

ОТЧЁТ

по лабораторной работе №15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ
ВОЗДУХА

Выполнил студент группы _____

Преподаватель кафедры физики

Отметка о защите _____

Лабораторная работа № 15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ МОЛЯРНЫХ ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ ВОЗДУХА

Цель работы: определить отношение молярных теплоёмкостей воздуха методом, основанным на адиабатическом расширении газа.

Приборы и принадлежности: стеклянный баллон, U – образный манометр, насос, секундомер.

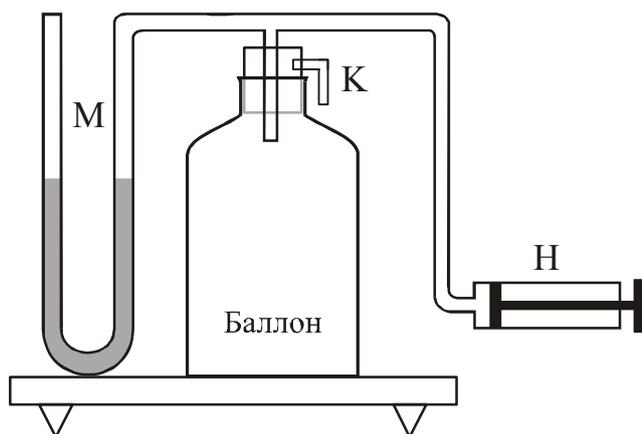


Рисунок 1

Описание экспериментальной установки

Установка состоит из стеклянного баллона, соединённого с открытым U–образным манометром М и насосом Н (рис. 1). Баллон закрыт пробкой, в которую вставлен клапан К.

Общие положения

Адиабатический (адиабатный) процесс – это процесс, при котором физическая система не получает извне теплоты и не отдает её. Адиабатные процессы протекают в системах, окруженных теплоизолирующей (адиабатной) оболочкой, но их можно реализовать и при отсутствии такой оболочки. Для этого процесс должен протекать настолько быстро, чтобы за время его осуществления не произошло теплообмена между системой и окружающей средой.

В баллон нагнетается воздух до определённой разности уровней жидкости в коленях манометра. По истечении 3-4 минут температура воздуха в баллоне становится равной температуре окружающей среды. При этом объём газа будет V_1 , давление p_1 и температура T_1 (состояние 1 на рис. 2).

Затем на короткое время открывается клапан К баллона и воздух адиабатически переходит в состояние 2 (рис. 2). Для адиабатного перехода из первого состояния во второе справедливо уравнение Пуассона:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad (1)$$

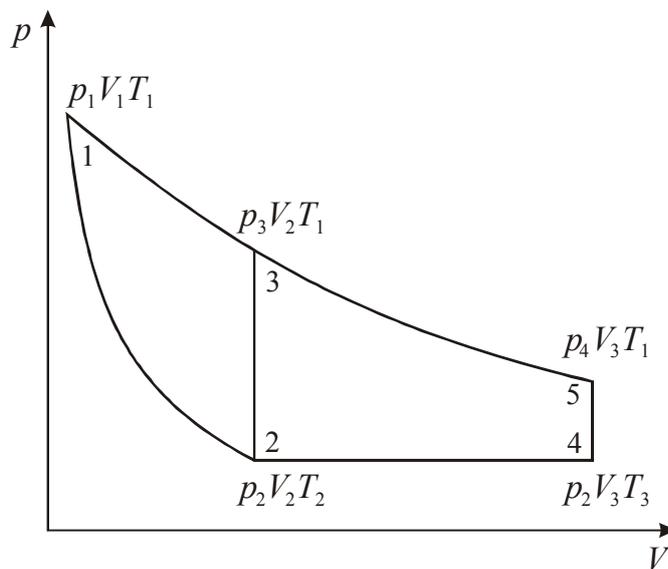


Рисунок 2

где γ – отношение молярной теплоёмкости газа при постоянном давлении к молярной теплоёмкости при постоянном объёме. Этот коэффициент называют показателем адиабаты.

