

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА**

Направление подготовки: 44.03.05 Педагогическое образование  
(с двумя профилями подготовки)

Направленности: Математика, физика

Квалификация выпускника: бакалавр

**Кострома  
2021**

Рабочая программа дисциплины «Молекулярная физика» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22.02.2018 № 125 (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 15.03.2018 регистрационный № 50358), с изменениями, внесенными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 08.02.2021 № 83 (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 12.03.2021 регистрационный № 62739); в соответствии с учебным планом направления подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) (направленности Математика, физика), год начала подготовки 2021.

Разработал: Дьяков И.Г., доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

Рецензент: Бобков Н. Н., директор муниципального бюджетного общеобразовательного учреждения города Костромы «Лицей № 34», к. ист. н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой высшей математики:

Матыцина Т. Н., к. ф.-м. н., доцент

Протокол заседания кафедры № 8 от 18.05.2021 г.

ПРОГРАММА ПЕРЕУТВЕРЖДЕНА:

На заседании кафедры высшей математики

Протокол заседания кафедры № 6 от 09.03.2022 г.

Заведующий кафедрой высшей математики

Матыцина Т. Н., к. ф.-м. н., доцент

ПРОГРАММА ПЕРЕУТВЕРЖДЕНА:

На заседании кафедры высшей математики

Протокол заседания кафедры № 8 от 05.05.2023 г.

Заведующий кафедрой высшей математики

Матыцина Т. Н., к. ф.-м. н., доцент

ПРОГРАММА ПЕРЕУТВЕРЖДЕНА:

На заседании кафедры высшей математики

Протокол заседания кафедры № 5 от 19.03.2024 г.

Заведующий кафедрой высшей математики

Матыцина Т. Н., к. ф.-м. н., доцент

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой и педагогической деятельности в научно-исследовательских институтах, высших и средних учебных заведениях, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях.

Задачи дисциплины:

- знать основные законы молекулярно физики и термодинамики и рамки их применимости;
- применять полученные теоретические знания для решения задач;
- использовать полученные знания для проведения физического эксперимента.

Кроме того, одной из задач изучения данного курса является научно-образовательное, профессионально-трудовое воспитание обучающихся посредством содержания дисциплины и актуальных воспитательных технологий.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

освоить компетенцию:

Способен осуществлять педагогическую деятельность на основе специальных научных знаний (ОПК-8)

Код и содержание индикаторов компетенции:

ИОПК-8.1. Демонстрирует владение системой специальных научных знаний в предметной области

ИОПК-8.2. Применяет специальные предметные знания в педагогической деятельности по направленности программы

**знать:**

- базовые знания курса общей физики, в том числе основные понятия молекулярной физики, базовые физические величины и законы макро и микромира, описывающие термодинамические системы;
- границы применения законов природы в различных термодинамических системах;
- основные термодинамические системы и методы их описания;
- важнейшие уравнения термодинамики и молекулярной физики;

**уметь:**

- решать профессиональные задачи, в том числе анализировать физическую ситуацию в термодинамических процессах и системах;
- применять законы природы к состоянию тел и процессах, приводящих к их изменению;
- решать задачи по определению величин, характеризующих состояние тела и параметров процессов;
- прогнозировать поведение термодинамических систем;
- выбирать законы природы, адекватно описывающие поведение рассматриваемой системы;

**владеть:**

- методами решения профессиональных задач на основе информационной и библиографической культуры, в том числе, методами решения задач молекулярной физики и термодинамики;
- методами графической интерпретации физической ситуации;

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Данная дисциплина изучается в 4 семестре обязательной части профессионального цикла подготовки бакалавров. Содержание курса охватывает молекулярно-кинетическую теорию, термодинамику, явления переноса, основы статистической физики, фазовые переходы, основы физики твердого тела. Основные понятия и законы молекулярной физики лежат в основе современной физики, способствуют закреплению знаний, полученных при изучении дисциплины «Механика», а также будут использоваться и углубляться почти во всех дисциплинах профессионального цикла («Электричестве и магнетизме», «Оптике», «Атомной физики» и др.). Перед изучением дисциплины студенты должны изучить элементарную физику, элементарную математику, механику в пределах курса общей физики и иметь представление об интегральном и дифференциальном исчислении. Требуемые знания и умения формируются в средней школе, часть разделов высшей математики и механику студенты изучают параллельно в первом и втором семестрах первого курса.

