

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор института технологий и
инженерной механики

«» МЕХАНИКА

Могильная Е.П.
2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИКА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ»

По направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль подготовки «Физика»

Луганск 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика фазовых переходов» по направлению подготовки 03.03.02 Физика. – 15 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика фазовых переходов» составлена с учетом Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» августа 2020 года №891.

СОСТАВИТЕЛЬ:

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики
Харченко Е.И.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена на заседании кафедры физики
«18» 04 2023 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой физики  Корсунов К.А.

Переутверждена: « » 20 г., протокол №

Директор института технологий и инженерной механики  Могильная Е.П.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики

«18» 04 20 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической комиссии
института технологий и инженерной механики  Ясуник С.Н.

© Харченко Е.И., 2023 год

© ФГБОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – описание физических свойств объектов и изучение фазовых переходов в конденсированных средах, методов их описания, а также рассмотрение различных аспектов их практического применения.

Задачи изучения дисциплины:

сформировать представления об основных понятиях фазовых переходов в физике конденсированного состояния, в жидких и ферромагнитных средах;

освоить теорию фазовых переходов Ландау и современных направлений в теории фазовых переходов;

создать базовые знания о фазовых переходах, способах их описания и использования в практической работе.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Фазовые переходы в жидкостях и кристаллах» относится к вариативной части модуля профессионального цикла. Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин «Молекулярная физика», «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика», «Электричество и магнетизм», «Физика конденсированного состояния» и служит основой для освоения дисциплин «Введение в физику твердого тела», «Физика конденсированного состояния».

Для освоения дисциплины необходимо знать: основные понятия и методы математического анализа, линейной алгебры, интегральные уравнения и вариационное исчисление; дифференциальные уравнения; функции комплексного переменного; методы математической физики; разделы общей физики: молекулярная физика, термодинамика, электричество и магнетизм.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-1 Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом	ПК-1.1. Знает теоретические основы физических методов исследования и методы анализа свойств физических систем разного уровня организации.	Знать: основные определения фазовых переходов, типы фазовых переходов; уравнение Клапейрона-Клаузиуса и Эренфеста; условия равновесия фаз; правило Гиббса; фазовые диаграммы; теорию Ландау фазовых переходов второго рода, новые направления в теории фазовых переходов.
	ПК-1.2. Знает методы экспериментальных исследований в физике, возможности и области использования аппаратуры и оборудования для выполнения физических исследований.	Уметь: определять тип фазового перехода, четко формулировать основные определения и понятия; применять термодинамический подход к описанию фазовых переходов; определять границы применимости различных теорий;
	ПК-1.3. Умеет осуществлять выбор оборудования и методик для решения конкретных задач, эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование.	Владеть: навыками и приемами решения типичных задач физики
	ПК-1.4. Владеет навыками использования современных методов исследования в выбранной области	

отечественного и зарубежного опыта		фазовых переходов; применять полученные теоретические знания для описания фазовых переходов в кристаллах.
------------------------------------	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	108 (3 зач. ед)	Не предусмотрена
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	56	-
Лекции	28	-
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	28	-
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента / форма контактной работы	16 / 36	-
Форма аттестации	экзамен	-

4.2. Содержание разделов дисциплины

Семестр 8

Тема 1. Термодинамика фазовых превращений.

Термодинамическое описание равновесных систем. Термодинамические потенциалы. Термодинамические преобразования. Система с двумя степенями свободы. Система со многими степенями свободы. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал, его связь со свободной энергией Гиббса.

Фазы и фазовые превращения. Фазы. Фазовые переходы. Условия равновесия двух фаз химически однородного вещества. Фазовые диаграммы. Правило рычага.

Тема 2. Фазовые переходы в однокомпонентной системе.

Фазовые переходы в однокомпонентной системе. Теплота перехода. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Фазовый переход твердое тело-жидкость. Фазовый переход твердое тело-газ. Равновесие трех фаз.

Испарение и конденсация. Насыщенный пар. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Критическая точка.

Тема 3. Термодинамика многофазных систем.

Равновесие и условие равновесия трех фаз. Тройная точка. Диаграммы состояния в TV , PT и PV . Диаграммы состояния многофазных систем.

