

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 К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Дисциплина «Молекулярная физика и термодинамика»

Специальность 30.05.02 Медицинская физика

Курс 2

Семестр 4

Количество часов 54 ч

Уфа 2023 г.

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: доцент Загитов Г.Н.

Рабочая программа учебной дисциплины одобрена УМС специальности 33.05.01 Фармация от «25» апреля 2023, протокол № 9.

## **1. Тема и ее актуальность:**

### **№1 «Изучение нормального закона распределения»**

Основные понятия и методы теории вероятностей и случайных величин являются средствами решения задач физического, химического, биологического и иного характера, встречающихся как в процессе изучения профильных дисциплин, так и в дальнейшей профессиональной деятельности.

**2. Цель занятия,** обучение обучающихся навыкам работы с большими массивами случайных величин.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

**3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:** Вопросы для самоподготовки:

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 квадратичного отклонения.
20. Закон нормального распределения, кривая Гаусса.
21. Нормированное нормальное распределение. Функция распределения нормированной нормально распределенной случайной величины.
22. Вероятность попадания нормально распределенной случайной величины в заданный интервал.

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** аппарат Гальтона

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

### **7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Имеется десять студенческих групп, насчитывающих соответственно

12, 10, 11, 8, 12, 9, 10, 8, 10 и 11 обучающихся.

а) составить закон распределения случайной величины  $X$ , определяемой как число обучающихся в наугад выбранной группе.

б) найти её функцию распределения  $F(x)$

в) построить график  $F(x)$

г) найти вероятность события  $P(9 < X \leq 11)$

д) найти  $M(X)$ ,  $D(X)$ ,  $\sigma(X)$ .

2. Непрерывная случайная величина задана функцией распределения

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 1 \\ a(x-1), & \text{если } 1 < x \leq 3 \\ 1, & \text{если } x > 3 \end{cases} \text{ Место для формулы.}$$

Требуется: а) найти постоянную  $a$ ;

б) найти плотность распределения  $f(x)$ ; в) построить графики  $f(x)$  и  $F(x)$ ;

г) найти  $P(1,5 < x < 2)$ ;

д) найти параметры распределения  $Z$ .

3. Пусть случайная величина  $X$  имеет нормальное распределение с математическим ожиданием  $\mu=15$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma=1$ . Найти интервалы для  $X$ , если вероятность интервала  $|X - \mu| < \varepsilon$  равна 0,95.

Задание 1. Распределение дискретной случайной величины и её характеристики.

Задание 2. Схема независимых испытаний Бернулли.

Задание 3. Распределение непрерывной случайной величины и её характеристики.

Задание 4. Нормальное распределение.

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 квадратичное 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  $X$ .

12) Математическое ожидание нормально распределенной случайной величины  $X$  равно  $\mu = 3$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 2$ . Написать плотность вероятности  $X$ .

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

### 1. Тема и ее актуальность:

#### № 2 «Изучение газовых законов»

**Закон Клапейрона** (объединенный газовый закон). Если изменяются параметры  $p$ ,  $V$  и  $T$ , а число молекул  $N$  газа остается неизменным, то состояние идеального газа описывается уравнением Клапейрона:  $PV/T = \text{const}$ .

2. **Цель занятия:** изучение газовых законов; проверка уравнения Клапейрона.

Для формирования профессиональных компетенций студент должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их

характеристики;

- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций студент должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями: ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
  - навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами
  - основами техники безопасности при работе с аппаратурой

### 3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы

Вопросы для самоподготовки:

1. Дайте понятие идеального газа.
2. Опишите установку и порядок выполнения работы.
3. Запишите рабочую формулу для проверки уравнения Клапейрона и поясните ее.
4. **Вид занятия:** лабораторное занятие
5. **Продолжительность занятия:** 3 ч.
6. **Оснащение:**

**6.1 Дидактический материал:** колба с термометром, водяной манометр, стакан с водой, электрическая плитка, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

### 7. Содержание занятия:

#### 7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

№1 2 моль кислорода расширяются от начального давления 400 кПа против постоянного внешнего давления 100 кПа. Газ находится при температуре 22 °С. Найти конечный объем кислорода.

- а) 19 л
- б) 29 л
- в) 39 л
- г) 49 л

№2. Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона:

- а)  $V_p = (m/M)RT$
- б)  $pV = (m/M)RT +$
- в)  $pV = (m/M)RT$

№3. В сосуде находится газообразный водород, количество вещества которого 1 моль. Сколько (примерно) молекул водорода находится в сосуде:

- а)  $12 \cdot 10^{23}$

б)  $6 \cdot 10^{23}$  +

в)  $2 \cdot 10^{23}$

№4 Вычислите давление кислорода массой 0,032 кг в сосуде объемом 8,3 м<sup>3</sup> при температуре 100 °С:

а) 100 Па

б) 373 Па +

в) 830 Па

№5. При изотермическом процессе после сжатия газа его объём уменьшился в 1,4 раза, а давление изменилось на 100 кПа. Определите конечное давление:

а) 350 кПа +

б) 530 кПа

в) 250 кПа

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

Для проверки уравнения Клапейрона воздух в закрытой колбе 3 (см. рис.1) нагревают с помощью электроплитки 6 от комнатной температуры до  $\sim 40 \div 50^\circ\text{C}$ , регистрируя изменение высоты столба воды в коленах водяного манометра 8 через каждые  $4 \div 6^\circ\text{C}$ . В зависимости от числа опытов  $n$ , т.е. в зависимости от числа состояний системы, уравнение Клапейрона запишем:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n}, \quad (1)$$

где  $p_0$  и  $V_0$  первоначальные давление и объем воздуха в колбе при комнатной температуре  $T_0$ . Нагревание воздуха в закрытой колбе до температуры  $T_1$  сопровождается ростом давления:

$$p_1 = p_0 + \rho gh,$$

где  $\rho$  плотность воды ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ),  $h$  - разность уровней воды в коленах манометра. Для удобства измерения  $h$  начало миллиметровой шкалы совмещают с первоначальным уровнем воды в коленах манометра. Тогда  $h = 2h_1$  и

$$p_1 = p_0 + 2\rho gh_1. \quad (2).$$

Объем воздуха при температуре  $T_1$  также увеличивается, вытесняя столб жидкости в манометре на величину  $h_1$  (см. рис. 1):

$$V_1 = V_0 + Sh_1, \quad (3)$$

где  $S$  - площадь внутреннего сечения стеклянных трубок манометра.

Таким образом, используя формулы (1) и (2), найдем численные значения отношений выражения (1), которые согласно закону Клапейрона, должны быть равны друг другу.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{(P_0 + \rho gh_1)(V_0 + Sh_1)}{T_1}, \dots, \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{(P_0 + \rho gh_2)(V_0 + Sh_2)}{T_2}, \dots, \frac{P_n V_n}{T_n} = \frac{(P_0 + \rho gh_n)(V_0 + Sh_n)}{T_n}, \quad (4)$$

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

#### Подготовка экспериментальной установки к работе.

Колбу 3 с термометром 4 помещают в химический стакан 5, установленный на электроплитке 6, и закрепляют с помощью регулировочного винта 1 лапки штатива 2 (для



устойчивого положения, когда колба будет находиться в воде). Для равномерного нагревания воздуха в колбе воду в стакан наливают так, чтобы колба почти полностью находилась в воде (см. рис. 1). В открытой колбе, т.е. когда зажим 7 открыт, 12 уровень воды в обоих коленах манометра 8 должен совпадать с нулем миллиметровой шкалы 9. Кроме того, шкалу манометра можно перемещать, ослабив регулировочные винты 10, на несколько миллиметров вверх или вниз для более точного совмещения нуля шкалы с первоначальным уровнем воды.

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Ослабить зажим 7 и проверить, совпадает ли уровень воды в коленах манометра с нулем шкалы.
2. Записать в таблицу.1 начальные значения параметров состояния воздуха в колбе:  $T_0$  и  $p_0$ , определяют с помощью термометра и барометра, находящихся в лаборатории, объем колбы  $V_0$  и площадь  $S$  внутреннего сечения трубок манометра необходимо выяснить у преподавателя, ведущего занятия. Давление  $p_0$ , измеренное с помощью барометра в миллиметрах ртутного столба необходимо перевести в паскали (1 мм рт.ст. = 133 Па)
3. Перекрыть с помощью зажима 7 доступ воздуха в колбу и включить электрический нагреватель 6
4. Воздух в закрытой колбе нагревают от комнатной температуры до  $40 \div 50$  °С (по указанию преподавателя) и через каждые  $4 - 6$  °С, в зависимости от цены деления термометра, фиксируют по шкале манометра значения  $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$  соответствующие температурам  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ . Данные измерений занести в таблицу 2.

**Внимание!** По окончании измерений немедленно ослабить зажим 7 и выключить электроплитку.

5. По формулам (201.4) и (201.5) вычисляют значения давлений  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  и объемов  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ , соответствующие температурам  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ .
6. Используя выражения (4) осуществляют проверку закона Клапейрона. Результаты вычислений занести в таблицу.2.

Таблица 1

Начальные значения параметров состояния воздуха в колбе

$t_0, ^\circ\text{C}$	$T_0, \text{K}$	$p_0, \text{мм рт.ст.}$	$p_0, \text{Па}$	$V_0, \text{м}^3$	$T_0 V_0 / T_0,$ Дж/К

Форма таблицы результатов.2

№ опыта	$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$h, \text{м}$	$p, \text{Па}$	$V, \text{м}^3$	$PV/T,$ Дж/К

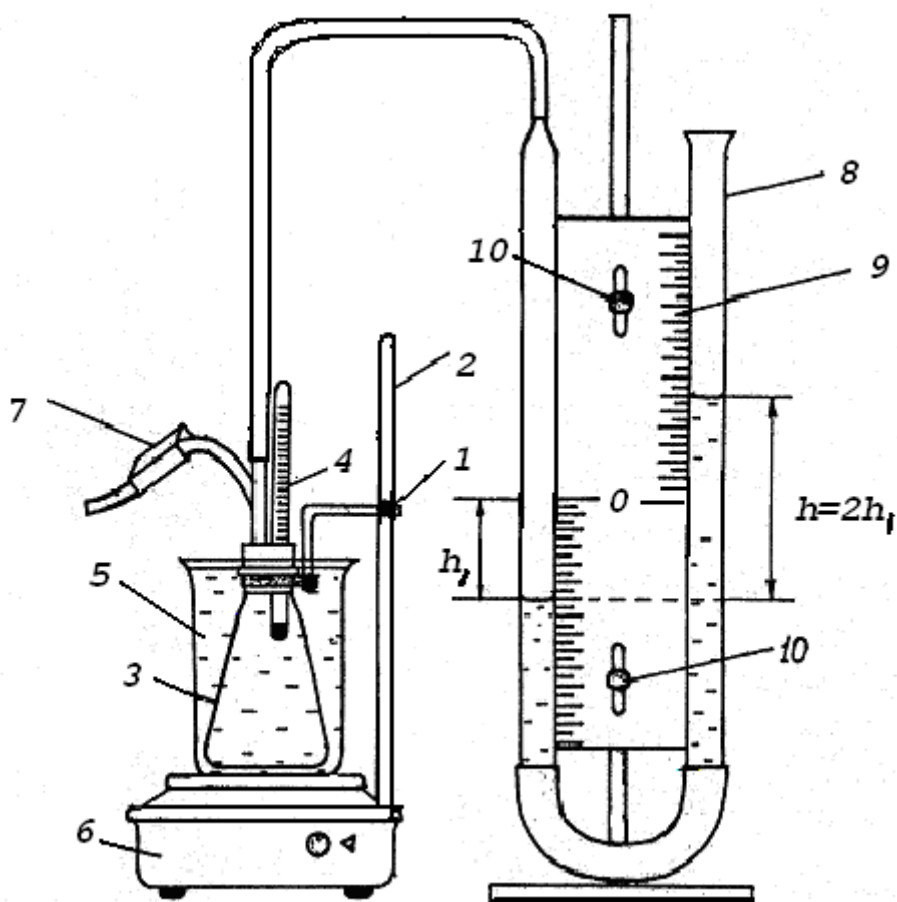


Рис. 1

### 7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Решить задачи: [5] 3.26-3.28

1. Поясните, почему изучая поведение реальных газов, мы часто пользуемся моделью идеального газа?
2. Запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа и поясните его.
3. Дайте понятие моля вещества, как рассчитывается количество молей идеального газа, число молекул газа?
4. Сформулируйте законы идеального газа. Приведите графики изотерм, изобар, изохор.
5. Используя уравнение Клапейрона, выведите и поясните уравнение (4).
6. Поясните физический смысл газовой постоянной  $R$ .
7. Что называется термодинамическим процессом?

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий, ситуационные задачи.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное

время): работа с основной и дополнительной литературой.

### **1. №3 «Определение универсальной газовой постоянной методом откачки»**

Физический смысл универсальной газовой постоянной заключается в том, что она численно равна работе, которую совершает газ в количестве 1 моль при изменении его температуры на 1 К.

#### **2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными**

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь**:

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

#### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Какой газ называется идеальным? Перечислите параметры состояния идеального газа и дайте определение единиц их измерения.
2. Какой физический смысл универсальной газовой постоянной?
3. Сформулируйте законы *Бойля-Мариотта*, *Гей-Люссака*, *Шарля*. Изобразите графики этих процессов в различных координатах.
4. Запишите уравнение *Менделеева-Клапейрона* для одного моля газа, для произвольной массы  $m$  газа.
5. Что такое молярная газовая постоянная и одинаково ли ее значение для всех газов?
6. Что такое число *Авогадро*. Чему равно число *Лошмидта*?

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Аналитические весы, насос *Комовского*, колба для воздуха, манометр, барометр, термометр.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

### 7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

1. Что является траекторией движения молекулы воздуха?
  - а) Прямая
  - б) Ломанная+
  - в) Дуга окружности
2. Почему скорость диффузии с повышением температуры возрастает?
  - а) При нагревании вещества увеличивается расстояние между молекулами, и молекулам другого вещества проще проникнуть в эти промежутки.+
  - б) При нагревании вещества скорость молекул уменьшается, и молекулы другого вещества легче проникают в промежутки между ними.
  - в) При нагревании вещества его молекулы легче соединяются с молекулами другого, и быстрее образуется смесь веществ.
3. В одном из опытов стали закачивать воздух в стеклянный сосуд, одновременно охлаждая его. При этом температура воздуха в сосуде понизилась в 2 раза, а его давление возросло в 3 раза. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде:
  - а) в 3 раза
  - б) в 1,5 раза
  - в) в 6 раз +
4. Частицы газа находятся в среднем на таких расстояниях друг от друга, при которых силы притяжения между ними незначительны. Это объясняет:
  - а) способность газов к неограниченному расширению +
  - б) значение скорости звука в газе
  - в) большую скорость частиц газа
5. Хаотичность теплового движения молекул газа приводит к тому, что:
  - а) газ гораздо легче сжать, чем жидкость
  - б) при одновременном охлаждении и сжатии газ превращается в жидкость
  - в) плотность газа одинакова во всех местах занимаемого им сосуда +

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

Метод определения универсальной газовой постоянной, который используется в данной работе, основан на применении уравнения *Менделеева-Клапейрона* для идеального газа.

$$PV = \frac{m}{M}RT, \quad (1)$$

где  $m$  – масса газа;

$M$  – молярная масса газа;

$P$  – давление газа;

$V$  – объем занимаемого газом сосуда;

$T$  – абсолютная температура газа.

при изобарном процессе

$$R = \left( \frac{\delta A}{dT} \right)_P, \quad (2)$$

где  $A$  – элементарная работа расширения газа при  $P = Const$ .

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Если рассмотреть состояния идеального газа при различных давлениях, постоянных температуре и объеме, то получим формулу, удобную для определения  $R$ :

$$R = \frac{M(P_1 - P_2)V}{(m_1 - m_2)T} = \frac{M\rho g \Delta h V}{(m_1 - m_2)T}, \quad (3)$$

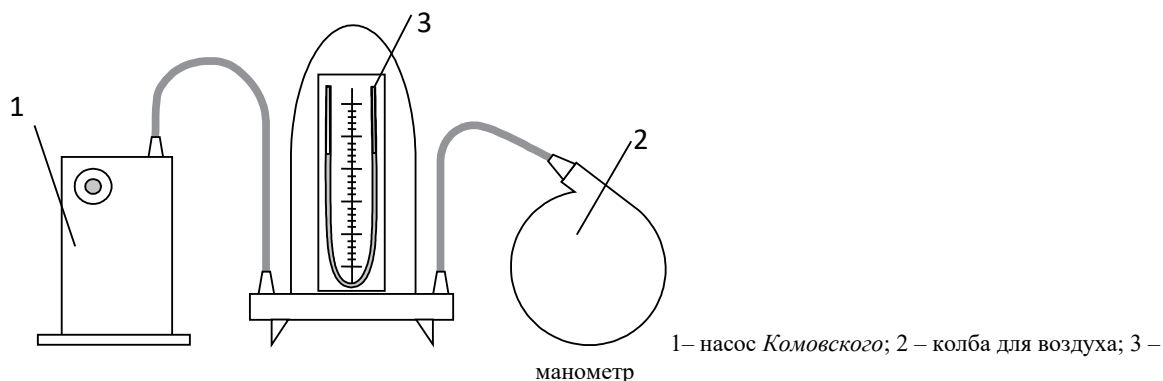
где  $\rho$  – плотность жидкости в манометре;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\Delta h$  – разность уровней жидкости в манометре.

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

Схема установки для определения универсальной газовой постоянной приведена на рисунке 1



**Рисунок 1 – Схема установки для определения универсальной газовой постоянной методом откачки**

1. Измерьте температуру воздуха в лаборатории  $T$  и давление  $P$ .
2. Колбу с открытыми кранами подвесьте к коромыслу весов и определите массу  $m_1$  колбы с содержащимся в ней воздухом.

Для первого состояния уравнение (1) имеет вид:

$$P_1 V = \frac{m_2 - m_0}{M} RT, \quad (1a)$$

где  $P_1$  – атмосферное давление;  $m_0$  – масса пустой колбы.

3. Соедините колбу с манометром и насосом *Комовского* и из нее откачайте воздух до значения  $P_2$ , соответствующего минимально возможной разности уровней ртути. Давление измеряется непосредственно ртутным манометром закрытого типа.
4. После выполнения п. 3 сначала закройте кран на колбе, затем кран насоса. Отсоедините колбу от насоса. На аналитических весах определите массу  $m_2$  колбы и оставшегося в ней после откачки воздуха.

Для состояния 2 уравнение (1) имеет вид:

$$P_2 V = \frac{m_2 - m_0}{M} RT. \quad (16)$$

5. Из уравнения (3) определите значение универсальной газовой постоянной. Объем колбы считать известным. Обычно он указывается на колбе.
6. Повторите пп. 1–5 пять раз.
7. Оцените погрешности измерений.

#### 7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## 1. Тема и ее актуальность:

### №4 «Определение постоянной Больцмана»

Согласно молекулярно-кинетической теории газов давление газа  $P$  связано с абсолютной температурой  $T$  и концентрацией молекул  $n$  следующим соотношением:

$$P = nkT, \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная *Больцмана*.

## 2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

### **владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## 3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. Перечислите основные положения молекулярно-кинетической теории газов. Какие опыты подтверждают правильность этих положений?
2. Выведите основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Где при его выводе использовалось положение о том, что молекулы находятся в беспорядочном движении?
3. При выводе основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов удар молекулы считался абсолютно упругим. Что лежит в основе такого предположения? Можно ли считать удары упругими, если температура стенок сосуда и заключенного в нем газа неодинакова?
4. Получите из основного уравнения газового состояния:  
а) выражение для средней кинетической энергии теплового движения молекулы; б) выражение для давления через концентрацию.
5. Каков физический смысл постоянной *Больцмана*?

