

2.1.3 Определение C_p/C_v по скорости звука в газе

Цель работы:

1. измерение частоты колебаний и длины волны при резонансе звуковых колебаний в газе, заполняющем трубу;
2. определение показателя адиабаты с помощью уравнения состояния идеального газа.

В работе используется:

Звуковой генератор ГЗ; электронный осциллограф ЭО; микрофон; телефон; раздвижная труба; теплоизолированная труба, обогреваемая водой из термостата; баллон со сжатым углекислым газом; газгольдер.

Теория

Скорость звука в газах:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

γ – показатель адиабаты. Тогда:

$$\gamma = \frac{\mu}{RT} c^2$$

f – частота звука, λ – длина волны, тогда:

$$c = \lambda f$$

Чтобы возникали стоячие волны (резонансы), должно выполняться:

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

Для k -ой гармоники (относительно самой низкой частоты, при которой возникает стоячая волна):

$$f_k = f_1 + \frac{c}{2L} \cdot (k - 1)$$

Экспериментальная установка

Важные константы:

Длина камеры во втором эксперименте: (740 ± 1) мм

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 расчётах оба торца трубы можно считать неподвижными, а влиянием соединительных отверстий пренебречь. Первая установка (Рис. 1) содержит раздвижную трубу с миллиметровой шкалой. Через патрубок (на рисунке не показан) труба может наполняться воздухом или углекислым газом из газгольдера. На этой установке производятся измерения γ для воздуха и для CO_2 . Вторая установка (Рис. 2) содержит теплоизолированную трубу постоянной длины. Воздух в трубе нагревается водой из термостата. Температура газа принимается равной температуре воды, омывающей трубу. На этой установке измеряется зависимость скорости звука от температуры.

Ход эксперимента

1. Дадим осциллографу прогреться.
2. Убедимся, что колебания синусоидальной формы с большой амплитудой.
3. Продуем трубу. Таблица измерений для разных частот в конце, таблица полученной зависимости $\lambda(f)$

f, kHz	$\lambda / 2$, мм	c, м/с	$\sigma_c^{\text{сист}}$, м/с
4.02	43.2	347	0.05
5.32	54.6	686 => 343	0.07
2.69	63.5	341	0.07
1.60	108	345	-

$$\text{Таблица 1: } \sigma_c^{\text{сист}} = c \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2}$$

σ_λ вычисляется по мнк

Оценим системную погрешность нулем а случайную – 6 м/с (по разности максимального и минимального значения). Наилучшее: 344 м/с.

4. Продуем трубу углекислым газом. Аналогичная таблица:

f, kHz	$\lambda / 2$, мм	c, м/с
2.26	66	298
4.10	97	795 => 398

Таблица 2: при каждой частоте только 2 точки, поэтому рассчитать погрешность не представляется возможным

Оценим системную погрешность нулем а случайную – 50 м/с (по полуразности максимального и минимального значения). Наилучшее: 348 м/с.

5. Перейдём на вторую установку. Таблица для постоянной длины:

t, C	c, м/с
23.7	406
30.1	345
40.1	351
50.1	354

$$\text{Таблица 3: } \sigma_c^{\text{сист}} = c \cdot \frac{\sigma_\lambda}{\lambda}$$

σ_λ вычисляется по мнк

Аналогично оценим системную погрешность нулём, случайную – 9 м/с, лучшее значение: 350 м/с (первую точку откинули).

Вывод

Возьмём среднее между полученными скоростями звука в воздухе $\gamma_{\text{воздуха}} = \frac{\mu_{\text{air}}}{RT} c_{\text{air}}^2 = \text{1.40}$ – сходиться с табличными значениями.

$\gamma_{\text{CO}_2} = \frac{\mu_{\text{CO}_2}}{RT} c_{\text{CO}_2}^2 = 2.13$ – сильно отличается от табличных значений. Наибольшее влияние оказала случайная погрешность в измерении скорости звука.

