

## Работа 2.1.3

### Определение $C_p/C_v$ по скорости звука в газе

Малиновский Владимир

galqiwi@galqiwi.ru

**Цель работы:** Измерение частоты колебаний и длины волны при резонансе звуковых колебаний в газе, заполняющем трубу

**В работе используются:** звуковой генератор ГЗ, электронный осциллограф ЭО, микрофон, телефон, раздвижная труба, теплоизолированная труба, обогреваемая водой из термостата, баллон со сжатым углекислым газом, газгольдер.

### Описание работы

Из теории нам известна зависимость скорости звука от показателя адиабаты  $\gamma$ :

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

Таким образом, задача нахождения  $\gamma$  сводится к задаче нахождения скорости звука при заданной температуре.

В этом эксперименте предполагается использовать стоячие волны для нахождения  $c$ . Известно, что стоячие волны в коридоре длиной  $L$  образуются при:

$$L = \frac{n}{2} \lambda,$$

где  $\lambda$  – длина волны звука, связанная со скоростью звука и частотой  $f$ , как:

$$\lambda = c/f.$$

То есть верно, что:

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

В текущем эксперименте мы будем знать не абсолютный номер порядка  $n$ , а его приращение  $k = n - n_0$ , для которого верно, что:

$$\Delta L = L - L_0 = \frac{c}{2f} k + \Delta L_0,$$

где  $L_0$  – минимальный размер трубы, а  $\Delta L$  – отклонение от него, которое мы можем измерить.

## Экспериментальная установка

В этой работе мы будем измерять зависимость  $\Delta L(k)$  при постоянных значениях  $f$ , из чего получим  $c$ . Для этого мы используем установку на Рис. 1. Эта установка представляет из себя две вложенные друг в друга трубы с миллиметровой шкалой на подвижной части. На краях этой системы установлены приемник Т и передатчик М. Также к системе подведена трубка, через которую можно накачивать пространство внутри труб воздухом или углекислым газом.

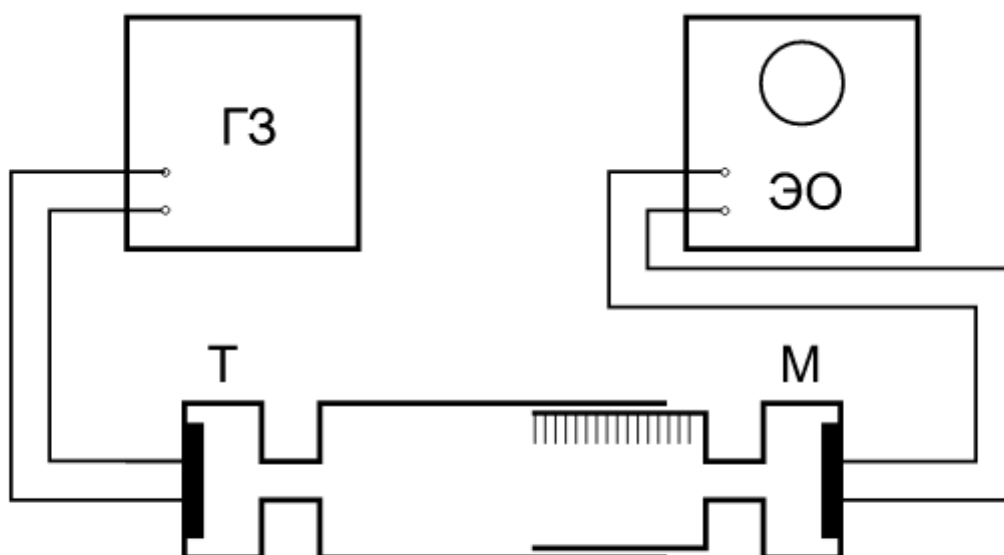


Рис. 1. Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубы

## Описание работы и ее результатов

- (1) Включим звуковой генератор с осциллографом и дадим им прогреться 5-7 минут.
- (2) Зададим амплитуду и частоту сигнала на генераторе так, чтобы на осциллографе можно было пронаблюдать сигнал. Он должен быть неискаженным синусоидальным. Если он будет искаженным, уменьшим амплитуду.
- (3, а, б, в) При вариации длины в 230мм, для того, чтобы при скорости в 340м/с было  $\approx 4$  резонанса, нужна частота порядка:

$$f \approx \frac{4 \cdot 340 \text{ м/с}}{2 \cdot 0.23 \text{ м}} \approx 3 \text{ кГц.}$$

Продуем трубу воздухом  $\approx 5$  мин.

Для нескольких частот получим различные зависимости  $\Delta L(k)$ , плавно вытягивая и втягивая внутреннюю трубку относительно внешней и наблюдая за амплитудой показаний осциллографа. При достижении максимума амплитуды, наблюдается резонанс, и мы записываем новое значение  $\Delta L$ .

$N_{\text{изм}}$	$f, \text{кГц}$	$L(0), \text{мм}$	$L(1), \text{мм}$	$L(2), \text{мм}$	$L(3), \text{мм}$	$L(4), \text{мм}$	$\lambda, \text{мм}$	$\Delta\lambda, \text{мм}$	$c, \text{м/с}$	$\Delta c, \text{м/с}$	примечание
1	4.00	38	82	126	170	215	88.4	0.2	354	2	вверх
2	3.99	42	85	127	170	215	86.2	0.5	344	3	вниз
3	2.45	12	85	155	223	-	140.6	1.1	344	4	вверх
4	2.45	12	77	120	218	-	132.2	10.7	324	27	вниз
5	1.74	13	112	210	-	-	197.0	0.3	343	3	вверх
6	1.74	10	110	210	-	-	200.0	0.1	348	2	вниз
7	3.25	46	99	152	207	-	107.2	0.5	348	3	вверх
8	3.25	46	100	153	207	-	107.2	0.2	348	2	вниз
9	1.99	9	94	180	-	-	171.0	0.3	340	2	вверх
10	1.99	4	85	178	-	-	174.0	4.0	346	10	вниз
11	2.73	65	130	191	-	-	126.0	1.3	344	5	вверх
12	2.73	64	128	191	-	-	127.0	0.3	347	2	вниз
13	3.75	40	85	132	178	224	92.2	0.2	346	2	вверх
14	3.75	40	84	133	178	225	92.8	0.6	348	3	вниз

$$\Delta f = 0.01 \text{кГц}, \Delta L = 0.5 \text{мм}.$$

Значение  $\lambda$  и ее погрешности я получил через МНК, по формуле

$$\lambda = 2 \frac{dL}{dk}.$$

Приблизная погрешность у этого эксперимента сопоставима с погрешностью мнк:

$$\varepsilon f \approx \frac{1}{200} = 0.5\%,$$

$$\varepsilon L \approx \frac{0.5}{100} = 0.5\%,$$

что добавит дополнительные 1% погрешности к финальному результату.

Из таблицы видны выбросы на 4 и 10 измерениях – видимо, на них слишком неточно были получены несколько точек. В последующих вычислениях я их не буду учитывать. Из МНК получается средняя скорость звука:

$$c = (346 \pm 3) \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

С учетом 1%:

$$c = (346 \pm 5) \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Как было сказано ранее, из  $c$  мы можем найти  $\gamma$  (при  $T = (25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ):

$$\gamma = \frac{\mu c^2}{RT} = 1.40 \pm 0.07,$$

что сходится с теорией.

(3, г) Измерение скорости звука в углекислом газе.

Измерение скорости звука в углекислом газе проводится аналогично скорости звука в воздухе, но со своими особенностями: установка не является герметичной, и поэтому в нее поступает воздух при движении трубы наружу. Поэтому метод нахождения получает новые особенности:

1. Просто открытия краника для того, чтобы закачать  $CO_2$ , недостаточно – надо открыть краник и начать вводить-выводить внутреннюю трубу где-то 20 секунд, прокачивая  $CO_2$  внутрь, и удаляя воздух.
2.  $CO_2$  надо обновлять после каждого измерения – это правило я не выполнил в двух измерениях, что указал в таблице, поскольку официальная методика решения была без этого правила.
3. Измерения проводятся только при входе трубы внутрь. Поскольку измерения при полностью открытом кране невозможны из-за сильного шума на осциллографе, при выводе трубы, в установку закачивается воздух.
4. Во время измерений краник немного приоткрыт – достаточно, чтобы был доступ к  $CO_2$ , но недостаточно, чтобы были помехи в работе осциллографа.

$N_{\text{изм}}$	$f$ , кГц	$L(0)$ , мм	$L(1)$ , мм	$L(2)$ , мм	$L(3)$ , мм	$L(4)$ , мм	$L(5)$ , мм	$\lambda$ , мм	$\Delta\lambda$ , мм	$c$ , м/с	$\Delta c$ , м/с	примечание
1	3.25	8	48	89	132	172	212	82.0	0.4	266	2	
2	3.02	12	64	118	174	-	-	108.0	0.9	327	4	без п.2
3	2.74	35	90	149	207	-	-	115.0	0.8	315	3	без п.2
4	2.74	40	88	138	185	-	-	97.0	0.5	266	2	
5	2.23	32	92	153	212	-	-	120.2	0.4	268	2	
6	1.75	78	155	-	-	-	-	154.0	0.1	270	2	
7	1.50	8	105	188	-	-	-	180.0	4.7	271	9	
8	1.99	45	115	177	-	-	-	132.0	2.7	263	7	
9	2.50	55	105	160	213	-	-	105.8	1.0	264	3	

$$\Delta f = 0.01 \text{ кГц}, \Delta L = 0.5 \text{ мм}.$$

Как видно из таблицы, значения измерений 2 и 3 выбиваются на фоне других – видно, что из-за проникновения воздуха, скорость звука вырастает со значений  $\approx 265 \text{ м/с}$  до  $320 \text{ м/с}$ , что ближе к  $345 \text{ м/с}$  воздуха.

Аналогично воздуху, найдем  $c$ :

$$c = (267 \pm 4) \text{ м/с}.$$

Приборная погрешность так же равна 1%. С ее учетом:

$$c = (267 \pm 5) \text{ м/с}.$$

Из этого  $\gamma$  равна:

$$\gamma = \frac{\mu c^2}{RT} = (1.27 \pm 0.07),$$

что соответствует табличному значению.

## Вывод

Мы научились измерять показатель адиабаты через скорость звука с помощью резонансных пиков зависимости амплитуды принимаемого сигнала при прохождении в закрытом пространстве от расстояния, проходимого звуком в одну сторону из-за появления стоячих волн, результаты эксперимента совпали с табличными значениями. Был уточнен метод получения скорости звука в углекислом газе.