

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. Баумана**

Специализированный учебно-научный центр  
Лицей № 1580 при МГТУ имени Н.Э. Баумана

Кафедра "Основы физики"

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО  
ФИЗИКЕ**

**10 класс**

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА  
И ТЕРМОДИНАМИКА.**

**Лабораторный практикум по физике.  
МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И  
ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.– МГТУ им.  
Н.Э.Баумана**

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Издано в соответствии с планом редакционно-издательской работы кафедры «Основы физики» Специализированного учебно-научного центра МГТУ имени Н.Э. Баумана

Составители сборника:

И.Н. Грачева, В.И. Гребенкин, Л.В.Карева, И.А.Коротова,  
Н.С.Кулеба, Г.Ю. Шевцова, О.В.Юркова.

Под редакцией И.Н. Грачевой и Н.С.Кулебы.

© МГТУ им. Н. Э. Баумана  
©Лицей № 1580 при МГТУ им. Н. Э. Баумана

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-1

### Определение коэффициента линейного расширения твердых тел

#### 1.1. Основные теоретические сведения

При нагревании линейные размеры твердого тела увеличиваются. В небольшом интервале температур относительное изменение длины

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1.1) \quad (1.1)$$

прямо пропорционально изменению температуры

$$\varepsilon_{\alpha} = \alpha \Delta t \quad (1.2) \quad (1.2)$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения, он показывает, на какую долю своего первоначального значения изменяются размеры тела при его нагревании на 1 К;

$l_0$  - длина тела до нагревания;

$l$  - длина тела после нагревания;

$\Delta t = t - t_0$  - изменение температуры тела;

$t_0$  - начальная температура;

$t$  - конечная температура.

Из (1.1) и (1.2) следует

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (1.3) \quad (1.3)$$

Единицей  $\alpha$  является  $[\alpha] = \text{K}^{-1}$ .

#### 1.2. Методика выполнения работы

Прибор для определения коэффициента линейного расширения (рис. 1.1.) представляет собой нагреватель (5), внутрь которого вставляется пробирка с водой и испытуемым стержнем. Для измерения удлинения стержня при нагревании прибор снабжен индикатором (3).

### 1.3. Приборы и принадлежности

1. Прибор для определения коэффициента линейного расширения .
2. Термометр ртутный (0-50°C).
3. Штатив для пробирок.
4. Линейка.

### 1.4.Порядок выполнения работы

1. Измерьте с помощью линейки начальную (до нагревания) длину стержней  $l_0$ . Данные запишите в табл. 1.1.

2. Пробирки наполните наполовину водой комнатной температуры, опустите в каждую по испытываемому стержню и поместите в штатив для пробирок. Обратите внимание на то, чтобы сферический конец стержня упирался в дно пробирки.

3. Измерьте температуру воды в одной из пробирок термометром (стержень при этом извлекается из пробирки) и запишите значение  $t_0$  в табл. 1.1.

4. Пробирку со стержнем вставьте в нагреватель через резиновую прокладку и отверстие 1 в крышке прибора (рис. 1.1.).

5. Оттянув шток индикатора 2 вверх, установите индикатор над пробиркой, повернув кронштейн 4 с индикатором. Опустите шток индикатора 2 в углубление на торце стержня.

6. Заметьте положение стрелки на шкале индикатора (стрелку лучше поставьте на нулевую отметку, вращая лимб со шкалой 3).

7. Проверив наличие заземления прибора, включите питание прибора (штепсельную вилку прибора вставьте в розетку, затем нажмите кнопку на приборе).

8. При закипании воды в пробирке стержень принимает температуру, равную температуре кипения воды. Увеличение длины стержня определяется по отклонению стрелки индикатора от начального положения. Отсчет ведите с точностью до половины цены деления индикатора (цена деления – 10 мкм или 0,01 мм). Произведите измерения, когда после закипания положение стрелки на шкале индикатора перестанет меняться. Повторите все действия пп. 3-8 для другого образца.

9. По окончании работы вычислите числовое значение  $\alpha$  по формуле (1.3.) для всех стержней.

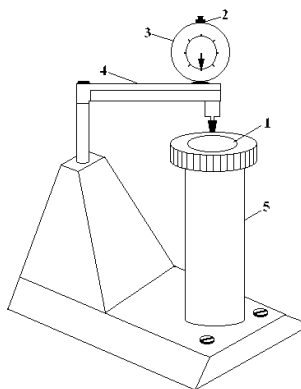


Рис. 1.1

10. Рассчитайте относительную и абсолютную погрешности:

обозначим 
$$\varepsilon = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_0}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2}, \quad \Delta\alpha = \varepsilon\alpha,$$

принимая  $\Delta(\Delta l)$  равной цене деления индикатора, а  $\Delta l$  равной изменению длины стержня в одном из опытов.

Аналогично,  $\Delta(\Delta t)$  равно цене деления термометра, а  $\Delta t$  – изменение температуры, соответствующее выбранному  $\Delta l$ .

11. Напишите заключение к работе.

Таблица 1.1

Но- мер стер- жня	Нача- льная длин а стер- жня	Удли- ение стер- жня при нагре- вании	Прибор- ная погреш- ность линейки	Началь- ная темпер- атура стерж- ня	Разность темпера- туры при нагрева- нии	Кэфф- ициент линей- ного расши- рения	Отно- ситель- ная погреш- ность	Абсо- лютная погреш- ность
	$l_0, \text{м}$	$\Delta l, \text{м}$	$\Delta l_0, \text{м}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$\Delta t = 100^\circ - t_0$	$\alpha, \text{K}^{-1}$	$\Delta\alpha/\alpha$	$\Delta\alpha, \text{K}^{-1}$
1								
2								

### 1.5. Контрольные вопросы

1. Объясните причину удлинения стержня при его нагревании.

2. Что больше влияет на точность измерения коэффициента линейного расширения: измерение длины стержня обычной линейкой или измерение удлинения стержня с помощью индикатора?

3. Длину стержня измеряют до нагрева. Изменится ли окончательный результат опыта, если это измерение выполнить после нагревания?

### 1.6. Литература

Г.С. Ландсберг, том 1, гл.X, §§195, 197, 198, 199.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-2

### Изучение процесса изотермического расширения воздуха

#### 2.1. Основные теоретические сведения

Для газов изменение одного из термодинамических параметров – давления, объема или температуры – вызывает изменение остальных параметров.

При одновременном изменении всех величин, характеризующих состояние газа, экспериментально трудно установить какие-либо закономерности, поэтому сначала изучались процессы, в которых один из трех параметров ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ ) остается неизменным.

Количественные зависимости между двумя параметрами некоторого количества газа при неизменном значении третьего называют газовыми законами.

Согласно закону Бойля-Мариотта давление данной массы газа при постоянной температуре и неизменном химическом составе обратно пропорционально объему газа. Если  $p_1$  – давление газа при объеме  $V_1$ , а  $p_2$  – его давление при объеме  $V_2$ , то  $p_2/p_1 = V_1/V_2$ . Из этого соотношения следует, что произведение давления данной массы газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется:  $pV = \text{const}$ . Закон выполняется для различных газов и их смесей, которые можно считать идеальными.

#### 2.2. Методика выполнения работы

Проверка закона Бойля-Мариотта осуществляется с помощью герметичного гофрированного сосуда-цилиндра (сифона) (1), соединенного с манометром (2), регистрирующим избыточное над атмосферным, давление внутри сосуда рис (2.1.)

При вращении винта объем сосуда меняется, что можно оценить по шкале-линейке (3).

Измеряя давление, соответствующее различным объемам, можно проверить справедливость уравнения  $pV = \text{const}$  при комнатной температуре.

#### 2.3. Приборы и принадлежности

1. Сифон
2. Манометр
3. Линейка

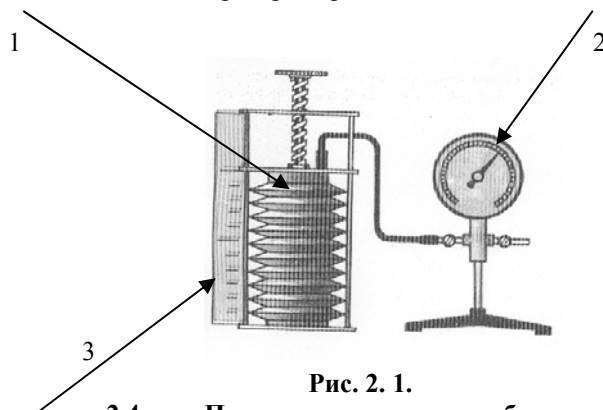


Рис. 2. 1.

**2.4. Порядок выполнения работы**

1. Подготовьте в тетради две одинаковые таблицы для записи результатов измерений и вычислений (табл.2.1.).

Таблица 2.1.

Параметры	№ опыта	1	2	3	4	5
$t^0, ^\circ\text{C}$						
$V, \text{м}^3$						
$p_a, \text{Па}$						
$p^1, \text{Па}$						
$p, \text{Па}$						
$pV, \text{м}^3 \text{ Па}$						
$\Delta(pV), \text{м}^3 \text{ Па}$						

2. Открыв оба крана манометра, установите по шкале сильфона наибольшую допустимую высоту цилиндра, что соответствует объему  $V=1,0$  л.

3. Закройте кран, соединяющий манометр с атмосферой. Запишите в табл.2.1. объем цилиндра  $V$ , давление  $p_a$  – атмосферное,  $p^1$  – давление по манометру, ат.,  $p$  – давление в сосуде, а также измеренную по термометру комнатную температуру. Так как манометр показывает давление избыточное над атмосферным, то  $p = p_a + p^1$

4. Уменьшая объем цилиндра, проведите измерения давления газа в сосуде еще 4 раза. Последнее пятое измерение проведите при наименьшей допустимой высоте цилиндра, что соответствует делению 5 шкалы сильфона.

5. При нижнем положении указателя объема (деление 5 шкалы сильфона) откройте кран манометра на атмосферу, соединив объем цилиндра с наружным воздухом. При этом масса газа в сосуде уменьшится. Затем закройте кран и, увеличивая объем сосуда от 0,5 л до максимального 1,0 л, проведите аналогичные измерения давления газа только теперь уже с другой массой газа.

Результаты этого опыта запишите во вторую таблицу, аналогичную табл.2.1.

6. Для всех проведенных измерений рассчитайте соответствующие результатам состояния воздуха в цилиндре произведения  $pV$ .

7. Рассчитайте для одного из состояний погрешность  $\Delta(pV)$ . Погрешности остальных произведений будут близкими к рассчитанной.

Расчетные формулы:

$$\Delta(pV) = pV\varepsilon_{pV} \quad \varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta p_a + \Delta p'}{p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}$$

где  $\Delta p_a$ ,  $\Delta p'$ ,  $\Delta V$  – приборные погрешности, рекомендации по их выбору – см. лабораторную работу №1.

8. По экспериментальным данным постройте два графика зависимости  $p$  от  $V$  для двух различных масс газа.

9. Составьте заключение по работе.

### 2.5. Контрольные вопросы

1. Как изменяется объем воздушного пузырька, поднимающегося на поверхность воды с глубины 10 м, если не учитывать поверхностное натяжение и изменение температуры?

2. Изобразите график изотермического процесса на диаграммах  $(p, V)$ ;  $(p, T)$ ;  $(V, T)$

3. Со дна водоема поднимается пузырек. Как меняется с глубиной сила, выталкивающая его из воды? Проведите такой опыт. Возьмите стакан, до половины наполненный водой, и накройте его листом бумаги. Плотно прижмите бумагу рукой и переверните стакан вверх дном. Убедившись, что бумага расположена горизонтально, уберите руку от бумаги. Вода не выливается! Объясните этот опыт.

### 2.6. Литература

1. Учебное пособие для 10 кл. под ред. А.А. Пинского, §§ 11-18.

2. Г.С.Ландсберг, §§ 226, 227, 228.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-3

### Изучение поверхностного натяжения воды

#### 3.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение поверхностного натяжения жидкости.

#### 3.2. Основные теоретические сведения

Любое реальное тело обладает поверхностью, которая отделяет его от других тел. Это может быть граница раздела двух несмешивающихся жидкостей, стенки сосуда, поверхности соприкосновения твёрдых тел и т. п. Свободная поверхность жидкости или твёрдого тела является границей раздела их с газообразной средой, в частности с парами или с воздухом. Поэтому следует говорить не просто о поверхностях тел, а о поверхностях раздела двух сред или фаз. Наличие таких поверхностей приводит к возникновению явлений особого рода, называемых обычно *поверхностными* или *капиллярными* явлениями. Своим возникновением они обязаны особым физическим условиям, в которых находятся молекулы вблизи поверхности раздела.

Рассмотрим для определённости свободную поверхность жидкости, отделяющую её от газообразной среды. В поверхностном слое проявляется нескомпенсированность молекулярных сил. Действительно, любая молекула внутри тела, вдали

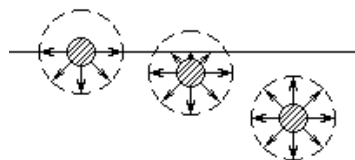


Рис.3.1

от поверхности, окружена со всех сторон такими же молекулами, действие которых взаимно компенсируется (рис. 3.1). Молекула в поверхностном слое имеет одинаковых соседей лишь с одной стороны. В частности, в случае свободной поверхности имеются соседи лишь со стороны жидкости, тогда как со стороны газа они практически отсутствуют (из-за его большой разреженности). В результате молекулы, находящиеся в поверхностном слое, испытывают силу притяжения со стороны молекул, находящихся внутри жидкости.

