



Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

---

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

---

Работа №2.1.3; дата: 22.04.22

Семестр: 2

Выполнил:  
Кошелев Александр

Группа:  
Б05-105

## 1. Аннотация

### 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.

### Схема установки:

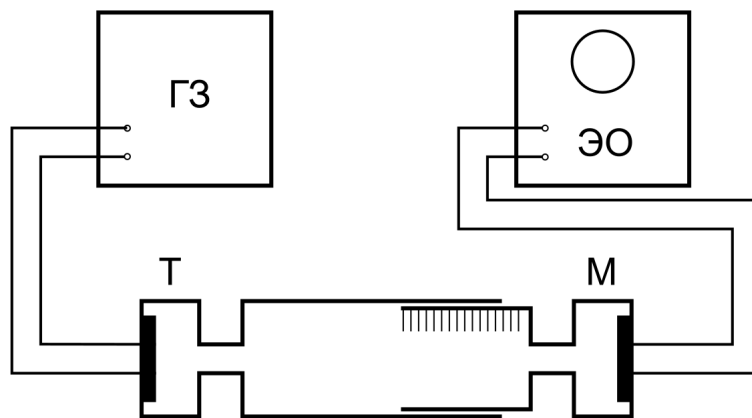


Рис. 1: Схема установки

Установка содержит теплоизолированную трубу постоянной длины. Воздух в трубе нагревается водой из термостата. Температура газа принимается равной температуре омывающей трубу воды. На этой установке измеряется зависимость скорости звука от температуры.

### 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.

## 2. Теоретические сведения

Скорость распространения звуковой волны в газах зависит от показателя адиабаты  $\gamma$ . На измерении скорости звука основан один из наиболее точных методов определения показателя адиабаты. Скорость звука в газах определяется формулой:

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

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

$$L = \frac{n\lambda}{2} \quad (2)$$

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 (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  $\lambda$  соотношением

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

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

- 1) При неизменной частоте  $f$  звукового генератора (а следовательно, и неизменной длине звуковой волны  $\lambda$ ) 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

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

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  $\lambda$ . Для последовательных резонансов получим

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

### 3. Проведение эксперимента

#### Опыт с переменной длиной трубы для воздуха

Будем записывать величину вылета трубы для каждого из положений резонанса в таблице для нескольких разных частот звукового генератора.

$f$ , Гц	$2700 \pm 1$	$2998 \pm 1$	$3502 \pm 1$	$4042 \pm 1$	$4476 \pm 1$
$i$ , номер	$((l - l_0) \pm 1)$ , мм				
0	0	0	0	0	0
1	63	58	50	43	38
2	127	115	99	86	76
3	192	173	149	128	115
4			199	171	153
5					192

Табл. 1: Первый опыт

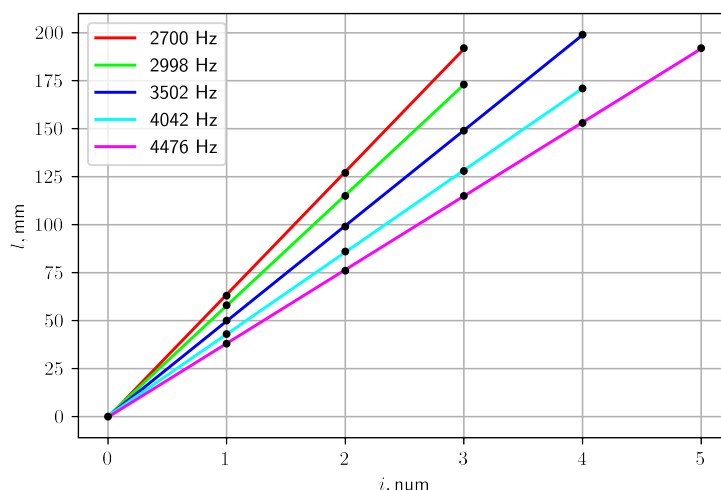


Рис. 2: График зависимостей  $l(i)$

По построенным графикам определим длины волн и рассчитаем скорости звука.