### 4. Объем дисциплины (модуля)

#### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы,	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	6
Общая трудоемкость в часах	216
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	52
Лекции	14
Практические занятия	14
Лабораторные занятия	24
Самостоятельная работа в часах	128 + 36
Форма промежуточной аттестации	Экзамен (4)

#### 4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	14
Практические занятия	14
Лабораторные занятия	24
Консультации	2
Зачет/зачеты	–
Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	–
Курсовые проекты	–
Всего	54,35

## 5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

### 5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	<b>Основные вопросы молекулярно-кинетической теории</b>	28	2	2	4	20
2	<b>Основы статистической физики</b>	28	2	2	4	20
3	<b>Термодинамика</b>	28	2	2	4	20
4	<b>Реальные газы</b>	24	2	2	–	20
5	<b>Жидкости</b>	28	2	2	4	20
6	<b>Твердые тела</b>	28	2	2	4	20
7	<b>Фазовые переходы</b>	16	2	2	4	8
	Экзамен	36	–	–	–	36
	<b>ВСЕГО:</b>	6/216	14	14	24	128 + 36

### 5.2. Содержание:

#### **ТЕМА 1. Основные вопросы молекулярно-кинетической теории.**

Молекулярно-кинетический и термодинамический подходы к изучению состояния вещества. Микроскопические и макроскопические величины и их измерения. Системы единиц. Задачи молекулярной физики и термодинамики. Роль и значение молекулярной физики и термодинамики как основы современной физики и техники. Масса и размеры молекул. Состояние системы. Модель идеального газа. Температура. Методы измерения температуры и температурные шкалы. Давление. Уравнение Менделеева–Клапейрона. Изобарный, изотермический и изохорный процессы. Закон Авогадро. Закон Дальтона. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.

#### **ТЕМА 2. Основы статистической физики.**

Необходимые сведения из теории вероятностей. Характер теплового движения молекул. Давление газа на стенку сосуда. Средняя энергия молекул. Распределение Максвелла. Характеристические скорости молекул. Экспериментальная проверка закона распределения молекул по скоростям. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Определение Перреном числа Авогадро. Флуктуации. Понятие о статистиках Ферми–Дирака и Бозе–Эйнштейна. Средняя длина свободного пробега молекул. Эффективное сечение соударения. Явления переноса. Диффузия в газах. Связь коэффициента диффузии с подвижностью частиц. Теплопроводность. Уравнение диффузии-теплопроводности. Вязкость (внутреннее трение). Получение и измерение технического вакуума. Ультразреженные газы. Эффузия.

#### **ТЕМА 3. Термодинамика.**

Внутренняя энергия идеального газа. Теплоемкость идеального газа. Изобарная и изохорная теплоемкости. Уравнение Майера. Недостаточность классической теории теплоемкости. Работа, совершаемая телом при изменении объема. Первое начало термодинамики. Функции состояния и функции процесса. Обратимые и необратимые

термодинамические процессы. Второе начало термодинамики. Энтропия. Примеры на вычисление энтропии. Адиабатный и политропный процессы. Работа при изопроцессах. Неравенство Клаузиуса. Теорема Карно и цикл Карно. Коэффициент полезного действия. Тепловые двигатели. Циклы Отто и Дизеля. Свободная энергия. Метод термодинамических потенциалов. Энтропия и вероятность.

#### **ТЕМА 4. Реальные газы.**

Взаимодействие молекул. Понятие о природе межмолекулярных сил. Вид зависимости потенциала и силы взаимодействия от расстояния. Модельные потенциалы взаимодействия. Поправки на собственные размеры молекул и потенциальную энергию взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса и Эндрюса. Правило Максвелла. Уравнение Дитеричи. Свойства вещества в критическом состоянии. Определение критических параметров. Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведенных параметрах и закон соответственных состояний. Внутренняя энергия. Теплоемкость и энтропия реального газа. Непрерывность газообразного и жидкого состояния. Дросселирование реального газа. Эффект Джоуля – Томсона. Энтальпия. Методы получения низких температур и сжижения газов.

#### **ТЕМА 5. Жидкости.**

Поверхностное натяжение и связанные с ним эффекты. Термодинамика поверхностного натяжения. Явление смачивания. Добавочное давление под изогнутой поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления. Формула Жюрена. Растворы. Явление осмоса. Закон Рауля. Повышение точки кипения и понижение точки замерзания растворов. Влажность воздуха. Точка росы.

#### **ТЕМА 6. Твердые тела.**

Симметрия тел. Ближний и дальний порядок. Аморфные тела. Кристаллические решетки. Анизотропия. Дефекты кристаллов. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга и Пти.

#### **ТЕМА 7. Фазовые переходы.**

Фазы и фазовые превращения. Условие равновесия фаз химически однородного вещества. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Теплоемкость насыщенного пара. Диаграммы состояния. Тройные точки. Метастабильные состояния. Фазовые переходы второго рода.

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

Оценка знаний, умений, навыков, характеризующая этапы формирования компетенций по дисциплине «Молекулярная физика» осуществляется в ходе текущего и промежуточного контроля.

**Промежуточная аттестация** предусматривает опрос студентов, выполнение трех контрольных работ и тестирование.

*Опрос* проводится на семинарах по следующим фрагментам дисциплины:

- определения физических величин;
- основные понятия и абстракции молекулярной физики;
- основные законы молекулярной физики и начала термодинамики.

Студентам предлагаются вопросы, охватывающие изучаемые разделы дисциплины. В процессе обсуждения разбираются ошибки и неточности ответов. При обсуждении законов природы уточняются рамки применимости этих законов, то есть ограничения условий их истинности. Качество ответа оценивается по трехбалльной системе: за верный в главном ответ ставится «плюс», за принципиально неверный или отсутствие ответа ставится «минус», за частично верный ответ — «плюс-минус».

Разновидностью опроса является решение задачи у доски или участие в ее решении, когда одну и ту же задачу выполняют несколько студентов. Здесь владение предметом оценивается также по указанной выше трехбалльной системе.

Студентам предлагается два варианта, содержащие 4–5 задач по указанным темам. Уровень выполнения работы оценивается числом правильно решенных задач. Решение задачи засчитывается полностью, если студент выполнил его в общем виде с краткими комментариями, и получил после подстановки численных данных правильный ответ с указанием размерности. Задача засчитывается наполовину, если студент не совершил физических ошибок, то есть получил верное решение в общем виде, но допустил ошибку в математических расчетах и указал неверный численный ответ. Кроме того, задача засчитывается наполовину, если в численном ответе не указана размерность.

Студенты, получившие не менее четырех баллов за каждую контрольную работу, могут быть освобождены от решения задачи на экзамене по данной дисциплине. Для этого они должны успешно сдать зачет по физическому практикуму.

*Тестирование* осуществляется по всем разделам курса. Студентам предлагаются 20 заданий с множественными или единичными ответами. Продолжительность испытаний – 2 академических часа. Тестирование назначается после окончания лекционного курса. Уровень выполнения теста оценивается числом правильных ответов. По каждому заданию за верный вариант ответа ставится плюс, за неверный – минус с последующим суммированием по известным правилам. Кроме того, при проверке нескольких ответов на один и тот же вопрос неверный ответ уничтожит верный. Студенты не должны переписывать вопросы, достаточно указать буквы, соответствующие правильным ответам, около номера вопроса.

Тест считается успешно выполненным, если обучаемый набирает две трети от максимально возможного числа правильных ответов.

**Итоговая аттестация** проходит в форме экзамена. Студенты сдают экзамен по билетам, в каждом из которых имеются два вопроса по теории и одна задача. Тематика вопросов и задач в каждом билете должны касаться трех различных разделов дисциплины. Одинаковых задач в билетах нет, то есть каждый студент получает индивидуальную задачу. Сложность задач не превышает тех, которые решались на семинарах и включались в контрольные работы.

На подготовку к ответу студентам дается 40 минут. Прежде всего, они должны решить задачу и защитить ее решение. Для успешной сдачи экзамена задача должна быть решена самостоятельно. Допускается две подсказки преподавателем, за что снижается окончательная оценка. Студент, не сумевший справиться с задачей на указанных условиях, получает неудовлетворительную оценку.

