

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
филиал МГУ в г. Севастополе  
факультет естественных наук  
кафедра физики и геофизики

<b>УТВЕРЖДЕНО</b>	
на 20 <u>22</u> -20 <u>23</u> учебный год	
Методическим советом Филиала	
Протокол № <u>8</u> от « <u>28</u> » <u>06</u> 20 <u>22</u> г.	
Заместитель директора по учебной работе	
	
Заведующий кафедрой	



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
О.А. Шпырко  
«31» августа 20 21 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины (модуля):**

**Б-ПД Молекулярная физика**

*код и наименование дисциплины (модуля)*

**Уровень высшего образования:**

**бакалавриат**

**Направление подготовки:**

**03.03.02 Физика**

*(код и название направления/специальности)*

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**общий**

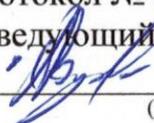
*(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)*

**Форма обучения:**

**очная**

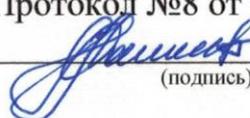
**очная, очно-заочная**

Рабочая программа рассмотрена  
на заседании кафедры физики и геофизики  
протокол №4 от «27» августа 2021 г.  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

(К.В. Показеев)

Рабочая программа одобрена  
Методическим советом  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
Протокол №8 от «31» августа 2021 г.

  
(подпись)

(С.А. Наличаева)

Севастополь, 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Физика» в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение 2016, 2017, 2018, 2019.

*курс – 1*

*семестры – 2*

*зачетных единиц – 6*

*академических часов – 119, в т.ч.*

*лекций – 51 час*

*практических занятий – 68 часов*

*Форма промежуточной аттестации:*

*зачет и экзамен во 2 семестре*

## **1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.**

Курс общей физики является основным в общей системе современной подготовки физиков - профессионалов. Он излагается на младших курсах и его главной задачей является создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики в рамках цикла курсов по теоретической физике и специализированных курсов.

Раздел курса «Молекулярной физики» излагается во втором семестре на первом курсе. Для его освоения требуется практические умения дифференцирования, интегрирования, а также использования векторов и комплексных чисел, обучение которым необходимо провести в первом семестре в рамках курсов «Математический анализ» и «Аналитическая геометрия».

## **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).**

Успешное освоение дисциплин «Математический анализ» (за 1 семестр) и «Механика».

## **3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- термодинамический метод расчета макроскопических величин систем многих частиц;
- первое и второе начала термодинамики;
- законы, управляющие явлениями теплопроводности, вязкости и диффузии;
- уравнение Клапейрона-Клаузиуса для фазовых переходов вещества.

Уметь:

- производить расчеты макроскопических параметров вещества, используя основные термодинамические соотношения и статистические функции распределения;
- количественно решать конкретные задачи в рамках принятых приближений.

Владеть:

- основами статистического подхода к решению задач молекулярной физики.

Иметь опыт:

- решения задач в области МКТ.

## **4. Формат обучения – контактный.**

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 6 з.е., в том числе 119 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 97 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

**6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

**6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)  Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*			
Введение.	Консультации, 2	-	3	5	-
Статистический подход к описанию молекулярных явлений.	Консультации, 3	Решение задач, 3	4	10	-
Идеальный газ. Биномиальное распределение.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Распределения Пуассона и Гаусса	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Распределение молекул газа по скоростям.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	Контрольная работа
Основное уравнение МКТ	Консультации, 3	Решение задач, 3	4	10	-
Понятие температуры.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Броуновское движение.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Молекулярно-кинетические характеристики.	Консультации, 2	Решение задач, 3	4	9	-
Явление переноса.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	Контрольная работа
Нестационарные явления переноса.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-

са.	ции, 2				
Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений.	Консультации, 3	Решение задач, 3	5	11	-
Теплоёмкость.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Теплоёмкость твёрдых тел.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Циклические процессы.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Второе начало термодинамики.	Консультации, 2	Решение задач, 3	5	10	Контрольная работа
Понятие энтропии термодинамической системы.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Реальные газы и жидкости.	Консультации, 2	Решение задач, 3	4	9	-
Эффект Джоуля-Томсона.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Поверхностные явления в жидкостях.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	-
Фазовые переходы первого и второго рода.	Консультации, 2	Решение задач, 3	4	9	-
Твердые тела.	Консультации, 2	Решение задач, 3	3	8	Контрольная работа
Резервная лекция.	Консультации, 2	Решение задач, 2	5	9	-
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа, творческая работа (эссе)	-	-	-	-	-
	51	68	83	202	
Промежуточная аттестация (зачет(ы) и (или) экзамен(ы))			14	14	

