



Лабораторная работа №8

Физика (СПбГЭТУ ЛЭТИ)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Кафедра физики

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 8
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ЗВУКА В ВОЗДУХЕ»

Выполнил: Зверев Александр Александрович

Группа № 0283

Преподаватель: Попов Юрий Игоревич

Вопросы		Задачи ИДЗ					Даты коллоквиума	Итог

Санкт-Петербург, 2020

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Цель работы: определение скорости распространения звуковых колебаний в воздухе методом стоячих волн в резонаторе. Построение амплитудно-частотной характеристики резонатора и определение его добротности.

Приборы и принадлежности.

Установка акустического резонанса, электронный осциллограф, звуковой генератор.

Основные теоретические сведения.

Звуковые колебания в газе представляют собой периодическое чередование областей сжатия и разрежения, распространяющихся со скоростью, зависящей от его свойств. Газы, в отличие от твёрдых тел, не обладают сдвиговой жесткостью, поэтому в них возникают только продольные волны. В такой волне направление колебаний частиц среды происходит в направлении распространения волны. Если сжатие и разрежение газа происходит быстро, то области сжатия и разрежения в газе не успевают обмениваться теплом. Такой процесс распространения звука является адиабатическим; в этом случае скорость звука в газе рассчитывается по формуле

$$u = \left(\gamma p / \rho \right)^{1/2} \quad (1)$$

где $\gamma = C_p / C_v$ – показатель адиабаты, равный отношению теплоёмкостей газа в изобарном и изохорном процессах; p и ρ – давление и плотность газа. Соотношение (1) может быть преобразовано при использовании уравнения состояния идеального газа $pV = (m/\mu)RT$ к виду

$$u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – температура газа; μ – его молярная масса (для воздуха $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$ кг / моль). В более общем случае

политропного процесса распространения звука, его скорость $u = \sqrt{\frac{nRT}{\mu}}$, где n – показатель политропы (для изотермического процесса $n = 1$, для адиабатного $n = \gamma$). Политропный процесс – процесс с постоянной теплоемкостью c , которая может быть рассчитана по известному 48

показателю политропы $n = \frac{c - c_p}{c - c_v}$, где $C_v = iR/2$ и $C_p = C_v + R = (i+2)R/2$ соответствующие молярные теплоемкости воздуха, i – число степеней свободы молекул газа. Из последнего выражения для теплоемкости

политропического процесса получаем $c = c_v \left(\frac{n - \gamma}{n - 1} \right)$, где $\gamma = C_p/C_v = (i + 2)/i$ – показатель адиабаты. Воздух можно считать двухатомным газом, для которого $i = 5$ и $\gamma = 1.4$. Удобным методом измерения скорости звуковых волн в газе является метод, основанный на измерении длины волны λ бегущих звуковых волн, излучаемых источником. Если длина волны λ , определяемая как расстояние, проходимое волной за период колебаний, измерена экспериментально и известна частота ν возбуждаемых источником звуковых волн, то скорость бегущей волны

$$u = \lambda \nu \quad (3)$$

При интерференции двух встречных бегущих волн возникают стоячие звуковые волны, показанные на рис. 8.1. для различных моментов времени ($t_1 < t_2 < t_3 < t_4$).

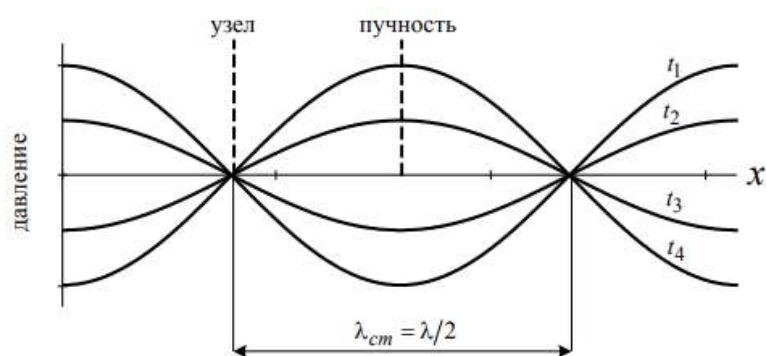


Рис. 8.1

В данной работе суммируются прямая волна от источника звука и волна, отразившаяся от торца резонатора. Точки стоячей волны, в которых амплитуда колебаний максимальна, называются пучностями стоячей волны, а точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю, называются узлами стоячей волны. Расстояние между соседними узлами или пучностями называют длиной стоячей волны $\lambda_{ст}$. Она равна половине длины волны λ интерферирующих встречных бегущих волн: $\lambda_{ст} = \lambda / 2$.

