

Отчет о выполнении  
лабораторной работы 2.1.3

Определение  $C_p/C_v$  по скорости  
звука в газе

Выполнил: Тимонин Андрей  
Группа: Б01-208

Дата: 20.04.2023

# 1 Введение

## Цели 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 используются:

1. Звуковой генератор;
2. Электронный осциллограф;
3. Раздвижная труба;
4. Теплоизолированная труба;
5. Обогреваемая водой из термостата;
6. Баллон со сжатым углекислым газом;
7. Газгольдер;

# 2 Теоретические сведения

Скорость звука в газах определяется формулой:

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

$R$  - газовая постоянная,  $T$  - температура газа,  $\mu$  - молярная масса,  $\gamma$  - показатель адиабаты Тогда:

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

Условие резонанса (амплитуда звуковых колебаний резко возрастает):

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

Связь параметров волны:

$$c = \lambda f \quad (4)$$

Подбор условий резонанса: 1)  $f = \text{const}$ ,  $L \neq \text{const}$

$$L_{n+k} = n \frac{\lambda}{2} + k \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

Тогда  $\frac{\lambda}{2}$  - угловой коэффициент графика зависимости  $L$  от  $k$ .

2)  $L = \text{const}$ ,  $f \neq \text{const}$

$$L = \frac{\lambda_1}{2}n = \frac{\lambda_2}{2}(n+1) = \dots = \frac{\lambda_{k+1}}{2}(n+k) \quad (6)$$

Тогда:

$$f_{k+1} = f_1 + \frac{c}{2L}k \quad (7)$$

Тогда  $c/2L$  - угловой коэффициент графика зависимости частоты от номера резонанса.

### 3 Экспериментальная установка

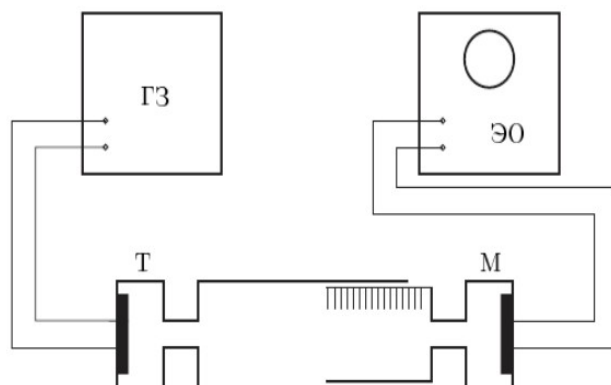


Рис. 1 Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубки

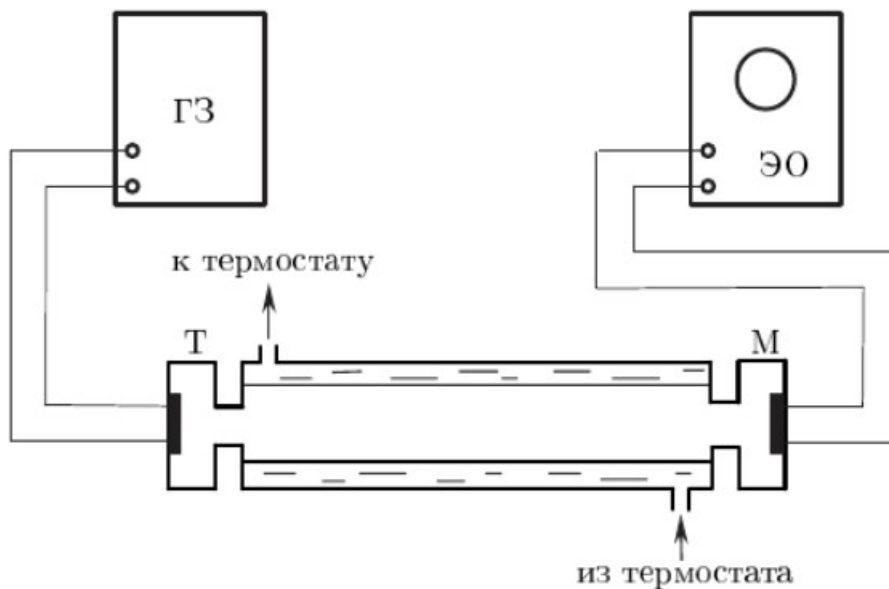


Рис. 2 Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры

#### 4 Данные измерений при постоянной длине трубы

Длина трубы  $L = 80.0 \pm 0.1$  см

20°C	40°C	50°C	60°C
1.52 кГц	1.70 кГц	2.40 кГц	2.50 кГц
1.73 кГц	2.40 кГц	3.30 кГц	2.70 кГц
3.00 кГц	3.10 кГц	3.60 кГц	2.98 кГц
3.46 кГц	3.30 кГц	3.84 кГц	3.21 кГц
	3.70 кГц		3.44 кГц

