

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра **медицинской физики с курсом информатики**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по самостоятельной контактной/внеаудиторной работе**

Дисциплина Молекулярная физика и термодинамика

Специальность (код, название) 30.05.02 Медицинская физика

Курс 2

Семестр 4

Уфа 2023

Рецензенты:

Главный врач ГБУЗ Республиканский кардиологический центр,  
к.м.н. Николаева И.Е.

Зав. кафедрой общей физики Уфимского университета науки и  
технологий д.ф.-м.н., профессор Балапанов М. Х.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Г.Н. Загитов

Утверждение на заседании № кафедры медицинской физики с курсом  
информатики от «18» апреля 2023 г.

## **Тема №1:** Обработка результатов нормального закона распределения.

**Цель:** изучение закономерности случайных явлений: случайных событий, случайных величин, их свойства и операции над ними

**Задачи:** рассмотреть вероятность случайных событий, изучение закона распределения случайных величин, обучение обучающихся навыкам работы с большими массивами случайных величин.

**Обучающийся должен знать:**

1. до изучения темы курса школьного курса «Физика»;
2. после изучения темы практическое применение закона распределения Гаусса.

**должен владеть:** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов.

**должен уметь** построить график функции распределения случайных величин.

**должен сформировать компетенции:** ОПК-1

**Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:**

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературы.

2) Ответить на вопросы для самоконтроля

1. Что называют дискретной случайной величиной? В чем ее отличие от непрерывной случайной величины?

2. Что называют законом распределения дискретной случайной величины?

3. Задайте закон распределения дискретной случайной величины таблично, аналитически, графически.

4. Дайте понятие ряда распределения, многоугольника распределения.

5. Что такое функция распределения дискретной случайной величины?

6. Что называют математическим ожиданием дискретной случайной величины?

7. Перечислите свойства математического ожидания.

8. Что называют дисперсией дискретной случайной величины? Запишите формулу.

9. Перечислите свойства дисперсии случайной величины.

10. Что называют средним квадратическим отклонением? Запишите формулу.

11. Что такое мода дискретной случайной величины?

12. Что такое медиана дискретной случайной величины?

13. Какая дискретная величина имеет биномиальное распределение?

14. Какая случайная величина называется распределенной по закону Пуассона?

15. Понятие непрерывной случайной величины.

16. Интегральная функция распределения случайной величины (определение).

17. Нахождение вероятности попадания случайной величины в заданный интервал через функцию распределения.

18. Дифференциальная функция распределения. Вероятность попадания случайной величины в заданный интервал. Условие нормировки.

19. Числовые характеристики непрерывных случайных величин, формулы для их нахождения. Вероятностный смысл математического ожидания. Назначение дисперсии и среднего квадратического отклонения.

20. Закон нормального распределения, кривая Гаусса

3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

1. Под случайным событием, связанным с некоторым опытом, понимается всякое событие, которое при осуществлении этого опыта

а) не может произойти;

б) либо происходит, либо нет;

в) обязательно произойдет.

2. Если событие **A** происходит тогда и только тогда, когда происходит событие **B**, то

их называют

- а) равносильными;
- б) совместными;
- в) одновременными;
- г) тождественными.

3. Если полная система состоит из 2-х несовместных событий, то такие события называются

- а) противоположными;
- б) несовместными;
- в) невозможными;
- г) равносильными.

4. Опыт с подбрасыванием игральной кости. Событие  $A_1$  – появление четного числа очков. Событие  $A_2$  – появление 2-х очков. Событие  $A_1 \cdot A_2$  состоит в том, что выпало

- а) 2; б) 4; в) 6; г) 5.

5. Вероятность достоверного события равна

- а) 0; б) 1; в) 2; г) 3.

6. Вероятность произведения двух зависимых событий  $A$  и  $B$  вычисляется по формуле

- а)  $P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B)$ ; б)  $P(A \cdot B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$ ;
- в)  $P(A \cdot B) = P(A) + P(B) + P(A) \cdot P(B)$ ; г)  $P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(A | B)$ .

7. Из 25 экзаменационных билетов, пронумерованных числами от 1 до 25, студент наудачу извлекает 1. Какова вероятность того, что обучающийся сдаст экзамен, если он знает ответы на 23 билета?

- а)  $\frac{23}{25}$ ; б)  $\frac{2}{23}$ ; в)  $\frac{2}{25}$ ; г)  $\frac{23}{25}$ .

8. В коробке 10 шаров: 3 белых, 4 черных, 3 синих. Наудачу вытащили 1 шарик. Какова вероятность, что он будет либо белым, либо черным?

- а)  $\frac{3}{10}$ ; б)  $\frac{4}{10}$ ; в)  $\frac{10}{7}$ ; г)  $\frac{7}{10}$ .

9. Имеется 2 ящика. В первом 5 стандартных и 1 нестандартная деталь. Во втором 8 стандартных и 2 нестандартные детали. Из каждого ящика наудачу вынимают по одной детали. Какова вероятность того, что вынутые детали окажутся стандартными?

- а)  $\frac{5}{24}$ ; б)  $\frac{2}{3}$ ; в)  $\frac{10}{16}$ ; г)  $\frac{3}{8}$ .

10. Из слова «математика» выбирается наугад одна буква. Какова вероятность того, что эта буква «а»?

- а)  $\frac{1}{10}$ ; б)  $\frac{2}{10}$ ; в)  $\frac{3}{10}$ ; г)  $\frac{4}{10}$ .

Ответы: 1Б, 2А, 3А, 4А, 5Б, 6Г, 7Г, 8Г, 9Б, 10В

4) Выполнить другие задания, предусмотренные рабочей программой по дисциплине. Типовые задачи.

1) Имеется двадцать коробок с яблоками, причем количество яблок в них составляет 10, 9, 11, 10, 12, 8, 11, 9, 10, 10, 11, 8, 9, 10, 9, 11, 12, 10, 9 и 11 штук. Составить закон распределения случайной величины  $X$ , определяемой как количество яблок в произвольно выбранной коробке, построить многоугольник распределения и найти математическое ожидание, дисперсию, среднее квадратическое отклонение и моду этой величины.

2) Число фармацевтов в каждой из 15 аптек некоторого района составляет соответственно 4, 7, 5, 6, 4, 5, 3, 6, 4, 5, 5, 4, 6, 5 и 6 человек. Составить закон распределения случайной величины  $X$ , определяемой как число фармацевтов в произвольно выбранной аптеке (из

этих 15 аптек) и найти математическое ожидание, дисперсию среднее квадратическое отклонение этой величины.

3) К задаче № 1 составить функцию распределения, построить ее график и найти вероятность того, что количество яблок в произвольно выбранной корзине окажется более 10.

4) Дана функция распределения непрерывной случайной величины  $X$

$$F(X) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ \sin x, & \text{при } 0 < x \leq \pi/2 \\ 1, & \text{при } x > \pi/2 \end{cases}$$

Найти плотность распределения  $f(x)$ .

5) Дана функция распределения непрерывной случайной величины  $X$

$$F(X) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ \sin 2x, & \text{при } 0 < x \leq \pi/4 \\ 1, & \text{при } x > \pi/4 \end{cases}$$

Найти плотность распределения  $f(x)$ .

6) Дана функция распределения непрерывной случайной величины  $X$

$$F(X) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ ax^2, & \text{при } 0 < x \leq 2 \\ 1, & \text{при } x > 2 \end{cases}$$

Найти коэффициент  $a$  и плотность вероятности попадания случайной величины  $X$  в интервал  $(0; 1)$ .

7) Задана плотность распределения непрерывной случайной величины  $X$ :

$$f(X) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ \cos x, & \text{при } 0 < x \leq \pi/2 \\ 0, & \text{при } x > \pi/2 \end{cases}$$

Аудиометрия - раздел прикладной акустики, изучающий физиологические параметры звуковых ощущений при воздействии на органы слуха человека звуковых волн. Для медицинского работника очень важно знать закономерности, связывающие количественные параметры физических характеристик звуковых волн и вызванных ими физиологических ощущений

Найти функцию распределения  $F(x)$ .

8) Непрерывная случайная величина  $X$  задана плотностью распределения  $f(x) = 3\sin 3x$  в интервале  $(0; \pi/3)$ ; вне этого интервала  $f(x) = 0$ . Найти вероятность того, что  $X$  примет значение, принадлежащее интервалу  $(\pi/6, \pi/4)$ .

9) Случайная величина  $X$  задана плотностью распределения  $f(x) = 2x$  в интервале  $[0, 1]$ . Вне этого интервала  $f(x) = 0$ . Найти математическое ожидание, и среднее квадратическое отклонение величины  $X$ .

10) Случайная величина  $X$  задана плотностью распределения  $f(x) = x/2$  в интервале  $[0, 2]$ ; вне этого интервала.  $f(x) = 0$ . Найти  $M(X)$  и  $D(X)$ .

11) Случайная величина  $X$  задана плотностью распределения  $f(x) = C(x^2 + 2x)$  в интервале  $[0, 1]$ ; вне этого интервала.  $f(x) = 0$ . Найти: а) параметр  $C$ ; б) математическое ожидание величины  $X$ .

Формы контроля освоения заданий по самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работе по данной теме: тестовые задания, контрольные вопросы, ситуационные задачи, протоколы, заключения, графологическое структуры, реферативные сообщения и др.