## 4. Вид занятия: лабораторное занятие

## 5. Продолжительность занятия: 3 ч.

**6. Оснащение:** Стекланный сосуд, манометр водяной, шприц медицинский для инъекций универсальный, этиловый эфир.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

## 7. Содержание занятия:

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

### 7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

1. При нагревании идеального газа его абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Как изменилась при этом средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа:

- а) увеличилась в 4 раза
- б) увеличилась в 2 раза +
- в) увеличилась в 16 раз

2. Явление диффузии в жидкостях объясняется тем, что молекулы жидкостей:

- а) притягиваются друг к другу
- б) отталкиваются друг от друга
- в) могут хаотично перемещаться по объёму +

3. Какова температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении по абсолютной шкале температур:

- а) 373 К +
- б) 173 К
- в) 273 К

4. Укажите пару веществ, скорость диффузии которых наименьшая при прочих равных условиях:

- а) пары эфира и воздух
- б) раствор медного купороса и вода
- в) свинцовая и медная пластины +

5. Укажите, в каком из ответов наиболее полно представлены основные положения молекулярно-кинетической теории строения вещества:

- а) вещество состоит из элементарных частиц и они взаимно превращаются друг в друга
- б) вещество состоит из маленьких частей и они заполняют пространство +
- в) вещество состоит из мельчайших частиц и между ними действуют силы

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

Из выражения (1) следует, что для экспериментального *определения постоянной Больцмана  $k$  необходимо измерить* концентрацию молекул  $n$ , давление  $P$  и температуру газа  $T$  :

$$k = \frac{P}{nT}. \quad (2)$$

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Концентрацию молекул газа с известной молярной массой  $M$  легко подсчитать, если известна масса газа  $m$ , занимающего определенный объем  $V$ . Разделив массу газа на молярную массу, получим число молей газа в сосуде. Каждый моль газа содержит число молекул, равное числу

Авогадро  $N_A$ . Следовательно, в единице объема содержится  $n = \frac{m N_A}{M}$  молекул. Тогда в заданном объеме концентрация молекул равна:

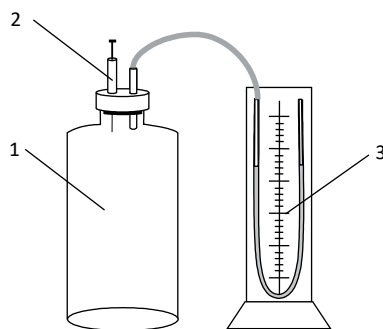
$$n = \frac{m N_A}{MV}. \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в уравнение (2), получим:

$$k = \frac{MPV}{m N_A T}. \quad (4)$$

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

Схема установки, применяемой для экспериментального определения давления газа, приведена на рисунке 1.



1 – баллон с парами эфира; 2 – шприц; 3 – манометр

**Рисунок.1 – Схема установки для определения давления газа**

Герметически закрытый стеклянный сосуд известного объема соединен резиновым шлангом с водяным U-образным открытым манометром. Сосуд заполнен воздухом при атмосферном давлении, поэтому уровни водяного столба в обоих коленах манометра, соединенного с сосудом, одинаковы. В шприц набирают этиловый эфир и вводят его внутрь сосуда. Эфир быстро испаряется и равномерно распределяется по всему объему сосуда.

Парциальное давление паров эфира  $P$  уравнивается давлением водяного столба  $h$  в правом колене манометра и равно

$$P = \rho g h,$$

где  $\rho$  – плотность эфира.

Разность уровней в манометре отсчитывается после того, как уровень водяного столба перестанет изменяться. Температура паров эфира равна температуре окружающей среды. Подставляя результаты измерений в формулу (4), рассчитывается постоянная *Больцмана*.

1. Измерьте комнатную температуру.
2. Наберите в шприц 1–2 см<sup>3</sup> этилового эфира. Осторожно введите эфир внутрь сосуда.
3. Через 10–20 мин измерьте парциальное давление, создаваемое парами эфира, выразив его в Па.
4. Подсчитайте массу введенного в сосуд эфира в кг. Плотность жидкого этилового эфира  $\rho = 716$  кг/м<sup>3</sup>.
5. Вычислите молярную массу  $M$  этилового эфира, учитывая, что его химическая формула  $(C_2H_5)_2O$ .
6. Учитывая, что объем сосуда заранее известен, подставьте найденные значения всех величин в формулу (4) и определите постоянную *Больцмана*.
7. Оцените погрешности измерений.



8. Результаты измерений и расчетов внесите в таблицу.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

### **Тема и ее актуальность:**

#### **№ 5 «Экспериментальное определение постоянной Больцмана»**

В молекулярно-кинетической теории газов постоянную Больцмана часто вводят как отношение универсальной газовой постоянной к числу Авогадро:  $k=R/N_A$ . Однако, постоянная Больцмана играет в физике значительно большую роль, чем универсальная газовая постоянная. Она является одной из фундаментальных физических констант и содержится в выражениях физических законов из различных областей физики: статистической физики, теории электричества, магнетизма, оптики, атомной физики и квантовой механики.

#### **Цель занятия: определение постоянной Больцмана.**

Для формирования профессиональных компетенций студент должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций студент должен

#### **владеть и уметь:**

- следующими компетенциями: ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
  - навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами
- основами техники безопасности при работе с аппаратурой

#### **1. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы**

Вопросы для самоподготовки:

1. Какой физический смысл имеет универсальная газовая постоянная  $R$ ? (используйте первое начало термодинамики для изобарического и изохорического процессов и формулу Майера)
2. Укажите единицы измерения универсальной газовой постоянной  $R$  в СИ.
3. Запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов (МКТ) и выведите из него уравнение Клапейрона-Менделеева.

7. **Вид занятия:** лабораторное занятие

8. **Продолжительность занятия:** 3 ч.

9. **Оснащение:** стеклянный сосуд известного объема, водяной манометр с миллиметровой шкалой, соединительные шланги, шприц для впрыскивания жидкости, термометр, зажим.

**6.1 Дидактический материал:** интерактивная доска, компьютерная программа.

6.3 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

### 7. Содержание занятия:

#### 7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

Задание 1. Описание рабочей установки и метода измерений.

Задание 2. Физические основы методов измерения постоянной Больцмана.

1 Оцените массу воздуха в помещении объемом 200 м<sup>3</sup>:

а)  $\approx 20$  кг

б)  $\approx 200$  кг +

в)  $\approx 2000$  кг

2. В цилиндре постоянного объёма газ переводят из состояния с атмосферным давлением и температурой 600 К в состояние с давлением 152 кПа. Определите изменение температуры газа:

а)  $\approx 300$  К +

б)  $\approx 500$  К

в)  $\approx 100$  К

3. В сосуде объемом 83 дм<sup>3</sup> находится 20 г водорода при температуре 127°C. Определите его давление:

а) 800 Па

б)  $8 \cdot 10$  в пятой степени Па

в)  $4 \cdot 10$  в пятой степени Па +

4. В сосуде переменного объёма газ нагрели при постоянном давлении. При этом конечная температура газа стала равна 300 К. Определите начальную температуру, если объём газа изменился в два раза. (Ответ укажите в °С.):

а) -123 °С +

б) -223 °С

в) -321 °С

5. При изохорном процессе в газе не изменяется (при  $m = \text{const}$ ) его:

а) температура

б) объём +

в) давление

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

От уравнения Клапейрона для одного моля газа можно перейти к уравнению Клапейрона-Менделеева для произвольной массы газа: если при некоторых заданных давлении и температуре один моль газа занимает молярный объём  $V_m$ , то при тех же условиях произвольное число  $\nu$  молей газа займет объём

$$V = \nu \mu V_m, \quad (1)$$

где  $\mu$  – молярная масса (масса одного моля вещества). Единица молярной массы – килограмм на моль (кг/моль). Уравнение Клапейрона-Менделеева для произвольной массы  $m$  идеального газа имеет вид:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT, \text{ где}$$

количество молей (количество вещества). В одном моле различных веществ содержится одинаковое число структурных единиц (атомов, молекул, ионов, электронов или любых других частиц), сколько содержится атомов в 12 г изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ . Количество частиц в одном моле любого вещества постоянно и носит название *числа Авогадро*: Постоянная Авогадро  $N_A$ , молярная газовая постоянная  $R$  и постоянная Больцмана  $k$  связаны между собой соотношением:

$$k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$$

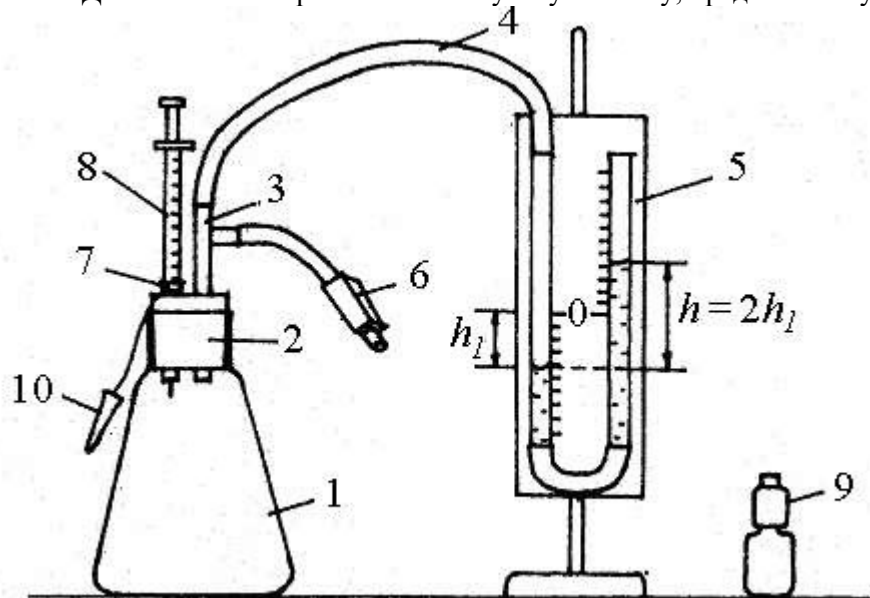
7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Из уравнения (1) выразим давление и, используя, связь трех постоянных запишем:

$$p = nkT, \quad (2)$$

где  $n = N_A/V_m$  - концентрация молекул газа.

Для выполнения работы используют установку, представленную на рис.



Установка состоит из стеклянного сосуда *1*, закрытого пробкой *2*, в которую вставлена стеклянная трубка с тройником *3*, на один из концов которого надет шланг *4*, соединяющийся с водяным манометром *5*. На другой конец тройника надета резиновая трубка, заканчивающаяся клапаном *6*, перекрывающим сообщение сосуда с атмосферой. В пробку в отверстие *7* вставлен также шприц *8* для впрыскивания в сосуд летучей жидкости, хранящейся во флаконе *9*. После впрыскивания жидкости в сосуд шприц сразу же вынимают и отверстие *7* быстро перекрывают пробкой *10*.

В этой работе для расчета постоянной Больцмана необходимо рассчитать *парциальное давление* паров летучей жидкости. Измерение парциального давления паров летучей жидкости производят следующим образом. В качестве летучей жидкости можно использовать этанол ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ). Молярная масса и плотность этанола приведена в таблице. 1.

Таблица 1

Жидкость	$\mu$ , кг/моль	$\rho_{\text{ж}}$ , кг/м <sup>3</sup>
Этанол	0,046	789

С помощью медицинского шприца из флакона набирают  $0,05 \div 0,1$  мл жидкости. Затем шприц вместе с иглой вплотную вводят в отверстие *7* пробки стеклянного сосуда. С помощью зажима-клапана *6* обнуляют показания манометра, а затем этим же клапаном перекрывают сообщение сосуда с атмосферой.

Зная объем  $V_{\text{ж}}$  набранной жидкости и ее плотность, определяют массу жидкости

$$m = \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}},$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность используемой жидкости. Впрыснув жидкость в сосуд, вынув шприц и быстро

перекрыв отверстие 7 пробкой 10, через 3 ÷ 5 мин (когда разность уровней воды  $h$  в коленях манометра перестанет меняться), измеряют парциальное давление паров летучей жидкости

$$p = \rho gh,$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды.

Для удобства измерения  $h$  начало миллиметровой шкалы манометра совмещают с первоначальным уровнем воды в коленях манометра (см. рис.). Тогда  $h = 2h_1$  и

$$p = 2\rho_{\text{ж}}gh \quad (3)$$

Теперь для того, чтобы определить постоянную Больцмана из уравнения (2), необходимо решить его относительно  $k$ :

$$k = p/nT \quad (4)$$

измерить с помощью термометра температуру и определить концентрацию молекул летучей жидкости в сосуде:

$$n = N/V$$

где  $N$  – число молекул летучей жидкости, которое можно найти следующим образом:

$$N = N_A m / \mu$$

здесь  $N_A$  – число Авогадро,  $m$  – масса впрыскиваемой жидкости, а  $\mu$  – ее молярная масса. Объем  $V$ , доступный для движения молекул летучей жидкости,

$$V = V_0 + Sh_1,$$

где  $V_0$  – объем сосуда с соединительными шлангами и левой трубки манометра до уровня воды, т.е. до нулевой отметки шкалы;  $S$  – площадь сечения трубки водяного манометра;  $h_1$  – изменение уровня воды в левом или правом коленях манометра.

С учетом формул, формулу (3) можно превратить в рабочую формулу:

$$k = \frac{p}{nT} = \frac{2\rho_{\text{ж}}gh_1V}{NT} = \frac{2\rho_{\text{ж}}gh_1(V + Sh_1)\mu}{N_A m T} = \frac{2\rho_{\text{ж}}gh_1(V + Sh_1)\mu}{N_A \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} T} \quad (5)$$

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

- Открыть зажим 6, обеспечив сообщение сосуда 1 с атмосферой, и обнулить показания манометра 5.
- Закрыть зажим 6, перекрыв связь сосуда с атмосферой.
- С помощью шприца набрать из флакона 0,05 или 0,1 мл (1 мл = 10<sup>-6</sup> м<sup>3</sup>) летучей жидкости (это соответствует 2 или 4 делениям шкалы шприца, т.к. цена одного деления равна 0,025 мл).
- Открыть отверстие 7 пробки сосуда и вставить туда шприц с набранной жидкостью.
- Впрыснуть используемую жидкость с помощью шприца в сосуд и сразу же вынуть шприц, быстро закрыв отверстие 7 маленькой пробкой 10.
- После этого дождаться момента, когда давление, измеряемое водяным манометром, перестанет увеличиваться (через 3 ÷ 5 мин), занести в таблицу 2 изменение уровня воды  $h_1$  в коленях манометра.
- Открыть зажим 6, выпустив в атмосферу пары летучей жидкости, обнулив тем самым показания манометра.

Табл.2

$\rho_{\text{в}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$g$ , м/с <sup>2</sup>	$h_1$ , м	$p$ , Па
1000	9,816		

8. Параметры установки  $V_0$ ,  $S$  (спросите у преподавателя, ведущего занятия, или лаборанта), а также данные об исследуемой жидкости (см. табл. 1) и температуру воздуха, измеренную комнатным термометром, занести в табл.3.

9. По формуле (202.8) рассчитать парциальное давление паров летучей жидкости, полученный результат занести в табл.2.

10. По формуле (2) рассчитать постоянную Больцмана  $k$ , результат занести с табл. 3.

11. Рассчитать абсолютную  $\Delta k$  и относительную  $E$  погрешности измерений, исходя из табличного значения постоянной Больцмана:

$$\Delta k = |k - k_{\text{табл}}|, 100 \%, E = \Delta k / k \cdot 100\%.$$

Форма таблицы 3

Жидкость	$\mu$ , кг/моль	$\rho_{\text{ж}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$V_{\text{ж}}$ , м <sup>3</sup>	$T$ , К	$V_0$ , м <sup>3</sup>	$S$ , м <sup>2</sup>	$k$ , Дж/К	$k_{\text{табл}}$ , Дж/К	$\Delta k$ , Дж/К	$E$ , %

### 7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий, ситуационные задачи.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

1. Сформулируйте законы, описывающие изотермический, изохорический, изобарический процессы. Приведите графики этих процессов.

2. Объединив законы Бойля-Мариотта и Гей-Люссака, получите объединенный газовый закон (закон Клапейрона).

3. Сформулируйте закон Авогадро.

4. Объединив уравнение Клапейрона с законом Авогадро, получите уравнение Клапейрона-Менделеева.

5. Сформулируйте закон Дальтона. Дайте определение парциального давления.

6. Используя постоянную Больцмана  $k$ , получите уравнение состояния идеального газа, выраженное через концентрацию молекул.

7. Что называется концентрацией молекул?

### 8.. Выведите рабочую формулу (5).

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## 1. Тема и ее актуальность:

### №6 «Изучение зависимости термического коэффициента давления газа от температуры»

Термический коэффициент давления газа характеризует относительное изменение давления газа при изменении температуры на 1 K при постоянном объеме:

$$\alpha = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_v. \quad (1)$$

## 2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь**:

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## 3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы: Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое термодинамические коэффициенты (расширения, давления и сжатия)?
2. Установите связь между термическими коэффициентами.

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Манометр, насос *Шинца*, источник питания, нагревательный элемент, магнитная мешалка, стеклянный стакан, стеклянная колба.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Определите отношение числа молекул в 36 г воды к числу молекул в 2 г водорода:  
а) 2 +  
б) 1  
в) 3
2. Оцените, во сколько примерно раз среднее расстояние между молекулами в газах при нормальных условиях больше размеров самих молекул газа:  
а) 800-1000  
б) 8-10 +  
в) 80-100
3. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул:  
а) зависит от агрегатного состояния вещества  
б) не зависит от температуры  
в) зависит от температуры +
4. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул:  
а) зависит от агрегатного состояния вещества  
б) не зависит от температуры  
в) не зависит от массы молекул +
5. Во сколько раз увеличится среднеквадратическая скорость молекул идеального газа при повышении абсолютной температуры в 2 раза:  
а)  $\sqrt{2}$  +  
б)  $2\sqrt{2}$   
в) 4

**7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.**

Коэффициент  $\alpha$  можно определить из уравнения состояния для идеального газа:

$$PV = \frac{m}{M}RT. \quad (2)$$

**7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.**

При постоянном  $V$ , дифференцируя по  $T$ , получим:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{m}{M} \frac{R}{V}. \quad (3)$$

Из уравнений (5.1)–(5.3) следует, что

$$\alpha = \frac{1}{P} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{T}. \quad (4)$$

Таким образом, термический коэффициент давления газа обратно пропорционален абсолютной температуре. В частности, для температуры  $T_0$  ( $T_0 = 273\text{K}$ ) и давления  $P_0$ :

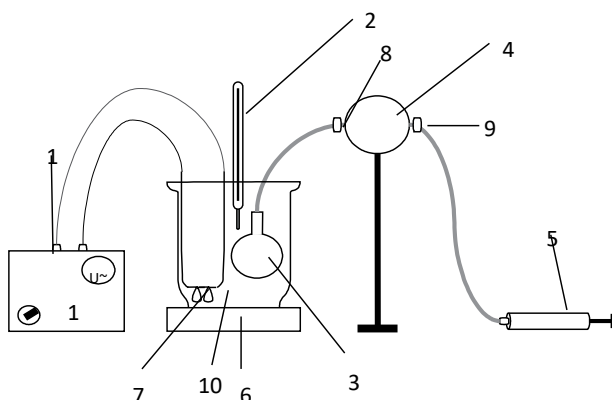
$$\alpha_0 = \frac{1}{P_0} \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{273}.$$

Т.е.

$$T_0 = \alpha_0^{-1}.$$

Прибор для определения термического коэффициента давления газа показан на рисунке 1. Он состоит из стеклянной колбы, заполненной воздухом; манометра, соединенного с баллоном резиновым шлангом.

Кран 8 служит для соединения колбы с манометром, кран 9 служит для соединения колбы с насосом. Колба с воздухом, термометр и нагревательный элемент погружены в стеклянный стакан, заполненный водой комнатной температуры. Нагревательный элемент подсоединен к источнику питания.



