

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 0-17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ГАЗОВ ПРИ ПОМОЩИ ОСЦИЛЛЯТОРА ФЛАММЕРСФЕЛЬДА

Цель работы: изучение адиабатического процесса и экспериментальное определение показателя адиабаты для воздуха.

Приборы и принадлежности: газовый осциллятор Фламмерсфельда, микрометр, световой барьер со счетчиком, барометр, секундомер.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Адиабатическим называется процесс, при котором отсутствует теплообмен между системой и окружающей средой. Можно с достаточным приближением рассматривать всякое быстрое изменение объема как процесс адиабатный и чем быстрее он происходит, тем ближе к адиабатному. Исследования показали, что распространение звука в газе можно с достаточной степенью приближения описывать адиабатическим процессом и выявлять их закономерности. Примером использования адиабатных процессов является, в частности, процесс сжижения газ при адиабатическом расширении. Нагревание газа при адиабатическом сжатии применяется в дизелях и т. д.

Запишем первое начало термодинамики ($\delta Q = dU + \delta A$) применительно к адиабатному процессу. Так как теплообмен с окружающей средой отсутствует, то

$$dQ = 0, \quad (1)$$

$$\text{Следовательно,} \quad dA + dU = 0 \quad \text{или} \quad dA = -dU, \quad (2)$$

т.е. при адиабатном процессе работа совершается газом, только за счет изменения внутренней энергии.

Связь между давлением и объемом при адиабатном процессе определяется выражением:

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad (3)$$

где P – давление в системе; V – объем системы; γ – показатель адиабаты. Выражение (3) есть уравнение адиабатического процесса или уравнение Пуассона.

Показатель адиабаты (или коэффициент Пуассона) можно определить по формуле:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{c_p}{c_v} = \frac{(i+2)}{i} \quad (4)$$

здесь i – число степеней свободы молекулы.

Для одноатомных газов (Ne, He и др.) число степеней свободы $i = 3$, $\gamma = 1,67$. Для двухатомных газов (H_2 , N_2 , O_2 и др.) – $i = 5$ и $\gamma = 1,4$. При не очень низких и не очень высоких температурах значения γ большинства газов, вычисленные по формуле (4), хорошо подтверждаются экспериментом.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ

Метод измерения показателя адиабаты газов, используемый в данной работе, основан на измерении периода колебаний осциллятора в системе, где упругая возвращающая сила создается газом. Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 1.

