

Ю. В. Герасимов, К. В. Глаголев, И. А. Константинова

## ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ВОЗДУХА.

Методические указания к лабораторной работе Т-11 по курсу общей физики.

Москва, 2014.

Цель работы – изучение законов политропических процессов и измерение молярной теплоёмкости воздуха  $C_V$  при постоянном объёме и молярной теплоёмкости  $C_P$  при постоянном давлении, проверка соотношения Майера и расчёт показателей адиабаты  $\gamma$  воздуха.

### Теоретическая часть.

Теплоёмкостью данного тела называется коэффициент пропорциональности между сообщённым телу количеством теплоты  $Q$  и приращением его температуры  $\Delta T$ :

$$C = \frac{Q}{\Delta T}, \text{ единица измерения } \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Во многих термодинамических процессах эта величина остаётся постоянной в течение процесса, и такие процессы называются политропическими. Уравнение политропического процесса:

$$pV^n = \text{const},$$

где  $n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$  - показатель политропы,  $C$  - теплоёмкость в заданном процессе,  $C_P$  - теплоёмкость в политропическом процессе с постоянным давлением,  $C_V$  - теплоёмкость в политропическом процессе с постоянным объёмом.

При адиабатическом процессе, когда отсутствует теплообмен с окружающей средой  $C = 0$ :  $n = \frac{C_P}{C_V} = \gamma$ .

Таким образом, измерив  $C_P$  и  $C_V$ , мы можем рассчитать показатель адиабаты  $\gamma$ .

В соответствии с соотношением Майера для идеального газа

$C_p - C_v = R$ . Если процесс протекает достаточно быстро, чтобы считать воздух в системе теплоизолированным и можно пренебречь изменением температуры стенок сосуда во время протекания процесса, мы можем считать количество теплоты, переданное воздуху равным джоулеву теплу, выделенному нагревателем  $Q = U \cdot I \cdot \Delta t$ , где  $U$  – напряжение на нагревателе,  $I$  – сила тока в нагревателе,  $\Delta t$  – время работы нагревателя.

Изменение температуры воздуха может быть измерено с помощью термометра, представляющего собой термометрическое тело, меняющее свою характеристику (термометрический признак) в зависимости от температуры.

В данной лабораторной работе термометрическим телом является воздух в системе, а его термометрическими признаками являются давление при измерении  $C_v$  и объем при измерении  $C_p$ .

Для расчета  $C_v$  и  $C_p$  по этим параметрам мы должны использовать уравнение состояния термодинамической системы (не путать с уравнением термодинамического процесса!).

В нашей работе мы рассматриваем воздух как идеальный газ и его уравнение состояния – уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{\mu}$$

где  $\mu$ ,  $m$  – масса газа,  $\mu$  – молярная масса газа.

При постоянном объеме:

$$\Delta p \cdot V = \nu R \Delta T = \nu R \frac{Q}{C_v} = \nu R \frac{UI \Delta t}{C_v}$$

где нижний индекс «V» означает измерение параметра при постоянном объеме V, отсюда

$$C_v = UI \frac{\Delta t}{\Delta T}$$

так как  $\Delta T = \frac{V}{\nu R} \Delta p$ , имеем  $C_v = UI \frac{\Delta t \nu R}{\Delta p V}$  и в случае линейной зависимости  $p(t)$ :

$$C_v = \frac{UI \nu R}{V \frac{dp}{dt}} \quad (1)$$

При измерении  $C_p$ :

$$p \Delta V = \nu R \Delta T = \nu R \frac{UI \Delta t_p}{C_p}$$

$$\Delta T = \frac{P}{\nu R} \Delta V ;$$

(2)

$$C_P = \frac{UI\nu R}{p \frac{dV}{dt}}$$

Для расчёта молярной теплоёмкости рассчитаем количество молей в сосуде, используя уравнение Менделеева-Клапейрона, значение  $V$  указано на установке,  $p$  и  $T$  - измеренные с помощью метеостанции значения давления и температуры в комнате (можно взять нормальные значения  $p_H$  и  $T_H$ ).

Схемы установки для измерения  $C_V$  и  $C_P$  показаны на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

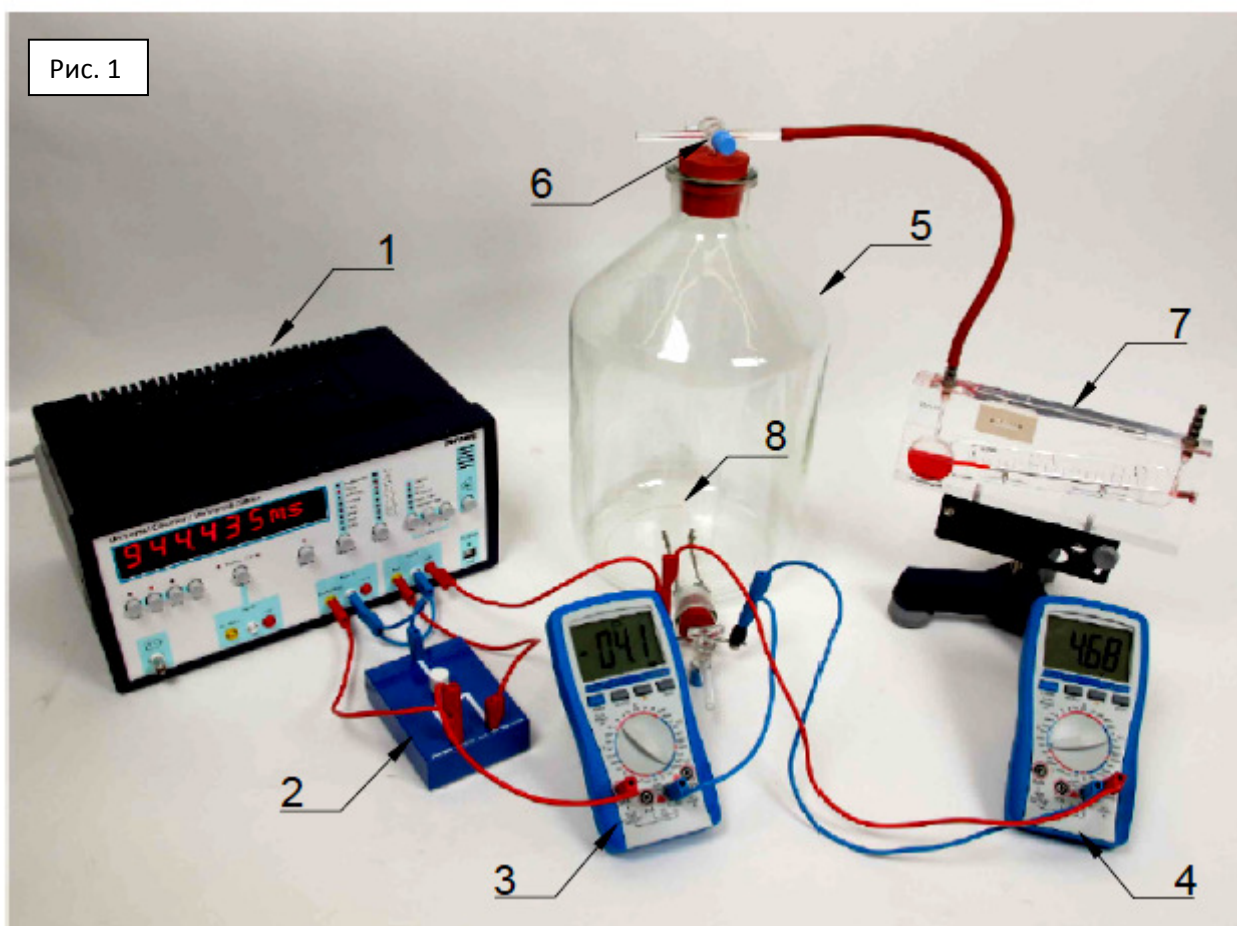
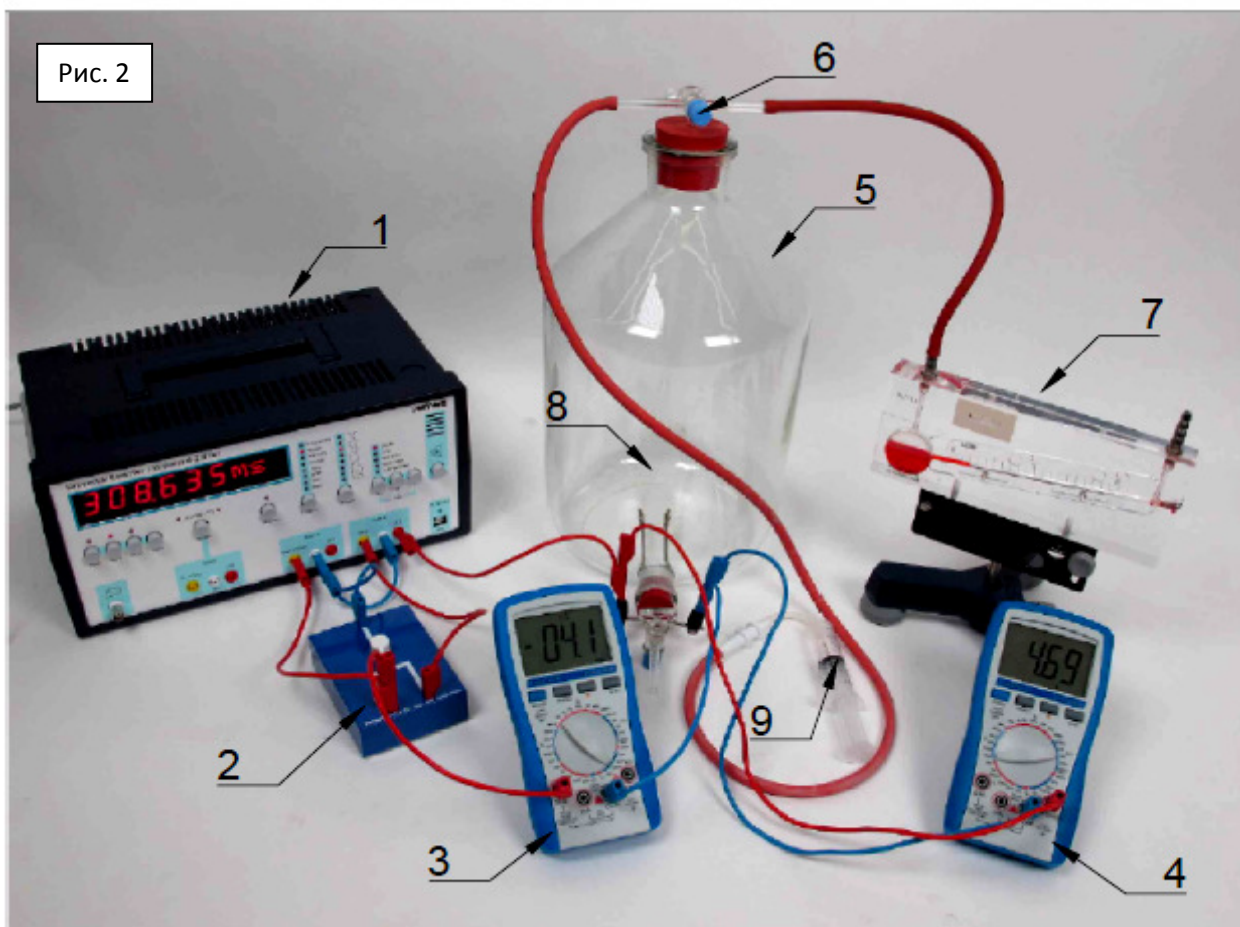


