

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**
(ФГОУ ВПО «МГТУ»)

Кафедра МНГД
название кафедры

**Методические указания
к самостоятельной работе студентов**

по дисциплине: Б.2. В. 2. «Основы теории фазовых переходов »

название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
(«Эксплуатация и обслуживание объектов нефтегазового комплекса Арктического
шельфа»)

код и наименование специальности, форма обучения

Мурманск 2018

Составитель - Ф.И.О. преподавателя, ученая степень, звание, должность

Боголюбов А.А. к.ф. - м.н., доцент каф. МНГД

МУ к СР рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика

МНГД

название кафедры

_____ протокол № _____.

дата

Рецензия

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине “ Основы теории фазовых переходов “ выполнены в основном в соответствии с предъявляемыми требованиями и могут служить основой для методичного и целенаправленного освоения студентом учебного материала.

Рецензент - Ф.И.О. преподавателя, ученая степень, звание, должность

Папуша А.Н , д.т.н., профессор, зав. Каф. МНГД

ОГЛАВЛЕНИЕ	стр.
1. ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	3
2.. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	3-5
3. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	5
4. Тема 1	5
5. Тема 2	6
6. Тема 3	6
7. Тема 4	7
8. Тема 5	7
9. Тема 6	8
10. Тема 7	8
11. Тема 8	9
12. Тема 9	9
13. Тема 10	9
14. Тема 11	10
15. Тема 12	10
16. Тема 13.	11
17. Тема 14.	11
18. Тема 15.	11
19. Тема 16.	12
20. Тема 17.	12
21. Тема 18.	12
22. Приложение {Сокр. Конспект Лекций 40 стр.}	13

- ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

На изучение и освоение вынесенного на самостоятельную работу материала отводится 54 часа, с раскладкой приблизительно 3 часа в неделю, с текущей проверкой результатов работы на практических занятиях. Результатом должно являться более полное понимание студентом основных положений Статистической физики, Неравновесной термодинамики. Должны помочь выработке навыков анализа диаграмм поведения термодинамических систем и способствовать более глубокому пониманию физических процессов происходящих при фазовых переходах. Помогут приобретению умения производить численные оценки основных макроскопических величин, характеризующих состояние вещества в этих условиях.

- ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№№ п/п	Наименование тем и содержание самостоятельной работы	Кол-во часов
1.	Основы теории строения вещества и фазовые переходы. Основные классические положения об агрегатных состояниях вещества, условиях <i>фазовых переходов первого и второго рода</i> , включая представления о процессах, происходивших при формировании и трансформации	2

	нефтегазоконденсатных залежей. Наблюдаемые явления (сверхпроводимость, сверхтекучесть и др. при фазовых переходах второго рода) и некоторые опытные данные о процессах, происходящих в критическом состоянии (в области <i>критической точки</i>) вещества. История формирования представлений о физических процессах, протекающих в околокритическом состоянии вещества и основные сложности в построении теории наблюдаемых явлений.	
2.	Основы статистической физики. Статистическое описание макроскопических систем. Макроскопические и микроскопические системы. Фазовое пространство. Статистическое описание микросостояний макросистемы, статистическая независимость, статистический вес, функция распределения и термодинамическая вероятность.	7
3.	Термодинамическая теория флуктуаций. Время релаксации. Статистический смысл энтропии, её аддитивность и закон возрастания для замкнутых систем. Нэгэнтропия и <i>открытые системы</i> . Энергия макросистемы и её флуктуации.	6
4.	Термодинамические параметры и тепловые процессы. Температура, давление, работа, количество теплоты, энтропия. Условия термодинамического равновесия.	4
5.	Начала термодинамики. Уравнение состояния Внутренняя энергия, теплоёмкость.	6
6.	Циклические процессы. Условия работы тепловых машин. Цикл Карно.	6
7.	Энергия и энтропия. Равновесные и неравновесные процессы и системы.	5
8.	Энтальпия, свободная энергия, термодинамический потенциал, химический потенциал,	6
9.	Каноническое распределение Гиббса и энтропия. Термодинамика систем с переменным числом частиц. термодинамический потенциал системы с переменным числом частиц.	3
10.	Идеальный газ. Статистическая термодинамика идеального газа, неравновесное состояние, локальное термодинамическое равновесие, уравнение теплопроводности	4
11.	Реальные газы. Межмолекулярное взаимодействие. <i>Уравнение Ван – дер –Ваальса</i> . Внутренняя энергия реального газа. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса.	2
12.	Фазовые переходы первого рода. Термодинамическая фазовая рТ-диаграмма. Тройная точка. Критическая точка и Критические параметры. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Диаграмма состояний. Критическая температура. Универсальность критических явлений.	2
13.	Методы сжижения газов. Эффект Джоуля – Томсона. Охлаждение при совершении работы. Детандер и турбодетандер	2
14.	Фазы вещества. Фазовые превращения. Условия равновесия фаз. Изотермы реального газа. Кинетика испарения и конденсации. Удельная теплота испарения и плавления. Поверхностные явления, натяжение, <i>межфазное натяжение</i> . Роль поверхностных эффектов в образовании новой фазы.	
15..	. Растворы. Выделение тепла и изменение объёма при растворении. Давление пара над концентрированным раствором (жидкостью).	
16.	Фазовые переходы второго рода. Изменение симметрии при фазовом переходе второго рода. Параметр порядка.	

