

Лабораторная работа “ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ ВОЗДУХА МЕТОДОМ КЛЕМАНА- ДЕЗОРМА”

Теплоёмкостью какого-либо тела называется величина, равная количеству тепла, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на один градус.

Теплоёмкость единицы массы вещества называется удельной теплоёмкостью. Размерность удельной теплоёмкости Дж/(кг.К). Величина теплоёмкости зависит от условий, при которых происходит нагревание тела. Наиболее интересны случаи, когда нагревание происходит при постоянном объёме или при постоянном давлении. В первом случае теплоёмкость называется изохорической (C_V), во втором – изобарической (C_p). C_p всегда больше, чем C_V , так что их

отношение $\frac{C_p}{C_V} = \gamma > 1$. Подумайте почему?

Отношение $\frac{C_p}{C_V}$ играет важную роль в молекулярной физике. Зная, например, $\frac{C_p}{C_V}$, можно описать адиабатический процесс в газах (т.е. процесс, происходящий в условиях, когда к газу не подводится и от него не отводится теплота). Это отношение определяет скорость

распространения звука в газе. Отношение $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ важно еще по одной причине. Дело в том,

что экспериментальное определение C_V связано с большими трудностями, так как при постоянном объёме масса газа в сосуде очень мала по сравнению с массой сосуда. При этом подводимое тепло тратится не столько на нагревание газа, сколько на нагревание сосуда. Поэтому экспериментально

измеряют только C_p , а для вычисления необходимо ещё знать $\frac{C_p}{C_V}$.

Целью настоящей работы и является экспериментальное определение отношения классическим методом Клемана-Дезорма.

1. Основы метода измерения отношения удельных теплоёмкостей воздуха.

Клеман и Дезорм в 1819 г. предложили и осуществили следующий метод измерения отношения теплоёмкостей $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ для газов.

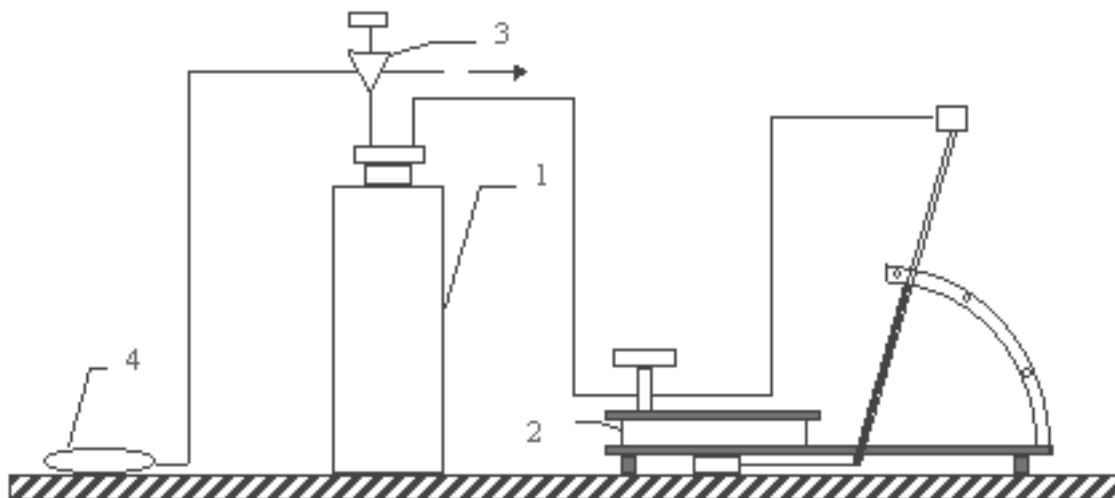


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 - сосуд с воздухом; 2 - жидкостный манометр; 3 - кран трехходовой; 4 - насос (резиновая груша)

Стеклянный баллон вместимостью в несколько литров (см. рисунок) наполняется исследуемым газом (в настоящей работе – воздухом). Сосуд с воздухом соединен трубкой с манометром, измеряющим разность давлений в сосуде и в атмосфере. Посредством крана сосуд может быть соединен: с насосом (роль насоса выполняет резиновая груша), с атмосферой; треть

положение крана обеспечивает закрытие сосуда с воздухом.

Пусть перед началом опыта сосуд с воздухом соединён с атмосферой так, что давление воздуха в нем равно атмосферному давлению P_0 , а температура газа комнатная T_0 . Если с помощью насоса быстро накачать воздух в сосуд и сразу же перекрыть кран, то давление в сосуде повысится. Но при быстром накачивании процесс сжатия воздуха в сосуде может считаться адиабатным, и газ поэтому нагреется. Повышение давления, которое показывает манометр, вызвано и сжатием, и нагреванием. Но так как сосуд не изолирован от окружающей среды, то при закрытом кране начнётся выравнивание температуры воздуха в сосуде с температурой окружающей среды и через несколько минут температура воздуха в сосуде станет равной комнатной. Охлаждение газа будет сопровождаться уменьшением давления и это будет видно по понижению уровня жидкости в манометре. Выравнивание температуры приведет к прекращению уменьшения уровня, и в конце концов установится определённый уровень, который мы обозначим h_1 . Таким образом, газ перешел в состояние с температурой T_0 и давлением $P_0 + h_1$.