<b>Итого</b>		216	
--------------	--	-----	--

## 6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
<b>Лекции</b>		
1.	<b>Введение.</b>	Предмет молекулярной физики. Основные экспериментальные факты, свидетельствующие о дискретном строении вещества. Тепловое движение с точки зрения молекулярных представлений. Масштабы физических величин в молекулярной теории. Особенности межмолекулярного взаимодействия. Агрегатные состояния и характер теплового движения в газах, жидкостях и твердых телах.
2.	<b>Статистический подход к описанию молекулярных явлений.</b>	Методы описания систем многих частиц. Статистические закономерности и описание системы многих частиц. Основные понятия теории вероятностей. Макроскопические и микроскопические состояния системы. Молекулярная система как совокупность частиц и как сплошная среда. Тепловое равновесие систем. Условия равновесия.
3.	<b>Идеальный газ. Биномиальное распределение.</b>	Модель идеального газа. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Биномиальное распределение (распределение Бернулли). Флуктуации плотности идеального газа. Малость относительных флуктуаций.
4.	<b>Распределения Пуассона и Гаусса.</b>	Предельные случаи биномиального распределения: распределение Пуассона и Гаусса. Примеры их применения.
5.	<b>Распределение молекул газа по скоростям.</b>	Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул. Принцип детального равновесия. Наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная скорости молекул газа. Распределение молекул по компонентам скоростей. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
6.	<b>Основное уравнение МКТ.</b>	Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа. Законы Дальтона и Авогадро. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
7.	<b>Понятие температуры.</b>	Понятия равновесного состояния и темпера-

		туры. Нулевое начало термодинамики. Температура и ее статистический смысл. Распределение Гиббса. Распределение Максвелла - Больцмана. Принципы конструирования термометра. Эмпирическая шкала температур. Идеально-газовая шкала температур.
8.	<b>Броуновское движение.</b>	Степени свободы термодинамической системы. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Броуновское движение. Формула Эйнштейна.
9.	<b>Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.</b>	Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Опыты, подтверждающие распределения Максвелла и Больцмана. Опыты Перрена по определению числа Авогадро.
10.	<b>Молекулярно-кинетические характеристики.</b>	Столкновения молекул в газе. Длина свободного пробега. Частота соударений. Газокинетический диаметр. Рассеяние молекулярных пучков в газе. Молекулярно-кинетические характеристики жидкостей и твердых тел.
11.	<b>Явления переноса.</b>	Явления переноса. Диффузия; закон Фика. Внутреннее трение (перенос импульса); закон Ньютона-Стокса. Теплопроводность; закон Фурье. Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками вещества.
12.	<b>Нестационарные явления переноса.</b>	Понятие о релаксационных процессах в молекулярных системах. Нестационарные явления переноса. Уравнение теплопроводности. Уравнение диффузии. Времена релаксации.
13.	<b>Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений.</b>	Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Термодинамические параметры. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы. Первое начало термодинамики. Его применение к процессам в идеальном газе.
14.	<b>Теплоёмкость.</b>	Теплоёмкость системы. Теплоёмкость идеального газа. Связь теплоёмкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера. Политропический

		процесс. Уравнение политропы и его частные случаи.
15.	<b>Теплоёмкость твёрдых тел.</b>	Классическая теория теплоёмкости твёрдых тел. Закон Дюлонга и Пти. Фундаментальные трудности классической теории теплоёмкости. Развитие теории теплоёмкости Эйнштейном и Дебаем.
16.	<b>Циклические процессы.</b>	Преобразование теплоты в работу. Циклические процессы. Нагреватель, рабочее тело, холодильник. Коэффициент полезного действия. Тепловой двигатель и холодильная машина. Цикл Карно и его КПД. Двигатель внутреннего сгорания.
17.	<b>Второе начало термодинамики.</b>	Две теоремы Карно. Термодинамическая шкала температур и ее тождественность идеально-газовой шкале. Нестандартные единицы измерения температур. Неравенство Клаузиуса. Второе начало термодинамики. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина). Их эквивалентность.
18.	<b>Понятие энтропии термодинамической системы.</b>	Понятие энтропии. Энтропия идеального газа. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе. Статистическая трактовка энтропии. Формула Больцмана. Понятие о самоорганизации. Термодинамические потенциалы.
19.	<b>Реальные газы и жидкости.</b>	Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния. Критические параметры. Закон соответственных состояний.
20.	<b>Эффект Джоуля-Томсона.</b>	Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннард-Джонса. Охлаждение при адиабатическом расширении. Эффект Джоуля-Томсона. Методы получения низких температур. Магнитное и лазерное охлаждение. Третье начало термодинамики и его следствия.
21.	<b>Поверхностные явления в жидкостях.</b>	Жидкости. Поверхностные явления. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Смачивание и несмачивание. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Ка-