Реальные газы. Реальный газ и конденсированные системы. Отступление от уравнения состояния идеального газа. Уравнения Ван-дер-Ваальса.

Изотермы Ван-дер-Ваальса. Изотермы реальных газов. Критическое состояние системы «газ-жидкость». Критические параметры. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний. Метастабильные состояния. Правило фаз Гиббса. Частные случаи равновесия систем. Теорема Дюгема.

Тема 4. Растворы. Многокомпонентные системы.

Растворы. Растворимость веществ. Смеси жидкостей. Твердые растворы. Осмос и осмотическое давление. Закон Рауля.

Диаграммы состояния двухкомпонентной и трехкомпонентной систем. Двухкомпонентная система из двух жидкостей, находящихся в равновесии со своим паром. Азеотропные смеси. Затвердевание смеси жидкости. Трехкомпонентные системы.

Тема 5. Феноменологическая теория фазовых переходов второго рода.

Фазовые превращения второго рода. Характеристики фазовых переходов второго рода. Уравнения Эренфеста. Примеры фазовых превращений второго рода. Особенности фазовых переходов второго рода.

Термодинамика сверхпроводящего перехода. Основные особенности сверхпроводников. Термодинамика сверхпроводников. Основное уравнение термодинамики сверхпроводников. Фазовый переход в жидком гелии.

Тема 6. Теория Ландау фазовых переходов второго рода.

Параметр порядка. Элементы теории Ландау фазовых переходов второго рода. Скачки энтропии и теплоемкости. Скачки термического коэффициента расширения и сжимаемости.

Влияние внешнего поля на фазовый переход второго рода. Термодинамический потенциал при наложении внешнего поля. Влияние поля на симметрию фазы. Влияние внешнего поля на восприимчивость.

Тема 7. Фазовые переходы в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках.

Ферромагнитный фазовый переход. Ферромагнитный переход в рамках теории Ландау. Сегнетоэлектрический фазовый переход второго рода. Понятие о сегнетоэлектриках. Поляризованность. Точка Кюри. Сегнетоэлектрический переход в рамках теории Ландау.

Тема 8. Термодинамическая теория флуктуаций.

Термодинамическая теория флуктуаций: флуктуации термодинамических дисциплин. Описание критического состояния в модели среднего поля. Флуктуации параметра порядка. Элементы флуктуационной теории критического состояния.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Термодинамическое описание равновесных систем	2	-
2	Фазы и фазовые превращения	2	-
3	Фазовые переходы в однокомпонентной системе. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса	2	-
4	Испарение и конденсация. Пар. Критическая точка	2	-
5	Равновесие трех фаз	2	-
6	Реальные газы	2	-
7	Правило фаз Гиббса. Теорема Дюгема. Растворы	2	-
8	Диаграммы состояния двухкомпонентной и	2	-

	трехкомпонентной систем		
9	Фазовые превращения второго рода. Уравнения Эренфеста	2	-
10	Термодинамика сверхпроводящего перехода	2	-
11	Феноменологическая теория Ландау фазовых переходов второго рода. Влияние внешнего поля на фазовый переход второго рода	4	-
12	Ферромагнитный фазовый переход. Сегнетоэлектрический фазовый переход	4	-
Итого:		28	-

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Фазовые переходы. Правило рычага	2	-
2	Теплота фазового перехода	2	-
3	Молекулярная динамика	2	-
4	Уравнение Ван-дер-Ваальса	2	-
5	Критическая точка	2	-
6	Переходы жидкость-пар и жидкость-твердое тело	2	-
7	Уравнение Клапейрона-Клаузиуса	2	-
8	Изменение энтропии	2	-
9	Фазовые превращения второго рода	2	-
10	Теория Ландау фазовых переходов	2	-
11	Фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик	4	-
12	Сегнетоэлектрический фазовый переход	4	-
Итого:		28	-