	<i>Корреляционная функция. Приближение среднего поля, теория фазовых переходов Ландау, Скачок теплоемкости.</i>	
17.	Критические явления. Масштабная теория критических явлений, гипотеза масштабной инвариантности и универсальность критических явлений, масштабное уравнение состояния, динамический скейлинг. <i>Гипотеза изоморфности. Критические явления в растворах.</i>	
18.	Флуктуационная теория фазовых переходов. Термодинамика сильно флуктуирующих систем. Гипотеза подобия. Зависимость критических индексов. <i>Природа критической универсальности.</i> Уравнения для критических индексов Покровского, Паташинского (ПП), решение К. Вилсона, Р. Фишера.	
Итого:		54

- СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. И.П. Ипатова, В.Ф. Мастеров, Ю.И. Уханов. Курс физики. Том 1, Механика, термодинамика. Изд-во СПбГПУ, 2003.
2. Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирын. Курс общей физики. Кн.3. Термодинамика. Статистическая физика. Учебное пособие. М. Высш. шк. 2003.
3. Ч. Киттель. Статистическая термодинамика. М., Гл. ред, физ.-мат. лит." Наука", 1977
4. Бурдаков В.П. Термодинамика: учебное пособие для вузов. Ч.1 Основной курс. М. : Дрофа. 2009.

Дополнительная

1. Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров [и др.]. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учеб. пособие для вузов. М.: Недра. 1988.
2. С.М. Рипс. Основы термодинамики и теплотехники. М.: Высш. Шк. 1968.

Тема 1. Основы теории строения вещества и фазовые переходы.

Основные классические положения об агрегатных состояниях вещества, условиях *фазовых переходов первого и второго рода*, включая представления о процессах, происходивших при формировании и трансформации нефтегазоконденсатных залежей.

Установка: получить представление о явлениях *фазовых переходов первого и второго рода*, условиях их наблюдения в области *критической точки* и трудностях их математического описания.

При изучении материала обратить особое внимание на физические условия, в которых эти явления наблюдаются: фазовое равновесие, тройная точка, критическая точка, точка Кюри, температурный режим и зависимость от внешних воздействий.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4], а также приведенные ниже иллюстрации.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое фазовые переходы 1-го и 2-го рода?

2. Что такое критическая точка ?
3. Что такое точка Кюри ?
4. В чем проявляются и в каких условиях наблюдаются критические явления.
5. Объясните разницу между фазовыми переходами 1-го и 2-го рода.

Тема 2. Основы статистической физики. Статистическое описание макроскопических систем.

