

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работы 2.1.3
Определение C_p/C_v по скорости звука в газе.

Выполнил студент:
Сериков Василий Романович
группа: Б03-102

Москва, 2022 г.

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.

Теоретические сведения

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. Выразим показатель адиабаты:

$$\gamma = \frac{\mu}{RT} c^2$$

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

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

где λ — длина волны звука в трубе, а n — любое целое число.

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

$$c = \lambda f.$$

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

1) При неизменной частоте f звукового генератора (а следовательно, и неизменной длине звуковой волны λ) можно изменять длину трубы L . Для этого применяется раздвижная труба. Длина раздвижной трубы постепенно увеличивается, и наблюдается ряд последовательных резонансов. Для k -ого резонанса имеем:

$$L_{n+k} = n \frac{\lambda}{2} + k \frac{\lambda}{2},$$

т. е. $\lambda/2$ равно угловому коэффициенту графика, изображающего зависимость длины трубы L от номера резонанса k .

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 k -ого резонанса получим:

$$L = (n + k) \frac{\lambda_{k+1}}{2}$$
$$f_{k+1} = \frac{c}{\lambda_{k+1}} = \frac{c}{2L} (n + k) = f_1 + \frac{c}{2L} k.$$

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

Методика измерений

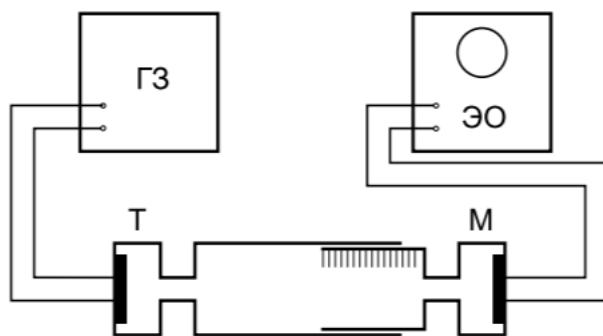


Рис. 1. Установка для измерения скорости звука при помощи раздвижной трубы

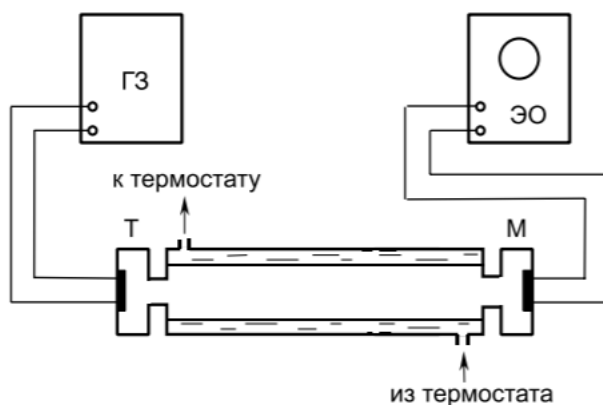


Рис. 2. Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры

Используемое оборудование: звуковой генератор ГЗ; электронный осциллограф ЭО; микрофон; телефон; раздвижная труба; теплоизолированная труба, обогреваемая водой из термостата; баллон со сжатым углекислым газом; газгольдер.

Результаты измерений и обработка данных:

Измерение коэффициента C_p/C_v для воздуха при помощи установки с раздвижной трубой.

1. Размеры установки и погрешности: $L = 570 \pm 5$ мм, $\sigma_{\Delta l} = \pm 1$ мм.
2. При постоянной начальной частоте будем находить точки резонанса для воздуха, увеличивая и уменьшая длину трубы. Полученные данные занесем в таблицу.
3. По полученным данным построим графики зависимости $\Delta l(n)$. Коэффициент наклона прямой – это величина $\lambda/2$. Тогда скорость звука можно найти по формуле:
$$c = \lambda f, \sigma_c = c \sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2}$$

f , кГц	5		4,5		4		3,5	
n	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм
1	23	21	10	10				
2	57	57	48	48	38	39	25	25
3	91	91	87	86	83	82	75	74
4	126	125	125	124	124	123	123	128
5	160	160	163	167	167	173	173	171