1 – источник питания; 2 – термометр; 3 – стеклянная колба для воздуха;  
4 – манометр; 5 – насос Шинца; 6 – электромагнитная мешалка;  
7 – нагревательный элемент; 8 – кран; 9 – кран, 10 – стеклянный стакан

**Рисунок .1 – Схема установки для установления зависимости термического коэффициента давления газа от температуры**

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Поставьте стакан с термометром, колбой и нагревательным элементом на электромагнитную мешалку.
2. По термометру, погруженному в стакан с водой, определите температуру воды в стакане, которая соответствует температуре воздуха в колбе. Измерьте атмосферное давление.
3. Откачайте насосом воздух из колбы до показания на манометре  $0,3\text{--}0,4 \text{ кгс/см}^2$ . Показания давления, измеряемое по манометру в технических атмосферах, необходимо перевести в Па. Давление в колбе определяется следующим образом:

$$P = P_{\text{атм}} - P_{\text{ман}}. \quad (5)$$

Запишите давление воздуха в колбе при комнатной температуре.

4. Включите источник питания. По мере нагрева воды в стакане воздух в колбе будет также нагреваться. В результате чего давление воздуха в колбе будет изменяться. Снимайте показания термометра при соответствующих изменениях показаний на манометре через каждые  $0,02 \text{ кгс/см}^2$ .

Занесите соответствующие данные в таблицу. Измерения необходимо проводить пока вода в стакане не закипит.

5. Постройте график зависимости давления воздуха в колбе от температуры  $P = f(T)$ . Из графика по тангенсу угла наклона прямой и значениям давления газа при соответствующих температурах найдите значения  $P$  для разных температур (от 0 °С до 100 °С).

6. Постройте график  $P = f(T)$ .

*Примечание.* Надо заметить, что в работе не учитывается изменение объема газа, вызванное некоторым расширением стеклянного баллона при его нагревании, а также пренебрегается объемами соединительной трубки и манометра ввиду их незначительности, по сравнению с размерами баллона. Таким образом, надо ожидать, что значения, полученные на данной установке, будут несколько заниженными.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## **1. Тема и ее актуальность:**

### **№7 «Изменение энтропии в реальных системах»**

В естественных условиях процесс выравнивания температур относится к разряду необратимых процессов, однако он тем ближе к обратимому, чем быстрее во всем объеме смешиваемых тел исчезают локальные неоднородности температур и чем меньше геометрические размеры этих тел. В реальном неравновесном процессе скорость выравнивания температур соприкасающихся тел, рассчитанная на единицу объема, обратно пропорциональна теплоемкости тел.

## **2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными**

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы: Вопросы для самоподготовки:**



1. Почему все реальные процессы являются неравновесными?
2. Какие процессы называются обратимыми, какие – необратимыми? Может ли неравновесный процесс быть обратимым?
3. Сформулируйте второе начало термодинамики.
4. При изотермическом процессе вся подводимая теплота переходит в работу. Не противоречит ли это второму закону термодинамики? Почему?
5. Какие процессы называются циклическими?
6. Цикл *Карно*. Почему цикл *Карно* представляет для науки особый интерес?
7. Приведите примеры реально осуществимых круговых замкнутых процессов.
8. Начертите схему домашнего холодильника и разберитесь в принципе его работы.
9. Приведите различные формулировки второго начала термодинамики. Чем второе начало термодинамики дополняет первое?
10. Что такое приведенное количество теплоты? Что такое энтропия?
11. Чему равно изменение энтропии обратимого (необратимого) цикла?
12. Как отличается изменение энтропии при переходе из одного состояния в другое при обратимом и необратимом процессе?

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Калориметр, электроплитка, термометр, водомерный стакан, набор из 3–5 испытуемых тел (латунное, медное, железное и алюминиевые тела различных масс), технические весы с разновесками.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**8. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Какое количество вещества (моль) содержится в 144 г воды?  $(H)=1$  а.е.м.,  $(O)=16$  а.е.м.:
  - а) 6
  - б) 8 +
  - в) 4
2. При какой температуре (К) среднеквадратическая скорость атомов гелия будет такой же, как и среднеквадратическая скорость молекул водорода при температуре 300 К:
  - а) 100
  - б) 400
  - в) 600 +
3. Какое количество вещества (моль) содержится в 98 г серной кислоты  $H_2SO_4$ ? Относительные атомные массы водорода, серы и кислорода равны соответственно 1,32 и 16 а.е.м.:

- а) 2
- б) 1 +
- в) 3,5

4. От какой из приведенных ниже величин, характеризующих молекулы, зависит давление идеального газа:

- а) силы притяжения между молекулами
- б) силы отталкивания между молекулами
- в) кинетической энергии молекул +

5. При использовании газа, находящегося в металлическом баллоне его давление уменьшилось на 75%. Во сколько раз уменьшилась масса газа? Считать, что  $T = \text{const}$ :

- а) 1,5
- б) 4 +
- в) 14

## 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы

Если в калориметр, содержащий определенное количество воды при заданной температуре, опустить тело, температура которого значительно выше температуры воды, то произойдет теплообмен, в результате которого установится общая температура. Если теплоемкость тела достаточно мала, то процесс теплопередачи будет более близок к обратимому процессу. При этом степень его обратимости в изолированной системе можно определить, рассчитав изменение энтропии.

Для твердого и жидкого тел, учитывая, что работой расширения можно пренебречь:

$$\delta Q = c m dT, \quad (1)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость тела.

Изменение энтропии процесса между состояниями 1 и 2 равно:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{c m dT}{T} = c m \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (2)$$

В силу аддитивности энтропии:

$$\Delta S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \quad (3)$$

где  $\Delta S$  – изменение энтропии системы тел,  $\Delta S_i$  – изменение энтропии  $i$ -го тела;  $n$  – число тел системы.

В данной работе необходимо определить изменение энтропии системы тел, состоящей из объектов:

1. Испытуемое тело массой  $m_T$ , с удельной теплоемкостью  $c_T$  и начальной температурой  $T_1$ , которая равна температуре паров кипящей воды.
2. Калориметрический стакан массой  $m_K$ , с удельной теплоемкостью  $c_K$  и начальной температурой  $T_0$ .
3. Вода в калориметре массой  $m_B$ , с удельной теплоемкостью  $c_B$  и начальной температурой  $T_0$ . После погружения тела с температурой кипящей воды  $T_1$  в калориметр, наполненный водой с температурой  $T_0$ , в результате теплообмена в системе установится температура  $T$ . При выравнивании температуры энтропия каждого из тел изменяется:

для тела:

$$\Delta S = m_T c_T \ln \frac{T}{T_1} \quad (4)$$

для калориметра:

$$\Delta S = m_k c_k \ln \frac{T}{T_0} \quad (5)$$

для воды:

$$\Delta S = m_e c_e \ln \frac{T}{T_0} \quad (6)$$

Изменение энтропии всей системы согласно (3) равно:

$$\Delta S = (m_e c_e + m_k c_k) \ln \frac{T}{T_0} + m_t c_t \ln \frac{T}{T_1},$$

или

$$\Delta S = (m_e c_e + W) \ln \frac{T}{T_0} + m_t c_t \ln \frac{T}{T_1}. \quad (7)$$

$W$  - количество теплоты, которое нужно сообщить калориметрической системе, чтобы повысить ее температуру на 1 К.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Лабораторная работа состоит из двух частей. В первой части определяют водяной эквивалент калориметра  $W$  опытным путем. Во второй части предлагается рассчитать изменение энтропии нескольких тел при опускании их в воду одинаковой массы и температуры.

**Примечание.** Наличие внешнего стакана калориметра делает систему почти адиабатной.

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Взвешиванием определите массу внутреннего стакана калориметра  $m_k$ .
2. Наполните его водой примерно на одну треть. Определите массу стакана с водой  $M_1$ . Тогда масса воды в калориметре равна  $m_e = M_1 - m_k$ .
3. При помощи термометра измерьте температуру воды в калориметре  $t_1$ .
4. Налейте в него примерно такое же количество воды, предварительно нагретой на электроплитке до температуры  $t_2 = 30-40$  °С.
5. Измерьте установившуюся температуру смеси  $\theta$ .
6. Определите массу стакана с водой  $M_2$  и вычислите массу горячей воды  $m'_e = M_2 - M_1$ .
7. Составьте уравнение теплового баланса:

$$c_e m'_e (t_2 - \theta) = c_e m_e (\theta - t_1) + c_k m_k (\theta - t_1).$$

Так как по определению:

$$W = m_k c_k \quad (8)$$

Имеем

$$c_e m'_e (t_2 - \theta) = c_e m_e (\theta - t_1) + W (\theta - t_1) \quad (9)$$

Следовательно:

$$W = \frac{c_e m'_e (t_2 - \theta) - c_e m_e (\theta - t_1)}{(\theta - t_1)}. \quad (10)$$

По формуле (10) найдите водяной эквивалент калориметра.

8. Повторите пп. 1–7 не менее пяти раз и найдите среднее значение водяного эквивалента калориметра.
9. Включите электроплитку. Поместите испытуемое тело в жароустойчивый сосуд, предварительно заполнив его водой. Доведите воду в сосуде до кипения. После того как закипит вода, выждите не менее пяти мин.
10. Пока тело нагревается, взвесьте калориметрический стакан. Далее наполните его водой и определите массу воды в нем посредством взвешивания или при помощи водомерного стакана.
11. Поставьте калориметр подальше от электроплитки и отмечайте температуру воды.
12. Достаньте из жароустойчивого стакана испытуемое тело при помощи специального приспособления – штыря и поместите его в калориметр.
13. После выполнения п.12 калориметр быстро закройте, отодвиньте его от нагревателя и следите за ростом температуры воды в калориметре по термометру.
14. Зафиксируйте максимальное значение температуры.
15. Найдите  $\Delta S$  по формуле (7), подставляя вместо  $W$  среднее значение водяного эквивалента калориметра.
16. Повторите пп. 9–15 для каждого из тел по 3 раза.
17. Постройте график зависимости  $\Delta S$  ( $с.т.$ ).

*Примечание.* Важно, чтобы в каждом опыте не только количество, но и начальная температура воды были одинаковыми. Поэтому перед началом каждого эксперимента рекомендуется до заполнения водомерного стакана слить воду из крана.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## **1. Тема и ее актуальность:**

### **№8 «Определение коэффициента теплопроводности воздуха»**

Теплопроводность – это явление, приводящее к выравниванию температуры в различных точках среды. При этом различают три механизма передачи теплоты: теплопроводность, конвекцию и лучеиспускание. Последний механизм, как правило, рассматривается в оптике. Интенсивность тепловых потоков при теплопроводности в твердых телах сильно зависит от свойств тела.

Теплопроводность представляет собой передачу тепла вследствие беспорядочного движения молекул или атомов (в металлах – электронов).

## **2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными**

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

**3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:** Вопросы для самоподготовки:

1. Какие виды передачи теплоты вы знаете?
2. Выведите формулу для расчета коэффициента теплопроводности идеального газа.
3. Как с точки зрения молекулярно-кинетической теории объяснить независимость коэффициента теплопроводности идеальных газов от давления?
4. Как влияет на значение коэффициента теплопроводности конвекция и тепловые потери? Как можно оценить влияние конвекции при определении данным методом?
5. Чем объясняется хорошая теплопроводность металлов?
6. Объясните теплоизолирующие свойства меховой и шерстяной одежды.

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Установка для определения коэффициента теплопроводности воздуха, стакан, термометр для измерения температуры водопроводной воды, батарея аккумуляторов на 6 В, реостат на 40 Ом, амперметр, вольтметр на 3 В.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. При нормальных условиях газ занимает объем 10 л. Какой объем (л) займет этот газ, если давление увеличить в 5 раз? Температура постоянна:
  - а) 2 +
  - б) 3
  - в) 4
2. Во сколько раз увеличится давление идеального газа, находящегося в закрытом сосуде при температуре 27°C, если его нагреть до 627°C:
  - а) 4
  - б) 3 +
  - в) 2
3. В каких единицах измеряется абсолютная влажность воздуха в системе СИ:
  - а) К

- б) %
- в) кг/м<sup>3</sup> +

4. Как изменится средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа в некотором процессе, если концентрацию молекул уменьшить в 10 раз, а температуру увеличить в 2 раза:

- а) уменьшится в 5 раз
- б) увеличится в 2 раза +
- в) увеличится в 5 раз

5. Как изменяется температура газа при его адиабатическом сжатии:

- а) не изменяется
- б) понижается
- в) повышается +

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

Согласно закону *Фурье*, количество теплоты  $\delta Q$ , переносимое через площадку толщиной  $dx$  вдоль оси  $X$  соприкасающихся слоев за время  $d\tau$  при наличии градиента температуры  $dT/dx$ , выражается формулой:

$$\delta Q = -\chi \frac{\delta T}{\delta x} dS d\tau. \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент теплопроводности. Знак «минус» в формуле (1) указывает на то, что теплота переносится в направлении падения температуры. Отсюда следует,

$$\chi = \frac{-\delta Q}{\frac{dT}{dx} dS d\tau}, \quad (2)$$

т.е. коэффициент теплопроводности численно равен количеству теплоты, переносимому вследствие беспорядочного движения молекул (атомов, электронов) за единицу времени через единицу площади соприкасающихся слоев при градиенте температуры, равном единице.

В системе СИ коэффициент теплопроводности измеряется:

$$[\chi] = \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{К} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Если рассматривать идеальный газ, заключенный между двумя поверхностями, имеющими различные температуры  $T_1$  и  $T_2$ , которые поддерживаются постоянными, то через поверхность установится стационарный поток теплоты. В случае одномерной задачи, т.е. когда вдоль оси  $X$  будет градиент температуры  $\frac{dT}{dx}$ , а вдоль осей  $Y$  и  $Z$ , расположенных параллельно к ограничивающим газ поверхностям, температура не меняется, коэффициент теплопроводности равен:

$$\chi = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} u c_v, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность газа;

$\bar{\lambda}$  – средняя длина свободного пробега молекул газа;

$u$  – средняя арифметическая скорость молекул;

$c_v$  – удельная теплоемкость газа при постоянном объеме.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Используемая в лабораторной работе установка изображена на рисунке 1.

Воздух находится в запаянной на концах стеклянной цилиндрической трубке с внутренним

диаметром 24 мм. По оси трубки натянута нихромовая проволока диаметром 0,32 мм и длиной 40 см. Проволока припаяна к молибденовым стерженькам, которые служат электропроводами. Трубка с исследуемым воздухом окружена стеклянным кожухом. Через кожух пропускается вода из водопровода, тем самым поддерживается определенная температура стенки внутренней трубки.

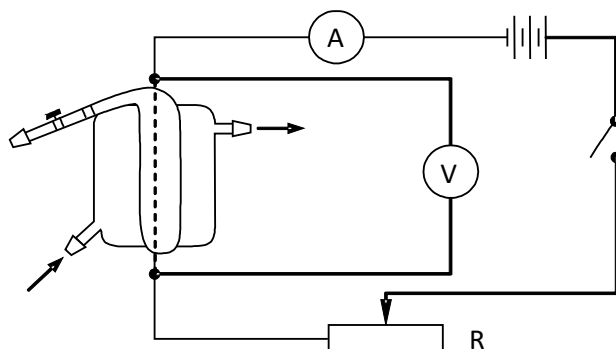


Рисунок 1 – Схема установки для определения коэффициента теплопроводности воздуха

При пропускании по проволоке постоянного электрического тока она нагревается, и теплота передается от поверхности проволоки к внутренней поверхности стеклянной трубки.

Через некоторое время температура проволоки становится постоянной. Тогда можно принять, что слой воздуха, прилегающий к проволоке, имеет температуру проволоки, а слой воздуха, прилегающий к стенке стеклянной трубки, – температуру проточной воды  $T_2$ . Количество теплоты, отдаваемое проволокой в единицу времени, будет равно:

$$Q = I^2 R = IU, \quad (4)$$

где  $I$  – сила тока, идущего по проволоке;

$R$  – сопротивление проволоки;

$U$  – напряжение на концах проволоки.

Необходимо учитывать, что это количество теплоты передается стенке трубки в 1 с, а также частично окружающей среде через электропроводы и торцы прибора. Поэтому:

$$Q = Q_m + Q_{изл} + Q_{к} + \Delta Q, \quad (5)$$

где  $Q_m$ ,  $Q_{изл}$  и  $Q_{к}$  – количества теплоты, передаваемые стенке трубки соответственно через теплопроводность, излучение и конвекцию, а  $\Delta Q$  – тепловые потери через электропроводы и торцы прибора.

Предполагая, что излучение и конвекция не дают вклада в процесс передачи тепла, количество теплоты, переносимое за счет теплопроводности воздуха в единицу времени через площадку  $dS$ , равно:

$$dQ_m = -\chi \frac{dT}{dr} dS. \quad (6)$$

Если считать, что тепло передается радиально, то в случае установившегося режима через любую коаксиальную цилиндрическую поверхность с радиусом  $r$  за единицу времени проходит количество теплоты:

$$Q_m = -\chi \frac{dT}{dr} 2\pi r l. \quad (9.7)$$

Отсюда

$$\frac{Q_m}{2\pi l} \cdot \frac{dr}{r} = -\chi dT$$

и

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{Q_m}{2\pi l} \cdot \frac{dr}{r} = -\chi \int_{T_1}^{T_2} dT, \quad (9.8)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – соответственно радиус проволоки и внутренний радиус трубки с воздухом, а  $T_1$  и  $T_2$  – температура проволоки и стенки трубки.

Так как в условиях стационарного режима  $Q_m = const$ , то из формулы (7) следует, что

$$\chi = \frac{Q_m \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \dot{v}}. \quad (9)$$

В том случае, когда количество теплоты, передаваемое стенке конвекцией и излучением, а также тепловые потери малы по сравнению с количеством теплоты, передаваемым вследствие теплопроводности воздуха, можно считать, что

$$Q_m \approx Q = I^2 R = IU. \quad (10)$$

Температуру проволоки при различных силах тока можно определить, измеряя сопротивления проволоки и считая, что в исследуемом интервале сопротивление связано с температурой линейно:  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ , где  $R_t$  и  $R_0$  – сопротивления проволоки при температурах  $t$  °C и 0 °C, а  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

Температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$  можно определить предварительно, если измерить универсальным мостом сопротивление проволоки при двух известных температурах (например, пропуская через кожух сначала водопроводную воду, а затем пары воды).

Если температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$  известен, то температура проволоки:

$$t_1 = \frac{R_1(1 + \alpha t_2) - R_2}{\alpha R_2}, \quad (11)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – сопротивления проволоки при температурах  $t_1$  °C и  $t_2$  °C.

Сопротивление проволоки в нагретом состоянии измеряется с помощью амперметра и вольтметра (см. электрическую схему на рисунке). Точность измерения сопротивления этим методом в данной работе оказывается вполне достаточной, так как основная ошибка в определении коэффициента теплопроводности обусловлена тепловыми потерями (в том случае, когда не вводится соответствующая поправка). Если показания амперметра обозначим через  $I$ , а вольтметра – через  $U$ , то

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_B}}, \quad (12)$$

где  $R_B$  – сопротивление вольтметра. Если  $U / R_B \ll I$ , то  $R = U / I$ .

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Проверьте наличие необходимых принадлежностей оборудования и правильность электрической схемы.
2. Определите и запишите цену наименьшего деления шкалы каждого прибора. Определите внутреннее сопротивление вольтметра по закону *Ома*, зная предельное напряжение, на котором вы работаете и предельный ток, который можно пропускать через прибор.
3. Пропустите через кожух воду, открыв кран с водопроводной водой.
4. Наблюдайте за температурой воды, вытекающей из кожуха. Когда она перестанет изменяться, запишите температуру воды  $t_2$ . Зная температурный коэффициент  $\alpha = 4 \cdot 10^{-4}$  град<sup>-1</sup> и сопротивление проволоки при 0 °C, равное 6,25 Ом, вычислите сопротивление проволоки  $R_2$ ,



соответствующее температуре  $t_2$ . Замкните цепь и с помощью реостата установите определенное значение силы тока, заданное преподавателем.