Макроскопические и микроскопические системы. Фазовое пространство. Статистическое описание микросостояний макросистемы, статистическая независимость, статистический вес, функция распределения и термодинамическая вероятность.

Установка: получить представление о *термодинамической теории флуктуаций*. Статистическое описание микросостояний макросистемы, статистическая независимость, статистический вес, функция распределения и термодинамическая вероятность.

При изучении материала обратить особое внимание на Статистический смысл энтропии, её аддитивность и закон возрастания для замкнутых систем.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое состояние равновесия тела с микроскопической точки зрения?
2. Что такое время релаксации?
3. Как проявляются флуктуации в броуновском движении?
4. Как используется теорема сложения вероятностей при выводе биномиального распределения?
5. какова вероятность выпадения шестерки на игральном кубике при двух бросаниях?
6. Почему описание статистических свойств макроскопических тел производится в фазовом пространстве?
7. Изменяется ли энтропия при чисто механическом перемещении тела?
8. Приведите примеры обратимых и необратимых процессов.

Тема 3 **Термодинамическая теория флуктуаций.** Время релаксации. Статистический смысл энтропии, её аддитивность и закон возрастания для замкнутых систем. Нэгэнтропия и *открытые системы*. Энергия макросистемы и её флуктуации.

Установка: знать определения и получить представление о протекающих процессах. Температура, давление, работа, количество теплоты, энтропия. Равновесные и неравновесные процессы и системы. Условия термодинамического равновесия. Три начала термодинамики, *уравнение состояния*. При изучении материала обратить особое внимание на физические условия и процессы для описания которых эти параметры используются.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Какие из перечисленных ниже термодинамических величин являются аддитивными: давление, объем, температура, внутренняя энергия, энтропия?

2. В современных высоковакуумных установках давление газа не превышает 10 мм рт. ст. Сколько молекул находится в кубическом сантиметре такого газа при комнатной температуре?
3. Каковы условия теплового и механического равновесия тел?
4. Какими свойствами должен обладать газ, чтобы его можно было использовать в газовом термометре?
5. Является ли работа функцией состояния?
6. Какая разница между количеством тепла и внутренней энергией?
7. Что такое «негэнтропия»?

Тема 4. Термодинамические параметры и тепловые процессы. Температура, давление, работа, количество теплоты, энтропия. Условия термодинамического равновесия.

Установка: получить представление о: статистическая термодинамика идеального газа, неравновесное состояние, локальное термодинамическое равновесие и параметры его определяющие, .

При изучении материала обратить особое внимание на физические условия и ограничения используемые для описания.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое «идеальный газ»?
2. Что такое неравновесное состояние?
3. Что такое локальное термодинамическое равновесие?
4. Написать уравнение теплопроводности.
5. Что называется средней наиболее вероятной скоростью газовых молекул?
6. Какая из трех скоростей (средняя квадратичная, средняя арифметическая, средняя наиболее вероятная) наибольшая?
7. Чему равна средняя энергия гармонического осциллятора?

Тема 5. Начала термодинамики. Уравнение состояния Внутренняя энергия, теплоёмкость.

Установка: получить представление о

При изучении материала обратить особое внимание на связь изучаемых зависимостей с межатомными расстояниями и термодинамическими параметрами.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Первое начало термодинамики и закон сохранения энергии.
2. Второе начало термодинамики вечный двигатель второго рода.
3. Энтропия и третье начало термодинамики.

Тема 6 Циклические процессы. Условия работы тепловых машин. Цикл Карно.

Установка: Осознать, что для того что бы что–ни будь получить, нужно приложить усилия, то есть произвести работу. Знать КПД через теплоту и температуру рабочего тела. Для более глубокого понимания, помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4]. .

Вопросы для самопроверки:

1. Энергия затраченная, эффективная работа полученная..
2. КПД и его связь со 2-м началом термодинамики..
- 3.. Чего нужно добиваться чтобы повысить КПД ?
4. У какой системы КПД выше? У автомобиля или у холодильника?

