

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Подкидышев Алексей Сергеевич
Студент факультета инноваций
и высоких технологий
(группа 790)

Лабораторная работа 2.1.1

«Измерение удельной теплоемкости воздуха при постоянном
давлении»

Долгопрудный
12 июня 2018 г.

1 Описание работы

1.1 Цель работы

1. Измерение повышения температуры воздуха в результате подвода тепла при стационарном течении через стеклянную трубку.
2. Вычисление по результатам измерений теплоемкости воздуха при постоянном давлении.

1.2 Оборудование

Теплоизолированная трубка; электронагреватель; газовый счетчик; источник питания; термопара; вольтметр; амперметр; секундомер.

1.3 Теория

1.4 Течение газа по трубе

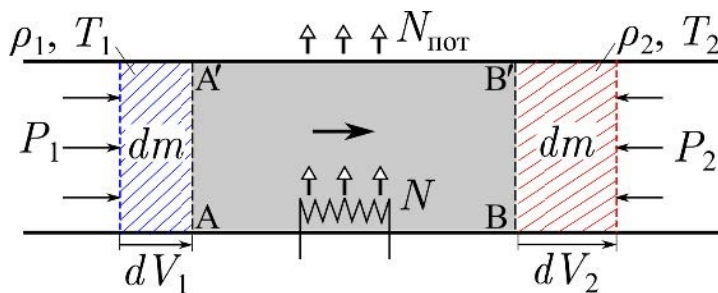


Рис. 1: Нагрев газа при течении по трубе

Теплоёмкость тела в некотором процессе определяется как их отношение:

$$C = \frac{\delta Q}{\Delta T} \quad (1)$$

В общем случае давление на входе может заметно превышать таковое на выходе (например, если труба достаточно узкая и длинная). Рассмотрим течение газа более детально, чтобы выяснить пределы применимости соотношения $\frac{N - N_{\text{пот}}}{q \Delta T}$.

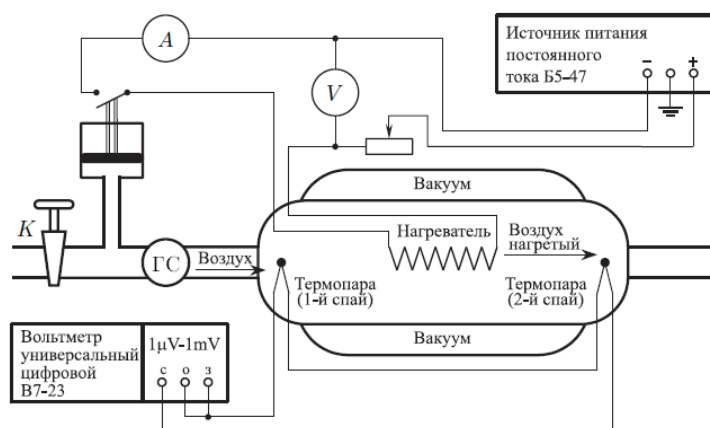
Надёжность измерения определяется, в основном, качеством калориметра. Необходимо, чтобы количество тепла, затрачиваемое на нагревание исследуемого тела, существенно превосходило тепло, расходуемое на нагревание самого калориметра, а также на потери тепла из установки. При измерении теплоёмкости газов эти требования выполнить довольно трудно — масса газа в калориметре и, следовательно, количество тепла, идущее на его нагревание, как правило, малы. Для увеличения количества нагреваемого газа при неизменных размерах установки в нашей работе исследуемый газ (воздух) продувается через калориметр, внутри которого установлен нагреватель. При этом измеряются мощность нагревателя, масса воздуха, протекающего в единицу времени (расход), и приращение его температуры. (отмечено серым на рис. 1.5) и применим к ней **закон сохранения энергии**. Пусть за время d газ сместился слева направо на малое расстояние вдоль трубки, такое что через левую границу прошёл газ объёмом dV_1 , а через правую V_2 . В силу закона сохранения массы имеем:

$$dm = \rho_1 dV_1 = \rho_2 dV_2 \quad (2)$$

В условии опыта измеряется именно *удельная теплоемкость при постоянном давлении* C_p :

$$C_p = \frac{N - N_{\text{пот}}}{q \cdot \Delta T} \quad (3)$$

1.5 Схема установки



Воздух, нагнетаемый компрессором, прокачивается через калориметр. Калориметр представляет собой стеклянную цилиндрическую трубку с двойными стенками, запаянными с торцов. Нагреватель в виде намотанной на пенопласт нихромовой проволоки расположен внутри калориметра непосредственно в воздушном потоке.