5. Наблюдайте за показаниями вольтметра. После того как показываемое им напряжение перестанет изменяться, запишите его значение и значение силы тока. Затем измените силу тока и произведите аналогичные измерения. По полученным значениям силы тока и напряжения рассчитайте сопротивления проволоки по формуле (10).

6. Найдите температуру проволоки, соответствующую каждому сопротивлению по формуле (11).

7. Из (9) определите значения коэффициента теплопроводности  $\alpha$ .

8. Произведите необходимые измерения и определите коэффициент теплопроводности воздуха для трех значений силы тока в проволоке (0,35; 0,4; 0,45).

9. Рассчитайте среднее значение коэффициента теплопроводности  $\chi_{cp}'$ .

10. Вычислите, какое количество теплоты в каждом из опытов передается стенке трубки излучением. Для этого используйте формулу:

$$Q_{изл} = A\sigma S(T_1^4 - T_2^4)$$

где  $A$  – поглощательная способность тела (для никрома  $A=0,4$ );

$\sigma$  – постоянная *Стефана-Больцмана*,  $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>;

$S$  – площадь поверхности проволоки;

$T_1$  и  $T_2$  – абсолютные температуры проволоки и стенки трубки.

11. Введите поправку на излучение в формуле (8) и найдите значения коэффициента теплопроводности воздуха с учетом поправки на излучение. Рассчитайте среднее значение  $\chi_{cp}$ .

12. Выразите в процентах разницу между значениями коэффициента теплопроводности  $\chi_{cp}'$  и  $\chi_{cp}$ .

13. Сравните значение коэффициента теплопроводности воздуха  $\chi_{cp}$  с его табличным значением.

14. Введите поправку на излучение в формуле (8) и найдите значения коэффициента теплопроводности воздуха с учетом поправки на излучение. Рассчитайте среднее значение  $\chi_{cp}$ .

15. Выразите в процентах разницу между значениями коэффициента теплопроводности  $\chi_{cp}'$  и  $\chi_{cp}$ .

16. Сравните значение коэффициента теплопроводности воздуха  $\chi_{cp}$  с его табличным значением.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## 1. Тема и ее актуальность:

### №9 «Определение коэффициента теплопроводности материалов сравнительным методом»

Вследствие теплопроводности тепло передается от слоев более нагретых к слоям менее нагретым. Этот процесс количественно описывается законом теплопроводности, который

опытным путем установил *Фурье*.

## **2. Цель занятия,** обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Какова физическая сущность процессов переноса?
2. Опишите стационарные и нестационарные процессы переноса. Запишите уравнение переноса.
3. Выразите коэффициент диффузии, теплопроводности и вязкости через средние величины, характеризующие молекулярное движение.
4. Запишите соотношения между коэффициентами переноса.

Какова физическая сущность процессов переноса в вакууме?

## **4. Вид занятия:** лабораторное занятие

## **5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Исследуемый материал в форме дисков (эбонит, ДСП, стекло, пластик), термостатируемые бачки, электроплитка, колба, гальванометр, термопары.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

## **7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

### **7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Какое из приведенных выражений является уравнением изобарного процесса:
  - а)  $P=2/3nEk$
  - б)  $V1/T1=V2/T2 +$
  - в)  $P=3/2nEk$
2. Одинаковые воздушные шары заполнены до одинаковых давлений первый – водородом, второй – азотом, третий – гелием. Какой из них имеет наименьшую

подъемную силу? Наполненный:

- а) азотом +
- б) гелием
- в) водородом

3. Сосуд заполнен смесью водорода, азота и углекислого газа и герметично закрыт. У какого газа средняя квадратическая скорость молекул наибольшая:

- а) азота
- б) углекислого газа
- в) водорода +

4. Определите относительную влажность воздуха  $\varphi$ (%) при температуре  $24^{\circ}\text{C}$ , если точка росы равна  $9^{\circ}\text{C}$ . Давления насыщенных паров при точке росы и данной температуре соответственно равны  $1,14$  кПа и  $2,96$  кПа.:

- а) 41 +
- б) 43
- в) 48

5. На сколько градусов надо поднять температуру газа, находящегося в баллоне, чтобы его давление увеличилось в 2 раза? Начальная температура газа  $127^{\circ}\text{C}$ :

- а) 240
- б) 400 +
- в) 380

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

Элементарное количество теплоты  $\delta Q$ , которое проходит за время  $dt$  через слой толщины  $dx$ , площади  $S$  при разности температур на границах  $dT$ , равно:

$$\delta Q = -\chi S \frac{dT}{dx} dt \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент теплопроводности;

$\frac{dT}{dx}$  – градиент температуры в направлении  $x$ .

При стационарном переносе теплоты величина  $(dT/dx)$  является постоянной в слое.

Для определения коэффициента теплопроводности исследуется распределение температуры между теплопроводными слоями многослойного пакета. При небольшой разности температур на границах слоя можно считать, что коэффициент теплопроводности не зависит от температуры. Вообще говоря, теплопроводность большинства материалов довольно сильно зависит от температуры и лишь в небольшом интервале температур (порядка  $10^{\circ}\text{C}$ ) можно считать коэффициент теплопроводности постоянным.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

В данной работе рассматривается прохождение тепла через пакет из трех дисков (рисунок 11.1). Толщина дисков мала по сравнению с их диаметром, что позволяет пренебречь потерями тепла через боковые поверхности.

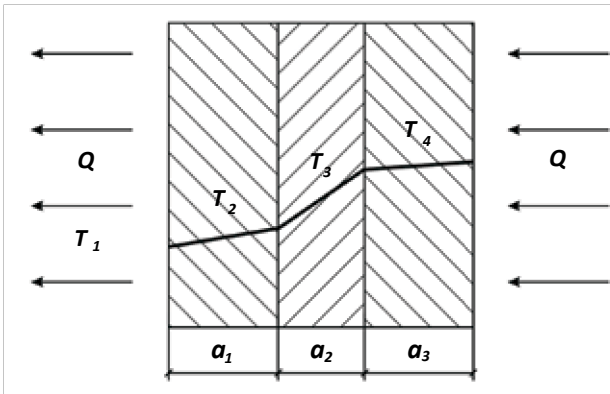


Рисунок 1 – Схема прохождения тепла через пакет из трех дисков, толщина которых мала по сравнению с их диаметром

Необходимо отметить, что при теплопередаче внутри дисков не происходит химических реакций и фазовых превращений, требующих поглощения или выделения тепла. При установившемся стационарном режиме теплопроводности через каждый слой пакета пройдет одно и то же количество теплоты, то есть за время  $t$  одно и то же количество тепла  $Q$ , поступив на поверхность правого диска, проходит через все слои пакета и выходит с поверхности левого диска в окружающую среду.

Для каждого из слоев диска площадью  $S$  можно записать:

$$Q = -\chi_1 S \left( \frac{dT}{a_1} \right) t \quad (2)$$

$$Q = -\chi_2 S \left( \frac{dT}{a_2} \right) t \quad (3)$$

$$Q = -\chi_3 S \left( \frac{dT}{a_3} \right) t, \quad (4)$$

где  $\chi_1, \chi_2, \chi_3$  – коэффициенты теплопроводности соответствующих слоев;  $a_1, a_2, a_3$  – толщины слоев;

$T_1, T_2, T_3, T_4$  – температуры, которые установились на границах соответствующих слоев.

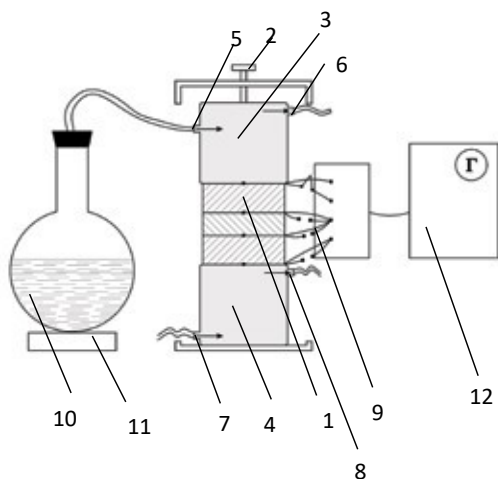
Разделив поочередно (3) на (2) и (4), получим

$$\chi_1 = \chi_2 \frac{a_1}{a_2} \frac{T_3 - T_2}{T_2 - T_1}, \quad \chi_3 = \chi_2 \frac{a_3}{a_2} \frac{T_3 - T_2}{T_4 - T_3}, \quad (5)$$

Из этих формул следует, что коэффициенты теплопроводности  $\chi_1$  и  $\chi_3$  могут быть определены, если известен коэффициент теплопроводности среднего слоя  $a_2$ . Поэтому средний слой удобно брать в качестве эталона.

Схема установки представлена на рисунке 1.

Теплопередача осуществляется через пакет пластин, который плотно зажимается винтом между двумя бачками. Через верхний бачок прокачивается нагретый пар (штуцеры 5 и 6). Нижний бачок охлаждается проточной водой (штуцеры 7 и 8). Для измерения температуры в зоне контакта пластин используются четыре термопары, холодные спаи которых помещаются в камеру. Горячие спаи термопар помещают между дисками в их центре. Верхняя и нижняя пластины пакета вырезаны из одинакового материала, резины, и осуществляют контакт между слоями. В экспериментах меняется только средний диск, теплопроводность которого исследуется. Ток в термопарах измеряется гальванометром.



1 – пакет пластин; 2 – винт; 3, 4 – бачки; 5, 6, 7, 8 – штуцеры; 9 – термопары;  
10 – колба с водой; 11 – электроплитка; 12 – гальванометр

**Рисунок 1 – Схема установки для изучения коэффициента теплопроводности сравнительным методом**

Величина тока в термопарах пропорциональна разности температур горячего и холодного спаев –  $T = kn$ , где  $n$  показания гальванометра,  $k$  – коэффициент пропорциональности. Поэтому заменив значения температур на соответствующие показания гальванометра ( $n_1, n_2, n_3, n_4$ ), можно получить соотношения, аналогичные соотношениям (5):

$$\chi_1 = \chi_2 \frac{a_1 n_3 - n_2}{a_2 n_2 - n_1}, \quad \chi_3 = \chi_2 \frac{a_3 n_3 - n_2}{a_2 n_4 - n_3}, \quad (6),$$

$$\chi_2 = \chi_1 \frac{a_2 n_2 - n_1}{a_1 n_3 - n_2}, \quad \chi_2 = \chi_3 \frac{a_2 n_4 - n_3}{a_3 n_3 - n_2}, \quad (7)$$

Здесь  $\chi_1, \chi_3$  – коэффициенты теплопроводности резины, найденные по формулам (6) для определенных интервалов температур. В работе используются хромель – копеливые термопары из проволоки диаметром 0,2 мм .

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Измерьте штангенциркулем толщину слоев резины  $a_1, a_2$  , а также толщину всех исследуемых материалов.
  2. Соберите пакет из двух дисков резины (по краям) и эбонита, поместив его между бачками, слегка прижав винтом. Между поверхностями бачков, слоев резины и исследуемого образца в их центре поместите спаи дифференциальных термопар.
  3. Подсоедините к колбе с помощью шлангов верхний бачокустановки. Нижний бачок подсоедините к крану с проточной водой.
  4. Включите электроплитку в сеть, предварительно установив на нее колбу с водой. Воды в колбе должно быть не менее 2/3 ее объема.
  5. Осторожно откройте кран с проточной водой.
  6. Доведите воду в колбе до кипения и прогрейте верхний бачок 3 паром в течение 10 мин.
  7. Путем последовательного включения термопар (с помощью переключателя на гальванометре, следуя от более холодных слоев к более нагретым) снимите показания гальванометра  $n_1, n_2, n_3, n_4$ . Для получения более надежных результатов следует перед началом записи измерений убедиться, что процесс теплообмена установился, то есть показания гальванометра не изменяются во времени.
  8. Определите коэффициенты теплопроводности резины в двух слоях по формулам (6) при разных температурах сравнением с теплопроводностью эбонита, для которого  $\chi = 0,174 \text{ Вт} \cdot \text{м} \cdot \text{К}$
- Закончив первую серию измерений, осторожно замените эбонитовый образец на образец из

материала, коэффициент теплопроводности которого необходимо определить. Прогрейте его в течение 10–15 мин и снимите показания со всех термомпар.

9. По формулам (7) определите коэффициент теплопроводности исследуемого материала по известным значениям  $\chi_1$ ,  $\chi_3$  резины.

10. Аналогично произведите измерения и рассчитайте коэффициенты теплопроводности всех предложенных образцов.

11. Определите погрешности измерений.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## **1. Тема и ее актуальность:**

### **№10 «Определение размеров молекул касторового масла»**

В отличие от газа или пара, которые всегда целиком заполняют предоставленный им объем, жидкость образует свободную поверхность, отделяющую ее от пограничной среды. В поверхностном слое жидкости действуют силы поверхностного натяжения.

## **2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными**

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Каковы современные представления о структуре жидкости?
2. Каковы отличительные особенности молекулярного строения жидкости (по сравнению с газами и твердыми телами)?

4. Объясните растекание жидкости по поверхности другой жидкости с точки зрения действия сил поверхностного натяжения.
5. Является ли строгим равенство  $S = S_M \cdot n$  для мономолекулярного слоя касторового масла?
6. Какую жидкость можно налить в стакан выше его краев? Почему?
7. Почему из емкости с узким отверстием тяжело вылить воду?

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Медицинская ванночка, бюретка, миллиметровая линейка, химический стакан, аналитические весы, касторовое масло, раствор марганцовокислого калия, пробковые опилки или тальк.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**8. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Как изменится давление газа, если его объем уменьшится в 2 раза, а среднеквадратическая скорость его молекул уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз:
  - а) уменьшится в 8 раз
  - б) не изменится +
  - в) уменьшится в 4 раз
2. Раздел физики, который изучает физические свойства тел на основе рассмотрения их молекулярного строения:
  - а) молекулярная физика +
  - б) кинетическая физика
  - в) астрофизика
3. Как называется величина, характеризующая количество энергии, передаваемое извне, в результате теплообмена:
  - а) количество теплоты +
  - б) внутренняя энергия
  - в) коэффициент полезного действия
4. Укажите как изменилось значение внутренней энергии при следующих условиях: идеальном газу сообщено 800 Дж теплоты. Газ расширился, совершив работу 200 Дж:
  - а) уменьшилось на 600 Дж
  - б) увеличилось на 600 Дж +
  - в) уменьшилось на 1000 Дж
5. Какая характеристика процесса изменения внутренней энергии вам известна:
  - а) количество вещества
  - б) температура
  - в) работа +

**7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.**

Под действием сил поверхностного натяжения свободная поверхность жидкости стремится стать

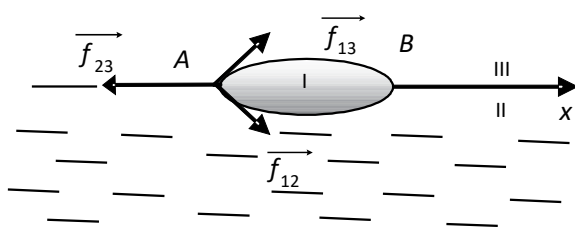
сферической. Обычно этому препятствует сила тяжести. Вследствие действия силы тяжести жидкость принимает форму того сосуда, в котором она находится, а свободная поверхность ее делается горизонтальной.

Однако в тех случаях, когда силы поверхностного натяжения значительно превосходят силу тяжести, свободная поверхность жидкости приближается к сферической. Например, шаровидность мелких капель жидкости, сферическая форма мениска в капиллярах.

Рассмотрим каплю некоторой жидкости I, расположенную на поверхности другой, не смешивающейся с ней жидкости II (рисунок 15.1).

Сверху такая капля кажется кругом, но в действительности она подобна чечевице или линзе.

Форма капли устанавливается в данном случае под влиянием взаимодействия трех сред: жидкости I, жидкости II и воздуха III. Эти среды имеют общую границу – окружность, ограничивающую каплю и пересекающую плоскость чертежа в двух точках: A и B. По этой окружности пересекаются между собой три поверхности: поверхность, разграничивающая жидкость II и воздух, с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma_{23}$ ; поверхность, разграничивающая жидкость I и воздух, с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma_{13}$ ; поверхность, разграничивающая жидкости I и II, с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma_{12}$ .



I – жидкость I; 2 – жидкость II; 3 – газ

Рисунок 1 – Капля не смачивающей жидкости на поверхности другой жидкости

На каждую единицу длины пограничной окружности будут действовать три силы поверхностного натяжения:  $\vec{f}_{23}$ ,  $\vec{f}_{13}$ ,  $\vec{f}_{12}$ , численно равные соответственно значениям  $\vec{\sigma}_{23}$ ,  $\vec{\sigma}_{13}$ ,  $\vec{\sigma}_{12}$ . Эти силы будут направлены по касательным к соответствующим поверхностям раздела. Если  $f_{13}$  и  $f_{12}$  стремятся стянуть каплю, то  $f_{23}$  ее растягивает. В случае, когда можно пренебречь силой тяжести по сравнению с силами поверхностного натяжения, равновесной будет та форма капли, при которой:

$$\vec{f}_{12} + \vec{f}_{13} + \vec{f}_{23} = 0.$$

В проекции на горизонтальную ось OX:

$$f_{23} = f_{13} \cos \phi_{13} + f_{12} \cos \phi_{12}.$$

Отсюда следует, что в случае равновесия  $f_{23} < f_{13} + f_{12}$ , т.е.  $\sigma_{23} < \sigma_{13} + \sigma_{12}$ , так как  $\cos \phi_{13}$  и  $\cos \phi_{12}$  меньше единицы.

Если же  $f_{23} > f_{13} + f_{12}$ , т.е.  $\sigma_{23} > \sigma_{13} + \sigma_{12}$ , то равновесие капли жидкости I на поверхности жидкости II невозможно, и поэтому капля растекается по поверхности в виде тонкой пленки (например, капля касторового масла на поверхности воды).

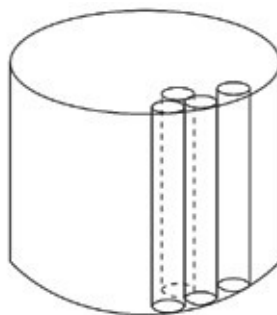


Рисунок .2 – Молекулы касторового масла в жидкости

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.



Многочисленные опыты, в частности эксперименты *Ленгмюра*, *Дево*, *Релея* и других, привели к выводу, что если площадь поверхности воды достаточно велика, то капля масла (например, касторового) или жирных кислот соответствующего объема растекается в очень тонкий мономолекулярный слой. Произведенные вычисления показали, что площадь  $S_M$ , занимаемая каждой молекулой, очень мала. Для жирных кислот  $S_M = 21 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ .

Молекулу масла или жирных кислот можно рассматривать как образование, сильно вытянутое в длину, нечто вроде *Место для формулы*. удлинненного эллипсоида или цилиндра. Расположение таких молекул на поверхности воды показано на рисунке 15.2.

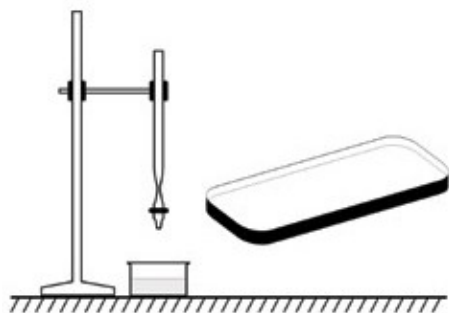


Рисунок 3 – Схема установки для определения размеров молекул касторового масла

В данной работе для определения размеров молекул касторового масла используется метод, предложенный *Ленгмюром* и *Дево*. Для измерений используется бюретка, укрепленная на штативе, и кювета  $40 \times 40 \text{ см}^2$  (рисунок 3).

Если капля касторового масла попадает на поверхность воды, то она, растекаясь, образует на поверхности воды мономолекулярную пленку (при достаточной для этого поверхности). Если поверхность воды посыпать предварительно слоем пробковых опилок или талька, или же закрасить воду раствором марганцовокислого калия, то на ней образуется ясно видимое круглое пятно диаметром

$D$ . Это дает возможность по диаметру круга приблизительно рассчитать площадь поперечного сечения одной молекулы касторового масла.

Если в капле содержится  $n$  молекул касторового масла с поперечным сечением  $S_M$ , то:

$$S_M \cdot n = S, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь полученного круга. Следовательно:

$$S_M = \frac{S}{n} = \frac{\pi D^2}{4n}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр пятна.

Число молекул в капле находится по известной массе касторового масла  $m$ , содержащегося в капле, и молярной массе  $M$ :

$$n = \frac{m}{M} N_A \quad (.3)$$

где  $N_A$  – число *Авогадро*.

Тогда:

$$S_M = \frac{\pi D^2 M}{4 m N_A} \quad (4)$$

Длина  $h$  молекулы касторового масла оценивается из следующих соображений:

$$h = \frac{V}{S}, \quad (5)$$

где  $V$  – объем мономолекулярного слоя:

$$m = \frac{m}{\rho}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность касторового масла.

Из формул (4)–(6):

$$h = \frac{4m}{\rho \pi D^2}. \quad (7)$$

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Наполните кювету водой и посыпьте успокоившуюся поверхность пробковым порошком или тальком, можно закрасить раствором марганцовокислого калия.
2. Наполните бюретку небольшим количеством касторового масла.
3. С высоты 2–3 мм капните одну каплю раствора в середину поверхности воды в кювете.
4. Когда капля перестанет растекаться, линейкой измерьте и запишите значения двух взаимно перпендикулярных диаметров образовавшегося круга.
5. Пп. 3–4 повторите 5 раз, тщательно промывая кювету раствором пищевой соды после каждого опыта. Найдите среднее значение диаметра круга.
6. Взвешиванием на аналитических весах найдите массу бюкса  $m_1$ .
7. Накапав в него 50 капель касторового масла из той же бюретки, найдите массу бюкса с маслом  $m_2$ . Взвешивание необходимо производить с точностью до десятых долей мг.
8. Вычислите массу капли касторового масла:

$$M = \frac{m_2 - m_1}{50} \quad (7)$$

9. Вычислите молярную массу  $M$  касторового масла, если его химическая формула  $C_{55}O_8H_{106}$ .
10. По формуле (4) вычислите площадь  $S_M$  мономолекулярного слоя масла.
11. По формуле (7) вычислите длину молекулы  $h$ , принимая  $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$ .
12. Считая,  $S_M = \pi \sigma^2 / 4$  вычислите эффективный диаметр молекулы.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

#### 1. Тема и ее актуальность:

##### №11 «Определение коэффициента объемного расширения жидкостей»

Тепловое расширение жидкостей характеризуется коэффициентом объемного расширения, т.е.

относительным увеличением объема  $\Delta V/V$  при нагревании жидкости на один градус:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}. \quad (1)$$

## **2. Цель занятия,** обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Как объяснить с точки зрения молекулярно-кинетической теории тепловое расширение тел?
2. В каких единицах измеряется  $\beta$ ?
3. Выведите строгую формулу зависимости линейных размеров от температуры путем интегрирования уравнения (1).

## **4. Вид занятия:** лабораторное занятие

## **5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Пикнометр, весы аналитические, нагревательный элемент, линейка, исследуемая жидкость (глицерин), пипетка.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

## **7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

### **7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Изотермическим называется процесс:
  - а) происходящий при постоянном давлении
  - б) происходящий при постоянной температуре +
  - в) происходящий при постоянном объеме

2. От чего зависит внутренняя энергия заданной массы  $m$  идеального газа:
- а) только от формы сосуда
  - б) только от давления
  - в) только от температуры +
3. Какая характеристика процесса изменения внутренней энергии вам известна:
- а) количество вещества
  - б) температура
  - в) количество теплоты +
4. Назовите термодинамическую систему, в которой возможен обмен веществ и энергии с окружающей средой:
- а) открытая +
  - б) закрытая
  - в) статическая
5. Взято по одному моллю гелия, неона и аргона при одинаковой температуре. Внутренняя энергия самая большая у этого газа:
- а) у аргона
  - б) у всех газов одинакова +
  - в) у гелия и неона

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

В первом приближении объем жидкости при нагревании возрастает пропорционально температуре:

$$V = V_0(1 + \beta t), \quad (2)$$

где  $V_0$  – объем жидкости при  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V$  – объем при температуре  $t\text{ }^\circ\text{C}$ .

Вообще говоря, коэффициент объемного расширения жидкости может быть определен тремя методами:

- а) из формулы (16.1), непосредственно измеряя увеличение объема жидкости при повышении температуры;
- б) методом сообщающихся сосудов;
- в) методом определения плотности при различных температурах.

Целью данной работы является определение коэффициента объемного расширения жидкости методом непосредственного измерения увеличения объема жидкости при повышении температуры и методом сообщающихся сосудов.

При определении коэффициента объемного расширения жидкости необходимо учитывать то обстоятельство, что при нагревании какой-либо жидкости в сосуде мы наблюдаем не истинное ее расширение, а только кажущееся, так как кроме жидкости расширяется и сам сосуд, в котором находится данная жидкость. Поэтому, чтобы определить истинный коэффициент расширения жидкости, необходимо знать увеличение объема сосуда.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

В первом упражнении коэффициент объемного расширения жидкости определяется методом определения плотности жидкости при разных температурах с помощью пикнометра.

Пусть  $V_0$  – объем пикнометра при  $0\text{ }^\circ\text{C}$  и  $\beta$  – коэффициент объемного расширения стекла. Тогда объем пикнометра при температурах  $t_1\text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_2\text{ }^\circ\text{C}$  соответственно будет:

$$V_1 = V_0(1 + \beta t_1), \quad (.3)$$

и

$$V_2 = V_0(1 + \beta_1 t_1). \quad (4)$$

Если в пикнометр налить исследуемую жидкость при температуре  $t_1$  °С, массы  $m$ , то ее плотность при этой температуре выразится формулой:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} = \frac{m_1}{V_0(1 + \beta_1 t_1)}. \quad (5)$$

При нагревании до температуры  $t_2$  часть жидкости из пикнометра выльется, и масса ее станет  $m_2$ . Плотность жидкости при этой температуре будет равной:

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} = \frac{m_2}{V_0(1 + \beta_1 t_2)}, \quad (6)$$

с другой стороны, зависимость плотности жидкости от температуры определяется формулой:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta t}, \quad (7)$$

где  $\beta$  – коэффициент объемного расширения жидкости. Поэтому плотности жидкости при температуре  $t_1$  °С и  $t_2$  °С будут равны:

$$\rho_1 = \frac{\rho_0}{1 + \beta t_1}, \quad (8)$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_0}{1 + \beta t_2} \quad (9)$$

Сравнивая (5) и (8), (6) и (9), получаем:

$$\frac{m_1}{V_0(1 + \beta_1 t_1)} = \frac{\rho_0}{1 + \beta_1 t_1} \quad (10)$$

$$\frac{m_2}{V_0(1 + \beta_2 t_2)} = \frac{\rho_0}{1 + \beta_1 t_2} \quad (11)$$

Решая совместно уравнения (10) и (11) относительно  $\beta_1$ , получаем формулу для расчета коэффициента объемного расширения жидкости:

$$\beta = \frac{m_1(1 + \beta_1 t_2) - m_2(1 + \beta_1 t_1)}{m_2 t_2(1 + \beta_1 t_1) - m_1 t_1(1 + \beta_1 t_2)}. \quad (12)$$

Во втором упражнении для определения коэффициента объемного расширения используется метод сообщающихся сосудов, который был разработан *Дюлонгом* и *Пти* и впервые применен для точного определения коэффициента расширения ртути. Этот метод позволяет не учитывать расширение сосуда.

Из гидростатики известно, что высоты столбов разнородных несмешивающихся жидкостей в сообщающихся сосудах обратно пропорциональны плотностям жидкостей

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (13)$$

Пусть сообщающиеся сосуды наполнены исследуемой жидкостью (рисунок 1). Если жидкость в левом колене поддерживается при температуре  $t_1$ , а в правом – при температуре  $t_2$ , то согласно формулам (8) и (9), плотность жидкости в левом и правом коленях будет различна. Поэтому жидкость в сообщающихся сосудах установится на разной высоте. Подставляя значение  $\rho_1$  и  $\rho_2$  из формул (8) и (9) в соотношение (13), получим соотношение между температурами и высотами жидкости в сообщающихся сосудах:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1 + \beta t_1}{1 + \beta t_2}. \quad (14)$$

Решая соотношение (14) относительно  $\beta$ , получим:

$$\beta = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1}. \quad (15)$$

Прибор для определения коэффициента объемного расширения жидкости (рисунок 16.1) представляет собой сообщающиеся сосуды, оба колена которых заключены в широкие стеклянные цилиндры. По одному из них пропускается вода, по другому – пар. В цилиндры введены термометры для измерения температуры жидкости в коленах. В верхней части прибора укреплена шкала для измерения разности высот жидкости в коленах сообщающихся сосудов.

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

*Упражнение 1. Определение коэффициента объемного расширения жидкости с помощью пикнометра*

1. При помощи аналитических весов определите массу пустого, предварительно высушенного пикнометра  $m$ .
2. Налейте в пикнометр исследуемую жидкость (глицерин) и определите массу пикнометра с жидкостью  $m_0$ . Разность  $m_0 - m = m_1$  даст массу жидкости в пикнометре.

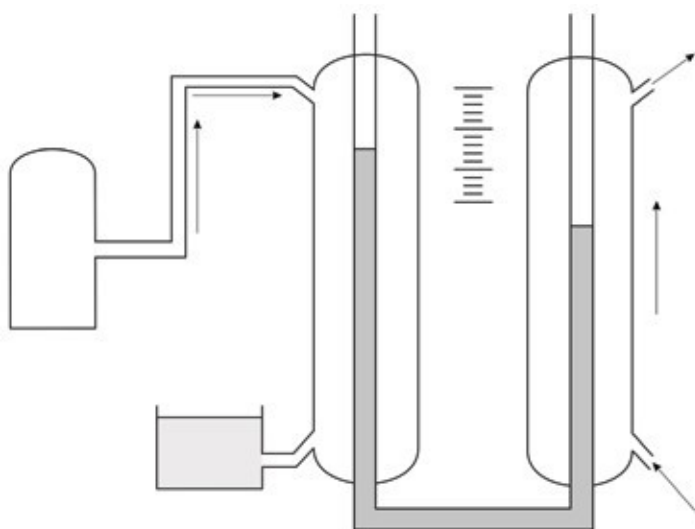


Рисунок 1 – Прибор для определения объемного расширения жидкости методом сообщающихся сосудов

3. Определите температуру налитой в пикнометр жидкости  $t_1$  °С.
4. Опустите пикнометр в сосуд с жидкостью и нагрейте до 50–60 °С. При помощи термометра определите температуру нагретой жидкости  $t_2$  °С.
5. С помощью фильтровальной бумаги или пипетки из пикнометра отберите столько жидкости, чтобы уровень жидкости находился на прежней метке. После этого пикнометр снова взвесьте и определите массу жидкости  $m_2$ .
6. Определите коэффициент объемного расширения жидкости по формуле 12. Коэффициент объемного расширения стекла примите равным  $\beta_1 = 0,000025 \text{ K}^{-1}$ .
7. Опыт проделайте не менее пяти раз. Определите среднее значение коэффициента объемного расширения жидкости из пяти измерений. Вычислите абсолютную и относительную погрешности измерения.

*Упражнение 2. Определение коэффициента объемного расширения жидкости методом сообщающихся сосудов*

1. Наполните сообщающиеся сосуды исследуемой жидкостью и установите термометры в цилиндрах.
2. Пропустите по одному из цилиндров проточную воду, а по другому – пар. Когда жидкость в коленах примет температуру воды и пара, разность уровней жидкости в коленах перестанет изменяться. Не выключая нагревательного элемента, произведите измерения разности высот  $h_2 - h_1$  по шкале прибора миллиметровой линейкой. По термометрам определите температуру жидкости в коленах сообщающихся сосудов  $t_1$  °С и  $t_2$  °С. Определите коэффициент объемного расширения по формуле 15.
3. Определите относительную погрешность измерений по формуле:

$$\frac{\Delta \beta}{\beta} = \frac{2 \Delta h}{h_2 - h_1} + \frac{2 \Delta t}{t_2 - t_1}$$

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## **1. Тема и ее актуальность:**

### **№12 «Изучение зависимости коэффициента вязкости жидкости от температуры»**

По своим свойствам жидкости сходны как с газами, так и с твердыми телами. Подобно газам, жидкости принимают форму сосуда, в котором они находятся. Подобно твердым телам, они обладают сравнительно большой плотностью, с трудом поддаются сжатию.

## **2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными**

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь**:

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. В чем особенность теплового движения частиц жидкости?
2. В чем состоит дырочная теория строения жидкости?
3. Почему вязкость жидкостей с ростом температуры падает, а вязкость газов растет?
4. Как изменяется вязкость жидкости и пара при приближении к критической точке?

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Вискозиметр *Геплера* с водой, термометр, секундомер, термостат.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Как называются специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного пара:

- а) аккумуляторы
- б) ингибиторы
- в) конденсаторы +

2. Процесс в теплоизолированной системе называют:

- а) изобарный
- б) адиабатный +
- в) изотермический

3. При каком термодинамическом процессе давление газа постоянно:

- а) изохорном
- б) изотемпературном
- в) изобарном +

4. При изохорном нагревании одного моля идеального газа на 20 К, совершается такая работа (Дж):

- а) 4,05
- б) при изохорном процессе работа не совершается
- в) 16,05

5. Температура кристаллического тела с момента начала плавления до его окончания изменяется таким образом:

- а) не изменяется +
- б) в начале плавления понижается, затем повышается
- в) постепенно повышается

6. Поглощается или выделяется энергия, когда вода превращается в лед при постоянной температуре 0°C.:

- а) поглощается
- б) не поглощается и не выделяется
- в) выделяется +

**7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.**



Двойственный характер свойств жидкостей связан с особенностями движения их молекул. В газах молекулы движутся хаотично, в их расположении отсутствует порядок. В кристаллических твердых телах частицы колеблются около определенных положений равновесия – узлов кристаллической решетки. В жидкостях, как и в кристаллах, каждая молекула находится в потенциальной яме электрического поля, создаваемого окружающими молекулами. Молекулы колеблются со средней частотой, близкой к частоте колебаний атомов в кристаллических телах ( $10^{12}$  Гц), и с амплитудой, определяемой размерами объема, предоставленного им соседними молекулами. Глубина потенциальной ямы в жидкостях больше средней кинетической энергии колеблющейся молекулы, поэтому молекулы колеблются вокруг более или менее стабильных положений равновесия. Однако у жидкостей различие между этими двумя энергиями не велико, так что молекулы нередко выскакивают из своей потенциальной ямы и занимают место в соседней.

В отличие от твердых тел жидкости обладают «рыхлой» структурой. В них имеются свободные места – «дырки», благодаря чему молекулы могут перемещаться, покидая свое место и занимая одну из соседних дырок. Таким образом, молекулы медленно перемещаются внутри жидкости, пребывая часть времени около определенных мест равновесия и образуя картину меняющейся со временем пространственной решетки. Принято говорить, что в жидкости присутствует ближний порядок, т.е. расположение молекул упорядочено в небольших объемах.

Для того чтобы перейти в новое состояние, молекула должна преодолеть участки с большей потенциальной энергией, превышающей среднюю тепловую энергию молекул. Для этого тепловая энергия молекул должна вследствие флуктуаций увеличиться на некоторую величину  $W$ , называемую энергией активации. О таком переходе говорят как о переходе через потенциальный барьер высотой  $W$ , который происходит благодаря случайному повышению энергии теплового движения отдельных молекул за счет передачи им этой энергии другими молекулами. Вследствие этого переходы молекул из одного положения равновесия в другое происходят сравнительно редко и тем реже, чем больше энергия активации. Отмеченный характер движения молекул объясняет достаточно медленную диффузию и большую вязкость в жидкостях, по сравнению с газами.

Среднее время  $\tau$  «оседлого» существования молекул (среднее время между двумя последовательными «скачками») зависит от температуры и называется временем релаксации. С повышением температуры  $\tau$  чрезвычайно быстро уменьшается, что обуславливает большую подвижность молекул жидкости при высоких температурах и малую вязкость. Действительно *Френкель* показал, что температурная зависимость вязкости жидкости должна выражаться формулой:

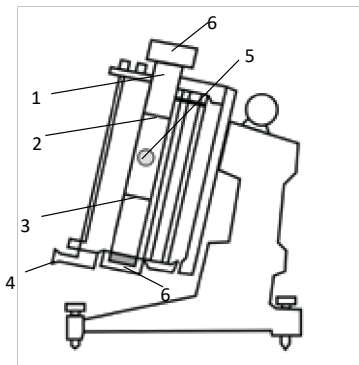
$$\eta = A \exp(W/kT), \quad (1)$$

где  $k$  – постоянная *Больцмана*.

Из формулы следует, что вязкость жидкости при повышении температуры должна резко уменьшаться. Если отложить на графике логарифм вязкости по оси ординат,  $1/T$  по оси абсцисс, то согласно (1) должна получиться прямая линия, по угловому коэффициенту которой можно определить энергию активации молекул  $W$  исследуемой жидкости.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Для исследования температурной зависимости вязкости жидкости используется метод *Стокса*, основанный на измерении скорости свободного падения шарика в жидкости. Известна модификация метода *Стокса*, предложенная *Генплером*, которая представляет собой вискозиметр с наклонным скольжением шарика (рисунок 1).



1 – трубка; 2, 3 – метки на трубке; 4 – штуцеры; 5 – шарик; 6 – крышки

1 Рисунок 1 – Вискозиметр Геплера

Наклон трубки и расстояние между метками являются фиксированными. Благодаря наклону шарик падает вдоль стенки трубки. Измеряют время падения шарика в исследуемой жидкости. По измеренному времени  $t$ , плотностям шарика  $\rho$  и испытуемой жидкости  $\rho_{ж}$ , постоянной прибора  $k$  определяют вязкость испытуемой жидкости по формуле:

$$\eta = k(\rho - \rho_{ж})t . \quad (2)$$

Обозначив  $K = k(\rho - \rho_{ж})$ , получим, что:

$$\eta = Kt. \quad (3)$$

Иная формула, представляющая коэффициент вязкости, была предложена *Бачинским*. Коэффициент вязкости определяется, прежде всего, силами межмолекулярного взаимодействия. Силы взаимодействия зависят от среднего расстояния между молекулами, а среднее расстояние определяется молярным объемом вещества  $V_M$ .

Многочисленные эксперименты показали, что между молярным объемом и коэффициентом вязкости существует соотношение:

$$\eta = \frac{c}{V_M - b} , \quad (4)$$

где  $c$  и  $b$  – константы. Эмпирическое выражение (17.4) называется формулой *Бачинского*.

Согласно уравнению (4) график зависимости текучести  $1/\eta$  от молярного объема должен быть линейным. Отрезок, отсекаемый линией на оси абсцисс, равен  $b$ . Надо отметить, что  $b$  приблизительно равно константе *Ван-дер-Ваальса*.

Целью работы является определение температурной зависимости вязкости жидкости, определение энергии активации жидкости, проверка экспериментального закона *Бачинского* с помощью вискозиметра *Геплера*.

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. В трубку вискозиметра *Геплера* поместите шарик и заполните ее испытуемой жидкостью. Концы трубки закройте навинчивающимися крышками.
2. С помощью фиксатора установите вискозиметр под определенным углом. Уровнем зафиксируйте это положение.
3. С помощью штуцеров подсоедините стеклянную рубашку к термостату и заполните термостатируемой жидкостью.
4. Отметьте температуру по термометру, который находится в термостате.
5. Поверните вискозиметр вокруг шарнира на  $180^\circ$ . В результате проделанного действия шарик, находящийся внутри вискозиметра, поднимется в верхнее положение. После чего возвратите вискозиметр в исходное положение. Шарик начнет медленно скатываться вдоль стенки трубки. В момент соприкосновения нижнего края шарика с меткой, включите секундомер.

