второго рода. Знать и понятия «фаза», «фазовый переход», «приближение среднего поля», «параметр порядка». Понимать отличие фазовых переходов первого и второго рода. Уметь выводить уравнения Ланжевена, Ван-дер-Ваальса. Понимать пределы применимости моделей Изинга и Гейзенберга, а так же решеточной модели. Для более полного понимания курса необходимо углубить познания в области квантовой физики. Научиться применять методы описания многочастичных квантовомеханических систем – вторичное квантование, применять теоретические знания для решения задачи исследования моделей в области фазовых переходов. Необходимо ознакомиться с фазовыми переходами металл-изолятор и Бозе-конденсацией. В рамках курса предусмотрено ознакомление студентов с современными методами статистической физики, применяемых для решения актуальных задач (таких как: плавление нанокластеров металлов, огрубление поверхности твердых тел и т.д.)

Текущий контроль обучения представлен следующим видом аттестации:

– Контроль итогов (на 8 и 16 неделе обучения).

На выбор преподавателя студенту выдается 5 вопросов из фонда вопросов. Время на подготовку – 20 минут. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а так же роль и активность отдельных студентов.

В рамках обучения дисциплине также предусмотрено выдача студентам Большого домашнего задания, включающего в себя ряд задач различного уровня сложности. При подготовке к Устным опросам и решении задач БДЗ рекомендуется пользоваться следующей литературой:

1) Теоретическая физика Т.5 Статистическая физика. Ч.1 / Ландау Л.Д. - Москва: Физматлит, 2013;

2) Квантовая статистическая механика Кондратьев А.С.; Борисёнок С.В. - Москва: Физматлит, 2011;

3) Уравнения состояния вещества: от идеального газа до кварк-глюонной плазмы / Фортов В.Е. - Москва: Физматлит, 2012;

4) Физическая кинетика атомных процессов в наноструктурах: учебное пособие для вузов / В.Д. Борман, В.Н. Тронин, В.И. Троян - Москва: НИЯУ МИФИ, 2011.

Автор(ы):

Васильев Олег Станиславович, к.ф.-м.н.

Троян Виктор Иванович, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Пальчиков В.Г.