

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

Определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении

Автор:
Шахматов Андрей Юрьевич
Б02-304

Долгопрудный 2024

Аннотация

Исследована зависимость разности температур газа при протекании через подогреваемый участок калориметра. Получено значение теплоёмкости воздуха при постоянном давлении. Подтверждена корректность используемого метода сравнением полученного значения теплоёмкости с табличным.

Содержание

1 Введение	1
2 Методика	1
2.1 Теоретическая справка	1
2.2 Проведение эксперимента	2
3 Результаты и их обсуждение	3
4 Выводы	5
5 Используемая литература	5
6 Приложения	5
6.1 Параметры установки и погрешности приборов	5
6.2 Данные результатов измерений	6

1 Введение

Цель настоящей работы заключалась в определении удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении c_p .

2 Методика

2.1 Теоретическая справка

Для определения удельной теплоёмкости при постоянном давлении использован метод, основанный на измерении перепада температур газа при протекании через подогреваемый участок трубы. Рассмотрим модель течения газа в трубе (Рис. 1).

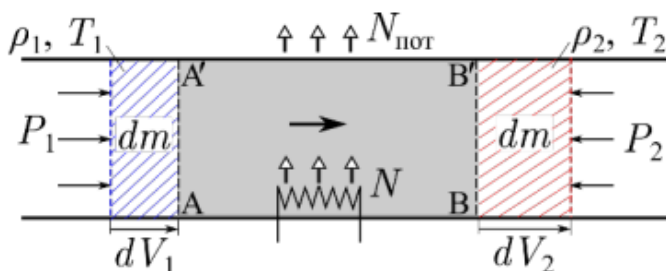


Рис. 1: Участок газа протекающего в подогреваемой трубе.

Газ протекает через участок к которому подводится постоянная мощность N и отводится мощность потерь N_p , давления и температуры на краях участка соответственно P_1, P_2 и T_1, T_2 . Пусть исследуемый участок газа переместился на некоторое расстояние, такое перемещение равносильно перемещению участка dV_1 в dV_2 (Рис. 1). Так масса перемещённого участка сохранилась выполняется равенство

$$dm = \rho V_1 = \rho V_2. \quad (1)$$

Работа внешних сил, совершённая по отношению к газу равна

$$\delta A = P_1 dV_1 - P_2 dV_2 = - \left(\frac{P_2}{\rho_2} - \frac{P_1}{\rho_1} \right). \quad (2)$$

Тогда баланс энергий для стационарного течения газа через калориметр имеет вид

$$dU - \delta A + dK = \delta Q, \quad (3)$$

где $dU = (u_2 - u_1)dm$ - изменение внутренней энергии газа, $dK = \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2)dm$ - изменение кинетической энергии газа. Считая, что изменение кинетической энергии газа мало по сравнению с остальными слагаемыми перепишем выражение 3:

$$(h_2 - h_1)dm = \delta Q, \quad (4)$$

где $h = u + \frac{P}{\rho}$ - удельная энтальпия газа. Для идеального газа удельная энтальпия выражается через удельную теплоёмкость при постоянном давлении c_p и температуру T

$$h = c_p T \quad (5)$$

Тогда подставим выражение 5 в выражение 4

$$c_p q \Delta T = N - N_p, \quad (6)$$

где q - массовый расход газа. Тогда зная зависимость мощности потерь N_p можно выразить удельную теплоёмкость c_p измеряя зависимость изменения температуры газа ΔT при прохождении нагреваемого участка от подводимой мощности N .