Ясно, что для извлечения молекулы из внутренних частей жидкости на её поверхность требуется затратить работу.

Работа  $A$ , затрачиваемая в таком квазистатическом процессе при постоянной температуре, очевидно, пропорциональна изменению площади поверхности на  $\Delta S$  и записывается в виде:

$$A = \sigma \Delta S.$$

Коэффициент пропорциональности  $\sigma$  представляет собой основную характеристику поверхности раздела, зависящую от природы сред и их теплового состояния. Называют его *коэффициентом поверхностного натяжения*.

По своему физическому смыслу  $\sigma$  является работой, которую надо затратить, чтобы изотермически увеличить поверхность жидкости на единицу при сохранении ее объема неизменным. Работа, как известно, служит мерой изменения энергии. С какой же энергией здесь имеют дело? Очевидно, что эта энергия должна быть потенциальной. Поэтому потенциальная энергия таких молекул больше потенциальной энергии взаимодействия молекул внутри жидкости. Эту избыточную потенциальную энергию молекул в поверхностном слое будем называть *энергией поверхностного натяжения* или просто поверхностной энергией, изменение которой  $\Delta U_{\text{пов}}$  по определению равно работе  $A$  при изотермическом изменении поверхности раздела на величину  $\Delta S$ , т.е.

$$\Delta U_{\text{пов}} = A = \sigma \Delta S$$

Из механики известно, что силы действуют так, чтобы привести систему в состояние с наименьшей потенциальной энергией. И силы поверхностного натяжения действуют так, чтобы энергия поверхностного натяжения принимала наименьшее возможное значение. Поэтому поверхность раздела сред стремится уменьшиться. Например, капля жидкости в свободном состоянии принимает шарообразную форму, так как только поверхность сферы при данном объеме имеет наименьшее значение. В земных условиях действует сила тяжести, которая старается сдвинуть каплю. Потенциальная энергия силы тяжести пропорциональна объему жидкости, а энергия поверхностного натяжения - ее поверхности. поэтому относительное влияние силы тяжести по сравнению с влиянием поверхностного натяжения тем больше, чем больше объем тела. для маленьких капель преобладает влияние поверхностного натяжения, и они принимают шарообразную форму.

Размерность  $\sigma$ , как следует из определения, совпадает с размерностью поверхностной энергии ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ), а также с размерностью силы, отнесенной к единице длины ( $\text{Н}/\text{м}$ ). Это

соотношение имеет не только размерный, но и глубокий физический смысл.

Оказывается, что поверхностное натяжение  $\sigma$  представляет собой силу, действующую на единицу длины контура, ограничивающего участок поверхности раздела, и направленную касательно к поверхности:

$$\sigma = F/l.$$

Коэффициент поверхностного натяжения различен для разных жидкостей. Он зависит от рода жидкости, температуры (уменьшается с ее повышением) и от степени чистоты поверхности (изменяется при малейшем загрязнении).

### 3.3. Методика выполнения работы

Для определения коэффициента поверхностного натяжения существует много методов.

В данной работе определение  $\sigma$  производится двумя способами:

методом капиллярных трубок,  
методом разрыва поверхностной пленки жидкости.

#### Метод капиллярных трубок

Если поместить жидкость в узкую трубку, то свободная поверхность жидкости будет искривлена (рис. 3.2). Равнодействующая сил поверхностного натяжения в какой-либо , точке искривленной поверхности направлена к центру кривизны, т.е. внутрь вогнутости мениска чем и объясняется поднятие (или опускание) жидкости в капилляре.

При полном смачивании на жидкость в капилляре вдоль границы свободной поверхности, имеющей форму окружности, действует направленная вверх сила поверхностного натяжения (рис. 3.2)

$$F = \sigma 2\pi r,$$

где  $r$  - радиус кривизны мениска (в нашем случае полного смачивания  $r$  равен радиусу капилляра).

Сила поверхностного натяжения  $F$  уравнивает силу тяжести  $mg$ , действующую на столбик жидкости высотой  $h$ :

$$mg = \rho g \pi r^2 h,$$

где  $\rho$  - плотность жидкости. Из условия  $F = mg$  получаем

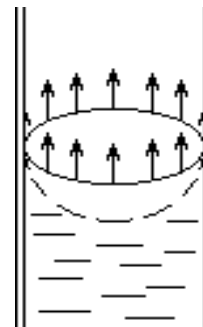


Рис. 3.2

Рис. 3.2

$$h = 2\sigma / \rho g r$$

Применив последнее выражение для двух капилляров 1 и 2 разного сечения, найдем разность

$$h_2 - h_1 = 2\sigma / \rho g r_2 - 2\sigma / \rho g r_1,$$

откуда

$$\sigma = \frac{r_1 r_2 (h_2 - h_1)}{2(r_1 - r_2)} \rho \cdot g \quad (3.1)$$

#### **Метод разрыва поверхностной пленки жидкости**

Если на поверхность жидкости поместить петлю из проволоки длиной  $l$ , так чтобы петля погрузилась под пленку жидкости, то при отрыве проволоочной петли можно с помощью динамометра измерить силу  $F$ , при которой разорвется поверхностная пленка жидкости.

$$\text{По определению} \quad \sigma = F / 2l, \quad (3.2)$$

где  $l$  - длина петли.

(3.2)

### **3.4. Приборы и принадлежности**

1. Химический стакан (500мл) с дистиллированной водой.
2. Капилляры с известными диаметрами ( $1,04 \pm 0,01$  мм и  $0,90 \pm 0,01$  мм).
3. Линейка-шкала.
4. Держатель капилляров на штативе.
5. Динамометр
6. Набор металлических петель известной длины.

### **3.5. Порядок выполнения работы**

#### **Задание 1. Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных трубок**

1. Установите вертикально капиллярные трубки в общем держателе и погрузите их в стакан с дистиллированной водой, опустив на 2-3 см ниже поверхности жидкости. Оставьте их в этом положении на несколько минут для основательного смачивания водой. Проследите, чтобы в капиллярах не осталось пузырьков воздуха.

2. Приподнимите трубки нижним концом до поверхности жидкости, закрепите держатель и отсчитайте с помощью линейки-шкалы высоту подъема воды в капиллярах.

3. Снова опустите трубки глубже и через несколько минут поднимите и повторите отсчеты.

4. Повторите измерения не менее трех раз. Результаты измерений запишите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ опыта	$r_1$ мм	$h_1$ мм	$r_2$ мм	$h_2$ мм	$h_2 - h_1$ мм	$\sigma$ н/м	Среднее значение $\langle \sigma \rangle$ Н/м
1							
2							
3							

По формуле 3.1 вычислите  $\sigma$ , приняв  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

**Задание 2. Измерение коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  методом разрыва поверхностей пленки жидкости**

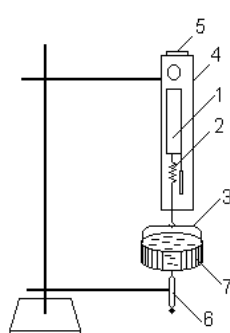


Рис.3.3

1. Закрепите динамометр 1 вертикально, центр столика расположите соосно с измерительной пружиной 2 (рис. 3.3).

2. Наденьте на крючок измерительной пружины динамометра петлю 3 известной длины.

3. Придерживая динамометр, отверните стопорный винт динамометра 4 (справа), вращая винт 5 крепления пружины и поднимая его, установите стрелку динамометра параллельно шкале против нулевой отметки и завинтите стопорный винт.

4. Установите стакан с дистиллированной водой на столике на такой высоте, чтобы петля полностью могла погрузиться в жидкость на 1-2 мм.

5. Вращая винт 6, медленно опускайте подъемный столик со стаканом 7 до тех пор, пока не разорвется пленка жидкости, тянущаяся за петлей.

6. Заметьте по шкале динамометра, при какой силе  $F$  разорвалась пленка. Измерения проведите три раза и результаты измерений запишите в табл. 3.2.

7. Измерения повторите еще с двумя петлями и результат запишите в табл. 3.2.

8. Для каждой петли по трем измерениям вычислите по формуле (3.2) значение  $\sigma$ .

9. Вычислите среднее значение  $\langle \sigma \rangle$ .

№ опыта	Длина петли $l$ , мм	Сила поверхностного натяжения $F$ , мН	$\sigma$ , Н/м	Среднее значение $\langle \sigma \rangle$ , Н/м
1				
2				
3				
1				
2				
3				
1				
2				
3				

10. Сравните измеренное значение  $\langle \sigma \rangle$  с табличным.

11. Напишите заключение к работе.

Таблица 3.2

### 3.6 Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено существование силы поверхностного натяжения жидкости?
2. Объясните поднятие (или опускание) жидкости в капиллярах.
3. Какими методами в данной работе определяют коэффициент поверхностного натяжения жидкости?
4. Какова форма капелек воды, из которых состоит туман?
5. Почему можно лепить фигурки из мокрого песка?
6. Колба из стекла заполнена наполовину ртутью и наполовину водой. Какую форму примут жидкости в условиях невесомости?
7. Почему пузырьки газа в воде шарообразные?
8. Известен такой способ обогрева в холодную погоду: вместо дров используют обыкновенные красные кирпичи, правда вымоченные в бензине. На чем он основан?
9. На концах тонкой соломинки получены два мыльных пузыря разных радиусов. В дальнейшем за счет перетекания воздуха давления

в них выравниваются, а кривизна поверхностей становится одинаковой. Одинакова ли при этом форма пузырей?

10. Почему лезвие безопасной бритвы может лежать на поверхности воды?

11. В капиллярной стеклянной трубочке, лежащей горизонтально, находится столбик воды. Как будет вести себя этот столбик, если один конец капилляра подогреть?

12. Капилляр в вертикальном положении касается воды и заполняется ею целиком. Затем его обламывают на половине высоты столбика воды. Фонтанирует ли при этом вода из капилляра?

13. Почему даже в жаркую погоду губка остается влажной?

### **3.7. Литература**

1. Учебное пособие для 10 класса под редакцией А.А. Пинского, §§22, 23

2. Г.С. Ландсберг, том 1, §§ 248, 249, 250, 253, 255, 256, 257.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-4**

### **Изучение процесса изменения агрегатного состояния вещества**

#### **4.1. Цель работы**

Целью работы является изучение фазовых превращений при затвердевании нафталина и воска.

#### **4.2. Основные теоретические сведения**

Твердые тела сохраняют свою форму и объем. Преимущественно твердые тела находятся в кристаллическом состоянии, при котором атомы или молекулы занимают определенные, упорядоченные положения относительно друг друга. Характерная черта кристаллического состояния заключается в наличии *анизотропии*, т.е. зависимости физических свойств от направления в кристалле. Наряду с кристаллическими твердыми телами существуют аморфные тела, у которых в отличие от кристаллов нет строгого порядка в расположении атомов. Наблюдается некоторый ближний порядок, но строгой периодической повторяемости во всех направлениях в аморфных телах нет. Аморфные тела *изотропны*. Чистые вещества в кристаллическом состоянии плавятся при определенной температуре, у аморфных тел нет определенной температуры перехода в жидкое состояние. В этом можно убедиться, построив графики зависимости температуры вещества от времени при нагревании или охлаждении, если равномерно подводить (или отводить) тепло от пробы вещества, взятого для эксперимента.

#### **4.3. Описание экспериментальной установки**

В установке (рис 4.1) пробирка с исследуемым веществом и погруженным в него термометром укреплена в кронштейне, который может перемещаться вдоль стойки штатива. Исследуемое вещество плавится при нагревании воды в стальном сосуде, закрепленном на электроплитке. Температура вещества измеряется по термометру, время остывания – по секундомеру.

#### **Приборы и принадлежности**

1. Штативы с пробирками.
2. Исследуемые вещества (нафталин, воск).
3. Термометр 1.
4. Термометр 2.
5. Комнатный термометр.
6. Барометр.
7. Стальной сосуд для подогрева воды, закрепленный на электроплитке.



8. Секундомер.

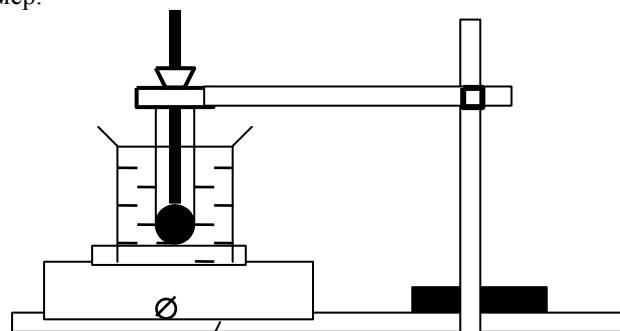


Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

#### 4.4. Порядок выполнения работы

*Задание 1. Наблюдение фазовых превращений при остывании расплавленного нафталина.*

##### **Внимание!**

1. Не касайтесь стального сосуда на электроплитке мокрыми руками.
2. Осторожно обращайтесь с термометрами, не допускайте ударов и резких движений при обращении с ними, не пытайтесь их вынуть из застывшего вещества.

