

Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)
Физтех-школа физики и исследований им.Ландау

Лабораторная работа №2.1.1

(Лабораторный практикум по общей физике)

Измерение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении

Работу выполнил:
Климанов Даниил, группа Б02-115

г. Долгопрудный, 2022

Цель работы: 1) измерение повышения температуры воздуха в результате подвода тепл при стационарном течении через стеклянную трубу; 2) вычисление по результатам измерений теплоёмкости воздуха при постоянном давлении.

Оборудование: теплоизолированная трубка; электронагреватель; источник питания постоянного тока Б5-70; термopapa; амперметр; вольтметр; универсальный цифровой вольтметр В7-23; газовый счётчик; секундомер.

1 Теоретическое введение:

Теплоёмкость определяется как частное $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$. Полная работа над молеми газа при протекании по трубе выражается как $A = P_2 V_2 - P_1 V_1$, где $P_{1,2}$ - давление в начале и конце трубы, $V_{1,2}$ - объём моля газа при входе и выходе из трубы соответственно. Изменение внутренней энергии представим как $\Delta U = U_2 - U_1$. По первому началу термодинамики:

$$\begin{cases} Q = \Delta U + A = (U_2 + P_2 V_2) - (U_1 + P_1 V_1) = \Delta H \\ H = U + PV = \nu C_v T + \nu RT = \nu C_p T \end{cases} \Rightarrow Q = C_p \Delta T \quad (1)$$

, где H - энтальпия газа. Тогда для удельной теплоёмкости верно следующее:

$$c_p = \frac{Q}{m \Delta T} = \frac{UI - N}{m \Delta T} \quad (2)$$

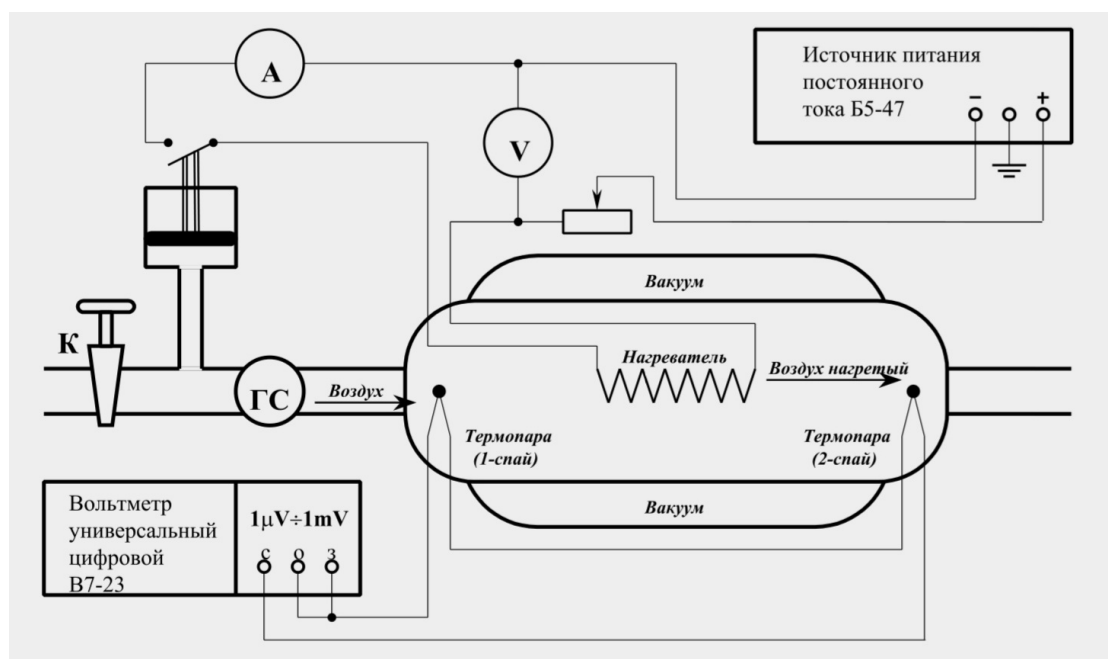
, где UI - мощность нагревателя, N - мощность тепловых потерь, m - масса воздуха, проходящего через установку в единицу времени, ΔT - перепад температур воздуха.

