

Лаборатория Работа 2.1.3

Определение C_p/C_v по скорости звука в газе

Сифат Мд Абдуллах Ал Хасиб

Физтех школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Группа Б04-105

13 апреля 2022 г.

1 Введение

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, электронный осциллограф, теплоизолированная труба, обогреваемая водой из термостата, термостат, телефон, соединённый с генератором звука, микрофон, соединённый с осциллографом.

2 Теоретическая справка

Скорость распространения звуковой волны в газах зависит от показателя адиабаты γ . На измерении скорости звука основан один из наиболее точных методов определения показателя адиабаты.

Скорость звука в газах определяется формулой:

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

где R — газовая постоянная, T — температура газа, а μ — его молярная масса. Преобразуя эту формулу, найдем

$$\gamma = \frac{\mu}{RT} c^2. \quad (1)$$

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 многократные отражения 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

$$L = n\lambda/2, \quad (2)$$

где λ — длина волны звука в трубе, а n — любое целое число. Если условие (2) выполнено, то волна, отраженная от торца трубы, вернувшись к ее началу и вновь отраженная,

совпадает по фазе с падающей. Совпадающие по фазе волны усиливают друг друга. Амплитуда звуковых колебаний при этом резко возрастает — наступает резонанс. При звуковых колебаниях слои газа, прилегающие к торцам трубы, не испытывают смещения (*узлы смещения*). Узлы смещения повторяются по всей длине трубы через $\lambda/2$. Между узлами находятся максимумы смещения (*пучности*).

Скорость звука c связана с его частотой f и длиной волны λ соотношением

$$c = \lambda f. \quad (3)$$

Для получения резонанса 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

$$L_n = \frac{\lambda_1}{2}n = \frac{\lambda_2}{2}(n+1) = \dots = \frac{\lambda_{k+1}}{2}(n+k) \quad (4)$$

Из (3) и (4) имеем

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c}{2L}n, \quad f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{c}{2L}(n+1) = f_1 + \frac{c}{2L}, \quad \dots, \\ f_{k+1} = \frac{c}{\lambda_{k+1}} = \frac{c}{2L}(n+k) = f_1 + \frac{c}{2L}k. \quad (5)$$

Скорость звука, деленная на $2L$, определяется, таким образом, по угловому коэффициенту графика зависимости частоты от номера резонанса.

3 Экспериментальная установка:

В нашей работе мы использовали следующую экспериментальную установку. Где звуковые колебания в трубе 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. Возникающий в микрофоне сигнал наблюдается на осциллографе ЭТО. 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, влиянием соединительных отверстий пренебречь.

Эта установка (рис. 1) 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.

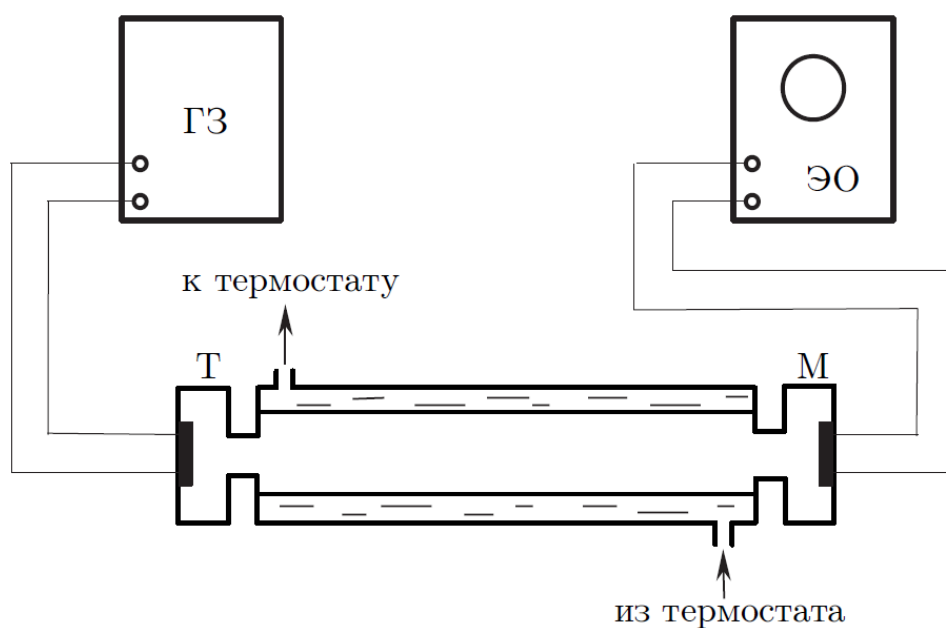


Рис. 1: Схема установки

4 Ход работы

Мы провели эксперимент с воздухом внутри трубы длиной 740 ± 1 мм. Температура в помещении в день эксперимента составляла 23°C . Скорость звука при этой температуре составляла 340 м/с. Наш эксперимент был при 6 различных температурах и записали резонансную частоту звука в воздухе внутри трубы.