При этом $\Delta T < 0$, т.к. работа расширения газа совершается за счёт его внутренней энергии.

Через 3-4 минуты после закрытия клапана воздух нагревается изохорно до комнатной температуры T_1 , причём давление повышается до величины p_3 (состояние 3 на рис. 2). Сравнивая третье состояние газа с первым состоянием, мы видим, что они принадлежат одной изотерме. По закону Бойля – Мариотта:

$$p_1 V_1 = p_3 V_2 \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) можно определить γ . Для этого возводим уравнение (2) в степень γ и делим его на уравнение (1):

$$\frac{p_1^\gamma V_1^\gamma}{p_1 V_1^\gamma} = \frac{p_3^\gamma V_2^\gamma}{p_2 V_2^\gamma}$$

Логарифмируя это выражение, находим γ :

$$\gamma = \frac{\ln(p_1/p_2)}{\ln(p_1/p_3)} \quad (3)$$

Полученную формулу можно упростить. Обозначим разность уравнений жидкости в манометре в первом состоянии через H , а в третьем через h_0 .

В этом случае:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 + \alpha H \\ p_3 &= p_2 + \alpha h_0 \end{aligned} \quad (4)$$

где α – переводной коэффициент для перехода от разности Δh к p .

В каждом из этих выражений второе слагаемое в правой части мало по сравнению с первым слагаемым. Из соотношения (4) получим:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 - \alpha H \\ p_3 &= p_1 - \alpha(H - h_0) \end{aligned}$$

и подставим в формулу (3).

$$\gamma = \frac{\ln \frac{p_1}{p_1 - \alpha H}}{\ln \frac{p_1}{p_1 - \alpha(H - h_0)}}$$

Разделим почленно числитель и знаменатель на p_1 :

$$\gamma = \frac{\ln \frac{1}{1 - \alpha H/p_1}}{\ln \frac{1}{1 - \alpha(H - h_0)/p_1}}$$

Величины $\frac{\alpha H}{p_1}$ и $\frac{\alpha(H-h_0)}{p_1}$ много меньше единицы. Для малых значений x справедливо приближенное выражение:

$$\ln(1-x) = -x.$$

Применяя его, получаем:

$$\gamma = \frac{\alpha \frac{H}{p_1}}{\alpha \frac{(H-h_0)}{p_1}} = \frac{H}{H-h_0}. \quad (5)$$

По этой формуле и производится вычисление γ . Величина h_0 , входящая в формулу (5), получена в предположении, что клапан К закрывается в момент окончания адиабатического процесса 1-2. Если клапан закрыть до или после завершения процесса 1-2, то это приведет соответственно к завышению или занижению величины γ по сравнению с её действительным значением.

Для получения правильного результата измерений клапан необходимо закрыть в тот момент, когда газ находится в состоянии 2, что не представляется возможным. Ввиду этого ординату 2-3, соответствующую разности уровней h_0 , приходится определять косвенным путем. Рассмотрим с этой целью процесс адиабатического расширения при открытом клапане с учётом теплообмена с окружающей средой во время протекания процесса 2-4 (рис.2).

Предположим, что газ находится в состоянии 1. Нажатием клапана К произведем адиабатическое расширение (1-2). При этом температура газа понизится относительно комнатной температуры T_1 до величины T_2 , давление станет равным атмосферному p_2 . Если клапан оставить открытым в течение времени τ после окончания процесса 1-2, то температура газа в баллоне за это время несколько повысится за счёт теплообмена до величины T (изобарический процесс 2-4). Закроем после этого клапан и оставим баллон на некоторое время, пока температура внутри баллона не станет равной температуре окружающей среды T_1 (изохорический процесс 4-5). При этом давление газа в сосуде повысится на величину Δp , которую определим по манометру по разности уровней

жидкости. С уменьшением времени τ величина h , как это видно из рис. 3, возрастает и в пределе при $\tau \rightarrow 0$ стремится к искомому значению h_0 .

