

Лабораторная работа № 1.20.

Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения.

Цели работы: изучение процессов идеального газа и определение на основании свойств этих процессов отношения теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме для воздуха.

Задание: выполнить задания по процессам с воздухом, рассчитать отношение теплоемкостей и погрешность измерений.

Подготовка к выполнению лаб. работы: изучить понятия теплоемкостей, свойства процессов идеального газа, начало кинематики. Ознакомиться с установкой.

Теория.

Теплоемкостью тела  $C(T)$  называется величина, равная отношению кол-ва тепла  $dQ$ , полученного телом и вызвавшего повышение его температуры на  $dT$ , к величине  $dT$ , то есть:

$$C(T) = \frac{dQ}{dT}$$

Теплоемкость единицы массы: удельная теплоемкость.

Теплоемкость одного моля: молярная теплоемкость.

Теплоёмкость зависит от способа нагревания тела. Обычно различают теплоёмкости при постоянном давлении  $C_p$  и при постоянном объёме  $C_v$ , если в процессе нагревания поддерживается постоянным, соотв., давление или объём.

Согласно первому началу термодинамики, в случае нагревания при постоянном давлении часть теплоты идёт на совершение работы при расширении газа, а часть — на увеличение его внутренней энергии, тогда как при постоянном объёме вся теплота расходуется на увеличение энергии. Таким образом  $C_p > C_v$ . Для идеального газа разность молярных теплоёмкостей:

$$① \quad C_p - C_v = R, \text{ где } R - \text{ универсальная газ. const.}$$

Закон равномерного распределения энергии молекул по степеням свободы приводит к такому выражению для молярной теплоёмкости  $C_v$  идеального газа:

$$② \quad C_v = \frac{iR}{2}$$

где  $i = i_{\text{пов}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{кал}}$ , где  $i_{\text{пов}}$ ,  $i_{\text{вр}}$ ,  $i_{\text{кал}}$  — число поступательных, вращательных и колебательных

степеней свободы молекулы газа.

В силу ① и ②, отношение  $C_p - C_v$  для идеального газа следующее:

$$③ \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$$

Это отношение теплоёмкостей входит в уравнения, описывающие адиабатические процессы идеальных газов. Таким процессом широко пользуются на практике: например, в тепловых двигателях.

Описание аппаратуры и методов измерений.

Определение отношения  $C_p/C_v$  для воздуха осуш.

В следующей работе метод адиабатического расширения.

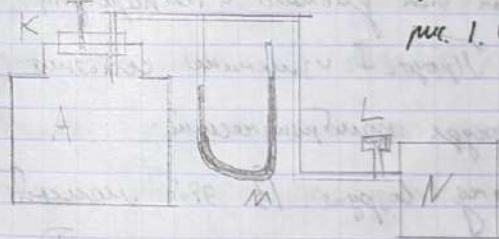


рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Стеклянный сосуд А сообщается через латунные и резиновые трубки с манометром М, микрокомпрессором N и атмосферой (через клапан К). С помощью А N воздух накачивается в сосуд. Клапан L отключает от сосуда.

Избыточное давление в сосуде измеряется барометр манометром. Открытый клапан К, можно выпустить часть воздуха из сосуда, тем самым уменьшая давление вне сосуда до атмосферного.

Рассматривая процесс, происходящий в сосуде с воздухом, можно определить величину  $\gamma$ .

Пусть в исходном состоянии (а) масса воздуха  $m$  находится в сосуде объемом  $V_0$ . Давление газа = атмосферному  $p_0$ , а температура - комнатной  $T_0$ .

С помощью компрессора манометром сосуд некоторую массу газа  $m_1$ . При этом давление и температура в сосуде возрастают. Процесс I изменил состояние массы газа  $m$  в сосуде политермический.

Понижаем давление воздуха. В этот момент давление и температура в сосуде равны  $p_1$  и  $T_1$ , масса газа  $m$  занимает все  $V_0$  а его масса  $V_1 < V_0$

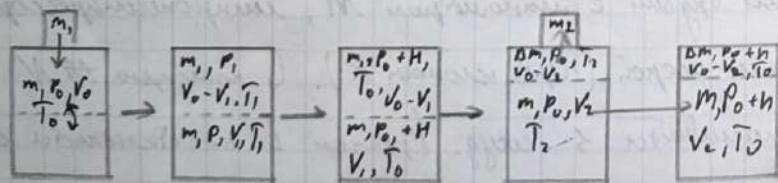


рис. 2. Процессы в сосуде.