Таблица 1. Результаты измерений при постоянной длине трубы

Угловой коэффициент графика равен:

$$\frac{f}{n} = \frac{c}{2 \cdot L} \quad (8)$$

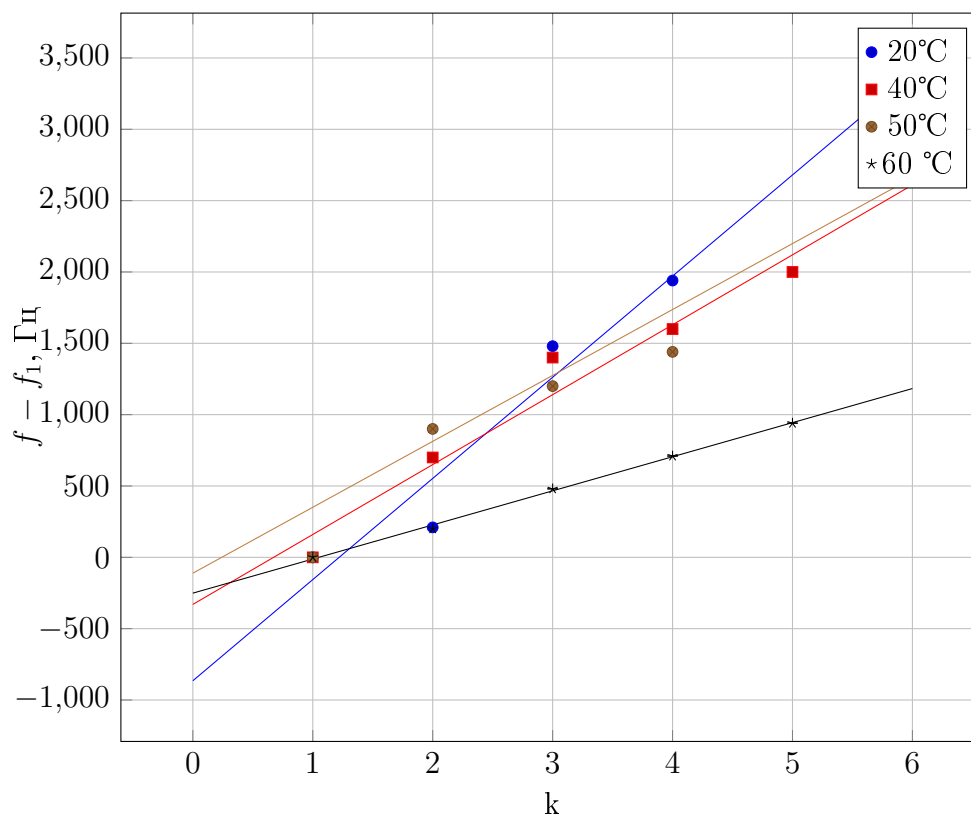


Рис 3. Графики измерений при постоянной длине трубы

$c, \frac{м}{с}$	$\Delta c, \frac{м}{с}$	T, °C
1134.4	138.0	20
784.0	60.8	40
739.2	111.1	50
382.4	6.1	60

Таблица 2. Скорости звука по коэффициентам наклона графиков

**Замечание:** результаты измерений для 20, 40 и 50 градусов не соответствуют теоретическим данным. Такие плохие результаты могут быть вызваны неправильным определением точек резонанса, недостаточным количеством экспериментальных точек или ошибкой аппроксимации МНК. Скорость должна зависеть от температуры, графики при это должны иметь приблизительно одинаковые коэффициенты наклона  $\approx 350$

Проверим сходство результата для 60 °C ниже:

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \frac{R \cdot T}{\mu}} = \sqrt{1.4 \cdot \frac{8.31 \cdot (273 + 60)}{0.029}} = 365.5 \quad (9)$$

Ошибка составляет:  $\frac{382.4-365.5}{365.5} = 0.05 \approx 5\%$  - это достаточно точный результат.

Найдем показатель адиабаты при температуре 60 °С:

$$\gamma_{\text{воздух}} = \sqrt{\frac{c^2 \cdot \mu}{R \cdot T}} = \sqrt{\frac{382.4^2 \cdot 0.029}{8.31 \cdot (273 + 60)}} = 1.24 \quad (10)$$

Найдем ошибку определения показателя адиабаты при 60 °С:  $\frac{|1.24-1.4|}{1.4} = 0.11 \approx 11\%$

## 5 Данные измерений при постоянной температуре

### 5.1 Данные для воздуха

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	1.1
3	2.2
4	3.2
5	4.1
6	5.2

Таблица 3. Результаты измерения при постоянной частоте 1.68 кГц

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	7.0
3	13.5
4	19.6

Таблица 4. Результаты измерения при постоянной частоте 2.72 кГц

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	6.1
3	11.9
4	18.6
5	23.3

Таблица 5. Результаты измерение при постоянной частоте 3.02 кГц

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	2.8
3	8.4
4	13.3
5	19.5

Таблица 6. Результаты измерение при постоянной частоте 3.19 кГц

## 5.2 Данные для углекислого газа

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	4.1
3	9.1
4	14.2
5	19.7

Таблица 7. Результаты измерение при постоянной частоте 2.63 кГц

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	8.8
3	13.6
4	23.3

Таблица 8. Результаты измерение при постоянной частоте 10.0 кГц

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	11.1
3	18.2

Таблица 9. Результаты измерение при постоянной частоте 12.0 кГц

№	$\Delta_L$ , см
1	0.0
2	8.2
3	16.0

Таблица 10. Результаты измерения при постоянной частоте 22.6 кГц