2 Экспериментальная установка:

Чтобы обеспечить большую точность измерений, требуется, чтобы как можно меньшая доля тепла уходила на нагревание калориметра. Поэтому в работе через установку осуществляется прокачка и нагревание воздуха, чтобы в процессе измерений масса нагретого воздуха была сравнима с массой калориметра. Измеряются количество тепла, переданное нагревателем, масса протекающего воздуха и изменение его температуры. Измерения выполнялись при следующих условиях:

Температура, °C	P_{atm} , Па	β , мкВ/°C	μ , г/моль	Влажность, %
$22,4 \pm 0,1$	99610	40,7	29	75

, где $\beta = \frac{\varepsilon}{\Delta T}$, ε - падение напряжения на нагревательном элементе. В процессе вычислений универсальная газовая постоянная R принималась равной 8,31 Дж/моль·К.



3 Выполнение измерений:

Измерения были сделаны для трёх различных расходов воздуха. Для каждого из значений было взято 5 точек, соответствующих разным напряжениям U . Таблицы с полученными данными приведены ниже:

3.1 Первый расход:

Чтобы измерить расход воздуха, мы засекали время, за которое газовый счётчик пропускает 1,5 л воздуха:

№	1	2	3	4	5
Время, с	7,42	7,33	7,15	7,59	7,28

Table 1: Время протекания 1,5л через ГС при первом расходе

Следовательно, расход Q_1 и его погрешность могут быть оценены как:

$$\begin{cases} Q_1 = 1,5/7,35 = 0,2 \\ \Delta Q_1 = \frac{V}{\Delta T^2} \cdot \sigma(\Delta T) = 0,004 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m = \frac{\mu PV}{RT} \approx \frac{29 \cdot 996100 \cdot Q_1}{8,31 \cdot 297,4} = 0,234 \\ \sigma m = \frac{\mu P_{atm}}{RT} \cdot \sqrt{(\sigma Q)^2 + \left(\frac{Q}{T}\right)^2 (\sigma T)^2} \approx 0,005 \end{cases} \quad (3)$$

№	Напряжение U , В	Ток I , мА	ε , мкВ
1	3,214	93,5	46
2	3,795	110,5	65
3	4,4	128,2	86
4	4,997	145,5	111
5	5,615	163,6	142

3.2 Второй расход:

Второе и третье измерения проводились в полной аналогии с первым.

№	1	2	3	4	5
Время, с	17,54	16,8	17,3	17	17,36

Table 2: Время протекания 1,5л через ГС при втором расходе

Расход Q_2 и его погрешность могут быть оценены как:

$$\begin{cases} Q_2 = 0,087 \\ \Delta Q_2 = 0,002 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m = \frac{\mu PQ}{RT} \approx \frac{29.99610 \cdot Q_2}{8,31 \cdot 297,4} = 0,102 \\ \sigma m = \frac{\mu P_{atm}}{RT} \cdot \sqrt{(\sigma Q)^2 + (\frac{Q}{T})^2 (\sigma T)^2} \approx 0,003 \end{cases} \quad (4)$$

№	Напряжение U , В	Ток I , мА	ε , мкВ
1	3,25	94,3	91
2	3,803	110,6	135
3	4,397	127,9	182
4	5,004	145,6	242
5	5,605	163,1	298

3.3 Третий расход:

№	1	2	3	4	5
Время, с	11,19	10,56	11,0	10,73	11,0

Table 3: Время протекания 1,5л через ГС при втором расходе

Расход Q_2 и его погрешность могут быть оценены как:

$$\begin{cases} Q_3 = 0,138 \\ \Delta Q_3 = 0,003 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m = \frac{\mu PV}{RT} \approx \frac{29 \cdot 99610 \cdot Q_3}{8,31 \cdot 297,4} = 0,161 \\ \sigma m = \frac{\mu P_{atm}}{RT} \cdot \sqrt{(\sigma Q)^2 + \left(\frac{Q}{T}\right)^2 (\sigma T)^2} \approx 0,004 \end{cases} \quad (5)$$

№	Напряжение U , В	Ток I , мА	ε , мкВ
1	3,25	94,3	91
2	3,803	110,6	135
3	4,397	127,9	182
4	5,004	145,6	242
5	5,605	163,1	298

4 Обработка измерений:

Построим график $IU(\Delta T)$ для каждого из расходов воздуха. Поскольку $c_p = \frac{IU - N}{m \Delta T}$, то свободный коэффициент аппроксимирующей прямой \approx мощность тепловых потерь при данном расходе воздуха (первичная оценка). После того, как c_p найдена, построим график $N(\Delta T) = IU - c_p \cdot m \cdot \Delta T$.

4.1 Первый расход:

Из графика получаем следующие данные:

$$\begin{cases} c_p = 1,126 \pm 0,010 \\ N \approx 0,003 \pm 0,002 \end{cases} \quad (6)$$

Зависимость тепловых потерь от перепада температур на термопаре практически совпадает с прямой пропорциональностью:

$$N_1(\Delta T) \approx \alpha_1 \Delta T, \alpha_1 = (0,263 \pm 0,003) \quad (7)$$

4.2 Второй расход:

В данном случае удельная теплоёмкость c_p и мощность тепловых потерь N принимают следующие значения:

$$\begin{cases} c_p = 1,17 \pm 0,02 \\ N \approx 0,031 \pm 0,004 \end{cases} \quad (8)$$

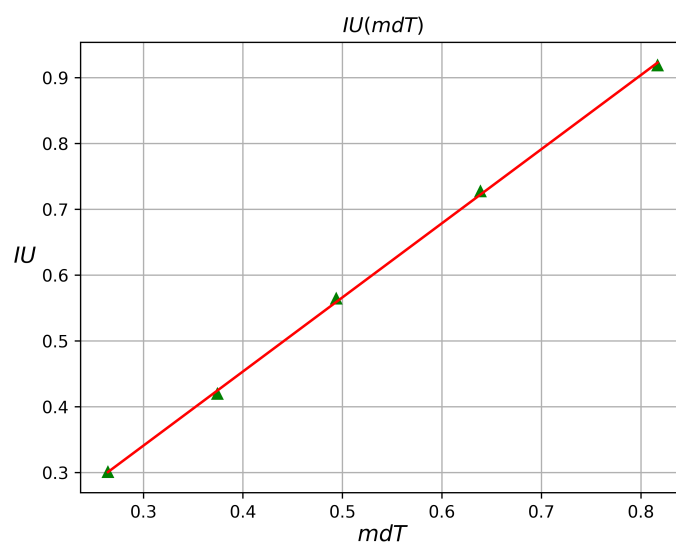


Figure 1: Зависимость мощности IU на нагревателе от $m \cdot \Delta T$ при первом расходе воздуха.

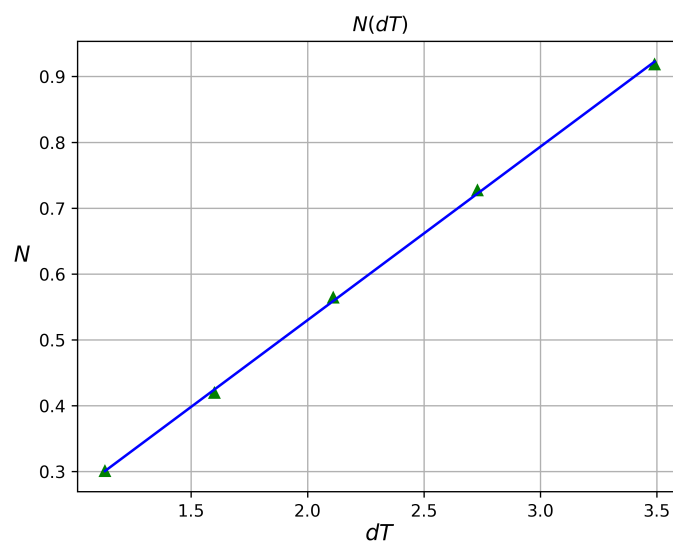


Figure 2: Тепловые потери в зависимости от перепада температур(первый расход). Строим график $N(\Delta T) = IU - c_p \cdot m \cdot \Delta T$.