1. Налит в стальной стакан горячей воды на 2-3 см ниже верхнего края, поставьте его на электроплитку.
2. Передвиньте и закрепите кронштейн, опустив пробирку с нафталином в стакан с водой так, чтобы уровень воды был выше уровня нафталина в пробирке. Пробирка не должна касаться стенок стакана.
3. Включите электроплитку в сеть, нагрейте и расплавьте нафталин.
4. Расплавленный нафталин нагрейте до 90-95°C и выключите электроплитку. Отодвиньте штатив с расплавленным нафталином от электроплитки и при дальнейших измерениях не изменяйте его положение.
5. Проведите замеры температуры  $\theta$  остывающего нафталина через 30с (по секундомеру), записывая время и показания термометра  $\theta^{\circ}\text{C}$  в табл. 4.1.

Измерение температуры остывающего нафталина проведите до  $50-55^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 4.1

Время остывания $t$ , с	0	30	60	90	.....
Температура нафталина $\theta$ , $^{\circ}\text{C}$					
Агрегатное состояние					
Температура плавления $\theta_{\text{пл}}$ , $^{\circ}\text{C}$					
Атмосферное давление, Па					

Для продолжения табл. 4.1 отведите всю правую страницу тетради.

**Примечание.** По окончании измерений термометр из затвердевшего нафталина не вынимать - он может разбиться.

6. Подготовьте условия для выполнения задания 2, для чего пододвиньте к плитке второй штатив, опустите в стальной стакан с горячей водой пробирку с воском, передвинув по стойке штатива кронштейн и закрепив его. Включите электроплитку на малую мощность.

7. По результатам измерений табл. 4.1 постройте на листе миллиметровой бумаги (формат 288x 203 мм) график  $\theta(t)$ , из которого определите температуру кристаллизации (плавления) нафталина  $\theta_{\text{пл}}$ .

8. Из графика  $\theta(t)$  определите моменты начала  $t_1$  и окончания  $t_2$  процесса кристаллизации нафталина. Значения  $t_1$ ,  $t_2$ , а также длительность процесса кристаллизации  $t_2 - t_1$  запишите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

$\theta_{\text{пл}}$ , $^{\circ}\text{C}$	$t_1$ , с	$t_2$ , с	$t_2 - t_1$ , с	$\theta_{\text{пл}} - \theta'$ , $^{\circ}\text{C}$	$c$ , кДж/(кг*К)	$\lambda$ Дж/кг
					1,3	

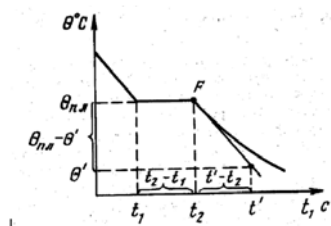


Рис. 4.2

проведите касательную к наклонному участку графика (рис. 4.2), отвечающую постоянной скорости понижения температуры при остывании кристаллизовавшегося нафталина.

9. Метод, которым удельная теплота  $\lambda$  плавления нафталина определяется по графику  $\theta(t)$ , основан на допущении, что скорости отвода тепла как в процессе кристаллизации нафталина, так и при его остывании сразу после кристаллизации одинаковы. Для определения  $\lambda$  в точке F графика  $\theta(t)$

Из графика найдите понижение температуры  $\theta_{пл}-\theta'$  нафталина, остывание которого происходило бы подобным образом в течение  $t_1-t_2$ , равного времени его кристаллизации  $t_1-t_2$ .

Способ определения  $\theta_{пл}-\theta'$  ясен из рис. 4.2, на котором на оси времени отложен интервал  $t_1-t_2$ , по которому и определяется  $\theta_{пл}-\theta'$ .

10. Из равенства количества тепла  $m\lambda$  и  $mc(\theta_{пл}-\theta')$ , отводимых с одинаковой скоростью от пробирки с нафталином как в процессе кристаллизации, так и при понижении его температуры во время остывания, найдите  $\lambda=c(\theta_{пл}-\theta')$ , где  $c$  – удельная теплоемкость твердого нафталина  $c=1.3 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ , и заполните табл. 4.2.

**Задание 2. Исследование зависимости температуры расплавленного воска от времени его остывания.**

1. Нагрев воск в пробирке до  $75^\circ\text{C}$ , выполните операции и измерения по пп. 3-5 задания 1. Данные измерений записывайте в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Время остывания $t, \text{с}$	0	30	60	90	120	....
Температура воска $\theta, ^\circ\text{C}$						

2. Постройте на том же листе миллиметровой бумаги график зависимости  $\theta(t)$  – температуры воска от времени его остывания.

Из сравнения выявленной зависимости с аналогичной для нафталина сделайте выводы и запишите их в тетрадь.

**4.5. Контрольные вопросы**

1. Как изменяется агрегатное состояние воды при атмосферном давлении в интервале температур от  $-10^\circ\text{C}$  до  $+110^\circ\text{C}$ ?

2. В чем различия в поведении нафталина и воска при нагревании их от комнатной температуры до  $100^\circ\text{C}$ ?

3. Приведите примеры аморфных и кристаллических материалов.

4. Что такое анизотропия?

**4.6. Литература**

1. Учебное пособие для 10 кл. под ред. А.А.Пинского, §§20-24.

2. Г.С.Ландсберг, том 1, §§ 267, 268, 269.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Определение удельной теплоты парообразования воды

#### 5.1. Основные теоретические сведения.

Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется *парообразованием*.

Количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости при температуре кипения в пар той же температуры, называется *удельной теплотой парообразования  $r$* .

#### 5.2. Методика выполнения работы.

В калориметр массы  $m_k$  наливают некоторое количество воды  $m_v$  определенной температуры  $t_1$ , затем через воду в течение нескольких минут пропускают пар при температуре кипения или конденсации  $t_n=100^\circ\text{C}$ , затем измеряют наивысшую температуру смеси  $\theta$ .

Составляют уравнение теплового баланса, приравняв количество теплоты, отданное паром и водой, образовавшейся из пара при конденсации, к количеству теплоты, полученной водой и калориметром при нагревании до температуры смеси  $\theta$ .

#### Принятые обозначения.

Масса калориметра:  $m_k$

Масса калориметра с водой:  $m_{kv}$

Масса воды в калориметре:  $m_v$

Масса калориметра с водой после пропускания пара:  $m_{kvp}$

Масса пара в опыте:  $m_n = m_{kvp} - m_{kv}$

Температура воды в калориметре в начале опыта:  $t_1$

Температура воды в калориметре в конце опыта:  $\theta$

Температура парообразования воды:  $t_n$

Удельная теплоемкость калориметра:  $c_k$

Удельная теплоемкость воды:  $c_v$

#### **Приборы и принадлежности**

Калориметр, термометр, весы с разновесами, установка для получения пара (колба с водой, колбонагреватель, сухопарник).

**5.3. Порядок выполнения работы**

1. Подготовьте в тетради таблицу 5.1 для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 5.1.

$m_k$ кг	$m_{кв}$ кг	$m_b$ кг	$m_{квп}$ кг	$m_n$ кг	$t_1$ °C	$\theta$ °C	$r$ кДж/кг

2. Ознакомьтесь с правилами взвешивания на технических весах.
3. Определите массу калориметра на весах.
4. Налейте в калориметр воды (около 150 мл) и взвешиванием определите массу калориметра с водой.
5. Измерьте начальную температуру воды в калориметре. Температуру следует измерять перед самым погружением трубки сухопарника в калориметр.
6. Включите колбонагреватель и пропустите в течение нескольких минут пар (трубку от сухопарника следует погрузить в воду калориметра только после того, как пар пойдет из сухопарника сильной струей).
7. Определите наивысшую температуру смеси.
8. Определите с помощью весов массу калориметра с водой после опыта.
9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 5.1.
10. Вычислите удельную теплоту парообразования воды. Сравните ее с табличными значениями по справочнику.
11. Составьте заключение к работе.

**5.4. Контрольные вопросы**

1. Воду какой температуры следует брать для опыта и до какой наивысшей температуры нужно стремиться её довести?
2. Назначение сухопарника.
3. Окончив работу: нужно сначала вынуть паропровод, а затем выключить колбонагреватель. Почему?
4. С какой точностью следует производить взвешивание? Можно ли в данной работе заменить взвешивание определением количества воды при помощи мензурки?

**5.5. Литература**

1. Учебное пособие для 10 класса под редакцией А.А.Пинского, §§19,20,21.
2. Г.С.Ландсберг, том 1, §§ 292, 293, 295.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-6****Определение удельной теплоты плавления льда****6.1. Основные теоретические сведения**

Плавление кристаллического вещества происходит при определенной температуре, при этом поглощается некоторое количество тепла.

Количество тепла  $\lambda$ , необходимое для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкость той же температуры, называют *удельной теплотой плавления*  $\lambda$ .

Одним из методов определения удельной теплоты плавления является метод измерения  $\lambda$  с помощью калориметра с известной удельной теплоемкостью  $c_k$ .

**6.2. Методика выполнения работы**

В калориметр массы  $m_k$  наливают некоторое количество воды  $m_v$  определенной температуры  $t_1$ , затем туда опускают кусок начавшего таять льда массой  $m_l$  при температуре плавления ( $t_{пл}=0^\circ\text{C}$ ) и ждут, когда весь лед растает, и в калориметре установится тепловое равновесие; в этом состоянии измеряют температуру  $\theta$ .

Составляют уравнение теплового баланса, приравняв количество теплоты, отданное калориметром и водой к количеству теплоты, полученной льдом при плавлении, и водой, образовавшейся из льда, при ее нагревании до температуры равновесия. Из уравнения получают формулу для расчета удельной теплоты плавления.

**Принятые обозначения.**

Масса калориметра:  $m_k$

Масса калориметра с водой:  $m_{kv}$

Масса воды в калориметре:  $m_v = m_{kv} - m_k$

Масса калориметра с водой после таяния льда:  $m_{kvl}$

Масса льда в опыте:  $m_l = m_{kvl} - m_{kv}$

Температура воды в калориметре в начале опыта:  $t_1$

Температура воды в калориметре в конце опыта:  $\theta$

Температура плавления льда:  $t_l$

Удельная теплоемкость калориметра:  $c_k$

Удельная теплоемкость воды:  $c_v$

**Приборы и принадлежности**

Калориметр, термометр, весы с разновесами, лед в термосе, фильтровальная бумага.

**6.3. Порядок выполнения работы** 1. Подготовьте в тетради таблицу 6.1. для записи результатов измерений и вычислений.

Таблица 6.1.

$m_k$	$m_{кв}$	$m_в$	$m_{квл}$	$m_{л}$	$t_л$	$\theta$	$\lambda$
кг	кг	кг	кг	кг	°С	°С	кДж/кг

**Перед началом экспериментов ознакомьтесь с мерами предосторожности: осторожно обращайтесь с термометром, тщательно оберегайте его от ударов. Пользуясь термосом, соблюдайте осторожность; не применяйте усилий и сильных встряхиваний при извлечении льда.**

2. Ознакомьтесь с правилами взвешивания на технических весах.
3. Определите массу калориметра на весах.
4. Налейте в калориметр воды (около 150 мл) и взвешиванием определите массу калориметра с водой.
5. Измерьте начальную температуру воды в калориметре. Воду лучше взять подогретую до 30-35°С, т.к. при этом будут до некоторой степени скомпенсированы тепловые потери в конце опыта, обусловленные притоком тепла извне, когда температура после таяния льда станет ниже комнатной.
6. Опустите в воду кусочек таящего льда, предварительно осушив его фильтровальной бумагой.
7. Осторожно помешивая воду стеклянной палочкой, отметьте самую низкую температуру, которая будет достигнута в калориметре.
8. Определите с помощью весов массу калориметра с водой после опыта.
9. Результаты измерений занесите в таблицу 6.1.
10. Вычислите удельную теплоту плавления. Сравните ее с табличным значением из справочника.
11. Составьте заключение к работе.

#### **6.4. Контрольные вопросы**

1. Как скажется на конечном результате опыта попадание капелек воды со льдом в калориметр?
2. Какие величины в данном опыте измеряются с большей относительной точностью?
3. С какой целью желательно налить воду в калориметр с температурой несколько выше комнатной?
4. Что нужно сделать с калориметром, чтобы уменьшить его теплообмен с окружающими телами?

#### **6.5. Литература**

1. Учебное пособие для 10 класса под редакцией А.А. Пинского, §§19 20,24.
2. Г.С. Ландсберг, том 1, §§ 267, 268, 269.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-7а

### Сравнение молярных теплоемкостей металлов

#### 7а.1. Основные теоретические сведения

*Теплоемкостью тела* называется величина, равная количеству теплоты, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на один градус:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (7a.1)$$

где  $Q$  - количество теплоты, подведенное к телу,

$\Delta T$  – приращение температуры тела.

Теплоемкость единицы массы вещества называется *удельной теплоемкостью*

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T} \quad (7a.2)$$

где  $m$  – масса вещества, к которому подводится тепло.

Теплоемкость моля вещества называется *молярной теплоемкостью*

$$C_{\mu} = \frac{\mu}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T} \quad (7a.3)$$

где  $\mu$  – масса одного моля (молярная масса).

В области комнатных температур молярная теплоемкость химически простых веществ в кристаллическом состоянии одинакова и равна

$$C_{\mu} = 3 R = 25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}} \quad (7a.4)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Это утверждение составляет содержание закона Дюлонга и Пти, установленного опытным путем.

Температуры  $\theta$ , выше которых выполняется закон Дюлонга и Пти, приведены в таблице 7а.1 для некоторых кристаллических веществ.

