

Работа 2.9

Определение отношения теплоемкостей газа методом адиабатного расширения

Оборудование: стеклянный баллон, U-образный манометр, насос.

Описание установки и метода. Экспериментальная установка представляет собой стеклянный баллон *A* (рис. 2.10), соединенный с U-образным манометром *B* и насосом *E*. С помощью крана *C* баллон может сообщаться с атмосферой. Если при помощи насоса накачать в баллон некоторое количество воздуха, то его давление и температура увеличатся.

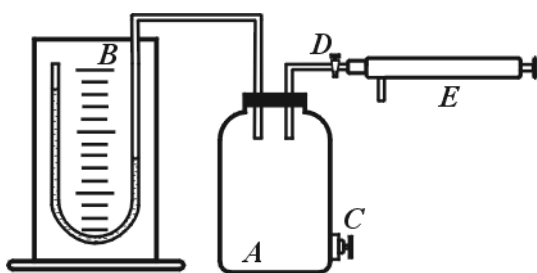


Рис. 2.10

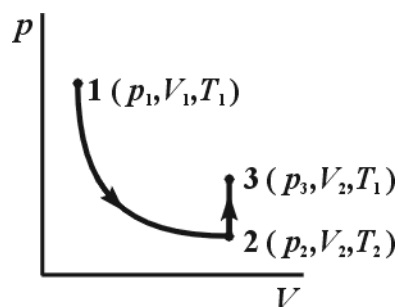


Рис. 2.11

В результате теплообмена через некоторое время (1 — 2 мин) температура воздуха в баллоне снова будет равна температуре окружающей среды T_1 , а давление в баллоне

$$p_{1a} = p + \Delta p,$$

где $p_a = \rho gH$ (H — высота столба жидкости, создающего давление, равное атмосферному), $\Delta p = \rho gh_1$ — избыточное давление воздуха в баллоне над атмосферным давлением (h_1 — разность уровней жидкости в U-образном манометре). Если на короткий промежуток времени открыть кран *C*, чтобы давление в баллоне стало равным атмосферному ($p_{2a} = p$), то часть воздуха выйдет из баллона. Пусть масса воздуха в баллоне после его накачивания была m , а объем баллона V_2 . Обозначим через Δm_1 массу воздуха, которая выходит из баллона при открывании крана *C*. Тогда масса воздуха, оставшегося в баллоне: $m_1 = m - \Delta m_1$. Масса воздуха m_1 до открытия крана занимала не весь объем баллона V_2 , а $V_1 < V_2$. Таким образом, состояние воздуха массой m_1 внутри баллона перед открытием крана *C*, которое назовем состоянием 1 (точка 1, рис. 2.11), можно характеризовать параметрами V_1 , T_1 и $p_1 = \rho g(H + h_1)$.

Процесс расширения воздуха при открывании крана *C* кратковременный, и заметного теплообмена между молекулами воздуха и стенками баллона не

произойдет, поэтому его можно считать *адиабатным*. В результате этого процесса температура в баллоне уменьшится до T_2 , а давление станет равным атмосферному $p_2 = \rho gH$. Таким образом, в конце адиабатного процесса в состоянии 2 (точка 2, рис. 2.11) параметры газа будут p_2, T_2, V_2 .

В соответствии с уравнением Пуассона (для массы воздуха m_1) получим:

$$(H + h_1) V_1^\gamma = H V_2^\gamma.$$

Откуда

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = \frac{H}{H + h_1}. \quad (1)$$

Через некоторое время в результате теплообмена воздух в баллоне нагревается до температуры окружающей среды T_1 , а давление увеличивается до $p_3 = \rho g(H + h_2)$, где h_2 — новая разность уровней в манометре. Объем воздуха не изменится и будет равным V_2 . Таким образом, новое состояние воздуха, которое назовем состоянием 3 (точка 3, рис. 2.11) характеризуется параметрами V_2, T_1, p_3 . Поскольку в состоянии 1 и 3 температура воздуха одинаковая, то в соответствии с законом Бойля — Мариотта можно записать:

$$(H + h_1) V_1 = (H + h_2) V_2,$$

откуда

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{H + h_2}{H + h_1} \quad \text{и} \quad \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = \left(\frac{H + h_2}{H + h_1} \right)^\gamma. \quad (2)$$

В соответствии с соотношением (1) равенство (2) можно записать:

$$\frac{H}{H + h_1} = \left(\frac{H + h_2}{H + h_1} \right)^\gamma. \quad (3)$$

После логарифмирования выражения (3) получим:

$$\gamma = \frac{\ln \frac{H}{H + h_1}}{\ln \frac{H + h_2}{H + h_1}} = \frac{\ln \frac{H + h_1 - h_1}{H + h_1}}{\ln \frac{H + h_1 + h_2 - h_1}{H + h_1}} = \frac{\ln \left(1 - \frac{h_1}{H + h_1} \right)}{\ln \left(1 - \frac{h_1 - h_2}{H + h_1} \right)}. \quad (4)$$

Если учесть, что отношения $\frac{h_1}{H + h_1}$ и $\frac{h_1 - h_2}{H + h_1}$ намного меньше единицы, то в соответствии с формулой $\ln(1 - x) \approx -x$, действительной при малых x , вместо соотношения (4) получим:

$$\gamma = \frac{\frac{h_1}{H + h_1}}{\frac{h_1 - h_2}{H + h_1}} = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (5)$$

Таким образом, экспериментальное определение $\gamma = C_p/C_V$ сводится к измерению разности уровней жидкости h_1 и h_2 в коленях манометра.

Порядок выполнения работы

1. Осторожно откройте кран D и, пользуясь насосом, накачивайте воздух в баллон до тех пор, пока разность уровней жидкости в манометре не достигнет 25 — 30 см. Закройте кран D .

2. После того, как колебания уровней жидкости в коленях манометра прекратятся, сделайте отсчет разности уровней h_1 по шкале манометра.

3. Откройте кран C и сразу же, как только уровни жидкости в манометре сравняются, быстро закройте его.

4. Через некоторое время сделайте отсчет разности уровней жидкости в манометре h_2 .

5. Повторите опыт 5 — 7 раз при разных значениях h_1 и h_2 , каждый раз определяя γ по формуле (5). Найдите $\bar{\gamma}$.

6. Сделайте оценку погрешностей измерений.

7. Выводы измерений и вычислений запишите в таблицу:

№п/п	h_1 , м	h_2 , м	γ	$\bar{\gamma}$
------	-----------	-----------	----------	----------------



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс называется адиабатным?
2. Запишите уравнения Пуассона для адиабатного процесса и поясните их.
3. Что называется теплоемкостью газа? Какие существуют теплоемкости газа? В чем заключается их различие?
4. Дайте понятие классической теории теплоемкости. Сформулируйте теорему о равномерном распределении энергии по степеням свободы.
5. Запишите равенство, устанавливающее соотношение теплоемкостей газа с числом степеней свободы его молекул.
6. Получите численное значение отношения теплоемкостей C_p и C_V для воздуха.

7. Почему процесс расширения сжатого воздуха из баллона можно считать адиабатным?

8. Как изменяются внутренняя энергия и температура газа при адиабатном процессе?

9. Дайте графическую иллюстрацию процессов, происходящих с газом в данной работе.