2.2 Проведение эксперимента

Для определения удельной теплоёмкости при постоянном давлении воспользуемся установкой (Рис. 2). Нагревателем служит нихромовая проволока, выделяемая мощность регулируется изменением напряжения на регулируемом источнике тока. Разность температур газа измеряется при помощи термопары подключённой к микровольтметру. Возникающая на концах термопары ЭДС рассчитывается как

$$\varepsilon = \beta \Delta T, \quad (7)$$

где β - чувствительность термопары в рабочем диапазоне температур (Приложение 6.1). Так как в эксперименте предполагается небольшая разность температур $\Delta T \ll T_0$ можно считать зависимость мощности потерь пропорциональной ΔT :

$$N_p = \alpha \Delta T. \quad (8)$$

Тогда переписав выражение 6 получим

$$N = (c_p q + \alpha) \Delta T \quad (9)$$

Измерив сначала зависимость $N(\Delta T)$ при постоянных массовых расходах q получим зависимость $k(q) = c_p q + \alpha$ из которой несложно получить искомую теплоёмкость c_p .

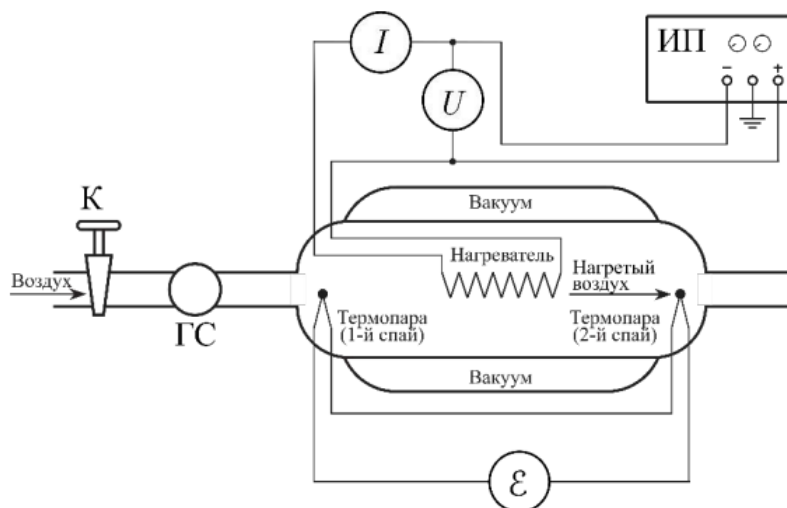


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

3 Результаты и их обсуждение

Измерения проводились для 3 различных расходов воздуха Q (Таблица 1). Для каждого из расходов воздуха при помощи термопары измерялась зависимость разности температур входящего и выходящего потока воздуха от подводимой мощности на нагрузку N (Таблицы 2, 3, 4). Перевод из ЭДС на концах термопары в разность температур производился при измерении с переводным коэффициентом из приложения 6.1. Построены графики зависимости разности температур T от мощности N (Рис. 3). Полученные кривые хорошо аппроксимируются прямыми линиями вида $Q = kT$, что подтверждает линейность зависимости мощности потерь N_{pot} от разности температур T в исследуемом диапазоне температур.

