

Работа 2.1.3

Определение C_p/C_v по скорости звука в газе

Мыздриков Иван Витальевич
группа Б06-401

21 апреля 2025 г.

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

Краткая теоретическая справка

Скорость звука

Распространение звуковой волны в газе происходит адиабатически. Сжатия и разрежения в газе сменяют друг друга настолько быстро, что теплообмен между слоями газа, имеющими разные температуры, не успевает произойти. Используя полученное уравнение адиабаты идеального газа, найдем скорость звука по общей формуле

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}.$$

Заменим в уравнение Пуассона $PV^\gamma = \text{const}$ объем на плотность $\rho = \frac{m}{V}$, после чего получим $P = \text{const} \cdot \rho^\gamma$. Тогда после логарифмирования и дифференцирования этого выражения имеем

$$\frac{dP}{P} = \gamma \frac{d\rho}{\rho}, \text{ или } \left(\frac{dP}{d\rho} \right)_{\text{адиабат}} = \sigma \frac{P}{\rho}$$

откуда для скорости звука получаем

$$c = \sqrt{\left(\frac{dP}{d\rho} \right)_{\text{адиабат}}} = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = // PV = \frac{\mu}{m} RT // = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}} \Rightarrow$$
$$\gamma = \frac{\mu}{RT} c^2.$$

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

Звуковая волна, распространяющаяся вдоль трубы, испытывает многократное отражение от торцов. Звуковые колебания в трубе являются наложением всех отраженных волн и, вообще говоря, очень сложны. Картина упрощается, если длина трубы L равна целому числу полуволен, то есть когда

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$
$$c = \lambda f.$$

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

1. При неизменной частоте f звукового генератора (а, следовательно, и неизменной длине звуковой волны λ) можно измерять длину трубы L .
2. При постоянной длине трубы можно изменять частоту звуковых колебаний. В этом случае следует плавно изменять частоту f звукового генератора, а следовательно, и длину звуковой волны λ . Для последовательных резонансов получим

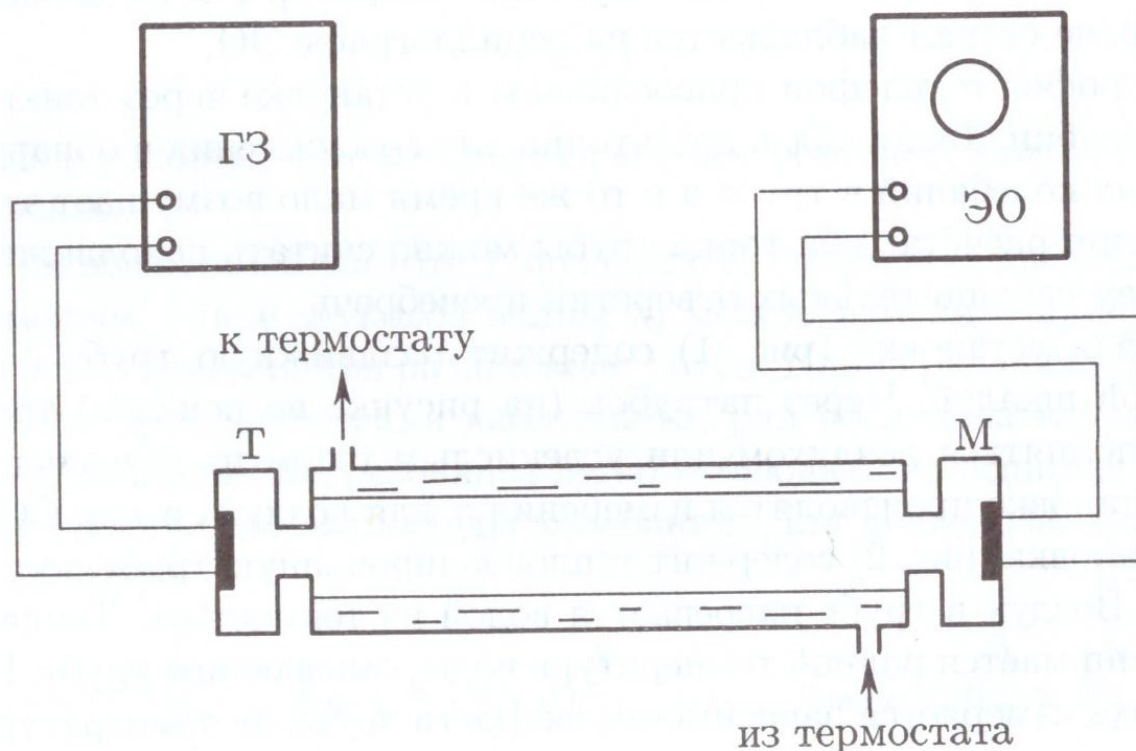
$$L = \frac{\lambda_1}{2} n = \frac{\lambda_2}{2} (n+1) = \dots = \frac{\lambda_{k+1}}{2} (n+k).$$

