

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2025 17:22:56
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Е.М. Семенова

«24»

июня

2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Фазовые переходы

Закреплена за
кафедрой:

Физики конденсированного состояния

Направление
подготовки:

03.03.02 Физика

Направленность
(профиль):

**Физика, технологии и компьютерное моделирование
функциональных материалов**

Квалификация:

Бакалавр

Форма обучения:

очная

Семестр:

6

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Большикова Наталья Николаевна

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

«Фазовые переходы» является описание физических свойств объектов и изучение фазовых переходов в конденсированных средах, методов их описания, а также рассмотрение различных аспектов их практического применения.

Задачи:

являются:

- ☐ формирование представлений об основных понятиях фазовых переходов в физике конденсированного состояния;
- ☐ ознакомление обучающихся с классическими подходами к описанию фазовых переходов в жидких и ферромагнитных средах, к изучению свойств систем вблизи фазовых переходов, освоению теории фазовых переходов Ландау и современных направлений в теории фазовых переходов;
- ☐ получение практического опыта анализа физических процессов, изучаемых в курсе физики конденсированного состояния вещества, с точки зрения теории фазовых переходов

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Дифференциальные уравнения

Молекулярная физика

Электричество и магнетизм

Кристаллография

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Преддипломная практика

Научно-исследовательская работа

Физика нелинейных кристаллов

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе:	
аудиторные занятия	42
самостоятельная работа	22

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-2.2: Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

Уровень 1 физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния

Уровень 1 составлять отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

Уровень 1 необходимыми знаниями и умениями для анализа физических явлений и процессов в области физики конденсированного состояния

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

Уровень 1 задачу, выделяя ее базовые составляющие

Уровень 1 анализировать задачу, выделяя ее базовые составляющие

Уровень 1 методами решения задачи, выделяя ее базовые составляющие

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	6

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Введение. Сведения из термодинамики.					
1.1	Основные законы и уравнения термодинамики. Характеристические функции, химический потенциал, его связь со свободной энергией Гиббса. Системы с дополнительными параметрами. Уравнение состояния сложной системы, идеальная сложная система. Характеристические функции сложной системы. Основы термодинамики магнетиков и диэлектриков.	Лек	6	2	Л1.1Л2.1 Л3.1 Л3.2	
1.2	Основные законы и уравнения термодинамики. Характеристические функции, химический потенциал, его связь со свободной энергией Гиббса. Системы с дополнительными параметрами. Уравнение состояния сложной системы, идеальная сложная система. Характеристические функции сложной системы. Основы термодинамики магнетиков и диэлектриков.	Ср	6	2		
	Раздел 2. Термодинамика фазовых превращений.					

2.1	Экстремальные критерии равновесия. Критерии устойчивости однородной системы: детерминант и коэффициент устойчивости, бинадаль и спинодаль, функция отклика. Равновесие фаз гетерогенной системы, диаграмма равновесия. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Фазовые переходы, их классификация по Эренфесту, фазовые переходы II рода. Уравнение Эренфеста	Лек	6	4		
2.2	Экстремальные критерии равновесия. Критерии устойчивости однородной системы: детерминант и коэффициент устойчивости, бинадаль и спинодаль, функция отклика. Равновесие фаз гетерогенной системы, диаграмма равновесия. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Фазовые переходы, их классификация по Эренфесту, фазовые переходы II рода. Уравнение Эренфеста	Пр	6	2		
2.3	Экстремальные критерии равновесия. Критерии устойчивости однородной системы: детерминант и коэффициент устойчивости, бинадаль и спинодаль, функция отклика. Равновесие фаз гетерогенной системы, диаграмма равновесия. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Фазовые переходы, их классификация по Эренфесту, фазовые переходы II рода. Уравнение Эренфеста	Ср	6	4		
	Раздел 3. Классическая теория критических явлений. Теория конденсации Ван-дер-Ваальса.					

3.1	Уравнение Ван-дер-Ваальса в приближении среднего поля. Изотерма флюида Ван-дер-Ваальса, экспериментальные изотермы, правило Максвелла, критическая точка, бинадаль и спинодаль, флюида Ван-дер-Ваальса. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса и естественные состояния. Основы теории подобия: основные теоремы, критерии подобия. Термодинамическое подобие.	Лек	6	4		
3.2	Уравнение Ван-дер-Ваальса в приближении среднего поля. Изотерма флюида Ван-дер-Ваальса, экспериментальные изотермы, правило Максвелла, критическая точка, бинадаль и спинодаль, флюида Ван-дер-Ваальса. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса и естественные состояния. Основы теории подобия: основные теоремы, критерии подобия. Термодинамическое подобие.	Пр	6	2		
3.3	Уравнение Ван-дер-Ваальса в приближении среднего поля. Изотерма флюида Ван-дер-Ваальса, экспериментальные изотермы, правило Максвелла, критическая точка, бинадаль и спинодаль, флюида Ван-дер-Ваальса. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса и естественные состояния. Основы теории подобия: основные теоремы, критерии подобия. Термодинамическое подобие.	Ср	6	4		
	Раздел 4. Ферромагнитное превращение					

4.1	Сведения из статистической физики: квантовая сумма состояний и ее связь со свободной энергией системы. Магнетик Изинга, поле Вейсса, параметр порядка. Описание перехода "ферро-магнетик-парамагнетик", точка Кюри. Приближение Брегга-Вильямса в теории ферромагнитного превращения. Изотермы конденсации и намагничивания в окрестности критической точки.	Лек	6	4		
4.2	Сведения из статистической физики: квантовая сумма состояний и ее связь со свободной энергией системы. Магнетик Изинга, поле Вейсса, параметр порядка. Описание перехода "ферро-магнетик-парамагнетик", точка Кюри. Приближение Брегга-Вильямса в теории ферромагнитного превращения. Изотермы конденсации и намагничивания в окрестности критической точки.	Пр	6	2		
4.3	Сведения из статистической физики: квантовая сумма состояний и ее связь со свободной энергией системы. Магнетик Изинга, поле Вейсса, параметр порядка. Описание перехода "ферро-магнетик-парамагнетик", точка Кюри. Приближение Брегга-Вильямса в теории ферромагнитного превращения. Изотермы конденсации и намагничивания в окрестности критической точки.	Ср	6	4		
	Раздел 5. Макроскопические свойства вблизи критической точки.					

5.1	Термодинамическое описание систем в окрестности критической точки, критические индексы. Критическая изотерма, изотермическая проницаемость, параметр порядка и теплоемкость, флюида Ван-дер-Ваальса в окрестности критической точки, критические индексы. Критическая изотерма, магнитная восприимчивость, параметр порядка и теплоемкость магнетика Брегга- Вильямса, критические индексы.	Лек	6	4		
5.2	Термодинамическое описание систем в окрестности критической точки, критические индексы. Критическая изотерма, изотермическая проницаемость, параметр порядка и теплоемкость, флюида Ван-дер-Ваальса в окрестности критической точки, критические индексы. Критическая изотерма, магнитная восприимчивость, параметр порядка и теплоемкость магнетика Брегга- Вильямса, критические индексы.	Пр	6	4		
5.3	Термодинамическое описание систем в окрестности критической точки, критические индексы. Критическая изотерма, изотермическая проницаемость, параметр порядка и теплоемкость, флюида Ван-дер-Ваальса в окрестности критической точки, критические индексы. Критическая изотерма, магнитная восприимчивость, параметр порядка и теплоемкость магнетика Брегга- Вильямса, критические индексы.	Ср	6	4		
	Раздел 6. Феноменологическая теория фазовых переходов II рода.					

6.1	Разложение Ландау, основные допущения. Линии и изолированные точки фазовых переходов II рода. Разложение Ландау для основного ферромагнетика. Критические индексы для параметра порядка критической изотермы, магнитной восприимчивости и теплоемкости. Критическая точка флюида в приближении Ландау. Параметр порядка и “полевой” параметр. Уравнение состояния в околоскритической области, критическая изотерма, критические индексы. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках. Зависимость типа перехода от знака коэффициента 3 члена разложения Ландау. Критическая точка Кюри (T_c - точка). Фазовый переход I рода, близкий к критической точке Кюри. Флуктуационная теория фазовых переходов II рода. Переход и плотности большого потенциала, учет флуктуаций параметра порядка, приближение Орнштейна-Зернике. Сведения из термодинамической теории флуктуаций, флуктуации Фурье- компонент дисперсии параметра порядка. Корреляция флуктуаций, корреляционная функция и радиус корреляций. Критические индексы, с флуктуацией. Границы применимости разложения Ландау, критерий Гинзбурга. Сингулярность критической точки. Сравнение феноменологической теории с экспериментом и результатами точных расчетов для модельных систем	Лек	6	6		
-----	--	-----	---	---	--	--

6.2	Разложение Ландау, основные допущения. Линии и изолированные точки фазовых переходов II рода. Разложение Ландау для основного ферромагнетика. Критические индексы для параметра порядка критической изотермы, магнитной восприимчивости и теплоемкости. Критическая точка флюида в приближении Ландау. Параметр порядка и “полевой” параметр. Уравнение состояния в околоскритической области, критическая изотерма, критические индексы. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках. Зависимость типа перехода от знака коэффициента 3 члена разложения Ландау. Критическая точка Кюри (T_c - точка). Фазовый переход I рода, близкий к критической точке Кюри. Флуктуационная теория фазовых переходов II рода. Переход и плотности большого потенциала, учет флуктуаций параметра порядка, приближение Орнштейна-Зернике. Сведения из термодинамической теории флуктуаций, флуктуации Фурье- компонент дисперсии параметра порядка. Корреляция флуктуаций, корреляционная функция и радиус корреляций. Критические индексы, с флуктуацией. Границы применимости разложения Ландау, критерий Гинзбурга. Сингулярность критической точки. Сравнение феноменологической теории с экспериментом и результатами точных расчетов для модельных систем	Пр	6	4		
-----	--	----	---	---	--	--

6.3	Разложение Ландау, основные допущения. Линии и изолированные точки фазовых переходов II рода. Разложение Ландау для основного ферромагнетика. Критические индексы для параметра порядка критической изотермы, магнитной восприимчивости и теплоемкости. Критическая точка флюида в приближении Ландау. Параметр порядка и “полевой” параметр. Уравнение состояния в околоскритической области, критическая изотерма, критические индексы. Фазовые переходы в сегнетоэлектриках. Зависимость типа перехода от знака коэффициента 3 члена разложения Ландау. Критическая точка Кюри (□ - точка). Фазовый переход I рода, близкий к критической точке Кюри. Флуктуационная теория фазовых переходов II рода. Переход и плотности большого потенциала, учет флуктуаций параметра порядка, приближение Орнштейна-Цернике. Сведения из термодинамической теории флуктуаций, флуктуации Фурье- компонент дисперсии параметра порядка. Корреляция флуктуаций, корреляционная функция и радиус корреляций. Критические индексы, с флуктуацией. Границы применимости разложения Ландау, критерий Гинзбурга. Сингулярность критической точки. Сравнение феноменологической теории с экспериментом и результатами точных расчетов для модельных систем	Ср	6	4		
	Раздел 7. Современные направления в теории фазовых переходов.					

7.1	Феноменологические неравенства для критических индексов. Гипотеза однородности Уидома. Гипотеза масштабной инвариантности, скейлинговые законы в формулировке Каданова, формулировка Вильсона. Роль размерностей систем и параметра порядка, универсальные закономерности. Элементы синергетики и процессы самоорганизации. Текущее равновесие по Бергаланфи в открытых системах. Диссипативные структуры. Ячейка Бонэра и генерация лазера на примере кинетических структур. Условия возникновения диссипативных структур. Критерий эволюции Пригожина-Глансдорфа. Н-теорема нелинейной неравновесной термодинамики	Лек	6	4		
-----	---	-----	---	---	--	--

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

см Приложение 1

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

См приложение 1

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Рейтинг

1. Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1 – 3.

40 баллов, из них 20 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа.

9-ая неделя.

2. Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 4 – 7.

60 баллов, из них 40 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа.

18-ая неделя

Критерии: работа на каждом практическом занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Вшивков С. А., Фазовые переходы полимерных систем во внешних полях, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-1529-8, URL: https://e.lanbook.com/book/211370

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Муртазаев, Рамазанов, Бадиев, Фазовые переходы в фрустрированной модели Изинга на треугольной решетке, Тверь: Тверской государственный университет, , ISBN: , URL: http://texts.lib.tversu.ru/texts/11809t.pdf

9.1.3. Методические разработки

Шифр	Литература
Л3.1	, Фазовые переходы, поверхностное натяжение, Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/book/144906
Л3.2	Прудников В. В., Вакилов А. Н., Прудников П. В., Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования, Москва: Физматлит, 2009, ISBN: 978-5-9221-0961-1, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68374

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Самостоятельная работа студентов предполагает:

–обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекции-онными и лабораторными занятиями;

–углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным те-мам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;

–использование материалов рабочей программы для систематизации зна-ний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

Перечень вопросов для систематизации знаний:

1. Что называется гомо и гетеросистемами; компонентами гетеросисте-мы;

фазой?

2. Что такое фазовый переход?
3. Признаки параметров системы?
4. Какие параметры различаются?
5. Уравнения состояния и их виды?
6. Зачем необходимы термопотенциалы?
7. Связь полного термопотенциала с химическим потенциалом?
8. Отличия сложных систем от простых. Уравнения термодинамики сложных систем, их структура.
9. Уравнение состояния сложной системы. Идеальная сложная система.
10. Термопотенциалы сложных систем.
11. Обобщенные потенциалы.
12. Критерии термодинамического равновесия.
13. Условие равновесия фаз гетеросистемы.
14. Уравнение кривой равновесия.
15. Диаграмма равновесия.
16. Сущность приема, называемого «приближением среднего по-ля».
17. Отличность уравнений Менделеева – Клайперона и Ван- дер- Вальса.
18. Отличия теоретической и опытной изотерм для реальных газов.
19. Критическое состояние термосистемы.
20. Отличие приведенного и обычного уравнений Ван- дер- Вальса.
21. Спинодаль и бинодаль.
22. Модель Изинга.
23. Гипотеза Вейсса.
24. Модель Брегга- Вильямса.
25. Отличия кривых $H(\square)$ и $P(p)$ для магнетиков ВДВ- флюида.
26. Что характеризуют критические индексы.
27. Зачем вводятся критические индексы.