Таблица 7а.1

Вещество	$\theta$ , К	масса моля, г
Железо	453	57
Медь	315	64
Свинец	88	207
Серебро	215	108



**7а2. Методика выполнения работы**

Установка для определения удельной теплоемкости твердых тел состоит из калориметра, нагревательного устройства (электроплитки) и сосуда для нагревания образцов, термометра для измерения температуры воды в калориметре, технических весов для взвешивания образцов. В начале опыта производится взвешивание сухого калориметра и калориметра, заполненного водой, и измеряется температура воды в калориметре  $t_1$ , затем образец № 1, нагретый до температуры кипения воды в нагревателе  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ , помещают в калориметр и измеряют температуру воды в нем –  $\theta$  при установившемся тепловом равновесии. Образец взвешивают на весах, предварительно осушив его фильтровальной бумагой.

Так же поступают с образцом № 2.

Составляют уравнение теплового баланса и из него получают формулу для определения удельной теплоемкости исследуемого образца, если известны следующие величины:

масса исследуемого образца -  $m_1$ ;

масса сухого калориметра -  $m_2$ ;

масса калориметра с водой -  $m_3$ ;

начальная температура воды в калориметре -  $t_1$ ;

температура нагретого образца -  $t_2$ ;

температура воды в калориметре после установления теплового равновесия -  $\theta$ .

удельная теплоемкость материала калориметра -  $c_1$ ;

удельная теплоемкость воды -  $c_2$ ;

**Приборы и принадлежности**

Термометр, весы, два калориметра, образцы различных материалов.

**7.3. Порядок выполнения работы**

1. Приготовьте таблицу 7а.2. для записи результатов измерений.
2. Ознакомьтесь с правилами взвешивания на технических весах.
3. Проведите взвешивание калориметров, калориметров с водой, образцов, результаты измерений запишите в таблицу 7а.2.
4. Образцы положите в сосуд для нагревания и прогрейте их в течение 10 минут при температуре кипения воды.
5. Опустите в один калориметр образец № 1, взяв его пинцетом из нагревателя (образец № 2 пока остается в нагревателе).
6. Опустите термометр в калориметр и определите температуру при установившемся тепловом равновесии первого образца с водой и сосудом.
7. Результат запишите в таблицу 7а.2.

## Лабораторная работа № Т-7

8. Опустите второй образец и определите температуру (для второго образца).
9. Проведите расчет удельной теплоемкости, используя полученную формулу.
10. Определите молярную теплоемкость каждого образца по формуле  $C_{\mu} = c \cdot \mu$  и сравните их.
11. Напишите заключение к работе.

Таблица 7а.2

Измеряемый параметр	Образец №1	Образец №2
Атмосферное давление		
Масса образца $m_1$ , кг		
Масса сухого калориметра $m_2$ , кг		
Масса калориметра с водой $m_3$ , кг		
Масса воды в калориметре $m_3 - m_2$ , кг		
Начальная температура воды в калориметре $t_1$		
Температура образца $t_2$		
Температура в калориметре при тепловом равновесии $\theta$		
Удельная теплоемкость $c$		
Молярная теплоемкость $C_{\mu}$		

### 7.4. Контрольные вопросы.

1. Почему для свинцового образца молярная теплоемкость ближе к значению  $25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ , а для других образцов меньше?
2. Имеется две монеты: одна серебряная, другая бронзовая, покрытая серебром. Можно ли путем измерения молярной теплоемкости выявить серебряную монету? Можно ли выявить ее путем измерения удельной теплоемкости?

### 7.5. Литература

1. Учебное пособие для 10 класса под редакцией А.А.Пинского, §§16,32.
2. Г.С.Ландсберг, том 1, §§ 207, 208, 209.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-7в

**Определение молярных теплоемкостей металлов.****7в.1. Цель работы**

Определение удельной и молярной теплоемкостей образцов и подтверждение выполнения закона Дюлонга – Пти.

**7в.2. Основные теоретические сведения**

Внутренняя энергия системы тел может изменяться при двух видах процессов:

1. При совершении работы.
2. При передаче теплоты (теплообмене).

Теплообменом называется такой самопроизвольный необратимый процесс, при котором внутренняя энергия одних тел уменьшается, а других – соответственно увеличивается, причем механическая энергия тел не изменяется и никакая работа не совершается.

Для характеристики процесса передачи теплоты вводится понятие «количество теплоты».

Количество теплоты – мера энергии переданной системе при теплообмене.

Теплоемкостью тела (системы) называется величина, равная отношению количества теплоты, которое нужно сообщить системе в некотором равновесном процессе, к изменению температуры системы

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (7в.1)$$

где  $Q$  - количество теплоты, подведенного к телу (системе),

$\Delta T$  - приращение температуры тела.

Удельной теплоемкостью называют теплоемкость единицы массы вещества:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T}, \quad (7в.2)$$

где  $m$  – масса вещества, к которому подводится тепло.

Молярной теплоемкостью называют теплоемкость одного моля вещества:

$$C_{\mu} = \frac{\mu}{m} \cdot \frac{Q}{\Delta T}, \quad (7в.3)$$

где  $\mu$  - масса одного моля (молярная масса).

В области комнатных температур молярная теплоемкость химически простых веществ в кристаллическом состоянии одинакова и равна

Лабораторная работа № Т-7

$$C_{\mu} = 3R = 25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}, \quad (7\text{в.4})$$

где R - универсальная газовая постоянная.

Это утверждение составляет содержание закона Дюлонга и Пти. Температуры  $\theta$ , выше которых выполняется закон Дюлонга и Пти, приведены в таблице 7в.1 для некоторых кристаллических веществ.

Таблица 7в.1

Вещество	$\theta$ , К	Масса моля, г
Железо	453	57
Медь	315	64
Свинец	88	207
Серебр	215	108

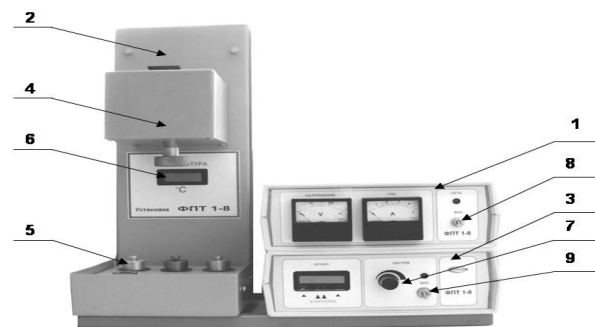


Рис. 7в.1

Установка ФПТ1-8 Общий вид

1. Блок приборный БП-8
2. Блок РЭ-8
3. Стойка

4. Нагреватель
5. Образцы
6. Контроллер для измерения температуры
7. Ручка потенциометра
8. Тумблер «ВКЛ.» в модуле питания «СЕТЬ»
9. Тумблер «ВКЛ.» в модуле питания «НАГРЕВ»

### **7в.3. Устройство и принцип работы установки ФПТ1-8.**

Установка ФПТ1-8 (рис.7в.1) для определения удельной теплоемкости твердых тел представляет собой конструкцию настольного типа, состоящую из трех основных элементов: блока приборного БП-8 (поз.1), блока рабочего элемента РЭ-8 (поз.2), стойки (поз.3)

Блок приборный БП-8 представляет собой единый конструктив со съемной крышкой, съемными лицевыми панелями. Внутри блока размещены печатная плата с радиоэлементами, органы подключения, регулирования, трансформаторы.

На лицевой панели блока приборного БП-8 находятся цифровой контроллер для измерения времени, амперметр, вольтметр, органы управления и регулирования установки.

Визуально блок приборный разделен на три функциональных узла: узел «ИЗМЕРЕНИЕ», узел «НАГРЕВ»; узел «СЕТЬ».

Узел «ИЗМЕРЕНИЕ» состоит из цифрового контроллера для измерения времени, амперметра, вольтметра и осуществляет замер величины тока, напряжения, времени проведения опыта.

Узел «НАГРЕВ» осуществляет включение и регулирование нагрева нагревателя.

Узел «СЕТЬ» осуществляет подключение установки к сети питающего напряжения.

Сзади приборного блока БП-8 установлены: разъем для подключения кабеля от блока РЭ-8, сетевой шнур с вилкой, сетевой предохранитель.

Блок РЭ-8 представляет собой коробчатый конструктив, укрепленный на горизонтальном основании стойки. Несущими узлами блока РЭ-8 являются панель и кронштейн, скрепленные между собой винтами. Спереди блок РЭ-8 закрыт съемным экраном из оргстекла, при выполнении работы экран навешивается на заднюю стенку блока РЭ-8.

На панели расположен цифровой контроллер для измерения температуры, внизу на выступающей панели размещены образцы из

различных материалов и рукоятка для установки образцов в нагреватель.

Нагреватель состоит из металлического кожуха, теплоизолирующего материала, калориметра, с намотанной на нем спиралью, ручки для выталкивания образца из калориметра. В калориметр вмонтирован датчик контроллера для измерения температуры.

Стойка (поз. 3) представляет собой настольную конструкцию с горизонтальным основанием для установки приборного блока БП-8 и блока рабочего элемента РЭ-8.

#### 7в.4. Технические характеристики

##### 7в.4.1. Характеристики исследуемых образцов

Материал	Габаритные размеры, мм
Сталь 3	$\phi 30 \times 35,5$
Алюминий Д16	$\phi 30 \times 35,5$
Латунь А63	$\phi 30 \times 35,5$

##### 7в.4.2. Характеристики установки

1. Нагрев калориметра осуществляется выпрямленным током.
2. Максимальная температура нагрева, °C  $\pm 44$
3. Погрешность измерения температуры, 5
4. Диапазон регулирования напряжения на нагревателе, В 2...20
5. Номинальное напряжение на нагревателе, В 18
6. Погрешность измерения напряжения на нагревателе, %, не более 5
7. Погрешность измерения тока на нагревателе %, не более 5
8. Диапазон измерения цифрового контроллера для измерения времени, сек. - 1... 1999
9. Погрешность измерения времени контроллера, %, не более 2
10. Питание установки от сети переменного тока:  
напряжение, В 220  
частота, Гц 50 $\pm$ 1
11. Потребляемая мощность, Вт, не более 130
12. Габаритные размеры, мм, не более 430x4,80x220
13. Масса установки, кг, не более 5

##### 7в.5. Принцип действия установки

Удельная теплоемкость твердого тела определяется по формуле:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{Q_o}{\Delta T}, \quad (7в.5)$$

где:  $c$  – удельная теплоемкость тела;

$Q_o$  – количество теплоты, поглощенном образцом при нагревании на  $\Delta T$ ;

$m$  – масса образца;

$\Delta T$  – разность конечной и начальной температур.

В ходе эксперимента определяется количество теплоты, получаемого калориметром и помещенным в него образцом при их совместно нагреве. Если для нагрева пустого калориметра на  $\Delta T$  требуется  $Q_k$  Джоулей тепла, а для нагрева калориметра с исследуемым образцом для нагрева на те же  $\Delta T$  требуется  $Q_\Sigma$  тепла, то в этом случае для нагрева самого образца идет

$$Q_o = Q_\Sigma - Q_k \quad (7в.6)$$

В установке ФПТ 1-8 нагрев образца и калориметра производится пропусканием тока через нагреватель.

Количество теплоты, выделяемое нагревателем:

$$Q = IUt, \quad (7в.7)$$

где:  $I$  – ток через нагреватель;  
 $U$  – напряжение на нагревателе;  
 $t$  – время нагрева;

Если мощность нагревателя остается постоянной в течении всего эксперимента, то после подстановки выражения для количества теплоты из формулы (7в.7) в формулу (7в.6) получим (где:  $t_o$  – время нагрева калориметра с образцом, тогда

$$Q_o = IU(t_o - t_k),$$

(7в.8)

где:  $t_k$  – время нагрева пустого калориметра на  $\Delta T$ ,

$t_o$  – время нагрева калориметра с образцом, на  $\Delta T$  тогда

$$\text{удельная теплоемкость образца } c = \frac{IU(t_o - t_k)}{m\Delta T}, \quad (7в.9)$$

$$\text{молярная теплоемкость образца } c_\mu = \frac{\mu IU(t_o - t_k)}{m\Delta T} \quad (7в.10)$$

#### 7в.6. Порядок работы

1. Приготовьте таблицу 7в.2. для записи результатов измерений.

2. Определите массы представленных образцов (масса находится либо взвешиванием на технических весах, либо косвенным методом – находим объем вытесненной образцом жидкости и умножаем на табличное значение плотности материала образца).

3. Выведите на минимум ручку потенциометра.

4. Подключите вилку питания к розетке сети переменного тока напряжением 220В, 50Гц.

5. Включите тумблер «ВКЛ.» в модуле питания «СЕТЬ». При этом загорается сигнальная лампа.

6. Убедитесь, что в калориметре отсутствует образец. Плотно закрыть крышку калориметра.

7. Включите тумблер «ВКЛ.» в модуле «НАГРЕВ». При этом загорается сигнальная лампа. Регулятором модуля установить заданную мощность нагрева. (Установить напряжение, подаваемое на нагреватель, в пределах 18-20В. Определить ток нагревателя по амперметру). Результаты записать в таблицу. Мощность нагревателя рассчитывается по формуле

$$P = IU, \quad (7в.11)$$

где Р - мощность нагревателя,

I - ток нагревателя,

U - напряжение подаваемое на нагреватель.

8. Контролируйте температуру по цифровому контроллеру для измерения температуры. Временные интервалы отсчитываются по цифровому контроллеру измерения времени.

9. Для быстрого охлаждения калориметра выключите нагрев, откройте крышку, опустите в калориметр один из образцов. Температура начнет понижаться. Когда темп охлаждения снизится, нагретый образец выньте и вложите следующий (холодный).

