

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ $\gamma = C_p/C_v$ ПО СКОРОСТИ ЗВУКА В ГАЗЕ

Цель работы: ознакомление с принципом определения показателя адиабаты $\gamma = C_p / C_v$ по скорости звука в газе. Экспериментальное определение скорости звука в воздухе. Вычисление адиабаты $\gamma = C_p / C_v$.

Принадлежности: звуковой генератор ГЗ-33, электронный осциллограф С1-83, микрофон, телефон, раздвижная труба.

Основные понятия

Один из способов определения показателя адиабаты $\gamma = C_p/C_v$ в газах основан на измерении скорости звука. Как известно, скорость звука определяется формулой:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}, \quad (1)$$

где R – газовая постоянная, T – температура газа, μ – его молярная масса.

Преобразуя эту формулу, найдем

$$\gamma = \frac{\mu}{RT} \cdot v^2. \quad (2)$$

Таким образом, для определения показателя адиабаты достаточно измерить температуру газа и скорость распространения звука (молярная масса газа предполагается известной).

Звуковые колебания в трубе возбуждаются телефоном Т. Колебания улавливаются микрофоном М. Мембрана телефона приводится в движение переменным током звуковой частоты. В качестве источника переменной ЭДС используется звуковой генератор ЗГ. Возникающий в микрофоне сигнал наблюдается на осциллографе С1-83.

Микрофон и телефон присоединены к установке через тонкие резиновые трубки. Такая связь достаточна для возбуждения и обнаружения звуковых колебаний в трубе и в то же время мало возмущает эти колебания: при расчетах оба торца трубки можно считать неподвижными, а влиянием соединительных отверстий пренебречь.

Звуковая волна, распространяющаяся вдоль трубы, испытывает многократные отражения от торцов. Звуковые колебания в трубе являются многократным наложением всех отражений волн и, вообще говоря, очень сложны. Картина резко упрощается, если длина трубы равна целому числу полуволен, т.е. когда

$$L = \frac{n\lambda}{2}, \quad (3)$$

где λ – длина волны звука в трубе, а n – любое целое число.

Если условие (3) выполнено, то волна, отраженная от заднего торца трубки, вернувшись к ее началу и вновь отраженная, совпадает по фазе с падающей. Аналогичным образом совпадают по фазе волны, движущиеся от заднего торца второго отражения и после первого отражения от заднего торца, после второго отражения и после всех последующих отражений. Совпадающие по фазе волны усиливают друг друга. Амплитуда звуковых колебаний при этом резко возрастает – происходит резонанс.

Скорость звука v связана с его частотой f и длиной волны соотношением

$$v = \lambda f. \quad (4)$$

Подбор условий, при которых возникает резонанс, можно производить двояко.

1. При неизменной частоте звукового генератора (а следовательно, и длине звуковой волны) можно изменять длину трубы L . Для этого в работе применяется раздвижная труба. Длина раздвижной трубы постепенно увеличивается, и происходит ряд последовательных резонансов. Возникновение резонанса можно наблюдать на

осциллографе по резкому увеличению амплитуды колебаний. Для последовательных резонансов имеем

$$\begin{aligned} L_n &= n \frac{\lambda}{2}, \\ L_{n+1} &= (n+1) \frac{\lambda}{2}, \\ L_{n+K} &= (n+K) \frac{\lambda}{2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из (4) и (5) имеем:

$$v = \lambda * f = 2f(L_{n+1} - L_n) = 2f \frac{L_{n+2} - L_n}{2} = \dots = 2f \frac{L_{n+K} - L_n}{K}. \quad (6)$$

2. При постоянной длине трубы можно изменять частоту звуковых колебаний. В этом случае следует плавно изменять частоту звукового генератора, а следовательно, и длину звуковой волны.

Для последовательных резонансов имеем

$$\begin{aligned} \lambda_n &= \frac{2L}{n}, \\ \lambda_{n+1} &= \frac{2L}{n+1}, \\ \lambda_{n+K} &= \frac{2L}{n+K}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из (4) и (7) имеем

$$v = 2L(f_{n+1} - f_n) = 2L \frac{f_{n+2} - f_n}{2} = \dots = 2L \frac{f_{n+K} - f_n}{K}. \quad (8)$$

Порядок выполнения работы

1. Соберите установку.

2. Включите в сеть электронный осциллограф С1-83 и звуковой генератор ГЗ-33 и дайте им прогреться 5–7 минут. После этого включите тумблер «Питание» на электронном осциллографе и поверните ручку «Яркость». При этом на экране должна быть видна прочерченная электронным лучом линия.

3. Подберите громкость звуковых колебаний на выходе генератора ручкой «Рег. Выхода» так, чтобы на осциллографе наблюдались колебания достаточной амплитуды. Остановите картину на осциллографе, изменяя частоту развертки.

Убедитесь в том, что колебания имеют неискаженную синусоидальную форму. Если форма колебаний искажена, уменьшайте амплитуду сигнала, поступающего с генератора, пока искажения не прекратятся.

4. Первое измерение на установке.

а) Исходя из примерного значения скорости звука (330 м/с), рассчитайте, в каком диапазоне частот следует вести измерения, чтобы при удлинении трубки можно было наблюдать 2–3 резонанса.

б) Плавно изменяя длину трубки, последовательно пройдите через все доступные для наблюдения точки резонанса. Повторите измерения при других частотах (всего 3–4 разных значения частоты). Проведите измерения, сначала увеличивая длину трубки, а затем уменьшая ее.

в) Полученные результаты изобразите на графике, откладывая на оси абсцисс номер последовательного резонанса, а на оси ординат – соответствующее удлинение трубки. Через точки, полученные при одном и том же значении частоты, проведите наилучшую прямую.

Тангенс угла наклона прямой определяет длину полуволн. По графику оцените погрешность измерения $\lambda/2$. Вычислите значение скорости звука v и оцените точность

полученного результата. (Погрешность в градуировке шкалы частот генератора не превосходит половины минимального деления шкалы). Сопоставьте значения скорости звука, измеренные на разных частотах. Найдите наилучшее значение скорости звука, используя все результаты измерений.

5. Второе измерение на установке.

а) Измерьте скорость звука в трубе постоянной длины. Плавно увеличивая частоту генератора, получите ряд последовательных резонансных значений частоты, отмечая момент резонанса по увеличению амплитуды колебаний на экране осциллографа.

Убедитесь в повторяемости результатов, производя измерения при уменьшении частоты.

б) Полученные результаты изобразите на графике, откладывая на оси абсцисс номер резонанса, а на оси ординат – резонансную частоту. Через полученные точки проведите наилучшую прямую. Тангенс угла наклона прямой определяет величину $\frac{v}{2L}$ (смотри формулу (8)). Вычислите значение скорости звука. Оцените ошибку измерений.

6. Вычислите значение $\gamma = C_p/C_v$ по формуле (2). Оцените погрешность измерений.

Контрольные вопросы

1. Поясните, как образуется стоячая волна в трубке.
2. Каков физический смысл величины γ ?
3. Поясните, как определяется величина скорости звука в газе.
4. Зависит ли γ от температуры в интервале от комнатной до 100°C ?
5. Будет ли наблюдаться температурная зависимость γ при изменении температуры от 0° до 1000°C ?
6. Основные газовые законы.
7. Закон Пуассона.

Литература

1. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. – М.: Наука, 1965.
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Молекулярная физика. – Физматгиз, 1963.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. – М.: Наука, 1982.