Выключите секундомер в момент времени, когда шарик займет такое же положение относительно метки.

6. Повторите п. 5 несколько раз.
7. Подставляя среднее значение времени  $t$  падения шарика в формулу (3), определите вязкость испытуемой жидкости. При этом  $K$  вычислите из формулы (3), зная  $t$  падения шарика и вязкость жидкости  $\eta = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  для  $20^\circ \text{C}$ .
8. Поворотом на  $90^\circ$  поместите прибор в горизонтальное положение и включите встроенный в термостат нагреватель.
9. Через  $6-8^\circ \text{C}$  выключите нагреватель. Выждите  $1-2$  мин до установления в трубке 1 новой температуры.
10. Повторить п.п. 4-5 раз.
11. Проведите измерения  $T$  в интервале  $20-50^\circ \text{C}$  через  $6-8^\circ \text{C}$ .
12. Вычислите вязкость жидкости при различных температурах.
13. Постройте график зависимости  $\ln \eta$  от  $1/T$ . По тангенсу угла наклона прямой найдите значение энергии активации  $W$ .
14. Постройте график зависимости вязкости жидкости от температуры.
15. Постройте график зависимости текучести  $l/\eta$  от молярного объема  $V_M$  испытуемой жидкости (проверка экспериментальной формулы *Бачинского*). Удельный объем определите с помощью таблицы 1.

Таблица 1. – Температурная зависимость удельного объема воды

T, °C	V, см³/г	T, °C	V, см³/г	T, °C	V, см³/г
10	1,00027	17	1,00120	24	1,00269
11	1,00037	18	1,00138	25	1,00300
12	1,00048	19	1,00157	26	1,00430
13	1,00060	20	1,00177	27	1,00600
14	1,00073	21	1,00198	28	1,00790
15	1,00095	22	1,00220	29	1,00990
16	1,00103	23	1,00243	30	1,01200

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## 1. Тема и ее актуальность:

### №13 «Определение вязкости жидкости медицинским вискозиметром и методом Стокса»

Определение вязкости крови во взаимосвязи с рядом других анализов крови имеет большое значение для оценки состояния больного и для постановки правильного диагноза по ряду болезней.

2. **Цель занятия:** изучение основных физических принципов, положенных в основу

гидродинамики.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
  - основы применения физических факторов для диагностики;
- природу вязкости жидкостей;
- смысл коэффициента вязкости;
  - физическую основу измерений коэффициента вязкости

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1;
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

### 3. **Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

- 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
- 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.

4. **Вид занятия:** лабораторное занятие

5. **Продолжительность занятия:** 3 ч.

6. **Оснащение:**

- 6.1. Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.
- 6.2. ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.
- 6.3. Медицинский вискозиметр, спирт, заменитель крови, дистиллированная вода, глицерин с мерной колбой, микрометр, стальные шарики.

7. **Содержание занятия:**

7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

- 1) Физический смысл коэффициента вязкости жидкости есть
  - а) сила трения, отнесенная к единице площади слоя;
  - б) межмолекулярное взаимодействие;
  - в) передача импульса движения соседнему слою;
  - г) деформация молекул;
  - д) градиент скорости.
- 2) Метод Стокса - измерение вязкости крови имеет недостатки?
  - а) плохая точность измерения; б) сложность измерения и расчета;
  - в) большой объем крови; г) зависимость вязкости от температуры;

д) применим для ньютоновских жидкостей (кровь неньютоновская жидкость).

3) Формула Пуазейля для трубы переменного сечения.

$$Q = \frac{\pi r^2 dp}{8\eta dl} \quad ; \quad \text{б) } Q = \frac{\pi r^4 dp}{8\eta dl} \quad ; \quad \text{в) } Q = \frac{\pi r dp}{8\eta dl} \quad ; \quad \text{г) } Q = \frac{8\eta dp}{\pi r^2 dl} .$$

4) Какие условия должны выполняться при измерении вязкости методом Гесса?

а) диаметры капилляров равны, скорости и время прохождения жидкостей по капиллярам равны;

б) длины капилляров и время продвижения жидкостей по ним равны;

в) градиенты давлений в капиллярах равны;

г) жидкости должны быть ньютоновскими.

5) Какие силы действуют между молекулами?

а) магнитные; б) электромагнитные; в) электрические; г) Ван-дер-Ваальса;

д) сила тяжести; е) Архимедова сила; ж) сила Стокса.

7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:

1. Какова природа сил взаимодействия молекул.

2. Какое течение жидкости называют ламинарным, турбулентным?

3. Что такое гидравлическое сопротивление?

4. Что называется нормальной и аномальной вязкостью жидкости? Какова природа неньютоновских жидкостей?

5. Какова связь между подвижностью молекул, их средним временем оседлой жизни, т.е. временем релаксации и вязкостью жидкости?

6. К каким жидкостям относится кровь?

7. Что называется удельной вязкостью раствора?

8. Что называется характеристической вязкостью раствора?

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

1) Быстроту изменения скорости тела на единицу длины по выбранному направлению называют:

а) производной; б) нормальным ускорением; в) градиентом скорости; г) изменением положения тела.

2) Какая из формул, приведённых ниже, определяет число Рейнольдса ( $\rho$  и  $v$  – соответственно плотность и скорость течения жидкости,  $\eta$ - динамическая вязкость,  $d$ - характерный линейный размер).

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad ; \quad \text{б) } Re = \frac{\eta}{\rho v d} \quad ; \quad \text{в) } Re = \frac{\rho d \eta}{v} \quad ; \quad \text{г) } Re = \frac{v d \eta}{\rho} .$$

3) Сила внутреннего трения, действующая между слоями жидкости ( $\eta$ - динамическая вязкость,  $S$ - площадь элемента поверхности,  $dv/dx$ - градиент скорости):

$$F_{\infty} = -\eta \frac{dx}{dv} S \quad ; \quad \text{б) } F_{\infty} = \frac{dv}{dx} S \quad ; \quad \text{в) } F_{\infty} = \eta^2 \frac{dv}{dx} S \quad ; \quad \text{г) } F_{\infty} = \eta \frac{dv}{dx} S^2 .$$

4) Граница применимости закона Гагена-Пуазейля:

а) ламинарное течение; б) гомогенная жидкость; в) прямые трубки тока; г) удалённое расстояние от входов, изгибов, сужений; д) турбулентное течение.

5) Течение жидкости называется ламинарным, если:

а) вдоль потока происходит интенсивное вихреобразование и перемешивание жидкости;

- б) вдоль потока каждый выделенный слой скользит относительно других, не перемешиваясь с ними;
- в) жидкость оказывает сопротивление перемещению одной части жидкости относительно других;
- г) нет правильного ответа.
- 6) Укажите единицу СИ динамической вязкости:
- а) Па; б) Па·с; в) м/с; г) м<sup>2</sup>/с.
- 7) Ньютоновской называется жидкость, вязкость которой зависит:
- а) от градиента скорости; б) давления; в) давления и градиента скорости; г) только от её природы и температуры.
- 8) Для сферического тела зависимость силы сопротивления при его движении в жидкости выражается формулой Стокса:
- а)  $F = 6 \pi \eta v$ ; б)  $F = 6 \pi \eta v^2$ ; в)  $F = 6 \pi \eta^2 v$ ; г)  $F = 6 \pi \eta r v$ .
- 9) Гидравлическое сопротивление жидкости:
- а) обратно пропорционально радиусу трубы; б) обратно пропорционально квадрату радиуса трубы; в) обратно пропорционально радиусу трубы в четвёртой степени; г) прямо пропорционально радиусу трубы;
- Решить задачи: [5] № 2.132, 2.134, 2.136, 2.141-2.146, 2.152, 2.153, 2.159, 2.17

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий, ситуационные задачи.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## 1. Тема и ее актуальность:

### №14 «Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости»

Метод капель нашел широкое применение в химической, биологической и медицинской практике. В фармацевтической химии, при изучении лекарственных веществ, удовлетворяются упрощенным вариантом подсчёта числа капель эталонной и испытуемой жидкостей в одинаковых объемах и вычисляют коэффициент поверхностного натяжения

## 2. Цель занятия:

1. Усвоить сущность методов определения поверхностного натяжения.
2. Научиться определять коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости методом подсчёта числа капель.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

### **владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1;
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## 3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы

Вопросы для самоподготовки:

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.
10. Почему мы хотим пить после приема соленой пищи? Почему от сладкой пищи чувство жажды гораздо меньше?

4. **Вид занятия:** лабораторное занятие

5. **Продолжительность занятия:** 3 ч.

6. **Оснащение:**

6.1 **Дидактический материал:** кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.4 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

6.5 Бюретки, дистиллированная вода, спирт в разных концентрациях.

**7. Содержание занятия:**

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

№ 1. Высота уровня смачивающей жидкости в капилляре диаметром  $d$  равна:

- $h = \sigma / (2\rho g d)$
- $h = \sigma / (\rho g d)$
- $h = 2\sigma / (\rho g d)$
- $h = 4\sigma / (\rho g d)$
- $h = \sigma \rho / (2g d)$ .

№ 2. Способность жидкости сокращать свою поверхность называется:

- Анизотропия
- Изотропия
- Поверхностное натяжение
- Капиллярность
- Нет правильного ответа.

№ 3. Вычислите поверхностное натяжение ? масла, если вес капли, вытекающей из пипетки,  $P = 100$  мкН. Длина контура шейки пипетки  $l = 3,8$  мм.

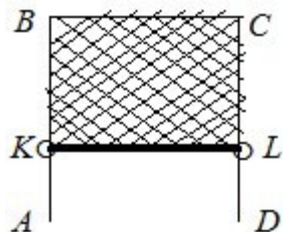
- $0,026$  Н/м
- $0,053$  Н/м
- $0,013$  Н/м
- $6,93$  Н/м
- $0,073$  Н/м.

№ 4. В одинаковых капиллярных трубках жидкости с разными поверхностными натяжениями ( $\sigma_2 = 2\sigma_1$ ) поднялись на разные высоты ( $h_1 = 4h_2$ ). Отношение плотности первой жидкости к плотности второй равно:

- 2

- 0,5
- 0,14
- 0,125
- 0,4

№ 5. Рамка ABCD с подвешенной медной перекладиной KL затянута мыльной плёнкой. Каким должен быть диаметр  $d$  перекладины KL, чтобы она находилась в равновесии? Поверхностное натяжение медного раствора  $\sigma = 0,045 \text{ Н/м}$ .



- $\approx 0,08 \text{ мм}$
- $\approx 0,008 \text{ мм}$
- $\approx 8 \text{ мм}$
- $\approx 80 \text{ мм}$
- $\approx 0,8 \text{ мм}$ .

**7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.**

**7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.**

**7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.**

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Задание 1. Заполнить бюретки подкрашенным спиртом и дистиллированной водой до нулевого деления.

Задание 2. Открыть кран и отсчитать в стаканчик по 100 капель спирта и воды, до и после слива отмерить уровень жидкостей. Измерение объема 100 капель жидкости производить 3 раза, каждый раз отсчитывая от нового уровня. Разность уровней до и после соответствует объему 100 капель жидкости.

Задание 3. Определить вес капель жидкости по формуле  $P_0 = \rho_0 V_0 g$ , где  $V_0$  – значение объема в ста капель жидкости,  $\rho$  - плотность жидкости,  $\rho_0$  спирта в зависимости от концентрации даны в таблице.

Задание 4. Коэффициент поверхностного натяжения  $\sigma_0$  дистиллированной воды выбирается из таблицы 1 в зависимости от температуры.

Задание 5. Вычислите коэффициент поверхностного натяжения спирта  $\sigma$ , используя формулу:

$$\sigma = \frac{m_0 V}{m_0 V_0}$$

Задание 6. Провести обработку измерений для коэффициента поверхностного натяжения.

**7.5. Контроль конечного уровня усвоения темы:**

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Решить задачи: [5] 2.146-2.150

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий, ситуационные задачи.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной



работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

## 1. Тема и ее актуальность:

### №15 «Определение среднего значения теплоты испарения воды»

Теплота парообразования складывается из двух частей. Первая часть – это теплота, которая тратится на работу расширения пара, образовавшегося из жидкости, внешняя теплота парообразования. Другая часть теплоты парообразования тратится на преодоление сил притяжения между молекулами жидкости. Эта часть называется внутренней теплотой парообразования.

## 2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь**:

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## 3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:

Вопросы для самоподготовки:

1. В чем состоит отличие реальных газов от идеальных?
2. Запишите уравнение состояния реального газа? Напишите уравнение *Ван-дер-Ваальса* для одного моля, для произвольной массы  $m$  газа.
3. Выведите поправки *Ван-дер-Ваальса*? Как они связаны с постоянными *Ван-дер-Ваальса*?
4. Нарисуйте систему изотерм *Ван-дер-Ваальса*. Что означает точка перегиба? На какой изотерме имеется эта точка?
5. Нарисуйте систему опытных изотерм для реального газа. Что означают участки кривых, параллельные оси абсцисс? На плоскости  $P, V$  укажите области газа, пара, жидкости и двойной фазы. Покажите на диаграмме точку, соответствующую критическому состоянию.
6. Что называется критическим состоянием вещества? У всех ли веществ имеется критическое состояние?

7. Что такое критическая температура, давление, объем?
8. Какой пар называется насыщенным? Укажите на диаграмме опытных изотерм в системе  $P, V$  области с насыщенным и ненасыщенным паром.
9. На что расходуется скрытая теплота парообразования? Как она зависит от величины давления? Чему она равна при критическом состоянии?

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Вискозиметр *Геплера* с водой, термометр, секундомер, термостат.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

**7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. При каком термодинамическом процессе объем газа не меняет:
  - а) изохорном +
  - б) изотермическом
  - в) изобарном
2. Как изменится внутренняя энергия идеального газа, если при адиабатном сжатии этого газа внешними силами совершена работа 100 Дж.:
  - а) уменьшилась на 100 Дж
  - б) увеличилась на 100 Дж +
  - в) увеличилась на 50 Дж
3. Переносом вещества сопровождается:
  - а) только конвекция +
  - б) только излучение
  - в) только теплопроводность
4. Какой по счету является следующий закон термодинамики: «количество энергии неизменно, она только переходит из одной формы в другую»:
  - а) 2
  - б) 1 +
  - в) 3
5. Как называется величина, отражающая количество теплоты, которое получает или отдает вещество массой 1 кг при изменении его температуры на 1 К:
  - а) теплообмен
  - б) теплоотдача
  - в) удельная теплоемкость +
6. Возможна ли передача энергии от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой путём совершения работы:
  - а) да
  - б) отчасти
  - в) нет +

**7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.**

Если над поверхностью жидкости существует только ее насыщающий пар, то при испарении 1 моля вещества внешняя теплота парообразования, очевидно, равна:

$$Q_1 = P(V_2 - V_1). \quad (1)$$

Здесь  $P$  – давление насыщающих паров, а  $V_1$  и  $V_2$  – молярные объемы жидкости и пара.

Другая часть теплоты парообразования тратится на преодоление сил притяжения между молекулами жидкости. Эта часть называется внутренней теплотой парообразования. Она равна разности внутренних энергий 1 моля жидкости и пара.

При изотермическом процессе испарения внутренняя теплота парообразования равна:

$$Q_2 = \frac{a}{V_1} - \frac{a}{V_2} \quad (2)$$

Здесь  $a$  – постоянная уравнения Ван-дер-Ваальса (для воды  $a = 0,545H \cdot м^{-4} \cdot моль^{-2}$ ). Полная теплота парообразования 1 моля газа:

$$Q = a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) + P(V_2 - V_1). \quad (3)$$

Для воды вдали от критической температуры  $V_1 \ll V_2$ . Так, для 100 °С, когда  $p = 10 Па^5$ ,  $V_1 = 1,8 \cdot 10^{-5} м^3 / моль$ , а  $V_2 = 3 \cdot 10^{-2} м^3 / моль$ .

В настоящей работе измерения производятся при температуре  $t < 100$  °С. В этом случае приближенное выражение для  $Q$  имеет вид:

$$Q \approx \frac{a}{V_1} + PV_2. \quad (4)$$

С ростом температуры  $Q$  убывает. Однако в небольшом температурном интервале  $\Delta T \ll T$  можно считать, что величина  $Q$  приблизительно постоянна.

Из второго начала термодинамики следует формула Клапейрона-Клаузиуса:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{1}{T} \cdot \frac{Q}{V_2 - V_1}, \quad (5)$$

дающая связь между величинами  $P$  и  $T$  для насыщающих паров жидкости. Учитывая, что в наших условиях  $V_2 \gg V_1$ , можно написать приближенно:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{1}{T} \cdot \frac{Q}{V_2} \quad (6)$$

Если температура системы далека от критической, т.е. плотность паров невелика, то для насыщающего пара можно воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$PV_2 = \frac{m}{M} RT. \quad (7)$$

Из уравнений (7) и (6) получим для 1 моля соотношение:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{1}{T} \cdot \frac{QP}{RT}. \quad (8)$$

Разделив переменные и решив это уравнение, получим:

$$\ln P = -\frac{Q}{RT} + C. \quad (9)$$

Здесь  $C$  – постоянная интегрирования.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

При решении уравнения (8) не учитывалась зависимость  $Q(T)$ . Это справедливо лишь для узкого

интервала температур  $\Delta T$ , для которого  $Q$  является средней величиной. В настоящей работе  $Q$  определяется в диапазоне от 20 °С до 50 °С. Таким образом,  $\Delta T/T < 0,1$ . Получаемое значение  $Q$  является средним для этого интервала температур. Из формулы (9) следует, что тангенс угла наклона графика  $\ln P = \phi(1/T)$  равен  $Q/R$ .

Определив этот тангенс, можно рассчитать молярную, а также удельную  $q = Q/M$  теплоты парообразования, если известна молярная масса жидкости  $M$ .

Основная часть установки – U-образный ртутный манометр (рисунок 1). Одно колено манометра соединено с резервуаром воды. Другое колено откачано. Манометр измеряет давление насыщающих паров воды в мм рт. ст. Резервуар с манометром помещен в сосуд с водой (рисунок 2), температуру которой можно менять.

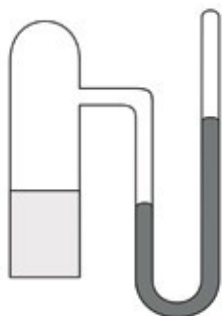


Рисунок.1 – U-образный

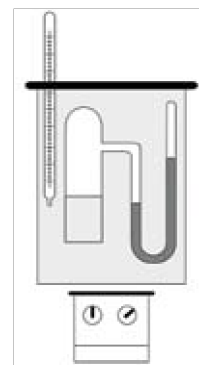


Рисунок .2 – Сосуд с водой, ртутный манометр манометр

Изменение температуры отмечается по термометру. Температура воды, окружающей прибор, не должна превышать 50 °С, так как манометр рассчитан на работу в определенных пределах температуры.

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Перед началом опыта убедитесь, что температура воды в резервуаре с прибором (рисунок 2) не превышает 20 °С–23 °С.

Если температура воды выше, ее надо охладить.

2. Включите нагрев. Через каждые 1 °С–2 °С измеряйте температуру и давление паров воды. Нагрев необходимо вести до температуры 50 °С.

3. Постройте график зависимости давления насыщенных паров воды от температуры  $P=f(T)$ .

4. Постройте график  $\ln P = \phi(1/T)$ .

5. Рассчитайте среднее значение удельной теплоты парообразования и молярной теплоты парообразования.

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

### 1. Тема и ее актуальность:

#### №16 «Изучение скорости роста кристаллов»

Зарождение и рост кристаллов из растворов и расплавов представляет собой сложный процесс

превращения жидкой фазы в твердую кристаллическую фазу. Кинетика кристаллизации включает в себя несколько этапов. Она начинается с образования пересыщенных растворов или расплавов, от условий получения которых в значительной степени зависит ход кристаллизации. В пересыщенных растворах образуются кристаллические зародыши, в результате роста которых получают осадки.

## **2. Цель занятия, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными**

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь**:

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое метастабильная область?
2. Какие условия необходимы для роста кристаллов?
3. Как растут кристаллы?
4. Чем объясняется большое переохлаждение некоторых веществ?
5. Правильно ли считать истинно твердыми лишь кристаллические тела?
6. Что такое переохлажденная жидкость?
7. Что такое кристалл? Какие тела называют монокристаллическими, какие – поликристаллическими?
8. Перечислите основные физические свойства кристаллических и аморфных тел.
9. Какие силы действуют на атомы внутри кристалла? Оцените расстояние между атомами.
10. Что такое жидкие кристаллы? Приведите примеры жидких кристаллов и объясните их структуру

## **4. Вид занятия: лабораторное занятие**

## **5. Продолжительность занятия: 3 ч.**

**6. Оснащение:** Термостат, поляризационный микроскоп, плоскопараллельная стеклянная термостатируемая кювета, секундомер, предметное стекло, салол, химический стакан (1 л), электроплитка.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

## 7. Содержание занятия:

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

### 7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

1. Процесс передачи энергии от одного тела к другому называется:
  - а) теплообмен +
  - б) конвекция
  - в) теплопродукция
2. Укажите авторов закона: Для газа данной массы при постоянной температуре произведение давления на объем постоянны:
  - а) Харди-Вайнберг
  - б) Бойль-Мариот +
  - в) Клайперон-Менделеев
3. Сумма кинетической энергии движения атомов и молекул тела и потенциальной энергии их взаимодействия называется:
  - а) 1 кг
  - б) 3 кг
  - в) 2 кг +
4. Максимальный КПД тепловой машины с температурой нагревателя  $227^{\circ}\text{C}$  температурой холодильника  $27^{\circ}\text{C}$  равен:
  - а) внутренняя энергия +
  - б) термодинамический процесс
  - в) энергия активации
5. Физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа, называется:
  - а) температура
  - б) стационарное равновесие
  - в) температура идеального газа +
6. Состояние, при котором в системе не происходит наблюдаемых макроскопических процессов, называется:
  - а) термодинамическим процессом
  - б) термодинамическим равновесием +
  - в) внутренней энергией системы

### 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

В настоящее время не вызывают сомнения представления о кластерном строении высококонцентрированных растворов и расплавов. На наличие кластеров атомов и (или) молекул непосредственно перед процессом объемной кристаллизации указывают многочисленные данные электронной микроскопии и ИК-спектры пересыщенных растворов и расплавов. Возникновение в растворе кластерной структуры некоторыми авторами классифицируется как размытый фазовый переход II рода, поскольку кластерная перестройка происходит в некотором концентрационном интервале.

Необходимо отметить, что до сих пор нет определенного мнения относительно того, имеют кластеры кристаллическую структуру или нет. Низкие значения относительной концентрационной восприимчивости, составляющие десятые и сотые доли энергии теплового движения молекул, свидетельствуют в пользу представления об их «жидкоподобном» (аморфизованном) характере и размытости границ.

Возникновение в растворе аморфизованных кластеров, предшествующее зарождению кристаллов в нем, указывает на то, что процесс зародышеобразования является как минимум двухбарьерным

по термодинамическому потенциалу. Имеется первый барьер, относительно невысокий, преодоление которого необходимо для возникновения кластеров, и сравнительно высокий (основной), необходимый для преобразования указанного кластера в устойчивый кристаллический зародыш.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Для быстрого роста кристаллов из расплава, например, при высоком исходном переохлаждении, или, напротив, для очень медленного роста в условиях высокого градиента температур в расплаве (растворе) перед фронтом кристаллизации характерен кластерный механизм роста по следующей схеме бикластерных реакций:



где  $K$  – источник кластеров;  $\alpha_m$  – одиночный кластер;

$2\alpha_m$  – элементарный кристалл, формирующийся при срастании двух кластеров;  $i\alpha_m$  – кристалл, образованный из  $i$ -кластеров.

В (1) при условии высокого пересыщения и концентрации кластеров больших, чем в равновесном растворе, обратные медленные реакции распада могут быть опущены. На самом деле, в метастабильной области наблюдается как образование, так и разрушение кластеров до тех пор, пока не образуются зародыши критического радиуса  $r$ , определяемого уравнением:

$$\ln \frac{C_r}{C_\infty} = \frac{2\sigma M}{RT\rho r}, \quad (2)$$

где  $C_r$  – растворимость при наличии в растворе кристаллов радиуса  $r$ ;

$C_\infty$  – растворимость при наличии в растворе крупных кристаллов;  $\sigma$  – удельная поверхностная энергия на границе раздела фаз;  $\rho$  – плотность твердой фазы;

$M$  – молярная масса;

$R$  – универсальная газовая постоянная.

В ряде случаев пересыщенные растворы и расплавы могут оставаться без изменений в течение того или иного промежутка времени. Насколько долго может продолжаться это состояние, зависит от степени отклонения раствора от состояния термодинамического равновесия, а также природы образующих веществ.

Значительное влияние на образование зародышей в растворах оказывает твердая фаза, присутствующая в системе. Влияние твердой фазы можно объяснить уменьшением работы образования зародыша при наличии готовой поверхности раздела фаз, а также процессом физической адсорбции компонентов раствора, в результате чего повышается местная концентрация, а вместе с тем возрастает статистическая вероятность создания стабильных группировок. Кроме того, на образование зародышей влияет действие электрических полей. Действие электрического поля способствует образованию зародышей в пересыщенных растворах. Значительно облегчает зародышеобразование ультразвук. Действие ультразвука сводится к уменьшению энергии активации диффузии за счет передачи энергии упругих волн. Влияние ионизирующего излучения на фазовые переходы первого рода, напротив, приводит к расширению метастабильной области пересыщенных растворов и расплавов, вследствие уменьшения вероятности появления кластеров в облучаемых растворах, и появления в них первичных продуктов радиолиза.

После возникновения в пересыщенном растворе устойчивых зародышей начинается их рост. Этот процесс характеризуется линейной скоростью кристаллизации, зависящей от многих факторов (переохлаждения, относительной скорости движения раствора и кристалла, температуры и др.).

Теория роста совершенных кристаллов, основанная на механизме зарождения двумерных зародышей, была разработана в работах *Фольмера*, *Странского*, *Кашиева* и др. Однако эта теория не в состоянии объяснить экспериментально наблюдаемые скорости роста. Для объяснения роста кристаллов из паров и растворов при низких пересыщениях предложена теория слоисто-спирального роста кристаллов.

В некоторых работах в качестве фактора, лимитирующего процесс роста, предполагается поверхностная диффузия, а в работах *Чернова* утверждается, что перенос вещества к кристаллу осуществляется за счет объемной диффузии в тонком перемешиваемом пограничном слое раствора.

При присоединении атомов к поверхности кристалла выделяется тепловая энергия. Выделение ее на поверхности кристалла и у ступеней роста вызывает неоднородное температурное поле. Поэтому интенсивность отвода выделившейся энергии посредством процесса теплопроводности должна так же, как и диффузионный перенос, влиять на рост кристаллов.

Следует отметить, что ни одна из теорий роста кристаллов не может считаться исчерпывающей для понимания всех особенностей этого процесса, т.к. невозможно четко разграничить этап зародышеобразования и непосредственный рост кристаллов.

Исследования по кинетике роста кристаллов из расплава имеют целью установить связь между скоростью роста и переохлаждением на фронте кристаллизации. К сожалению, установление этой связи часто оказывается сложным делом из-за трудности определения температуры на фронте кристаллизации. Во многих экспериментальных ситуациях скорость роста кристалла лимитируется не процессами на фазовой границе, а скоростью, с которой скрытая теплота превращения отводится от фронта кристаллизации. В этих условиях для изучения кинетики процессов на фазовой границе необходимы прямые измерения переохлаждения на границе разности температур, которая может быть очень малой по сравнению с другими перепадами температур в системе.

Одной из замечательных особенностей процесса кристаллизации из расплава является различие в поведении металлов и неметаллов. Это различие определяется строением фазовой границы в атомном масштабе: у металлов эта граница шероховатая, у большинства неметаллов – гладкая. Критерием различия служит энтропия фазового превращения: она мала для шероховатых и велика для гладких поверхностей.

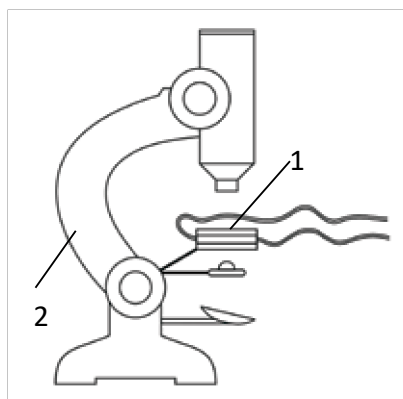
В группу веществ с наименьшей энтропией плавления входят все металлы; их выращивают из расплава. Наибольшей энтропией плавления обладают полимеры. Промежуточную группу составляет большинство органических и неорганических кристаллов; их выращивают из расплава или из раствора, а также из паровой фазы.

Известно, что чем больше энтропия плавления, тем больше переохлаждение на фронте кристаллизации и анизотропия роста кристаллов. На скорость роста существенно влияет также подвижность атомов, которую можно определить, измеряя вязкость расплава.

Целью данной лабораторной работы является изучение скорости роста кристаллов. В качестве объекта исследования используется салол ( $\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$ ).

Выбор вещества обусловлен тем, что салол имеет низкую температуру плавления (42 °С). Кроме того, салол принадлежит к широко распространенной группе веществ, не способных кристаллизоваться до внесения в них искусственным путем готовых кристаллических зародышей, т.е. может подвергаться большим переохлаждениям вплоть до стеклования.

Схема экспериментальной установки для изучения скорости роста кристаллов изображена на рисунке 1.





**Рисунок 1 – Установка для изучения скорости роста кристаллов салола**

Опыт проводится в плоских препаратах, в которых расплав салола помещается между плоскопараллельной кюветой с циркулирующей по ней термостатной жидкостью и покровным стеклом, приклеенным через прокладки ( $d = 25$  мкм) к стенке кюветы. Применение плоских препаратов, обеспечивающих хороший теплоотвод, дает возможность создавать условия протекания процесса кристаллизации, близкие к изотермическим. В качестве термостатирующей жидкости берется дистиллированная вода. Учитывая далее, что салол прозрачен в жидком и не прозрачен в кристаллическом состояниях, рост кристаллов можно наблюдать под микроскопом. Скорость роста измеряется с помощью шкалы микроскопа и секундомера во время наблюдения перемещения фазовой границы.

**7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.**

1. Изучите принцип действия термостата, микроскопа и контактного термометра по прилагаемым инструкциям.
2. Проведите наблюдения по образованию кристаллов салола. Для этого нанесите на поверхность стеклянной пластинки салол и расплавьте его над электроплиткой. Поместите стеклянную пластинку под микроскоп и наблюдайте образование и рост салола в темном и светлом полях микроскопа.
3. Подключите кювету к термостату.
4. Установите температуру на контактном термометре  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
5. Расплавьте салол.
6. Установите на контактном термометре указанную преподавателем температуру и включите охлаждение термостата.
7. Как только температура термостатируемой жидкости достигнет указанной отметки, внесите затравку салола в расплав.

*Примечание.* Для того чтобы внести затравку салола в расплав, необходимо коснуться иглой, заряженной салолом, в любой точке границы покровного стекла. В данном случае кристаллы начнут расти веером.

8. Совместите шкалу микроскопа с фазовой границей и включите секундомер.
9. Определите время, за которое грань растущего кристалла проходит  $n$  штрихов шкалы, вычислите скорость роста при данной температуре.
10. Проведите измерения скорости роста кристаллов салола для пяти различных температур.
11. Зафиксируйте фронт кристаллизации для каждой из температур.
12. Постройте график зависимости скорости роста от переохлаждения  $v = f(\Delta T)$ .

Подготовка к выполнению практических приёмов по теме занятия.

Материалы для контроля усвоения темы: набор тестовых заданий.

Место проведения самоподготовки: читальный зал, учебная комната для самостоятельной работы обучающихся, компьютерный класс.

Учебно-исследовательская работа обучающихся по данной теме (проводится в учебное время): работа с основной и дополнительной литературой.

**1. Тема и ее актуальность:**

**№17 «Определение коэффициента внутреннего трения и средней длины свободного пробега молекул воздуха»**

Возникновение сил внутреннего трения обусловлено тем, что молекулы быстрого слоя, попадая вследствие теплового движения в более медленный слой, переносят туда, некоторый импульс направленного движения и тем самым ускоряют его. В свою очередь молекулы медленного слоя, попадая в более быстрый слой, тормозят его. Согласно кинетической теории газов, коэффициент внутреннего трения связан с длиной свободного пробега молекул.

**Цель занятия**, обучение обучающихся навыкам работы с опытными данными

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать**:

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;
- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь**:

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

## **2. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Объясните явление внутреннего трения в идеальном газе с точки зрения молекулярно-кинетической теории.
2. Напишите закон *Ньютона* для внутреннего трения.
3. Дайте определения: средней длины свободного пробега, эффективного сечения взаимодействия молекул, эффективного диаметра молекулы.
4. Каков физический смысл коэффициента внутреннего трения  $\eta$  ?
5. Дайте определение понятию ламинарного течения.
6. Выведите формулы для расчета коэффициента трения и средней длины свободного пробега молекул идеального газа.

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** Компрессор, секундомер, установка для экспериментального определения коэффициента внутреннего трения методом *Пауазеля*.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

## 7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

1. Физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа, называется:
  - а) температура
  - б) стационарное равновесие
  - в) температура идеального газа +
2. Состояние, при котором в системе не происходит наблюдаемых макроскопических процессов, называется:
  - а) термодинамическим процессом
  - б) термодинамическим равновесием +
  - в) внутренней энергией системы
3. Наукой о тепловых явлениях называют:
  - а) термодинамику +
  - б) молекулярную физику
  - в) термокинетику
4. Необходимо указать единицу измерения величины, измеряемой произведением  $p\Delta V$ :
  - а) ватт
  - б) джоуль +
  - в) паскаль
5. . Какому количеству теплоты (МДж) эквивалентна работа, совершаемая за 1 ч двигателем мощностью 2 кВт:
  - а) 7,2 +
  - б) 3,6
  - в) 4
6. Первый закон термодинамики (закон сохранения энергии) применительно к термодинамической системе должен выглядеть следующим образом:
  - а)  $Q=\Delta U-A$
  - б)  $Q=A+\Delta U$  +
  - в)  $Q=A-\Delta U$

## 7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.

Введем понятие внутреннего трения (вязкости) газа. В качестве примера рассмотрим две параллельные плоскости, между которыми находится воздух (рисунок 1).

Левая пластина неподвижна, правая пластина движется вверх с постоянной скоростью  $u_0$ , увлекая за собой прилегающие к ней слои воздуха. Если движение воздуха – ламинарное (слоистое), т.е. отсутствуют завихрения, то зависимость упорядоченной скорости от координаты  $x$  имеет вид, изображенный на рисунке 1.

Величина  $du/dx$  называется градиентом скорости упорядоченного движения вдоль оси  $X$ . Между слоями воздуха, движущимися с различными скоростями, происходит обмен молекулами, обусловленный беспорядочным тепловым движением молекул. В результате слой газа справа от мысленно выбранной плоскости  $S$  (рисунок 1) испытывает тормозящую силу, направленную против скорости упорядоченного движения.

Этот процесс описывают, используя термин силы трения, возникающей между слоями воздуха, движущимися с разными скоростями.

Сила трения  $F$ , действующая на участок поверхности плоского слоя площадью  $S$ , выражается феноменологическим (полученным путем обобщения опытных данных) соотношением:

$$F = \eta \left| \frac{du}{dx} \right| S. \quad (1)$$

$dx$

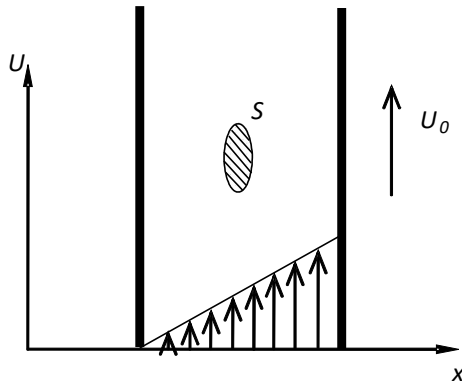


Рисунок.1 – Профиль скорости движения жидкости между двумя параллельными пластинами

Соотношение (1) называют законом *Ньютона* для внутреннего трения. Здесь  $\eta$ – коэффициент внутреннего трения, В СИ размерность  $[\eta] = \text{Па}\cdot\text{с}$ .

Для идеального газа коэффициент внутреннего трения равен:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle l, \quad (2)$$

где  $\langle v \rangle$  средняя скорость теплового движения молекул идеального газа:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}},$$

$M$  – молярная масса;

$T$  – температура;

$R$  – универсальная газовая постоянная;  $\rho$  – плотность газа.

$l$  – средняя длина свободного пробега молекул, вычисляемая по формуле:

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d_{эфф}^2 n}. \quad (3)$$

где  $d_{эфф}$  – эффективный диаметр молекулы;  $n$  – концентрация.

Целью данной лабораторной работы является экспериментальное определение коэффициента внутреннего трения воздуха и определение средней длины свободного пробега молекул воздуха. Для определения коэффициента внутреннего трения в лабораторной работе используется метод, основанный на истечении воздуха через капилляр. Этот метод носит название метода *Пауазейля*.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Рассмотрим ламинарное течение воздуха в капилляре (рисунок 2). Наличие сил внутреннего трения приводит к возникновению градиента скорости упорядоченного движения  $du/dr$ . Очевидно, что наибольшая скорость – на оси симметрии капилляра. Пусть радиус капилляра  $r_0$ , длина  $L$ . Воздух протекает слева направо вследствие разности давлений на концах капилляра  $P_1 - P_2$ .

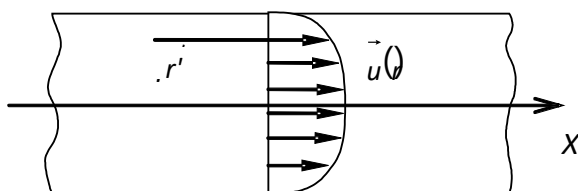


Рисунок 2 – Профиль скорости жидкости, движущейся в круговой– цилиндрической трубе

Мысленно выразим в газе цилиндрический слой с внутренним радиусом  $r$ , внешним радиусом  $r +$

$dr$  (рисунок 3). На этот слой со стороны более быстрых слоев действует «ускоряющая» сила внутреннего трения.

$$F(r) = \eta \left| \frac{dU}{dx} \right| S$$

где  $S$  – площадь боковой поверхности цилиндра  $S=2\pi rL$ . Таким образом, .

$$F(r) = \eta \left| \frac{dU}{dx} \right| 2\pi rL \quad (4)$$

Со стороны более медленных слоев, прилегающих к выбранному, действует «замедляющая» сила

$F(r+dr)$ , причем силы  $F(r)$  и  $F(r+dr)$  направлены в противоположные стороны.