Рис. 2: Схема формирования потока газа в трубе круглого сечения

$$N = UI \quad (4)$$

Для измерения разности температур ΔT служит медно-константановая термопара. Один спай термопары расположен в струе воздуха, входящего в калориметр, и находится при комнатной температуре, а второй в струе выходящего нагретого воздуха.

$$\varepsilon = \beta \cdot \Delta T \quad (5)$$

где $\beta = 40.7 \frac{\text{мкВ}}{C^\circ}$ чувствительность медно-константановой термопары в рабочем диапазоне температур (20–30 C°) ЭДС регистрируется с помощью микровольтметра. Объём воздуха, прошедшего через калориметр, измеряется газовым счётчиком ГС. Для регулировки расхода служит кран К.

Объёмный расход равен $\Delta V / \Delta t$, массовый расход может быть найден как

$$q = \rho_0 \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (6)$$

где ρ_0 — плотность воздуха при комнатной температуре, которая в свою очередь может быть получена из уравнения Менделеева–Клапейрона:

$$\rho_0 = \frac{\mu \cdot P_0}{R \cdot T_0}$$

2 Ход работы

2.1 Подготовка

- Измерим расход воздуха(объемный) при максимально открытом кране
- Используя термометр, определим температуру и влажность воздуха. С помощью этих данных, определим значение C_p воздуха
- Посчитаем мощность нагревателя, приняв значения сопротивления проволоки(которая используется в нагревателе) - 35 Ом

Q - расход воздуха, kg/s	C_p воздуха, $\frac{Дж}{kg * C^\circ}$	N, Вт	I_0 , А
9,52E-05	1119	0,107	0,055

Таблица 1: Оценка значения I_0 для $\Delta T = 1 C^\circ$ (Необходимо чтобы определить ток, с которого мы начнем делать измерения)

Итого:

$$I_0 \approx 0,055 \text{ A} = 55 \text{ mA}$$

2.2 Измерения(1-ая серия)

2.2.1 Таблица

Измерениям $\Delta T(U)$ при максимальном расходе $Q = 0.074 \frac{l}{s}$:

I, mA	U, В	Напряжение на термопаре, mV	$\Delta T, C^\circ$	N, 10^{-3}
51,5	1,477	0,01	0,246	91,50263
79	2,2	0,032	0,786	215,3145
104,2	2,9	0,083	2,039	374,5886
135,9	3,9	0,138	3,391	637,1739
160,2	4,601	0,2	4,914	885,4094
211,9	6,083	0,367	9,017	1549,106

Таблица 2: Таблица измерений ΔT - разности температур воздуха на разных участках(Холодного и теплового воздуха, N - мощности нагревателя. При максимальном расходе воздуха

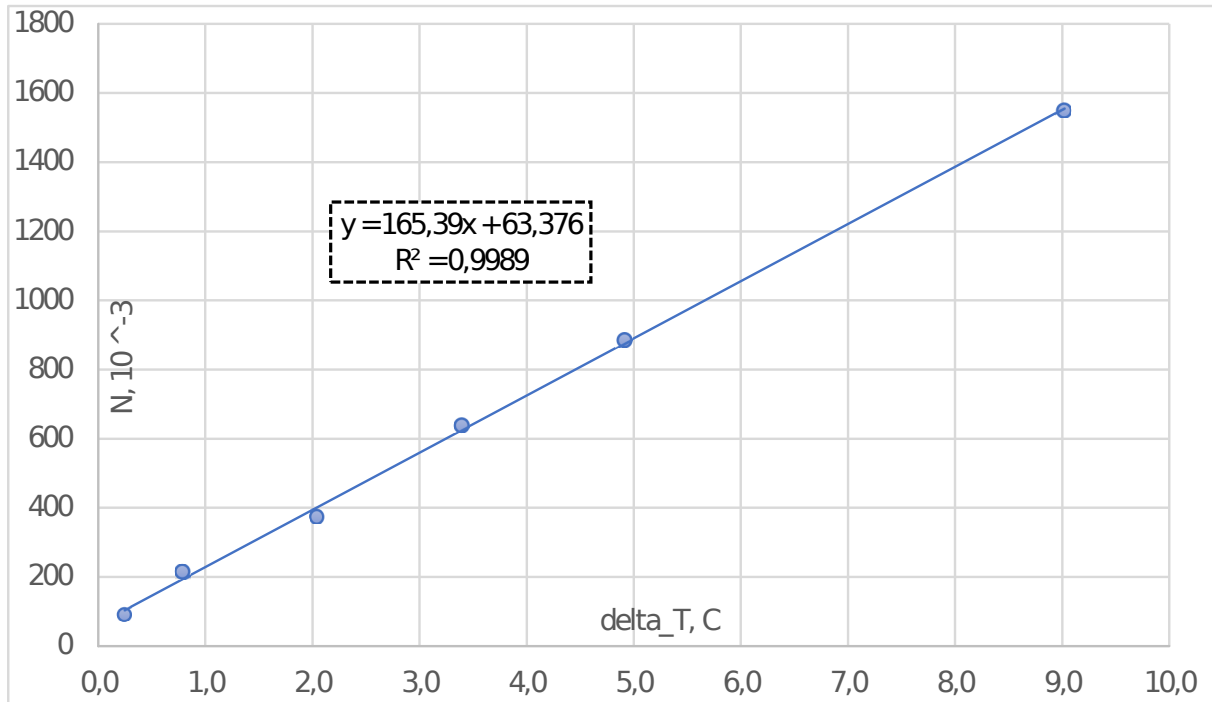


Рис. 3: График зависимости $N(\Delta T)$ - Мощности нагревателя (Разности температур), коэффициент наклона прямой, необходим для расчета C_p . При максимальном расходе воздуха

2.2.2 Измерение угла наклона

Для того чтобы посчитать C_p необходимо знать график угла наклона графика. В том случае погрешность измеряется по формуле:

$$k = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \cdot \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} \quad (7)$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - k^2} \quad (8)$$

Итоговое значение для k:

$$k = \frac{P}{\Delta T} = 0.165 \pm 0.005$$

2.2.3 Результат

По измеренным данным определим значение C_p , по формуле:

$$C_p = \frac{P}{\Delta T \cdot q} - \frac{\alpha}{q}$$

$$C_p = 1732 \pm 70 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

2.3 Измерения. 2-ая серия

Измерим $\Delta T(U)$ при $Q = 0,0385 \frac{l}{s}$:

I, mA	U, В	Напряжение на термопаре, mV	$\Delta T, C^\circ$	N, 10^{-3} , Вт
91,3	2,621	0,09	2,211	287,5813
134,5	3,861	0,203	4,988	624,1136
162,3	4,662	0,316	7,764	908,7745
207,3	5,953	0,531	13,047	1482,579

Таблица 3: Таблица измерений ΔT - разности температур воздуха на разных участках (Холодного и теплового воздуха, N - мощности нагревателя. При расходе воздуха $= 0,0385 \frac{l}{s}$

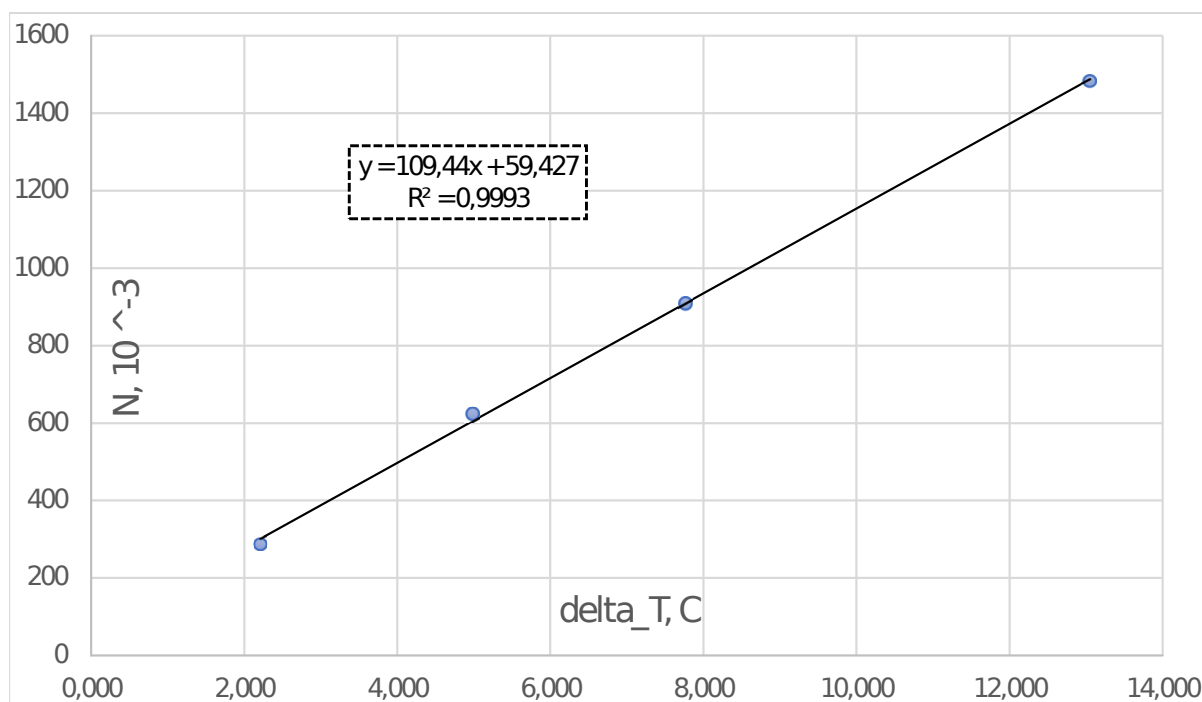


Рис. 4: График зависимости $N(\Delta T)$ - Мощности нагревателя (Разности температур), коэффициент наклона прямой, необходим для расчета C_p . При расходе воздуха $= 0,0385 \frac{l}{s}$

Аналогично первой серии измерений посчитаем погрешности и значение C_p (пользуясь формулами 7,8):

$$C_p = 1145 \pm 60 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * C^\circ}$$

2.4 Доля теплотерь в установке

Мы получили $C_{\text{фактическая}} = 1400 \pm 200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}^\circ}$ (что отличается от табличного значения - $1119 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}^\circ}$)

$$N = \alpha * \Delta T = C_{p \text{ фактическая}} * \Delta T - C_{p \text{ теоритическая}} * \Delta T$$

$$\alpha = C_{p \text{ фактическая}} - C_{p \text{ теоритическая}}$$

$$\frac{P}{N} = \frac{C_{p \text{ теоритическая}} + \alpha}{\alpha} = \frac{C_{p \text{ фактическая}}}{C_{p \text{ фактическая}} - C_{p \text{ теоритическая}}} \simeq 2.9$$

3 Вывод

- Теоретическая теплоемкость воздуха и его экспериментальная теплоемкость, искаженная тепловыми потерями **отличаются примерно на 2σ** , что говорит о больших тепловых потерях, не учтенных в погрешности. В пользу этого говорит возрастание ошибки определения теплоемкости при уменьшении скорости потока, воздух проводит в термостате больше времени, теряет больше тепла
- Оценка средней доли теплотерь подтвердила предположения: в среднем воздух теряет около **трети** полученного от нагревателя тепла через стенки термостата.