

Работу выполнил
Самохин Валентин, 676 гр.

Маршрут IX № 6

под руководством
Артанова А. А.

21 апреля 2017 г.,

Лабораторная работа № 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 используются: звуковой генератор ГЗ; электронный осциллограф ЭО; микрофон; телефон; раздвижная труба; тепло изолированная труба, обогреваемая водой из термостата; баллон со сжатым углекислым газом; газгольдер.

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:

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

Преобразуя формулу 1, найдем

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

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 многократные отражения от торцов. Если длина трубы L равна целому числу полуволин $L = n\lambda/2$, 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 (*узел 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

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

Методы измерений. Подбор условий, при которых возникает резонанс, можно производить двояко:

1. При неизменной частоте f и, как следствие, длины звуковой волны λ можно **изменять длину трубы** L . Для этого применяется *раздвижная труба*. Длина раздвижной трубы постепенно увеличивается, и наблюдается ряд последовательных резонансов. Возникновение резонанса легко наблюдать на осциллографе по резкому увеличению амплитуды колебаний. Для последовательных резонансов имеем

$$L_n = n \frac{\lambda}{2}, \quad L_{n+1} = (n+1) \frac{\lambda}{2}, \quad L_{n+k} = n \frac{\lambda}{2} + k \frac{\lambda}{2}, \quad (4)$$

т. е. $\lambda/2$ равно *угловому коэффициенту графика, изображающего зависимость длины трубы L от номера резонанса k* . Скорость звука находится по формуле 3.

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

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

Из уравнений 3 и 5 имеем

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c}{2L} n, \quad f_2 = \frac{c}{2L} (n+1) = f_1 + \frac{c}{2L}$$
$$f_{k+1} = \frac{c}{\lambda_{k+1}} = \frac{c}{2L} (n+k) = f_1 + \frac{c}{2L} k. \quad (6)$$

Таким образом, скорость звука, деленная на $2L$, определяется по *угловому коэффициенту графика зависимости частоты от номера резонанса*.

Экспериментальная установка

Соответственно двум методам измерения скорости звука в работе имеются две установки. В обеих установках 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 ЗГ** (генератор электрических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты). Возникающий в микрофоне сигнал наблюдается на **осциллографе ЭО**.

Микрофон и телефон присоединены к установке через тонкие резиновые трубки. Такая связь достаточно 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 γ 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.