Следовательно, величину h_0 , можно определить, имея полученный на опыте график зависимости $\ln h$ от τ . Можно показать, что в условиях нашего опыта имеет место соотношение:

$$\ln h = \ln h_0 - A\tau$$

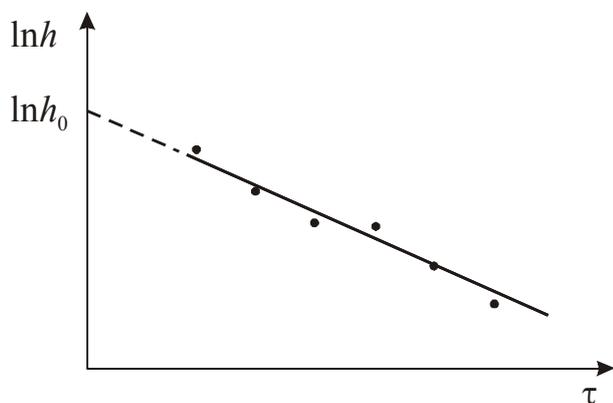


Рисунок 3

т.е. наблюдается линейная зависимость $\ln h$ от времени τ , причем начальная ордината равна логарифму искомой величины h_0 . Здесь A есть угловой коэффициент прямой, зависящей от условий опыта.

Получив на опыте ряд значений $\ln h$ соответствующих различным длительностям расширения τ от одного и того же начального давления p , можно построить график зависимости $\ln h = f(\tau)$. Зная, что график представляет собой линейную функцию, можем экстраполировать его до пересечения с осью ординат. Точка пересечения графика с осью ординат соответствует $\ln h_0$ (рис. 3).

Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чём состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Какой график необходимо построить по результатам эксперимента? Как при помощи графика определить h_0 ?
4. По какой формуле Вы будете рассчитывать показатель адиабаты? Поясните смысл обозначений, входящих в формулу.

Выполнение работы

1. Накачать в баллон воздух так, чтобы разность уровней жидкости в манометре стала равна 25-30 см. Оставить баллон на 3-4 минуты, пока температура внутри его не станет равной температуре окружающей среды. После этого отсчитать показания манометра L_1 и L_2 . Отчёты делать по нижнему краю мениска.
2. Быстрым нажатием открыть клапан К и одновременно включить секундомер. Выдержать клапан открытым 5 секунд и закрыть. Давление в баллоне станет равным атмосферному (уровни жидкости сравнялись), а температура понизится. Подождав 3-4 минуты, чтобы температура в баллоне повысилась до комнатной (уровни жидкости разошлись), отсчитать показания манометра l_1 и l_2 .
3. Повторить измерения согласно п.1-2, открывая клапан на 10, 15, 20, 25 и 30 секунд. **При этом начальный уровень жидкости в коленах манометра каждый раз устанавливать на то же деление, что и в первом опыте.**

Оформление отчёта

1. Расчёты

1. Рассчитать $H = L_1 - L_2$ и $h = l_1 - l_2$.
2. Найти значения $\ln h$.
3. По полученным данным построить график $\ln h = f(\tau)$.
4. Найти значение $\ln h_0$, соответствующее $\tau = 0$ (см. рис. 3), и определить h_0 .
5. Рассчитать показатель адиабаты по формуле (5).

2. Защита работы *(ответы представить в письменном виде)*

1. Какой процесс называется адиабатическим (адиабатным)?
2. Запишите уравнение, описывающее адиабатный процесс (уравнение Пуассона). Приведите схематичный график этого процесса.
3. Рассчитайте теоретическое значение показателя адиабаты воздуха и сравните его со значением, найденным экспериментально. Сделайте вывод.