Отсюда имеем, что

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c}{2L}n, \quad f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{c}{2L}(n+1) = f_1 + \frac{c}{2L}, \dots,$$

$$f_{k+1} = \frac{c}{\lambda_{k+1}} = \frac{c}{2L}(n+k) = f_1 + \frac{c}{2L}k.$$

Экспериментальная установка



Здесь звуковые колебания возбуждаются телефоном Т и улавливаются микрофоном М. Мембрана телефона приводится в движение переменным током звуковой частоты; в качестве источника переменной ЭДС используется звуковой генератор ГЗ. Возникающей в микрофоне сигнал наблюдается на осциллографе ЭО.

Микрофон и телефон подсоединены 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.

Установка содержит теплоизолированную трубу постоянной длины. Воздух в трубе нагревается из термостата. Температура газа принимается равной температуре воды, омывающей трубу.

Ход работы

1. ЭО и ЗГ для дальнейшей работы.
2. Измеряем скорость звука в трубе постоянной длины. Плавно увеличивая частоту генератора, получаем ряд последовательных резонансных значений частоты, отмечая момент резонанса по увеличению амплитуды колебаний на экране осциллографа.

3. Строим график, откладывая по оси абсцисс номер резонанса k , а по оси ординат - $f_{k+1} - f_1$. Угловый коэффициент прямой определяет величину $c/2L$, где $L = (700 \pm 1)$ мм.

4. Повторяем 2 и 3 для разных температур.

$T = (25.4 \pm 0, 1)^\circ C$			$T = (35 \pm 0, 1)^\circ C$			$T = (45.1 \pm 0, 1)^\circ C$		
Номер	f, Hz	σ_f, Hz	Номер	f, Hz	σ_f, Hz	Номер	f, Hz	σ_f, Hz
1	262.5	10	1	266.0	10	1	270.0	10
2	500.0	10	2	508.0	10	2	515.0	10
3	742.0	10	3	755.0	10	3	768.0	10
4	991.0	10	4	1007.0	10	4	1025.0	10
5	1238.0	10	5	1258.0	10	5	1277.0	10
6	1483.0	10	6	1508.0	10	6	1530.0	10
7	1733.0	10	7	1750.0	10	7	1786.0	10
8	1982.0	10	8	2012.0	10	8	2041.0	10
9	2230.0	10	9	2261.0	10	9	2291.0	10

$T = (55 \pm 0, 1)^\circ C$		
Номер	f, Hz	σ_f, Hz
1	274.0	10
2	522.0	10
3	777.0	10
4	1037.0	10
5	1297.0	10
6	1551.0	10
7	1813.0	10
8	2078.0	10
9	2326.0	10

$T, ^\circ C$	c м/с	σ_c , м/с	γ	σ_γ
25.4	346	1,3	1,401	0,009
35	352	1,3	1,403	0,008
45.1	358	1,3	1,406	0,008
55	363	1,3	1,401	0,007

5. Вычисляем значение $\gamma = C_p/C_v$.

