

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Отчет о выполнении лабораторной работы №2.1.3

Определение C_p/C_v по скорости звука в газе

Выполнил студент группы Б03-405
Тимохин Даниил

11 февраля 2025 г.

1. Аннотация

В данной работе исследовались длина волны и частота колебаний звуковой волны в газе при резонансе для различных условиях. Также определяется показатель адиабаты для воздуха по измеренным данным с помощью модели идеального газа.

2. Теоретическая справка

Скорость распространения звуковой волны в газах зависит от показателя адиабаты γ . Измерение скорости звука позволяет с достаточной точностью определить показатель адиабаты.

Скорость звука определяется формулой (получаемой из уравнения адиабатического процесса):

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

где R - универсальная газовая постоянная, T - температура газа, а μ - его молярная масса. Преобразуя формулу получим

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

Значит для определения показателя адиабаты достаточно измерить температуру газа и скорость распространения звука в нём.

Так как отражение звука в замкнутом пространстве - очень сложный процесс, то возьмём частный случай в виде распространения продольной волны в тонкой трубе. В этом случае возможен резонанс, если половина длины волны кратна длине трубки. Тогда связь длины волны и длины трубки будет следующей.

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n \in \mathbb{N} \quad (3)$$

за счёт такого соотношения волны после отражения складываются с разницей фазы волны кратной 2π , что и вызывает резонанс.

Применив, соотношение для длины волны, частоты и скорости звука

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

$$L = n \frac{c}{2f}, \quad n \in \mathbb{N} \quad (5)$$

2.1. Измерение скорости звука (Эксперимент 1)

Переходя к Δ получим

$$\Delta L = \Delta n \frac{c}{2f}, \quad n \in \mathbb{N} \quad (6)$$

А значит, подобрав для ΔL можно подобрать f такое, чтобы n было целым. (рис 1)
Далее по этим точкам находим нужные данные, меняя длину и частоту.

2.2. Измерение зависимости скорости звука от температуры (Эксперимент 2)

Аналогично предыдущему подберём частоты, которые создают резонанс, но теперь нет необходимости в изменении длины. Прodelываем это для различных температур. (рис 2)

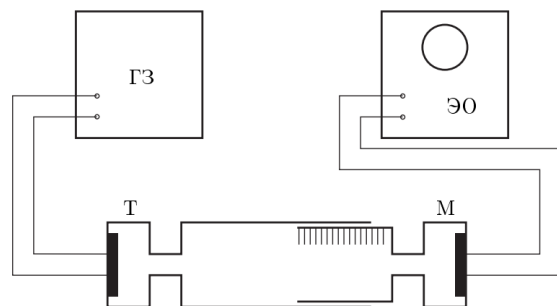


Рис. 1. Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубы

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

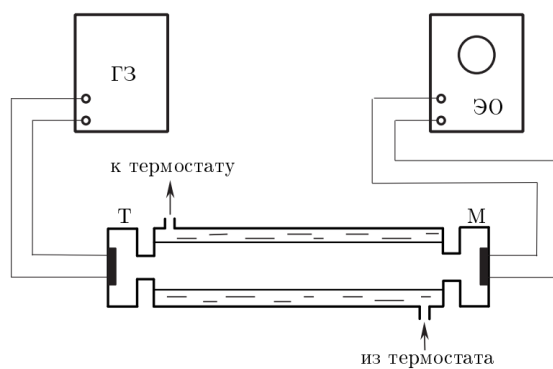


Рис. 2. Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры

Рис. 2. Установка для измерения зависимости скорости звука от температуры

3. Оборудование

2 установки

Линейка

Баллон с углекислым газом

Генератор

Микрофон

Термостат

Осциллограф

4. Результаты измерений и обработка данных

4.1. Эксперимент 1

Проведём серию опытов для различных частот, создаваемых генератором при температуре воздуха внутри, равной $T = 22^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1. Длины трубы на которых мы получили резонанс для воздуха

Частота, Гц $\sigma_f = 1 \text{ Гц}$	Длина трубы, мм $\sigma_L = 1 \text{ мм}$	номер относительно первого резонанса	группа
4262	725	0	3
4262	765	1	
4262	806	2	
4262	847	3	
4262	887	4	
5683	725	0	2
5683	756	1	
5683	786	2	
5683	817	3	
5683	846	4	
5683	880	5	
3410	709	0	1
3410	759	1	
3410	810	2	
3410	861	3	
3410	913	4	

Теперь, используя формулу 7, то можно, используя метод наименьших квадратов найти коэффициенты прямых.