Явление резонанса, при котором возникает стоячая волна с максимальной амплитудой, наблюдается при совпадении частоты излучения источника звуковой волны и собственной частоты колебаний резонатора. В этом случае длина резонатора L_n , в котором устанавливается стоячая волна, равна целому числу длин стоячих волн или полужелому числу длин звуковых волн, излучаемых источником:

$$L_n = n\lambda_{ст} = n\lambda/2, n=1,2,3,\dots \quad (4)$$

Явление резонанса резко выражено в том случае, если затухание колебаний в волне мало. В используемом в работе резонаторе затухание колебаний обусловлено неполным отражением звуковых волн от торца (поршня) резонатора за счет их частичного поглощения и потерями на излучение волн из резонатора в окружающую среду. Характеристикой убыли энергии при затухании колебаний в волне служит добротность колебательной системы

$$Q = 2\pi W(t) / (W(t) - W(t+T))$$

Знаменатель представляет убыль энергии волны за период колебаний T , отсчитываемый от момента времени t . Можно показать, что

$$Q = \frac{\omega_0 \tau}{2} = \pi \nu_0 \tau$$

где $\omega_0 = 2\pi\nu_0$ – циклическая частота, τ – время затухания колебаний в волне.

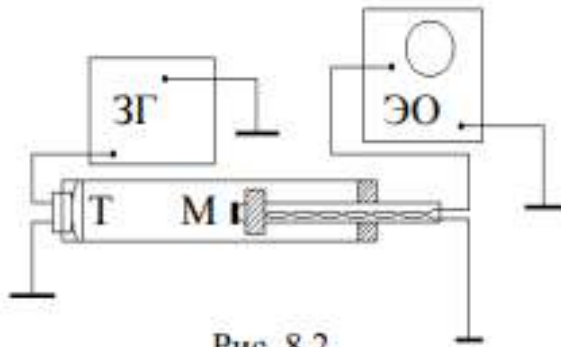
Свойства колебательной системы можно изучать как во временной, так и частотной областях. Во временной области исследуется зависимость уменьшения амплитуды и энергии колебаний волны во времени. В частотной области исследуется реакция (отклик) колебательной системы на внешнее (обычно гармоническое) воздействие. В этом случае исследуется зависимость амплитуды колебаний в системе (резонаторе) от частоты воздействующей на нее внешней периодической силы. Эта зависимость называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) системы. Для многих резонансных систем, в частности, и для используемого в работе резонатора, зависимость амплитуды колебаний в системе от частоты внешнего периодического воздействия (АЧХ системы) при не слишком больших отклонениях частоты относительно резонанса может быть аппроксимирована функцией Лоренца, которая имеет вид:

$$A_v = A_0 / \left(1 + \left((v - v_0) / \Delta v_0 \right)^2 \right)^{1/2}$$

и представляет собой симметричную колоколообразную кривую с четко выраженным максимумом. Здесь A_0 и ν_0 – максимальная амплитуда стоячей волны в резонаторе и частота излучения источника звуковых волн в максимуме АЧХ (т. е. при резонансе); $\Delta\nu_0$ – ширина резонансной кривой, которая определяется как разность двух частот ν_2 и ν_1 по обе стороны от резонансной частоты ν_0 , при которых амплитуда колебаний в резонаторе уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с амплитудой колебаний в максимуме

кривой: $A_n = A_0 / \sqrt{2}$. Тогда добротность резонатора по его АЧХ вычисляется по формуле:

$$Q = \frac{v_0}{\Delta v_0} = \frac{v_0}{v_2 - v_1}$$



Работа выполняется на установке, схема которой приведена на рис. 8.2. На одном конце кварцевой трубы находится телефон Т, являющийся источником звука. Телефон соединен со звуковым генератором ЗГ. Колебания мембраны телефона создают периодические

сгущения и разрежения в прилегающем к ней слое воздуха, возбуждая акустическую волну.

Внутри трубы перемещается поршень с вмонтированным в него приемником – микрофоном М. Микрофон принимает звуковые колебания, преобразует их в электрические и передает на вход У электронного осциллографа ЭО. На экране осциллографа возникает синусоидальный сигнал, амплитуда которого зависит от частоты колебаний источника звука и длины резонатора, которая изменяется за счет перемещения отражающего торца (поршня) резонатора, прикрепленного к подвижному стержню.

При выполнении условия (4) наступает резонанс, при котором амплитуда наблюдаемых колебаний максимальна. Настройка на резонанс может быть осуществлена либо изменением длины воздушного столба в трубе резонатора (перемещением поршня), либо изменением частоты колебаний генератора. В работе для определения длины звуковой волны, испускаемой источником, и скорости звука в воздухе используется первый способ, а для определения добротности резонатора – второй.

ПРОТОКОЛ НАБЛЮДЕНИЙ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Таблица 1.1 – запись однократно измеряемых в опыте величин.

$\nu_0, Гц$	$t, ^\circ C$	T, K	$\rho, Па$
1040	23	296	102391

Таблица 1.2 – определение скорости звука в воздухе.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_1, см$	17,5	17,4	17,6	17,6	17,4	17,4	17,4	17,3	17,5	17,4
$L_2, см$	34,2	34,1	34,2	34,1	34,1	34,0	34,2	34,2	34,3	34,2
$L_3, см$	50,4	50	50,6	50,3	50,3	50,4	50,2	50,3	50,4	50,4

Таблица 1.3 – построение АЧХ резонатора и определение его добротности.

i	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	θ
$\nu, Гц$	101	102	102	103	103	104	104	105	105	106	106	5
	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	
A_ν	0,32	0,38	0,42	0,57	0,63	0,65	0,62	0,58	0,42	0,36	0,32	0.01

Выполнил: Зверев Александр Александрович

Факультет: ФЭЛ

Группа № 0283

“ ”

Преподаватель: _____

Обработка результатов.

$$1. \bar{L}_n = \frac{\sum_{i=1}^N L_{ni}}{N}, \text{ при } N=10$$

$$\bar{L}_1 = 17,45 \text{ см}$$

$$\bar{L}_2 = 34,16 \text{ см}$$

$$\bar{L}_3 = 50,33 \text{ см}$$

Для каждого \bar{L}_i , рассчитаем СКО

$$S_{\bar{L}_n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{L}_n - L_{ni})^2}{N \cdot (N-1)}}$$

$$S_{\bar{L}_1} = 0,0213 \text{ см}$$

$$S_{\bar{L}_2} = 0,0184 \text{ см}$$

$$S_{\bar{L}_3} = 0,039 \text{ см}$$

Возьмем случайную погрешность $\Delta L_n = t_{p,N} \cdot S_{\bar{L}_n}$

$$t_{p,N} = 2,2, \text{ при } P=95\%, N=10$$

$$\Delta L_1 = 0,0469 \text{ см}$$

$$\Delta L_2 = 0,04 \text{ см}$$

$$\Delta L_3 = 0,075 \text{ см}$$

Найдем полную погрешность результата измерений

$$\Delta \bar{L}_n = \sqrt{\Delta L_n^2 + \theta_z^2}, \text{ где } \theta_z = 0,5 \text{ мм} = 0,05 \text{ см}$$

$$\Delta \bar{L}_1 = 0,068 \text{ см} \quad L_1 = 17,45 \pm 0,07 \text{ см}$$

$$\Delta \bar{L}_2 = 0,064 \text{ см} \quad L_2 = 34,16 \pm 0,07 \text{ см}$$

$$\Delta \bar{L}_3 = 0,09 \text{ см} \quad L_3 = 50,33 \pm 0,09 \text{ см}$$

Выводим

Рассчитаем значение приборной погрешности скорости
через частные производные от выражения $u_n = \frac{2\bar{L}_n \cdot \bar{V}_0}{n}$

$$\frac{\partial u_n}{\partial \bar{L}_n} = \frac{2\bar{V}_0}{n} \quad \frac{\partial u_n}{\partial \bar{V}_0} = \frac{2\bar{L}_n}{n}$$

$$\sigma_{u_n} = \sqrt{\left(\frac{2\bar{V}_0}{n} \cdot \sigma_{\bar{L}_n}\right)^2 + \left(\frac{2\bar{L}_n}{n} \cdot \sigma_{\bar{V}_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 1040}{3} \cdot 0,005\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot 0,05033}{3} \cdot 5\right)^2} = 3,5 \text{ м/с}$$

Для каждого из \bar{L}_n найдем u_n по формуле

$$u_n = \lambda_n = \bar{V}_0 = \frac{2\bar{L}_n \cdot \bar{V}_0}{n}$$

$$u_1 = 362,96 \text{ м/с}$$

$$u_2 = 355,26 \text{ м/с}$$

$$u_3 = 348,95 \text{ м/с}$$

По выборке объема $n = 3$ рассчитаем среднее значение скорости:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} = 355,72 \text{ м/с}$$

Рассчитаем СКО среднего

$$S_{\bar{u}} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{u} - u_i)^2}{n}} = 4,05 \text{ м/с}$$

Расчет случайной погрешности

$$\Delta u = S_{\bar{u}} \cdot t_{p,n}$$

$$t_{p,n} = 3,2, \text{ при } P = 95\%, N = 3$$

$$\Delta u = 12,96 \text{ м/с}$$

Вычислим полную доверительную погрешность:

3

$$\Delta \bar{u} = \sqrt{\Delta u^2 + \sigma_{u_n}^2} = 13,42 \text{ м/с}$$

Запишем результат в станд. форме.

$$u = 356 \pm 13 \text{ м/с}$$

Определим показатель политропы:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{nRT}{M}} \quad M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$\bar{u}_2 = \frac{nRT}{M} \quad n = \frac{\bar{u}^2 \cdot M}{RT} = 1,49$$

Рассчитаем теплоемкость:

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

$$C_p = (i + 2) \frac{R}{2}$$

$$C_v = i \cdot \frac{R}{2}$$

$$C - C_p = nC - nC_v$$

$$C - nC = C_p + nC_v$$

$$C(1-n) = C_p + nC_v$$

$$C = \left| \frac{C_p + n \cdot C_v}{(1-n)} \right| = 122,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Рассчитаем плотность воздуха

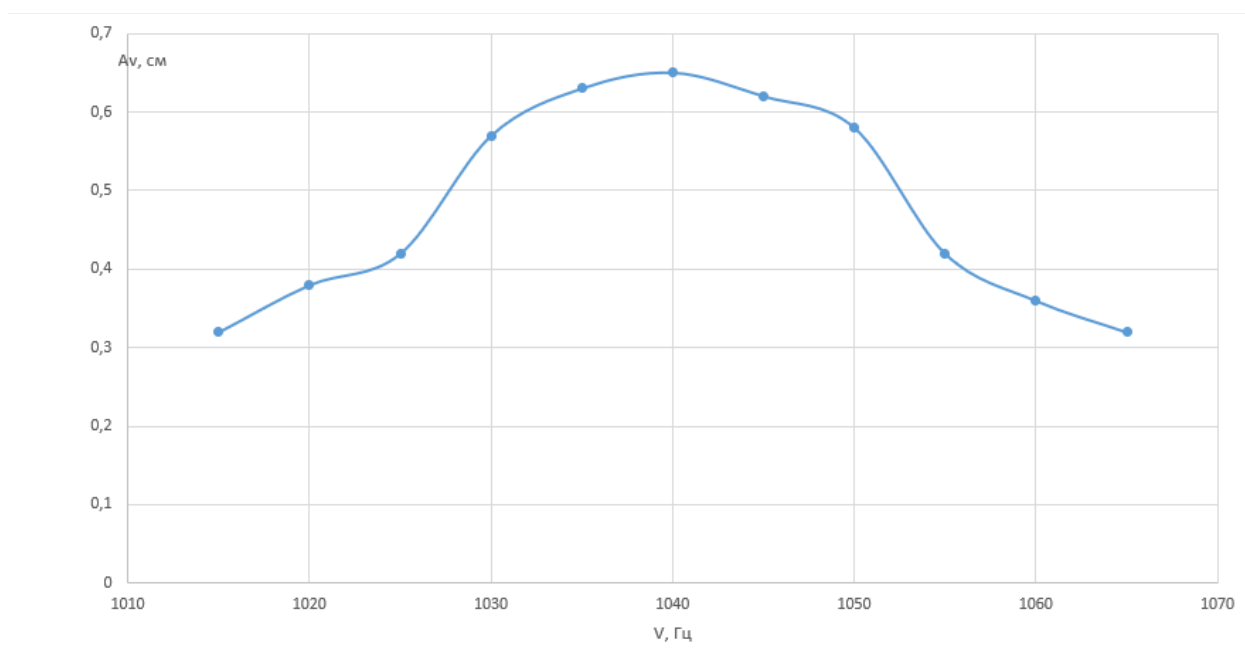
$$p = \left(\frac{p}{M} \right) RT$$

$$\rho = \frac{p \cdot M}{RT} = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{A_0}{\sqrt{2}} = 0,46 \text{ см}$$

$$\Delta V_0 = 26,5 \text{ Гг.}$$

$$Q = \frac{J_0}{\Delta V_0} = \frac{1040}{26,5} = 39,2$$



Вывод.

В данной лабораторной работе мы научились находить резонансы. Вычислять приборную погрешность. Так же по экспериментально полученному значению скорости звука, определять показатель политропного процесса и его теплоёмкость. По вычисленной плотности воздуха (1.21 кг/м^3) и с табличным 1.29 кг/м^3 , можно сказать, что плотность воздуха определена практически, верно. Погрешность вычисления 0.08 кг/м^3 . Так же построили резонансную кривую (АЧХ резонатора) и определили её ширину. Была определена добротность резонатора.