		пилярные явления.
22.	<b>Фазовые переходы первого и второго рода.</b>	Фаза. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Термодинамический потенциал Гиббса как функция состояния. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Скрытая теплота перехода. Тройная точка. Фазовые переходы второго рода. Аномалии теплового расширения при фазовых переходах.
23.	<b>Твердые тела.</b>	Кристаллические и аморфные состояния. Кристаллы. Симметрия кристаллов. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Решетка Браве. Обозначение плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера. Изоморфизм и полиморфизм. Дефекты в кристаллах. Дислокации. Понятие о жидких кристаллах.
24.	<b>Резервная.</b>	-
<b>Семинары</b>		
1.	Тема 1.	Основные понятия теории вероятностей. Случайная величина. Вероятность. Элементы комбинаторики.
2.	Тема 2.	Статистическая система. Биномиальное распределение. Плотность вероятности.
3.	Тема 3.	Распределения Пуассона и Гаусса.
4.	Тема 4.	Термодинамические статистические системы. Состояние термодинамического равновесия. Температура. Распределение по энергии.
5.	Тема 5.	Распределение Максвелла по скоростям. Характерные скорости. Число молекул с ограниченным интервалом скоростей.
6.	Тема 6.	Распределение Максвелла по скоростям. Частота ударов молекул о стенку сосуда. Давление газа.
7.	Тема 7.	Закон Дальтона. Распределение энергии по степеням свободы. Броуновское движение.
8.	Тема 8.	Контрольная работа 1. Разбор и анализ решений задач контрольной работы 1.
9.	Тема 9.	Распределение Больцмана. Газ в потенциальном поле Земли.
10.	Тема 10.	Распределение Больцмана. Газ в потенциальном поле сил инерции. Система с двумя уровнями энергии.
11.	Тема 11.	Молекулярно-кинетические характеристики газов, жидкостей и твердых тел.

12.	Тема 12.	Стационарные явления переноса. Коэффициенты диффузии, вязкости и теплопроводности в газах. Вязкость.
13.	Тема 13.	Стационарные явления переноса. Теплопроводность.
14.	Тема 14.	Явления переноса: диффузия. Нестационарные явления переноса. Времена релаксации.
15.	Тема 15.	Контрольная работа 2. Разбор и анализ решений задач контрольной работы 2.
16.	Тема 16.	Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Политропические процессы.
17.	Тема 17.	Теплоемкость. Уравнения процессов в идеальном газе.
18.	Тема 18.	Процессы в идеальном газе. Основные составляющие энергетического баланса.
19.	Тема 19.	Циклические процессы. Обратимые циклы. КПД циклов.
20.	Тема 20.	Энтропия. Второе и третье начала термодинамики.
21.	Тема 21.	Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропия и внутренняя энергия как термодинамические функции.
22.	Тема 22.	Применение $T-S$ диаграмм для анализа циклов и расчета КПД тепловых машин.
23.	Тема 23.	Контрольная работа 3. Разбор и анализ решений задач контрольной работы 3.
24.	Тема 24.	Реальные газы и жидкости. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

25.	Тема 25.	Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критические параметры.
26.	Тема 26.	Охлаждение и сжижение газов. Эффект Джоуля – Томсона. Энтальпия.
27.	Тема 27.	Поверхностные явления. Свободная энергия Гельмгольца.
28.	Тема 28.	Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
29.	Тема 29.	Энтропия и теплоемкость систем при фазовых переходах. Потенциал Гиббса.
30.	Тема 30.	Контрольная работа 4. Разбор и анализ решений задач контрольной работы 4.

## 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

### 7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Система контроля знаний включает текущую аттестацию (четыре контрольных работы) и промежуточную (зачет и экзамен). Контрольные работы состоят из 2-4 задач по темам, изученным на практических занятиях. Результаты контрольных работ служат основой для предоставления зачета. Зачет также включает решение задач и ответы на вопросы преподавателя. Экзамен проводится в устной форме и оценивается по четырехбалльной системе: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».