T_1, K	T_2, K	T_3, K	T_4, K	T_5, K	T_6, K
296	301	306.1	311.2	316.1	321

T_1	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
	251	477	708	928	1163	1393

T_2	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
	257	484	716	945	1170	1404

T_3	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
	252	486	720	948	1182	1418

T_4	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
	252	491	724	951	1188	1427

T_5	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
	255	495	731	961	1202	1435

T_6	$f_1, \text{Гц}$	$f_2, \text{Гц}$	$f_3, \text{Гц}$	$f_4, \text{Гц}$	$f_5, \text{Гц}$	$f_6, \text{Гц}$
	260	498	734	970	1220	1444

Построим графики, откладывая по оси абсцисс номер резонанса k , а по оси ординат — разность между частотой последующих резонансов и частотой первого резонанса: $f_{k+1} - f_1$. Угловой коэффициент прямой определяет величину $c/2L$.

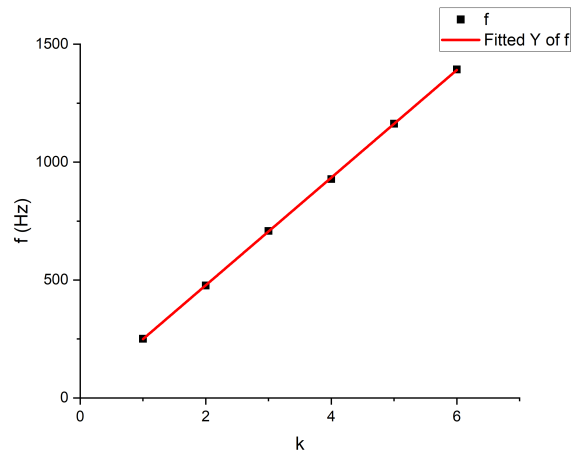


Рис. 2: График зависимости разности частот от номера резонанса при T_1

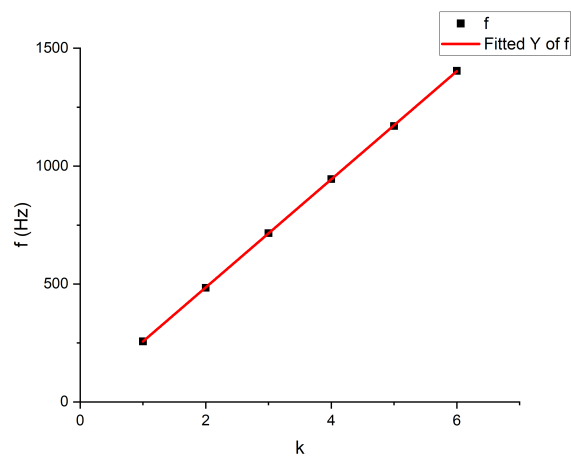


Рис. 3: График зависимости разности частот от номера резонанса при T_2

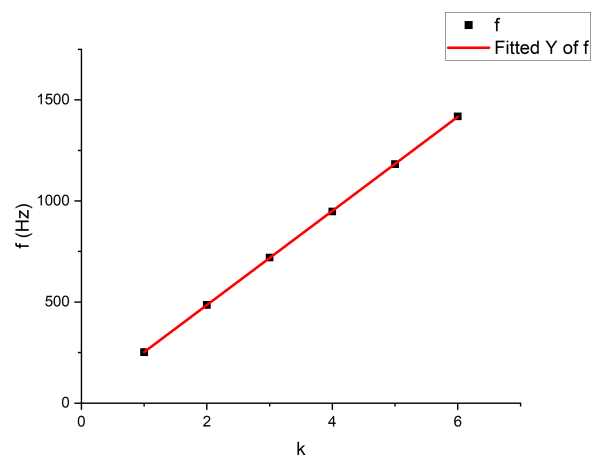


Рис. 4: График зависимости разности частот от номера резонанса при T_3

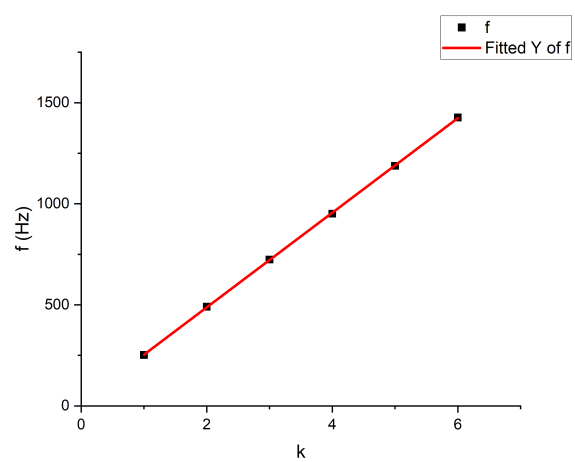


Рис. 5: График зависимости разности частот от номера резонанса при T_4

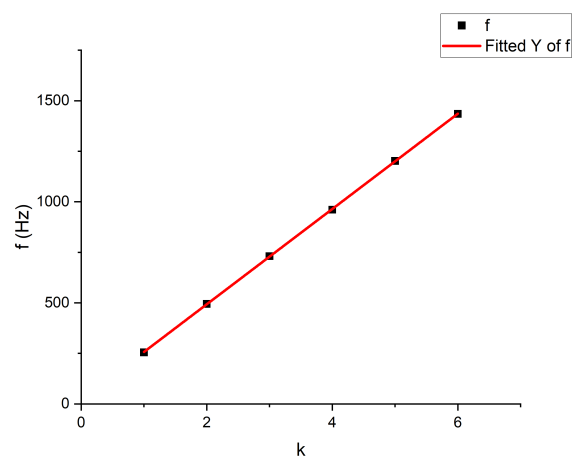


Рис. 6: График зависимости разности частот от номера резонанса при T_5