Теперь быстро (напомним, что быстрота обеспечивает адиабатность процесса) повернём кран в положение, при котором сосуд соединяется с атмосферой. Давление газа станет равным атмосферному P_0 , но при этом газ (воздух) охладится до некоторой температуры T_1 . Переход от состояния с давлением $P_0 + h_1$ и температурой T_0 к состоянию с давлением P_0 и температурой T_1 есть процесс адиабатный, и к нему может быть применено уравнение адиабаты

$$\frac{(P_0 + h_1)^{y-1}}{T_0^y} = \frac{P_0^{y-1}}{T_1^y} . \quad (1.1)$$

Если сразу же после расширения газа кран закрыть, то охлаждённый при расширении воздух в сосуде станет при постоянном объёме нагреваться и через некоторое время его температура станет комнатной T_0 . Давление газа при этом повысится, что и покажет манометр, на котором установится некоторый новый уровень h_2 . Давление газа в сосуде станет, следовательно, $P_0 + h_2$. Этот новый переход от состояния с давлением P_0 и температурой T_1 к состоянию с давлением $P_0 + h_2$ и температурой T_0 – не адиабатный, а обычный переход при постоянном объёме. Он описывается уравнением

$$\frac{P_0}{T_1} = \frac{P_0 + h_2}{T_0} . \quad (1.2)$$

Далее представим уравнение (1.1) в виде

$$\left(\frac{P_0 + h_1}{P_0}\right)^{y-1} = \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^y , \quad (1.3)$$

или

$$\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{y-1} = \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^y . \quad (1.4)$$

Из уравнения (1.2) получим

$$\frac{T_0}{T_1} = \frac{P_0 + h_2}{P_0} = 1 + \frac{h_2}{P_0} . \quad (1.5)$$

Подставим это значение в (1.4), получим

$$\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{y-1} = \left(1 + \frac{h_2}{P_0}\right)^y . \quad (1.6)$$

Так как $\frac{h_1}{P_0}$ и $\frac{h_2}{P_0}$ – величины малые (h_1 и h_2 – это несколько сантиметров водяного столба, а P_0 – это атмосферное давление, равное 10 м водяного столба), то обе части уравнения

(1.6) можно разложить в ряд по формуле бинома Ньютона и ограничиться членами первого порядка малости. Тогда получим

$$1 + (\gamma - 1) \frac{h_1}{P_0} = 1 + \gamma \frac{h_2}{P_0} ,$$

или

$$(\gamma - 1) \frac{h_1}{P_0} = \gamma \frac{h_2}{P_0} .$$

Отсюда

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} .$$

Это и есть расчётная формула для вычисления $\frac{C_p}{C_v}$ в опыте Клемана-Дезорма.

2. Методика проведения эксперимента

П о д г о т о в к а к о п ы т у

Ознакомьтесь с описанием и лабораторной установкой.

Внимание! При накачивании воздуха в сосуд следите за показаниями манометра. Не повышайте давление в сосуде на величину более 2/3 шкалы жидкостного манометра, иначе не исключена возможность утечки жидкости из манометра.

З а д а н и е

1. Сначала нужно открыть кран на атмосферу, чтобы быть уверенным, что воздух в сосуде находится под атмосферным давлением.
2. Закрывать кран так, чтобы сосуд был соединён с резиновой грушей (насосом).
3. Быстро накачать воздух насосом так, чтобы на манометре уровень жидкости поднялся не более чем на 2/3 шкалы, и закрыть кран.
4. Подождать, чтобы нагретый при сжатии воздух в сосуде охладился до комнатной температуры. Этому будет соответствовать установившийся уровень жидкости в манометре h_1 . Записать это показание.
5. Быстро открыть кран на атмосферу и тотчас закрыть.
6. Газ начнет нагреваться до установления нового уровня в манометре h_2 . Записать это показание. Пользуясь формулой (1.8), рассчитать значение γ .
7. Измерения проделать 7-8 раз. Данные занести в таблицу.

Экспериментальные данные					
№ п/п	h_1 , дел	h_2 , дел	$h_1 - h_2$, дел	γ_i	$(\gamma_i - \bar{\gamma})^2$

8. Рассчитать среднее значение $\bar{\gamma}$ и его среднеквадратичную ошибку:

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{n} ,$$

$$\sigma_{\bar{\gamma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_i - \bar{\gamma})^2}{n(n-1)}} ,$$

где n – число измерений.

9. Для одного из измерений рассчитать относительную систематическую ошибку измерения:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\left(\frac{h_2 \Delta h_1}{h_1 (h_1 - h_2)}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h_2}{h_1 - h_2}\right)^2} . \quad (2.3)$$

Сравнить со среднеквадратичной ошибкой и сделать вывод.