Тема 7 Энергия и энтропия. Равновесные и неравновесные процессы и системы.

Установка: получить представление об энтропии и ее связи с теплотой и температурой тела.

При изучении материала обратить особое внимание на физические условия в которых эти явления наблюдаются:

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Почему происходит охлаждение при совершении работы?
2. Почему не вся теплота может произвести работу, ?
3. Какой процесс называется *дросселированием* газа и как при этом меняется энергия и энтропия газа?

Тема 8. Энтальпия, свободная энергия, термодинамический потенциал, химический потенциал,

Установка: получить представление об указанных потенциалах и соотношениях между ними.

{Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Определение Энтальпии.
2. Определение свободной энергии.
3. Определение термодинамического потенциала.
4. Понятие химического потенциала.

Тема 9. Каноническое распределение Гиббса и энтропия. Термодинамика систем с переменным числом частиц. термодинамический потенциал системы с переменным числом частиц.

Установка: получить представление о распределении Гиббса.

При изучении материала обратить особое внимание на физические условия и параметры, которыми они определяются, а также ограничения применения.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Формула канонического распределения Гиббса.
2. От какого макроскопического параметра зависит распределение частиц.
3. Как определяют множитель перед экспонентой в распределении Гиббса?

Тема 10. **Идеальный газ.**

Статистическая термодинамика идеального газа, неравновесное состояние, локальное термодинамическое равновесие, уравнение теплопроводности

Установка: получить представление и знать определения : Статистическая термодинамика идеального газа, неравновесное состояние, локальное термодинамическое равновесие, уравнение теплопроводности.

1. Что такое «идеальный газ»?
2. Что такое неравновесное состояние?
3. Что такое локальное термодинамическое равновесие?
4. Написать уравнение теплопроводности.
5. Что называется средней наиболее вероятной скоростью газовых молекул?
6. Какая из трех скоростей (средняя квадратичная, средняя арифметическая, средняя наиболее вероятная) наибольшая?
7. Чему равна средняя энергия гармонического осциллятора?

Тема 11 **Реальные газы.**

Межмолекулярное взаимодействие. *Уравнение Ван – дер –Ваальса*. Внутренняя энергия реального газа. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса.

Установка:

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Почему внутренняя энергия идеального газа не зависит от его давления? Какова ситуация в реальных газах?
2. Чем отличаются изотермы Ван-дер-Ваальса от изотерм реального газа?
3. Назовите способы получения низких температур.
4. Каков эффект Джоуля-Томсона идеального газа и почему?

Тема 12 **Фазовые переходы первого рода.** Термодинамическая фазовая рТ-диаграмма.

Тройная точка. Критическая точка и Критические параметры. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Диаграмма состояний. Критическая температура. Универсальность критических явлений.

Установка:

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса..
2. Критическая точка и критические параметры.
- 3..Почему температура кипения воды повышается с увеличением давления?
- 4.Почему фазовые превращения описываются термодинамическим потенциалом?
- 5.Почему кривые равновесия жидкость-твердое тело не имеют критической точки?
- 6.Почему для плавления льда ему нужно сообщить некоторое количество тепла (передать тепловую энергию) при условии, что температура в системе при этом не меняется?

Тема 13 Методы сжижения газов.

Эффект Джоуля – Томсона. Охлаждение при совершении работы. Детандер и турбодетандер

Установка: получить представление о явлениях Сверхпроводимости и сверхтекучести.

При изучении материала обратить особое внимание на физические условия в которых эти явления наблюдаются:

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

- 1.Почему происходит охлаждение при совершении работы?
2. Какова роль поверхностных эффектов в образовании новой фазы?
3. Какой процесс называется *дросселированием* газа?
4. Эффект Джоуля – Томсона положительный и отрицательный.
5. Температура инверсии.
6. На чем основана работа детандера и турбодетандера?

Тема 14 Фазы вещества. Фазовые превращения.

Условия равновесия фаз. Изотермы реального газа. Кинетика испарения и конденсации. Удельная теплота испарения и плавления. Поверхностные явления, натяжение, *межфазное натяжение*. Роль поверхностных эффектов в образовании новой фазы.

