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 № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Направление подготовки (специальность) [1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	**Трудоемкость, кред.**	**Общий объем курса, час.**	**Лекции, час.**	**Практич. занятия, час.**	**Лаборат. работы, час.**	**В форме практической подготовки, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
8	2	72	22	22	0		28	0	З
Итого	2	72	22	22	0	0	28	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**
научно-исследовательский			

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 эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок, участие во внедрении результатов исследований и разработок.	Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов.	ПК-14.2 [1] - Способен проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния вещества с целью разработки полупроводниковых, сверхпроводниковых, тонкопленочных и наноструктурированных материалов, сверхпроводящих устройств и оптоэлектронных приборов; в области оптического приборостроения, оптических материалов и технологий; в области лазерной физики с целью создания новых эталонов, методик ведения измерений и средств измерений с их последующей аттестацией и вводом в реестр средств измерений для нужд нанометрологии *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.049	З-ПК-14.2[1] - знать основные современные достижения физики твердого тела и возможности современной экспериментальной техники; основы физической оптики, теорию интерференции, дифракции, основы атомной и молекулярной спектроскопии; способы и методы создания новых эталонов.; У-ПК-14.2[1] - уметь построить математическую модель явления, рассчитать схему эксперимента, провести оценки параметров материалов, выбрать необходимые материалы и методики для решения конкретных задач с учетом дальнейшего применения в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики конденсированного состояния вещества и средств измерений.; В-ПК-14.2[1] - владеть основами спектроскопии атомов и молекул, методиками ведения измерений и средств измерений;

			методами получения, анализа и описания параметров и характеристик процессов в экспериментальных установках физики твердого тела и лазерной физики.
выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства	ПК-2 [1] - Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.035, 40.011	З-ПК-2[1] - Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. ; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.
разработка математических моделей, технологий для решения инженерных, технических и информационных задач	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области суперкомпьютерного моделирования инженерно-физических процессов в науке, технике, технологиях,	ПК-3 [1] - Способен применять численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач *Основание:* Профессиональный стандарт: 06.001, 40.011	З-ПК-3[1] - Знать численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач. ; У-ПК-3[1] - Уметь применять численные методы решения

	а также в сферах наукоемкого производства		дифференциальных и интегральных уравнений для различных физико-технических задач.; В-ПК-3[1] - Владеть навыками решения дифференциальных и интегральных уравнений численными методами для физико-технических задач.

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)

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
	8 Семестр						
1	Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 1	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
2	Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 2	9-12	6/6/0		25	КИ-12	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3,

							У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
	Итого за 8 Семестр		22/22/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	З	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2

* – 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
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	8 Семестр	22	22	0
1-8	**Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 1**	16	16	0
1 - 8	**Тема 1** 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>TC. Теплоемкость ФП вблизи TC. Теплоемкость ферромагнетика в приближении среднего поля.	Всего аудиторных часов		
		16	16	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	**Фазовые переходы 1 и 2 рода. Часть 2**	6	6	0
9 - 12	**Тема 2**	Всего аудиторных часов		

	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.	6	6	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**
	8 Семестр
1 - 8	**Магнитные фазовые переходы** 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	**Фазовые переходы 1 и 2 рода. Переход Металл-изолятор. Бозе- конденсация** 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

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-14.2	З-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-12
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-3	З, 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-х балльной шкале**	**Отметка о зачете**	**Оценка ECTS**
90-100	5 – *«отлично»*	*«зачтено»*	A
85-89	4 – «*хорошо*»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		
60-64			E
ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

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 идельного газа до кварк-глюонной плазмы : учебное пособие, Фортов 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 12 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 домашнего задания, включающего в себя ряд задач различного уровня сложности.

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.)

При проведении занятий рекомендуется использование демонстраций физических моделирований систем (в частности, модель Изинга).

Текущий контроль обучения представлен следующим видом аттестации:

– Контроль итогов.

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.

Автор(ы):

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

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

Рецензент(ы):

Пальчиков В.Г.