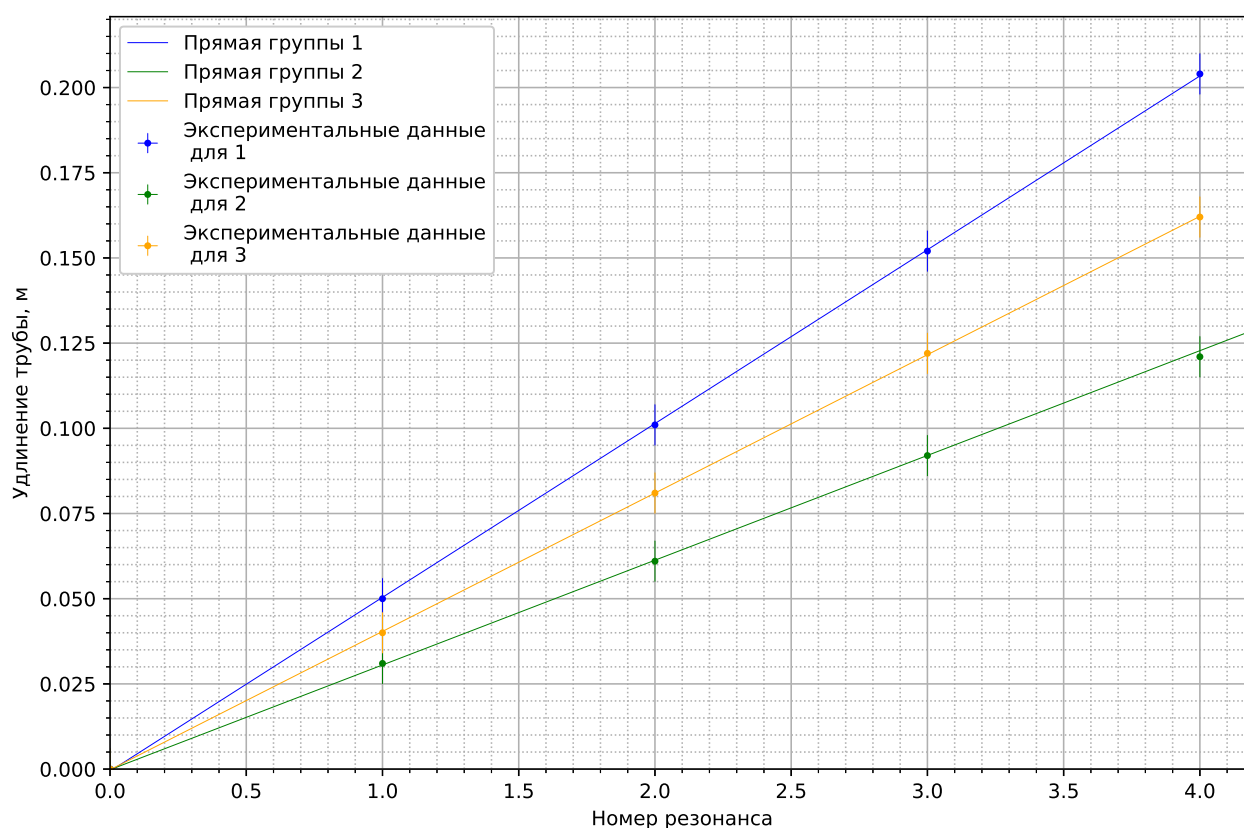


Рис. 3. Зависимость удлинения от разности номеров резонансов для воздуха

Таблица 2. результаты линейной аппроксимации для воздуха

Частота, Гц	k, м	ε_k	b, м	ε_b	скорость звука, м/с	ε_c
3410	0.0549	0.003	-0.0005	0.37	348	0.003
5683	0.0307	0.007	-0.0002	2.08	349.4	0.007
4262	0.0406	0.002	-0.0002	0.63	346.0	0.002

Отсюда и получаем финальное значение скорости звука $c_{возд} = 347.7$, $\varepsilon_c = 0.005$ м/с и значение показателя адиабаты $\gamma_{возд} = 1.43$ и $\varepsilon_{\gamma_{возд}} = 0.005$.

4.2. Эксперимент 1, но теперь для углекислого газа

Проведём серию опытов для различных частот, создаваемых генератором при температуре воздуха внутри, равной $T = 22^\circ\text{C}$.

Таблица 3. Длины трубы на которых мы получили резонанс для углекислого газа

Частота, Гц $\sigma_f = 1 \text{ Гц}$	Длина трубы, мм $\sigma_L = 1 \text{ мм}$	номер относительно первого резонанса	группа
3237	705	0	2
3237	747	1	
3237	787	2	
3237	827	3	
3237	867	4	
2590	725	0	3
2590	777	1	
2590	828	2	
2590	881	3	
2158	749	0	1
2158	811	1	
2158	874	2	

Теперь, используя формулу 7, то можно, используя метод наименьших квадратов найти коэффициенты прямых.

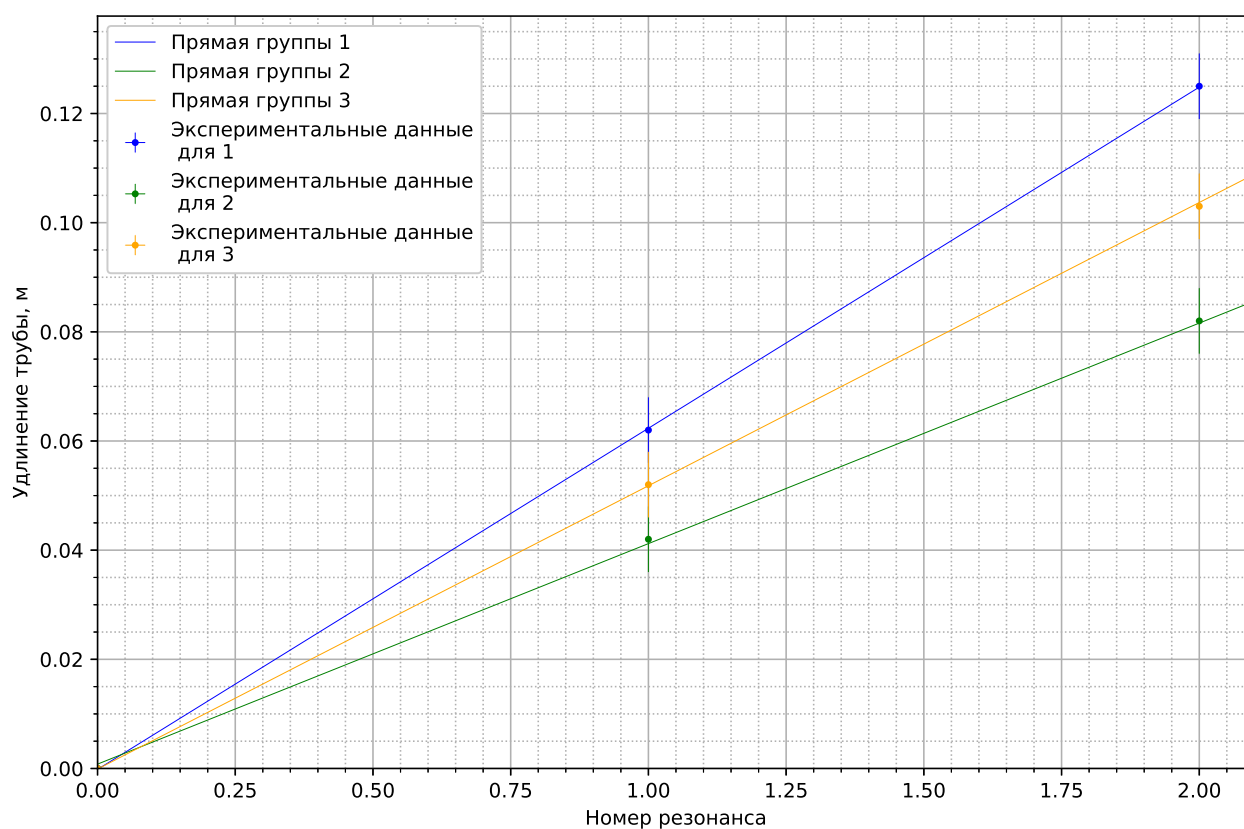


Рис. 4. Зависимость удлинения от разности номеров резонансов для углекислого газа

Таблица 4. результаты линейной аппроксимации для углекислого газа

Частота, Гц	k, м	ε_k	b, м	ε_b	скорость звука, м/с	ε_c
3237	0.0404	0.004	0.0008	0.31	261.5	0.004
2590	0.0519	0.004	-0.0001	2.09	269	0.004
2158	0.0625	0.002	-0.0002	0.81	269.7	0.002

Отсюда и получаем финальное значение скорости звука $c_{CO_2} = 266 \text{ м/с}$, $\varepsilon_c = 0.02$ и значение показателя адиабаты $\gamma_{CO_2} = 1.28$, $\varepsilon_{\gamma_{CO_2}} = 0.02$.

4.3. Эксперимент 2

Действуем абсолютно аналогично, за исключением того, что мы меняем частоту и делаем замеры для каждой температуры.

$$\Delta f = \Delta n \frac{c}{2L}, \quad n \in \mathbb{N} \quad (7)$$

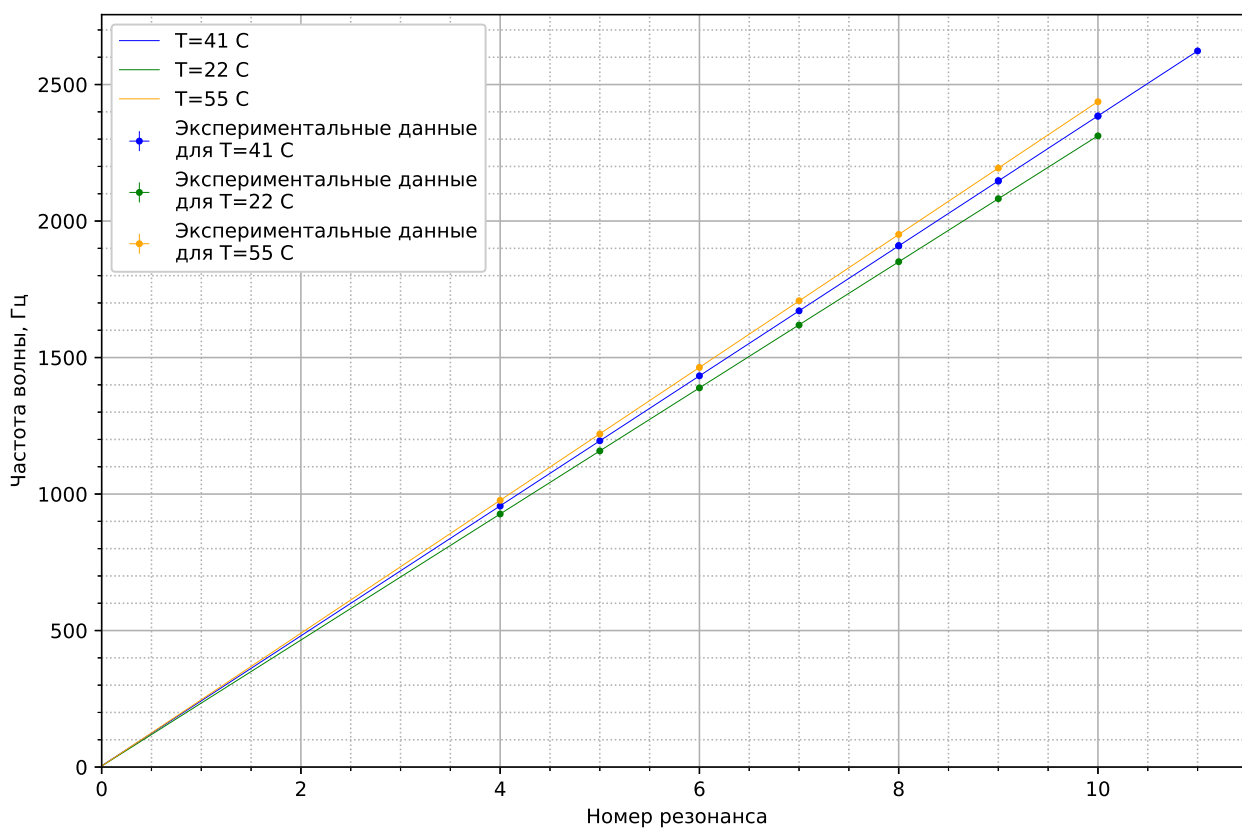


Рис. 5. Зависимость изменения частоты резонанса от разности номеров резонансов

Таблица 5. Результаты линейной аппроксимации

Температура, °C	k, Гц	ε_k	b, Гц	ε_b	скорость звука, м/с	ε_c
55	243.4	$3 \cdot 10^{-4}$	977.1	$1 \cdot 10^{-4}$	360.2	$3 \cdot 10^{-4}$
41	238.0	$4 \cdot 10^{-4}$	956.7	$2 \cdot 10^{-4}$	352.3	$4 \cdot 10^{-4}$
22	230.9	$3 \cdot 10^{-4}$	927.0	$2 \cdot 10^{-4}$	341.7	$3 \cdot 10^{-4}$

После построим ещё один график для этих результатов.

