

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ВОЗДУХА

Цель работы: определить отношение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении удельной теплоёмкости воздуха при постоянном объёме.

Приборы и оборудование: большой (25 л) стеклянный толстостенный сосуд, водяной манометр.

Теоретическая часть:

Обозначим C_v – удельную теплоемкость газа при постоянном объеме и C_p – удельную теплоемкость газа при постоянном давлении.

При адиабатическом изменении состояния газа, когда не происходит теплообмена между газом и окружающей средой, имеет место закон Пуассона:

$$P(v)^\gamma = \text{const}$$

где P – давление, v – объем единицы массы газа (удельный объём)

$$\gamma = C_p / C_v$$

Очень быстро протекающие процессы можно считать адиабатическими. Такой процесс лежит в основе опыта Клемана Дезорма.

Большой толстостенный сосуд (стеклянный) при помощи крана может сообщаться с наружным воздухом. При помощи трубки он сообщается с водяным манометром и через трубку с нагнетателем. Закроем кран, и накачаем в сосуд воздух, тогда в сосуде воздух окажется под давлением P_1 больше атмосферного. Соответственно удельный объем его по истечении некоторого времени, в течение которого температура внутри сосуда сравнивается с наружной, будет v_1 , следовательно, состояние воздуха характеризуется величинами (параметрами): p_1, v_1, t . Теперь быстро открываем кран и быстро закрываем его, при этом воздух в сосуде быстро расширяется (адиабатическое расширение) и охлаждается до температуры t_0 ниже комнатной, давление его поднимается до атмосферного p_0 , а удельный объем увеличивается до удельного объема v_0 . Следовательно, в этом втором состоянии, воздух в сосуде имеет температуру t_0 , удельный объем v_0 и давление p_0 . Переход из первого состояния во второе происходит по адиабате

$$p_1 v_1^\gamma = p_0 v_0^\gamma \quad (1)$$

Так как объемы v_0 и v_1 неизвестны, то определить отсюда γ нельзя. Поэтому рассмотрим еще третье состояние воздуха, в которое он приходит спустя некоторое время после закрытия крана. Тогда воздух в сосуде нагревается до температуры комнаты, равной t , и в силу этого давление его повысится до p_2 . В этом третьем состоянии воздух имеет температуру t , удельный объем v_0 , давление p_2 . Переход из первого состояния в третье совершается по закону

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), можно легко исключить v_1 , и v_0 , найдя их отношение из уравнения (2)

$$v_1 / v_2 = p_2 / p_1$$

Из уравнения (1) имеем $(v_1 / v_0)^\gamma = p_0 / p_1$

Следовательно, $(p_2 / p_1)^\gamma = p_0 / p_1$

Решая это уравнение относительно γ , получим:

$$\gamma = \ln(p_0 / p_1) / \ln(p_2 / p_1) \quad (3)$$

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

$$p_0 = p_1 - h_1 = p_1 (1 - h_1 / p_1); \quad p_2 = p_0 + h_2 = p_1 - h_1 + h_2$$

$$p_0 / p_1 = 1 + (-h_1 / p_1), \quad (4)$$

$$p_2 / p_1 = 1 + (-h_1 + h_2 / p_1), \quad (5)$$

подставим (4) и (5) в (3) и разложим логарифмы в ряд по формуле Тейлора. В нашем случае можно ограничиться только первым членом разложения, тогда окончательно получим:

$$\gamma = h_1 / (h_1 - h_2)$$

Практическая часть:

При закрытом кране накачивают воздух в сосуд до тех пор, пока манометр, не покажет разности давлений между воздухом внутри сосуда и наружным 30—40 см водяного столба. Затем закрывают трубку зажимами и ждут пока воздух в сосуде не примет температуру наружного воздуха, это наступит тогда, когда давление в сосуде, а следовательно, и разности уровней жидкости в манометре перестанут изменяться. Затем открывают кран и держат его открытым до тех пор, пока не прекратится свист выходящего воздуха, а потом уже его быстро закрывают. После этого снова начинают наблюдать за уровнями. Отсчет установившейся разности уровней (h_1) и (h_2) производится при помощи зеркальной шкалы во избежание ошибки от параллакса.

№ наблюдения	1	2	3	4	5
h_1 , см	26.3	11.4	16.1	26.3	21.9
h_2 , см	5.4	2.7	4.5	5.7	5.0
γ	1.365±0.004	1.411±0.006	1.392±0.005	1.377±0.004	1.403±0.005
ϵ_γ , %	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4

Вывод:

Так как воздух является смесью в основном двухатомных молекул, то коэффициент Пуассона для воздуха должен быть примерно (т.к. молекулы не только двухатомные) равен $\gamma = (i+2)/i$, где $i=5$, т.е. $\gamma=1,4$. Результаты опыта удовлетворяют теоретическим расчётам и составляют величины от 1,365 до 1,403. Флуктуации коэффициента Пуассона возможны из-за неоднородностей состава воздуха. Главным образом сдвиг величины к 1,33 (3-х атомные молекулы) обусловлен тем, что нагнетание происходило вдуванием смеси воздух-углекислый газ (3-х атомные молекулы).