Примеры вариантов контрольных работ:

#### Вариант I-5

- В поле земного притяжения находятся частицы пыли, имеющие массу  $m = 8,5 \cdot 10^{-22}$  кг и объем  $V = 5 \cdot 10^{-22}$  м<sup>3</sup>. Определить уменьшение их концентрации на высоте  $z = 3$  м. Давление и температура воздуха равны соответственно 990 мбар и  $-20^\circ\text{C}$ . На какой высоте концентрация уменьшается в два раза?
- Найти распределение плотности молекул газа в цилиндре радиуса  $R$  и длины  $l$ , вращающемся в поле тяжести вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega$ . Ось цилиндра направлена вертикально.
- Какое число молекул двухатомного газа занимает объем  $V = 10$  см<sup>3</sup> при давлении  $P = 40$  мм рт. ст. и при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$ ?. Какой энергией теплового движения обладают эти молекулы?
- Два сосуда  $A$  и  $B$  соединены короткой трубкой сечения  $S$  и длины  $L$ . В одном сосуде находится азот, в другом кислород. Оба при давлении  $p$  и температуре  $T$ . Диаметры их молекул примерно одинаковы и равны  $d$ . Определить сколько азота продиффундирует в сосуд с кислородом за 1 с.
- Вычислить при температуре  $T = 17^\circ\text{C}$ : а) среднюю квадратичную скорость и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы кислорода; б) среднюю квадратичную скорость капельки воды диаметра  $d = 0,10$  мкм, взвешенной в воздухе.

## Вариант II-5

1. Изменение состояния идеального двухатомного газа происходит по закону  $V = \alpha P^{-1/2}$ , где  $\alpha = \text{const}$ . а) Какова удельная теплоемкость газа в этом процессе, если молекулярная масса газа (молекулярный вес)  $\mu$ ? б) Будет нагреваться или охлаждаться газ при расширении по указанному закону?
2. Насколько изменится разность уровней  $h_1 - h_2$  воды в двух сообщающихся капиллярах с диаметрами  $d_1 = 0,1$  мм и  $d_2 = 0,3$  мм при нагревании от 20 до 70°C, если поверхностное натяжение воды для этих температур равно соответственно 73 и 64 дин/см?
3. Азот, масса которого  $m$ , изотермически расширяется от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ . Газ подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса. Начальное давление  $P$ . Поправки  $a$  и  $b$  заданы. Определить, какую работу совершил газ при этом расширении.
4. Определить изменение энтропии системы, состоящей из воды и насыщенного пара при переходе ее в насыщенный пар. Начальная масса пара  $m_1$ , конечная  $m_2$ . Считать постоянными удельную теплоемкость пара  $C_{P3}$  и  $L_{23}$ . Пар рассматривать как идеальный газ.
5. Гелий массы  $m = 1,7$  грамма адиабатически расширили в  $n = 3,0$  раза и затем изобарически сжали до первоначального объема. Найти приращение энтропии газа в этом процессе.

### 7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

- для экзамена

Вопросы экзаменационных билетов.

1. Предмет молекулярной физики. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Статистический подход к описанию молекулярных явлений. Понятие о статистических закономерностях.
2. Идеальный газ. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Флуктуации плотности идеального газа.
3. Биномиальное распределение.
4. Распределение Пуассона как предельный случай биномиального распределения. Примеры его применения.
5. Распределение Гаусса как предельный случай биномиального распределения. Примеры его применения.
6. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
7. Понятия равновесного состояния и температуры. Термометрическое тело и термометрическая величина. Эмпирические шкалы температур. Газовый термометр. Идеально-газовая шкала температур.
8. Распределение молекул газа по компонентам скоростей.
9. Распределение молекул газа по скоростям. Распределение Максвелла. Принцип детального равновесия.
10. Наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная скорости молекул газа.
11. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.

12. Опыты, подтверждающие распределения Максвелла и Больцмана.
13. Рассеяние молекулярных пучков в газе. Определение длины свободного пробега молекул в опытах по рассеянию.
14. Столкновения молекул в газе. Длина свободного пробега. Частота соударений. Газокинетический диаметр молекул.
15. Молекулярно-кинетические характеристики воздуха при нормальных условиях.
16. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Примеры ее применения.
17. Броуновское движение. Формула Эйнштейна.
18. Опыты Перрена по определению числа Авогадро.
19. Явления переноса. Диффузия; закон Фика. Внутреннее трение; закон Ньютона-Стокса. Теплопроводность; закон Фурье.
20. Явления переноса в газах. Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.
21. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы. Первое начало термодинамики.
22. Первое начало термодинамики. Его применение к процессам в идеальном газе (изотермический, изохорический, изобарический и адиабатический процессы).
23. Методы получения низких температур.
24. Теплоемкость системы. Теплоемкость идеального газа. Связь теплоемкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера.
25. Политропический процесс. Уравнение политропы и его частные случаи.
26. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Зависимость теплоемкости твердых тел от температуры. Температура Дебая.
27. Преобразование теплоты в работу. Циклические процессы. Тепловой двигатель. Коэффициент полезного действия. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
28. Две теоремы Карно.
29. Термодинамическая шкала температур. Ее тождественность с идеально-газовой шкалой.
30. Равенство Клаузиуса. Энтропия как функция состояния.
31. Неравенство Клаузиуса.
32. Второе начало термодинамики. Формулировки Клаузиуса и Томсона (Кельвина). Их эквивалентность.