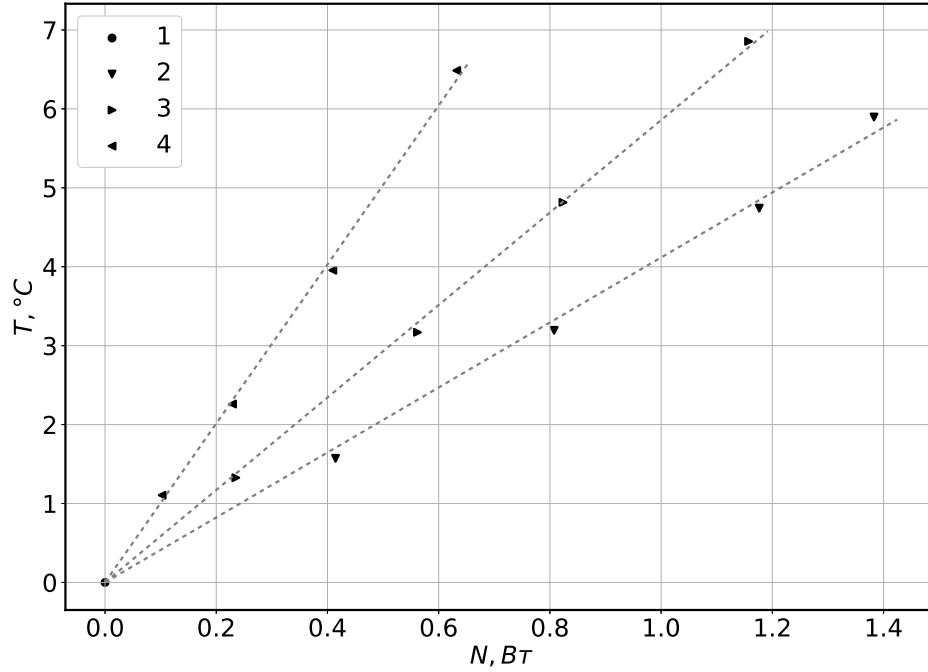


Рис. 3: Зависимость разности температур газа на торцах установки T от подводимой мощности N при различных массовых расходах воздуха (Таблица 1): 2 - Q_1 , 3 - Q_2 , 4 - Q_3 , цифрой 1 обозначена точка $(0, 0)$ - теоретическая точка, принадлежащая всем графикам. Кресты погрешности малы по сравнению с масштабом графика и потому не были нанесены.

Из графиков определены коэффициенты наклона $k = \frac{dT}{dN} = \alpha + c_p q$ (Таблица. 5). Построены графики зависимости коэффициентов k от массового расхода воздуха Q (Рис. 4). Построив сглаживающую прямую определены коэффициенты $\alpha = (5.5 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}, \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$ и $c_p = (1.05 \pm 0.07) \cdot 10^3, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Полученное значение удельной теплоёмкости при постоянном давлении совпадает с теоретическим [2] $c_{pt} = 1006 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ в пределах погрешности.

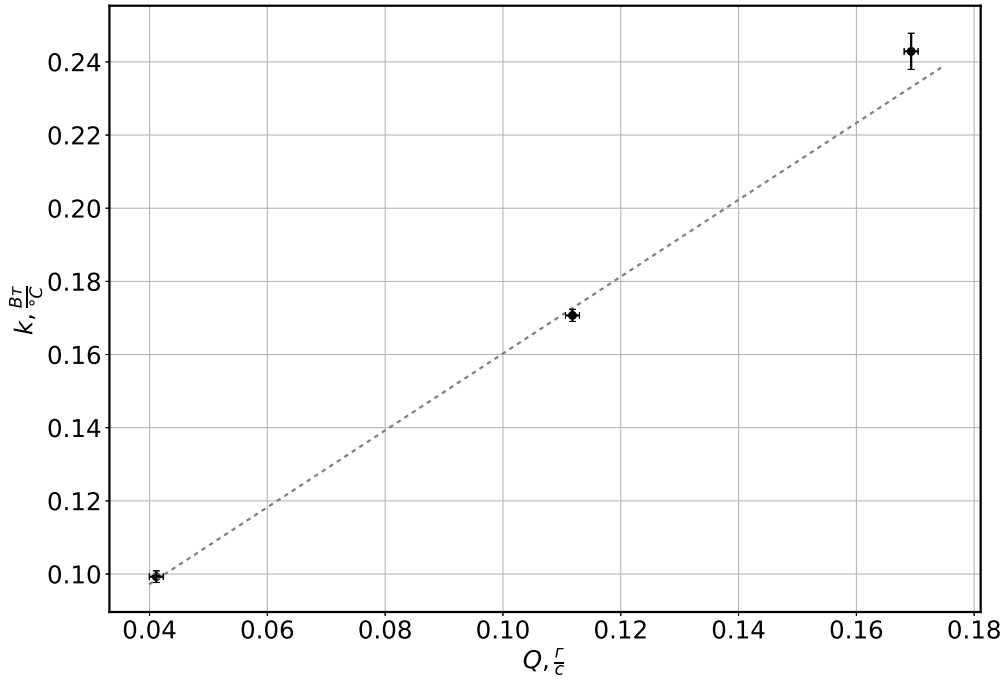


Рис. 4: Зависимость коэффициента $k = \frac{dN}{dT}$ от массового расхода Q .