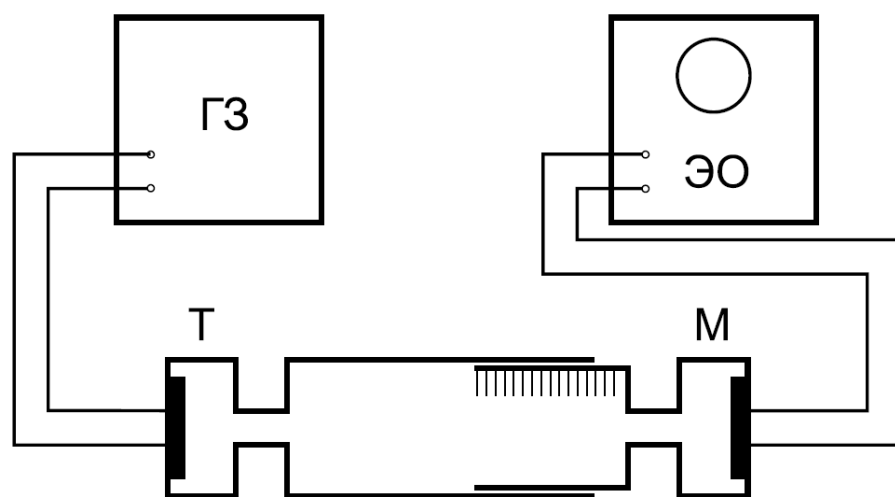


Рис. 1: Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубы

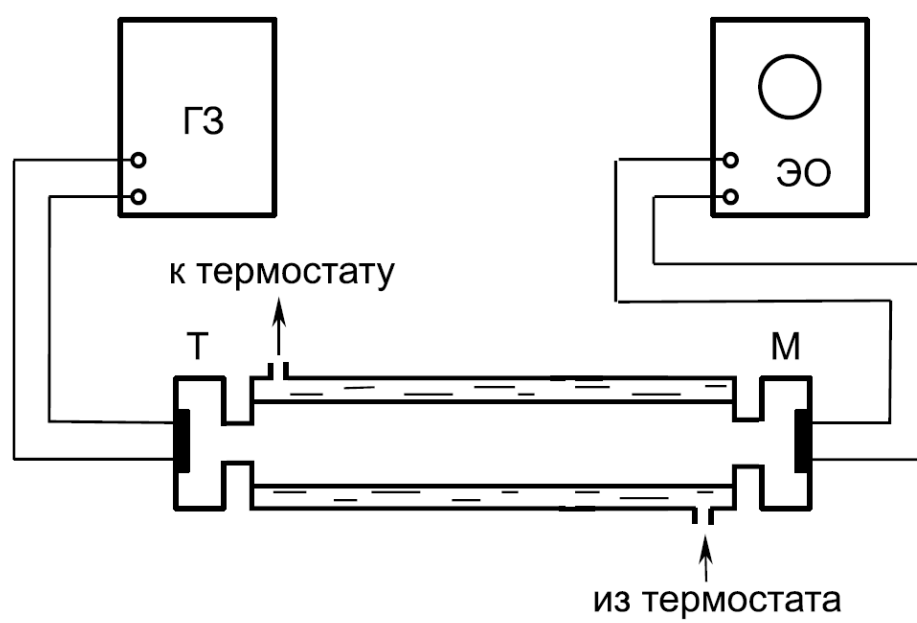


Рис. 2: Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры

Выполнение работы

Работа состояла из двух частей. На первой установке мы находили частоту резонанса при неизменной длине трубки сначала для воздуха, а затем для углекислого газа. На второй установке мы находили частоту резонанса при неизменной длине трубки для разных температур воздуха, нагревая его с помощью термостата.

Измерения на первой установке

Открыв отверстие трубы, продули трубу воздухом. Закрыли отверстие. Предварительно рассчитав приблизительную частоту резонансов, начали их искать, постепенно увеличивая частоту генератора. Увеличение амплитуды устанавливали с помощью осциллографа. Затем уменьшая частоту генератора, убедились в неизменности результатов.

$L = 795 \text{ mm}$			
Возрастание f		Убывание f	
№	Частота f , Гц	№	Частота f , Гц
1	225	1	Значения совпали
2	480	2	
3	655	3	
4	865	4	
5	1075	5	

Таблица 1: Измерение частоты резонанса при постоянной длине трубки (воздух)

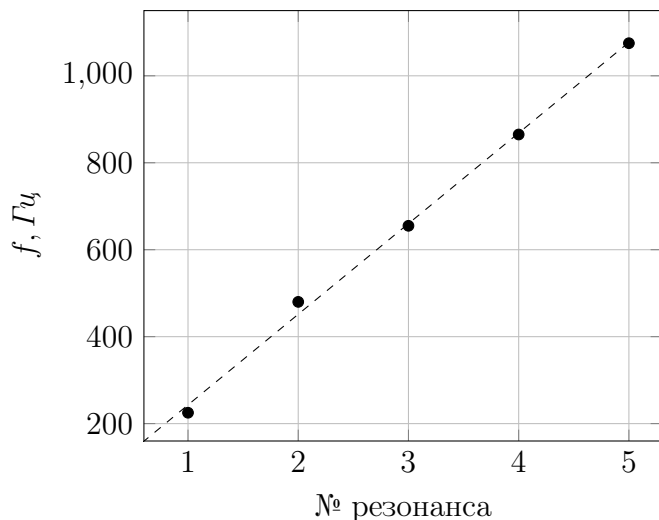


Рис. 3: График зависимости частоты от номера резонанса (опыт с воздухом)

Повторили действия, заменив воздух углекислым газом.

$L = 795 \text{ mm}$			
Возрастание f		Убывание f	
№	Частота $f, \Gamma\text{ц}$	№	Частота $f, \Gamma\text{ц}$
1	176	1	Значения совпали
2	315	2	
3	510	3	
4	677	4	
5	840	5	

Таблица 2: Измерение частоты резонанса при постоянной длине трубки (CO_2)

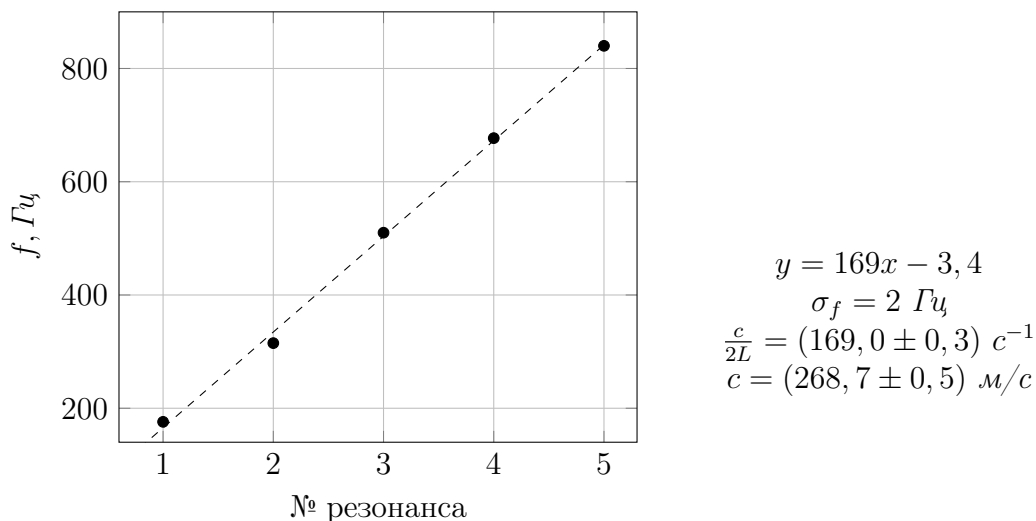


Рис. 4: График зависимости частоты от номера резонанса (опыт с CO_2)

Построив по полученным данным прямую, смогли установить значение $c/2L$ по коэффициенту наклона данной прямой, откуда несложно получить значение скорости воздуха.

Измерения на второй установке

Измерим скорость воздуха при разных температурах. Для этого произведем измерения сначала при комнатной температуре, а затем с помощью термостата будем увеличивать температуру воздуха до 30, 40 и 50 градусов Цельсия. Действия такие же, как и при работе с первой установкой: увеличивая частоту генератора, будем искать резонансы.

$T = 22,9^{\circ}C$		$T = 30^{\circ}C$	
№	Частота f , Гц	№	Частота f , Гц
1	202	1	202
2	450	2	455
3	660	3	667
4	875	4	884
5	1088	5	1100
6	1302	6	1319

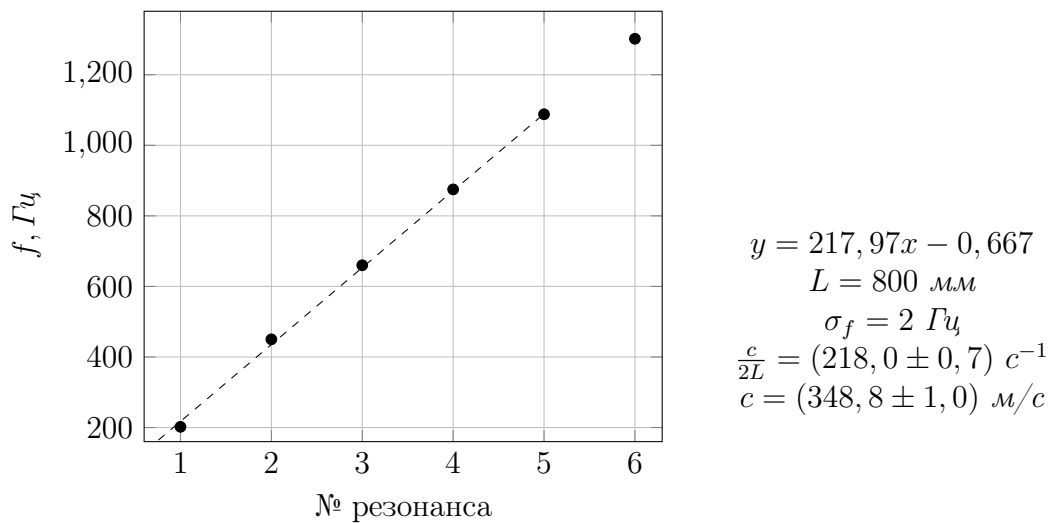


Рис. 5: График зависимости частоты от номера резонанса ($T = 22,9^{\circ}C$)

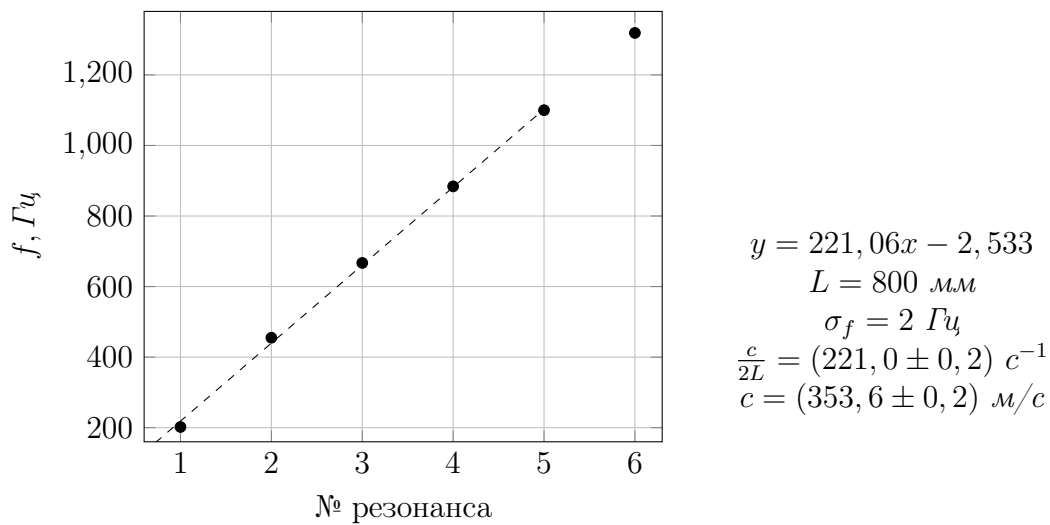


Рис. 6: График зависимости частоты от номера резонанса ($T = 30^{\circ}C$)

$T = 40^{\circ}C$		$T = 50^{\circ}C$	
№	Частота f , Гц	№	Частота f , Гц
1	207	1	210
2	462	2	470
3	678	3	687
4	896	4	910
5	1118	5	1139
6	1334	6	1361

Таблица 3: Измерение частоты резонанса в воздухе при разных температурах

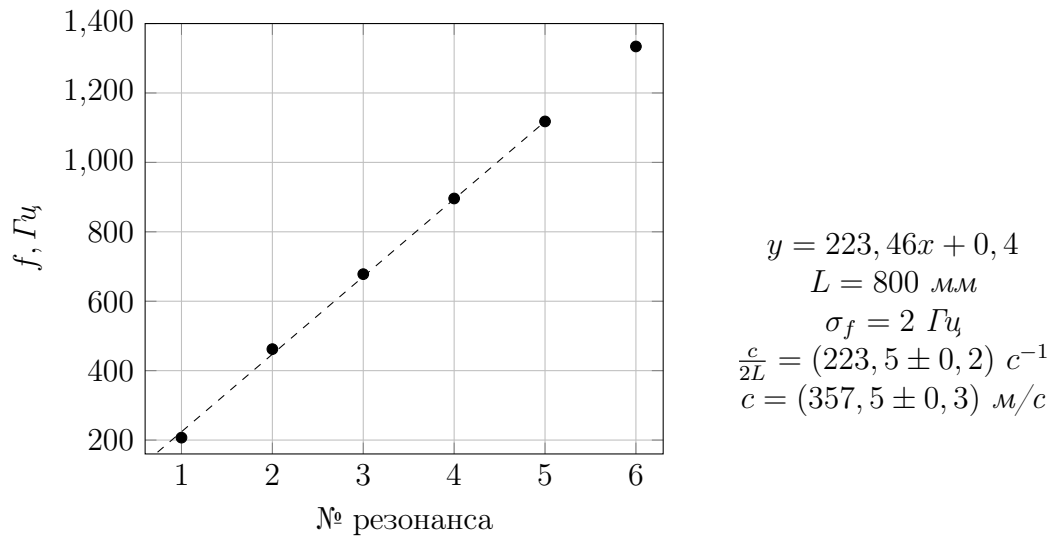


Рис. 7: График зависимости частоты от номера резонанса ($T = 40^{\circ}C$)