$f, \text{Гц}$	$\lambda, \text{мм}$	$c, \text{м/с}$
$2700 \pm 1$	$128.0 \pm 0.6$	$345.6 \pm 1.6$
$2998 \pm 1$	$115.2 \pm 0.3$	$345.4 \pm 0.9$
$3502 \pm 1$	$99.4 \pm 0.2$	$348.1 \pm 0.7$
$4042 \pm 1$	$85.4 \pm 0.2$	$345.2 \pm 0.8$
$4476 \pm 1$	$76.8 \pm 0.2$	$343.8 \pm 0.9$

Табл. 2: Определение скорости звука

Таким образом, усреднением получаем:

$$c = 345.6 \pm 1.0 \text{ м/с}$$

Вычисляем показатель адиабаты по формуле (1):

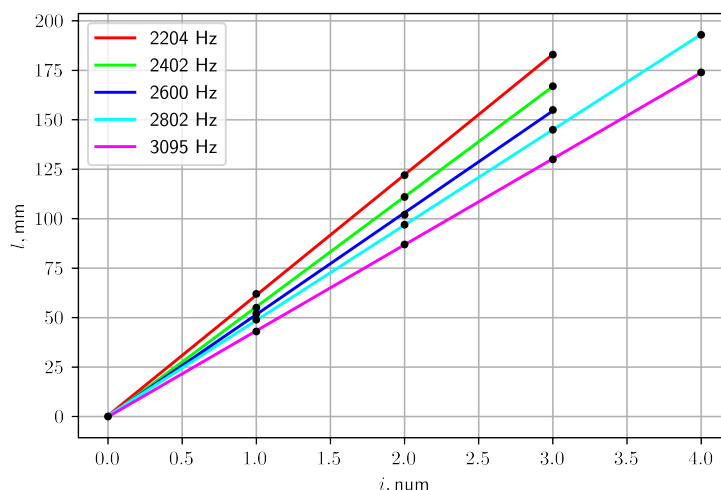
$$\gamma_{\text{возд}} = 1.389 \pm 0.008$$

### Опыт с переменной длиной трубы для углекислого газа

Будем записывать величину вылета трубы для каждого из положений резонанса в таблице для нескольких разных частот звукового генератора на этот раз при подаче углекислого газа в трубу.

$f, \text{Гц}$	$2204 \pm 1$	$2402 \pm 1$	$2600 \pm 1$	$2802 \pm 1$	$3095 \pm 1$
$i, \text{номер}$	$((l - l_0) \pm 1), \text{мм}$				
0	0	0	0	0	0
1	62	55	52	49	43
2	122	111	102	97	87
3	183	167	155	145	130
4				193	174

Табл. 3: Второй опыт

Рис. 3: График зависимостей  $l(i)$ 

По построенным графикам определим длины волн и рассчитаем скорости звука.

$f, \text{Гц}$	$\lambda, \text{мм}$	$c, \text{м/с}$
$2204 \pm 1$	$121.8 \pm 0.5$	$268.4 \pm 1.1$
$2402 \pm 1$	$111.4 \pm 0.3$	$267.6 \pm 0.5$
$2600 \pm 1$	$103.0 \pm 0.8$	$267.8 \pm 2.1$
$2802 \pm 1$	$96.4 \pm 0.2$	$270.1 \pm 0.6$
$3095 \pm 1$	$87.0 \pm 0.2$	$269.3 \pm 0.6$

Табл. 4: Определение скорости звука

Таким образом, усреднением получаем:

$$c = 268.6 \pm 1.0 \text{ м/с}$$

Вычисляем показатель адиабаты по формуле (1):

$$\gamma_{\text{CO}_2} = 1.273 \pm 0.009$$

## 4. Выводы

- 1) В результате работы определен показатель адиабаты воздуха:

$$\gamma_{\text{возд}} = 1.389 \pm 0.008$$

Что совпадает с табличным значением  $\gamma_{\text{возд}0} = 1.4$  в пределах двух стандартных отклонений.

- 2) Получено значение показателя адиабаты и для углекислого газа:

$$\gamma_{\text{CO}_2} = 1.273 \pm 0.009$$

Что также совпадает с табличным значением  $\gamma_{\text{CO}_2}0 = 1.3$  в пределах двух стандартных отклонений.

Таким образом, в целом, работа проведена успешно. Худшее совпадение для углекислого газа можно объяснить наличием примесей (в основном, азот и кислород) в атмосфере трубы, так как труба была не до конца герметична.