Установки

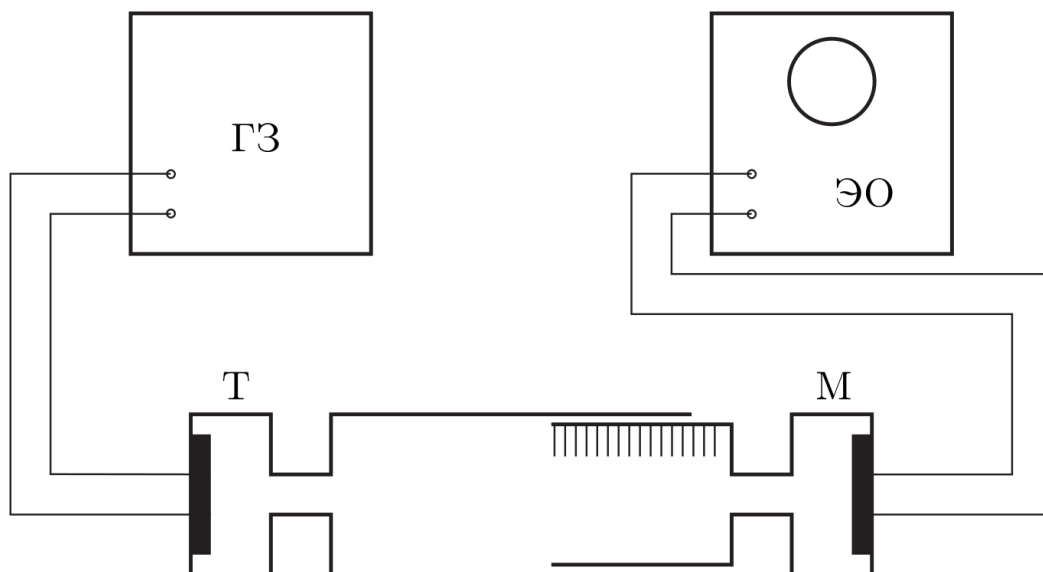


Рис. 1: Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубы

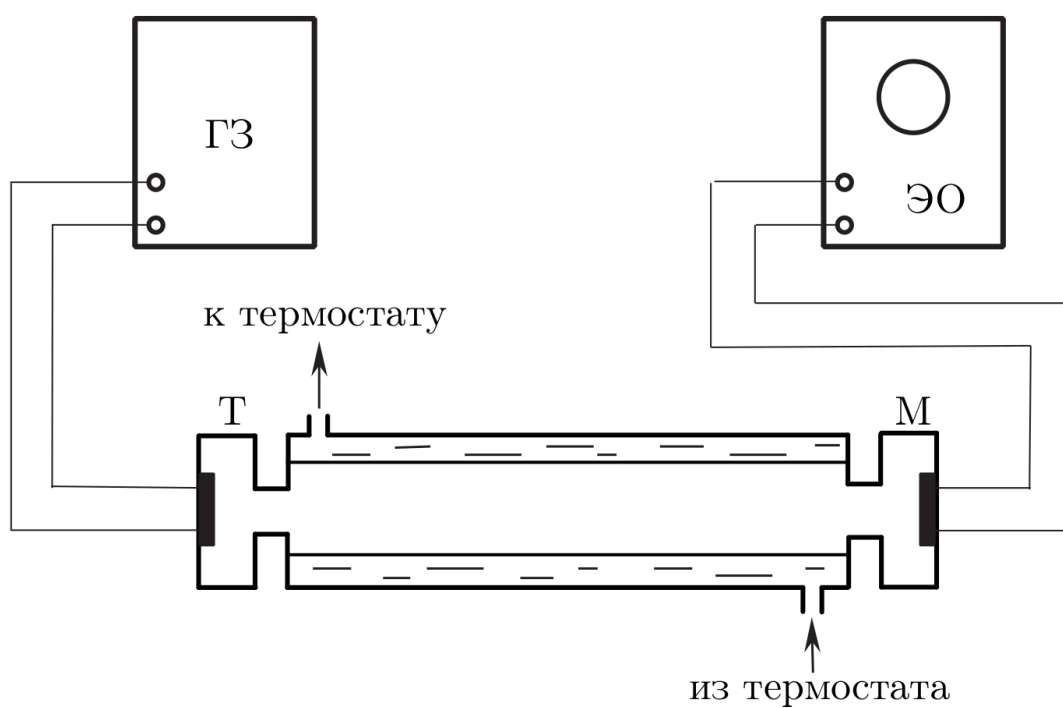


Рис. 2: Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры