

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

Физический факультет
кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка
по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 44

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА
ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ

Описание составил ст. преподаватель Богданов А. Е.

Москва - 2012

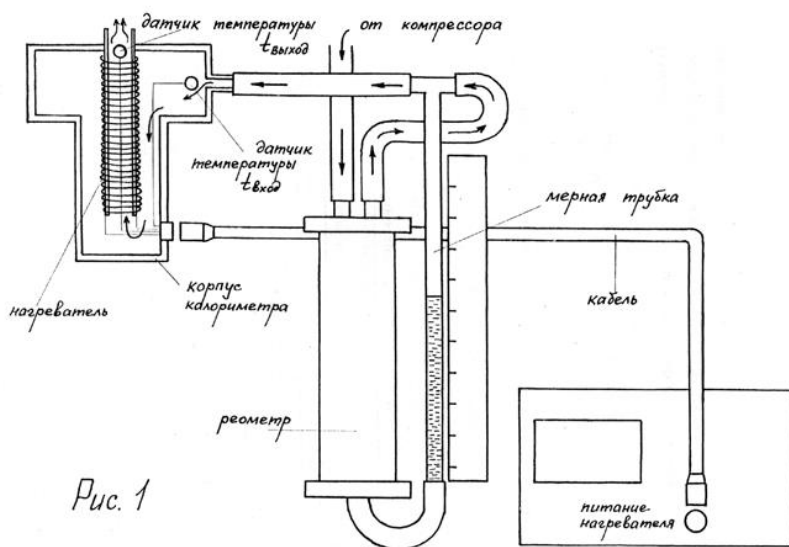
Подготовил к публикации методическое пособие доц. Авксентьев Ю.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ

Цель работы. Целью работы является определение молярной теплоемкости воздуха при постоянном давлении C_p .

ПРИНЦИП ЭКСПЕРИМЕНТА

Поток воздуха, создаваемый компрессором, проходит через трубку с нагревателем, получая при этом некоторое количество теплоты, и



выходит в окружающую среду (рис.1). Температура воздуха в градусах Цельсия на выходе трубки $t_{\text{выход}}$ в результате нагрева выше, чем температура на входе $t_{\text{вход}}$, а давление воздуха внутри трубки при небольшой скорости течения, примерно, одинаковое и равно

атмосферному. Для некоторых постоянных значений разности температур $t_{\text{вход}}$ и $t_{\text{выход}}$ снимается зависимость мощности нагревателя от расхода воздуха, т.е. скорости его подачи компрессором на вход трубки. Эта зависимость является линейной и теплоемкость C_p рассчитывается через тангенс угла наклона соответствующей прямой.

Вывод расчетной формулы

Мощность, выделяемая нагревателем, расходуется на нагрев струи воздуха и на потери теплоты установкой в результате теплоотдачи с поверхности трубки в окружающую среду, что можно выразить уравнением теплового баланса:

$$W = \frac{dQ_{\text{получ}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{потерь}}}{dt}. \quad (1)$$

Мощность нагревателя W равна произведению силы тока в его обмотке I на напряжение на ней U

$$W = IU. \quad (2)$$

Отношение бесконечно малого количества теплоты $dQ_{\text{получ}}$, полученного воздухом за интервал времени dt , к величине этого интервала представляет

собой скорость или мощность нагрева струи воздуха ($dQ_{получ}/dt$). Аналогично $dQ_{потерь}/dt$ – это скорость потери теплоты установкой. Величина потерь пропорциональна площади поверхности трубки и разности температур между ней и окружающей средой. При стационарном распределении температуры воздуха величина потерь постоянна.

Пусть через трубку прошло некоторое число молей воздуха dn . Это количество воздуха получит от нагревателя теплоту $dQ_{получ}$, увеличив свою температуру на величину ΔT . Считая, что разность давлений на концах трубки достаточно мала по сравнению с атмосферным давлением и воздух нагревается при постоянном (атмосферном) давлении, по определению теплоемкости можно записать

$$dQ_{получ} = C_p \Delta T dn. \quad (3)$$

Из уравнения состояния идеального газа можно выразить число молей прошедшего через трубку воздуха dn через его объем dV :

$$PV = nRT, \\ dn = \frac{P}{RT} dV, \quad (4)$$

где P, T -- давление и температура воздуха на входе в трубку, R -- универсальная газовая постоянная.