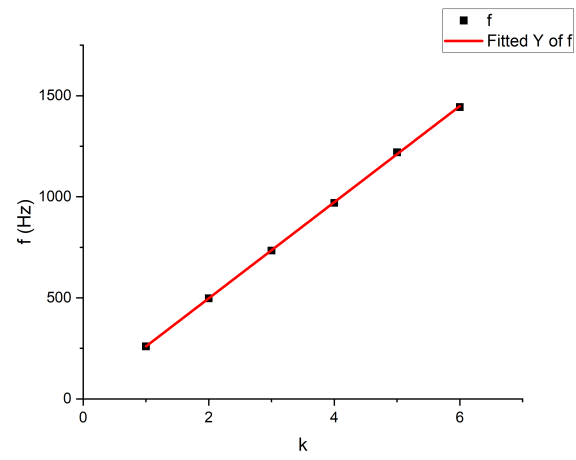


Рис. 7: График зависимости разности частот от номера резонанса при T_6

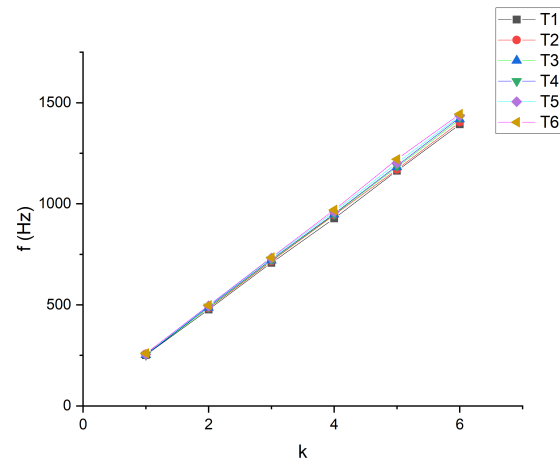


Рис. 8: График зависимости разности частот от номера резонанса при всех температурах вместе

Угловые коэффициенты прямых соответственно равны:

$$a_1 = 228.22 \text{ c}^{-1} \quad a_2 = 229.2 \text{ c}^{-1}, \quad a_3 = 232.74 \text{ c}^{-1}, \quad a_4 = 234.08 \text{ c}^{-1},$$

$$a_5 = 235.74 \text{ c}^{-1}, \quad a_6 = 237.77 \text{ c}^{-1}.$$

Рассчитаем скорость звука и показатель адиабаты при каждой температуре по формулам (1) и (5):

T, K	$c, \text{ м/с}$	γ
296	346.03	1.411
301	349.08	1.413
306.1	352.19	1.415
311.2	354.92	1.417
316.1	358.29	1.417
321	361.28	1.418

Оценим погрешности:

$$\varepsilon_T = 0.005 = 0.3\%$$

$$\varepsilon_f = 0.008 = 0.9\%$$

$$\varepsilon_c = \sqrt{\varepsilon_T^2 + \varepsilon_f^2} = 0.0104 = 1.04\%$$

$$\varepsilon_\gamma = 2\varepsilon_c + \varepsilon_T = 0.0311 = 3.11\%$$

Конечный ответ:

$$\gamma = 1.415 \pm 0.05$$

Табличное значение:

$$\gamma_{\text{табл}} = 1.403$$

5 Вывод

В этом эксперименте мы нашли удельную теплоемкость воздуха. Мы использовали звуковую волну в воздухе и изменили температуру, чтобы получить другое значение скорости звука. Получив константу при 6 различных температурах, мы взяли среднее значение и увидели, что оно очень близко к нашему табличному значению. Наша последняя экспериментальная ошибка почти **1.2** процент.