При решенной задаче экзамен продолжается. Учащиеся излагают вопросы по билету, а потом отвечают на дополнительные вопросы, как по билету, так и по всему курсу. От студентов требуется понимание физической сущности законов и явление, а также запоминание основных формул. Для получения отличной оценки студент должен продемонстрировать знание всех разделов дисциплины, включая определения физических величин, формулировки законов физики с указанием границ их применимости, а также вывод основных формул. Оценка «хорошо» ставится за знакомство со всеми разделами без умения выводить формулы и законы физики. Оценка «удовлетворительно» ставится за решенную задачу и частичное знание всех разделов курса.

### 6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1.	Основные вопросы молекулярно-кинетической теории	Изучение литературы, решение задач	20	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [1] из списка дополнительной литературы	Контрольная
2	Основы статистической физики	Изучение литературы, решение задач	20	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [1] из списка основной литературы	Контрольная
3	Термодинамика	Изучение литературы, решение задач	20	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [4] из списка основной литературы	Контрольная
4	Реальные газы	Изучение литературы, решение задач	20	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [4] из списка основной литературы	Письменный опрос
5	Жидкости	Изучение литературы, решение задач	20	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [2, 3] из списка основной литературы	Контрольная
6	Твердые тела	Изучение литературы, решение задач	20	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебно-методическим пособием [4] из списка основной литературы	Письменный опрос
7	Фазовые переходы	Изучение литературы, решение	8	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется	Устный опрос

		задач		пользоваться учебно-методическим пособием [4] из списка основной литературы	
	Подготовка к экзамену		36		Экзамен

## 6.2. Тематика и задания для практических занятий

### Тема 1. Основные вопросы молекулярно-кинетической теории

#### Задания:

#### *Решите задачи:*

Е. И. Иродов «Задачи по общей физике» №: 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14

#### *Сформулируйте ответы на вопросы:*

1. Дайте определение атомной и молекулярной массы. Что такое изотоп? Запишите приближенно объем молекулы. Что характеризует число Лошмидта, числа Авогадро?
2. Перечислите основные элементы модели вещества в молекулярной физике.
3. В чем сущность законов Дальтона и Авогадро?
4. Какой смысл получает параметр температуры при молекулярно-кинетическом исследовании тепловых свойств вещества?
5. Дайте понятие термометрического тела и термометрической величины. Какие физические характеристики тел можно использовать для измерения температуры? Чем объясняется разнообразие шкал температур?
6. Какое тело выбрано в качестве термометрического в абсолютной термодинамической шкале температур? Каковы преимущества такого выбора?
7. По скольким реперным точкам определяется термодинамическая шкала температур в СИ?

#### *Формы контроля:*

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

### Тема 2. Основы статистической физики

#### Задания:

#### *Решите задачи:*

Е. И. Иродов «Задачи по общей физике» №: 2.85, 2.86, 2.87, 2.100, 2.101

#### *Сформулируйте ответы на вопросы:*

1. Дайте определение вероятности, плотности вероятности.
2. Какое свойство совокупности событий делает возможным нормировку вероятности?
3. Запишите формулы для среднего значения дискретной и непрерывной случайной величины.
4. Зависит ли среднее значение величины от переменной, по которой производится усреднение? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.
5. Какими величинами характеризуются макро- и микроскопические состояния газа?
6. Каков общий характер соотношения между макро- и микроскопическими состояниями системы?
7. Запишите функцию распределения Гаусса (используя в качестве переменной величины координату  $x$ ) и изобразите примерный вид этой функции.
8. При каких предположениях справедливо распределение Максвелла по скоростям?

9. Как изменяется распределение Максвелла с ростом температуры?
10. Чем обуславливается существование максимума на кривой, характеризующей распределение Максвелла?
11. Какая связь существует между распределением Максвелла и распределением Гаусса?
12. Запишите функции распределения Максвелла  $\varphi(v_x)$ ,  $f(\vec{v})$ ,  $F(v)$ , что они характеризуют?
13. Получите значение наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.
14. Изобразите вид кривой распределения  $F(v)$  и отметьте примерные положения наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.
15. Изобразите примерные графики функции  $F(v)$  для двух разных значений температур.
16. Изобразите примерные графики функции  $F(v)$  для двух газов с различными значениями молекулярной массы.
17. Объясните причину асимметрии графика функции распределения  $F(v)$ .

**Формы контроля:**

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

**Тема 3. Термодинамика**

**Задания:**

***Решите задачи:***

Е. И. Иродов «Задачи по общей физике» №: 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.33, 2.38, 2.42, 2.49, 2.54, 2.55, 2.56

***Сформулируйте ответы на вопросы:***

1. Дайте понятие внутренней энергии, теплоты, работы. Как внутренняя энергия, так и теплота обуславливаются энергетическими условиями на молекулярном уровне. В чем их различие?
2. При каких условиях дифференциальная форма является полным дифференциалом и что такое функция состояния системы? Какие термодинамические величины являются функциями состояния?
3. В чем состоит содержание первого начала термодинамики? Как математически записывается этот закон?
4. Каково самое важное свойство функции состояния?
5. Запишите выражение для внутренней энергии одного моля идеального газа, состоящего из линейных (нелинейных) молекул.
6. Сформулируйте содержание первого начала термодинамики. Как математически записывается этот закон?
7. Что называется теплоемкостью, удельной и молярной теплоемкостями?
8. Из каких физических соображений следует, что теплоемкость идеального газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме?
9. Используя математическое выражение первого начала найти связь между  $C_p$  и  $C_v$ .  
Рассмотрите также случай реального газа. Зависит ли в общем случае теплоемкость от потенциальной энергии взаимодействия молекул?
10. Изобразите графически ориентировочную зависимость  $C_v$  от температуры для двухатомного газа, например, для водорода. Вблизи какой температуры найденное на опыте значение теплоемкости молекулярного водорода стремится к значению теплоемкости одноатомного газа?

11. Какие делаются предположения о строении молекул при расчете теплоемкости газа на основании теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы?
12. Ограничены ли какими-нибудь пределами возможные значения теплоемкости?
13. При каких условиях теплоемкость может иметь отрицательный знак? Возможен ли такой случай?
14. Какие термодинамические процессы Вам известны, и какими уравнениями они описываются? Изобразите графики этих процессов. Получите выражения для работы, совершаемой системой при этих процессах.
15. В каких случаях приращение внутренней энергии системы равно подведенному к системе количеству тепла?
16. В каких случаях внутренняя энергия системы постоянна?
17. В каких случаях изменение внутренней энергии системы равно внешней работе, совершенной системой?
18. Получить уравнение адиабатического процесса и найти работу, выполненную системой при этом процессе.
19. Получите уравнение политропического процесса. При каких условиях политропический процесс переходит в адиабатический, изотермический, изобарический, изохорический? Какие предельные значения может принимать молярная теплоемкость политропического процесса, совершаемого газом?
20. Почему первый закон термодинамики эквивалентен утверждению о невозможности построения вечного двигателя первого рода?
21. В чем состоит принципиальное различие циклов тепловых и холодильных машин?
22. Опишите цикл Карно с идеальным газом. Выведите формулу для КПД цикла Карно.
23. Запишите выражения для КПД тепловых и холодильных машин. При каких условиях КПД этих машин больше единицы?
24. Дайте формулировки Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики и докажите их эквивалентность.
25. Термодинамическая шкала температур и её тождественность идеально-газовой шкале.
26. Сформулируйте теоремы Карно.
27. Путем обобщения второго начала термодинамики попытайтесь ввести понятие энтропии.
28. Запишите основное уравнение термодинамики, связывающее первое начало со вторым.
29. Изобразите цикл Карно на диаграмме S-T ( S – энтропия, T – температура) и найдите выражение для КПД цикла.
30. Сформулируйте теорему о росте энтропии изолированной системы. Перечислите процессы, при которых энтропия растет. Докажите теорему, используя конкретный процесс.

**Формы контроля:**

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

**Тема 4. Реальные газы**

**Задания:**

**Решите задачи:**

Е. И. Иродов «Задачи по общей физике» №: 2.211, 2.212, 2.213, 2.214, 2.215

***Сформулируйте ответы на вопросы:***

- 1 В каком направлении изменится вычисленное значение давления для идеального газа на стенку, если принять во внимание конечные размеры молекул?
- 2 В каком направлении изменится вычисленное значение давления для идеального газа на стенку, если принять во внимание силы притяжения между молекулами?
- 3 Что Вы понимаете под уравнением состояния системы? Запишите уравнение состояния для идеального газа, газа Ван-дер-Ваальса, дифференциальное уравнение состояния.
- 4 Чем вызываются Ван-дер-Ваальсовы силы? Изобразите вид кривой потенциальной энергии взаимодействия между молекулами в зависимости от расстояния.
- 5 Запишите уравнение состояния реального газа для произвольного количества вещества. От каких параметров зависит внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
- 6 Изобразите теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Опишите зависимость давления насыщенных паров от температуры. Почему переохлажденный пар и перегретая жидкость называются метастабильными состояниями?
- 7 Опишите состояние системы жидкость – пар.
- 8 Приведите примерный расчет поправок на объем и на давление, входящих в уравнение Ван-дер-Ваальса.

***Формы контроля:***

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

**Тема 5. Жидкости**

**Задания:**

***Решите задачи:***

Е. И. Иродов «Задачи по общей физике» №: 2.171, 2.172, 2.180, 2.183, 2.186

***Сформулируйте ответы на вопросы:***

1. Охарактеризуйте условия равновесия жидкости на границе раздела сред. Получите формулы, описывающие условия равновесия на границе раздела сред.
2. Запишите формулу поверхностного молекулярного давления на каплю жидкости радиуса  $R$ . Какой вид примет эта формула в случае пузырька того же радиуса?
3. Запишите формулу Лапласа в общем виде. Может ли дополнительное молекулярное давление, оказываемое на жидкость, равняться нулю? Дайте обоснования.
4. Получите формулу для высоты поднятия (опускания) уровня жидкости в открытой капиллярной трубке. В какой области человеческой деятельности капиллярные каналы целесообразно закрывать сверху?
5. Для каких целей используются явления смачивания и несмачивания? Может ли тело плавать на поверхности жидкости, если плотность тела больше плотности жидкости? Может ли тело погружаться в жидкость, если плотность тела меньше плотности жидкости?

***Формы контроля:***

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

**Тема 6. Твердые тела**

**Задания:**

***Сформулируйте ответы на вопросы:***

- 1 Выведите формулу теплоемкости одноатомных твердых тел. В чем заключается сущность закона Дюлонга - Пти?
- 2 Как выполняется закон Дюлонга - Пти для различных элементов? Приведите примерную кривую зависимости теплоемкости от температуры.
- 3 Какие допущения делаются при выводе теплоемкости по квантовой теории? В чем отличие теорий Эйнштейна и Дебая?
- 4 Почему при температурах, близких к абсолютному нулю теплоемкости стремятся к нулевому значению?
- 5 Для газов при обычных температурах справедливо уравнение Майера  $C_p - C_v = R$ . Что можно сказать о выполнении или невыполнении этого уравнения в случае металлов?
- 6 Удельные теплоемкости металлических твердых тел значительно меньше удельных теплоемкостей газов и жидкостей. Объясните причину этих расхождений.
- 7 Считая, что на каждый колеблющийся ион кристаллической решетки приходится один свободный электрон и что, свободные электроны можно рассматривать как идеальный газ, определите атомную теплоемкость кристалла. Сравните полученное значение с выражением закона Дюлонга - Пти. Объясните полученный результат.

**Формы контроля:**

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

**Тема 7. Фазовые переходы**

**Задания:**

***Решите задачи:***

Е. И. Иродов «Задачи по общей физике» №: 2.198, 2.199, 2.203, 2.204, 2.205, 2.206, 2.207, 2.208

***Сформулируйте ответы на вопросы:***

1. Что такое насыщенный пар? Запишите уравнение зависимости давления насыщенного пара от температуры (уравнение Клапейрона-Клаузиуса).
2. Получите уравнение Клапейрона-Клаузиуса, используя метод воображаемых круговых процессов.
3. Какие процессы можно описывать с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса?
4. Приведите пример диаграммы состояния вещества. Дайте понятие тройной точки, приведите значения параметров тройной точки для воды.
5. Какими эффектами сопровождаются фазовые переходы первого рода?
6. Можно ли использовать (и как) уравнение Клапейрона-Клаузиуса для описания фазовых переходов второго рода? Какие переходы относятся к переходам второго рода?
7. Какой критерий термодинамического потенциала Гиббса используется при разделении фазовых переходов первого и второго рода?
8. Как Вы понимаете полиморфные превращения, приведите конкретные примеры таких превращений? К переходам какого рода относятся эти превращения?
9. Чем отличается процесс кипения от процесса испарения? Почему, закипая вода "шумит"?
10. Дайте понятие перегретого и пересыщенного пара, перегретой и переохлажденной жидкости. В какой области физики используют явление пресыщения водяного пара и перегрева воды?
11. Что понимают под скрытой теплотой парообразования (плавления, сублимации)?
12. Вывести рабочую формулу для определения скрытой теплоты парообразования.
13. Как изменяется энтропия системы при фазовых переходах первого и второго рода?

### **Формы контроля:**

- устный доклад или ответ на практическом занятии;
- проверка задания;
- тестирование.

## **6.3. Тематика и задания для лабораторных занятий**

Лабораторная работа 1. Определение скорости пули при помощи крутильно-баллистического маятника.

Лабораторная работа 2. Определение размеров молекулы олеиновой кислоты.

Лабораторная работа 3. Определение удельной теплоемкости твердого тела.

Лабораторная работа 4. Определение коэффициента объемного расширения жидкости.

Лабораторная работа 5. Определение характеристик молекул воздуха.

Лабораторная работа 6. Определение отношения теплоемкостей для воздуха.

Лабораторная работа 7. Исследование температурной зависимости коэффициента вязкости вискозиметром Оствальда-Пинкевича.

## **7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **а) основная литература:**

1. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5 т. / Д.В. Сивухин. - Изд. 6-е, стер. - Москва : Физматлит, 2014. - Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. - 544 с. : ил. - ISBN 978-5-9221-1513-1. - ISBN 978-5-9221-1514-8 (Т. II) ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275624> (21.05.2018).
2. Леденев, А.Н. Физика : учебное пособие / А.Н. Леденев. - Москва : Физматлит, 2005. - Кн. 2. Молекулярная физика и термодинамика. - 208 с. - ISBN 5-9221-0462-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69230> (21.05.2018).
3. Кудасова, С.В. Курс лекций по общей физике : учебное пособие для бакалавров / С.В. Кудасова, М.В. Солодихина. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. - 174 с. : ил., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-6909-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436995> (21.05.2018).
4. Кикоин, А.И. Молекулярная физика / А.И. Кикоин, И.К. Кикоин ; ред. В.А. Григоровой. - Изд. 2-е, переработанное. - Москва : Наука, 1976. - 478 с. : ил. - (Общий курс физики). - ISBN 978-5-4475-8020-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=437547> (21.05.2018).

### **б) дополнительная литература:**

1. Элементарный учебник физики Теплоота. Молекулярная физика : учебное пособие : в 3-х т. / ред. Г.С. Ландсберга. - 14-е изд. - Москва : Физматлит, 2010. - Т. 1. Механика. - 612 с. - ISBN 978-5-9221-1256-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82899> (21.05.2018).
2. Путилов, К.А. Курс физики / К.А. Путилов. - 11-е изд. - Москва : Гос. изд-во физико-математической лит., 1963. - Т. 1. Механика. Акустика. Молекулярная физика. Термодинамика. - 560 с. - ISBN 978-5-4458-4352-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213661> (21.05.2018).

### **в) учебно-методические рекомендации**

1. Шляхтина С.М. Физический практикум (Молекулярная физика и термодинамика) / С.М. Шляхтина, А.Б. Белихов, В.В. Андрушкевич. – Кострома: Изд-во КГУ, 2003. – 48 с. 20 экз.
2. Ласкин А.И. Элементы теории погрешностей и обработка результатов измерений. – Кострома: Изд-во КГПИ, 1993. – 20 с.10 экз.
4. Белкин П.Н. Введение в физический практикум / П.Н. Белкин, А.И. Ласкин. – Кострома: Изд-во КГУ, 2000.– 22 с. 10 экз

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Электронные библиотечные системы:

1. ЭБС «Лань»
2. ЭБС «Университетская библиотека online»
3. ЭБС «Znanium»

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа.

Свободно распространяемое программное обеспечение: офисный пакет.