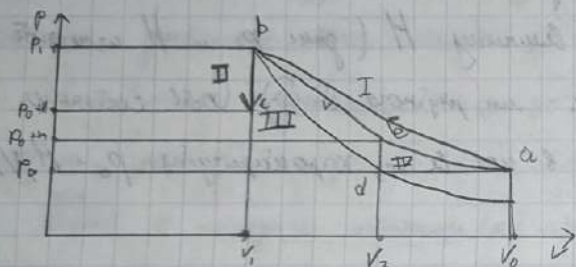
С течением времени происходит изохорический процесс II. Воздух в сосуде охлаждается до комнатной температуры  $T_0$ , а давление понижается, но превышает атмосферное на величину  $h$  (даже  $p_0$  и  $h$  измеряют в атм. и тем же ср.-мн. ртутного столба). Сост. состояния (с) воздуха, взвешено в кол-во  $m$ , характеризуется  $p_0 + h, V_1, T_0$ .

Для адиабатического расширения воздуха быстро открываем клапан К, и как только давление сравняется с атмосферным, закроем его. К концу адиаб. процесса температура в сосуде уменьшится до  $T_2$ ; масса воздуха  $m$  занимает объем  $V_2 < V_0$ , масса в сосуде превышает первоначальную его кол-во на некоторое величину. Это состояние массы газа  $m$  имеет параметры  $p_0, V_2, T_2$ .

После закрытия клапана К в течение некоторого времени происходит изохорич. процесс IV. Воздух в сосуде нагревается от  $T_2$  до комнатной  $T_0$ , а давление растет от  $p_0$  до  $p_0 + h$ , масса  $m$  имеет параметры  $p_0 + h, V_2, T_0$ .

Связи (c) и (d) связаны соотношением,

$$\textcircled{4} \quad \frac{p_0 + H}{p_0} = \left( \frac{T_2}{T_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$



переход из состояния (d) в (e) происходит изохорически, поэтому:

$$\frac{p_0}{p_0 + h} = \frac{T_1}{T_0}$$

⇓

$$1 + \frac{H}{p_0} = \left( 1 + \frac{h}{p_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

В условиях опыта избыточное давление  $h$  мало по сравнению с атмосферным давлением  $p_0$ . Поэтому:

$$\left( 1 + \frac{h}{p_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \approx 1 + \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{h}{p_0}$$

⇓

$$\textcircled{8} \quad \gamma = \frac{H}{H-h}$$

Формула 8 является последней при определенных

$\gamma$ . Ее удобнее записать в многократном вычислении его значений  $H$  и  $h$ .  
Экспериментальные условия.

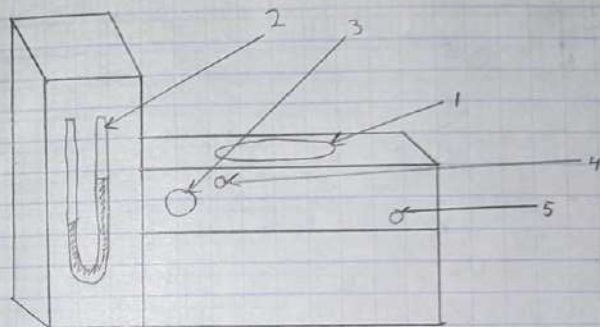


Рис. 4. Установка ФПТ-6 для эксперим. определения

Температуры. 1 - колба, 2 - манометр, 3 - микрокомпрессор,  
4 - бумажер, 5 - бумажер "Сек"

Установка состоит из стеклянной колбы, соединенной с микрокомпрессором, расположенным в блоке приборов. Микрокомпрессор выключается бумажером "Воздух". "Атмосфера" позволяет соединить колбу с атмосферой.

