

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 43

Определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме методом интерференции

Цель работы: определение отношения теплоемкостей $\gamma = C_p/C_v$ на основе процесса распространения звуковой волны в газе и измерения скорости звука методом интерференции.

Методика измерений

Упругими волнами называются механические возмущения (деформации), распространяющиеся в упругой среде. Звуковыми, или акустическими, волнами называются упругие волны малой интенсивности. Звуковые волны, способные вызвать звуковые ощущения, воздействующие на органы слуха человека, имеют частоты в пределах от 16 до 20000 Гц.

Рассмотрим распространение звуковой волны в газе. Как известно, выражение для скорости продольных упругих волн в сплошной среде имеет вид

$$v = \sqrt{\frac{k}{\rho}}, \quad (4.59)$$

где k - модуль объемной упругости*, ρ - плотность невозмущенной среды.

Звуковая волна представляет собой перемещающуюся в пространстве последовательность чередующихся областей сжатия и разрежения газа. Сжатия и разрежения сменяют друг друга настолько быстро, что теплообмен между слоями газа, имеющими разные температуры, не успевает произойти. Поэтому процесс распространения звуковой волны в газе можно считать адиабатическим.

Выразим модуль объемной упругости k через добавочное давление ΔP , вызывающее сжатие газа, и относительную объемную деформацию $\Delta V/V$:

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}.$$

Полагая изменения давления dP и объема dV бесконечно малыми, можно записать

$$k = -\frac{dP}{dV/V}, \quad (4.60)$$

* Модуль объемной упругости k аналогичен модулю продольной упругости (модулю Юнга), который характеризует одномерные деформации.

где знак минус означает, что увеличению давления соответствует уменьшение объема.

Дифференцируя уравнение Пуассона (4.26), описывающее адиабатический процесс в газе, получаем

$$V^\gamma dP + \gamma P V^{\gamma-1} dV = 0.$$

Откуда

$$\frac{dP}{dV/V} = -\gamma P. \quad (4.61)$$

Решив совместно (4.61) и (4.60), найдем

$$k = \gamma P. \quad (4.62)$$

Определяя плотность газа из уравнения состояния (4.3)

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}, \quad (4.63)$$

и подставляя (4.62) и (4.63) в (4.59), получаем формулу Лапласа для расчета скорости звука в газе

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}, \quad (4.64)$$

из которой следует

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{v^2 \mu}{RT}. \quad (4.65)$$

Таким образом, для определения отношения теплоемкостей газа γ достаточно измерить его температуру и скорость распространения звука в нем.

В данной работе измерение скорости звука в воздухе производится методом интерференции. С этой целью звуковая волна от источника колебаний разделяется на два звуковых потока, которые затем соединяются друг с другом. Волны как бы исходят от двух когерентных источников, и при их наложении будет наблюдаться явление интерференции.

Изменяя длину пути одного из звуковых потоков, тем самым можно изменять разность хода двух волн и, следовательно, интенсивность результирующей волны. Два соседних минимума (или максимума) при интерференции соответствуют изменению разности хода на длину волны λ . Измерив это расстояние, скорость звука можно определить по формуле

$$v = \lambda f, \quad (4.66)$$

где f - частота колебаний.

Экспериментальная установка

Для определения отношения теплоемкостей γ методом интерференции предназначена экспериментальная установка, общий вид которой приведен на рис.4.11.

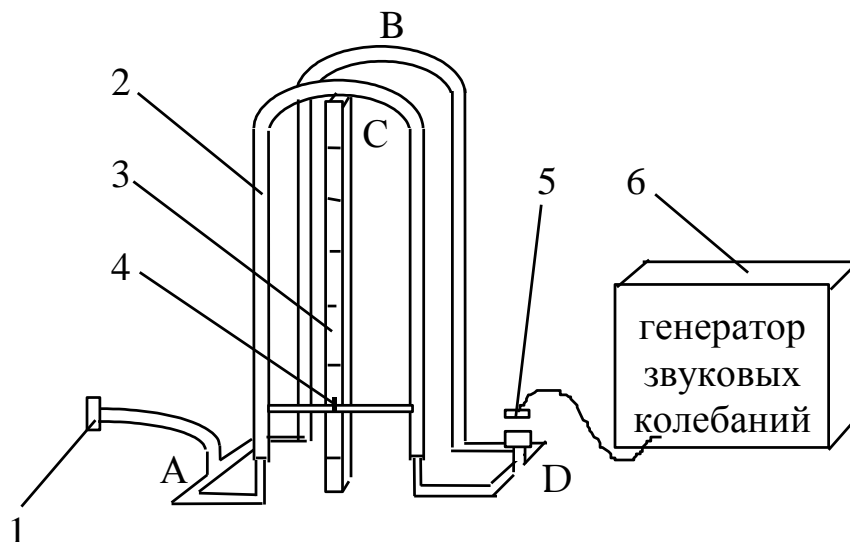


Рис. 4.11

Установка состоит из генератора звуковых колебаний 6 и прибора для измерения скорости звука акустическим методом. Звуковые колебания в приборе возбуждаются телефоном 5 и улавливаются слуховой трубкой 1.

Прибор имеет две коленчатые трубки: ABD постоянной длины и ACD переменной длины (ее длину можно изменять перемещением колена 2). Удлинение колена определяется по шкале 3. Разность хода двух волн равна удвоенному удлинению ΔL колена 2, определяемому по шкале 3.

Порядок выполнения работы

1. Подключить трубку телефона 5 к генератору звуковых колебаний 6 и разместить ее в соответствующем гнезде прибора (рис.4.10).

2. Включить генератор тумблером “Сеть” и установить частоту колебаний $f = 1500$ Гц.

3. Услышав звук в слуховой трубке 1, медленно перемещать подвижное колено 2 прибора. Определить показания L по шкале 3, соответствующие положению указателя 4 при всех минимумах звука. Результаты измерений занести в табл.4.8.

4. Рассчитать расстояния ΔL между всеми последовательными положениями указателя 4:

$$\Delta L = L_{k+1} - L_k,$$

где k - номер минимума звука. Результаты записать в табл.4.8.

Таблица 4.8

№ п.п	f Гц	L м	ΔL м	$\Delta \bar{L}$ м	T К	v м/с	γ —	$\bar{\gamma}$ —
1								
2								
3								

5. Определить среднее значение $\Delta \bar{L}$ для заданной частоты колебаний.

6. Измерения по п.п 3...5 повторить для трех значений частоты колебаний f в диапазоне, равном (1500 - 6000) Гц.

7. Определить для каждого значения частоты колебаний скорость звука по формуле (4.66), учитывая, что $\lambda = 2\Delta \bar{L}$.

8. Определить температуру T в помещении лаборатории.

9. Для каждого значения частоты колебаний по формуле (4.65) рассчитать отношение теплоемкостей воздуха γ , учитывая, что молярная масса воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

10. Найти среднее значение $\bar{\gamma}$.

11. Оценить погрешность результатов измерений.

12. Выключить установку тумблером “Сеть”.

Контрольные вопросы

1. Почему процесс распространения звуковой волны является адиабатическим?

2. Для чего необходимо перемещать колено прибора?

3. Опишите методику измерения отношения теплоемкостей γ методом интерференции звука.