Для вынимания образца надо поверните по часовой стрелке винт в нижней части калориметра, после чего вытащите образец рукояткой.

10. Нагрев калориметра с исследуемым образцом производите через 2-3 минуты после помещения образца в калориметр и закрытия крышки.

Примечание: диапазон температур нагрева пустого калориметра и калориметра с образцом должен совпадать.

11. Проведите определение удельной теплоемкости и молярной теплоемкости для всех образцов. Определите погрешность, с которой эти величины получены.

12. Проверить справедливость закона Дюлонга-Пти.

13. Напишите заключение к работе.

Таблица 7в.2



Измеряемый параметр	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Напряжение нагревателя, В			
Ток нагревателя, А			
Начальная температура калориметра, $^{\circ}\text{C}$			
Конечная температура калориметра, $^{\circ}\text{C}$			
Время нагрева пустого калориметра, с			
Время нагрева калориметра с образцом, с			
Молярная масса материала образца, кг/моль			
Удельная теплоемкость $\frac{\partial Q}{\partial T \cdot K}$			
Молярная теплоемкость $\frac{\partial Q}{\partial T \cdot \text{моль} \cdot K}$			

**7в.6. Контрольные вопросы**

1. Алюминиевую и серебряную ложки одинаковой массы опустили в кипяток. Одинаковое ли количество теплоты они получают от воды? Почему?

2. По куску свинца и куску стали, массы которых равны, ударили молотком одинаковое число раз. Какой кусок больше нагреется? Что изменится, если куски будут иметь одинаковые размеры?

3. Почему для повышения точности эксперимента необходимо нагрев калориметра с исследуемым образцом производить через 2-3 минуты после помещения образца в калориметр и закрытия крышки?

**7в.7 Литература**

1. Учебное пособие для 10 класса под редакцией А.А.Пинского, §§16, 32.
2. Г.С.Ландсберг, том I, §§207, 208, 209.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-8

### Определение относительной влажности воздуха

#### 8.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление с принципами действия приборов для измерения относительной влажности воздуха.

#### 8.2. Основные теоретические сведения

Атмосферный воздух является смесью различных веществ в газообразном состоянии, в состав которой также входят водяные пары.

Водяной пар, как и пары других жидкостей, представляет собой газообразную фазу вещества, но этот газ не подчиняется известным законам идеального газа.

Пар, находящийся в равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным. Состояние равновесия предполагает наличие в данном объеме и газообразной фазы (пара) и образующей его жидкости (хотя бы в виде мелких капель, как, например, в условиях тумана или росы). Если пар является насыщенным, то в данном объеме находится самая большая для данной температуры масса пара. Давление пара  $p_{\text{нас}}$ , при котором жидкость находится в равновесии со своим паром, называется давлением (или упругостью) насыщенного пара. Упругость водяного пара – это парциальное давление паров воды, т.е. давление, которое производил бы водяной пар при отсутствии всех остальных газов. Давление насыщенного пара при данной температуре не зависит от объема. Это можно объяснить тем, что, например, при сжатии насыщенного пара часть вещества конденсируется в жидкость, а сконденсированная масса жидкости занимает меньший объем, чем та же масса пара.

Численные значения  $p_{\text{нас}}$  для различных температур и жидкостей имеются в справочниках. Если равновесие между жидкостью и паром нарушается в сторону образования газообразной фазы, то может наступить состояние, когда вся жидкость испарится, а давление пара будет меньше  $p_{\text{нас}}$  при данной температуре. Такой пар называется ненасыщенным.

Независимо от вида водяного пара для количественной оценки содержания его в воздухе можно использовать понятие абсолютной влажности или плотности  $\rho$ , т.е. массы водяного пара в единице объема.

Водяной пар в воздухе не всегда является насыщенным. Относительное содержание водяного пара в воздухе характеризуется относительной влажностью. Относительной влажностью воздуха называют отношение парциального давления  $p$  водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению  $p_0$  насыщенного пара при той же температуре или отношение соответствующих плотностей, выраженное в процентах.

$$r = \frac{p}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$$

где  $\rho$  - плотность водяного пара при данной температуре,

$\rho_{\text{нас}}$  - плотность насыщенного водяного пара при данной температуре воздуха.

На практике чаще пользуются оценкой относительной влажности, поэтому целесообразно рассмотреть методы ее измерения.

Атмосферный воздух представляет собой смесь газов. Сухой, не содержащий влаги, воздух имеет 78% азота, 21% кислорода и 1% других газов.

В состав атмосферного воздуха входит водяной пар. Количество водяного пара в воздухе зависит от географической широты, высоты места над уровнем моря, времени года, погодных условий и других факторов.

### 8.3. Методика выполнения работы

Существует несколько способов определения относительной влажности воздуха. В данной работе относительную влажность определяют при помощи психрометра, конденсационного и волосного гигрометров.

1. Психрометром (рис.8.1.) определяют относительную влажность по разности температур сухого и влажного термометров и специальной таблице.

2. Конденсационным гигрометром (рис.8.2.) определяют относительную влажность путем нахождения точки росы, т.е. температуры, насыщенным, и с помощью таблицы зависимости давления насыщенного пара от температуры.

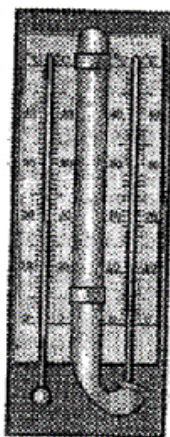


Рис.8.1.



Рис.8.1.

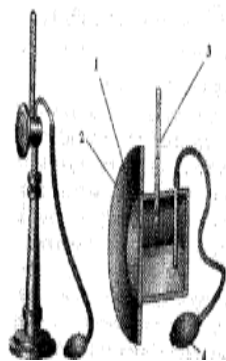


Рис.8.2.



рис.8.3

Чтобы легче заметить появление росы на поверхности охлаждаемой камеры 1, ее окружают металлическим кольцом 2 с теплоизолирующей прокладкой. Наблюдение за появлением росы проводят путем сравнения поверхности охлаждаемой камеры с блестящей поверхностью кольца, которая во время опыта остается без изменения.

Волосной гигрометр (рис.8.3.) состоит из обезжиренного человеческого волоса, один конец которого закреплен вверху прибора, а другой соединен со стрелкой. Волос обладает гигроскопичностью, т.е. поглощает водяные пары из воздуха и удлиняется.

В сухом воздухе волос теряет влагу и укорачивается. Волосной гигрометр непосредственно показывает относительную влажность в процентах. Проверку и установку волосного гигрометра производят на основании определения относительной влажности воздуха при помощи психрометра. Для установки стрелки гигрометра на соответствующее деление шкалы служит регулировочный винт -1.

#### **Приборы и принадлежности:**

Психрометр бытовой.

Гигрометр конденсационный металлический.

Гигрометр волосной.

Термометр лабораторный от 0° до 100° С.

Таблица психрометрическая.

Таблица давления насыщенных паров воды.

Эфир в склянке с пробкой.

Воронка, барогигрометр.

#### **8.4. Порядок выполнения работы**

**Задание 1. Определение относительной влажности психрометром.**

1. Ознакомиться с устройством психрометра.
2. Определите показания его термометров, запишите в тетрадь в предварительно заготовленную таблицу 8.1. и вычислите разность температур.

3. По психрометрической таблице определите относительную влажность воздуха. Результаты наблюдений и расчетов запишите в таблицу 8.1.

Таблица 8.1.

Показания сухого термометра $t_1, ^\circ\text{C}$	Показания влажного термометра $t_2, ^\circ\text{C}$	Разность температур $t_1 - t_2, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность воздуха $r, \%$

**Задание 2. Измерение относительной влажности конденсационным гигрометром.**

1. Ознакомиться с устройством конденсационного гигрометра.
2. Протрите мягкой тканью полированную стенку и кольцо гигрометра до полного блеска.
3. Определите температуру воздуха в комнате и запишите ее в таблицу 8.2.
4. Налейте в камеру гигрометра (наполовину) эфир, вставьте в нее термометр 3 (рис.8.2.) и присоедините грушу 4.

**Предупреждение! Пары эфира огнеопасны, поэтому не допускайте вблизи прибора открытого пламени.**

5. Установите прибор так, чтобы зеркальная поверхность его была расположена под углом  $30-40^\circ$  к направлению луча зрения. Аккуратно, без образования брызг, продувайте с помощью резиновой груши воздух через эфир и внимательно следите за полированной поверхностью стенки камеры, сравнивая ее с поверхностью кольца.

Таблица 8.2.

№ опыта	Температура воздуха $t, ^\circ\text{C}$	Температура появления росы $t_1, ^\circ\text{C}$	Температура исчезновения росы $t_2, ^\circ\text{C}$	Точка росы $t_0, ^\circ\text{C}$	Среднее значение точки росы $\langle t_0 \rangle, ^\circ\text{C}$
1					
2					
3					
4					

6. В момент появления росы на стенке камеры заметьте показание термометра  $t_1$ , прекратите продувание воздуха и продолжайте наблюдения, чтобы зафиксировать показание термометра  $t_2$  в момент полного исчезновения росы.

7. Проведите опыт еще три раза, стараясь возможно точнее определить температуры появления и исчезновения росы. Результаты опыта запишите в таблицу 8.2. По окончании наблюдений оставшийся в гигрометре эфир слейте в склянку и плотно закройте ее.

8. Для каждого опыта вычислите и примите среднее значение наблюдаемых температур  $t_1$  и  $t_2$  за точку росы  $t_0$  по формуле:

$$t_0 = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Вычислите среднее значение точки росы  $\langle t_0 \rangle$  по формуле:

$$9. \quad \langle t_0 \rangle = \frac{\sum t_{0i}}{4}$$

и относительную погрешность измерений:

$$10. \quad \varepsilon = \frac{\Delta t}{\langle t_0 \rangle}$$

где  $\Delta t$  – половина цены деления термометра.

11. Зная температуру воздуха  $t$  °С и точку росы  $\langle t_0 \rangle$  °С, вычислите относительную влажность, воспользовавшись таблицей давления насыщенного пара в зависимости от температуры.

**Задание 3. Измерение относительной влажности волосным гигрометром.**

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия волосного гигрометра.

2. Установить указатель волосного гигрометра с помощью регулировочного винта 1 на то значение относительной влажности, которое вы определили с помощью психрометра.

3. Подышите на волос гигрометра и понаблюдайте за поведением стрелки.

4. Определите относительную влажность по показателям барогигрометра. Запишите в тетрадь результат и сравните с результатами предыдущих опытов.

5. Напишите заключение к работе.

**8.5. Контрольные вопросы**

1. Что называется относительной влажностью воздуха?
2. Когда разность показаний термометров психрометра больше: когда воздух в комнате более сухой или более влажный?
3. Как скажется на результатах опыта близость нахождения экспериментатора к гигрометру во время опыта? Что целесообразнее сделать для устранения этого влияния?
4. Почему в гигрометре для охлаждения применяется эфир или спирт?
5. Зачем через эфир гигрометра продувают воздух?
6. Из наблюдений известно, что при подъеме вверх в сухой атмосфере температура понижается примерно на  $1^{\circ}\text{C}$  на 100м подъема. Во влажной атмосфере (например, над поверхностью океана, в безветренную погоду) понижение температуры оказывается значительно слабее - всего  $0,5^{\circ}\text{C}$  на каждые 100м. Как это объяснить?

**8.6. Литература**

1. Учебное пособие для 10 класса под редакцией Пинского §19, 21.
2. Г.С.Ландсберг, том 1, § 306.

**Приложение**

Таблица 8.3.

Зависимость упругости и плотности насыщенного водяного пара от абсолютной температуры

T, K	273	275	277	279	281	283	285	287	289	291	293	373
$p_n$ , кПа	0,60 9	0,70 4	0,81 1	0,93 3	1,07	1,22	1,40	1,59	1,81	2,06	2,33	100
$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	4,84	5,60	6,40	7,30	8,30	9,40	10,7	12,1	13,6	15,4		

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-9**

### **Изучение приборов измерения температуры**

#### **9.1. Цель работы**

Целью работы является изучение контактных и бесконтактных методов измерения температуры.

#### **9.2. Основные теоретические сведения**

Температура – основное понятие молекулярно-кинетической теории и термодинамики. Согласно классической термодинамике, это параметр состояния, который характеризует степень нагретости тела.

Непосредственно измерить температуру невозможно. Существующие методы ее измерения основаны на использовании однозначной взаимосвязи между температурой и другой физической величиной (объемом, давлением, ЭДС, сопротивлением и т.д.).

В соответствии с Международной температурной шкалой 1990 г. (МТШ-90), основной температурой является термодинамическая температура  $T$ , единица которой – кельвин (К). Между чаще применяемой на практике температурой по шкале Цельсия  $t$  (°C) и термодинамической температурой существует следующее соотношение:

$$t = T - 273,16. \quad (9.1)$$

Для измерения температур применяют контактные и бесконтактные методы, причем контактные методы более просты и точны. В связи с необходимостью непосредственного контакта измеряемой среды с чувствительным элементом может возникнуть несоответствие температуры чувствительного элемента и среды. Это несоответствие имеет место при стационарном режиме, если происходит теплообмен между теплоприемником и измеряемой средой или частями технического оборудования. При отводе (подводе) теплоты от теплоприемника вследствие теплопроводности или излучения возникает погрешность измерения, которая описывается довольно сложным выражением. Однако принципиально эту составляющую систематической погрешности можно учесть

Контактные термометры различаются по принципу действия.