4.5. Лабораторные работы по дисциплине «Физика фазовых переходов» не предполагаются учебным планом.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Термодинамика фазовых превращений	Выполнение домашнего задания	2	-
2	Фазовые переходы в однокомпонентной системе	Выполнение домашнего задания	2	-
3	Термодинамика многофазных систем.	Выполнение домашнего задания	2	-
4	Растворы. Многокомпонентные системы	Выполнение домашнего задания	2	-
5	Феноменологическая теория фазовых переходов второго рода	Выполнение домашнего задания	2	-
6	Теория Ландау фазовых переходов второго рода	Выполнение домашнего задания	2	-
7	Фазовые переходы в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках	Выполнение домашнего задания	2	-
8	Термодинамическая теория флуктуаций	Выполнение домашнего задания	2	-
Итого:			16	-

4.7. Курсовые работы по дисциплине «Физика фазовых переходов» не предполагаются учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий: объяснительно-иллюстративного обучения (технология поддерживающего обучения, технология проведения учебной дискуссии), информационных технологий (презентационные материалы), развивающих и инновационных образовательных технологий.

Практические занятия проводятся с использованием развивающих, проблемных, проектных, информационных (использование электронных образовательных ресурсов (электронный конспект) образовательных технологий.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Харченко Е.И., Чаленко А.В. Физика фазовых переходов. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 98 с.
2. Аминов Л.К. Термодинамика и статистическая физика. Конспекты лекций и задачи / Л.К. Аминов. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 180 с.
3. Яковлев В.М. Феноменологическое описание фазовых переходов и критических явлений. Учеб. пособ. / В.М. Яковлев, М.А. Яковлев, А.М. Штеренберг; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2008. 166 с.

б) Дополнительная литература:

1. Ю.А. Изюмов, В.Н. Сыромятников. Фазовые переходы и симметрия кристаллов. – М.: Наука, 1983. – 245 с.
2. В.Ф. Елесин, В.А. Кашурников. Физика фазовых переходов. Учебное пособие. М.: МИФИ, 1997. 180 с.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика Статистическая физика. Часть I. 3-е изд., испр. – М.: Наука. 1976. – 584 с.
4. Я.Г.Синай. Теория фазовых переходов: строгие результаты. – М.: Наука, 1980.
5. З.А.З.Паташинский, В.А. Покровский. Флуктуационная теория фазовых переходов. 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1982. – 381 с.
6. Г. Стенли. Фазовые переходы и критические явления. – М: Мир, 1973. – 425 с.

в) методические указания:

1. Конспект лекций по дисциплине «Физика фазовых переходов», часть 1 «Фазовые переходы первого рода» (для студентов, обучающихся по направлению «Физика», специальность 03.03.02) / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 62 с.
2. Конспект лекций по дисциплине «Физика фазовых переходов», Часть 2. «Фазовые переходы второго рода», (для студентов, обучающихся по

направлению «Физика», специальность 03.03.02) / Сост.: Е.И. Харченко. – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 62 с.

3. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика фазовых переходов», часть 1 (для студентов, обучающихся по направлению «Физика» 03.03.02 / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 24 с.

4. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика фазовых переходов» (для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» (в 2-х частях). Часть 2. «Фазовые переходы второго рода» / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2018. – 22 с.

5. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Физика фазовых переходов» (для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 25 с.

г) Интернет-ресурсы:

- Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
- Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
- Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>
- Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>
- Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
- Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>
- Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

- Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>
- Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>
- Электронный каталог Научно-технической библиотеки ЮРГПУ (НПИ) – <https://libweb.srsu.ru/MegaProWeb/Web>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/register>
- Научная электронная библиотека eLibrary – <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

- Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

На лекционных занятиях используются комплекты электронных презентаций / слайдов, раздаточный материал, наглядные пособия в аудиториях, оснащенных презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Практические и лабораторные занятия проводятся в специальных лабораториях, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине «Физика фазовых переходов»

Паспорт

оценочных средств по учебной дисциплине «Физика фазовых переходов»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции и (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-1	Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4	Тема 1. Термодинамика фазовых превращений	8
				Тема 2. Фазовые переходы в однокомпонентной системе	8
				Тема 3. Термодинамика многофазных систем	8
				Тема 4. Растворы. Многокомпонентные системы.	8
				Тема 5. Феноменологическая теория фазовых переходов второго рода.	8
				Тема 6. Теория Ландау фазовых переходов второго рода	8
				Тема 7. Фазовые переходы в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках.	8
				Тема 8. Термодинамическая теория флуктуаций	8

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-1 ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4	Знать основные определения фазовых переходов, типы фазовых переходов; уравнение Клапейрона-Клаузиуса и Эренфеста; условия равновесия фаз; правило Гиббса; фазовые диаграммы; теорию Ландау фазовых переходов второго рода, новые направления в теории фазовых переходов. Уметь: определять тип фазового перехода, четко формулировать основные определения	Темы 1-6	Вопросы экзаменационных работ, контрольные работы.