Результирующая сила, действующая на выбранный слой, может быть найдена с использованием

соотношения  $F(r+dr) \approx F(r) + dF$ . Тогда

$$F(r) - F(r+dr) = -dF .$$

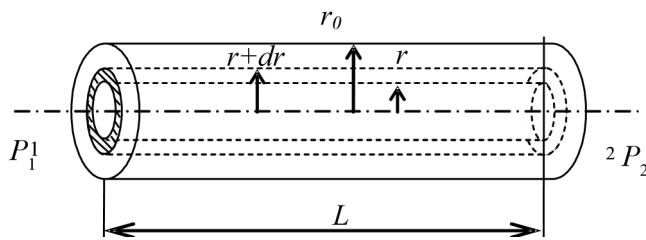


Рисунок 3 – К расчету коэффициента внутреннего трения

Опуская знаки модуля, из (4) получим, учитывая, что коэффициент внутреннего трения  $\eta$  не зависит от  $r$ ,

$$dF = -2\pi\eta L d \left( r \frac{du}{dr} \right) \quad (5)$$

Градиент упорядоченной скорости  $du/dr < 0$ , поэтому сила  $dF$  – положительная. Эта сила при стационарном течении воздуха равна силе  $dF$ , действующей на слой из-за разности давлений  $P_1 - P_2$ :

$$dF = (P_1 - P_2) \cdot dS = (P_1 - P_2) 2\pi r \cdot dr. \quad (6)$$

Из (5) и (.6) получим:

$$-2\pi\eta L d \left( r \frac{du}{dr} \right) = (P_1 - P_2) 2\pi r dr. \quad (7)$$

Из соотношения (7) следует дифференциальное уравнение:

$$d \left( r \frac{du}{dr} \right) = \frac{-P_1 - P_2}{\eta L} r dr. \quad (8)$$

Проинтегрируем (8):

$$r \frac{dU}{dr} = \frac{-P_1 - P_2}{\eta L} r^2 + C \quad (9)$$

Постоянную интегрирования  $C$  найдем из следующих соображений: при  $r = 0$  скорость упорядоченного движения достигает максимума, следовательно:

$$\left. \frac{dU}{dr} \right|_{r=0} = 0.$$

Отсюда  $C = 0$ . Тогда из (9) получим:

$$du = -\frac{P_1 - P_2}{2\eta L} r dr. \quad (10)$$

Проинтегрируем (10):

$$u = \dot{c} - \frac{P_1 - P_2}{4\eta L} r^2 + C'$$

Из условия  $u = 0$  при  $r = r_0$  (на стенке капилляра) получим:

$$C' = \frac{-P_1 - P_2}{4\eta L} r_0^2. \quad (10.12)$$

Подставляя (12) в (11), получаем зависимость упорядоченной скорости  $u(r)$ :

$$u = \dot{c} - \frac{P_1 - P_2}{4\eta L} (r_0^2 - r^2). \quad (13)$$

Найдем теперь объем воздуха, протекшего через капилляр за время  $\tau$ . Из выбранного нами слоя (рисунок 3) за время  $\tau$  вытечет объем газа  $dV = u\tau 2\pi r dr$ . Используя соотношение (10.13), получим

$$dV = \frac{P_1 - P_2}{2\eta L} (r_0^2 r - r^3) dr. \quad (14)$$

Проинтегрируем (14) по всей площади поперечного сечения капилляра (от  $r = 0$  до  $r = r_0$ ):

$$V = \frac{\pi(P_1 - P_2)\tau}{2\eta L} \int_0^{r_0} (r_0^2 r - r^3) dr = \frac{\pi(P_1 - P_2)\tau r_0^4}{8\eta L}.$$

Из последнего соотношения получим формулу *Пауазейля*:

$$V = \frac{1}{\eta} \frac{\pi r_0^4}{8L} (P_1 - P_2)\tau \quad (15)$$

Заметим, что объем протекающего за время  $\tau$  газа очень сильно зависит от радиуса капилляра ( $V \sim r_0^4$ ). Отметим также, что для газов ламинарное (слоистое) течение возможно лишь при малых скоростях течения и в весьма тонких капиллярах.

Из формулы *Пауазейля* выразим коэффициент внутреннего трения воздуха  $\eta$ :

$$\eta = \frac{\pi r_0^4}{8LV} (P_1 - P_2)\tau. \quad (16)$$

Из (2) получаем выражение для средней длины свободного пробега молекулы:

$$\langle l \rangle = \rho \langle v \rangle = \frac{3\eta}{\rho}$$

Из уравнения *Менделеева-Клапейрона*:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}$$

Т.к. давление воздуха в установке практически равно атмосферному давлению, то

$$\langle l \rangle = 1,88 \frac{\eta}{P_{атм}} \sqrt{\frac{RT}{M}}. \quad (17)$$

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 4. Кран-тройник  $K_1$  может соединять сосуд либо с атмосферой, либо с капиллярной трубкой. Сосуд 2 соединен с сосудом 1

трубкой с обычным краном  $K_2$ .

Пусть в сосуд 2 налита вода. Если опустить сосуд 1 на стол, вода начнет перетекать в него из сосуда 2. Пусть сосуд 1 соединен тройником  $K_1$  с капиллярной трубкой. При вытекании воды давление воздуха в сосуде 2 уменьшается, воздух засасывается через капиллярную трубку. Так как сечение капилляра мало, возникает разность давлений, которую можно определить с помощью манометра. Объем поступающего в сосуд 2 воздуха определяют по изменению уровня воды в сосуде, на водомере.

Для данной установки разность давлений в (16) равна:

$$P_1 - P_2 = \rho_B g (h_1 - h_2), \quad (18)$$

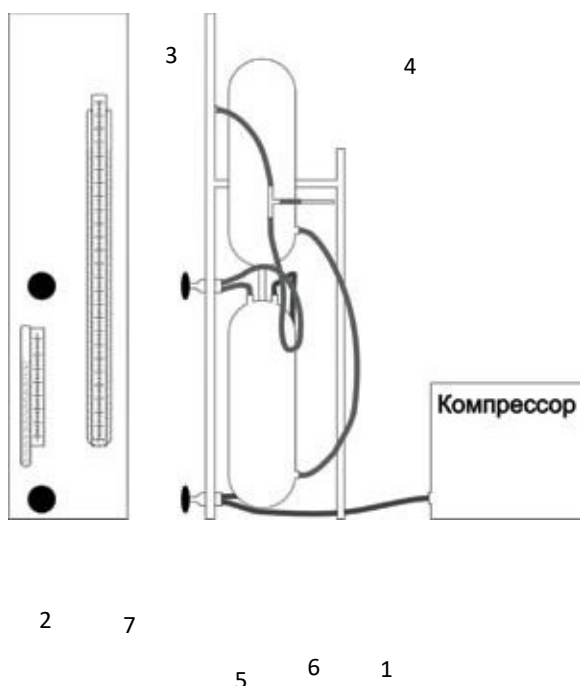
где  $h_1 - h_2$  – разность уровней воды в манометре;

$\rho_B$  – плотность воды;

$g$  – ускорение силы тяжести.

Объем воздуха, протекающего через капилляр за время  $\tau$ , равен объему вытесненной из измерительного сосуда воды.

**Примечание.** Для повышения точности эксперимента температура воды должна быть равна температуре воздуха в лаборатории.



1 – капиллярная трубка; 2 – кран  $K_1$ ; 3 – кран  $K_2$ ;  
4 – сосуд 1; 5 – манометр; 6 – сосуд 2; 7 – водомер

Рисунок .4 – Схема экспериментальной установки

#### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

1. Ознакомьтесь с установкой и измерительными приборами.
2. По лабораторному барометру определите давление воздуха в лаборатории  $P_{атм}$ , по термометру – температуру воздуха  $T$ .
3. Закройте кран  $K_2$ , а кран  $K_1$  откройте.
4. Включите компрессор в сеть и перекачайте воду из нижнего сосуда в верхний. Количество оставшейся в баллоне воды определите по водомеру.
5. После того, как вся вода из нижнего сосуда перекачается в верхний сосуд, необходимо закрыть кран  $K_1$ .

6. Медленно открывая кран  $K_2$ , установите на манометре разность уровней 4 мм, поддерживая ее постоянной краном  $K_2$ .

7. Включите секундомер и определите время, за которое из верхнего сосуда вытечет 300 мл воды. При этом 100 мл соответствует 13 мм по шкале водомера.

**Примечание.** При установлении разности давлений следите за тем, чтобы вода из манометра не выплеснулась через свободный конец трубки манометра.

8. Пункты 3–7 проделайте для  $\Delta P = 8, 12, 16, 20, 24$  мм.

Результаты измерений занесите в таблицу. Длина капилляра  $L = 116$  мм;  $\Delta L = 0,5$  мм; радиус капилляра  $r_0 = 0,5$  мм;  $\Delta r_0 = 0,05$  мм.

№ опыта	$t$ , с	$\Delta h$ , мм	$\Delta P$ , Па

9. Определите вязкость воздуха. Для этого снимите зависимость разности давлений  $\Delta P$  от расхода воздуха  $Q = \Delta V / \Delta t$ , по полученным данным постройте график  $\Delta P = f(Q)$ . Из формулы

*Паузейля* видно, что при ламинарном потоке зависимость  $\Delta P$  от  $Q$  должна носить линейный характер. При возникновении турбулентности линейность графика нарушается: разность давлений растет быстрее, чем расход.

10. По формуле (18) рассчитайте разность давлений на концах капилляра.

11. Для двух опытов постройте графики  $\Delta P = f(t)$ .

12. По формуле (16) рассчитайте коэффициент внутреннего трения  $\eta$ , по формуле (10.18) рассчитайте среднюю длину свободного пробега молекул воздуха  $\langle l \rangle$ . Расчеты провести для обоих опытов.

13. Убедитесь, что погрешность измерения разности уровней

$\Delta h$  намного больше погрешностей других физических величин.

14. Погрешность определения коэффициента внутреннего трения рассчитайте по следующей формуле:

$$\Delta h = \eta \frac{\sqrt{(\Delta h_1)^2 + (\Delta h_2)^2}}{h_1 - h_2}.$$

## 1. Тема и ее актуальность:

### №18 «Изучение механических свойств костной ткани»

Знание механических свойств тканей организма и, в частности, костной ткани необходимо при изучении опорно-двигательного аппарата человека, в хирургии, ортопедии, травматологии, при подборе трансплантантов для костно-пластических и реконструктивных операций.

**2. Цель занятия,** изучить упругие свойства костной ткани, определить модуль упругости костной ткани человека и сравнить его с модулем упругости металлического образца

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- физические явления и процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма и их характеристики;
- методику исследования;



- особенности выполнения лабораторной работы.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен

**владеть и уметь:**

- следующими компетенциями ОПК-1.
- измерять физические параметры и оценивать физические свойства биологических объектов с помощью механических, электрических и оптических методов;
- навыками пользования измерительными приборами, вычислительными средствами, основами техники безопасности при работе с аппаратурой.

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Что называется деформацией? Основные виды деформаций.
2. Что называется абсолютным удлинением, относительным удлинением, механическим напряжением?
3. Сформулировать закон Гука, нарисовать график  $\sigma = f(\epsilon)$ .
4. Что такое модуль Юнга? В каких единицах он измеряется? Физический смысл модуля Юнга.
5. Как определяется модуль упругости в данной работе?
6. Назовите цены деления штангенциркуля и индикатора малых перемещений.
7. Можно ли по углу наклона графиков ответить на вопрос: «У какого из образцов модуль упругости больше?».

**4. Вид занятия:** лабораторное занятие

**5. Продолжительность занятия:** 3 ч.

**6. Оснащение:** установка для определения модуля упругости образцов, образец костной ткани, металлический образец, набор грузов по 2 Н, штангенциркуль, линейка, индикатор малых перемещений.

6.1 Дидактический материал: кино и видеофильмы, плакаты, интерактивная доска, компьютерная программа.

6.2 ТСО: Мультимедийный проектор, ноутбук, компьютеры.

**7. Содержание занятия:**

Задания для самоконтроля: решение обучающимися индивидуальных наборов тестовых заданий по теме:

#### **7.1. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.**

1. Пружина с жёсткостью  $k = 104 \text{ Н/м}$  под действием силы  $1000 \text{ Н}$  растянется на столько:

- а) 1 м
- б) 10 см +
- в) 1 см

2. К концу пружины жесткостью  $25 \text{ Н/м}$  прикрепили конец пружины  $100 \text{ Н/м}$  и растянули за свободные концы. При этом первая пружина жесткостью  $25 \text{ Н/м}$  растянулась на  $4 \text{ см}$ . Удлинение второй пружины жесткостью  $100 \text{ Н/м}$  равно:

- а) 1 см +
- б) 2 см
- в) 4 см

3. Необходимо определить силу (в Н), под действием которой пружина жёсткостью  $200 \text{ Н/м}$  удлинится на  $5 \text{ см}$ :

- а) 1
- б) 10 +
- в) 100

4. Что включает в себя сила упругости:

- а) силу трения
- б) силу тяжести
- в) силу реакции опоры +

5. Укажите математическую формулу закона Гука:

- а)  $F_{упр} = 2kx$
- б)  $F_{упр} = -kx +$
- в)  $F_{упр} = -2kx$

6. Что такое динамометр:

- а) прибор, с помощью которого измеряют тяжесть
- б) прибор для измерения давления
- в) прибор, с помощью которого измеряют силу +

7 Жесткость пружины зависит:

- а) от массы и материала
- б) от формы, размера и материала +
- в) от размера и массы

8 Назовите причину, по которой возникает сила упругости:

- а) частицы тел притягиваются друг другу или отталкиваются друг от друга +
- б) частицы тел притягиваются друг к другу
- в) частицы тел отталкиваются друг от друга

9. Что является одним из видов деформации:

- а) нагревание
- б) переход из одного агрегатного состояния в другое
- в) сжатие +

10. В Международной системе единиц, сила упругости измеряется в:

- а) Ньютонах (Н)
- б) Джоулях (Дж)
- в) Омах (Ом)

11. Что является основной величиной закона Гука:

- а) сила тяжести
- б) сила упругости +
- в) сила притяжения

**7.2. Разбор с преподавателем узловых вопросов, необходимых для освоения темы данного занятия.**

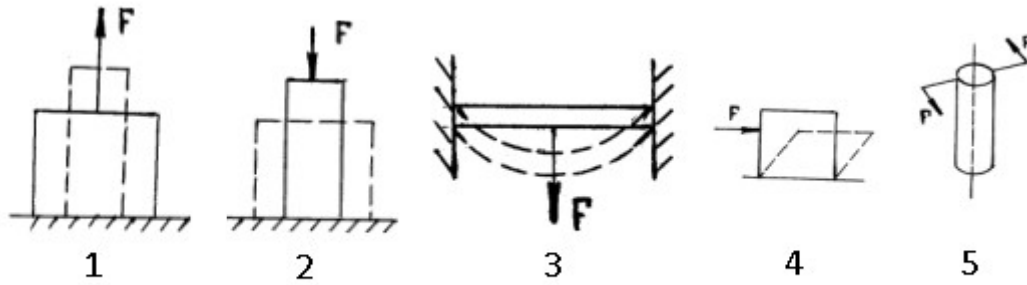


Рис.1

К основным видам деформаций относят деформации: 1. растяжения; 2. сжатия; 3. изгиба; 4. сдвига; 5. кручения (рис.1).

В теории упругости доказывается, что все виды деформации могут быть сведены к одновременно происходящим деформациям растяжения (сжатия) и сдвига.

### 7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме.

Количественной мерой, характеризующей степень деформации, является

относительное удлинение  $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}$ , где  $\ell$  – начальная длина тела,  $\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1$  – изменение длины (абсолютное удлинение). При растяжении  $\Delta \ell > 0$ , при сжатии  $\Delta \ell < 0$ .

Сила, действующая на единицу площади поперечного сечения, называется напряжением (механическим):

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Для упругих деформаций справедлив закон Гука, согласно которому механическое напряжение и относительная деформация прямо пропорциональны друг другу:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{или} \quad \frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta \ell}{\ell} \quad (2)$$

Где коэффициент пропорциональности  $E$  называется модулем Юнга. Из (2) видно, что модуль Юнга численно равен механическому напряжению при  $\varepsilon = 1$ .

Зависимость механического напряжения от относительной деформации для твердых тел показана на рис. 2. Зависимость  $\sigma = f(\varepsilon)$  для компактной костной ткани имеет аналогичный вид. При небольшом напряжении деформация носит упругий характер, что выражается на графике прямо пропорциональной зависимостью (участок ОВ).

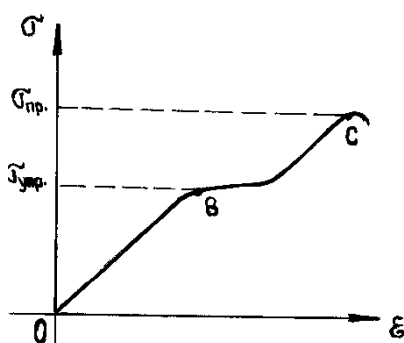


Рис.2

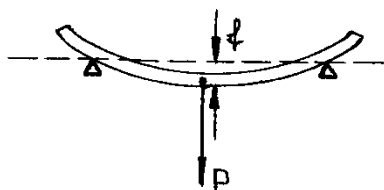
Наибольшее механическое напряжение  $\sigma_{\text{упр}}$ , при котором деформация сохраняет упругий характер, называется пределом упругости. При дальнейшем увеличении напряжения деформация имеет пластический характер (участок ВС) (рис.2), и при значении напряжения  $\sigma_{\text{пр}}$  происходит разрушение тела.

Кости характеризуются очень высокой механической прочностью. В зависимости от типа кости и ее участка механическое разрушение начинается по достижении

напряжения  $10^7-10^8 \frac{Н}{м^2}$ . В сравнении с костями прочность других биоматериалов низкая, так, например, ткань стенок крупных артерий выдерживает лишь напряжение  $\approx 3 \cdot 10^6 \frac{Н}{м^2}$ .

Существуют различные методы определения модуля упругости. Будем определять модуль упругости по деформации изгиба.

Если к середине прямого упругого стержня, свободно лежащего на твердых опорах, приложена сила  $P$ , то стержень изгибается (рис.3). Перемещение  $f$ , которое получает середина стержня, называется стрелой прогиба. Она зависит от нагрузки стержня и его модуля упругости. Для образца кости в форме трубки теория дает следующее выражение для модуля упругости:



$$E = \frac{P \cdot \ell^3}{12 \pi f (R^4 - r^4)}, \quad (3)$$

Рис.3

где  $P$  – нагрузка,  $\ell$  - длина образца (расстояние между опорами),  $R$  и  $r$  - соответственно внешний и внутренний радиус трубки.

### Описание установки

Установка для определения модуля упругости кости (рис. 4) состоит из П-образной стойки 1, на которой закреплен индикатор малых перемещений 2 для измерения стрелы прогиба  $f$ . В отверстия А и В стоек помещают образец (кость или дюралюминиевую трубку), на середину которого надевают хомут 3 стержня для установления грузов 4. Вес одного груза 2Н. Стержень индикатора упирают в горизонтальную площадку 5 в верхней части хомута так, чтобы стрелка индикатора сделала 2-3 полных оборота.

Вращением шкалы индикатора стрелку устанавливают на ноль. Осторожно навешивая грузы, определяют по индикатору стрелу прогиба  $f$  образца (красная шкала).

### 7.4. Самостоятельная работа обучающихся под контролем преподавателя.

#### 1. Исследование зависимости стрелы прогиба от нагрузки.

1. Подготовить установку с исследуемым образцом, как описано выше.
2. Увеличивая нагрузку от 0 до 20 Н через 2Н, записать в таблицу 1 соответствующие каждой нагрузке стрелы прогиба для кости и дюралюминиевой трубки.

Таблица 1

		Кость					Дюралюминий				
P, Н											
f, м											

3. Построить графики  $f = F(P)$  для кости и дюралевой трубки. Если для данных нагрузок деформация была упругой, то график должен представлять прямую линию.

**2. Определение модуля упругости кости и дюралевой трубки.**

1. Измерить три раза штангенциркулем в нескольких местах внешний и внутренний диаметр кости и найдите средние значения внешнего  $\langle R \rangle$  и внутреннего  $\langle r \rangle$  радиусов образцов.
2. Измерить внутренний и внешний диаметры дюралюминиевой трубки. Данные записать в таблицу 2.

Таблица 2

3.	R, м	$\langle R \rangle$ , м	r, м	$\langle r \rangle$ , м	$\ell$ , м	P, н	f, м	E, н/м <sup>2</sup>	В формулу (3)
1.									
2.									
3.									

подставить одно из значений нагрузки P и соответствующую ей стрелу прогиба f и

вычислить E (в  $\frac{H}{M^2}$ ) для двух образцов, сравнить с табличными значениями. Сделать вывод.

**8. Литература ко всем практическим занятиям:**