

## Экспериментальная установка для изучения адиабатического расширения газов в переменных «давление – температура»

© И.Н. Фетисов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Представлено описание лабораторной установки для изучения адиабатического расширения газов путем измерения давления и температуры газа перед расширением и сразу после расширения. Дано описание малоинерционного термометра сопротивления. Приведены результаты измерения адиабаты для влажного воздуха и показателя адиабаты.*

**Ключевые слова:** адиабатический процесс, уравнение Пуассона, лабораторная работа.

**Введение.** Широкая распространенность и важная роль адиабатических процессов как в природе, так и в технике [1] обуславливает необходимость детального их изучения в лабораторном практикуме.

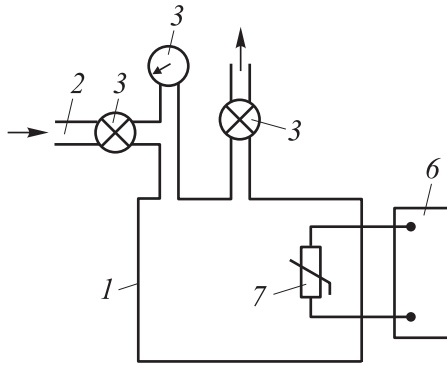
Однако известные лабораторные работы ограничиваются лишь определением показателя адиабаты  $\gamma = C_p / C_v$  для газов методом Клемана и Дезорма или по скорости звука в газе (см., например, работу [2]), причем в этих работах уравнение адиабаты для газов не проверяют.

Для устранения отмеченных недостатков разработана экспериментальная установка [3]. В процессе выполнения лабораторной работы измеряют давление  $p$  и температуру  $T$  газа до адиабатического расширения ( $p_1$  и  $T_1$ ) и сразу после адиабатического расширения ( $p_2$  и  $T_2$ ) для проверки уравнения Пуассона для идеального газа

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

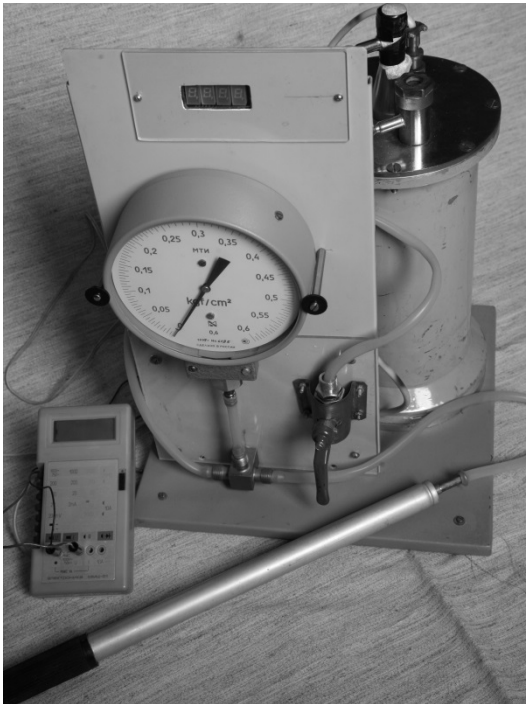
а также определения значения показателя адиабаты  $\gamma$ .

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из разборного металлического сосуда 1 диаметром 14 см, высотой 30 см и объемом 4,6 л, манометра 4 для измерения избыточного давления  $\Delta p$  газа в сосуде и крана 5 для выпуска газа в атмосферу. Сосуд наполняется либо воздухом с помощью нагнетательного насоса, либо другим газом из баллона со сжатым газом через входной патрубок 2, снабженный велосипедным ниппелем 3 с односторонним клапаном. Внешний вид установки представлен на рис. 2.



