

### 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:

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

$\gamma$  – показатель адиабаты. Тогда:

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

$f$  – частота звука,  $\lambda$  – 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:  $(740 \pm 1)$  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  $\gamma$  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 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	-

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

$\sigma_\lambda$  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

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

$\sigma_\lambda$  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. Погрешность:  $\sigma_{c^2} = c^2 \cdot 2 \frac{\sigma_c}{c}$  ( $\sigma_c = 7.6$  м/с как среднее геометрическое двух погрешностей).  $\sigma_\gamma = \gamma \cdot \frac{\sigma_{c^2}}{c^2} = 0.06$   $\gamma_{CO_2} = \frac{\mu_{CO_2}}{RT} c_{CO_2}^2 = 2.13$ ,  $\sigma_\gamma = 0.61$  – сильно отличается от табличных значений. Наибольшее влияние оказала случайная погрешность в измерении скорости звука.

## Установки

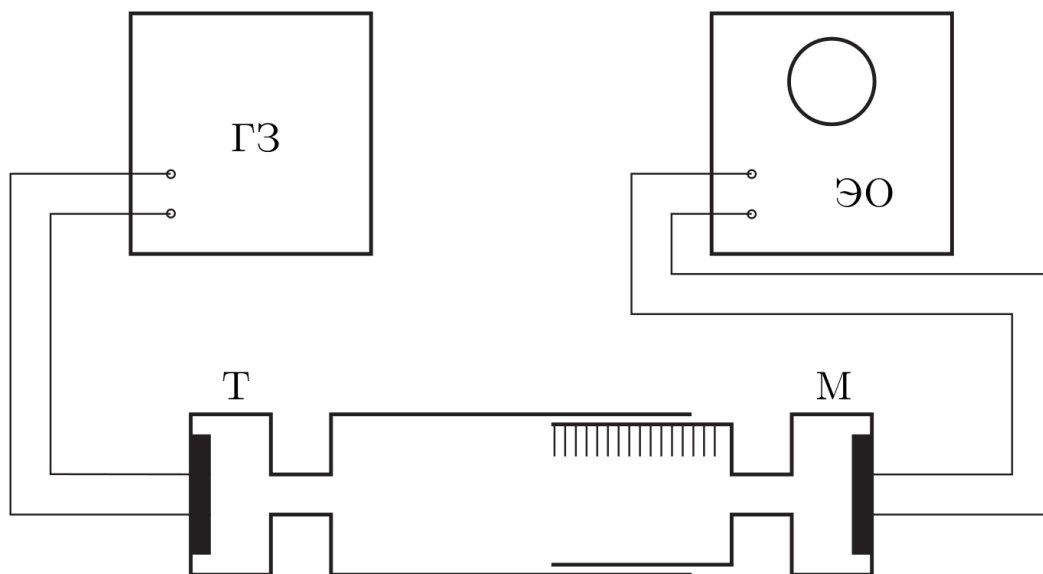


Рис. 1: Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубы

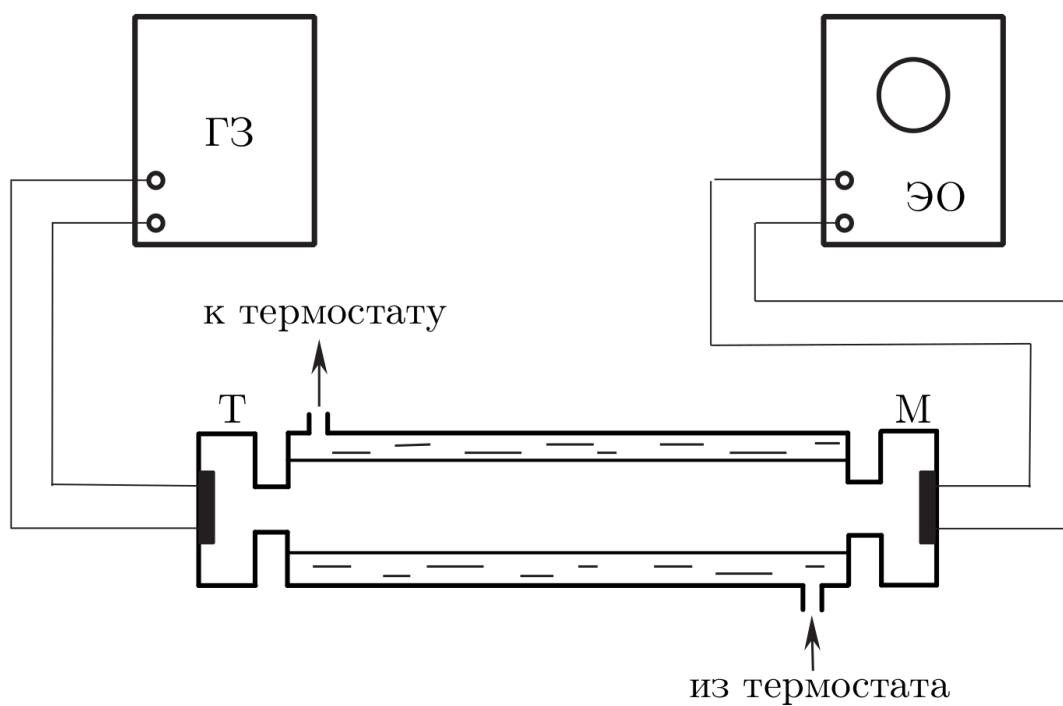


Рис. 2: Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры