

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ  
УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР –  
факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Школа имени А.Н. Колмогорова

Кафедра физики

---

Общий физический практикум

Лабораторная задача № 2.5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ  
ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ ВОЗДУХА  $C_p/C_v$**

составители:

Соловей А.Б. и Макаров И.А.

2013 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ ВОЗДУХА $C_p/C_v$

### Теоретическая часть

Для измерения показателя адиабаты  $\gamma$  воздуха допустимо практически без погрешностей использовать модель идеального газа. Центральным уравнение модели идеального газа является уравнение состояния. Это уравнение называется уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где  $P$  — давление,  $V$  — объем,  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $T$  — температура,  $m$  — масса газа,  $\mu$  — молярная масса. Для определения теплоемкости нужно использовать еще одно уравнение — первый закон термодинамики, который представляет собой закон сохранения энергии, записанный для тепловых процессов:

$$\delta Q = dU + \delta A$$

здесь  $Q$  — теплота, полученная телом.  $U$  — измерение внутренней энергии тела.  $A$  — совершение **этим телом** работы. Для того, чтобы рассчитать теплоемкость тела, нужно количество теплоты разделить на измерение температуры. При различных условиях ( $V = \text{const}$ ,  $P = \text{const}$ , ...) теплоемкость тела будет различной.

Если процесс происходит без обмена теплотой с внешней средой (то есть  $Q = 0$ ), то такой процесс называется адиабатическим.

$$PV^\gamma = \text{const}$$

Это может быть достигнуто, например, с помощью изоляции системы или проведением процесса быстро, так, чтобы обмен энергией между системой и окружающей средой не успевал произойти. Важной характеристикой адиабатического процесса является показатель адиабаты  $\gamma = C_p/C_v$ .

### Экспериментальная часть

#### Приборы и оборудование

Прибор для измерения  $C_p/C_v$  показан на рис. 1а. Он представляет собой сосуд, который с помощью трёхходового крана может быть соединён с атмосферой, с насосом или закрыт герметично. Давление в сосуде измеряется с помощью водяного манометра.

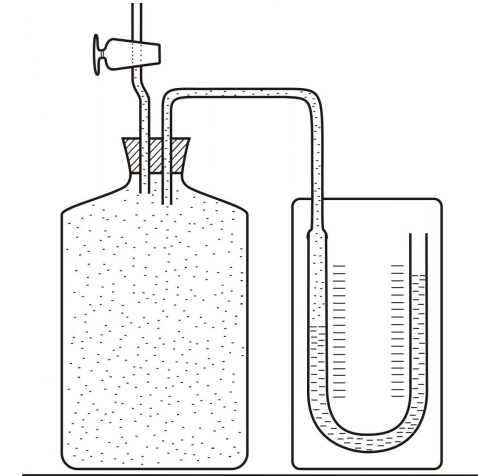


Рис. 1 Эскиз прибора для измерения отношения  $C_p/C_v$ .

### Порядок проведения эксперимента

1. Накачайте в сосуд некоторое количество воздуха, чтобы разность уровней в манометре была 20-25 см. Делайте это медленно и осторожно, чтобы вода не выплеснулась из манометра. При этом давление и температура воздуха в сосуде повысятся.

Если теперь сосуд закрыть, то через некоторое время температура в нём станет равной температуре окружающей среды  $T_0$ , а давление примет некоторое значение  $P_1$ . Этому значению будет соответствовать разность уровней в манометре.

Можно измерять давление в миллиметрах водяного столба, тогда  $P_1 = P_0 + h_1$ , где  $P_0$  – атмосферное давление, измеренное в мм водяного столба.

2. На некоторое время соедините сосуд с атмосферой. Воздух будет выходить из сосуда со свистом, давление сравняется с атмосферным, а температура понизится до некоторого значения  $T$ . Кран следует закрыть сразу же при изменении тона звука, производимого выходящим воздухом. Процесс выравнивания давления может быть описан уравнением адиабаты в переменных  $P$  и  $T$ :

$$\frac{P_1^{\gamma-1}}{T_0^\gamma} = \frac{P_0^{\gamma-1}}{T^\gamma}, \quad (1)$$

где  $\gamma = C_p/C_v$ .

3. Через некоторое время температура в сосуде снова станет равной температуре окружающей

среды  $T_0$ , а давление примет значение  $P_2 = P_0 + h_2$ , где  $h_2$  - показание манометра. Этот процесс описывается уравнением изохоры:

$$\frac{P_0}{T} = \frac{P_2}{T_0} \quad \text{или} \quad \frac{P_0}{T} = \frac{P_0 + h_2}{T_0}, \quad (2)$$

Возведём уравнение (2) в степень  $\gamma$ :

$$\frac{P_0^\gamma}{T^\gamma} = \frac{(P_0 + h_2)^\gamma}{T_0^\gamma}, \quad (3)$$

Разделив уравнение (3) на уравнение (1), получим:

$$\begin{aligned} \frac{(P_0 + h_2)^\gamma}{(P_0 + h_1)^{\gamma-1}} &= P_0, \quad \text{или} \\ \frac{(1 + \frac{h_2}{P_0})^\gamma}{(1 + \frac{h_1}{P_0})^{\gamma-1}} &= 1, \\ (1 + \frac{h_2}{P_0})^\gamma &= (1 + \frac{h_1}{P_0})^{\gamma-1} \end{aligned} \quad (4)$$

так как  $\frac{h_1}{P_0} \ll 1$  и  $\frac{h_2}{P_0} \ll 1$ , получаем по формуле бинома Ньютона

$$\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} \approx 1 + (\gamma - 1) \cdot \frac{h_1}{P_0}$$

$$\left(1 + \frac{h_2}{P_0}\right)^{\gamma} \approx 1 + \gamma \cdot \frac{h_2}{P_0}$$

И уравнение (4) принимает вид:

$$1 + \gamma \cdot \frac{h_2}{P_0} = 1 + (\gamma - 1) \cdot \frac{h_1}{P_0}$$

Откуда:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (5)$$

Таким образом, для определения величины  $\gamma$  необходимо снять два соответствующих показания манометра  $h_1$  и  $h_2$ .

Опыт необходимо повторить не менее 10 раз. Результаты измерений занести в таблицу. Оценить ошибку эксперимента.

Выполните расчет среднего значения  $\gamma$  по формуле (5) и экспериментальной ошибки согласно теории обработки ошибок [7]

### Вопросы для допуска

1. Почему нужно закрыть кран именно после прекращения звука, а не после выравнивания давлений в манометре?
2. Почему температура газа в 1-й стадии опыта повышается?

### Вопросы для защиты

1. Что называется теплоёмкостью процесса?
2. Что такое теплоёмкости  $C_p$  и  $C_v$ ?
3. Что такое адиабатический процесс?
4. Почему в таблицах теплоёмкостей для газов даются два значения  $C_p$  и  $C_v$ ?
5. Каковы теплоёмкости газов при адиабатическом и изотермическом процессах?
6. Какие процессы называются квазистатическими? Можно ли сжатие газа и его расширение в данном эксперименте считать квазистатическими процессами? Почему?

### Рекомендуемые источники

1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., «Молекулярная физика и термодинамика», учебник Физика-10 класс.
2. Матвеев А.Н., «Молекулярная физика: учебное пособие», т. 2.
3. Сивухин Д.В., «Общий курс физики», т.2.
4. Телеснин Р.В., «Молекулярная физика».
5. Путилов К.А. «Курс физики», т.1.
6. Больцман Л., «Лекции по теории газов»
7. Сергеев С.П. «Обработка результатов физического эксперимента».
8. wikipedia.org