		и понятия; применять термодинамический подход к описанию фазовых переходов; определять границы применимости различных теорий. Владеть: навыками и приемами решения типичных задач физики фазовых переходов; применять полученные теоретические знания для описания фазовых переходов в кристаллах.		
--	--	--	--	--

Фонды оценочных средств по дисциплине «Физика фазовых переходов»

Вопросы к контрольным работам:

1. Какие системы называется: гомо и гетеросистемами; компонентами гетеросистемы?
2. Что такое фаза?
3. Что такое фазовый переход?
4. Признаки параметров системы. Какие параметры существуют?
5. Зачем необходимы термодинамические потенциалы?
6. Связь химического потенциала с полным термодинамическим потенциалом.
7. Уравнение состояния сложной системы. Идеальная сложная система.
8. Термодинамические потенциалы сложных систем.
9. Обобщенные потенциалы.
10. Критерии термодинамического равновесия.
11. Условие равновесия фаз гетеросистемы.
12. Критерии устойчивости фазы.
13. Чем отличаются фазовые переходы 1 и 2 рода?
14. Почему при фазовых переходах первого рода возможны метастабильные состояния системы?
15. Феноменологическая теория Ландау фазовых переходов второго рода.
16. Границы применимости разложения Ландау. Критерий Гинзбурга.
17. Ферромагнитное превращение. Модель Изинга. Модель Брэгга – Вильямса.
18. Сегнетоэлектрический фазовый переход.
19. Влияние внешнего поля на фазовый переход второго рода.
20. Элементы флуктуационной теории кристаллического состояния.
21. Критические индексы. Масштабная инвариантность.
22. Термодинамика сверхпроводящего перехода. Фазовый переход в жидком гелии.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% вопросов/задач)
хорошо (4)	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% вопросов/задач)

удовлетворительно (3)	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% вопросов/задач)
неудовлетворительно (2)	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50%)

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Теоретические вопросы:

1. Термодинамические потенциалы. Система с двумя степенями свободы
2. Система со многими степенями свободы. Химический потенциал.
3. Фазы и фазовые превращения. Фазовые переходы первого и второго рода.
4. Условия равновесия двух фаз химически однородного вещества. Фазовые диаграммы. Правило рычага.
5. Фазовые переходы в однокомпонентной системе. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
6. Фазовые переходы твердое тело-жидкость, твердое тело-газ, жидкость-газ.
7. Испарение. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Критическая точка.
8. Равновесие трех фаз. Тройная точка.
9. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Экспериментальные изотермы.
10. Критические параметры. Спинодаль и бинодаль. Приведенное уравнение Ван-дер-Ваальса. Соответственные состояния.
11. Растворы. Растворимость. Твердые растворы.
12. Диаграммы состояния двухкомпонентной и трехкомпонентной систем.
13. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.
14. Термодинамика сверхпроводящего перехода.
15. Элементы теории Ландау фазовых переходов второго рода.
16. Ферромагнитный фазовый переход. Модель Изинга.
17. Сегнетоэлектрический фазовый переход.
18. Многокомпонентные системы. Правило фаз Гиббса. Теорема Дюгема.
19. Влияние внешнего поля на фазовый переход второго рода.
20. Элементы флуктуационной теории критического состояния.
21. Флуктуации параметра порядка.
22. Фазовый переход в жидком гелии.

Практические задания

1. Вода со своим насыщенным паром находится в сосуде объемом $V = 6,0$ л при температуре 2500°C и давлении 40 атм. Удельный объем пара при этих условиях $V'_n = 50$ л/кг. Масса системы (воды с паром) $m = 5,0$ кг. Найти массу и объем пара.
2. Пространство в цилиндре под поршнем, имеющее объем $V_0 = 5,0$ л, занимает один насыщенный водяной пар, температура которого $t = 100^{\circ}\text{C}$. Найти массу жидкой фазы, образовавшейся в результате изотермического уменьшения объема под поршнем до $V = 1,6$ л. Насыщенный пар считать идеальным газом.