## Тема 2: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСВЕЛЛА.

**Цель изучения темы:** Знакомство с компьютерной моделью, описывающей поведение молекул идеального газа

**Задачи:**

Экспериментальное подтверждение распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям;

Экспериментальное определение массы молекул в данной модели.

**Обучающийся должен знать:**

1. до изучения темы курс школьного курса «Физика»;

2. после изучения темы практическое применение закона распределения Максвелла.

**должен владеть:** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов.

**должен уметь** построить график функции распределения случайных величин.

**должен сформировать компетенции:** ОПК-1

**Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:**

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературы. 4) Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике:

ВЕРОЯТНОСТЬЮ  $P_i$  получения некоторого результата измерения называется предел отношения количества измерений, давших этот результат, ( $N_i$ ) к полному числу измерений  $N$ , когда  $N \rightarrow \infty$ .

ЭЛЕМЕНТАРНОЙ вероятностью  $dP_v$  при измерении величины скорости  $v$  называется вероятность наличия скорости величиной от  $v$  до  $v + dv$ . Эта вероятность пропорциональна приращению скорости  $dv$ :  $dP_v = F(v) dv$ , где коэффициент пропорциональности  $F(v)$  называется **ФУНКЦИЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ** молекул по величине скорости. Она может быть выражена через другие функции распределения  $F(v) = \varphi(v_x) \cdot \varphi(v_y) \cdot \varphi(v_z) \cdot 4\pi v^2 = f(v) \cdot 4\pi v^2$ , где  $\varphi(v_x)$ ,  $\varphi(v_y)$  и  $\varphi(v_z)$  - функции распределения для соответствующих проекций скоростей молекул, а  $f(v)$  - их произведение.

В §98 вы можете найти вывод формул, в частности

$$F(v) = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2$$

СРЕДНЯЯ скорость  $\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v F(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ ,

СРЕДНЯЯ квадратичная скорость  $v_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ .

НАИВЕРОЯТНЕЙШЕЙ называется скорость  $v_{\text{ВЕР}}$ , при которой  $F(v)$  имеет максимум:

$$v_{\text{ВЕР}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

2) Ответить на вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение вероятности получения некоторого результата измерения.
2. Дайте определение элементарной вероятности при измерении величины скорости.
3. Что такое функция распределения?
4. Как связаны функции распределения величины и проекции скорости?
5. Каковы особенности графика функции распределения величины скорости молекул

идеального газа?

6. Как вычисляется среднее значение некоторой физической величины  $A$ , если известна ее функция распределения  $f(A)$ ?
  7. Напишите формулу для вычисления среднего значения скорости молекул.
  8. Напишите формулу для вычисления средней квадратичной скорости молекул.
  9. Напишите условие для вычисления наиболее вероятной скорости молекул.
  10. Напишите выражение для средней скорости молекул идеального газа.
  11. Напишите выражение для средней квадратичной скорости молекул идеального газа.
  12. Напишите выражение для наиболее вероятной скорости молекул идеального газа.
  13. Вычислите на сколько процентов отличаются средняя и средняя квадратичная скорости молекул идеального газа.
  14. вычислите на сколько процентов отличаются средняя и наиболее вероятная скорости молекул идеального газа.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля
1. Какие параметры называются *макроскопическими* или *термодинамическими*!
    - 1) параметры, описывающие систему в целом;
    - 2) микроскопические параметры атомов;
    - 3) координаты атомов;
    - 4) скорости атомов;
    - 5) энергии межатомного взаимодействия.
  2. Что такое *статистический метод* описания систем многих частиц?
    - 1) метод описания системы в целом, не интересующийся внутренними атомными механизмами физических процессов и не принимающий во внимание внутреннюю структуру систем, считающий любую систему по существу сплошной средой;
    - 2) метод описания свойств системы, записывая уравнение движения для каждого атома в системе;
    - 3) метод описания систем, учитывающий их атомную структуру и вероятностные распределения микропараметров системы;
    - 4) метод описания поведения системы, используя законы механики;
    - 5) метод, изучающий свойства макроскопических тел и протекающие в них процессы, не вдаваясь в микроскопическую природу тел.
  3. Сколько молекул содержится в 1 моле вещества?
    - 1)  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  молекул;
    - 2)  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  молекул;
    - 3)  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  молекул;
    - 4)  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  молекул;
    - 5)  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  молекул;
  4. Определить среднюю арифметическую скорость молекул кислорода при  $273^\circ\text{K}$ .
    - 1) 1700 м/с;
    - 2) 454 м/с;

3) 425 м/с;

4) 470 м/с;

5) 440 м/с.

5. Отношение средней арифметической скорости молекул идеального газа к их вероятной скорости равно

1) 3;

2) 2,24

3) 3,18;

4) 4,98;

5) 5,16.

6. Как смещается максимум кривой распределения Максвелла по скоростям при увеличении температуры?

1) смещается вправо;

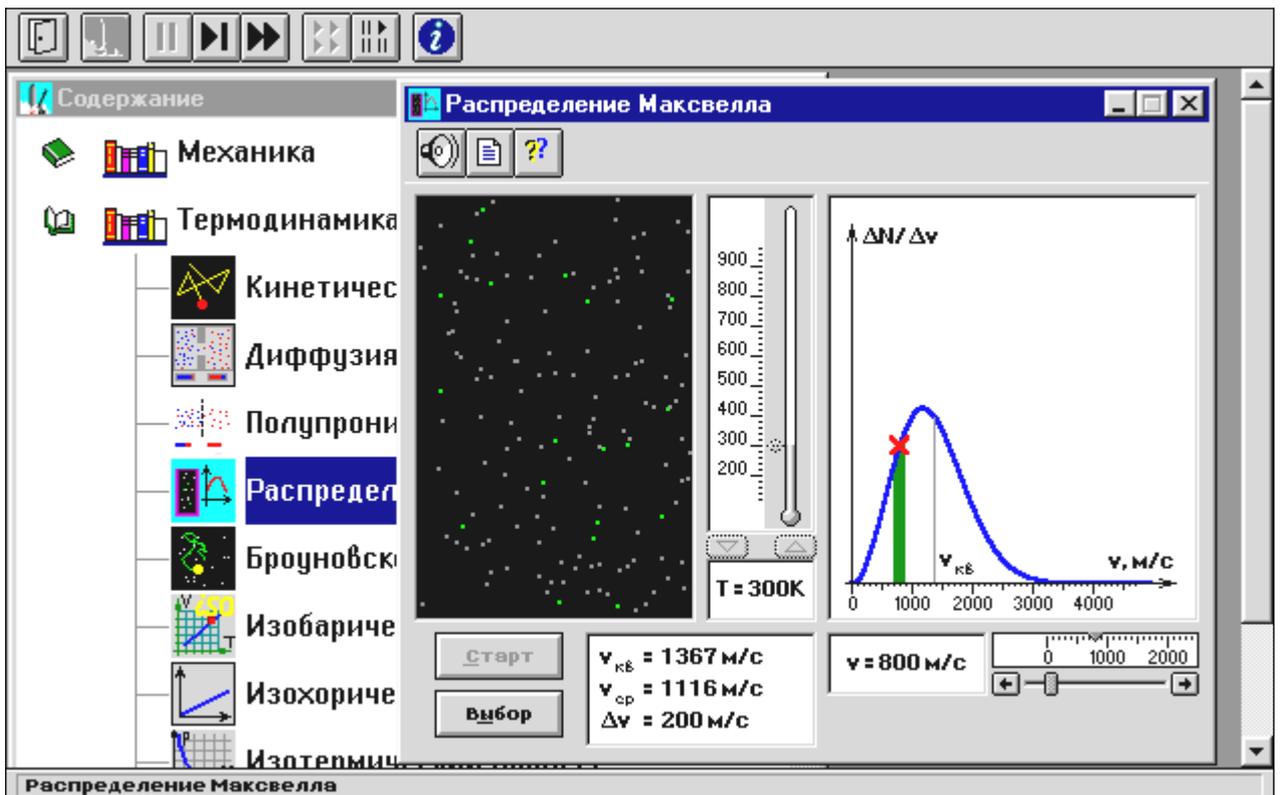
2) смещается влево;

3) не изменяется;

4) функция распределения Максвелла не имеет максимума;

5) не зависит от температуры.

- 4) Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Распределение Максвелла». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.
- 5) Внимательно рассмотрите рисунок и зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы. Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева во внутреннем окне. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и стенками сосуда. Их количество около 100 и данная система является хорошей «механической» моделью идеального газа.



В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «||» вверх) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне  $\Delta v$  вблизи заданной скорости  $v$  (т.е., имеющие скорости от  $v$  до  $v+\Delta v$ ). Для продолжения наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «▶▶». Запишите в тетрадь значение  $\Delta v$ , указанное на экране.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

## 6) ИЗМЕРЕНИЯ

Нажмите кнопки «▶▶», «СТАРТ» и «ВЫБОР» и установите температуру  $T_1$ , указанную в таблице 1 для вашей бригады. Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости. Установите скорость выделенной группы молекул вблизи минимального заданного в таблице 2 значения.

Нажмите клавишу «||» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул  $\Delta N$ , скорости которых лежат в заданном диапазоне  $\Delta v$  вблизи заданной скорости молекул  $v$  (они более яркие). Результат запишите в таблицу 2.