Таблица 1: Результаты измерений для воздуха

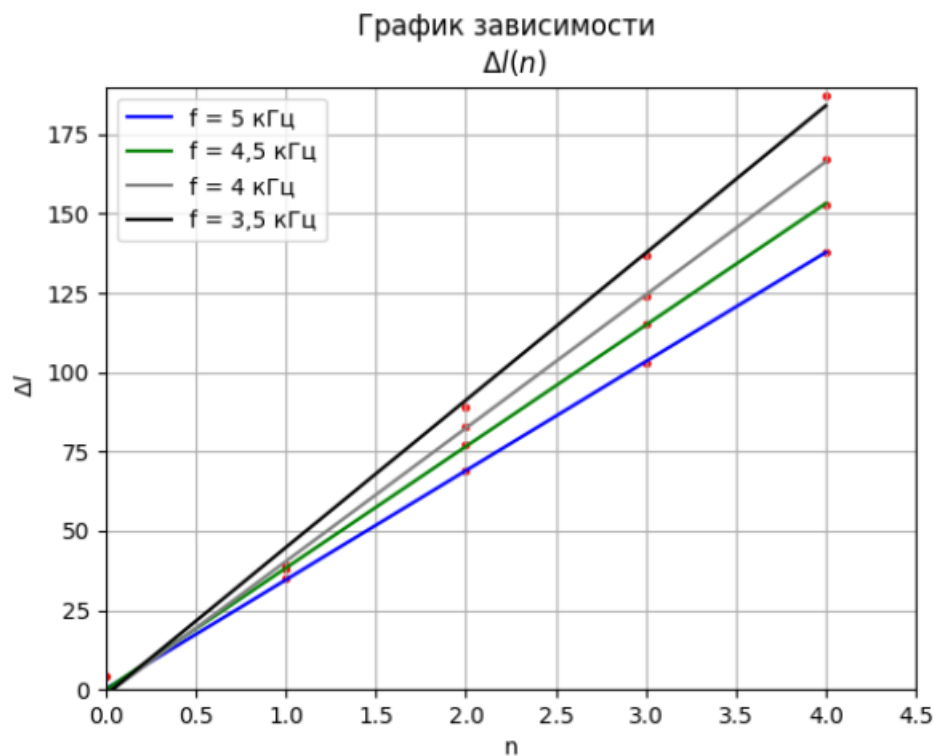


Рис. 1:

f , кГц	λ , мм	σ_λ , мм	c , м/с	σ_c , м/с
5	68,8	0,2	344	1
4,5	76,6	0,3	345	1
4	85,0	0,3	340	1
3,5	97,8	0,4	342	1

Таблица 2: Результаты вычислений для воздуха

4. Получим среднее значение скорости звука в воздухе $c = (343 \pm 2)$ м/с

5. Посчитаем коэффициент $\gamma = C_p/C_v$. $\gamma = \frac{\mu}{RT}c^2$

$$\gamma = 1,387 \pm 0,006$$

Измерение коэффициента C_p/C_v для углекислого газа при помощи установки с раздвижной трубой.

6. Проведем измерения аналогичные измерениям γ для воздуха. Полученные данные занесем в таблицу.

f , кГц	5		4,5		4		3,5	
n	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм	Δl_n , мм
1	10	18	22	32	17	18	24	28
2	41	46	56	63	46	39	62	72
3	70	74	90	95	80	82	105	113
4	97	102	123	126	124	150	123	154
5	126	126	165	165	157	161	195	195

Таблица 3: Результаты измерений для CO_2

7. Аналогично при постоянной начальной частоте будем находить точки резонанса для углекислого газа и построим графики $\Delta l(n)$.

f , кГц	λ , мм	σ_λ , мм	c , м/с	σ_c , м/с
5	55,1	0,4	275	1
4,5	61,3	0,4	275	1
4	67,5	0,3	270	1
3,5	78,9	0,3	273	1

Таблица 4: Результаты вычислений для CO_2

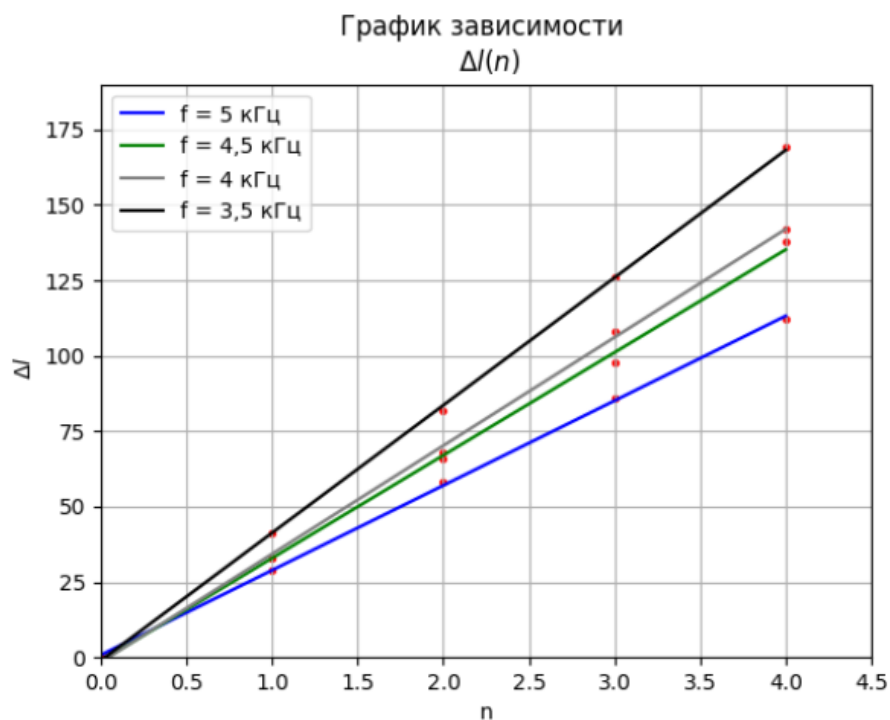


Рис. 2:

8. Получим среднее значение скорости звука в CO_2 $c = (273 \pm 2)$ м/с

9. Посчитаем коэффициент $\gamma = C_p/C_v$. $\gamma = \frac{\mu}{RT}c^2$

$$\gamma = 1,333 \pm 0,004$$

Измерение C_p/C_v при различных температурах воздуха

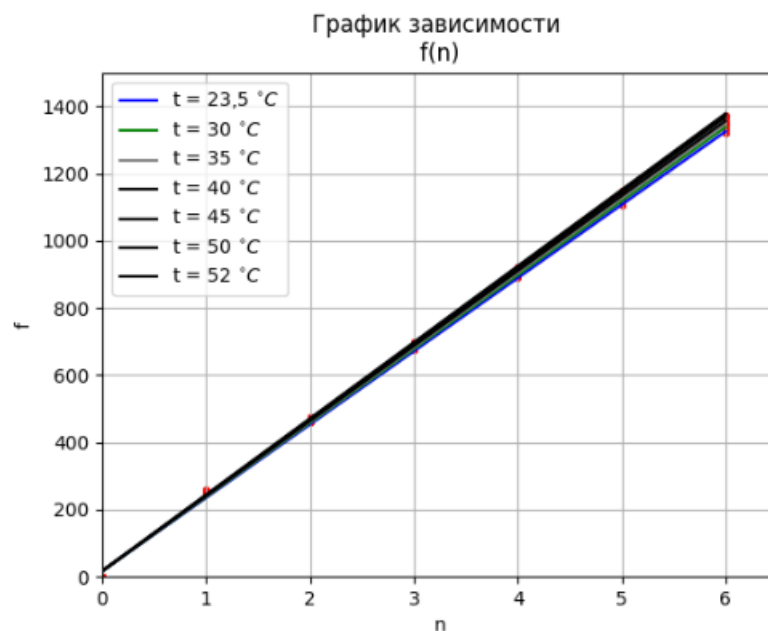
10. Начальные данные и погрешности: $L = 800 \pm 1$ мм

11. Для постоянной температуры будем изменять частоту звука (изменяя и длину волны) так, чтобы наблюдались резонансы. Для полученного резонанса будем отмечать частоту, при которой он возник. Данные занесем в таблицу.

$t, ^\circ C$	23,5	30	35	40	45	50	52
n	f_n , Гц						
1	200	202	203	205	206	207	209
2	450	454	457	460	463	466	467
3	660	666	670	675	680	684	686
4	874	882	888	894	901	906	908
5	1088	1099	1106	1114	1122	1129	1133
6	1305	1317	1327	1336	1346	1355	1358
7	1521	1536	1547	1558	1570	1579	1583

Таблица 5: Результаты измерений частоты

12. По полученным данным построим графика зависимости $f_n(n)$. Коэффициент наклона прямой – это величина $c/2L$. Выразим скорость звука и полученные данные занесем в таблицу.



$t, ^\circ C$	$c, \text{ м/с}$	$\sigma_c, \text{ м/с}$
23,5	348	1
30	352	1
35	353	1
40	356	1
45	360	1
50	362	1
52	362	1

Таблица 6: Скорость звука при различных температурах

13. Получим среднее значение скорости звука в воздухе $c = (355 \pm 2) \text{ м/с}$

14. Посчитаем коэффициент $\gamma = C_p/C_v$. $\gamma = \frac{\mu}{RT}c^2$

$$\gamma = 1,485 \pm 0,004$$

Обсуждение результатов: Проведя измерения на двух установках мы получили значения скорости звука для воздуха, которые практически совпадают и соответствуют табличному значению, полученная нами скорость звука в углекислом газе выше табличной, скорее всего это связано с попаданием воздуха в установку. Соответственно показатель адиабаты в случае с воздухом близок к табличному, а в случае с углекислым газом не соответствует действительности.

Выводы: В ходе данной работы мы измерили частоты колебаний и длины волны при резонансе звуковых колебаний в газе. Определили показатели адиабаты с помощью уравнения состояния идеального газа.