Рис. 1

- 1 – секундомер;
- 2 – ключ для включения переключения режимов;
- 3 – универсальный мультиметр, настроенный на измерение тока;
- 4 – универсальный мультиметр, настроенный на измерение напряжения;
- 5 – сосуд из прозрачного стекла объёмом 10 литров с воздухом;
- 6 – стеклянный вентиль;

- 7 – манометр;
- 8 – нагревательный элемент (две проволоочки);
- 9 – ёмкость от шприца с градуировкой, объёмом 20 мл,  
для регулировки давления при определении  $C_p$ .



## Практическая часть.

Порядок проведения измерений для определения  $C_v$ :

1. Убедиться, что ключ установлен в крайне левое положение.
2. Убедиться, что на секундомере все режимы выставлены как на рис. 3.  
(Менять режимы можно нажатием серых кнопок)

Рис. 3



3. Включить нагрев (перевести ключ в крайне правое положение) и одновременно нажать кнопку «Start» на секундомере. Следить за ростом давления по манометру, чтобы уровень красной жидкости не превысил предельного значения 4 mbar. (Проверить это значение в окошке ниже манометра.)

4. По истечению двух (лучше меньше) секунд нажать кнопку «Stop» и одновременно выключить нагрев, тут же снять показатели манометра и секундомера. Чтобы обнулить значения на секундомере нажмите «Zero».

5. Провести не менее десяти измерений.

Результаты записать в таблицу № 1.

Таблица № 1

№ опыта	$\Delta t$ , ms	$\Delta p$ , mbar	$I$ , mA	$U$ , V
1	.	.	.	.
.	.	.	.	.

6. Рассчитать значение  $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ , используя значение  $\Delta p$ , измеренное манометром, предварительно установив его предельное значение равное 4 mbar, и значение  $\Delta t$  полученное по секундомеру.

7. Для нахождения случайных ошибок  $\Delta p$  и  $\Delta t$  повторить опыт не менее 10 раз.

8. Найти погрешность измеренного значения  $\Delta p$  и  $\Delta t$ , используя методику лабораторной работы «Математический маятник» (M1).

9. Найти погрешность расчета  $C_V$  по формуле (1), используя методику нахождения погрешностей косвенных измерений из лабораторной работы M1.

Порядок проведения измерений для определения  $C_P$ :

1. Повторить все пункты 1-2.

2. Включить нагрев и одновременно нажать кнопку «Start» на секундомере. Попытаться удержать давление на начальной отметке с помощью увеличения объема ёмкостью от шприца (потихоньку выдвигать поршень шприца, не давая столбику красной жидкости подняться в манометре).
3. По истечению двух (лучше меньше) секунд нажать кнопку «Stop» и одновременно выключить нагрев. Снять показатели с ёмкости от шприца.
4. Провести не менее десяти измерений.

Результаты записать в таблицу № 2.

Таблица № 2

№ опыта	$\Delta t$ , ms	$\Delta V$ , mbar	$I$ , mA	$U$ , V
1	.	.	.	.
.	.	.	.	.

5. Рассчитать значение  $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ , используя значение  $\Delta V$ , измеренное градуированной ёмкостью шприца, а значение  $\Delta t$  полученное с помощью секундомера.
6. Для нахождения случайных ошибок  $\Delta V$  и  $\Delta t$  повторить опыт не менее 10 раз.
7. Найти погрешность измеренного значения  $\Delta V$  и  $\Delta t$ , используя методику лабораторной работы «Математический маятник» (M1).
8. Найти погрешность расчета  $C_p$  по формуле (2), используя методику нахождения погрешностей косвенных измерений из лабораторной работы M1.
9. По полученным данным проверьте соотношение Майера и рассчитайте показатель адиабаты.
10. Построить графики  $p(t)$  и  $V(t)$ .

### **Контрольные вопросы.**

1. Какой процесс называется политропическим?
2. В каких случаях термодинамическая вероятность равна единице (статвес)?
3. Что такое термометрическое тело и термометрический признак? Что является термометрическим телом и термометрическими признаками в данной работе?
4. Укажите число степеней свободы одноатомной молекулы и жёсткой двухатомной.
5. Перечислите термодинамические параметры, использованные в данной работе. Зачем они были введены?
6. Нарисуйте примерный вид адиабаты в V-T координатах, p-T координатах.
7. Как изменится теплоёмкость при нарушении жёстких связей?

### **Литература.**

1. *Глаголев К. В., Морозов А. Н.* Физическая термодинамика. Курс физики в техническом университете, Т 2, Издательство МГТУ, 1984, 1987, 272 с.