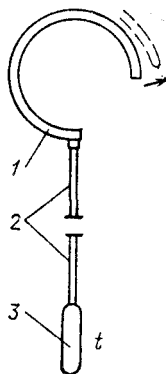
1. Термометры, основанные на тепловом расширении вещества, широко используются с термометрическим телом в жидком состоянии; это жидкостно-стеклянные термометры. Но имеются термометры и с



твердым термометрическим телом: дилатометрические и биметаллические; их действие основано на различии коэффициентов линейного теплового расширения двух материалов (например, инвар – латунь, инвар – сталь).

В жидкостно-стеклянных термометрах, изучаемых в данной лабораторной работе, столбик жидкости термометра всегда выступает над средой, температуру которой хотят измерить. При точных измерениях необходимо проводить корректировку результатов измерений, вводя так называемую поправку на выступающий столбик. В случае ртути эта поправка рассчитывается по специальной методике. Часто термометры снабжаются защитной оболочкой, что еще больше снижает точность измерений.

3. Термометры, основанные на измерении давления вещества, – это манометрические термометры, которые представляют собой замкнутую герметичную термосистему (рис. 9.1), состоящую из термобаллона 3, манометрической пружины 1 и соединяющего их капилляра 2. Действие термометра основано на температурной зависимости давления газа (например, азота) или жидкости, заполняющих герметичную термосистему, или на температурной зависимости упругости насыщенного пара в парожидкостных (конденсационных) термометрах.



**Рис.9.1** Манометрический термометр

Манометрические термометры выпускаются как технические приборы для измерения температуры от  $-150$  до  $+600$  °С, в зависимости от природы термометрического вещества (со специальным заполнением до  $1000$  °С).

Термоприемник, представляющий собой термобаллон, ограничивает область применения термометра измерением температуры газообразных и жидких сред.

3. Термометры, основанные на температурной зависимости термо-ЭДС, – это термоэлектрические термометры или термопары. Если подогревать точку контакта концов двух проводов из двух различных металлов или сплавов (например, меди и константана), одновременно поддерживая на других концах этих проводов более низкую температуру, в них возникает электродвижущая сила (термо-э.д.с.), величина которой зависит от разности температур горячей и холодной точек контакта (спаев) и может быть измерена с помощью

милливольтметра. Этот принцип измерения температур носит название термоэлектрического или термопарного.

В приложении 2 показаны характеристики наиболее распространенных термопар с диапазонами их применения.

При подключении измерительного прибора к термопарной цепи возможны две схемы:

- а) с разрывом одного из термопарных проводов (рис. 9.2);
- б) с разрывом холодного спая термопары (рис. 9.3);
- в) для измерения малой разности температур часто используется термобатарея, состоящая из нескольких последовательно соединенных термопар – гипертермопар, что позволяет увеличить точность измерения в  $n$  раз, где  $n$  – число термопар.

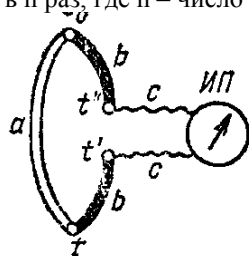


Рис. 9.2.

Схемы подключения термопары

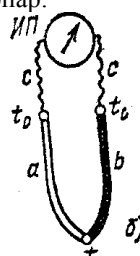


Рис. 9.3.

Для измерения температуры термоэлектрическим термометром необходимо измерить термо-ЭДС, развиваемую термометром, и температуру свободных концов. Если температура свободных концов термометра при измерении температуры равна  $0^\circ\text{C}$ , то измеряемая температура определяется сразу из градуировочной характеристики (таблиц, графиков) - рис. 9.4.

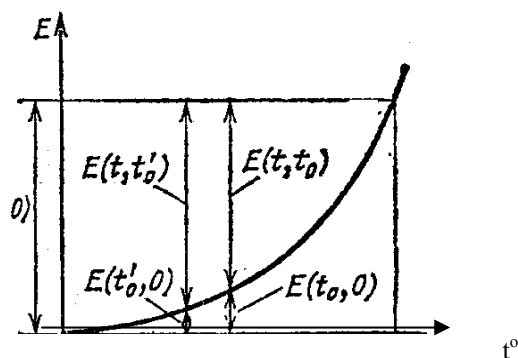


Рис. 9.4. Градуировочный график

### 9.3. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис.9.5.) состоит из термопары, изготовленной из двух проволок М и К, М – никель-хром, К – никель. Проволоки М и К спаяны концами I и II. Концы разомкнутого никельного электрода присоединены к милливольтметру -mV. Спай II помещается в стальной сосуд, который может нагреваться от нагревателя, спай I помещен в калориметр, температура в котором поддерживается постоянной и равной 0°C. В обоих сосудах помещены термометры.

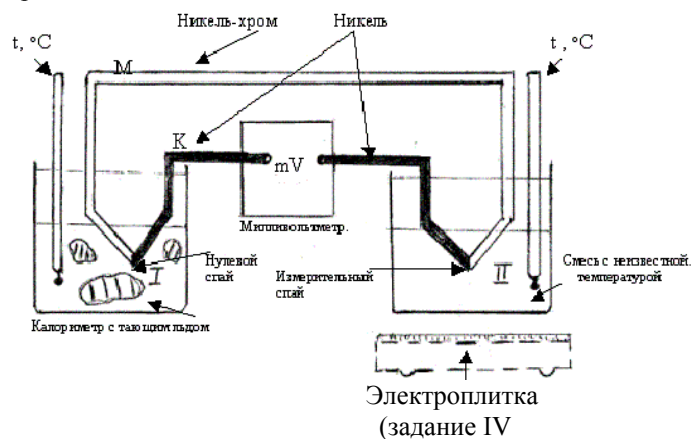


Рис. 9.5.

**9.4. Используемые в работе приборы**

1. Калориметры, колба.
2. Спиртовые термометры.
3. Стальной сосуд.
4. Электроплита.
5. Манометрический термометр.
6. Термопара с известной градуировочной таблицей
7. Милливольтметр.
8. Неизвестная термопара.

**9.5. Порядок выполнения работы**

I. Налейте в один калориметр холодную воду ( $\approx 100$  мл). Измерьте ее температуру спиртовым термометром. Запишите в таблицу.

Повторите опыт с горячей водой, налитой во второй калориметр.

Повторите измерение температуры, соединив объемы холодной и горячей воды.

Запишите данные в таблицу 9.1.

Таблица 9.1.

Вид термометра	Температура холодной воды, К	Температура горячей воды, К	Температура смеси, К	$\Delta t^\circ$ , К

II. Налейте смесь горячей и холодной воды в колбу, закройте герметичной пробкой с манометрическим термометром – измерьте температуру смеси. Результат измерения запишите в таблицу 9.1.

III. Соберите электрическую схему рис. 9.5.

Для создания нулевой точки используется калориметр, в который помещают тающий лед. Опустите нулевой спай I термопары хромель-копель (никель/никель-хром) в этот калориметр.

Опустите измерительный спай II термопары в воду, температуру которой надо измерить. Измерьте термо-э.д.с. По градуировочной кривой, приведенной в приложении 2, определите температуру смеси. Результат измерения запишите в таблицу 9.1.

IV. Тарировка неизвестной термопары.

1. Налейте холодную воду в стальной сосуд для подогрева воды, закрепленный на электроплитке.

## Лабораторная работа № Т-8

2. Опустите спиртовой термометр, укрепленный на штативе, в воду.
3. Включите в электрическую схему (рис. 9.5) неизвестную термопару.
4. Опустите нулевой спай I неизвестной термопары в калориметр со смесью льда и воды.
5. Опустите измерительный спай II термопары в стальной сосуд.
6. Включите электроплитку.
7. После увеличения температуры воды на  $5^{\circ}$  (по показаниям спиртового термометра) отключите электроплитку.
8. Через 2 минуты включите вольтметр и измерьте термо-э.д.с. Результат занесите в таблицу 9.2.
9. Повторите пп. 6 - 8 десять раз.

Таблица 9.2.

$t, ^{\circ}\text{C}$										
$\varepsilon, \text{мВ}$										

Постройте график зависимости электродвижущей силы, возникающей в неизвестной термопаре, от температуры. Определите вид неизвестной термопары по тарифовочным графикам приложения 2.

10. определите температуру тела пальцев с помощью этой термопары.

Выньте спай II термопары из сосуда с водой, зажмите его между пальцев и продержите не менее 5 минут. Включите милливольтметр и измерьте термо э.д.с.

Пользуясь градуированным графиком, определите температуру тела пальцев.

V. Напишите заключение к работе.

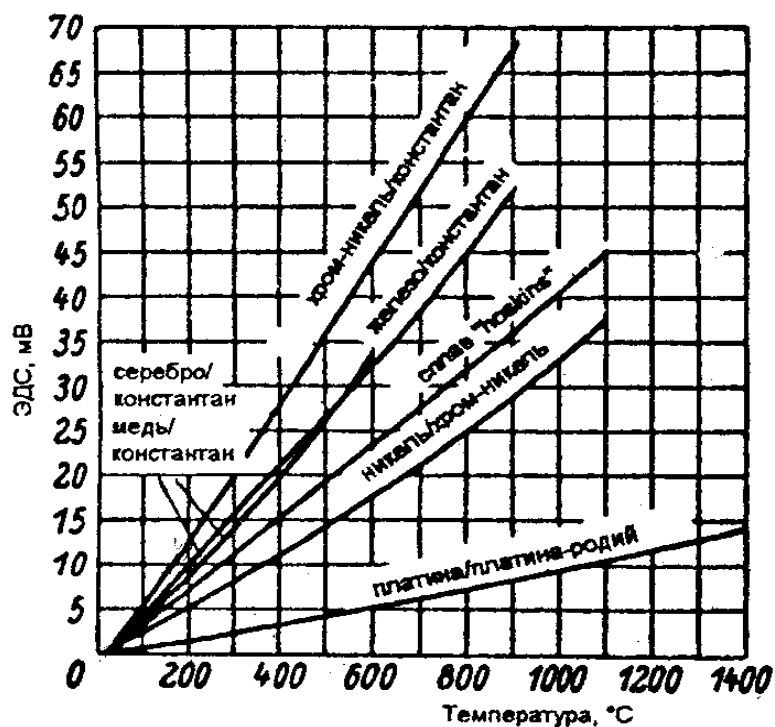
### 9.6. Контрольные вопросы.

1. Виды контактных термометров.
2. Что представляет собой термопара и от каких величин зависит ее электродвижущая сила?
3. Как измерить температуру при помощи термометра?

## Приложение 1

Диапазоны использования термометров различных типов

Измерительный прибор	Диапазон измерений, °С
Спиртовой термометр	-100...+50
Обычный ртутный термометр из простого стекла	-35...+300
Ртутный термометр из стекла с газовым заполнением	-35...+500
Ртутный термометр из кварцевого стекла	-35...+800
Термометр с биметаллической пластиной	до +300
Термометр с твердым стержнем, меняющим длину	до +600
Термометр с жидкостью, меняющей объем (плотность)	-25...+500
Термометр с никелевым сопротивлением	100...+150
Термометр с платиновым сопротивлением	200...+500
Термопара медь/константан	200...+500
Термопара железо/константан	200...+800
Термопара никель/никель-хром	200...+1100
Термопара платина/платина-родий	-200...+1600
Оптический пирометр	+600 и выше без ограничений



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика. Учебное пособие для 10 кл. и классов с углубленным изучением физики. /Ю.И.Дик, О.Ф.Кабардин, В.А.Орлов и др.; Под ред. А.А.Пинского - М.: Просвещение, 1993. -416 с.: ил. - ISBN 5-09-004011-7.
  2. Элементарный учебник физики: учебное пособие в 3 т. /под ред. Г.С.Ландсберга: Т.1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. - 12-е издание. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000г. - 608 с. - ISBN 5-9221-002-5 (Т.1).
- Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. Учебник для 10 классов средней школы. М.: Просвещение, 1990- 223с.: илл. – ISBN 5-09-001824-3

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-10

**Определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме****10.1 Цель работы**

Целью работы является определение отношения молярных теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме по методу Клемана -Дезорма.

**10.2 Основные теоретические сведения**

Отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме можно определить на основании опыта Клемана - Дезорма.

Пусть мы имеем баллон с газом, находящийся при атмосферном давлении  $P_0$  и комнатной температуре  $T_0$ . Накачаем в баллон воздух до некоторого давления  $P_1$ . Через некоторое время вследствие теплообмена с окружающей средой температура в баллоне станет комнатной  $T_0$ . По водяному манометру устанавливается разность давлений  $P_1 - P_0 = \Delta P_1$ . Это состояние соответствует точке 1 ( $P_1, T_0, V_1$ ) (рис.1). Соединим на короткое время баллон с атмосферой. При этом воздух, находящийся в баллоне, быстро (адиабатически) расширяется и вследствие этого охладится до температуры  $T_1$ , а давление будет равно атмосферному  $P_0$ . Это состояние соответствует точке 2 ( $T_1, P_0, V_2$ ) (рис.1).