Нажмите кнопку «▶▶» и через 10-20 секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «||»). Подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результат запишите в табл.2.

Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости и результаты запишите в табл.2.

Измените скорость до значения, указанного в табл.2, и сделайте по 5 измерений (как в пункте 4) для каждой скорости.

Установите (как в пункте 1) вторую температуру  $T_2$  из табл.1. Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.

Повторите измерения (по пунктам 2,3,4,5), записывая результат в табл.3, аналогичную табл.2.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения температуры (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_1$	160	200	260	300	360	400	460	500

T <sub>2</sub>	700	740	760	800	840	860	900	960
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ТАБЛИЦЫ 2. Результаты измерений при T = K

v[км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ΔN <sub>1</sub>							
ΔN <sub>2</sub>							
ΔN <sub>3</sub>							
ΔN <sub>4</sub>							
ΔN <sub>5</sub>							
ΔN <sub>CP</sub>							

7) ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц ΔN<sub>CP</sub>, скорости которых лежат в данном диапазоне от v до v+Δv.

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных и теоретических зависимостей ΔN<sub>CP</sub>(v). Теоретические зависимости можно срисовать с экрана монитора компьютера, подобрав соответствующий масштаб по вертикальной оси ординат.

Для каждой температуры определите экспериментальное значение наивероятнейшей скорости молекул v<sub>ВЕР</sub>.

Постройте график зависимости квадрата наивероятнейшей скорости от температуры v<sub>ВЕР</sub><sup>2</sup>(T).

По данному графику определите значение массы молекулы

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{ВЕР}^2)}$$

Подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы.

Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

**Табличные значения**

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы 10 <sup>-27</sup> кг	3.32	6.64	33.2	46.5	53.12

### Тема №3: ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. Диффузия в газах.

#### Цель:

Знакомство с компьютерной моделью, описывающей диффузию молекул идеального газа;  
Экспериментальное подтверждение закона диффузии;  
Экспериментальное определение средней скорости теплового движения частиц в данной модели.

**Задачи:** рассмотреть вероятность случайных событий, изучение закона распределения случайных величин, обучение обучающихся навыкам работы с большими массивами случайных величин.

#### Обучающийся должен знать:

1. до изучения темы курс школьного курса «Физика»;
2. после изучения темы практическое применение закона диффузии.

**должен владеть:** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов.

**должен уметь** построить график функции распределения случайных величин.

**должен сформировать компетенции:** ОПК-1

**Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:**

- 1) Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике.

Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Диффузия». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

#### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

При нарушении равновесия макросистема стремится вернуться в равновесное состояние. **ЯВЛЕНИЯМИ ПЕРЕНОСА** называются процессы, связанные с возникновением в веществе **НАПРАВЛЕННОГО ПЕРЕНОСА** (потока) массы, импульса или внутренней энергии.

**ДИФФУЗИЯ** есть процесс установления внутри фаз вещества равновесного распределения концентраций, который обеспечивается направленным переносом массы этого вещества. Диффузия обусловлена тепловым движением молекул и проявляется в самопроизвольном выравнивании концентраций в смеси нескольких веществ.

**САМОДИФФУЗИЯ** имеет место при самопроизвольном выравнивании концентрации однородного вещества, если по некоторым причинам равновесное распределение концентрации было нарушено.

**ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА**  $\lambda$  есть среднее расстояние, пролетаемое частицей между двумя последовательными столкновениями. **ЭФФЕКТИВНЫЙ ДИАМЕТР** частицы есть минимальное расстояние, на которое сближаются центры двух сталкивающихся частиц.

Если в начальный момент времени имеет место неоднородное распределение плотности вещества  $\rho$  вдоль только одной оси (например,  $Ox$ ), тогда возникает **ОДНОМЕРНАЯ ДИФФУЗИЯ**, связанная с переносом массы  $M$  вдоль этой оси  $Ox$ . Для двухкомпонентной системы (например, смеси двух газов) одномерная диффузия описывается первым законом Фика:

$$dM = -D \frac{d\rho}{dx} dS \cdot dt ,$$

где  $dM$  - масса одного компонента (индексы для характеристик данного компонента пропущены), которая переносится за время  $dt$  через элементарную площадку, перпендикулярную оси  $Ox$ , имеющую площадь  $dS$ , в направлении убывания плотности

этого компонента,  $\frac{d\rho}{dx}$  - градиент плотности первого компонента,  $D$  - коэффициент

диффузии.

Для смеси «красных» и «зеленых» частиц, имеющих одинаковую массу  $m$  каждой

частицы,  $dM = m \cdot dN$ ,  $\rho = m \frac{N}{V}$ , а  $\frac{d\rho}{dx} = m \frac{dN}{V dx}$ , где  $dN$  - количество частиц,

$$dN = -D \frac{\Delta N}{\Delta X V} dS dt$$

проходящих через  $dS$  за время  $dt$ , которое равно  $\frac{L_{OTB}}{V}$ , где разность числа частиц в левом и правом сосудах  $\Delta N = N_2 - N_1$ ,  $N_2 = N_0 - N(t)$ ,  $N_1 = N(t)$ ,  $\Delta X = L_{OTB}$ , объем сосуда  $V = 20 \text{ см}^3$ ,  $dS$  есть площадь отверстия. Решаем уравнение методом разделения переменных:

$$\frac{dN}{N_0 - 2N(t)} = -D \frac{S_{OTB}}{L_{OTB} V} dt$$

. Интегрируем слева от 0 до  $N(t)$ , а справа - от 0 до  $t$  и

получаем:

$$\ln \left( 1 - \frac{2N(t)}{N_0} \right) = -\frac{2DS_{OTB}}{L_{OTB} V} t \quad \text{или} \quad N(t) = \frac{N_0}{2} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{2DS_{OTB}}{L_{OTB} V} t \right) \right]$$

2) Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что происходит с макросистемой при нарушении равновесия?
2. Дайте определение явления переноса.
3. Назовите примеры явлений переноса.
4. Дайте определение явления диффузии.
5. Чем обусловлена диффузия?
6. В чем проявляется диффузия?
7. Какая диффузия называется одномерной?
8. Что такое самодиффузия?
9. Напишите уравнение одномерной диффузии для двухкомпонентной системы газов.
10. Каков физический смысл коэффициента диффузии.
11. Что такое плотность тела?
12. Что такое концентрация молекул (частиц)?
13. Дайте определение градиента плотности в общем случае.
14. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется только вдоль оси OX.
15. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется только вдоль оси OY.
16. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется только вдоль оси OZ.
17. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется вдоль осей OX и OY.
18. Что такое длина свободного пробега частицы?
19. Что такое эффективный диаметр и эффективное сечение частицы?
20. Какое уравнение связывает среднюю скорость с коэффициентом диффузии?

3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

1. Диффузия происходит:

- а) во всех трёх состояниях тел +
- б) в твёрдых телах
- в) только в жидкостях

2. Вещества состоят из молекул. Почему же сделанные из них тела кажутся сплошными:

- а) потому что промежутки между молекулами так малы, что не различимы глазом

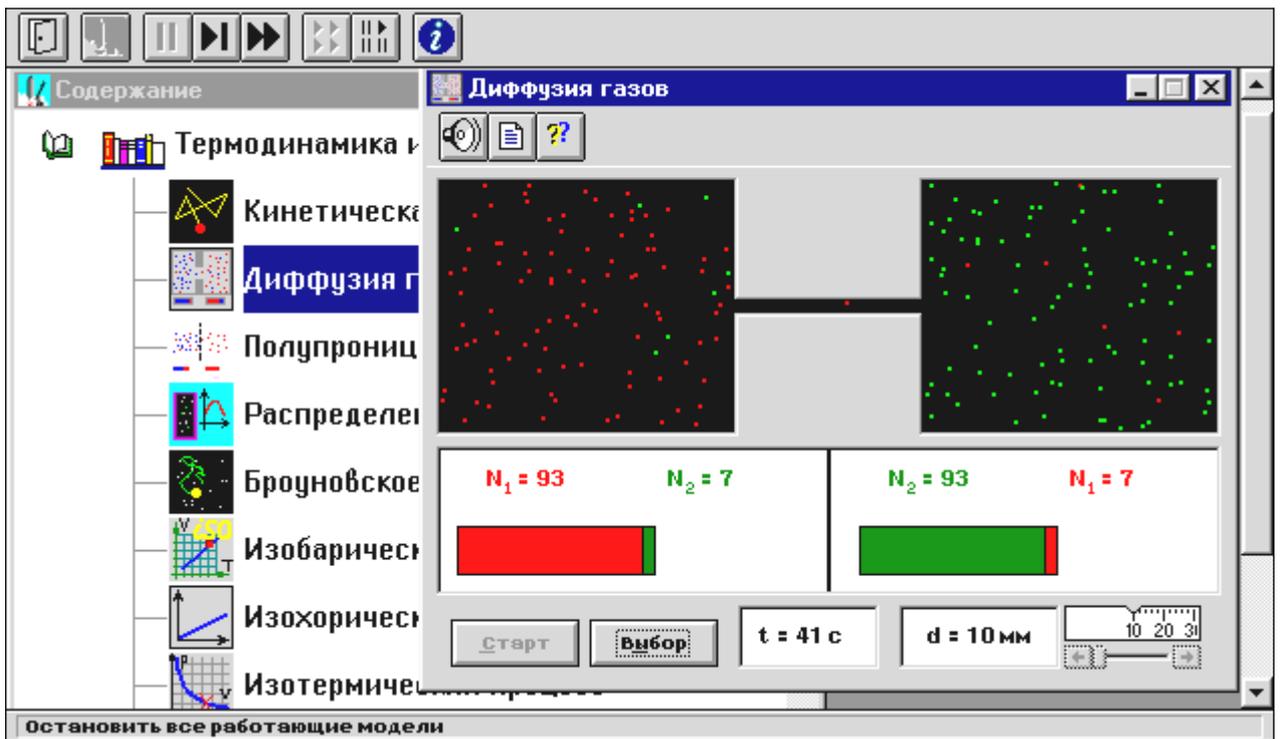
- б) потому что они занимают весь внутренний объём тела +  
в) потому что молекулы расположены вплотную друг к другу
3. Чем отличается с молекулярной точки зрения сталь в твёрдом и жидком состояниях:  
а) размером молекул  
б) составом молекул  
в) расположением, взаимодействием и движением молекул +
4. Одинаковы ли молекулы одного и того же вещества:  
а) одинаковы +  
б) отличаются  
в) иногда одинаковы, а иногда различаются
5. Как расположены, взаимодействуют и движутся молекулы в газах:  
а) они расположены в строгом порядке, сильно взаимодействуют и колеблются около определённых положений  
б) молекулы находятся на больших расстояниях друг от друга в определённом порядке, слабо взаимодействуют друг с другом и движутся в разные стороны  
в) молекулы находятся на больших расстояниях (по сравнению с размерами молекул) друг от друга, практически не взаимодействуют и движутся беспорядочно +
6. В каком состоянии вещества его молекулы сближены на расстояния, меньшие размеров самих молекул, сильно взаимодействуют и остаются на одних и тех же местах, лишь совершая около них колебания:  
а) в газообразном  
б) в твёрдом +  
в) в жидком
7. Какие общие свойства присущи газам:  
а) трудность сжатия, изменения формы и объёма  
б) сохранение газом своего объёма и формы  
в) заполнение газом всего предоставленного ему пространства +
8. Молекулы непрерывно и хаотически движутся, из-за этого происходят такие явления, как:  
а) перемещение планет  
б) давление газа +  
в) броуновское движение
9. Каковы общие свойства жидкостей:  
а) трудность изменения объёма и формы  
б) обладание собственным объёмом и формой  
в) наличие у них собственного объёма и текучести, следовательно, изменчивости формы +
10. Диффузия происходит:  
а) только в газах  
б) только в жидкостях  
в) во всех состояниях тел +
11. Какими общими свойствами обладают твёрдые тела:  
а) собственными объёмом и формой +  
б) собственным объёмом и изменчивостью формы  
в) собственной формой и легко изменяемым объёмом
12. Молекулы непрерывно и хаотически движутся, так ли это:  
а) да +

- б) нет
  - в) отчасти
13. Может ли какое-либо вещество быть в разных состояниях:
- а) может: оно изменит своё состояние, если изменятся условия +
  - б) нет: любое вещество или твёрдое, или жидкое, или газообразное
  - в) не может
14. Диффузия — явление самопроизвольного смешивания веществ в твердом, жидком и газообразном состояниях, так ли это:
- а) нет
  - б) отчасти
  - в) да +
15. В скольких и каких состояниях могут вообще находиться вещества:
- а) в трёх: твёрдом, жидком и газообразном +
  - б) в трёх: в виде твёрдого тела, жидкости и пара•
  - в) в двух: твёрдом и газообразном
16. Химические связи в молекулах подавляющего большинства органических соединений является ковалентными, так ли это:
- а) нет
  - б) да +
  - в) отчасти
17. Что из названного свидетельствует о существовании отталкивания молекул:
- а) несмачиваемость жидкостью поверхности твёрдого тела
  - б) текучесть жидкости
  - в) распрямление сжатого ластика +
18. Молекулы состоят из:
- а) атомных ядер +
  - б) нейтрино
  - в) протонов
19. Что из названного свидетельствует о существовании отталкивания молекул:
- а) текучесть жидкости
  - б) несмачиваемость жидкостью поверхности твёрдого тела
  - в) практическое сохранение жидкостью объёма при её сдавливании +
20. Какие из названных явлений представляют собой диффузию:
- а) океанские течения
  - б) течение воды в реке
  - в) окрашивание воды в пробирке при попадании в неё капель йода +
21. Каким взаимодействием молекул, притяжением или отталкиванием, объясняются следующие факты: наличие у твёрдых тел постоянного объёма и неизменной формы, смачиваемость жидкостью поверхности твёрдого тела, необходимость большого усилия для растяжения или разлома твёрдого тела:
- а) притяжением +
  - б) взаимодействие молекул не объясняет этих фактов
  - в) отталкиванием
22. Как влияет на диффузию повышение температуры контактирующих тел:
- а) диффузия происходит быстрее +
  - б) диффузия происходит медленнее
  - в) сначала она ускоряется, потом не изменяется

23. Как взаимодействуют молекулы тела:
- а) отталкиваются одна от другой
  - б) движутся независимо друг от друга
  - в) молекулы и притягиваются, и отталкиваются: при расстояниях между ними, сравнимых с их размерами, преобладает притяжение, при меньших расстояниях — отталкивание +
24. Чем отличается, с молекулярной точки зрения, сталь в твёрдом и жидком состояниях:
- а) составом молекул
  - б) ничем +
  - в) размером молекул
25. Молекула:
- а) маленькая частица
  - б) частица вещества
  - в) наименьшая частица того или иного вещества +
26. Молекулы непрерывно и хаотически движутся, из-за этого происходят такие явления, как:
- а) движение волн
  - б) ньютоновское движение
  - в) испарение +
27. В каком состоянии, состоянии вещества его молекулы сближены на расстояния меньше размеров самих молекул, сильно взаимодействуют и остаются на одних и тех же местах, лишь совершая около них колебания:
- а) в жидком +
  - б) в газообразном
  - в) в твёрдом
28. Чем объясняется уменьшение размеров тела при сжатии и их увеличение при растяжении:
- а) тем, что молекулы сжимаются или растягиваются
  - б) тем, что при сжатии или растяжении молекулы сдвигаются в ту или иную сторону
  - в) тем, что при сжатии промежутки между молекулами сокращаются, при растяжении увеличиваются +
29. Что из названного свидетельствует о существовании отталкивания молекул:
- а) текучесть жидкости +
  - б) распрямление сжатого ластика
  - в) несмачиваемость жидкостью поверхности твёрдого тела
30. Беспорядочное движение (дрожание) нерастворимых в жидкости или газе частичек:
- а) давление газа
  - б) броуновское движение +
  - в) диффузия

4) МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок. Зарисуйте необходимое в конспект.



Обратите внимание на 2 системы частиц, находящихся в начальный момент в левом (красные) и в правом (зеленые) объемах. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Количество частиц  $N_0$  каждой компоненты равно 100 и данная система является хорошей “механической” моделью идеального газа.

Нажмите мышью кнопку «Старт» во внутреннем окне экрана.

В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «| |» сверху во внешнем окне) и получать как бы “мгновенные фотографии”. Для продолжения наблюдений надо нажать кнопку «▶▶», расположенную сверху во внешнем окне. Количество частиц подсчитывается автоматически и высвечивается над соответствующими столбиками. Для установки нового диаметра трубки надо нажать «▶▶»сверху во внешнем окне и кнопки «Старт» и «Выбор» внизу во внутреннем окне. Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

#### ИЗМЕРЕНИЯ:

**ЭКСПЕРИМЕНТ.** Исследование диффузии частиц через тонкую трубку, соединяющую два объема.

Нажмите кнопку <СТАРТ> и через  $\Delta t$  секунд после начала процесса нажмите кнопки «| |» сверху во внешнем окне. Результат запишите в таблицу 2. Нажмите кнопку «▶▶». Через  $\Delta t$  секунд, нажав «| |», получите еще одну “мгновенную фотографию” и запишите количество частиц.

Закончив измерения с данной трубкой, установите второе значение диаметра соединительной трубки  $d_2$  из табл.1 и повторите измерения, записывая результат в таблицу 3, аналогичную табл.2.

**ТАБЛИЦА 1.** Значения диаметров соединительной трубки, длительности промежутка измерения и сорта частиц.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$d_1$ , мм	10	12	14	16	10	12	14	16
$d_2$ , мм	20	22	24	26	28	30	32	34
$\Delta t$ , с	15	15	15	15	10	10	10	10
Сорт	красн	зелен	красн	зелен	красн	зелен	красн	зелен
Объем	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева

ОБРАЗЕЦ ТАБЛИЦ 2,3 для записи результатов:

t[c]=	$\Delta t$	$2\Delta t$	$3\Delta t$	$4\Delta t$	$5\Delta t$	$6\Delta t$	$7\Delta t$	$8\Delta t$	$9\Delta t$	$10\Delta t$
N(t)=										
$1 - \frac{2N(t)}{N_0}$										
$\ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right)$										

5) ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Вычислите и запишите в таблицы все указанные значения.

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей

$$-\ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right) = f(t) \text{ и, используя формулу } D = \frac{2 L_{\text{отв}} V}{\pi d^2} \frac{\Delta \left( \ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right) \right)}{\Delta t},$$

определите по графикам коэффициенты диффузии для каждого отверстия. Длину отверстия  $L_{\text{отв}}$  измерьте линейкой на экране монитора, объем сосуда  $V = 20 \text{ см}^3$ .