33. Закон возрастания энтропии. Изменение энтропии идеального газа при его адиабатическом расширении в пустоту.
34. Микро- и макросостояния системы. Термодинамическая вероятность. Статистическая трактовка энтропии. Формула Больцмана.
35. Фазы вещества. Фазовые переходы первого и второго рода. Испарение и конденсация. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Кипение жидкостей.
36. Плавление и кристаллизация. Возгонка. Фазовые диаграммы. Тройная точка.
37. Учет сил взаимодействия молекул газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса.
38. Реальные газы. Изотермы реального газа. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния (перегретая жидкость, переохлажденный пар).
39. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний.
40. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннард-Джонса.
41. Эффект Джоуля – Томсона. Температура инверсии.
42. Поверхностные явления. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол. Смачивание и несмачивание.
43. Капиллярные явления. Формула Лапласа.
44. Кристаллы. Симметрия кристаллов. Элементы точечной симметрии: ось симметрии, плоскость симметрии, центр инверсии, зеркально-поворотная ось симметрии.
45. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Трансляция и трансляционная симметрия. Кристаллические системы.
46. Решетки Браве. Обозначение плоскостей и направлений в кристалле. Индексы Миллера. Дефекты в кристаллах.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка	2	3	4	5
РО и соответствующие виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (домашние задания)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки</b> (владения, опыт деятельности) (экзамен)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

- для зачета

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)</b>				
РО и соответствующие виды оценочных средств	Оценка		Зачтено	
	Не зачтено	Зачтено		
<b>Знания</b> (домашние задания)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки</b> (владения, опыт деятельности) (зачет)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

### 8. Ресурсное обеспечение:

– **Перечень основной и дополнительной литературы.**

1. Иродов И.Е. Задачи по общей физике: Учебное пособие / И.Е. Иродов. – 15-е изд. стер. – М.: Лань, 2018. – 420 с.
2. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. – 4-е изд. – М.: Лань, 2008. – 480 с.
3. Сивухин Д.В. Курс общей физики: в 5 т. Т 2 / Д.В. Сивухин. – 5-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 9, ч. 2 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 4-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2004. – 496 с.

– **Описание материально-технического обеспечения.**

Учебный кабинет №172, (39,78 м <sup>2</sup> ) Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт., 3-х створчатая доска для мела – 1 шт., Стол для преподавателя – 1 шт. Стационарный экран для проектора – 1 шт.
Учебный кабинет №173, (40,71 м <sup>2</sup> ) Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт., 3-х створчатая доска для мела – 1 шт., Стол для преподавателя – 1 шт. Стационарный экран для проектора – 1 шт.

**9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.**

**10. Язык преподавания русский.**

### **11. Преподаватель (преподаватели).**

Доктор физико-математических наук, профессор Виктор Александрович Алешекевич.

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, кандидат физико-математических наук Олег Евгеньевич Кульша.

### **12. Автор (авторы) программы.**

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, кандидат физико-математических наук Олег Евгеньевич Кульша.

**ОФОРМЛЕНИЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА  
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ,  
ПРОВОДИМОЙ В ФОРМЕ УСТНОГО ЭКЗАМЕНА**

Формат (в зависимости от количества вопросов, наличия или отсутствия задач и т.п.) А-5 или А-6

ФИЛИАЛ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА имени М.В. ЛОМОНОСОВА в г. СЕВАСТОПОЛЕ

Направление 03.03.02 Физика

(шифр (шифры) и название (названия) направления (направлений) подготовки)

Учебная дисциплина Молекулярная физика

Семестр 2

*Экзаменационный билет № 1*

1. Биномиальное распределение.
2. Опыты Перрена по определению числа Авогадро.
3. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний.

Утверждено на заседании кафедры,  
протокол № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)

Преподаватель \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)