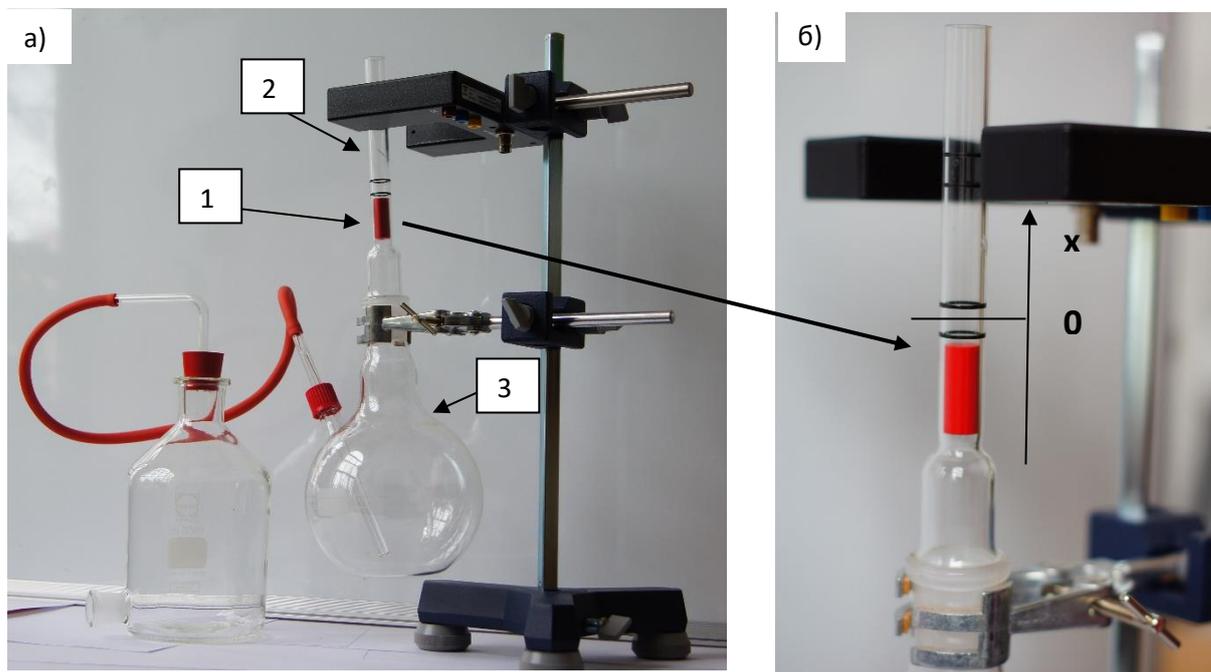


Рисунок 1. Экспериментальная установка для определения показателя адиабаты газов при помощи осциллятора Фламмерсфельда: а) общий вид установки; б) трубка с осциллятором

Пластиковый осциллятор 1 находится в вертикальной трубке 2. Осциллятор плотно прилегает к стенкам трубки. Трубка соединена с сосудом 3, заполненным воздухом. В состоянии равновесия сила тяжести осциллятора уравновешивается давлением сжатого воздуха. При выведении осциллятора из состояния равновесия возникает возвращающая сила, которая определяется выражением: $S\Delta P$, где ΔP – изменение давления воздуха в сосуде 3, вызванное смещением осциллятора, $S = \pi r^2$ – площадь сечения трубки. Для получения постоянных незатухающих колебаний газ, выходящий через зазоры между стеклянной трубкой и осциллятором, по трубке возвращается назад в систему. В центре трубки находится небольшое отверстие и осциллятор можно поместить под этим отверстием. Газ, поступающий назад в систему, вызывает избыточное давление, которое может поднять осциллятор вверх. После высвобождения осциллятора давление нормализуется, осциллятор падает, и процесс повторяется снова.

Если осциллятор выходит из состояния равновесия, и проходит малое расстояние x , то давление p изменяется на Δp , и уравнение для возникающих при этом сил имеет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \pi r^2 \Delta p \quad (5)$$

где m – масса осциллятора; r – радиус осциллятора.

Предполагая, что процессы сжатия и расширения газа в сосуде происходят адиабатически, то давление p и объем газа V связаны уравнением адиабаты:

$$p \cdot V^\gamma = const \quad (6)$$

После дифференцирования уравнения (6) получаем:

$$V^\gamma dp + p\gamma V^{\gamma-1} dV = 0 \quad (7)$$

или

$$\Delta p = \frac{p\gamma \Delta V}{V} \quad (8)$$

С учетом формулы (8) уравнение (5) запишется следующим образом:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \pi r^2 \frac{p\gamma \Delta V}{V} \quad (9)$$

Здесь p – давление газа, которое можно определить по формуле:

$$p = p_L + \frac{mg}{\pi r^2} \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения; p_L – внешнее атмосферное давление.

Объем газа V включает в себя как объем сосуда, так и объем трубки ниже осциллятора:

$$V = V_0 + \Delta V \quad (10)$$

Где V_0 – объем газа при равновесном положении осциллятора.

Изменение объема ΔV , обусловлено смещением осциллятора из равновесного положения, при котором его сила тяжести компенсируется силой давления сжатого газа. При этом

$$\Delta V = Sx = \pi r^2 x \quad (11)$$

С учетом выражений (5), (10) и (11) запишем уравнение колебания осциллятора:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\gamma \pi^2 r^4 p}{mV} x = 0 \quad (12)$$

Это уравнение гармонических колебаний, с циклической частотой ω и периодом гармонических колебаний T , соответственно:

$$\omega = \sqrt{\frac{\gamma \pi^2 r^4 p}{mV}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (13)$$

Отсюда показатель адиабаты газа γ равен:

$$\gamma = \frac{4mV}{T^2 p r^4} \quad (14)$$

В расчетах, приведенных выше, считалось, что осциллятор перемещается в пределах длины трубки без трения. В действительности, благодаря наличию трения, колебания осциллятора будут затухать. Чтобы компенсировать потери энергии системы на трение в сосуд подкачивается газ, который поднимает осциллятор. Система, используемая в данной работе, является автоколебательной. Строго говоря, такие колебания нельзя считать гармоническими. Однако, при

малой величине трения осциллятора и малой величине изменения объема ΔV частота колебаний близка к частоте гармонических колебаний.

