

## Лабораторная работа

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ $C_p/C_v$ МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

#### ВВЕДЕНИЕ

Согласно I начала термодинамики, количество энергии, сообщенное системе в процессе теплообмена  $dQ$ , идет на изменение ее внутренней энергии  $dU$  и на совершение системой работы  $dA$  против внешних сил:

$$dQ = dU + dA \quad (1)$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля газа на один градус, определяется молярной теплоемкостью -  $C$ .

Величина теплоемкости зависит от условий нагревания. Различают два вида теплоемкостей:  $C_p$  - молярная теплоемкость при постоянном давлении и  $C_v$  - молярная теплоемкость при постоянном объеме, связанных между собой уравнением:

$$C_p = C_v + R, \quad (2)$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная, численно равная работе, совершаемой при нагревании одного моля идеального газа на один кельвин при постоянном давлении.

Процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой ( $dQ=0$ ), называется адиабатическим. Он описывается уравнением Пуассона:

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad (3)$$

где  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ .

Работа адиабатического процесса, как следует из I начала термодинамики (3), совершается только за счет изменения внутренней энергии:

$$dA = dU. \quad (4)$$

Полная работа адиабатического процесса может быть вычислена по формуле:

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (5)$$

**Приборы и принадлежности:** жидкостный манометр, закрытый стеклянный баллон с трехходовым краном, насос.

#### ТЕОРИЯ МЕТОДА И ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ.

Метод определения  $C_p/C_v$ , используемый в работе, основан на процессе адиабатического расширения воздуха.

Установка (рис.1) состоит из толстостенного баллона 2, соединенного с нагнетательным насосом 3 и открытым U-образным водяным манометром 1.

Трехходовой кран 4 позволяет соединить баллон с насосом или атмосферой.

Обозначим массу газа в баллоне при атмосферном давлении —  $m_1$ .

Если соединить баллон с насосом и накачать воздух, то давление в баллоне повысится и станет равным  $p_1 = p_0 + h_1$ , где  $h_1$  — избыток над атмосферным давлением  $p_0$ , измеряемый манометром, ( $p_0$  и  $h_1$  должны быть выражены в одинаковых единицах).

**Примечание.** Так как при нагнетании воздух в баллоне нагревается, измерять избыток давления  $h_1$  следует тогда, когда температура воздуха в баллоне станет равной комнатной (спустя 1—2 мин).

Газ массой  $m_1$  теперь будет занимать объем  $V_1$ , меньший объема баллона.

Его состояние характеризуется параметрами:  $p_1, V_1, T_1$  (рис. 2). Если на короткое время с помощью крана сообщить баллон с атмосферой, то воздух будет быстро (т. е. адиабатически) расширяться. Часть воздуха массой  $\Delta m$  выйдет из баллона. Оставшийся воздух массой  $m_1$ , который занимал перед открытием крана часть объема баллона, снова займет весь объем  $V_k = V_2$ . Давление в баллоне станет равным атмосферному ( $p_2 = p_0$ ). Температура воздуха в результате его адиабатического расширения окажется ниже комнатной. Таким образом, в момент закрытия крана воздух находится в состоянии II ( $p_2, V_2, T_2$ ).

Для массы газа  $m_1$ , согласно закону Пуассона (3), получим:

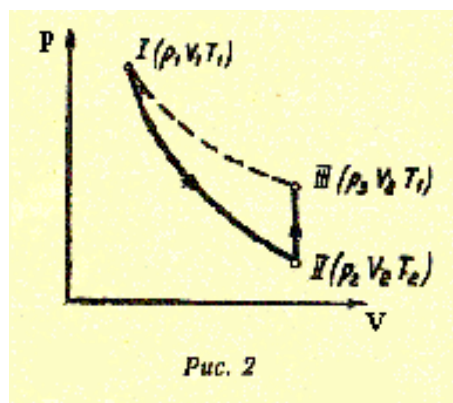
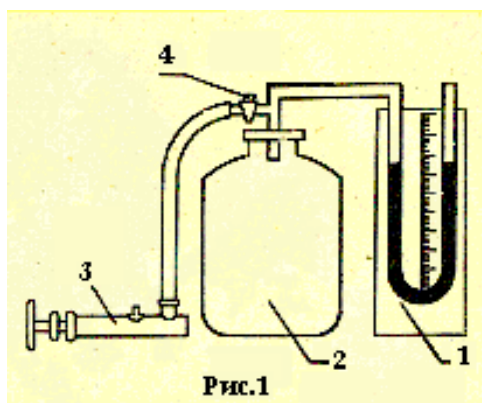
$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma. \quad (6)$$