Найдите среднее значение коэффициента диффузии и, используя соотношение

$$D = \frac{1}{3} v_{\text{ср}} \lambda_{\text{ср}},$$

найдите среднюю скорость теплового движения  $v_{\text{ср}}$  частиц ( $\lambda_{\text{ср}} = 2 \text{ см}$ ).

Сделайте выводы по графику и ответу. В выводе по ответу сравните полученное экспериментально значение  $v_{\text{ср}}$  с величиной скорости, оцененной «на глаз».

#### Тема №4: ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. Изотермы реального газа.

##### Цель:

Знакомство с компьютерной моделью, описывающей вещество в газообразном состоянии и его переход в жидкое состояние.

Экспериментальное подтверждение закономерностей поведения реального газа.

**Задачи:** рассмотреть вероятность случайных событий, изучение закона распределения случайных величин, обучение обучающихся навыкам работы с большими массивами случайных величин.

##### Обучающийся должен знать:

1. до изучения темы курс школьного курса «Физика»;

2. после изучения темы практическое применение изотерм идеального газа.

**должен владеть:** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов.

**должен уметь** построить график функции распределения случайных величин.

**должен сформировать компетенции:** ОПК-1

**Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:**

1) Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике. Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Изотермы реального газа». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

##### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

ФИЗИЧЕСКИМ газом называется вещество, находящееся в газообразном состоянии. «ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ» это название модели, описывающей физический газ, находящийся в сильно разреженном состоянии (при не слишком больших давлениях и достаточно высоких температурах). Уравнением, связывающим параметры состояния идеального газа, является уравнение Менделеева-Клапейрона. Поэтому оно имеет второе название: УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА. Его вид известен:  $pV = \nu RT$ , где  $p$  - давление газа,  $V$  - объем газа,  $\nu$  - количество киломолей,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $T$  - температура газа.

Более точная модель физического (реального) газа была предложена Ван-дер-Ваальсом. Она также является приближенной, но лучше описывает процессы, нежели модель «идеальный газ». Иногда эту модель называют «реальный газ». Газом ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА (ВдВ) называется воображаемый газ (модель), параметры состояния которого точно подчиняются уравнению

$$\left(p + \frac{\nu^2 a}{V^2}\right)(V - \nu b) = \nu RT$$

Оно называется УРАВНЕНИЕМ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА. Здесь  $a$  и  $b$  - константы Ван-дер-Ваальса.

ДОБАВКА К ВНЕШНЕМУ ДАВЛЕНИЮ ( $a$ ) обусловлена взаимным притяжением молекул друг к другу.

ПОПРАВКА К ОБЪЕМУ ( $b$ ) характеризует ту часть объема, которая недоступна для движения молекул. Она равна нескольким суммарным объемам молекул, содержащихся в газе.

ИЗОТЕРМОЙ называется зависимость давления от объема данного (фиксированного) количества вещества при постоянной температуре.

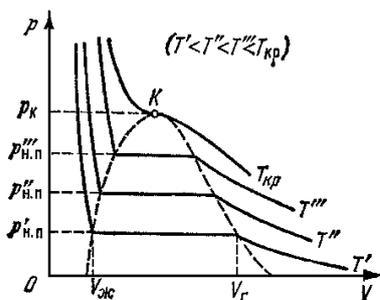


Рис.1

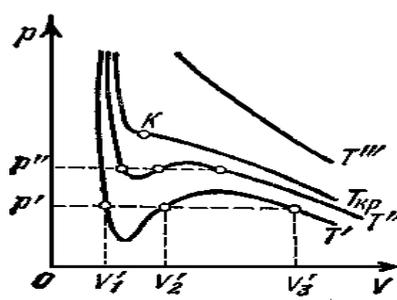


Рис.2

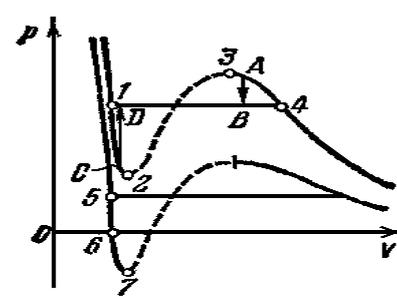


Рис.3

На рис.1 приведены изотермы некоторого физического (реального) газа, а на рис.2 и рис.3 - изотермы ВдВ газа (взяты из учебника [1]).

ИЗОТЕРМА ВдВ газа, имеющая только точку перегиба и не имеющая экстремумов, называется КРИТИЧЕСКОЙ. Температура критической изотермы называется КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ. Объем и давление в критической точке также называются КРИТИЧЕСКИМИ.

УРАВНЕНИЯ ДЛЯ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ:

$$V_{кр} = 3b, p_{кр} = \frac{a}{27b^2}, T_{кр} = \frac{8a}{27b}, \text{ Отсюда } A = \frac{a}{b^2}, v = 0.375v.$$

При температуре выше критической вещество может находиться только в газообразном состоянии. При температуре ниже критической вещество может находиться как в газообразном, так и в жидком состоянии. Жидкое состояние описывается левыми (по отношению к точке перегиба) частями графиков на рисунках и характерно тем, что небольшое уменьшение объема вещества может произойти только при резком увеличении давления (жидкость практически несжимаема).

Изотермы ВдВ примерно совпадают с изотермами реального газа на участках, соответствующих однофазным состояниям вещества.

Рис.3 разъясняет поведение вещества при разных внешних условиях. В области, где присутствуют 2 фазы (1-2-3-4) S-образный завиток изотермы ВдВ заменяется горизонтальным участком (1-4) реальной изотермы (см.учебник).

Нереализуемое состояние соответствует участку 2-3, на котором сжимаемость вещества была бы отрицательна, что невозможно.

Переохлажденный пар на участке 3-4 реализуется при определенных условиях (при практическом отсутствии центров конденсации и внешних воздействий).

Перегретая жидкость на участке 1-2 реализуется при отсутствии примесей, способных быть центрами кипения.

## 2) Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое физический газ?
2. Перечислите все известные агрегатные состояния вещества.
3. Что такое идеальный газ?
4. При каких условиях физический газ можно описывать моделью идеального газа?
5. Что такое уравнение состояния?
6. Как выглядит уравнение состояния идеального газа? Каково его второе название?
7. Что такое газ Ван-дер-Ваальса?
8. Как выглядит уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса? Каково его второе название?
9. Что такое константы Ван-дер-Ваальса?
10. Что определяет первая константа Ван-дер-Ваальса?
11. Что определяет вторая константа Ван-дер-Ваальса?
12. Что такое изотерма?
13. Что такое критическая изотерма?
14. Каковы особенности поведения газа при температуре, выше критической?
15. Каковы особенности поведения газа при температуре, ниже критической?

16. На каких участках изотермы ВДВ примерно совпадают с изотермами реального газа?

3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

1. Термодинамические процессы, во время которых количество вещества и один из параметров состояния: давление, объём, температура или энтропия – остаётся неизменным:
  - а) изопроцессы +
  - б) экзопроцессы
  - в) икзопроцессы
2. Неизменному давлению соответствует:
  - а) икзобарный процесс
  - б) изобарный процесс +
  - в) экзобарный процесс
3. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном давлении:
  - а) изохорный процесс
  - б) изотермический процесс
  - в) изобарный процесс +
4. Зависимость объёма газа от температуры при неизменном давлении была экспериментально исследована в этом году Жозефом Луи Гей-Люссаком:
  - а) 1802 +
  - б) 1822
  - в) 1902
5. Линия, изображающая изобарный процесс на диаграмме, называется:
  - а) изохорой
  - б) изотермой
  - в) изобарой +
6. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объёме:
  - а) изобарный процесс
  - б) изохорный процесс +
  - в) изотермический процесс
7. Линия, изображающая изохорный процесс на диаграмме, называется:
  - а) изобарой
  - б) изотермой
  - в) изохорой +
8. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянной температуре:
  - а) изотермический процесс +
  - б) изохорный процесс
  - в) изобарный процесс
9. Изотермический процесс в идеальных газах описывается законом:
  - а) Боля – Муриотта
  - б) Дойля – Мариарти
  - в) Бойля – Мариотта +
10. Линия, изображающая на термодинамической диаграмме изотермический процесс:
  - а) изобара
  - б) изотерма +
  - в) изохора
11. Процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянной энтропии:
  - а) изоэнтропийный процесс +
  - б) изобарный процесс
  - в) изотермический процесс
12. В воздушном насосе перекрыли выходное отверстие и быстро сжали воздух в