3. Некоторую массу вещества, взятую в состоянии насыщенного пара, изотермически сжали в n раз по объему. Найти, какую часть η конечного объема занимает жидкая фаза, если удельный объем насыщенного пара и жидкой фазы отличаются друг от друга в N раз ($N > n$).

4. Вода массы $m = 20$ г находится при температуре 0°C в теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем, площадь которого $S = 410 \text{ см}^2$. Внешнее давление равно нормальному атмосферному. На какую высоту поднимется поршень, если воде сообщить количество тепла $Q = 20,0$ кДж?

5. В теплоизолированном цилиндре под невесомым поршнем находится один грамм насыщенного водяного пар. Наружное давление нормальное. В цилиндр ввели $m = 1,0$ г воды при температуре $t_0 = 22^\circ\text{C}$. Пренебрегая теплоемкостью цилиндра и трением, найти работу, которую произвела сила атмосферного давления при опускании поршня.

6. Найти внутреннее давление p_i в жидкости, если известны ее плотность ρ и удельная теплота парообразования q . Считать, что теплота q равна работе против сил внутреннего давления и жидкость подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса. Вычислить p_i у воды

7. Воду массы $m = 1,00$ кг нагрели от температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$ до $t_1 = 10^\circ\text{C}$, при которой она вся превратилась в пар. Считая пар идеальным газом, найти приращение энтропии системы.

8. Вычислить постоянные Ван-дер-Ваальса для углекислого газа, если его критическая температура $T_{кр} = 304$ К и критическое давление $p_{кр} = 73$ атм.

9. Определить температурную зависимость давления насыщенного пара над твердым телом (пар рассматривать как идеальный газ; как газ, так и твердое тело обладают постоянными теплоемкостями).

10. Определить скорость испарения и конденсирования тела в пустоте.

11. Определить теплоемкость пара вдоль кривой равновесия жидкости и ее насыщенного пара (т.е. теплоемкость для процесса, при котором жидкость все время находится в равновесии со своим насыщенным паром). Пар считается идеальным газом.

12. Определить изменение объема пара с температурой для процесса, при котором пар все время находится в равновесии с жидкостью (т.е. вдоль кривой равновесия жидкости и ее пара).

13. Найти изменение концентрации с высотой для раствора, находящегося в поле тяжести.

14. Найти максимальную работу, которая может быть произведена при образовании насыщенного раствора.

15. Найти минимальную работу, которую нужно произвести для того, чтобы, выделив из раствора с концентрацией c_1 часть растворителя, довести его концентрацию до c_2 .

16. Насыщенный водяной пар находится при температуре $t = 100^\circ\text{C}$ в цилиндрическом сосуде под невесомым поршнем. При медленном сдвигании поршня небольшая часть пара массы $\Delta m = 0,70$ г сконденсировалась. Какая

работа была совершена над газом? Пар считать идеальным газом, объемом жидкости пренебречь.

17. Какое количество тепла необходимо сообщить воде, кипящей при нормальном атмосферном давлении, чтобы превратить $m = 1,00$ кг воды в пар?

18. Если дополнительное давление Δp насыщенных паров над выпуклой сферической поверхностью жидкости значительно меньше давления пара у плоской поверхности, то $\Delta p = \frac{\rho_n}{\rho_{жс}} \frac{2\alpha}{r}$, где ρ_n и $\rho_{жс}$ – плотности пара и

жидкости, α – поверхностное натяжение, r – радиус кривизны поверхности. Найти с помощью этой формулы диаметр капелек воды, при котором давление насыщенных паров на $\eta = 1,0\%$ превышает давление пара над плоской поверхностью при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Пар считать идеальным газом.

19. На какую величину возросло бы давление воды на стенки сосуда, если бы исчезли силы притяжения между ее молекулами?

20. Найти удельный объем бензола (C_6H_6) в критическом состоянии, если его критическая температура $T_{\text{кр}} = 562$ К и критическое давление $p_{\text{кр}} = 47$ атм $p = 47$ атм.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль («экзамен»)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)