Установка: получить представление о явлениях *фазовых переходов первого рода*. Условиях равновесия фаз. Изотермы реального газа. Кинетика испарения и конденсации.

При изучении материала обратить особое внимание на физические условия в которых эти явления наблюдаются: фазовое равновесие, тройная точка, критическая точка. температурный режим и зависимость от внешних воздействий.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса..
2. Критическая точка и критические параметры.
- 3..Почему температура кипения воды повышается с увеличением давления?

4. Почему фазовые превращения описываются термодинамическим потенциалом?
5. Почему кривые равновесия жидкость-твердое тело не имеют критической точки?
6. Почему для плавления льда ему нужно сообщить некоторое количество тепла (передать тепловую энергию) при условии, что температура в системе при этом не меняется?

Тема 15. **Растворы.** Выделение тепла и изменение объёма при растворении. Давление пара над концентрированным раствором (жидкостью).

Установка: получить представление о межмолекулярном взаимодействии. Знать **Уравнение Ван – дер –Ваальса**. и изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Энергия взаимодействия молекул. Внутренняя энергия реального газа.

При изучении материала обратить особое внимание на связь изучаемых зависимостей с межмолекулярными расстояниями и термодинамическими параметрами.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. В чем отличие PVT –диаграмм растворов от диаграмм для чистых растворов?
2. Чем отличаются изотермы Ван-дер-Ваальса от изотерм реального газа?
3. Назовите способы получения низких температур.
4. Примеры наблюдения критических явлений в растворах.

Тема 16. **Фазовые переходы второго рода.**

Изменение симметрии при фазовом переходе второго рода. Параметр порядка.

Корреляционная функция. Приближение среднего поля, *теория фазовых переходов Ландау,* Скачок теплоемкости.

Установка: получить представление о гипотезе масштабной инвариантности и **универсальности критических явлений.**

При изучении материала обратить особое внимание на структурные особенности при динамическом масштабировании.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Суть гипотезы масштабной инвариантности.
2. Экспериментальные и теоретические основания для утверждения универсальности критических явлений.
3. Основные положения и ограничения Приближения среднего поля и **теории фазовых переходов Ландау.**

Тема 17. **Критические явления.** Масштабная теория критических явлений, гипотеза масштабной инвариантности и универсальность критических явлений, масштабное уравнение состояния, динамический скейлинг. *Гипотеза изоморфности. Критические явления в растворах.*

Установка: получить представление об особенностях проведения экспериментов в критической области в связи с сильной зависимостью от внешних воздействий.

При изучении материала обратить особое внимание на важность учета внешних воздействий при обработке и интерпретации результатов наблюдений и измерений в критических условиях.

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. В каких измерениях проявляется сила тяготения?
2. Как влияет внешнее магнитное поле на намагниченность?
3. Каким численным методом решались уравнения ПП?

Тема 18. **Флуктуационная теория фазовых переходов.**

Термодинамика сильно флуктуирующих систем. Гипотеза подобия. Зависимость критических индексов. *Природа критической универсальности*. Уравнения для критических индексов Покровского, Паташинского (ПП), решение К. Вилсона, Р. Фишера.

Установка: получить представление о термодинамике сильно флуктуирующих систем и поведении корреляционной функции вблизи критической точки

При изучении материала обратить особое внимание на физический смысл критической универсальности

Для более глубокого понимания помимо лекционного материала {Приложение-конспект лекций}, использовать для чтения соответствующие разделы в [1- 4].

Вопросы для самопроверки:

1. Могут ли четыре фазы быть в равновесии в одной точке?
2. Что такое параметр порядка?
3. Что такое **Корреляционная функция** ?
4. Поведение корреляционные функции вблизи критической точки.
5. Суть гипотезы подобия.
6. Смысл предположения, сделанного К. Вилсоном, для получения решения уравнений для критических индексов Покровского, Паташинского (ПП).