Лабораторная работа № 8

Определение отношения теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости газа при постоянном объеме

Цель работы: изучение законов идеального газа и определение опытным путем величины показателя адиабаты для воздуха.

Краткая теория

Теплоемкость устанавливает связь между количеством теплоты, переданной телу, и изменением его температуры. Теплоемкость численно равна количеству теплоты, переданному произвольной массе вещества, для повышения его температуры на 1 Кельвин (1 К):

$$C = \frac{\delta Q}{dT}\left(\frac{Дж}{К}\right) \qquad (1)$$

Молярная теплоемкость численно равна количеству теплоты, сообщенного одному молю вещества для повышения его температуры на 1 Кельвин (1 К):

$$C_\mu = \frac{dQ}{\nu dT}\left(\frac{Дж}{моль \cdot К}\right), \qquad (2)$$

где $\nu = \frac{m}{\mu}$ - количество вещества.

Удельная теплоемкость - это количество теплоты необходимое для нагревания единицы массы вещества (1 кг) на 1 Кельвин.

$$C_{уд} = \frac{\delta Q}{m dT}\left(\frac{Дж}{кг \cdot К}\right). \qquad (3)$$

Очевидно, что

$$C_\mu = \mu \cdot C_{уд}\,. \qquad (4)$$

Теплоемкость газов может принимать различные значения в зависимости от того в каких условиях нагревается газ.

Обычно различают две теплоемкости газов: при постоянном объеме и при постоянном давлении.

C_V– теплоемкость газа при постоянном объеме:

$$C_V{}^\mu = \frac{dU_m}{dT} \quad (5); \quad dU_m = \frac{i}{2} R dT \quad (6); \quad C_V{}^\mu = \frac{i}{2} R \quad (7),$$

где i – число степеней свободы молекул газа ($i=3$ для одноатомного газа, $i=5$ для двухатомного газа, $i=6$ для трех- и многоатомных газов);

R – универсальная газовая постоянная, ($R=8,31$ *Дж/(моль•К))* показывает работу, которую совершает один моль газа при изобарическом нагревании на 1 К);

dU_m – изменение внутренней энергии одного моля газа при повышении его температуры на 1 К.

C_p – теплоемкость газа при постоянном давлении:

$$C_p{}^{\mu} = \frac{dU_m}{dT} + \frac{pdV}{dT} \quad (8); \qquad C_p{}^{\mu} = \frac{i+2}{2}R \quad (9)$$

Уравнение Майера (11) показывает, что C_p^{μ} всегда C_V^{μ} больше на величину газовой постоянной.

$$C_p{}^{\mu} = C_V{}^{\mu} + R. \qquad (11)$$

При рассмотрении термодинамических процессов важную роль играет величина

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_p^{\mu}}{C_V^{\mu}} > 1, \qquad (12)$$

так как газ, получая количество теплоты при постоянном давлении, не только нагревается, увеличивая свою внутреннюю энергию, но ещё и расширяется, совершая работу против внешних сил.

Это соотношение имеет большое значение при анализе адиабатных процессов, когда отсутствует теплообмен между газом и окружающей средой. При адиабатных процессах для идеального газа справедлив закон Пуассона:

$$PV^{\gamma} = const, \qquad (13)$$

где

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}, \qquad (14)$$

называется коэффициентом Пуассона.

Для воздуха, который состоит в основном из двухатомных газов $\gamma = 1{,}4$.

Выполнение работы

Приборы и материалы: стеклянный сосуд с трехходовым краном и водяным манометром (Рис. 1).

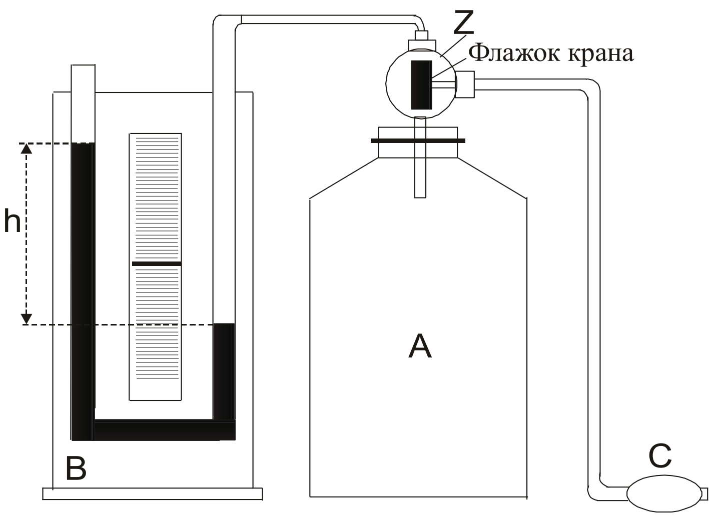

Рис. 1. Общий вид установки

Работа с экспериментальной установкой

Большой стеклянный сосуд А (Рис. 1) соединен трубкой с дифференциальным водяным манометром В для измерения разности давлений (атмосферного и внутри сосуда). Трехходовой кран Z служит для соединения сосуда с нагнетателем (резиновой грушей С), манометром и атмосферой. В последнем случае приходится вынимать втулку крана.

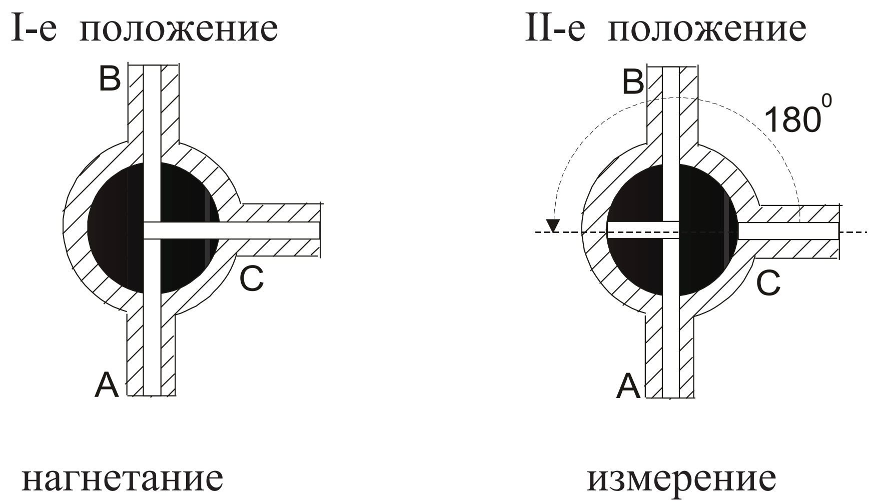

Рис. 2 Два положения трехходового крана

Флажок крана Z устанавливают в **I - е положение** (Рис. 2) (смотреть с торца крана) и резиновой грушей нагнетают воздух в сосуд пока разность уровней менисков жидкости в трубках манометра не достигнет 15-20 см по шкале.

Затем, поворачивают флажок крана Z на **180^0 градусов (II–е положение** Рис. 2**)**, для предотвращения утечек воздуха через клапан нагнетателя.

При нагнетании воздух в сосуде сжимается и его температура повышается. Чтобы температура воздуха внутри сосуда сравнялась с температурой окружающей среды $\mathbf{t_1}$, следует сделать выдержку перед снятием показаний водяного манометра (2-3 мин.). При этом устанавливается постоянная разность уровней (h_1) в плечах манометра. Давление газа в сосуде для этого случая равно $H+h_1$, где H – атмосферное давление. Полученный результат заносят в таблицу 2.

Вынув вращающуюся часть крана (втулку), выпускают воздух до прекращения шипения (уровни жидкости в трубках манометра уравниваются), после чего немедленно вставляют втулку в прежнее положение (II-е положение рис. 2).

Во время отсутствия втулки крана давление воздуха в сосуде падает до атмосферного, а его температура понижается до $\mathbf{t_2}$. Понижение температуры объясняется тем, что при адиабатическом расширении воздух совершает работу против атмосферного давления за счет внутренней энергии.

Через 2-3 минуты после закрытия крана воздух в сосуде нагреется до температуры окружающей среды $\mathbf{t_1}$**,** его давление увеличивается, и по шкале манометра можно снять отсчет разности уровней h_2. Полученный результат заносят в таблицу 2.

Рассмотрим состояния находящегося в сосуде воздуха:

1. Перед началом опыта массу находящегося в сосуде воздуха можно представить как m, занимающую объем V_2 (объем сосуда).
2. При нагнетании дополнительного количества воздуха Δm получим $m_{общ.} = m+\Delta m$, тогда на долю m придется только часть (объем V_1) от общего объема сосуда V_2.
3. При сбросе «дополнительного» воздуха масса m снова займет объем V_2 равный объему сосуда.

Таким образом, для массы находящегося в сосуде воздуха имеем три состояния, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Состояния газа во время опыта

Состояния воздуха	Объем	Давление	Температура
До открытия крана	V_1	$H+h_1$	t_1
В момент открытия крана	V_2	H	t_2
После закрытия крана	V_2	$H+h_2$	t_1

Первое и третье состояния воздуха характеризуются одинаковой температурой, и к ним можно применить закон Бойля-Мариотта.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{H + h_2}{H + h_1}. \tag{10}$$

Переход из первого состояния во второе происходит адиабатически, поэтому здесь применить закон Пуассона.

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = \frac{H}{H + h_1}, \tag{11}$$

где γ - искомое отношение теплоемкостей $\frac{C_p}{C_V}$.

Возведя обе части равенства (10) в степень γ, имеем

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} = \left(\frac{H + h_2}{H + h_1}\right)^{\gamma}. \tag{12}$$

Сопоставляя равенства (11) и (12), можно написать

$$\frac{H}{H + h_1} = \left(\frac{H + h_2}{H + h_1}\right)^{\gamma}. \tag{13}$$

Отсюда после логарифмирования находим

$$\gamma = \frac{\ln(H + h_1) - \ln H}{\ln(H + h_1) - \ln(H + h_2)}. \tag{14}$$

Так как

$$\ln(H + h_1) = \ln H + \ln(1 + \frac{h_1}{H}), \tag{15}$$

$$\ln(H + h_2) = \ln H + \ln(1 + \frac{h_2}{H}), \tag{16}$$

а $\frac{h_1}{H} << 1$ и $\frac{h_2}{H} << 1$, то разлагая логарифмы в ряд по $\frac{h_1}{H}$ и $\frac{h_2}{H}$, получим

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \qquad (17)$$

Таким образом работа сводится к измерению h_1 и h_2. При этом необходимо следить, чтобы не было утечки воздуха.

Опыт проводят не менее пяти раз, результаты изменений и расчетов записывают в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерений

	h_1, *см*	h_2, *см*	γ	$\Delta\gamma$
1 2 3 4 5				
Средние значения			$\bar{\gamma} =$	$\overline{\Delta\gamma} =$

Вычисление погрешностей

Абсолютная погрешность $\overline{\Delta\gamma}$ определяется так, как это делается при многократном измерении величин. Затем определяется средняя относительная погрешность результата.

Относительная погрешность:

$$E_\gamma = \frac{\overline{\Delta\gamma}}{\bar{\gamma}}. \qquad (18)$$

Окончательный результат:

$$\gamma = \bar{\gamma} \pm \overline{\Delta\gamma}. \qquad (19)$$

Полученный результат сравнивают с табличным значением.

Контрольные вопросы

1. Что такое молярная теплоемкость газа, в каких единицах она измеряется?
2. Написать соотношение между удельной и молярной теплоемкостями.
3. Какая из теплоемкостей C_p или C_v больше и почему?
4. Написать соотношение между C_p, C_v и R.
5. Чем характерны изотермический и адиабатический процессы?
6. Указать, в какие моменты работы происходит адиабатический и изохорический процессы.
7. Рассказать порядок выполнения работы.
8. Вывести расчетную формулу для вычисления γ.
9. На каком основании при получении расчетной формулы (17) для γ логарифмы чисел заменяются самими числами?
10. Как вычисляется относительная погрешность искомой величины в данной работе?