Так как температура в состоянии I и III одинаковая, то по закону Бойля-Мариотта:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_3}{p_1} \quad (7)$$

Сравнивая равенства (6) и (7), получим:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^\gamma.$$



Логарифмируем это выражение

$$\lg p_2 - \lg p_1 = \gamma(\lg p_3 - \lg p_1)$$

и решаем его относительно

$$\gamma = \frac{\lg p_2 - \lg p_1}{\lg p_3 - \lg p_1}$$

Учитывая, что  $p_1 = p_0 + h_1$ ;  $p_2 = p_0$ ;  $p_3 = p_0 + h_2$  получим:

$$\gamma = \frac{\lg p_0 - \lg(p_0 + h_1)}{\lg(p_0 + h_2) - \lg(p_0 + h_1)}$$

Так как давления незначительно отличаются друг от друга, то приближенно в последнем выражении можно логарифмы заменить числами:

$$\gamma = \frac{p_0 - p_0 - h_1}{p_0 + h_2 - p_0 - h_1} \text{ или}$$
$$\gamma = \frac{h_2}{h_1 - h_2} \quad (8)$$

Для вычисления работы адиабатического расширения воспользуемся формулой (5). Так как по закону Пуассона

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

то формула (5) примет вид:

$$A = \frac{(p_0 + h_1)V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left(\frac{p_0}{p_0 + h_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (9)$$

где  $V \approx V_k$ , указанный на установке.

### ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. С помощью крана соединить баллон с насосом и нагнетать воздух до тех пор, пока разность уровней жидкости в манометре не станет равной 20—30 см.
2. Записать в таблицу разность уровней жидкости в коленах манометра  $h_1$ .
3. Произвести выпуск воздуха из баллона.
4. Выждать пока в коленах манометра вновь установится разность уровней  $h_2$  и записать это значение в таблицу.
5. Опыт (пункты 1-4) повторить не менее трех раз.

№№ п/п	h <sub>1</sub> , мм вод. ст.	h <sub>2</sub> , мм вод. ст.	h <sub>1</sub> -h <sub>2</sub> , мм вод. ст.	γ
1				
2				
3				

### ВЫЧИСЛЕНИЯ

1. Вычислить по формуле (8) значение  $\gamma$  для каждого измерения.
2. Абсолютную погрешность для  $\Delta\gamma$  определить по правилам оценки случайных погрешностей прямых измерений ( $\alpha = 0,9$ ).
3. Вычислить работу адиабатического расширения для одного из измерений по формуле (9).

**Примечание.** При вычислении работы выразить атмосферное давление  $P_0$  и избыточное давление  $h$  в Па.

1 мм рт. ст. = 133 Па

1 мм вод. ст. = 9,81 Па

$V_1 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс называется адиабатическим? Как записывается уравнение этого процесса? Как и почему меняется температура газа при адиабатическом процессе?
2. Какая теплоемкость называется удельной? молярной? Что такое  $C_p$  и  $C_v$ ? Что больше и почему?
3. Что называется степенями свободы? Чему равно число степеней свободы у одноатомного, двухатомного и многоатомного газа?
4. Какие процессы имеют место в данной лабораторной работе? Как в каждом состоянии определяется давление?

### ЛИТЕРАТУРА

1. Зисман Г. А. и Тодес О. М. Курс общей физики, т. 1. М., 1969. § 31.32, 33, 34. Савельев И. В. Курс общей физики, т. 1. М, 1970. § 95, 101, 102, 103, 105.
2. Яворский Б. М. и др. Курс физики, т. 1, М., 1965. § 10.3, 10.5, 11.6