4 Выводы

Подтверждена линейная зависимость потерь от разности температур. Определена удельная теплоёмкость воздуха при атмосферном давлении $c_p = (1.05 \pm 0.07) \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$. Полученное значение совпало с табличным [2] $c_{pt} = 1006 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$ в пределах погрешности.

5 Использованная литература

Список литературы

- [1] Лабораторный практикум по общей физике, Том 1, под редакцией А. Д. Гладуна
- [2] <http://thermalinfo.ru/svojstva-gazov/gazovye-smesi/fizicheskie-svojstva-vozduha-plotnost-vyazkost-teploemkost-entropiya>

6 Приложения

6.1 Параметры установки и погрешности приборов

При проведении эксперимента в помещении была температура $T_0 = (2.300 \pm 0.010) \cdot 10^1, ^\circ C$; давление $p_0 = (1.00520 \pm 0.00010) \cdot 10^3, \text{ hPa}$; влажность $q_0 = (1.860 \pm 0.010) \cdot 10^1\%$. Коэффициент

пропорциональности $\beta = (40.7 \pm 0), \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{мкВ}}$, в дальнейшем во всех таблицах будут даны температуры сразу посчитанные по формуле $T = \beta E$, где E - разность ЭДС на концах термопары.

6.2 Данные результатов измерений

$Q_1, \frac{\text{л}}{\text{мин}}$	$Q_2, \frac{\text{л}}{\text{мин}}$	$Q_3, \frac{\text{л}}{\text{мин}}$
8.57	5.66	2.08

Таблица 1: Массовые расходы Q при которых проводились измерения.

	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$N, \text{Вт}$	$T, ^{\circ}\text{C}$
0	3.573	0.116	0.414	1.572
1	4.957	0.163	0.808	3.194
2	5.965	0.197	1.176	4.742
3	6.349	0.219	1.383	5.897

Таблица 2: Результаты измерений разности температур газа T в зависимости от мощности N выделяемой на нагрузке при массовом расходе воздуха Q_1 , U - напряжение на нагрузке, I - сила тока на нагрузке.

	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$N, \text{Вт}$	$T, ^{\circ}\text{C}$
0	2.601	0.0904	0.235	1.327
1	4.021	0.1397	0.562	3.170
2	4.867	0.1692	0.823	4.816
3	5.772	0.2005	1.157	6.855

Таблица 3: Результаты измерений разности температур газа T в зависимости от мощности N выделяемой на нагрузке при массовом расходе воздуха Q_2 , U - напряжение на нагрузке, I - сила тока на нагрузке.

	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$N, \text{Вт}$	$T, ^{\circ}\text{C}$
0	1.715	0.0599	0.103	1.106
1	2.565	0.0894	0.229	2.260
2	3.43	0.1194	0.410	3.956
3	4.262	0.1484	0.632	6.486

Таблица 4: Результаты измерений разности температур газа T в зависимости от мощности N выделяемой на нагрузке при массовом расходе воздуха Q_3 , U - напряжение на нагрузке, I - сила тока на нагрузке.

	$k, \frac{\text{Вт}}{^{\circ}\text{C}}$	$Q, \frac{\text{г}}{\text{с}}$	$\sigma k, \frac{\text{Вт}}{^{\circ}\text{C}}$	$\sigma Q, \frac{\text{г}}{\text{с}}$
0	0.243	0.169	0.005	0.001
1	0.171	0.112	0.002	0.001
2	0.099	0.041	0.002	0.001

Таблица 5: Коэффициенты $k = \frac{dN}{dT}$ в зависимости от массового расхода Q .