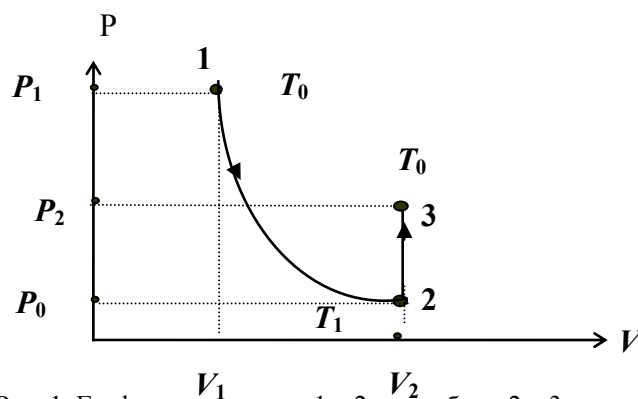


Рис. 1. Графики процессов: 1 – 2 – адиабата, 2 – 3 – изохора.

Как только кран оказывается закрытым, температура (вследствие теплообмена) начинается повышаться до комнатной  $T_0$  и (так как процесс изохорический) давление также повышается до  $P_2$ . При этом по водяному манометру устанавливается разность давлений  $P_2 - P_0 = \Delta P_2$ .



Это состояние соответствует точке 3 ( $P_2, T_0, V_2$ .)

Переход из состояния 1 в состояние 2 описывается уравнением Пуассона.

$$P_1 V_1^\gamma = P_0 V_2^\gamma \quad P_1^{1-\gamma} T_0^\gamma = P_0^{1-\gamma} T_1^\gamma$$

$$(T_0/T_1)^\gamma = (P_1/P_0)^{\gamma-1} \quad (10.1)$$

Переход из состояния 2 в состояние 3 – изохорический.

$$P_0/T_1 = P_2/T_0 \quad T_0/T_1 = P_2/P_0 \quad (10.2)$$

Подставим уравнение (10.2) в (10.1)

$$\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^\gamma = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} \quad (10.3)$$

Подставим в (10.3)  $P_1 = P_0 + \Delta P_1$ , и  $P_2 = P_0 + \Delta P_2$ , где

$\Delta P_1$  – давление, превышающее атмосферное в состоянии 1, и

$\Delta P_2$  – давление, превышающее атмосферное в состоянии 2.

$$\left(1 + \frac{\Delta P_2}{P_0}\right)^\gamma = \left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} \quad (10.4)$$

Так как  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  намного меньше  $P_0$ , то, разложив в ряд обе части уравнения (10.4), будем иметь:

$$1 + \gamma \frac{\Delta P_2}{P_0} = 1 + (\gamma - 1) \frac{\Delta P_1}{P_0} \quad \text{или} \quad \Delta P_2 = (\gamma - 1) \Delta P_1.$$

Получим расчетную формулу для  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\Delta P_1}{(\Delta P_1 - \Delta P_2)} \quad (10.5)$$

### 10.3 Описание экспериментальной установки.

Установка ФПГ 1-6 представляет собой конструкцию настольного типа, состоящую из основных частей Рис. 2:

- 1) блока приборного БП-6 (поз.1);
- 2) блока манометра (поз. 2).

На лицевой панели блока БП-6 находятся органы управления, элементы световой индикации, пневмотумблер для сброса воздуха в атмосферу.

Визуально блок приборный разделен на два модуля:

- 1) модуль питания «СЕТЬ» с тумблером включения питания микрокомпрессора и светодиодом.
- 2) модуль «ВОЗДУХ» с тумблером включения подачи воздуха в колбу и светодиодом.

Внутри приборного блока БП-6 установлен микрокомпрессор, колба, электропневмоклапан, который установлен для предотвращения сброса давления в ресивере и открыт при работающем компрессоре.

На задней панели приборного блока БП-6 установлены: сетевой предохранитель и подведен шнур питания.

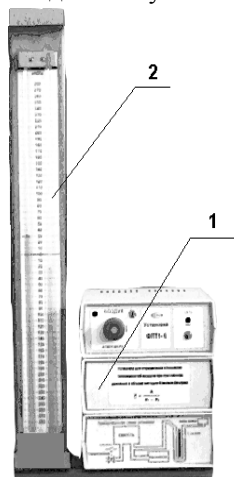
Для подключения колбы в пневмоцепь в крышке колбы имеются два выводных штуцера.

Блок манометра предназначен для измерения давления в колбе. В верхней части блока манометра размещена ловушка для воды.

Стойка представляет собой настольную конструкцию, на которой закреплены блок БП-6 и блок манометра.

#### 10.4 Порядок выполнения эксперимента

1. Дистиллированной водой заправьте манометр до нулевого уровня.
2. Подсоедините шнур питания к сети переменного тока напряжением 220В, 50Гц.
3. Подайте на установку питание, включите тумблер в модуле «СЕТЬ».



При этом загорится сигнальная лампа.

4. Включите подачу воздуха в рабочий элемент тумблером «ВКЛ.» в модуле «ВОЗДУХ». При этом загорится сигнальная лампа.

5. По манометру контролируйте рост давления в рабочем элементе.

6. После достижения заданного уровня рабочего давления отключите подачу воздуха и снимите показания манометра.

7. На короткое время соедините колбу с атмосферой, повернув пневмотумблер «АТМОСФЕРА» по часовой стрелке до щелчка.

8. После стабилизации процесса снимите

показания манометра и зарегистрируйте давление, возросшее за счёт адиабатического расширения.

9. Повторите пункты 4-8 ещё пять раз, записывая полученные данные в

таблицу.(10.1)

Таблица 10.1

№ измерения.	$\Delta P_1$ , Па	$\Delta P_2$ , Па	$\Delta P_1 - \Delta P_2$ , Па	$\gamma$
1				
2				
3				
4				
5				

10. Исходя из полученных данных, подсчитайте по формуле (10.5) величину  $\gamma$ . Данные запишите в таблицу (10.1)

11. Вычислите среднее значение  $\langle \gamma \rangle$ . Сравните с табличным значением.

12. Оцените абсолютную погрешность величины  $\gamma$ .

$$\Delta \gamma = t_{\alpha}(n) \sqrt{\frac{\sum \Delta \gamma_i^2}{n(n-1)}}$$

$t_{\alpha}(n)$  – коэффициент Стьюдента

$n$  – число измерений

13. Окончательный результат представьте в виде

$$\gamma = \langle \gamma \rangle \pm \Delta \gamma$$

#### 10.5. Контрольные вопросы

1. Что называется числом степеней свободы молекулы? Получите формулу для  $\gamma$  через число степеней свободы молекулы.

2. Дайте определение молярной и удельной теплоёмкостей газа. Получите соотношение между теплоёмкостями при постоянном давлении при постоянном объёме.

3. Какой процесс называется изохорическим, изотермическим, изобарическим и адиабатическим? Изобразите графики этих процессов в координатах  $(p, v)$ ,  $(p, T)$ ,  $(v, T)$ .

4. Сформулируйте первое начало термодинамики. Запишите его для всех изопроцессов. Как меняется температура газа при адиабатическом процессе.

#### 10.6. Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, том 3, §§ 1.9, 1.10.

2. Яворский Б.М. Основы физики, том 1, §§ 27.3-27.9

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № Т-11

### Определение теплопроводности воздуха

#### 11.1 Цель работы

Целью работы является экспериментальное определение теплопроводности воздуха.

#### 11.2 Основные теоретические сведения

В неравновесных изолированных системах процессы протекают так, что конечным их результатом всегда будет установление термодинамического равновесия. В установлении термодинамического равновесия важную роль играют диффузия, вязкость и теплопроводность. Эти процессы приводят к выравниванию плотности и концентрации, прекращению макроскопического движения вещества, установлению во всей системе одинаковой температуры. Такого рода явления (процессы) обусловлены тепловым движением молекул и называются явлениями переноса, так как они связаны с переносом энергии (теплопроводности), импульса (вязкость) и массы (диффузия).

В общем случае явления переноса зависят от градиентов (изменения) тех или иных параметров системы.

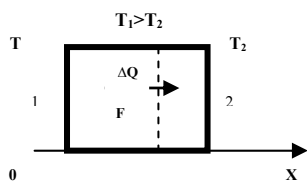
Теплопроводность-это передача теплоты, протекающая при наличии градиента температуры и обусловленная тепловым движением частиц. На рис. 11.1 изображено тело прямоугольной формы с основаниями 1 и 2, расположенными нормально к оси  $x$ . Пусть температура тела будет функцией одной координаты  $T = T(x)$ , при этом  $dT/dx < 0$  (температура убывает в положительном направлении оси  $x$ ). Тогда через любое сечение тела, нормальное к выбранной оси, происходит передача теплоты, которая описывается законом Фурье (1820г.):

$$\Delta Q = -\lambda \frac{dT}{dx} F \Delta t, \quad (11.1)$$

где  $\Delta Q$  - количество теплоты переносимое через площадь сечением  $F$  за время  $\Delta t$ ,

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности, зависящий от свойств вещества. Знак «минус» в (11.1.) указывает на то, что теплопередача направлена в сторону убыли температуры (противоположно градиенту температуры) если тело однородно и процесс установившийся, то спад температуры вдоль оси  $x$  линейный:  $dT/dx = \text{const}$

Выражение (11.1.) позволяет найти плотность теплового потока (тепловой поток через единицу площади за единицу времени)



$$\frac{\Delta Q}{F \Delta t} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (11.2)$$

Из последнего следует, что  $\lambda = \frac{\Delta Q}{\left| \frac{dT}{dx} \right| F \Delta t}$  (11.3)

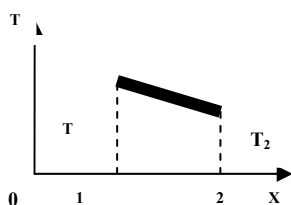


Рис.11.1

Коэффициент теплопроводности численно равен количеству теплоты, переносимому через единицу времени при единичном градиенте температуры.

В методе измерения теплопроводности исследуемым газом заполняют пространство между двумя коаксиальными цилиндрами радиусами  $r_2 > r_1$  (рис.11.2) при этом внутренним цилиндром является проволока, подогреваемая электрическим током. Если внешний цилиндр поместить в термостат, то при некоторой мощности  $W = iU$ , поглощаемой проволокой ( $i$  – сила тока,  $U$  – напряжение электрического тока), ее температура  $T_1$  окажется выше температуры внешнего цилиндра  $T_2$  (во избежание конвекции прибор ставят вертикально, (рис 11.2)).

При градиенте температуры  $dT/dr$  и длине цилиндров  $l$  тепловой поток через поверхность цилиндра радиусом  $r$  ( $r_2 \geq r \geq r_1$ ), будет равен:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda \frac{dT}{dr} F = -\lambda \frac{dT}{dr} 2\pi r l$$

В стационарном состоянии  $W = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ . Следовательно,

$$W = -\lambda 2\pi l \frac{dT}{dr}, \quad \text{откуда} \quad dT = -\frac{W}{2\pi \lambda l} \frac{dr}{r}.$$

Интегрируя получаем:

$$T = -\frac{W}{2\pi\lambda l} \ln r + B, \text{ где } B - \text{ постоянная интегрирования.}$$

Пользуясь краевыми условиям ( $T=T_1$ , при  $r=r_1$  и  $T=T_2$ , при  $r=r_2$ ) из предыдущего легко найти, что

$$T_1 = T_2 + \frac{W}{2\pi\lambda l} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Зная  $W$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $r_2$ ,  $r_1$  и  $l$  можно найти:

$$\lambda = \frac{W}{2\pi(T_1 - T_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (11.4)$$

### 11.3 Описание экспериментальной установки

#### 1. Назначение

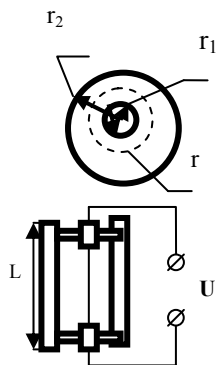


Рис. 11.2

Установка ФПТ1-3 входит в комплект оборудования учебной лаборатории и предназначена для измерения теплопроводности воздуха.

#### 2. Технические характеристики

- Характеристики металлической нити:

- материал вольфрам
- длина, м 0,402
- диаметр, м  $64 \cdot 10^{-5}$
- температурный коэффициент сопротивления,  $K^{-1}$   $4,1 \cdot 10^{-3}$
- Нагрев нити относительно окружающего воздуха,  $^{\circ}C$  0...30

- Внутренний диаметр трубки рабочего

26±1

элемента, мм

- Погрешность измерения температуры воздуха, % 5
- Диапазон регулирования рабочего тока, мА  $2 \pm 200$
- Питание установки от сети переменного тока:
  - напряжение, В 220
  - частота, Гц  $50 \pm 1$
  - Потребляемая мощность, Вт, не более 100

### 11.6 Устройство и принцип работы

Процесс теплопередачи путем теплопроводности от нити к окружающей ее цилиндрической поверхности описывается уравнением:

$$\lambda = \frac{q \ln \frac{D}{d}}{2\pi l \Delta T} \quad (11.5)$$

где:  $\lambda$ - теплопроводность,  $q$ - тепловой поток,  $D$ - внутренний диаметр трубки,  $d$ - диаметр нити,  $l$ - длина нити,  $\Delta T$ - разность температур нити и трубки.

В установке ФПТ1-3 тепловой поток создается путем нагрева нити постоянным током и определяется по формуле:

$$q = I^2 R_n = \frac{U_{p_0} U_{n_0}}{R_p} \quad (11.6)$$

где:  $U_{n_0}$  - падение напряжения на нити,

$U_{p_0}$  - падение напряжения на эталонном резисторе,

$R_p$  - сопротивление эталонного резистора ( $R_p=41$  Ом).