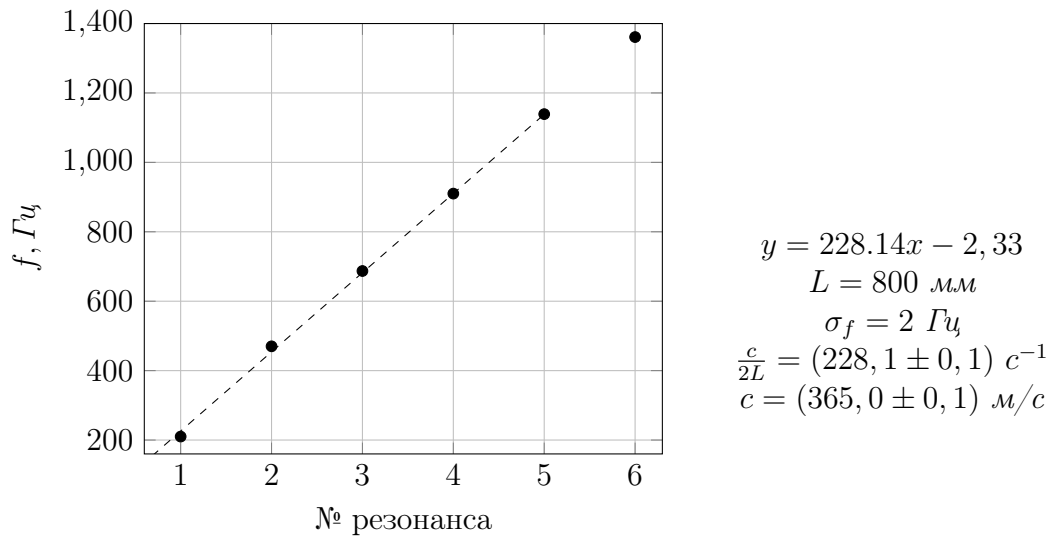


Рис. 8: График зависимости частоты от номера резонанса ($T = 50^\circ\text{C}$)

Построив по полученным данным прямую, смогли установить значение $c/2L$ по коэффициенту наклона данной прямой, откуда несложно получить значение скорости воздуха.

Для удобства, я совместил полученные значения скоростей звука в одной таблице, и там же привел полученные с помощью формулы 1 значения показателя адиабаты.

	Опыт 1		Опыт 2			
	Воздух	CO_2	$T = 22,9^\circ\text{C}$	$T = 30^\circ\text{C}$	$T = 40^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$
c	$331,5 \pm 0,8$	$268,7 \pm 0,5$	$348,8 \pm 1,0$	$353,6 \pm 0,2$	$357,5 \pm 0,3$	$365,0 \pm 0,1$
γ	$1,32 \pm 0,01$	$1,318 \pm 0,005$	$1,43 \pm 0,01$	$1,439 \pm 0,002$	$1,424 \pm 0,003$	$1,439 \pm 0,001$

Таблица 4: Скорость звука c (м/с) и показатель адиабаты γ в разных опытах

Вывод

Мы измерили частоты колебаний при резонансе в газе и посчитали значения скорости звука и показателя адиабаты. Сравнивая результаты можно заметить, что:

1. значения показателя адиабаты для воздуха (состоит преимущественно из двухатомных газов) колеблются около значения показателя адиабаты идеального двухатомного газа ($\gamma = 1,4$), но тем не менее, они не равны, что свидетельствует о том, что воздух не является идеальным газом, а также содержит не двухатомные газы.
2. значения показателя адиабаты для углекислого газа также колеблются около значения показателя адиабаты идеального трехатомного газа ($\gamma = \frac{4}{3}$). Тем не менее, они

отличаются, что также говорит о том, что углекислый газ не является идеальным газом.

3. значения, полученные для воздуха в первом и втором опытах, отличаются. Предполагаю, что причина кроется в работе с первой установкой (негерметично закрывали отверстие или плохо продули воздухом и в трубе остался углекислый газ).

* *На лекции было сказано, что причина отличий кроется в том, что колебательные степени свободы молекул начинают вносить некоторый вклад в теплоемкость молекулы уже при температуре эксперимента.*