- цилиндре насоса. Какой процесс происходит с воздухом в цилиндре насоса:
- а) изотермический
  - б) адиабатный +
  - в) изохорный
13. Процесс, происходящий без теплообмена системы с окружающей средой:
- а) адиабатный процесс +
  - б) изотермический процесс
  - в) изобарный процесс
14. Если идеальный газ отдал количество теплоты 100 Дж и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 100 Дж, то работа, совершенная газом, равна:
- а) 200 Дж
  - б) 100 Дж
  - в) 0 Дж +
15. Если идеальный газ совершил работу 300 Дж и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, то газ в этом процессе:
- а) не отдал и не получил теплоту +
  - б) отдал 300 Дж
  - в) получил 300 Дж
16. Идеальный тепловой двигатель, рабочим телом которого является идеальный газ, совершает цикл Карно. При этом газ получает положительное количество теплоты:
- а) на трёх участках этого цикла
  - б) на одном участке этого цикла +
  - в) на всех участках этого цикла
17. Внешние силы совершили над газом работу 300 Дж, при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 500 Дж. В этом процессе газ:
- а) отдал количество теплоты 400 Дж
  - б) отдал количество теплоты 100 Дж
  - в) получил количество теплоты 200 Дж +
18. Порции идеального газа сообщили некоторое количество теплоты. При этом газ совершил положительную работу. В результате внутренняя энергия порции газа:
- а) не изменилась
  - б) могла и увеличиться, и уменьшиться, и остаться неизменной +
  - в) увеличилась
19. Идеальный газ совершил работу 300 Дж и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 300 Дж. Какое количество теплоты отдал или получил газ в этом процессе:
- а) получил 300 Дж
  - б) отдал 300 Дж
  - в) получил 600 Дж +
20. Над газом внешние силы совершили работу 300 Дж, а его внутренняя энергия увеличилась на 100 Дж. В этом процессе газ:
- а) получил количество теплоты 400 Дж
  - б) отдал количество теплоты 200 Дж +
  - в) получил количество теплоты 200 Дж
21. При изохорном нагревании газа его давление увеличится, так как увеличится:
- а) средняя кинетическая энергия молекул +
  - б) концентрация молекул
  - в) объем газа
22. Давление азота массой 3 кг уменьшилось в 2 раза, а температура увеличилась в 4 раза, тогда его объем:
- а) увеличился в 2 раза
  - б) увеличился в 8 раз +

- в) уменьшился в 2 раза
23. Как изменится давление идеального газа при увеличении абсолютной температуры в 2 раза и объема в 2 раза? Масса газа не изменяется:
- а) увеличится в 2 раза  
 б) увеличится в 4 раза  
 в) не изменится +
24. В металлическом баллоне при неизменной массе идеального газа температура увеличилась от 10°C до 50°C. Как изменилось давление газа:
- а) не изменилось  
 б) увеличилось в 1,14 раза +  
 в) увеличилось в 5 раз
25. Какое из приведенных ниже уравнений соответствует изохорному процессу? Выберите правильное утверждение:
- а)  $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$   
 б)  $V_1 \cdot T_2 = V_2 \cdot T_1$   
 в)  $p_1 \cdot T_2 = p_2 \cdot T_1$  +
26. Какое из приведенных ниже уравнений соответствует изобарному процессу? Выберите правильное утверждение:
- а)  $p_1/V_2 = p_2/V_1$   
 б)  $V_1/T_1 = V_2/T_2$  +  
 в)  $p_1/T_1 = p_2/T_2$

#### 4) МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрите внимательно рисунок и зарисуйте необходимое в свой конспект. Нажмите мышью кнопку «СТАРТ». Поработайте с моделью, меняя температуру. Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

#### ИЗМЕРЕНИЯ

##### ЭКСПЕРИМЕНТ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Щелкните левой кнопкой мыши, когда ее маркер на кнопке «Выбор».

Подведите маркер мыши к кнопке у верхней границы столбика на регуляторе температуры и нажмите левую кнопку мыши. Удерживая кнопку в нажатом состоянии, перемещайте границу столбика до тех пор, пока на правом экране не появится критическая изотерма с точкой перегиба и без экстремумов.

Запишите в свой конспект значения критических параметров  $T_{кр}$ ,  $V_{кр}$ ,  $p_{кр}$ .

##### ЭКСПЕРИМЕНТ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТЕРМ ГАЗА ВДВ.

1. Установите значение температуры, указанное первым в таблице начальных значений для вашей бригады. Нажмите мышью кнопку «СТАРТ» на экране и наблюдайте перемещение поршня на левой картинке модели и перемещение точки по красной кривой теоретической адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «СТОП» на экране. Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ».

После остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «СТАРТ», и останавливайте, нажимая кнопку «СТОП», когда крестик на теоретической изотерме (красная кривая) будет находиться вблизи следующих значений объема: 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18 и 0.2 дм<sup>3</sup> (6 значений), записывая при остановке значения в таблицу 2.

Установив новое значение температуры  $T$  из таблицы 1, задавая  $V_{нач} = 0.1$  дм<sup>3</sup>, повторите измерения, записывая результаты в таблицы 3,4,5.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения температуры (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_1$	500	510	520	530	540	550	560	570
$T_2$	580	590	600	610	620	630	640	650
$T_3$	660	670	680	690	660	670	680	690

$T_4$	690	700	690	700	690	700	690	700
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ТАБЛИЦЫ 2,3,4,5 Результаты измерений при  $T =$  \_\_\_\_\_ К

$V[\text{см}^3]$						
$p[\text{кПа}]$						
$1/V [\text{м}^{-3}]$						

**5) ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:**

По измеренным значениям критических параметров вычислите константу  $A$ .

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей давления от обратного объема для начальных точек всех изотермических процессов (указав на них температуры).

Для каждой изотермы определите значение количества вещества, используя \_\_\_\_\_.

Вычислите среднее значение  $v$  и величину константы  $A'$  по формуле  $A' = 0.375v$ .

Запишите ответ для  $A'$  и проанализируйте ответы и графики. В выводах по ответу сравните  $A'$ , полученное по изотермам, с  $A$ , полученным через критические параметры.

## Тема №5: ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА. АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.

### Цель:

Знакомство с компьютерной моделью, описывающей адиабатический процесс в идеальном газе;

Экспериментальное подтверждение закономерностей адиабатического процесса;

Экспериментальное определение показателя адиабаты, количества степеней свободы и структуры молекул газа в данной модели.

### Задачи:

Знакомство с компьютерной моделью, описывающей адиабатический процесс в идеальном газе.

### Обучающийся должен знать:

1. до изучения темы курс школьного курса «Физика»;

2. после изучения темы практическое применение адиабатного процесса.

**должен владеть:** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов.

**должен уметь** построить график функции давления газа от давления.

**должен сформировать компетенции:** ОПК-1

**Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:**

1) Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике.

Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Адиабатический процесс».

Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

СОСТОЯНИЕ системы имеет фиксированные значения макроскопических параметров, описывающих систему в целом. Параметры, характеризующие систему в целом, называются ПАРАМЕТРАМИ СОСТОЯНИЯ. Примерами являются температура, давление, объем и т.д.

РАВНОВЕСНЫМ называется такое состояние системы, при котором все параметры системы имеют определенные значения, остающиеся неизменными сколь угодно долго при неизменных внешних условиях.

ОБРАТИМЫМ называется процесс, при реализации которого в обратном направлении система проходит через те же состояния, что и при прямом ходе, но в обратной последовательности. Равновесные процессы всегда обратимы.

КРУГОВЫМ процессом (ЦИКЛОМ) называется процесс, при котором система после ряда изменений возвращается в исходное состояние.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона)

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

ТЕПЛОЕМКОСТЬ тела численно равна отношению количества тепла  $d'Q$ , сообщенного телу, к изменению температуры тела  $dT$ , которое при этом произошло:

$$C_{\text{ТЕЛА}} = \frac{d'Q}{dT}$$

УДЕЛЬНОЙ теплоемкостью вещества называется отношение теплоемкости к массе тела.

Если тело не меняет свой объем, то оно не совершает работы, поэтому при постоянном объеме тела переданное телу тепло  $dQ'$  идет на изменение его внутренней энергии  $dU$ .

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ

$$C_V = \left( \frac{dQ'}{dT} \right)_V = \frac{dU}{dT}$$

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ идеального газа, молекулы которого имеют  $i$  степеней свободы

$$C_P = \left( \frac{dQ}{dT} \right)_P = \frac{dU}{dT} + P \left( \frac{dV}{dT} \right)_P = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R + \frac{i+2}{2} \frac{m}{\mu} R \quad (1).$$

ОТНОШЕНИЕ  $\frac{C_P}{C_V} = \gamma$  является константой (в определенном диапазоне температур) для данного газа. Эта константа называется показателем адиабаты.

$$\gamma = 1 + \frac{2}{i}$$

Формула (2) устанавливает связь отношения теплоемкостей  $\gamma$  с ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ молекулы газа  $i$ .

ЧИСЛО (количество) СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ есть минимальное количество независимых координат, необходимых для однозначного описания положения молекулы в пространстве ИЛИ минимальное количество независимых движений, суперпозиция которых дает любое движение молекулы.

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ всегда дает 3 степени свободы.

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ дает 2 степени свободы для линейной молекулы и 3 степени свободы, если атомы в молекуле не расположены на одной линии.

КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ дает  $2n_{\text{КОЛ}}$  степеней свободы, где  $n_{\text{КОЛ}}$  – количество независимых колебаний атомов в молекуле (у двухатомной молекулы  $n_{\text{КОЛ}} = 1$ ).

АДИАБАТИЧЕСКИМ называется процесс, происходящий без теплообмена с внешней средой ( $d'Q = 0$ ). Уравнение адиабаты

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (3).$$

Принято также выделять ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ, ИЗОБАРИЧЕСКИЙ и ИЗОХОРИЧЕСКИЙ процессы.