Порядок выполнения

1. Ознакомьтесь с условиями.
2. Заполните таблицу с нужным кол-вом строк.

| N<br>измерения | H,<br>мм | h,<br>мм | $\gamma = \frac{H}{H-h}$ | $\Delta \gamma =  \gamma - \gamma_{ср} $ | $(\Delta \gamma)^2$ |
|----------------|----------|----------|--------------------------|--|---------------------|
| 1.             | 224      | 71       | 1,46                     | 0,01                                     | 0,0001              |
| 2.             | 210      | 55       | 1,35                     | 0,10                                     | 0,01                |
| 3.             | 226      | 66       | 1,41                     | 0,04                                     | 0,0016              |
| 4.             | 216      | 68       | 1,46                     | 0,01                                     | 0,0001              |
| 5.             | 229      | 77       | 1,51                     | 0,06                                     | 0,0036              |
| 6.             | 226      | 56       | 1,33                     | 0,12                                     | 0,0144              |
| 7.             | 213      | 78       | 1,57                     | 0,12                                     | 0,0144              |
| 8.             | 203      | 61       | 1,43                     | 0,02                                     | 0,0004              |
| 9.             | 201      | 68       | 1,51                     | 0,06                                     | 0,0036              |
| 10.            | 207      | 70       | 1,51                     | 0,06                                     | 0,0036              |

до  
10

3) Выполните вычисления.

Обработка результатов:

- 1)  $\frac{224}{224-71} \approx 1,46$       6.  $\frac{226}{226-56} \approx 1,33$
2.  $\frac{210}{210-55} \approx 1,35$       7.  $\frac{213}{213-78} \approx 1,57$
3.  $\frac{226}{226-66} \approx 1,41$       8.  $\frac{203}{203-61} \approx 1,43$
4.  $\frac{216}{216-68} \approx 1,46$       9.  $\frac{201}{201-68} \approx 1,51$
5.  $\frac{229}{229-77} \approx 1,51$       10.  $\frac{207}{207-70} \approx 1,51$

$$2) \gamma_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_i = \frac{1,46+1,35+1,41+1,46+1,51+1,33+1,57+1,43+1,51+1,51}{10} = 1,45$$

$$3) \Delta \gamma = |\gamma_i - \gamma_{ср}|$$

$$\Delta \gamma_1 = |1,46 - 1,45| = 0,01$$

$$\Delta \gamma_6 = |1,33 - 1,45| = 0,12$$

$$\Delta \gamma_2 = |1,35 - 1,45| = 0,10$$

$$\Delta \gamma_9 = |1,51 - 1,45| = 0,06$$

$$\Delta \gamma_3 = |1,41 - 1,45| = 0,04$$

$$\Delta \gamma_{ср} = 1,1 \sqrt{\frac{1}{10(10-1)}}$$

$$\Delta \gamma_4 = |1,46 - 1,45| = 0,01$$

$$\Delta \gamma_1^2 = 0,0001$$

$$\Delta \gamma_2^2 = 0,01$$

$$\Delta \gamma_3^2 = 0,0016$$

$$\Delta \gamma_4^2 = 0,0001$$

$$\Delta \gamma_5^2 = 0,0036$$

$$\Delta \gamma_6^2 = 0,0144$$

$$\Delta \gamma_7^2 = 0,0144$$

$$\Delta \gamma_8^2 = 0,0004$$

$$\Delta \gamma_9^2 = 0,0036$$

$$\Delta \gamma_{10}^2 = 0,0036$$

$$0,0001 + 0,01 + 0,0016 + 0,0001 + 0,0036 + 0,0144 + 0,0144 + 0,0004 + 0,0036 + 0,0036 = 0,026 = 0,03$$

$$\sigma_{ср} = (1,45 \pm 0,03)$$

$$= (1,45 \pm 0,03)$$

1,45 ± 0,03

Вывод: За время выполнения этой лабораторной мы  
научились использовать установку ФОРТ-1, изучить  
приборы, функционирующие в этой установке с разными  
объемами и давлениями.

1.20 (6 и 10)

⑥ Однооблачная яма с кубическими стенками высотой ~~а~~ ~~высоты 2~~ ~~высоты 1~~. Регулярная яма с стенкой (3 кубических и 2 квадратных). А многооблачная яма с 6 стенкой (3 края и 3 куб.).

⑩

Уравнение Пуассона описывает адиабатный процесс в идеальном газе. В нем нет теплообмена между системой и окр. средой:

$$PV^{\kappa} = \text{const}$$