МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

(ННГУ)

Высшая школа общей и прикладной физики

Отчет по лабораторной работе № 118

«Определение отношения удельных теплоёмкостей воздуха»

Выполнил:

студент 1 курса ВШ ОПФ

Тарханов Андрей Алексеевич

Нижний Новгород
2023

Цель работы: найти отношение удельных теплоёмкостей (коэффициент Пуассона) воздуха.

Теоретическая часть

Обозначим C_v - удельную теплоёмкость газа при постоянном объёме и C_p - удельную теплоёмкость газа при постоянном давлении. При адиабатическом изменении состояния газа без теплообмена между газом и окружающей средой имеет место закон Пуассона:

$p(V)^{\gamma} = const,$ (1)

где p – давление, V – удельный объём, а $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ – коэффициент Пуассона.

Очень быстро протекающие процессы можно считать адиабатическими. Рассмотрим опыт Клемана-Дезорма:

$p_1 V_1^{\gamma} = p_0 V_0^{\gamma}$ (2)

Рассмотрим еще третье состояние воздуха, в которое он приходит спустя некоторое время после закрытия крана. Он нагревается до температуры комнаты, равной t, и в силу этого давление его повышается до p_2. Переход из первого состояния в третье совершается по закону

$p_1 V_1 = p_2 V_0$

Найдем отношение удельных объемов и подставим его в (2):

$\frac{V_1}{V_0} = \frac{p_2}{p_1}$ и $(\frac{p_2}{p_1})^{\gamma} = \frac{p_0}{p_1}$

Решая это уравнение относительно γ получим:

$\gamma = \frac{ln\frac{p_0}{p_1}}{ln\frac{p_2}{p_1}}$ (3)

Так как p_1, p_0 и p_2 лишь мало разнятся друг от друга, то можно писать

$p_0 = p_1 - h_1$ и $p_2 = p_0 + h_2 = p_1 - h_1 + h_2,$

где h_1 –высота манометра в 1 состоянии, h_2 – в третьем. Тогда имеем:

Т.к. $\frac{h_1}{P_1} \ll 1$ и $\frac{h_1 - h_2}{P_1} \ll 1$, то можно разложить формуле Тейлора и ограничиться только первым членом разложения, тогда окончательно получим:

$\gamma = \frac{-\frac{h_1}{p_1}}{\frac{-h_1+h_2}{p_1}} = \frac{-h_1}{-h_1+h_2} = \frac{h_1}{h_1-h_2}$ (4)

Экспериментальная часть

ΔP=10 Па, $V_{сосуда}$=3 л

При закрытом кране ждем, когда насос накачает воздух в сосуд до тех пор, пока манометр не покажет разности давлений между воздухом внутри сосуда и наружным 30-40 см. Затем закроем трубку зажимами, ждем, пока воздух в сосуде не примет значения комнатной температуры, т.е. давление внутри и, значит, разности уровней жидкости в манометре перестанут меняться. Затем откроем кран до прекращения свиста воздуха и быстро закроем его. Будем наблюдать за разностью уровней жидкости h_1 и h_2. Результаты занесем в таблицу.

№ опыта	1	2	3	4	5
p_1, мм вод. ст.	408	382	400	410	400
p_2, мм вод. ст.	109	100	124	126	114
γ	1,36	1,35	1,45	1,44	1,4
$\gamma_{ср}$	1,4				

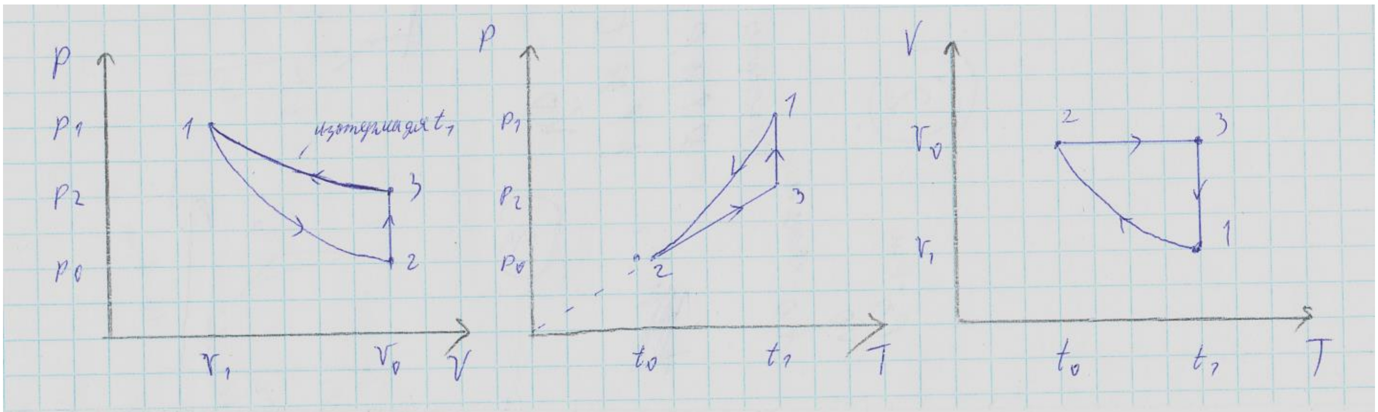
Погрешности:

$$\Delta\gamma_{ср} = \left(\frac{\Delta p_1}{p_1} + \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{p_1 - p_2}\right)\gamma_{ср} = 0{,}007$$

Получим среднее значение коэффициента $\gamma_{ср} \approx 1{,}4 \pm 0{,}007$ при атмосферном давлении в 740,5 мм рт.ст температуре воздуха, равной 25ºС, что удовлетворяет табличному результату в $\gamma = 1{,}4$.

Задания

1) Изобразим равновесные состояния, при которых производились расчеты, и процессы перехода между ними.



2) Процесс 1-2 является адиабатическим, 2-3 изохорическим, а 3-1 изотермическим, запишем уравнения кривых цикла для каждого из них.

1-2 Так как $PV^{\gamma} = const$ и $PV \sim T$, то

$V \sim T^{\frac{1}{1-\gamma}}$ и $P \sim T^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$

2-3. Из уравнения Менделеева-Клапейрона имеем: $P \sim T$

3-1 Из уравнения Менделеева-Клапейрона имеем $P \sim \frac{1}{V}$.

3) C_v - удельная теплоемкость газа при постоянном объеме и C_p – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении. Как мы знаем, по определению удельной теплоемкости газа $C = \frac{Q}{\Delta T}$. Рассмотрим первый случай – постоянный объем. Зная, что работа при постоянном объеме не совершается, запишем первый закон термодинамики в виде: $C_v \Delta T = \Delta U$. Изменение энергии одного моля идеального газа равно: $\Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T$. Следовательно удельная теплоемкость при постоянном объеме равна: $C_v = \frac{3}{2} R$.

Теперь рассмотрим случай постоянного давления газа. Согласно определению теплоемкости при постоянном давлении $Q_p = C_p \Delta T$. Из уравнения работы при постоянном давлении и уравнения состояния (для одного моля) идеального газа получим: $A = R\Delta T$. Внутренняя энергия идеального газа от объема не зависит, поэтому при постоянном давлении изменение внутренней энергии газа такое же как и при постоянном объеме: $C_v \Delta T = \Delta U$. Тогда, применяя первый закон термодинамики, получим: $C_p \Delta T = C_v \Delta T + R \Delta T$, следовательно $C_p = C_v + R$. В случае идеального одноатомного газа имеем: $C_p = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R$.

Как видно из рассуждений, теплоемкость при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме, так как часть подведенной энергии тратится на совершение работы и для такого же нагревания требуется подвести больше теплоты.

4) Оценим величину понижения температуры, происходившей в опыте.

Запишем уравнение адиабаты Пуассона для эксперимента: $\frac{P_0}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^{\gamma}$. Учтем, что $\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1 P_0}{T_0 P_1}$. Тогда: $\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{P_0 + h_1}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

Тогда температура изменится на величину $\Delta T = T_0 - T_1 = \frac{T_1}{\left(1+\frac{h_1}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} - T_1 = -3{,}5\ K$

5) Вычислим количество воздуха, выходящего из сосуда, когда открывается кран.

Переход из первого состояния во второе происходит по адиабате:
$p_1 V_1^\gamma = p_0 V_0^\gamma$

Но $\frac{P_0}{P_1} = \frac{T_0 V_1}{T_1 V_0}$ тогда имеем: $\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{\Delta V}{V_1}\right)^{\gamma-1}$

Так как $\frac{T_1}{T_0} = \left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, то $\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 1 + \frac{\Delta V}{V_1}$

Значит: $\Delta V = V_1 \left(\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} - 1\right)$

Так как процесс 3-1 изотермический, имеем: $V_1 = \frac{P_2}{P_1} V_0 = \frac{P_0 + h_2}{P_0 + h_1} V_0$

$$\Delta V = \frac{P_0 + h_2}{P_0 + h_1} V_0 \left(\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}} - 1\right) = 8{,}3 * 10^{-2} \text{л}$$

Вывод: Получим среднее значение коэффициента $\gamma_{\text{ср}} \approx 1{,}4 \pm$0,007 при атмосферном давлении в 740,5 мм рт.ст температуре воздуха, равной 25ºС, что удовлетворяет табличному результату в $\gamma = 1{,}4$.