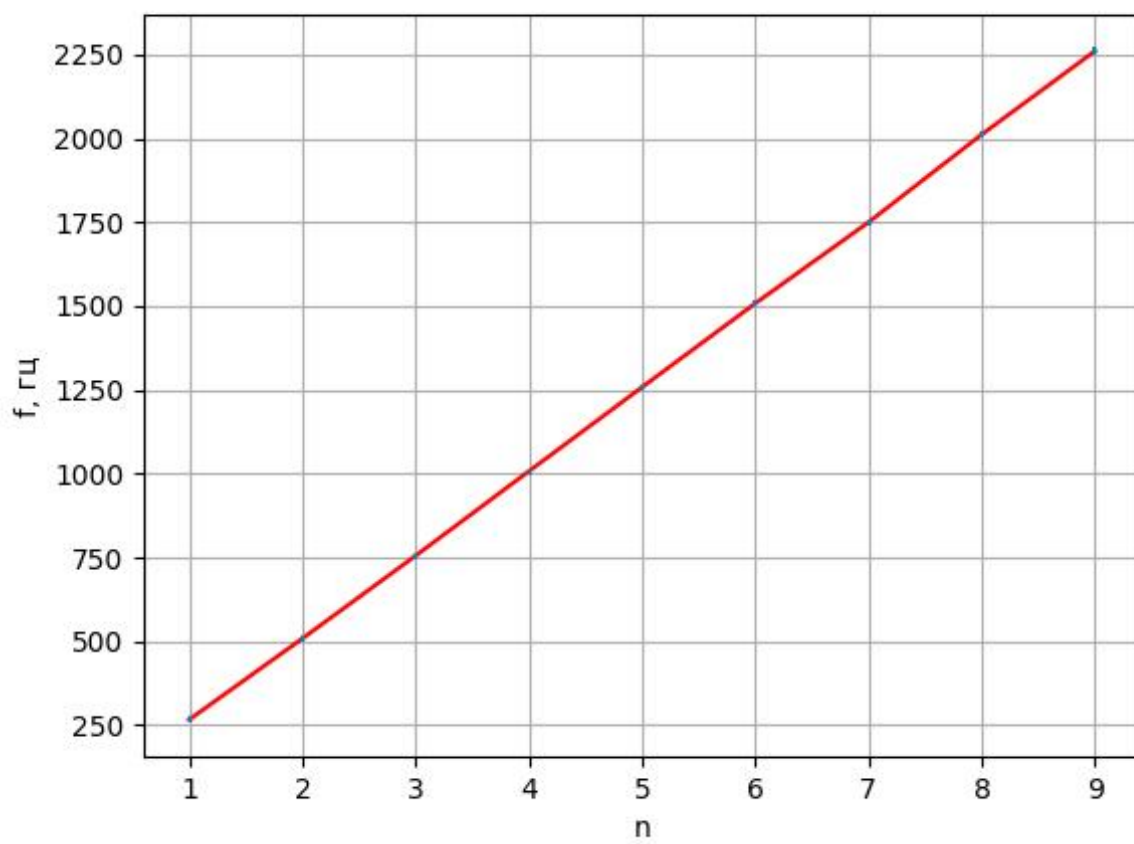


Рис. 1: $T = (25.4 \pm 0,1)^{\circ}C$

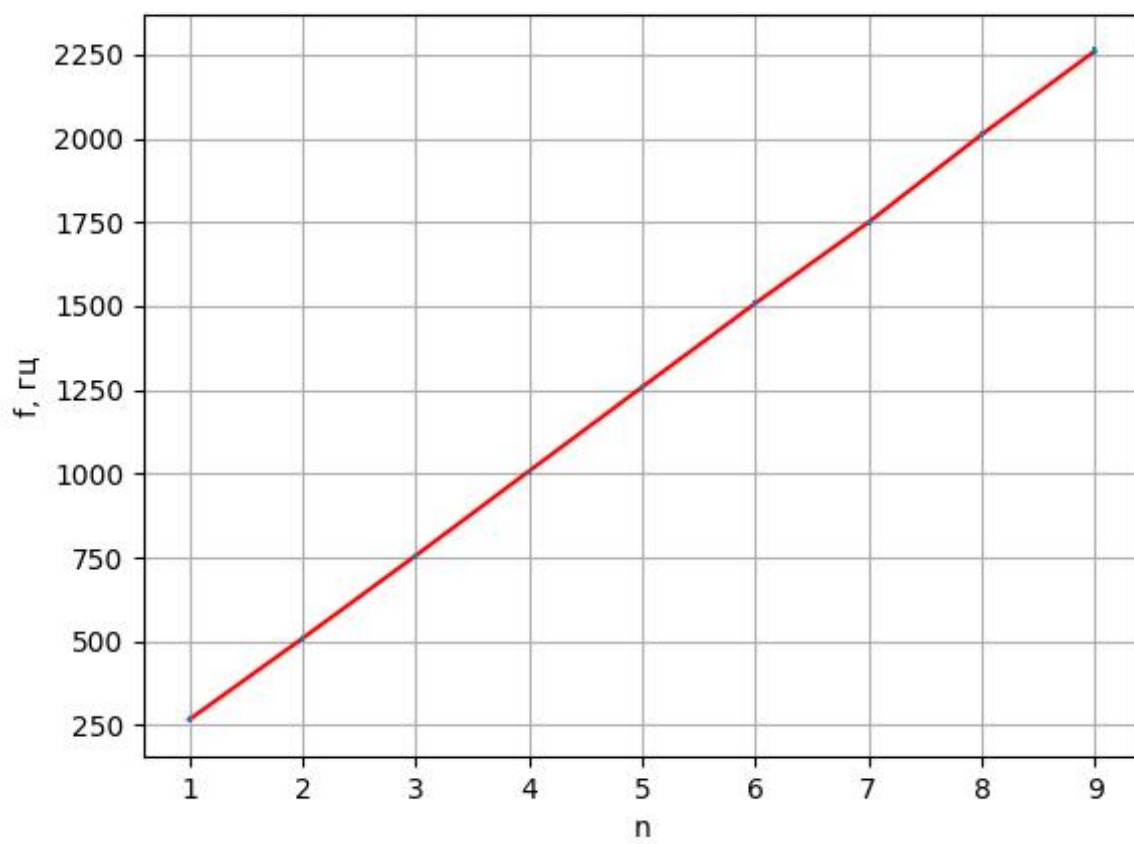