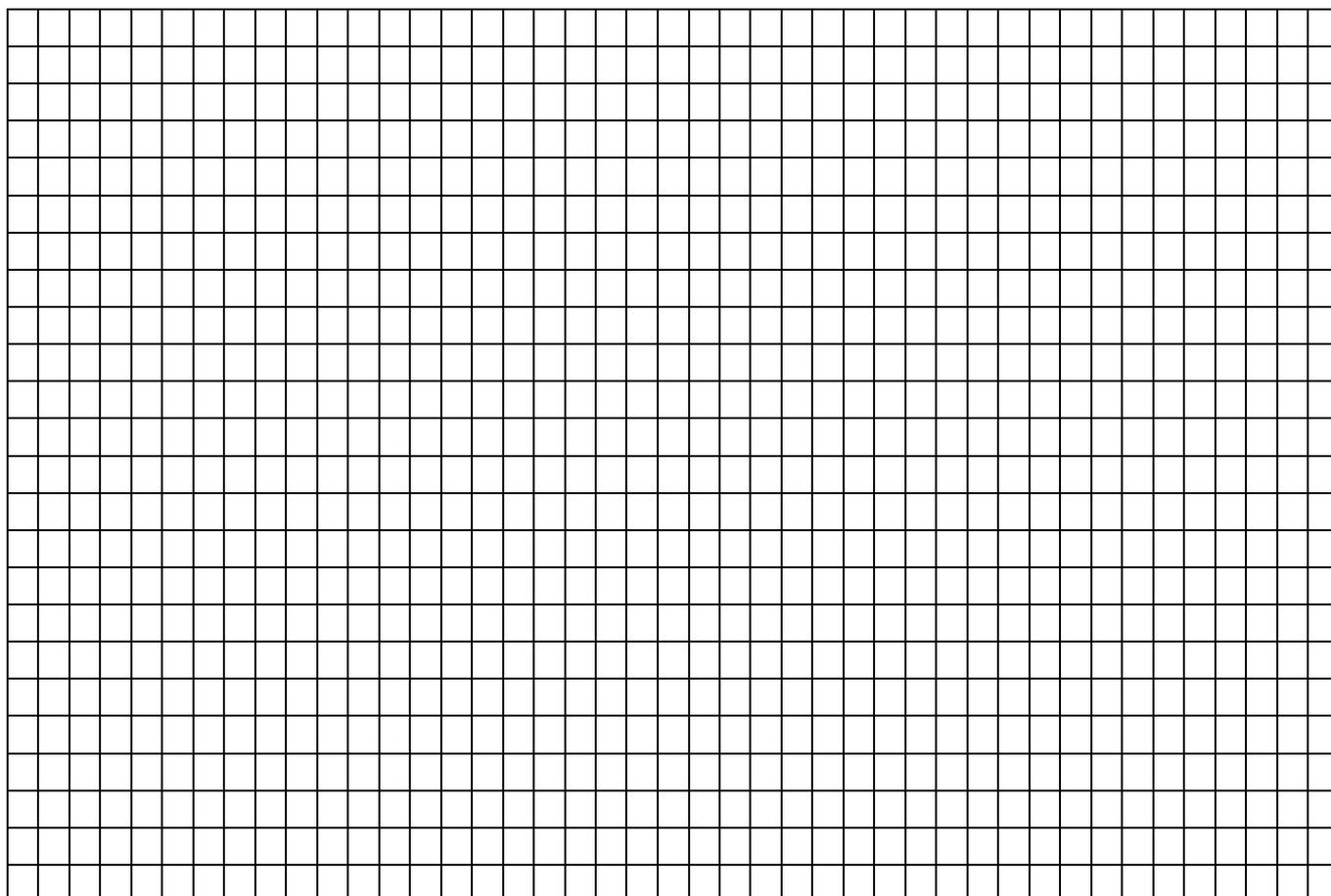
ПРОТОКОЛ
измерений к лабораторной работе №15

Выполнил(а) _____

Группа _____

№, п/п	τ , с	L_1 , см	L_2 , см	H , см	l_1 , см	l_2 , см	h , см	$\ln h$
1	5							
2	10							
3	15							
4	20							
5	25							
6	30							

$\ln h_0 =$ _____



Дата _____

Подпись преподавателя _____