ЗАДАНИЕ

1. Проведите измерения, заполните таблицу.
2. Рассчитайте значения γ по формуле (14).
3. Сравните значения γ по формуле $\gamma = \frac{i+2}{i}$, где i – число степеней свободы молекулы.
4. Найдите погрешность определения показателя адиабаты.
5. Сделайте выводы по работе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включите установку. Выберите количество колебаний осциллятора $n = 300$, установив рабочий режим COUNT (Счет). При помощи редукционного клапана на цилиндре и клапана точной регулировки установите скорость потока газа так, чтобы осциллятор колебался симметрично щели. Для этого воспользуйтесь кольцами синего цвета. Повторите опыт не менее трех раз. Если центр колебаний находится выше щели, и колебания затухают при снижении давления газа, то это значит, что в установку попала пыль. Тогда стеклянную трубку следует промыть.
2. Вычислите период колебаний T осциллятора. $T = t / n$, где t – время колебаний, n – число колебаний.
3. Масса осциллятора $m = 4,5$ г.
4. Диаметр осциллятора $2r = 11,9$ мм.
5. Объем газа в стеклянной колбе с пустой стеклянной трубкой: $V = 1,15$ л.
6. Данные опыта запишите в таблицу 1.
7. Определите внутреннее давление газа по формуле (6).
8. По формуле (14) вычислите показатель адиабаты воздуха. Сравните результаты с расчетами по формуле (4).

9. Найдите погрешность определения показателя адиабаты.

Таблица 1

№ опыта	Масса осциллятора m , кг	Диаметр $2r$ осциллятора, м	Объем газа V , м ³	Период колебаний T , с	Внутреннее давление газа p , кг/м·с ²	γ
1						
2						
3						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите изопрцессы и запишите их уравнения.
2. Как изменятся температура и давление газа, если происходит: а) адиабатное расширение; б) адиабатное сжатие?
3. Изобразите изотермический и адиабатический процессы на диаграммах p - V .
4. Какой процесс называется адиабатическим? Приведите примеры адиабатных процессов.
5. В каких природных явлениях проявляется адиабатическое охлаждение?
6. Чему равна работа газа в адиабатическом процессе.
7. Поясните физический смысл показателя адиабаты. Как величина γ связана с числом степеней свободы идеального газа.
8. Назовите методы определения показателя адиабаты.
9. Проанализируйте возможные ошибки, возникающие при определении γ данным методом.
10. Почему величина γ одинакова для молярных, удельных и других теплоемкостей? Ответ обосновать аналитически.
11. Как зависит величина γ от температуры? Сделайте соответствующий литературный обзор.
12. Почему на практике сложно реализовать адиабатический процесс?
13. График адиабаты более крутой для одноатомного или двухатомного газа?
14. Что такое число степеней свободы молекулы?

15. Какова связь γ с числом степеней свободы молекул?
16. Приведите графики изопроцессов газов и среди них укажите адиабатический процесс.
17. Могут ли другие процессы, кроме газовых, быть адиабатическими?
18. Запишите уравнения колебаний поршня, находящегося в вертикальном цилиндре.
19. Поясните, каким образом трение осциллятора влияет на величину адиабаты, определяемой данным способом.
20. Проанализируйте возможные ошибки, возникающие при определении γ данным методом?
21. Предложите методы, позволяющие оптимизировать эксперимент, повысить воспроизводимость результатов.
22. Назовите экспериментальные методы определения показателя γ .
23. Выведите уравнение Пуассона.
24. Применение адиабатного процесса в технике и природе.
25. Почему при адиабатном расширении температура газа падает, а при сжатии возрастает?