Рис. 2: $T = (35 \pm 0,1)^{\circ}C$

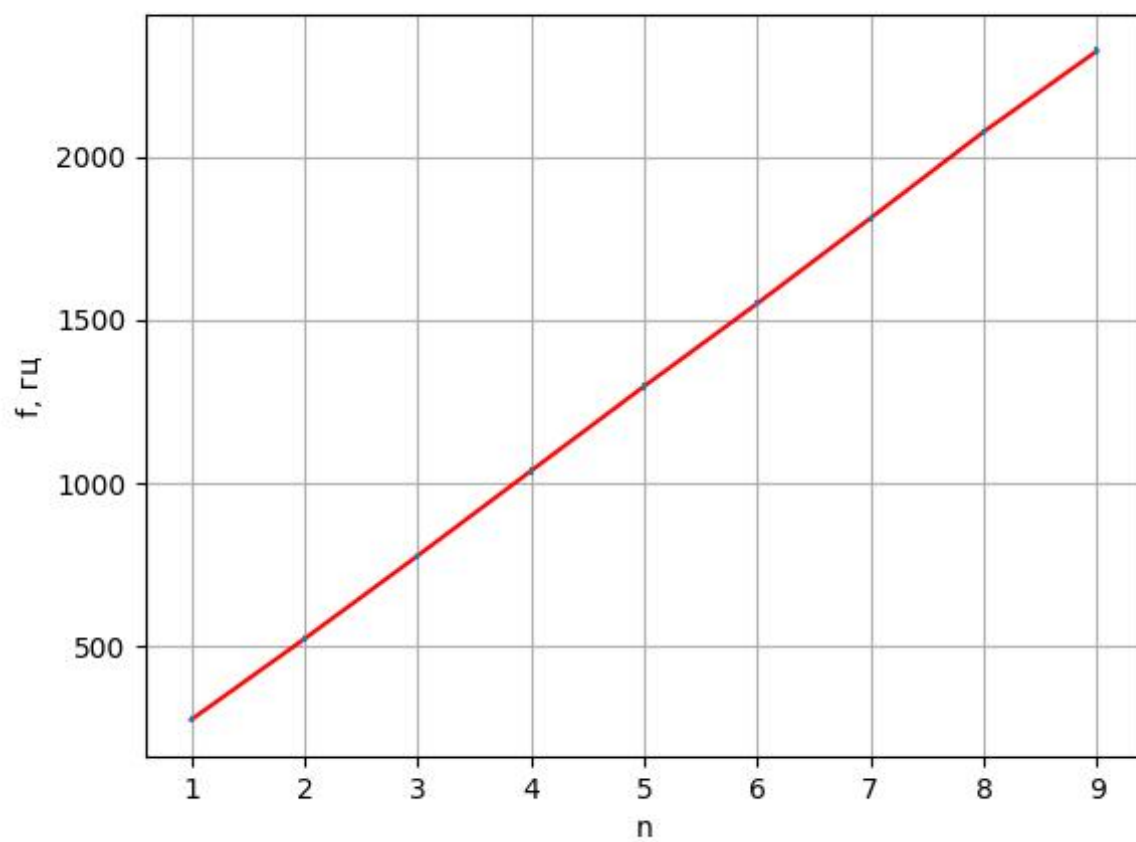