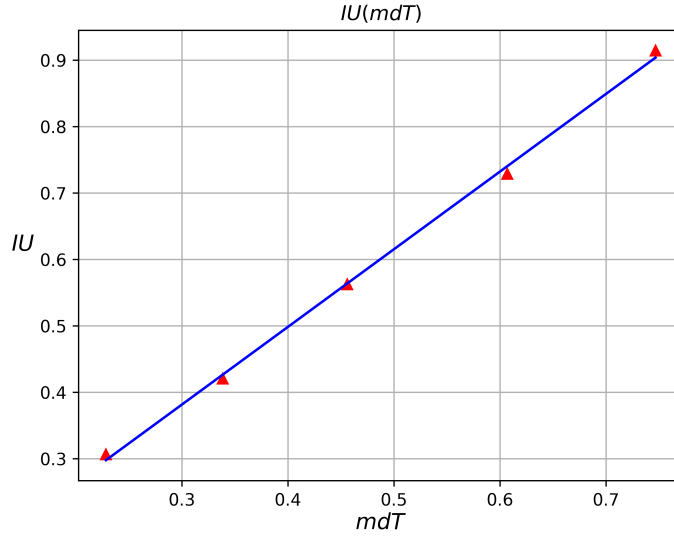


Figure 3: Зависимость мощности IU на нагревателе от $m \cdot \Delta T$ при втором расходе воздуха.

Тепловые потери, как и в первом случае, оказались пропорциональны температуре.

$$N_2(\Delta T) \approx \alpha_2 \Delta T, \alpha_2 = (0,119 \pm 0,002) \quad (9)$$

4.3 Третий расход:

$$\begin{cases} c_p = 1,11 \pm 0,01 \\ N \approx 0,021 \pm 0,002 \end{cases} \quad (10)$$

Тепловые потери пропорциональны температуре:

$$N_3(\Delta T) \approx \alpha_3 \Delta T, \alpha_3 = (0,179 \pm 0,002) \quad (11)$$

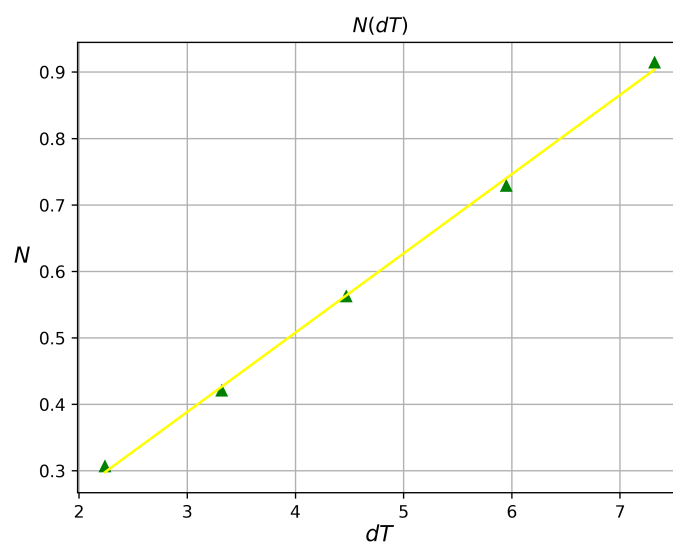


Figure 4: Тепловые потери в зависимости от перепада температур(второй расход). Строим график $N(\Delta T) = IU - c_p \cdot m \cdot \Delta T$.

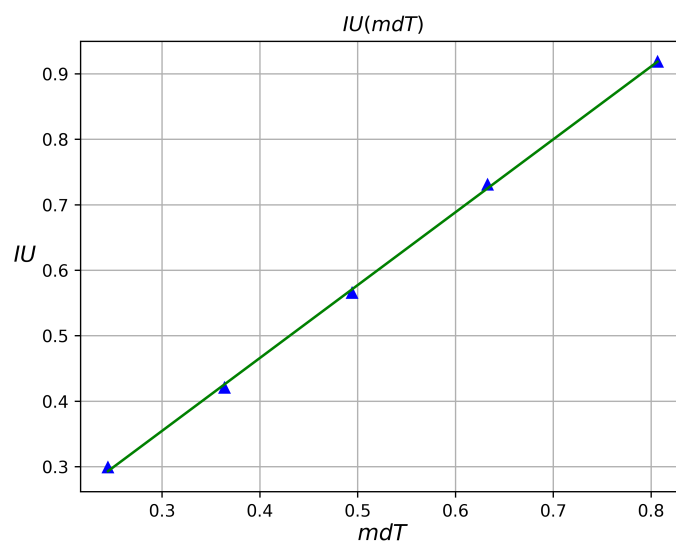


Figure 5: Зависимость мощности IU на нагревателе от $m \cdot \Delta T$ при третьем расходе воздуха.