**Рис. 1.** Схема установки:

1 – сосуд объемом 4,6 л; 2 – входной патрубок; 3 – велосипедный ниппель; 4 – манометр; 5 – кран; 6 – цифровой вольтметр для измерения сопротивления; 7 – терморезистор



**Рис. 2.** Внешний вид установки

Поскольку газ после адиабатического расширения охлаждается, приняты меры для уменьшения нагрева газа от стенок сосуда в течение того малого промежутка времени, когда измеряют температуру газа. Для этого большая часть внутренней поверхности сосуда покрыта теплоизолирующим слоем пористого полиуретана толщиной несколько миллиметров и металлизированной диэлектрической пленкой от конденсатора для уменьшения потока теплового излучения стенок.

Малоинерционный электрический термометр сопротивления служит для измерения температуры газа перед его расширением и быстрого измерения температуры газа в сосуде сразу после расширения. Термометр (см. рис. 1) состоит из терморезистора 7 ТП-2/0,5 и цифрового вольтметра 6 для измерения сопротивления терморезистора. Терморезистор ТП-2/0,5 устроен следующим образом. В стеклянном баллоне с цоколем на длинных тонких вольфрамовых нитях подвешен миниатюрный стержень (размерами примерно  $1,5 \times 0,2$  мм), выполненный из полупроводникового материала. Для использования в данной установке стеклянный баллон был удален. При измерении сопротивления через терморезистор протекает ток, значение которого различно на разных пределах прибора для измерения сопротивления. В установке использовано предельное значение сопротивления 2 МОм, при котором измерительный ток составляет 1 мкА, нагрев терморезистора током пренебрежимо мал.

Термометр сопротивления прокалиброван в интервале температур 24...74 °С, измеренных ртутным термометром. Установлено, что сопротивление  $R$  терморезистора подчиняется типичной для полупроводников зависимости от температуры  $T$ :

$$R = A \exp\left(\frac{B}{T}\right). \quad (2)$$

Калибровка терморезистора, используемого в данной установке, обусловила следующие значения коэффициентов:  $A = 0,0236$  кОм,  $B = 2\,322$  К. Температуру газа в сосуде вычисляли по результатам измерения сопротивления терморезистора по формуле, которая следует из выражения (2):

$$T = \frac{B}{\ln R - \ln A}. \quad (3)$$

Постоянная времени термометра сопротивления, включая инерционность цифрового омметра, составляет менее 1 с.

Экспериментальное изучение адиабатического расширения влажного воздуха с помощью данной установки проводили в зимнее время в помещении при температуре воздуха  $T_1 = 294$  К и атмосферном давлении  $p_2 = 1,023$  ат, которое измеряли барометром ( $1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^4$  Па).

Воздух в сосуд нагнетали насосом, что сопровождалось нагреванием сосуда. После окончания нагнетания воздуха температура воздуха в сосуде опускалась до комнатной температуры  $T_1$ . Затем измеряли манометром избыточное давление  $\Delta p$  и определяли давление газа в сосуде:  $p_1 = p_2 + \Delta p$ . Для быстрого удаления избыточного воздуха в атмосферу открывали кран 5. При этом сопротивление

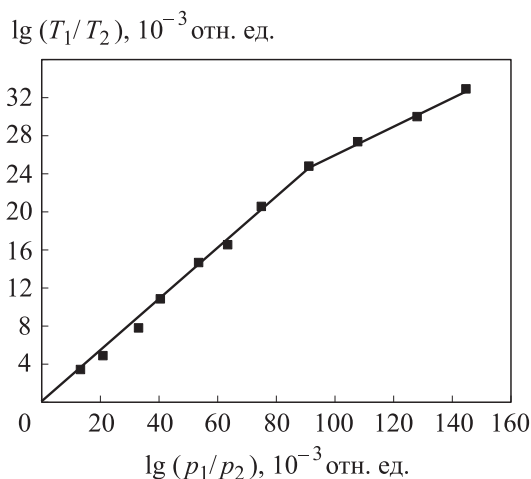
терморезистора практически мгновенно достигало максимального значения  $R_{\max}$ , после чего начинало уменьшаться. Значение  $R_{\max}$  измеряли и по формуле (3) вычисляли температуру  $T_2$  воздуха в сосуде сразу после адиабатического расширения. Эксперимент повторяли при различных значениях  $\Delta p$ , достигая максимального значения  $\Delta p = 0,5$  ат. При этом сопротивление  $R_{\max}$  терморезистора изменялось в пределах 68...124 кОм, а температура  $T_2$  – в пределах 292...271 К (см. таблицу).

### Результаты измерений при адиабатическом расширении влажного воздуха

$\Delta p$ , ат	$\lg(p_1/p_2)$ , отн. ед. $10^{-3}$	$R_{\max}$ , кОм	$T_2$ , К	$\lg(T_1/T_2)$ , $10^{-3}$ отн. ед.
0,032	13,4	68	292	3,3
0,050	20,7	70	290	4,9
0,080	32,7	74	288	7,9
0,100	40,5	78	287	10,7
0,135	53,8	84	284	14,7
0,160	63,1	87	283	16,6
0,195	75,8	94	280	20,6
0,240	91,5	100	278	24,7
0,290	108,0	105	276	27,3
0,350	128,0	111	275	30,1
0,407	145,5	117	273	32,8
0,490	170,0	124	271	35,8

По результатам измерений пары значений  $p_1$  и  $T_1$  перед расширением воздуха и  $p_2$  и  $T_2$  в конце адиабатического расширения вычислили значения  $\lg(p_1/p_2)$  и  $\lg(T_1/T_2)$  (см. таблицу) и строили графическую зависимость. Как видно на рис. 3, зависимость  $\lg(T_1/T_2)$  от  $\lg(p_1/p_2)$  представляет собой две прямые линии с различным наклоном и изломом при давлении  $p_1 = 1,26$  ат и температуре  $T_2 = 278$  К. Полученная экспериментально зависимость до излома согласуется с уравнением Пуассона (1) для идеального газа. С учетом результатов измерений и формулы (1) получено значение показателя адиабаты  $\gamma = 1,37$ , которое незначительно отличается от теоретического значения  $\gamma = 1,4$  для двухатомных молекул.

Адиабатическое расширение воздуха при давлении  $p_1 > 1,26$  ат сопровождается новым процессом – конденсацией паров воды, содержащихся в воздухе. При этом выделяется теплота конденсации, и поэтому температура  $T_2$  выше, чем была бы в сухом воздухе. В результате этого нагревания наклон прямой на рис. 3 уменьшается. Температуру  $T_2 = 278$  К, при которой происходит излом графика на рис. 3, следует считать точкой росы. Ей соответствует относительная влажность воздуха в помещении, равная 37 %.



**Рис. 3.** Результаты измерений адиабатического расширения влажного воздуха

**Заключение.** Приведенные результаты изучения адиабатического расширения воздуха подтверждают соответствие данной установки требованиям современного физического практикума. В настоящее время описанная установка внедряется в физический практикум на кафедре «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, что будет способствовать более глубокому изучению студентами адиабатического процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глаголев К.В., Морозов А.Н. *Физическая термодинамика: учебное пособие*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 269 с.
- [2] Гольдин Л.Л., ред., Игошин Ф.Ф., Козел С.М., Можаяев В.В., Ногинова Л.В., Самарский Ю.А., Францесон А.В. *Лабораторные занятия по физике: учеб. пособие*. Москва, Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983, 704 с.
- [3] Фетисов И.Н. Изучение адиабатического расширения воздуха в переменных  $p$ - $T$ . *Сб. тез. докл. VII Учебно-метод. конф. стран Содружества «Современный физический практикум»*. Спб., 2002 г., Издательский дом Московского физического общества, 2002, с. 123.

Статья поступила в редакцию 05.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Фетисов И.Н. Экспериментальная установка для изучения адиабатического расширения газов в переменных «давление – температура». *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 8. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pedagogika/hidden/869.html>

**Фетисов Игорь Николаевич** родился в 1931 г., окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова в 1955 г. Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Области научных интересов: биофизика зрения, миллиметровые радиоволны, экспериментальные методы физических измерений, физический практикум. e-mail: infetisov@mail.ru