



Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

---

## Измерение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении

---

*Работа №2.1.1; дата: 18.03.22*

*Семестр: 2*

Выполнил:  
Кошелев Александр

Группа:  
Б05-105

# 1. Аннотация

## Цель работы:

Измерить повышение температуры воздуха в зависимости от мощности подводимого тепла и расхода при стационарном течении через трубу; исключив тепловые потери, по результатам измерений определить теплоёмкость воздуха при постоянном давлении.

## Схема установки:

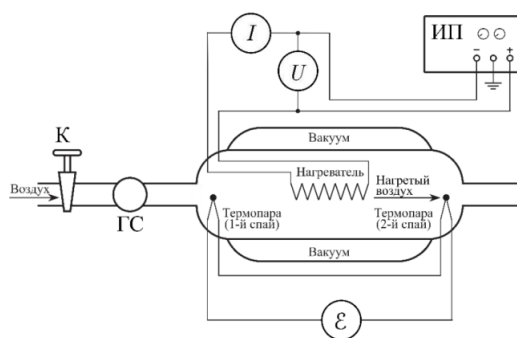


Рис. 1: Схема установки

## В работе используются:

Теплоизолированная стеклянная трубка; электронагреватель; источник питания постоянного тока; амперметр, вольтметр (цифровые мультиметры); термопара, подключенная к микровольтметру; компрессор; газовый счётчик; секундомер.

# 2. Теоретические сведения

Из курса термодинамики известно уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \nu RT$$

Откуда легко выражается плотность воздуха:

$$\rho = \frac{\mu P}{RT}$$

Также нам понадобится определение массового расхода воздуха:

$$q = \rho \frac{dV}{dT}$$

Теперь про условия проведения опыта: давление постоянно, и перепад температур мал, поэтому удельную теплоемкость воздуха можно считать постоянной. В этом случае с учетом закона Ньютона-Рихмана выражение для мощности принимает вид:

$$N = (c_p q + \alpha) \Delta T$$

где  $\alpha$  - некоторая константа. То есть, зависимость подводимой мощности от разности температур линейна.

### 3. Проведение эксперимента

#### Основные параметры при проведении эксперимента

Основные параметры среды были замерены напрямую, и легче всего представимы в табличной форме:

$P_0$ , мм.рт.ст	$T_0$ , K	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
$744.6 \pm 0.1$	$296.2 \pm 0.2$	$1.192 \pm 0.001$

Табл. 1: Основные параметры эксперимента

#### Проведение опыта с полностью открытым вентилем подачи

Приведем результаты измерения расхода в табличном виде:

$i$ , номер	1	2	3	4	5
$\Delta V$ , л	5	5	5	5	5
$\Delta t$ , с	$25.20 \pm 0.10$	$25.34 \pm 0.10$	$25.10 \pm 0.10$	$25.31 \pm 0.10$	$25.16 \pm 0.10$
$q$ , л/с	$0.1984 \pm 0.0008$	$0.1973 \pm 0.0008$	$0.1992 \pm 0.0008$	$0.1976 \pm 0.0008$	$0.1987 \pm 0.0008$
$\bar{q}$ , л/с	$0.1982 \pm 0.0008$				

Табл. 2: Расход воздуха в первом опыте

Теперь проведем сам эксперимент. Результаты также в табличном виде:

$i$ , номер	$\varepsilon$ , мВ	$\Delta T$ , K	$I$ , мА	$U$ , В	$N$ , мВ
1	$0.038 \pm 0.001$	$0.934 \pm 0.025$	$86.93 \pm 0.01$	$3.09 \pm 0.01$	$268.6 \pm 0.9$
2	$0.070 \pm 0.001$	$1.720 \pm 0.025$	$115.45 \pm 0.01$	$4.07 \pm 0.01$	$469.9 \pm 1.2$
3	$0.090 \pm 0.001$	$2.211 \pm 0.025$	$128.08 \pm 0.01$	$4.52 \pm 0.01$	$578.9 \pm 1.3$
4	$0.107 \pm 0.001$	$2.629 \pm 0.025$	$143.48 \pm 0.01$	$5.06 \pm 0.01$	$726.0 \pm 1.4$
5	$0.124 \pm 0.001$	$3.047 \pm 0.025$	$153.26 \pm 0.01$	$5.42 \pm 0.01$	$830.7 \pm 1.5$
6	$0.147 \pm 0.001$	$3.612 \pm 0.025$	$169.92 \pm 0.01$	$5.99 \pm 0.01$	$1017 \pm 1.7$
7	$0.191 \pm 0.001$	$4.693 \pm 0.025$	$191.11 \pm 0.01$	$6.74 \pm 0.01$	$1288 \pm 1.9$

