

Лаборатория общей физики  
радиофизического факультета

*В. А. СКВОРЦОВ*

## **Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха**

(Описание к лабораторной работе)

г. Горький,  
1963 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА

Обозначим  $C_v$  — удельную теплоемкость газа при постоянном объеме и  $C_p$  — удельную теплоемкость газа при постоянном давлении.

При адиабатическом изменении состояния газа, когда не происходит теплообмена между газом и окружающей средой, имеет место закон Пуассона:

$$p(v)^\gamma = \text{const},$$

где  $p$  — давление,  $v$  — объем единицы массы газа (удельный объем)

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Очень быстро протекающие процессы можно считать адиабатическими. Такой процесс лежит в основе опыта Клемана Дезорма.

Большой толстостенный сосуд (стеклянный) при помощи крана  $K$  может сообщаться с наружным воздухом (рис. 1). При помощи трубки он сообщается с водяным манометром  $D$  и через трубку  $E$  с нагнетательным насосом. Закроем кран  $K$  и накачаем в сосуд  $A$  воздух, тогда в сосуде  $A$  воздух окажется под давлением  $p_1$  большим атмосферного. Соответственно удельный объем его по истечении некоторого времени, в течение которого температура внутри сосуда сравняется с наружной, будет  $v_1$ , следовательно, состояние воздуха характери-

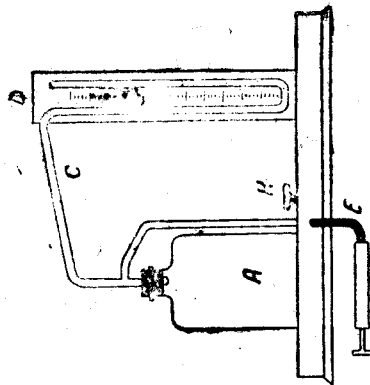


Рис. 1.

зуется величинами (параметрами):  $p_1$ ,  $v_1$ ,  $t$ . Теперь быстро открываем кран  $K$  и быстро закрываем его, при этом воздух в сосуде быстро расширяется (адиабатическое расширение) и охлаждается до температуры  $t_0$  ниже комнатной, давление его поднимается до атмосферного  $p_0$ , а удельный объем увеличивается до удельного объема  $v_0$ . Следовательно, в этом втором состоянии, воздух в сосуде имеет температуру  $t_0$ , удельный объем  $v_0$  и давление  $p_0$ . Переход из первого состояния во второе происходит по адиабате

$$p_1 v_1^\gamma = p_0 v_0^\gamma. \quad (1)$$

Так как объемы  $v_0$  и  $v_1$  неизвестны, то определить отсюда  $\gamma$  нельзя. Поэтому рассмотрим еще третье состояние воздуха, в которое он приходит спустя некоторое время после закрытия крана  $K$ . Тогда воздух в сосуде нагревается до температуры комнаты, равной  $t$ , и в силу этого давление его повысится до  $p_2$ . В этом третьем состоянии воздух имеет температуру  $t$ , удельный объем  $v_0$ , давление  $p_2$ . Переход из первого состояния в третье совершается по закону

$$p_1 v_1 = p_2 v_0. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), можно легко исключить  $v_1$  и  $v_0$ , найдя их отношение из уравнения (2)

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{p_2}{p_1}.$$

Из уравнения (1) имеем  $\left(\frac{v_1}{v_0}\right)^\gamma = \frac{p_0}{p_1}$ .

Следовательно,  $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^\gamma = \frac{p_0}{p_1}$ .

Решая это уравнение относительно  $\gamma$ , получим:

$$\gamma = \frac{\ln \frac{p_0}{p_1}}{\ln \frac{p_2}{p_1}}. \quad (3)$$

Так как  $p_1$ ,  $p_0$  и  $p_2$  лишь мало разнятся друг от друга, то можно писать

$$p_0 = p_1 - h_1 = p_1 \left(1 - \frac{h_1}{p_1}\right); \quad p_2 = p_0 + h_2 = p_1 - h_1 + h_2,$$

$$\frac{p_0}{p_1} = 1 + \frac{-h_1}{p_1}, \quad (4)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + \frac{-h_1 + h_2}{p_1}. \quad (5)$$

Подставим (4) и (5) в (3) и разложим логарифмы в ряд по формуле:

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \dots$$

В нашем случае, так как

$$x_1 = \frac{-h_1}{p_1} \ll 1 \quad \text{и} \quad x_2 = \frac{h_2 - h_1}{p_1} \ll 1,$$

можно ограничиться только первым членом разложения, тогда окончательно получим:

$$\gamma = \frac{-\frac{h_1}{p_1}}{-\frac{h_1}{p_1} + \frac{h_2}{p_1}} = \frac{-h_1}{-h_1 + h_2}; \quad \gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}.$$

## Опыт

При закрытом кране  $K$  насос накачивает воздух в сосуд  $A$  до тех пор, пока манометр не покажет разности давлений между воздухом внутри сосуда и наружным 30—40 см водяного столба. Затем закрывают трубку  $E$  зажимами и ждут пока воздух в сосуде не примет температуру наружного воздуха, это наступит тогда, когда давление в сосуде  $A$ , а следовательно, и разности уровней жидкости в манометре перестанут изменяться. Затем открывают кран и держат его открытым до тех пор, пока не прекратится свист выходящего воздуха, а потом уже его быстро закрывают. После этого снова начинают наблюдать за уровнями. Отсчет установившейся разности уровней ( $h_1$ ) и ( $h_2$ ) производится при помощи зеркальной шкалы во избежание ошибки от паралакса. Наблюдения записывают в таблицу:

№№ наблюдений	1	2	3	4	5
Разность уровней в см					
$\gamma$ среднее					

Опыт проделать не меньше пяти раз. Обычным образом оцениваются абсолютная и относительная ошибки.

### ВОПРОСЫ

1. Изобразить равновесные состояния, при которых производились отчеты, и процессы перехода между ними в плоскостях  $PV$ ,  $PT$ ,  $VT$ . Отметьте на этих диаграммах значения атмосферного давления и комнатной температуры. Под объемом  $v$  имеют ввиду удельный объем воздуха.
2. Напишите уравнения кривых, изображающих эти процессы. Как эти процессы называются? Изобразите на плоскости  $PV$  на том же рисунке изотерму, соответствующую комнатной температуре.
3. Что такое  $C_p$  и  $C_v$ ? Поясните, почему  $C_p > C_v$  для идеального газа.
4. Оцените величину понижения температуры, происходящей на опыте.
5. Вычислите количество воздуха, выходящего из сосуда, когда открывается кран. Плотность воздуха в комнате взять из таблиц.

### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Э. Фриш и А. В. Тиморева. Курс общей физики, т. 1, Госиздат 1953, стр. 264—269, §§ 48, 67.
2. Т. Н. Богданова и Е. П. Сугботина, Руководство к практическим занятиям по физике, изд. 1949, стр. 207—210.