10. Сравнить полученный для результат с табличным и с теоретическим, рассчитанным для двухатомного идеального газа по формуле

$$y = \frac{i+2}{i} . \quad (2.3)$$

где i – число степеней свободы.

11. Сделать выводы.

3. Контрольные вопросы

1. Почему отличаются друг от друга теплоёмкости идеального газа при постоянном объёме и давлении?
2. Почему важно знать отношение $\frac{C_p}{C_v}$ для газов?
3. В чем идея опыта Клемана-Дезорма?
4. Влияет ли на результат тот факт, что в работе не учитывается присутствие в воздухе влаги (паров воды)?
5. Почему при сжатии и расширении воздуха изменяется его температура?

Список литературы

1. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высш. шк., 1987.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1979.
3. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972.

Тест к работе.

1) УКАЖИТЕ ПРАВИЛЬНУЮ РАЗМЕРНОСТЬ ГАЗОВОЙ ПОСТОЯННОЙ

1. $[R] = Дж / (мольК)$
2. $[R] = эрг.моль / К^2$
3. $[R] = кал / (гК)$
4. $[R] = Дж.кг / моль$
5. $[R] = Дж.моль / К$

2) АДИАБАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС – ЭТО ПРОЦЕСС, ПРИ КОТОРОМ...

1. изменением температуры можно пренебречь.
2. к системе не подводится и от неё не отводится тепло.
3. давление и температура связаны соотношением: $pT^{\gamma-1} = const$.
4. объём газа не может убывать.
5. объём и давление газа связаны соотношением: $pT^{\gamma-1} = const$.

3) УКАЖИТЕ РАСЧЁТНУЮ ФОРМУЛУ ДЛЯ В ДАННОЙ РАБОТЫ

1. $\gamma = \frac{h_1 - h_2}{h_2}$
2. $pV^\gamma = const$
3. $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$
4. $\gamma = \frac{i+2}{i}$
5. $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$

4) НАЙДИТЕ НЕВЕРНОЕ УТВЕРЖДЕНИЕ

1. При адиабатическом расширении температура газа понижается.
2. Газовая постоянная R имеет физический смысл работы, совершаемой одним молем при его нагревании на 1K в изобарических условиях.
3. Присутствие в воздухе паров воды не влияет на результат опыта.
4. Процесс понижения давления воздуха в сосуде при быстром открывании можно считать адиабатическим.
5. Формула $p^{\gamma-1} \sim T^\gamma$ выражает адиабатический процесс.

5) УКАЖИТЕ ПРАВИЛЬНУЮ РАЗМЕРНОСТЬ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ

1. $[c] = \frac{Дж}{кг}$
2. $[c] = \frac{Дж}{К}$
3. $[c] = \frac{кал}{м^3 К}$
4. $[c] = \frac{ккал.ч}{кг К}$
5. $[c] = \frac{Дж}{кг К}$

6) ЧТО ПРОИЗОЙДЁТ С ГАЗОМ. ПРИ АДИАБАТИЧЕСКОМ РАСШИРЕНИИ?

1. Понизится его давление, а объём и температура не изменятся.
2. Ничего не изменится.
3. Он получит тепло от окружающей среды.
4. Понизится его температура и давление.
5. Понизится его температура, а давление увеличится.

7) ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ОТНОШЕНИЕ C_p/C_v ДЛЯ ДАННОГО ГАЗА?

1. От температуры газа.
2. От давления газа.
3. От числа степеней свободы молекул газа.
4. От величины объёма, занятого газом.
5. От совокупности всех условий, при которых находится газ.

8) НАЙДИТЕ НЕВЕРНОЕ УТВЕРЖДЕНИЕ

1. Молекулярная масса – это отношение массы молекулы вещества к 1/12 массы углерода с массовым числом 12.
2. Одна калория – это количество тепла, необходимое для нагрева воды от 19,5°С до 20,5°С.
3. *Кмаль* - это количество вещества, масса которого в кг численно равна молекулярной массе.
4. Отношение удельных теплоёмкостей равно отношению молярных теплоёмкостей.
5. Размер сосуда не влияет на точность опыта Клемана-Дезорма.

9) УКАЖИТЕ ВЕРНУЮ ФОРМУЛУ ДЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ

ОШИБКИ ВЕЛИЧИНЫ $y = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$

1. $\Delta y = \Delta h(h_1 - h_2) - \Delta h h_1$

2. $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta h}{h_1} + \frac{2 \Delta h}{h_1 - h_2}$

3. $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta h}{h_1} + \frac{\Delta h}{h_2}$

4. $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta h}{h_1} + \frac{h_1 \Delta h}{(h_1 - h_2)^2}$

5. $\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta h}{h_1} + \frac{\Delta h}{(h_1 - h_2)^2}$

10) ЧТО ПРОИЗОЙДЁТ С ГАЗОМ ПРИ ЕГО ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ СЖАТИИ?

1. Уменьшится объём и увеличивается его давление.
2. Уменьшится объём и уменьшится его давление.
3. Изменится число степеней свободы молекул газа.
4. Изменится величина y
5. Ничего не изменится.