Подставим соотношения (2), (3), (4) в уравнение теплового баланса (1). В результате подстановки получим следующее равенство:

$$IU = \frac{C_p P \Delta T}{RT} \frac{dV}{dt} + \frac{dQ_{потерь}}{dt}. \quad (5)$$

Отношение объема воздуха dV , прошедшего через трубку, к интервалу времени dt представляет собой расход воздуха $\lambda = dV/dt$. Введем обозначения: $X = \lambda$, $Y = IU$, $A = C_p P \Delta T / RT$, $B = dQ_{потерь}/dt$, тогда уравнение (5) запишется в виде

$$Y = AX + B. \quad (6)$$

Теплоемкость C_p рассчитывается через тангенс A угла наклона прямой по формуле

$$C_p = \frac{ART}{P \Delta T} \quad (7)$$

ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Задача выполняется на лабораторном комплексе ЛКТ-2, элементы которого размещены в трех ярусах каркаса (рис. 2).

Перед проведением измерений на комплексе ЛКТ-2 должны быть установлены вертикально на штырях и закреплены гайками блоки (5) и (6). Выход (2) компрессора (1), реометр (7) – устройство для измерения расхода газа (30) - и газовый калориметр (24) соединяются силиконовыми шлангами (рис. 1, рис. 2). Гнездо (16) измерительной системы ИСТ–2 (4) соединяется кабелем с гнездом калориметра (25), к которому подключены

нагреватель и датчики температуры. Перечисленные выше операции выполняются только с помощью лаборанта.

Комплекс ЛКТ-2 подключается к сети 220 В.

При проведении измерений на ЛКТ-2 необходимо выполнить следующие операции.

1. Зафиксировать значение h_0 уровня жидкости в мерной трубке реометра при выключенном компрессоре.
2. Поставить регулятор (14) компрессора в крайнее положение, вращая его против часовой стрелки до упора, обеспечив минимальный начальный расход воздуха, и включить компрессор тумблером (15).

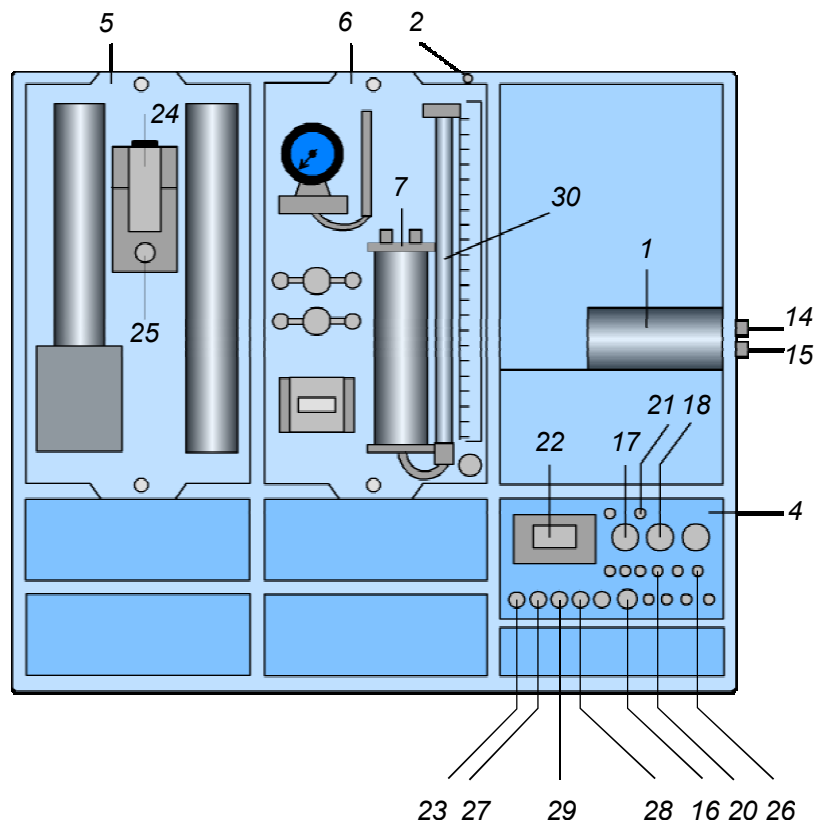


Рис. 2

Воздух будет проходить через реометр (7) в калориметр (24), при этом уровень жидкости в мерной трубке реометра повысится с начального уровня h_0 до некоторого уровня h . Расход воздуха определяется по величине разности $\Delta h = h - h_0$ (см. приложение к установке). Убедиться в возможности регулировки расхода воздуха, медленно вращая регулятор (14) компрессора по часовой стрелке.

3. Поставить регуляторы «ТЕМПЕРАТУРА» (17) и «НАГРЕВ» (18) в крайнее положение, вращая их против часовой стрелки до упора.

4. Включить тумблером (26) измерительную систему ИСТ-2 и записать в тетрадь с цифрового индикатора (22) начальные значения температуры воздуха на входе в трубку и выходе из неё. Температура на входе $t_{\text{вход-нач}}$ в градусах Цельсия считывается при нажатой кнопке (27), а температура на выходе $t_{\text{выход-нач}}$ - при нажатой кнопке (23).

5. Задать температуру нагрева воздуха, примерно, 60°C регулятором «ТЕМПЕРАТУРА» (17), повернув его по часовой стрелке на 3-4 деления. Задать напряжение нагревателя, примерно, 14В-16В регулятором «НАГРЕВ» (18), вращая его по часовой стрелке (напряжение контролируется по цифровому индикатору (22) при нажатой кнопке (28)). Включить нагреватель тумблером (20). После этого температура воздуха на выходе трубки $t_{\text{выход}}$ начнет увеличиваться. При достижении заданной температуры система перейдет в режим термостатирования и загорится красный индикатор (21).

6. После стабилизации температуры, напряжения и тока в нагревателе записать с цифрового индикатора их значения в таблицу. При нажатых кнопках (27), (23), (28) и (29) записывается соответственно температура на входе и выходе газового калориметра ($t_{\text{вход}}$), ($t_{\text{выход}}$); напряжение U_n в вольтах на нагревателе; ток через нагреватель I_n в миллиамперах.

7. Увеличить расход воздуха регулятором (14) компрессора, установив следующее значение Δh (см. таблицу в разделе «Обработка результатов измерений»). Выждать несколько минут для установления распределения температуры. После этого величина $t_{\text{выход}}$ должна оставаться постоянной, а необходимая для этого мощность нагревателя автоматически увеличиться. Допускается незначительное отклонение температуры $t_{\text{выход}}$ от предыдущего значения на $1-2^{\circ}\text{C}$.

8. Операции пунктов 6-7 следует выполнить для ряда указанных в таблице значений расхода воздуха, затем повторить всю серию измерений для более высокой температуры на выходе трубки, задав её регулятором (17). Рекомендуются взять следующую температуру на $20-30^{\circ}\text{C}$ выше первоначальной, повернув регулятор (17) на 2-3 деления по часовой стрелке.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Рассчитать средние значения температур

$$\langle t_{\text{выход}} \rangle = \sum t_{\text{выход}} / n, \quad \langle t_{\text{вход}} \rangle = \sum t_{\text{вход}} / n,$$

где n - число используемых значений расхода воздуха. Используя результаты расчетов, определить среднее значение разности температур $\langle \Delta T \rangle^{\circ}\text{K}$

$$\langle \Delta T \rangle = \left[\langle t_{\text{выход}} \rangle - t_{\text{выход-нач}} + (\langle t_{\text{вход}} \rangle - t_{\text{вход-нач}}) \right] + 273.$$

2. Построить графики зависимостей мощности нагрева W от расхода воздуха λ для каждого значения разности $\langle \Delta T \rangle$, провести соответствующие прямые, определить угловой коэффициент A и рассчитать значение C_p по формуле (7), положив в ней

$$T = (\langle t_{\text{вход}} \rangle + \langle t_{\text{выход}} \rangle) / 2 + 273, \Delta T = \langle \Delta T \rangle.$$

Значения расхода воздуха λ в миллиметрах в секунду, соответствующие определенным значениям разности уровней Δh , приведены в приложении к экспериментальной установке.

Таблица

Реометр: $\Delta h, \text{мм}$	30	60	90	120	180
Расход, мл/с
$t_{\text{выход}}$					
$t_{\text{вход}}$					
$U, \text{В}$					
$I, \text{Ма}$					
$W, \text{Вт}$					
$A = \dots$					
$C_p = \dots$					

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определения молярной теплоёмкости газа C , а также теплоёмкости C_p при постоянном давлении и теплоёмкости C_v при постоянном объёме.
2. Получите формулу Майера для теплоёмкостей C_p и C_v идеального газа, используя первое начало термодинамики и уравнение состояния идеального газа.
3. Почему теплоёмкость C_p оказывается больше теплоёмкости C_v ? Дайте физическую интерпретацию.
4. Запишите уравнение теплового баланса, используемое при расчётах. На что расходуется мощность, выделяемая нагревателем?
6. В каком приближении давление воздуха в трубке можно считать постоянным?
7. Какой график необходимо построить на основе экспериментальных данных (т.е. какие величины и какой размерности следует отложить по осям OX и OY)? Как определить теплоёмкость C_p воздуха из полученной зависимости? Записать расчётные формулы для тангенса A угла наклона прямой и теплоёмкости C_p воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. «Курс физики», т.1. М.: Наука, 1989, глава 10 – Первое начало термодинамики, § 68 – Внутренняя энергия и теплоемкость идеального газа.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: уч. пособие. в 5 кн. кн. 3. Молекулярная физика и термодинамика. М. Наука Физматлит, 1998.

Глава 1. Предварительные сведения.

§ 1.9 Внутренняя энергия и теплоемкость идеального газа.

3. Пустовалов Г. Е., Богданов А. Е. «Теплоемкость идеальных газов», методическая разработка, ОПФ физ. ф – та МГУ , 1999.