Табл. 3: Проведение эксперимента

Построим график зависимости  $N(\Delta T)$  и рассчитаем  $\gamma_1$  - коэффициент наклона.

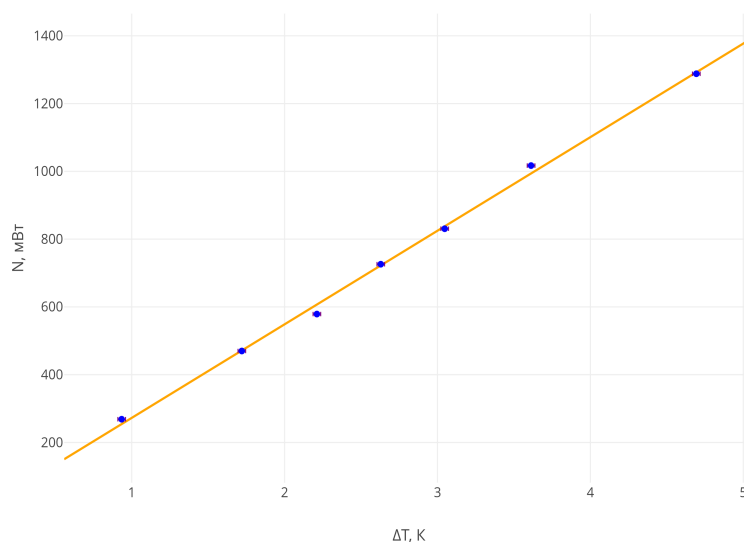


Рис. 2: График зависимости  $N(\Delta T)$

$\gamma_1 = 276 \pm 12 \text{ мВт/К}$

Проведение опыта с полуоткрытым вентилем подачи

Приведем результаты измерения расхода в табличном виде:

$i$ , номер	1	2	3	4	5
$\Delta V$ , л	5	5	5	5	5
$\Delta t$ , с	$37.25 \pm 0.10$	$36.95 \pm 0.10$	$37.17 \pm 0.10$	$37.15 \pm 0.10$	$36.98 \pm 0.10$
$q$ , л/с	$0.1342 \pm 0.0004$	$0.1353 \pm 0.0004$	$0.1345 \pm 0.0004$	$0.1346 \pm 0.0004$	$0.1352 \pm 0.0004$
$\bar{q}$ , л/с	$0.1348 \pm 0.0004$				

Табл. 4: Расход воздуха во втором опыте

Теперь проведем сам эксперимент. Результаты также в табличном виде:

$i$ , номер	$\varepsilon$ , мВ	$\Delta T$ , К	$I$ , мА	$U$ , В	$N$ , мВ
1	$0.054 \pm 0.001$	$1.335 \pm 0.025$	$87.27 \pm 0.01$	$3.08 \pm 0.01$	$268.6 \pm 0.9$
2	$0.079 \pm 0.001$	$1.947 \pm 0.025$	$103.55 \pm 0.01$	$3.76 \pm 0.01$	$389.3 \pm 1.0$
3	$0.096 \pm 0.001$	$2.359 \pm 0.025$	$117.27 \pm 0.01$	$4.01 \pm 0.01$	$470.3 \pm 1.2$
4	$0.123 \pm 0.001$	$3.028 \pm 0.025$	$131.47 \pm 0.01$	$4.63 \pm 0.01$	$608.7 \pm 1.3$
5	$0.153 \pm 0.001$	$3.750 \pm 0.025$	$145.60 \pm 0.01$	$5.13 \pm 0.01$	$746.9 \pm 1.5$
6	$0.183 \pm 0.001$	$4.503 \pm 0.025$	$159.78 \pm 0.01$	$5.63 \pm 0.01$	$899.6 \pm 1.6$
7	$0.214 \pm 0.001$	$5.262 \pm 0.025$	$172.11 \pm 0.01$	$6.07 \pm 0.01$	$1045 \pm 1.7$

Табл. 5: Проведение эксперимента

Построим график зависимости  $N(\Delta T)$  и рассчитаем  $\gamma_1$  - коэффициент наклона.

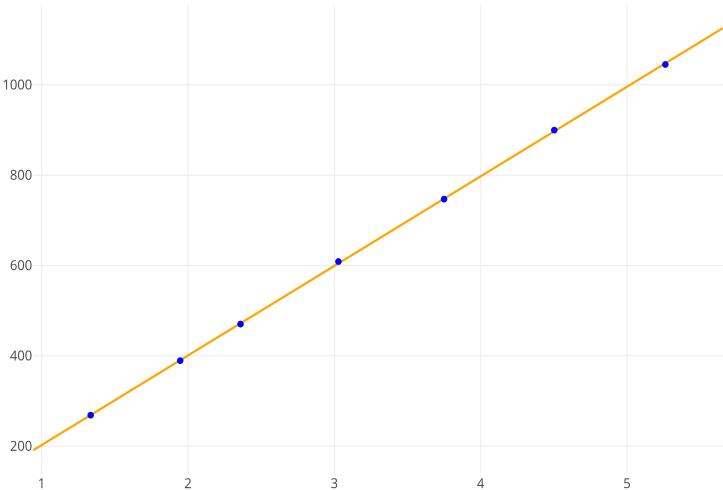


Рис. 3: График зависимости  $N(\Delta T)$

$\gamma_1 = 198 \pm 5 \text{ мВт/К}$

### Определение удельной теплоемкости

Константа  $\alpha$  остается постоянной в ходе обоих опытов, поэтому получим следующее выражение для удельной теплоемкости:

$$c_p = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\mu_1 - \mu_2} = (1.04 \pm 0.02) \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

где  $\mu$  - массовые расходы воздуха.

### Определение доли тепловых потерь

Определим доли тепловых потерь относительно общей подводимой мощности, и запишем их в таблицу. В первой паре строк первый опыт, а во второй – второй.

$\Delta T, \text{K}$	0.934	1.720	2.211	2.629	3.047	3.612	4.693
$N_{\text{пот}}/N \cdot 10^2$	$28.3 \pm 3.1$	$24.5 \pm 2.1$	$21.3 \pm 1.9$	$25.4 \pm 1.8$	$24.4 \pm 1.7$	$26.8 \pm 1.6$	$24.9 \pm 1.7$
$\Delta T, \text{K}$	1.335	1.947	2.359	3.028	3.750	4.503	5.262
$N_{\text{пот}}/N \cdot 10^2$	$30.2 \pm 2.4$	$29.9 \pm 1.9$	$29.7 \pm 1.8$	$30.3 \pm 1.6$	$29.6 \pm 1.6$	$29.8 \pm 1.5$	$29.4 \pm 1.5$

**Табл. 6:** Определение доли тепловых потерь

Поскольку при повышении температуры доля тепловых потерь также возрастает, судя по таблице, примерно равномерно, усредним эти величины для обоих опытов:

$$\overline{\lambda_1} = \frac{N_{\text{пот}}}{N} \cdot 10^2 = (25.1 \pm 1.9)\%$$

$$\overline{\lambda_2} = \frac{N_{\text{пот}}}{N} \cdot 10^2 = (29.8 \pm 1.8)\%$$

## 4. Выводы

В результате работы получено значение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении

$$c_p = (1.04 \pm 0.02) \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

что близко к табличному значению  $c_{p0} = 1.005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  – совпадения в пределах величины погрешности не вышло, но отклонение не превосходит двух величин погрешности. К возможным причинам такой ошибки можно отнести неточности измерений (флуктуации значения напряжения на милливольтметре) и нарушение проведения эксперимента, к примеру, в аудитории открывалось окно.

Также в ходе работы определена доля тепловых потерь засчет теплового потока через стенки сосуда, а не непосредственно уносимого воздухом, прокачиваемым через сосуд. Доля колеблется между 25-30%.