### 5.3 Построение графиков

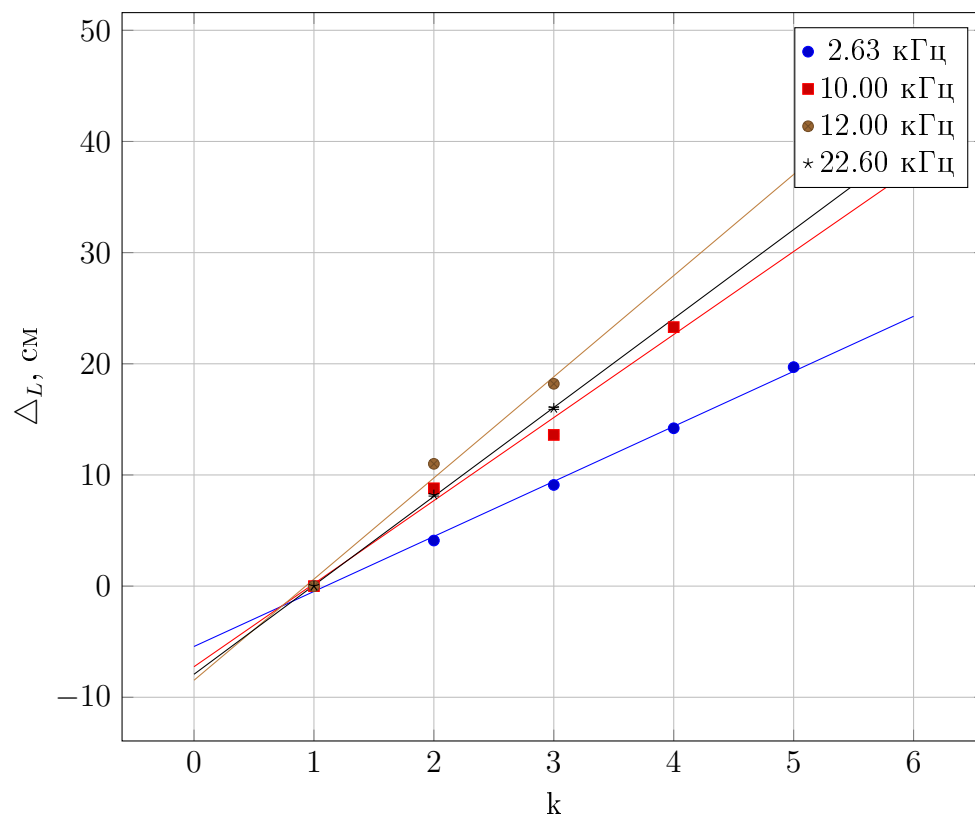


Рис 4. Графики для углекислого газа



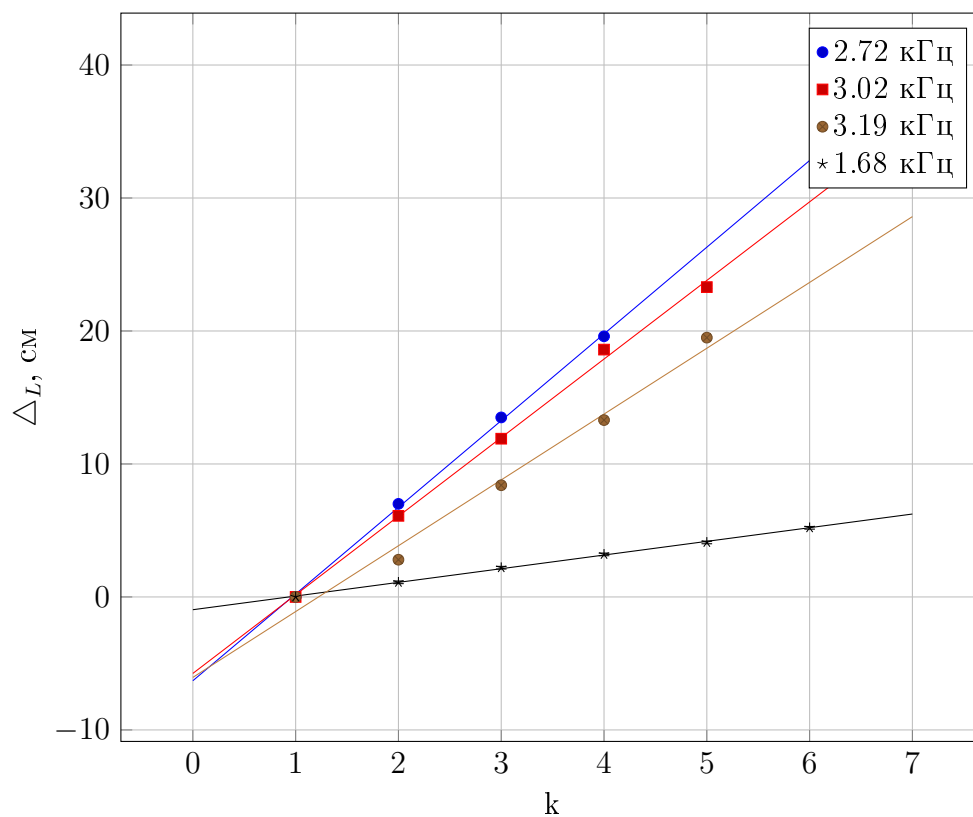


Рис 5. Графики для кислорода

$\frac{\lambda}{2}$ , см	f, кГц	$\Delta\lambda$ , см
9.10	2.63	1.10
7.47	10.00	0.65
4.95	12.00	0.15
8.00	22.60	0.12

Таблица 11. Коэффициенты наклона графиков для углекислого газа

$\frac{\lambda}{2}$ , см	f, кГц	$\Delta\lambda$ , см
1.03	1.68	0.02
6.52	2.72	0.14
5.91	3.02	0.16
4.95	3.19	0.33

Таблица 12. Коэффициенты наклона графиков для кислорода

Получаем показатель адиабаты для воздуха:  $\gamma_{\text{воздух}} = 1.52 \pm 0.36$

## 6 Выводы

- Первое измерение резонанса при 1.68 кГц ошибочно и не соответствует теории. Ошибка может быть связана с неправильным определением точек резонанса в трубе;
- Гамма для воздуха действительно достаточно точно соответствует табличному значению  $1.52 \approx 1.403$  (табличное значение);
- Погрешность измерения показателя адиабаты сильно привязана к погрешности определения удлинения трубы;
- При больших частотах нельзя получить коэффициент адиабаты углекислого газа, это хорошо видно из расчетов;
- При измерении на установке №2 необходимо плавно увеличивать частоту, увеличить количество экспериментальных точек для избежания неправильных результатов вычисления скорости звука;
- Несмотря на ошибки, которые мы допустили при работе на установке №2, нами был получен показатель адиабаты для воздуха при 60 °C с достаточно хорошей точностью.  $\gamma_{\text{воздух}} = 1.24 \approx 1.402$  (табличное значение).