

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 10.08.2023 16:35:01
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Фазовые переходы

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Большакова Н.Н.

Тверь, 2022

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины «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.

Задачами освоения дисциплины являются: формирование представлений об основных понятиях фазовых переходов в физике конденсированного состояния, ознакомление с классическими подходами в описании фазовых переходов в жидких и ферромагнитных средах, изучения свойств систем вблизи фазовых переходов, освоение теории фазовых переходов Ландау и современных направлений в теории фазовых переходов.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Фазовые переходы» изучается в модуле «Диэлектрические материалы в радиофизике» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Учебная дисциплина непосредственно связана с дисциплинами «Термодинамика и статистическая физика» и «Физика сегнетоэлектриков», «Физика магнитных материалов».

3. Объем дисциплины: 4 зачетные единицы, 144 академических часа, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 30 часов, практические занятия 30 часов;

самостоятельная работа: 84 часа, в том числе контроль 27 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения	Планируемые результаты обучения по дисциплине
---------------------------------	---

образовательной программы (формируемые компетенции)	
ПК-3. Способен осуществлять разработку радиоэлектронных средств.	ПК-3.1. Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиоэлектронных средств.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 7 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
Введение. Сведения из термодинамики. 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.	16	4		4		8
Термодинамика фазовых превращений. Экстремальные критерии равновесия. Критерии устойчивости однофазной	16	4		4		8

системы: детерминант и коэффициент устойчивости, бинадаль и спинадаль, функция отклика. Равновесие фаз гетерогенной системы, диаграмма равновесия. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Фазовые переходы, их классификация по Эренфесту, фазовые переходы II рода. Уравнение Эренфеста.					
Классическая теория критических явлений. Теория конденсации Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса в приближении среднего поля. Изотерма флюида Ван-дер-Ваальса, экспериментальные изотермы, правило Максвелла, критическая точка, бинадаль и спинадаль, флюида Ван-дер-Ваальса. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса и естественные состояния. Основы теории подобия: основные теоремы, критерии подобия. Термодинамическое подобие.	16	4		4	8
Ферромагнитное превращение. Сведения из статистической физики: квантовая сумма состояний и ее связь со свободной энергией системы. Магнетик Изинга, поле Вейсса, параметр порядка. Описание перехода "ферромагнетик-парамагнетик", точка Кюри. Приближение Брега-Вильямса в теории ферромагнитного превращения. Изотермы конденсации и намагничивания в окрестности критической точки.	16	4		4	8
Макроскопические свойства вблизи критической точки. 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 Брега-Вильямса, критические индексы.	16	4		4	8
Феноменологическая теория фазовых	21	6		6	9

<p>переходов II рода. 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 (λ - 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.</p>						
<p>Современные направления в теории фазовых переходов. 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</p>	16	4		4		8

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.						
экзамен	27					27
ИТОГО	144	30		30		84

III. Образовательные технологии

Учебная программа- наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Введение. Сведения из термодинамики. 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.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
Термодинамика фазовых превращений. Экстремальные критерии равновесия. Критерии устойчивости однородной системы: детерминант и коэффициент устойчивости, бинадаль и спинадаль, функция отклика. Равновесие фаз гетерогенной системы, диаграмма равновесия. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Фазовые переходы, их классификация по Эренфесту, фазовые переходы II рода. Уравнение Эренфеста.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>
Классическая теория критических явлений. Теория конденсации Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса в приближении среднего поля. Изотерма флюида Ван-дер-Ваальса, экспериментальные изотермы, правило Максвелла, критическая точка, бинадаль и спинадаль, флюида Ван-дер-Ваальса. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса и естественные состояния. Основы теории подобия: основные теоремы, критерии подобия. Термодинамическое подобие.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i>

<p>Ферромагнитное превращение. Сведения из статистической физики: квантовая сумма состояний и ее связь со свободной энергией системы. Магнетик Изинга, поле Вейсса, параметр порядка. Описание перехода ”ферромагнетик-парамагнетик”, точка Кюри. Приближение Брега-Вильямса в теории ферромагнитного превращения. Изотермы конденсации и намагничивания в окрестности критической точки.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i></p>
<p>Макроскопические свойства вблизи критической точки. Термодинамическое описание систем в окрестности критической точки, критические индексы.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i></p>
<p>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 Брега- Вильямса, критические индексы.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i></p>
<p>Феноменологическая теория фазовых переходов II рода. 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 (λ - 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</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i></p>

<p>флуктуацией. Границы применимости разложения Ландау, критерий Гинзбурга. Сингулярность критической точки. Сравнение феноменологической теории с экспериментом и результатами точных расчетов для модельных систем.</p>		
<p>Современные направления в теории фазовых переходов. 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 синергетика и процессы самоорганизации. Текущее равновесие по Берталанфи 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.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. дискуссия</i></p>

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

ПК-3. Способен осуществлять разработку радиоэлектронных средств:

ПК-3.1. Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиоэлектронных средств.

Задание:

Выполнить тест:

- Верно ли, что соотношение для теплоемкости $c_v = dU/dT$ (где U - внутренняя энергия, T - абсолютная температура) применимо к любой простой системе?
 - Нет, потому что $U = U(T)$ только для идеального газа.
 - Верно, и это следует из первого закона термодинамики.
 - Нет, потому что $dU/dT = c_p$.
 - Да, поскольку при $V = const$ работа $dA = 0$ и теплота $dQ = dU$.
- Является ли переход проводника из нормального состояния в сверхпроводящее фазовым переходом второго рода?
 - Нет, это фазовый переход первого рода.
 - Да, такой переход является фазовым переходом второго рода, т.к. он не сопровождается скачками вторых производных от химического потенциала.
 - Нет, поскольку это фазовый переход третьего рода.
Да, но только в отсутствии магнитного поля. Аналогичный переход в магнитном поле является фазовым переходом первого рода.
- Может ли температура плавления вещества понижаться с ростом внешнего давления?
 - Да, для группы аномальных веществ, у которых удельный объем расплава больше, чем удельный объем кристалла.
 - Нет, т.к. это противоречит уравнению Клапейрона-Клаузиуса.
 - Да, и так ведет себя температура плавления всех веществ.
 - Да, но только для простых веществ.
- Ферромагнетики и сегнетоэлектрики не имеют ничего общего в отношении своих свойств, в частности, в отношении фазовых переходов. Верно ли это?
 - Да, поскольку в первом случае имеются в виду магнитные свойства и фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик, а во втором – электрические свойства и переход сегнетоэлектрика в состояние линейного диэлектрика.
 - Аналогия имеется, но весьма отдаленная.
 - Сегнетоэлектрики могут рассматриваться как электрические аналоги ферромагнетиков. И те, и другие имеют доменную структуру. Для тех и других существует температура Кюри, отвечающая фазовому переходу второго рода.
 - Да, за исключением особых случаев.
- Правильно ли утверждение, что квантовая теория теплоемкости полностью опровергает классическую теорию теплоемкости идеального газа?
 - Да, поскольку квантовая теория предусматривает совершенно другой вид зависимости теплоемкости c_v от температуры T .
 - Нет, поскольку квантовая теория, разработанная М. Планком, лишь подтвердила результаты классической теории.

- Нет, поскольку квантовая теория лишь дополнила и уточнила классическую. В соответствии с квантовой теорией, теплоемкость увеличивается с ростом температуры ступенчатым образом по мере «размораживания» степеней свободы. При адекватном выборе числа степеней свободы, классическая теория идеально выполняется. Да, потому что поведение теплоемкости описывается квантовой механикой.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

Задание:

Ответ на вопрос: 1. Описать характеристические функции, химический потенциал, его связь со свободной энергией Гиббса.

2. Описать характеристические функции сложной системы. Основы термодинамики магнетиков и диэлектриков.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки:

- Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.
- Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.
- Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Уравнение Ван-дер-Ваальса в приближении среднего поля.
2. Изотерма флюида Ван-дер-Ваальса.
3. Экспериментальные изотермы.
4. Правило Максвелла, критическая точка.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Бинодаль и спинодаль, флюида Ван-дер-Ваальса.
2. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса и естественные состояния.
3. Основы теории подобия: основные теоремы, критерии подобия.
4. Термодинамическое подобие.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Термодинамическое описание систем в окрестности критической точки, критические индексы.
2. Критическая изотерма, изотермическая проницаемость.
3. Параметр порядка и теплоемкость.
4. Флюида Ван-дер-Ваальса в окрестности критической точки, критические индексы.
5. Критическая изотерма, магнитная восприимчивость.
6. Параметр порядка и теплоемкость магнетика Брегга- Вильямса.
7. Критические индексы.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Вшивков, С.А. Фазовые переходы полимерных систем во внешних полях [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 368 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30431>
2. Фазовые равновесия в однокомпонентных системах: учебное пособие. Казань: Издательство КНИТУ, 2014. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=427849&sr=1
3. Прудников В. В. , Вакилов А. Н. , Прудников П. В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования. Москва: Физматлит, 2009, 224 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=68374&sr=1

б) Дополнительная литература:

1. Вшивков, С.А. Фазовые и структурные переходы жидкокристаллических наносистем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 112 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4038>.

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.ЭБС«ZNANIUM.COM» www.znanium.com;

2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;

3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

Самостоятельная работа студентов предполагает:

–обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;

–углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;

–использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

Перечень вопросов для систематизации знаний:

1. Что называется: гомо и гетеросистемами; компонентами гетеросистемы; 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 поля».
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 $H(\mu)$ и $P(n)$ для магнетиков ВДВ- флюида.
26. Что характеризуют критические индексы.
27. Зачем вводятся критические индексы.

Учебно-научная лаборатория физики диэлектриков, пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков-полупроводников № 35	1. Экран настенный ScreenMedia 153*203 2. Ноутбук Samsung R 510 3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,2 200 ANSI Lm, 4. Комплект учебной мебели на 24	Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus. Acrobat Reader DC - бесплатно
--	---	--

(170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	посадочных мест 5. Вольтметр Щ 1516 6. Вольтметр В-7-26 7. Вольтметр В-3-39 8. Генератор ГЗ-109 9. Магазин сопротивлений Р4830 10. Мост Р524 11. Мост Р-571 12. Измеритель В5-509 13. Микротвердомер ПМТ-3 14. Осциллограф С-1-65 15. Вольтметр В-3-42 16. Усилитель У4-28 17. Генератор ГЗ-34 18. Прибор Е7-11 19. Генератор ГЗ-102 20. Генератор Г-4-158 21. Частотомер ЧЗ-34 22. Вольтметр В-3-38 (2 шт) 23. Прибор КМС-6 24. Вольтметр В-7-27 25. Печь СУОП044 26. Источник питания Б-5-50 27. Измеритель Х1-38 28. Измеритель разности фаз Ф2-16 29. Прибор Picoammeter 6485 30. Пробник напряжения до 2500 В 31. Измеритель фаз Е-4-11 32. Термостат ИТИ 33. Прибор Х1-46 34. Выпрямитель ТЕС 35. Осциллограф С-1-68 36. Усилитель У5-11 37. Микроскоп 7М-9	Google Chrome – бесплатно
---	--	---------------------------

VII. Материально-техническое обеспечение

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			