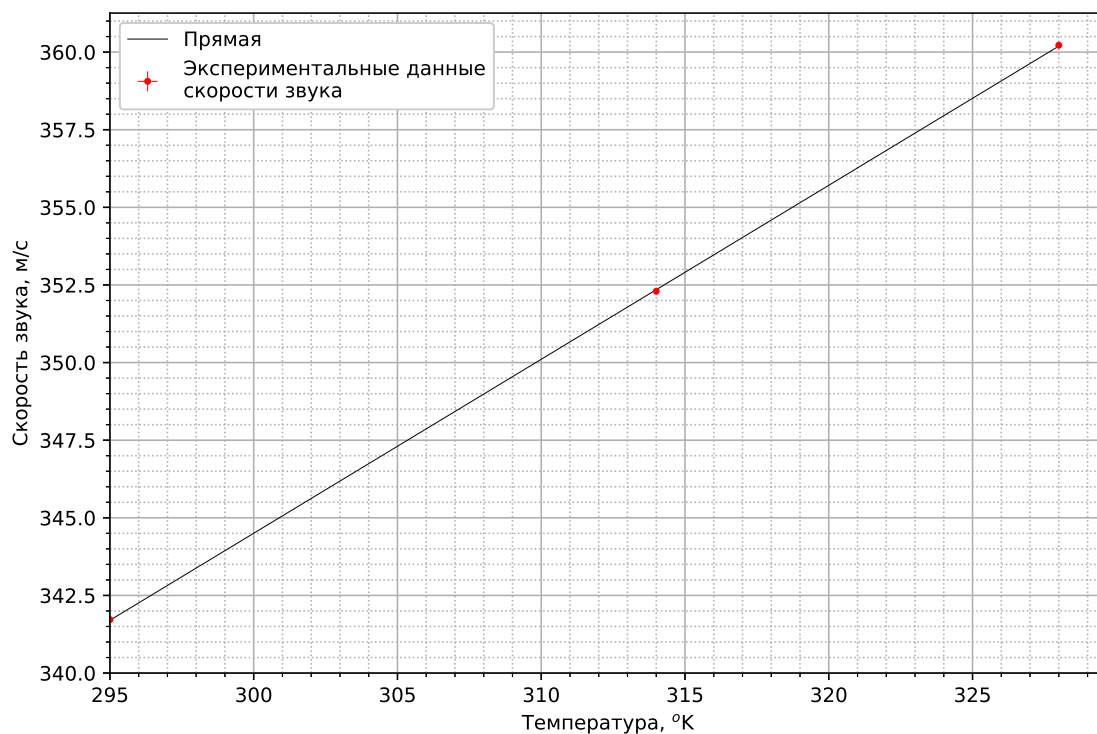


Рис. 6. Зависимость скорости звука от температуры

В результате получаем коэффициенты $k=0.56 \frac{\text{м}}{\text{Кс}}$, $\varepsilon_k = 3 \cdot 10^{-3}$ и $b=176.39 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $\varepsilon_b = 1 \cdot 10^{-4}$.

Видим, что скорость звука зависит линейно от температуры в исследуемом диапазоне.

5. Обсуждение результатов и выводы

В данной работе были вычислены скорость звука и показатель адиабаты для воздуха и углекислого газа.

Было показано, что при малых изменениях температуры и условиях близких к нормальным показатель адиабаты не зависит от длины волны.

Показатели адиабаты близки к табличным. $\gamma_{\text{возд}} = 1.43$, $\varepsilon_{\gamma_{\text{возд}}} = 0.005$ и $\gamma_{\text{возд}}^{\text{табличное}} = 1.4$, а так же $\gamma_{\text{CO}_2} = 1.28$, $\varepsilon_{\gamma_{\text{CO}_2}} = 0.02$ и $\gamma_{\text{возд}}^{\text{CO}_2} = 1.3$ при температуре $\approx 22^\circ\text{C}$.

Было определено, что скорость звука зависит прямо пропорционально от температуры газа на исследуемом промежутке температуры.