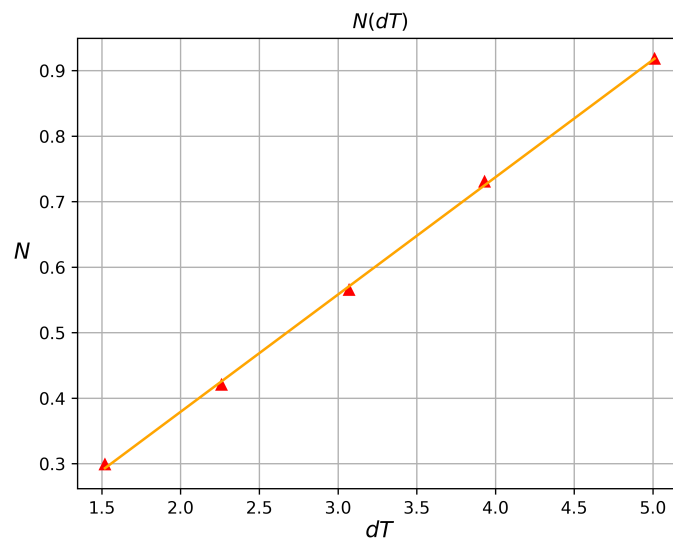


Figure 6: Тепловые потери в зависимости от перепада температур(третий расход). Строим график $N(\Delta T) = IU - c_p \cdot m \cdot \Delta T$.

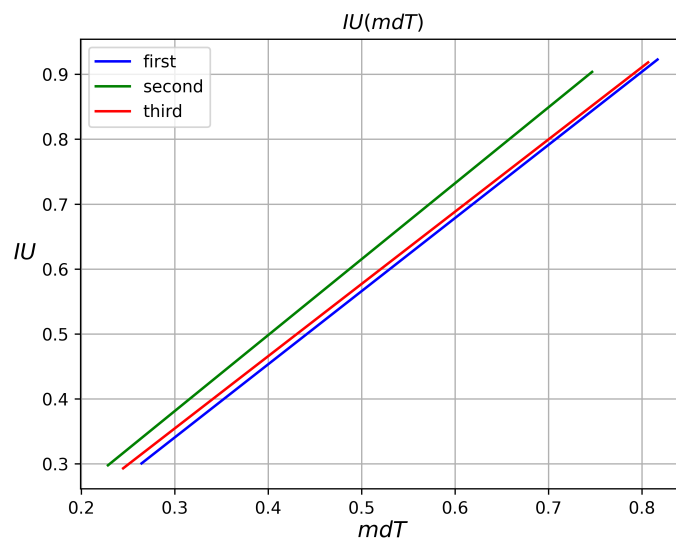


Figure 7: Сравнительный график $IU(m\Delta T)$ для всех расходов воздуха.

5 Итоги

Значения удельных теплоёмкостей, полученные в ходе опыта(в Дж/г·К):

$$\begin{cases} 1) c_p = 1,126 \pm 0,010 \\ 2) c_p = 1,17 \pm 0,02 \\ 3) c_p = 1,11 \pm 0,01 \end{cases} \quad (12)$$

Итоговое значение удельных теплоёмкостей воздуха несколько выше, чем значение удельной теплоёмкости сухого воздуха из [1](примерно на 20 – 30%). Это можно объяснить тем, что влажность исследуемого воздуха имела значение 75%, следовательно, в воздухе присутствовало относительно большое количество частичек воды(по сравнению с ”сухим” воздухом), что увеличивает теплоёмкость. Как побочный результат эксперимента, было проверено предположение о пропорциональности тепловых потерь разности температур на входе и выходе из установки.

References

- [1] Под редакцией проф. А.Д. Гладуна - Лабораторный практикум по общей физике. Термодинамика. Том 1