Разность температур нити и трубки:

$$T = T_n - T_r,$$

где,  $T_n$ - температура нити,

$T_r$ - температура трубки, равна температуре окружающего воздуха;

Температура трубки в процессе эксперимента принимается постоянной, т.к. ее поверхность обдувается с помощью вентилятора постоянным потоком воздуха.

Температура нити тем выше, чем больше протекающий по ней ток.

С повышением температуры меняется сопротивление нити, измеряемое методом сравнения падения напряжений на нити и на эталонном резисторе.

Разность температур нити и трубки определяется по формуле:

$$\Delta T = \frac{\left( \frac{U_n}{U_p} - \frac{U_{n_0}}{U_{p_0}} \right) (1 + \alpha t)}{\frac{U_{n_0}}{U_{p_0}} \alpha} \quad (11.7)$$

где,  $U_n$  - падение напряжения на нити в нагретом состоянии,

$U_p$  – падение напряжения на эталонном резисторе при нагреве нити,

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления,

$t$  – температура воздуха.

Установка ФПТ1-3 представляет собой (рис.11.3) конструкцию настольного типа, состоящую из основных частей:



- 1) блока приборного БП-3;
- 2) блока рабочего элемента РЭ-3;
- 3) стойки.

Блок приборный БП-3 представляет собой единый конструктив со съемной крышкой, съемными лицевыми панелями. Внутри блока размещена печатная плата с радиоэлементами, органы подключения, регулирования, трансформаторы. На лицевой панели приборного блока БП-3 находятся органы управления и регулирования установки, элементы световой индикации. Лицевая панель разделена на 3 функциональных узла:

рис.11.3

- 1) узел «напряжение»;
- 2) узел «нагрев»;
- 3) узел «сеть».

Узел «напряжение» осуществляет управление работой цифрового контроллера для измерения напряжения.

Узел «нагрев» осуществляет включение и регулирование нагрева нити.

Узел «сеть» осуществляет подключение установки к сети питающего напряжения.

На задней панели приборного блока БП-3 установлены:

- 1) сетевой предохранитель;
- 2) разъем для подключения кабеля от блока РЭ-3;
- 3) сетевой шнур.

Блок рабочего элемента РЭ-3 представляет собой коробчатый конструктив, укрепленный на стойке. Несущими узлами блока РЭ-3 являются панель и кронштейн, скрепленные между собой винтами.

Между выступающими частями панели в текстолитовых фланцах зажата стеклянная трубка. По оси трубки натянута вольфрамовая нить рис.11.1. Между панелью и кронштейном размещен вентилятор для охлаждения трубки. На панели установлены цифровой контроллер для измерения температуры и цифровой контроллер для измерения напряжения

Спереди блок РЭ-3 защищен прозрачным экраном из орг. стекла.



Стойка представляет собой настольную конструкцию с горизонтальным основанием для установки приборного блока БП-3 и блока РЭ-3

Установка ФПТ1-3 питается от сети 220В,50Гц.

### 11.7 Порядок выполнения работы

1. Включить тумблер «ВКЛ» в модуле питания «СЕТЬ». При этом загорается сигнальная лампа.

2. Включить тумблер «ВКЛ» в модуле «НАГРЕВ» При этом загорается сигнальная лампа.

3. Нажать кнопку  $U_p$  (режим измерения падения напряжения на эталонном резисторе). При этом ручка «НАГРЕВ» находится в крайнем левом положении. Зарегистрировать показание цифрового индикатора.

4. Нажать кнопку  $U_n$  (режим измерения падения напряжения на нити) зарегистрировать показания цифрового индикатора.

Повторите измерения по п.п. 3 и 4 не менее 5 раз. Рассчитайте среднее значение результата прямых измерений. Результаты занесите в таблицу 11.1:

Таблица 11.1

N	$U_{p0}$ , В	$\langle U_{p0} \rangle$ , В	$U_{n0}$ , В	$\langle U_{n0} \rangle$ , В
1				
.				
2				
.				
3				
.				
4				
.				
5				
.				

Внимание! На цифровом индикаторе появляется индекс «м»- значение напряжения выражается в милиВольтах.

5. Рассчитайте тепловой поток по формуле:

$$\langle q \rangle = \frac{\langle U_{p0} \rangle \langle U_{n0} \rangle}{R_p} \quad R_p = 41 \text{ Ом.}$$

6. Нажать кнопку  $U_p$  и установить рукояткой «НАГРЕВ» напряжение  $U_p$  в диапазоне от 1 до 6,5 В.

7. Выждать минуту для стабилизации теплового режима и определить напряжение на нити  $U_n$  нажатием кнопки  $U_n$ .

Повторите измерения по п. 6 и 7 не менее 5 раз. Рассчитайте среднее значение результата прямых измерений. Результаты запишите в таблицу 11.2:

Таблица 11.2

N	$U_p$ , В	$\langle U_p \rangle$ , В	$U_n$ , В	$\langle U_n \rangle$ , В
1				
2				
3				
4				
5				

**Внимание!** После каждого измерения вывести ручку «НАГРЕВ» в крайнее левое положение

8. Рассчитайте разность температур по формуле:

$$\langle \Delta T \rangle = \frac{\left( \frac{\langle U_n \rangle}{\langle U_p \rangle} - \frac{\langle U_{n_0} \rangle}{\langle U_{p_0} \rangle} \right) (1 + \alpha t)}{\frac{\langle U_{n_0} \rangle}{\langle U_{p_0} \rangle} \alpha}$$

и определите коэффициент теплопроводности по формуле:

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle q \rangle \ln \frac{D}{d}}{2\pi l \langle \Delta T \rangle}$$

9. Оценить погрешность измерения коэффициента теплопроводности, используя сведения, изложенные во введении к лабораторному практикуму «Механика».

**Внимание!** Особенно тщательно следует рассчитывать разность температур нити и трубки.

Пример расчета  $\Delta T$ :

$$= \frac{\left( \frac{1811}{6885} - \frac{0,020}{0,076} \right) (1 + 4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 300)}{\frac{0,020}{0,076} \cdot 4,1 \cdot 10^{-3}} = \frac{(0,263000000 - 0,262998979) \cdot 2,23}{0,262998979 \cdot 4,1 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= \frac{2,27 \cdot 10^{-6}}{1,078 \cdot 10^{-3}} = 2,1 \cdot 10^{-3} K \quad \text{Рассчитав}$$

коэффициент теплопроводности воздуха сравните полученный результат с табличным (таблица 11.3):

Таблица 11.3

Температура, К	Коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К)
200	0,0180
300	0,0256
400	0,0338

### 11.8 Контрольные вопросы

1. Дайте определение теплопроводности.  
Что такое коэффициент теплопроводности газа?
2. Выведите формулу коэффициента теплопроводности газа.
3. Опишите метод экспериментального определения теплопроводности воздуха.
4. Напишите рабочую формулу вычисления коэффициента теплопроводности воздуха и укажите единицы входящих в нее физических величин.

### 11.9. Список литературы

1. Элементарный учебник физики Т.1 «Механика теплота, молекулярная физика». Ред.: Г.С. Ландсберг. Москва, «Физматлит» 2001г.
2. Курс физики «Теплота и молекулярная физика». Ред. В.Ф. Яковлев. Москва, «Просвещение» 1986 г.

## Лабораторная работа № Т-12.

## Определение коэффициента вязкости воздуха.

### 12.1 Цель работы

Определить методом Пуазейля коэффициент вязкости воздуха.

### 12.2 Краткие теоретические сведения

В установлении термодинамического равновесия в неравновесных термодинамических системах важную роль играет вязкость - внутреннее трение. Вязкостью называется явление возникновения сил, препятствующих относительному перемешиванию слоев жидкости или газа. Причиной внутреннего трения в газах является перенос частицами газа импульсов между соприкасающимися слоями. У газов с ростом температуры вязкость увеличивается, а у жидкостей уменьшается.

Для определения коэффициента вязкости воздуха используется метод Пуазейля или капиллярный метод. Он основан на следующем явлении: при прокачке воздуха через тонкие трубки часть входного давления теряется на преодоление сил внутреннего трения. Существует функциональная зависимость между длиной  $L$  и радиусом  $R$  трубки, расходом воздуха  $Q$ , потерей (падением) давления  $\Delta P$  и коэффициентом вязкости  $\eta$ :

$$\eta = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot R^4}{8 \cdot L \cdot Q} \quad (12.1)$$

### 12.3 Схема установки



рис.12.1

Установка ФПТ1-1 (рис.12.1) представляет собой конструкцию настольного типа, состоящую из двух основных частей:

1) блока приборного БП-1 (поз.2);  
2) блока рабочего элемента РЭ-1, в дальнейшем блока РЭ-1(поз.1).  
На лицевой панели блока приборного БП-1 находятся органы управления и регулирования установки. Визуально блок приборный разделен на два модуля:

1. модуль питания «СЕТЬ» с тумблером включения питания и лампой индикации

2. модуль «ВОЗДУХ» с тумблером включения микропроцессора, лампой индикации и регулятором расхода воздуха.

Сзади приборного блока БП-1 установлен сетевой шнур с вилкой и сетевой предохранитель.

В состав блока РЭ-1 входит рабочий элемент (поз.3), представляющий собой металлический капилляр, закрепленный между отборными камерами. Через капилляр прокачивается воздух из микрокомпрессора, установленного в блоке приборном БП-1. Расход воздуха  $Q$  измеряется реометром (поз.4). Перепад давления  $\Delta P$  в капилляре измеряется манометром (поз.5), который подсоединен к отборным камерам. Микропроцессор с реометром соединяются между собой резиновой трубкой.

#### 12.4 Порядок выполнения работы

1. Подать на установку питание, включив тумблер в модуле «СЕТЬ». При этом загорается сигнальная лампа.
2. Включить тумблер «ВОЗДУХ». При этом загорается сигнальная лампа.
3. Плавное вращая регулятор расхода воздуха в модуле «ВОЗДУХ» установить расход воздуха приблизительно в центре шкалы реометра.
4. Снять показания реометра. Результаты записать в таблицу 12.1.
5. Снять показания манометра. Результаты записать в таблицу 12.1.
6. Выключить тумблер «ВОЗДУХ».
7. Повторить пункты 2-6 четыре раза.
8. Выключить установку.
9. По результатам измерений вычислить коэффициент вязкости воздуха по формуле 12.1. В качестве  $\Delta P$  и  $Q$  использовать средние значения.
10. Оценить погрешность  $\Delta \eta$  используя сведения, изложенные во введении к лабораторному практикуму «Механика». Представить результат в виде  $\eta \pm \Delta \eta$ .
11. Сравнить полученный результат с теоретическим. Написать заключение к работе.

Таблица 12.1

$R$ , мм	$L$ , м	$\Delta P$ , Па	$\langle \Delta P \rangle$ , Па	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$\langle Q \rangle$ , м <sup>3</sup> /с	$\eta$ , Па·с	$\Delta \eta$ , Па·с
0,50	0,1						

**12.5 Контрольные вопросы.**

1. Что измеряет реометр?
2. На каком явлении основан метод Пуазейля по определению вязкости среды?
3. Как меняется вязкость жидкостей и газов с ростом температуры?
4. Как в данной работе определить относительную погрешность  $Q$ ?

**12.6 Список литературы.**

1. Элементарный учебник физики под редакцией Г.С.Ландсберга, том 1 § 212.
2. И.В.Савельев. Курс общей физики, том 1 § 75, 77.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курс физики»Теплота и молекулярная физика».Ред. В.Ф. Яковлев. М.: Просвещение.1996.
2. И.В. Савельев. Курс общей физики. Том 1.
- 3.Физика. Учебное пособие для 10 кл. и классов с углубленным изучением физики. /Ю.И.Дик, О.Ф.Кабардин, В.А.Орлов и др.; Под ред. А.А.Пинского - М.: Просвещение, 1993. -416 с.: ил. - ISBN 5-09-004011-7.
- 4.Элементарный учебник физики: учебное пособие в 3 т. /под ред. Г.С.Ландсберга: Т.1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. - 12-е издание. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000г. - 608 с. - ISBN 5-9221-002-5 (Т.1).
- 5.Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. Учебник для 10 классов средней школы. М.: Просвещение, 1990- 223с.: илл. – ISBN 5-09-001824-3
6. В.М.Яворский Основы физики. том 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

### МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Лабораторная работа № Т-1 Определение коэффициента линейного расширения твердых тел.....	3
Лабораторная работа № Т-2 Изучение процесса изотермического расширения тел .....	6
Лабораторная работа № Т-3 Изучение поверхностного натяжения воды.....	9
Лабораторная работа № Т-4 Изучение процесса изменения агрегатного состояния вещества.....	16
Лабораторная работа № Т-5 Определение удельной теплоты парообразования воды.....	20
Лабораторная работа № Т-6 Определение удельной теплоты плавления льда.....	22
Лабораторная работа № Т-7а Сравнение молярных теплоемкостей металлов.....	24
Лабораторная работа № Т-7в. Сравнение молярных теплоемкостей металлов.....	27
Лабораторная работа № Т-8 Определение относительной влажности воздуха.....	34
Лабораторная работа № Т-9 Изучение приборов измерения температуры.....	40
Лабораторная работа № Т-10. Определение отношения теплоёмкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме .....	48
Лабораторная работа № Т-11 Определение теплопроводности воздуха.....	52
Лабораторная работа № Т-12 Определение коэффициента вязкости воздуха .....	60
Список литературы.....	63
Содержание.....	64