2) Вопросы и задания для самоконтроля:

- 1) Что такое параметры состояния системы?
- 2) Дайте определение равновесного состояния системы.
- 3) Какой процесс называется обратимым?
- 4) Что такое цикл?
- 5) Что такое уравнение состояния?
- 6) Для какого физического газа можно применить модель «идеальный газ»?
- 7) Какому уравнению подчиняется состояние идеального газа? Напишите его.
- 8) Дайте определение теплоемкости тела.
- 9) Дайте определение удельной теплоемкости.
- 10) Напишите формулу для теплоемкости при постоянном объеме.
- 11) Напишите формулу для теплоемкости идеального газа при постоянном давлении.
- 12) Что такое число степеней свободы? Чему оно равно для одноатомной молекулы?
- 13) Что такое показатель адиабаты?
- 14) Напишите формулу связи показателя адиабаты с числом степеней свободы молекулы идеального газа.
- 15) Дайте определение адиабатического процесса.
- 16) Напишите уравнение адиабатического процесса.
- 17) Дайте определение изопроцесса. Перечислите известные изопроцессы.
- 18) Напишите уравнение и нарисуйте  $PV$ -диаграмму изотермического процесса.
- 19) Напишите уравнение и нарисуйте  $PV$ -диаграмму изобарического процесса.
- 20) Напишите уравнение и нарисуйте  $PV$ -диаграмму изохорического процесса.

### 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

- 1) Какой процесс называется Адиабатный:
  - а) Количество теплоты, получает газ, полностью расходуется на увеличение его внутренней энергии.
  - б) Тепло, передаваемое газу, частично расходуется на увеличение внутренней энергии газа.
  - в) Во время расширения газа в теплоизолированной емкости происходит его охлаждение.
- 2) Какой процесс называется изотермический:
  - а) Все тепло, что получает газ, затрачивается на выполнение им работы. +
  - б) Во время расширения газа он отдает тепло, а его внутренняя энергия увеличивается.
  - в) Тепло, передаваемое газу, частично расходуется на увеличение внутренней энергии газа.
- 3) Какой процесс называется изохорный:
  - а) Все тепло, что получает газ, затрачивается на выполнение им работы.
  - б) Количество теплоты, получает газ, полностью расходуется на увеличение его внутренней энергии. +
  - в) Тепло, передаваемое газу, частично расходуется на увеличение внутренней энергии газа.
- 4) Выберите верный ответ. Температура идеального газа понизилась от  $t_1 = 567 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 147 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этом средняя кинетическая энергия движения молекул газа:
  - а) уменьшилась в 2 раза+
  - б) уменьшилась в 3,85 раза
  - в) не изменилась
  - г) увеличилась в 3,85 раза
- 5) Вычислите. Плотность золота  $\rho = 19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , молярная масса  $M = 197 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ . Среднее значение объема, занимаемого одним атомом золота, равно:
  - а)  $0,7 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
  - б)  $1,7 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$ +
  - в)  $2,7 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
  - г)  $3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
- 6) Укажите правильный ответ. В цилиндре при сжатии воздуха давление возрастает с  $p_1 = 70 \text{ кПа}$  до  $p_2$ . Если температура в начале сжатия равнялась  $T_1 = 250 \text{ К}$ , а в конце —  $T_2 = 700 \text{ К}$  и отношение объемов до и после сжатия  $V_1/V_2 = 5$ , то конечное давление  $p_2$  равно:
  - а) 350 кПа
  - б) 482 кПа
  - в) 562 кПа
  - г) 980 кПа+
- 7) Отметьте верный вариант. Идеальный одноатомный газ совершил работу  $A = 300 \text{ Дж}$ . Если процесс был адиабатным, то внутренняя энергия газа:
  - а) уменьшилась на 600 Дж
  - б) уменьшилась на 300 Дж+
  - в) не изменилась
  - г) увеличилась на 300 Дж
- 8) Вычислите. Температура идеального газа повысилась от  $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ . При этом средняя квадратичная скорость движения молекул газа:
  - а) уменьшилась в 1,54 раза
  - б) уменьшилась в 1,24 раза
  - в) не изменилась
  - г) увеличилась в 1,24 раза+

- 9) Отметьте верный вариант. Плотность меди  $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , молярная масса  $M = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ . Среднее значение объема, занимаемого одним атомом меди, равно:
- $1,2 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
  - $1,2 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
  - $2,7 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
  - $3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$
- 10) Вычислите. В цилиндре при сжатии воздуха давление возрастает с  $p_1 = 125 \text{ кПа}$  до  $p_2 = 800 \text{ кПа}$ . Если температура в начале сжатия  $T_1 = 200 \text{ К}$ , а в конце —  $T_2 = 300 \text{ К}$ , и начальный объем  $V_1 = 200 \text{ л}$ , то конечный объем  $V_2$  равен:
- 47 л
  - 54 л
  - 88 л
  - 96 л

#### 4) МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите картинку на рисунке, найдите рисунок элемента, в котором реализуется адиабатический процесс, обратите внимание на его теплоизоляцию. Найдите математическую формулировку условия теплоизоляции. Ознакомьтесь с графиками в правой части изображения.

Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.  
Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

The screenshot shows a software interface for an adiabatic process simulation. On the left is a navigation menu with categories like 'Механика' and 'Термодинамика'. The main window is titled 'Адиабатический процесс'. It features a central diagram of a cylinder with a piston and a downward arrow labeled 'P', with the text  $\Delta Q = 0$  below it. To the right is a graph of pressure  $P$  (кПа) versus volume  $V$  (дм³) showing a red curve. Below the graph, a data box displays  $P = 272 \text{ кПа}$ ,  $T = 530 \text{ К}$ , and  $V = 16 \text{ дм}^3$ . On the far right, a temperature gauge shows  $T = 290 \text{ К}$ . At the bottom, a table shows energy changes for  $\Delta Q$ ,  $A$ , and  $\Delta U$ .

#### ИЗМЕРЕНИЯ:

Установите начальное значение объема  $V_{\text{нач}} = 40 \text{ дм}^3$  и начальную температуру  $T_1$  газа,

близкую к числам из табл.1. Для этого нажмите кнопку «ВЫБОР», переместите маркер мыши так, чтобы его острое находилось в указанной точке вблизи границы столбика на градуснике, и коротко нажмите и удерживая левую кнопку мыши двигайте столбик. Нажмите мышью кнопку «СТАРТ» на экране и наблюдайте перемещение поршня на левой картинке модели и перемещение точки по красной кривой теоретической адиабаты. Попробуйте останавливать процесс нажатием кнопки «СТОП». Последующий запуск процесса осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ».

После автоматической остановки процесса запустите его снова, нажав кнопку «СТАРТ», и останавливайте, нажимая кнопку «СТОП», когда крестик на теоретической адиабате (красная кривая) будет находиться вблизи следующих значений объема: 15, 20, 25, 30, 35 и 40 дм<sup>3</sup> (6 значений), записывая при остановке значения объема, температуры и давления в таблицу 2.

Установите новое значение температуры T<sub>2</sub>, взяв его из таблицы 1, задавая V<sub>нач</sub> = 40 дм<sup>3</sup> и повторите измерения, записывая результаты в таблицу 3.

ТАБЛИЦА 1. Начальные значения температуры (не перерисовывать)

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T <sub>1</sub>	50	70	100	120	140	170	200	220
T <sub>2</sub>	230	240	250	260	270	280	290	300

ТАБЛИЦЫ 2,3 Результаты измерений

T[K]								
V[дм <sup>3</sup> ]								
p[кПа]								

#### 5) ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей логарифма давления от логарифма объема для обеих адиабат (указав на них начальные температуры). Для каждой адиабаты определите по графику экспериментальное значение показателя,

$$\gamma = - \frac{\Delta(\ln p)}{\Delta(\ln V)}$$

используя формулу

Определите число степеней свободы молекулы газа, исследуемого в данной компьютерной модели, используя формулу (2).

Подберите распространенный газ, структура молекулы которого близка к наблюдаемой. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

#### Тема №6: Расчет коэффициента поверхностного натяжения по полученным результатам.

**Цель** изучения темы: усвоить сущность методов определения поверхностного натяжения. **Задачи:** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов

Обучающийся должен **знать:**

1. до изучения темы материалы школьного курса физики;
2. после изучения темы природу жидкости;

должен **владеть:** капельным методом измерения коэффициента поверхностного натяжения жидкости.

должен **уметь** измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов: должен сформировать компетенции: ОПК-1.

**Задания** для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературы.

2) Ответить на вопросы для самоконтроля:

1. Как возникает поверхностное натяжение жидкостей? Приведите примеры.

2. Как определяется коэффициент поверхностного натяжения жидкости, и от чего он зависит?

3. Поясните, в каком случае жидкость смачивает поверхность, с которой соприкасается, а в каком – нет.

4. При взятии крови для анализа используется тонкая капиллярная трубка. Почему кровь «сама» поднимается по капилляру? Почему такого эффекта практически не наблюдается, если трубка не достаточно тонкая?

5. Почему при инъекциях нельзя допускать попадания в иглу шприца пузырьков воздуха?

6. Приведите примеры капиллярных явлений в жизни растений и животных.

7. Что такое осмос? Как найти осмотическое давление?

8. Приведите примеры осмотического эффекта в живых организмах.

9. Объясните механизм подъема воды в листья высоких деревьев.

1) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

1. Избыточное давление, создаваемое мениском жидкости

1) пропорционально плотности жидкости

2) обратно пропорционально плотности жидкости

3) не зависит от плотности жидкости

2. Косинус краевого угла смачивания отрицателен

1) у смачивающих жидкостей

2) у не смачивающих жидкостей

3) у любых жидкостей

3. Косинус краевого угла смачивания положителен

1) у смачивающих жидкостей

2) у не смачивающих жидкостей

3) у любых жидкостей

4. Поверхностно-активными называются вещества

1) увеличивающие вязкость жидкости

2) увеличивающие поверхностное натяжение жидкости

3) уменьшающие вязкость жидкости

4) уменьшающие поверхностное натяжение жидкости

5. При нагреве жидкости коэффициент поверхностного натяжения

1) уменьшается

2) не меняется

3) увеличивается

6. На приведённом [рисунке](#) форма свободной поверхности соответствует



1. смачивающей жидкости

2. не смачивающей жидкости

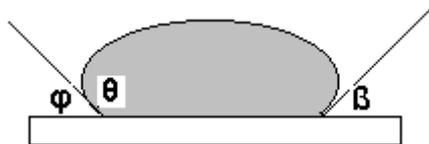
7. На приведённом рисунке форма свободной поверхности соответствует



1) смачивающей жидкости

2) не смачивающей жидкости

8. Какой из углов на приведённом рисунке является краевым углом смачивания

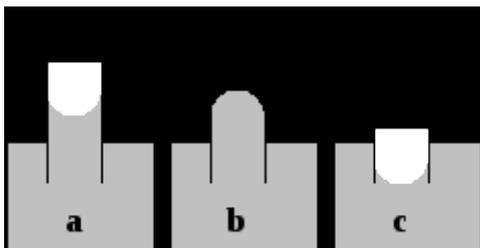


угол  $\phi$

1) угол  $\theta$

2) угол  $\beta$

9. На каком рисунке приведён правильный вид мениска жидкости в капилляре



1) на рис. а

2) на рис. b

3) на рис. с

10. Коэффициент поверхностного натяжения жидкости можно измерять

1) методом отрыва кольца

2) методом отрыва капель

3) методом Ребиндера

4) любым из этих методов

ответы: 1.3, 2.2, 3.1, 4.4, 5.1, 6.1, 7.2, 8.2, 9.1, 10.4

4) Выполнить другие задания, предусмотренные рабочей программой по дисциплине.

Решить задачи: [5] 2.146-2.150

Формы контроля освоения заданий по самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работе по данной теме (тестовые задания, контрольные вопросы, ситуационные задачи, протоколы, заключения, графологическое структуры, реферативные сообщения и др.).

### Тема №7: Расчет вязкости жидкости по полученным результатам.

**Цель** изучения темы: изучение основных физических принципов, положенных в основу гидродинамики.

**Задачи** изучить методы измерения коэффициента вязкости жидкости.

Обучающийся должен **знать**:

1. до изучения темы материалы школьного курса физики;

2. после изучения темы природу жидкости, уравнение Ньютона и Пуазейля для течения вязкой жидкости;

должен **владеть**: физической основой метода измерений коэффициента вязкости жидкости.

должен **уметь** измерять коэффициенты вязкости жидкости методами Стокса и Гесса.

- должен сформировать компетенции: ОПК-1.

Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы обучающихся по указанной теме:

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературы.

- 2) Ответить на вопросы для самоконтроля
- 1) Что такое сила внутреннего трения?
  - 2) Уравнение Ньютона для течения вязкой жидкости.
  - 3) Зависимость вязкости жидкости от температуры.
  - 4) Что такое ньютоновская и неньютоновская жидкости?
  - 5) Вывести формулу для определения вязкости по методу Стокса.
  - 6) Какие условия должны выполняться при измерении вязкости методом Стокса?
  - 7) Стокса?
  - 8) Записать формулу Пуазейля.
  - 9) Опишите устройство и принципы работы медицинского вискозиметра.
  - 10) Выведите расчетную формулу для определения вязкости жидкости с помощью медицинского вискозиметра.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля (привести тестовые задания с ответами)
1. Вязкостью жидкости называется её способность
    - 1) к текучести
    - 2) образовывать капли на поверхности твёрдых тел
    - 3) оказывать сопротивление взаимному смещению слоёв
    - 4) смачивать стенки сосуда
  2. Жидкости, вязкость **которых не зависит от режима их течения**, называются
    - 1) ньютоновскими
    - 2) неньютоновскими
    - 3) идеальными
    - 4) вязкость всех жидкостей зависит от режима их течения
  3. С увеличением температуры вязкость жидкости
    - 1) уменьшается только у ньютоновских жидкостей
    - 2) уменьшается только у неньютоновских жидкостей
    - 3) уменьшается у любых жидкостей
  4. Объёмная скорость течения жидкости в сосуде равна
    - 1) линейной скорости течения крови
    - 2) произведению линейной скорости на площадь сечения сосуда
    - 3) отношению линейной скорости к площади сечения сосуда
    - 4) произведению линейной скорости на коэффициент вязкости крови
  5. При **ламинарном течении жидкости**
    - 1) слои жидкости не перемешиваются, течение не сопровождается характерными акустическими шумами
    - 2) слои жидкости не перемешиваются, течение сопровождается характерными акустическими шумами
    - 3) слои **жидкости перемешиваются**, образуя завихрения; течение не сопровождается характерными акустическими шумами
    - 4) слои жидкости перемешиваются, образуя завихрения; течение сопровождается характерными акустическими шумами
  6. При турбулентном течении жидкости
    - 1) слои жидкости не перемешиваются, течение не сопровождается характерными акустическими шумами
    - 2) слои жидкости не перемешиваются, течение сопровождается характерными акустическими шумами
    - 3) слои жидкости перемешиваются, образуя завихрения; течение не сопровождается характерными акустическими шумами
    - 4) слои жидкости перемешиваются, образуя завихрения; течение сопровождается характерными акустическими шумами
  7. Число Рейнольдса вычисляется для определения

- 1) вязкости жидкости
- 2) режима течения жидкости
- 3) динамического давления в жидкости

8. Возникновение шумов в потоке жидкости свидетельствует

- 2) о ламинарном течении жидкости
- 3) о турбулентном течении жидкости
- 4) о стационарном течении жидкости

9. Метод Стокса - измерение вязкости крови имеет недостатки?

- 1) плохая точность измерения; 2) сложность измерения и расчета;
- 3) большой объем крови; 4) зависимость вязкости от температуры;
- 5) применим для ньютоновских жидкостей (кровь неньютоновская жидкость).

10. Формула Пуазейля для трубы переменного сечения.

$$1a) \quad Q = \frac{\pi r^2 dp}{8\eta dl}; \quad 2) \quad Q = \frac{\pi r^4 dp}{8\eta dl}; \quad 3) \quad Q = \frac{\pi r dp}{8\eta dl}; \quad 4г) \quad Q = \frac{8\eta dp}{\pi r^2 dl}.$$

11. Какие условия должны выполняться при измерении вязкости методом Гесса?

- 1) диаметры капилляров равны, скорости и время прохождения жидкостей по капиллярам равны;
- 2) длины капилляров и время продвижения жидкостей по ним равны;
- 3) градиенты давлений в капиллярах равны;
- 4) жидкости должны быть ньютоновскими.

12. Какие силы действуют между молекулами?

- 1) магнитные; 2) электромагнитные; 3) электрические; 4) Ван-дер-Ваальса;
- 5) сила тяжести; 6) Архимедова сила; 7) сила Стокса.

Ответы: 1.1, 2.3, 3.3, 4.2, 5.1, 6.4, 7.2. 8.2, 9.3, 10.2, 11.2, 12.4

4) Выполнить другие задания, предусмотренные рабочей программой по дисциплине.

Решить задачи: [5] № 2.132, 2.134, 2.136, 2.141-2.146, 2.152, 2.153, 2.159, 2.17.

Формы контроля освоения заданий по самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работе по данной теме (тестовые задания, контрольные вопросы, ситуационные задачи, протоколы, заключения, графологическое структуры, реферативные сообщения и др.).

Рекомендуемая литература

**Основная литература**

№ пп	Наименование	Автор (ы)	Год, место издания	Кол-во экземпляров
1	Медицинская и биологическая физика : учебник / Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970446232.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970446232.html</a>	Ремизов, А. Н.	Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2018.	Неограниченный доступ
2	Учебник по медицинской и биологической физике: учебник.	Ремизов, А. Н.	М: Дрофа,	551

**Дополнительная литература**

№ пп	Наименование	Автор (ы)	Год, место издания	Кол-во экземпляров
1	2	3	4	5
1	. Физика. Лабораторный практикум : учебное пособие Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/170751">https://e.lanbook.com/book/170751</a>	Миловидова, Т. А	Железнодорожск : СПСА, 2020.	Неограниченный доступ
	Электронно-библиотечная система «Консультант студента» для ВПО			<a href="http://www.studmedlib.ru">www.studmedlib.ru</a>
	Электронная учебная библиотека			<a href="http://library.bashgmu.ru">http://library.bashgmu.ru</a>

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения учебной дисциплины (модуля)**

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» для ВПО	<a href="http://www.studmedlib.ru">www.studmedlib.ru</a>
Электронная учебная библиотека	<a href="http://library.bashgmu.ru">http://library.bashgmu.ru</a>
Электронно-библиотечная система «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a>
База данных электронных журналов ИВИС	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>