Рис. 3: $T = (45.1 \pm 0,1)^{\circ}C$

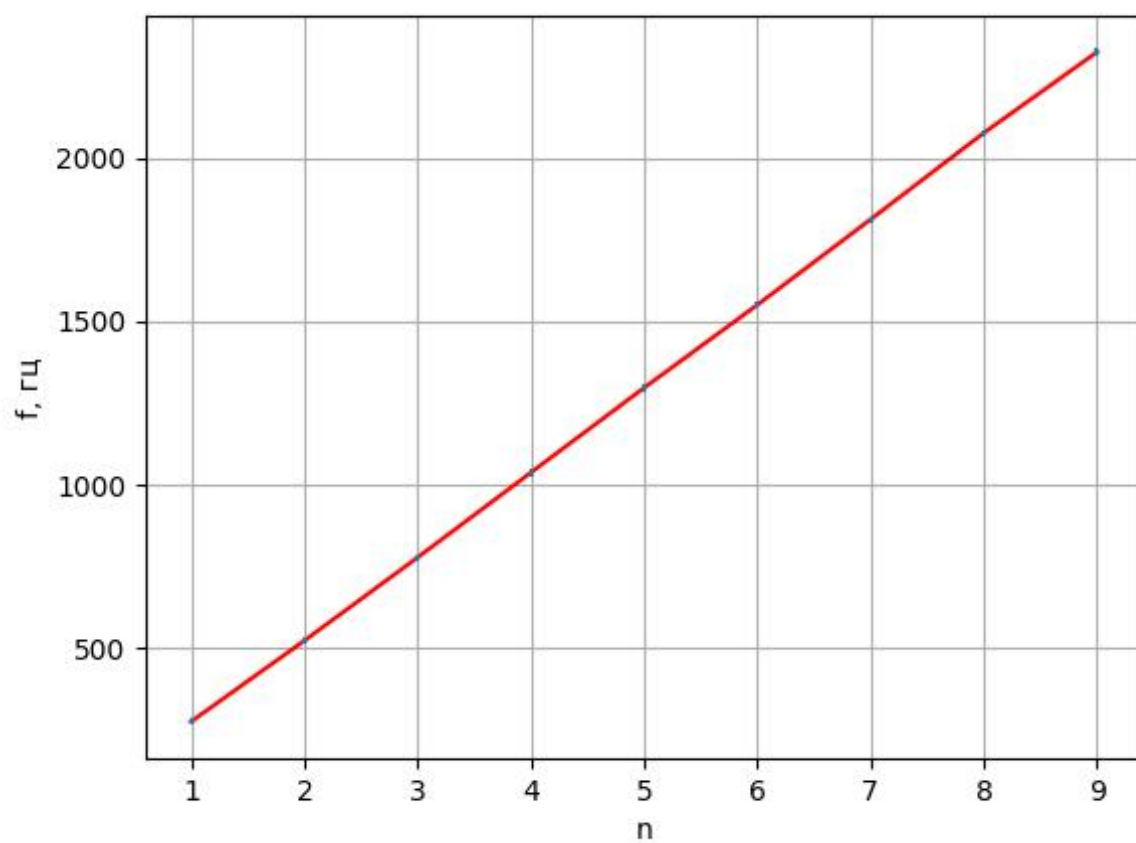


Рис. 4: $T = (55 \pm 0,1)^{\circ}C$