

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кафедра «Физика»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ВОЗДУХА ПО СКОРОСТИ ЗВУКА

Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторной работы
по физике

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 536
ББК 22.36
О-62

Р е ц е н з е н т:

А.А. Ярошенко – профессор кафедры «Высшая математика»,
доктор. физ.-мат. наук, профессор

Ответственный за выпуск:

Е.В. Савченко – канд. пед. наук, доцент кафедры «Физика»

Составители: В.А. Лисютин, Н.В. Петренко

О-62 Определение показателя адиабаты воздуха по скорости звука :
учебно-методическое пособие для выполнения лабораторной работы по
физике / Сост. В.А. Лисютин, Н.В. Петренко ; Министерство науки и
высшего образования РФ, ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», Институт радиоэлектроники и
информационной безопасности. – Севастополь : СевГУ, 2020. – 7 с. –
Текст : электронный.

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторной работы раздела "Молекулярная физика и термодинамика" курса общей физики. В пособии дано описание лабораторных установок, краткий ход работы, методика обработки полученных результатов, контрольные вопросы. Пособие предназначено для выполнения лабораторных работ студентами 1-го курса всех специальностей и форм обучения инженерного профиля университета.

УДК 536
ББК 22.36

Рассмотрено и утверждено на заседании ученого совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности Севастопольского государственного университета в качестве учебно-методического пособия, протокол № 6 от 31 января 2020 г.

Изд. № 29/2020. Объем 0,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ АДИАБАТЫ ВОЗДУХА ПО СКОРОСТИ ЗВУКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Измерение скорости звука в воздухе методом стоячих волн.
2. Определение $\frac{C_p}{C_v}$ для воздуха по скорости звука.

2. БИБЛИОГРАФИЯ

1. Савельев И.В. Курс физики. Учеб. пособие для студентов вузов. - [В 3-х т.]. - Т.1: Механика. Молекулярная физика. - М.: Наука, 1989. - 350 с.
2. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. - М.: Высш. шк., 1971. - 448 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высш. шк., 1998. - 542 с.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ

При распространении упругих волн в газовой среде вследствие сжатий и разрежений происходит изменение температуры различных участков. Для волн высокой частоты температура отдельных участков не успевает выравниваться за время одного колебания, т. е. теплообмен между областями сжатия и расширения практически отсутствует и процесс распространения звуковых волн можно считать адиабатическим. Поэтому величина скорости звука оказывается зависящей от отношения теплоемкостей $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ и измерение скорости звука является одним из точнейших способов определения величины γ .

Фазовая скорость продольной плоской синусоидальной волны в однородной газовой среде определяется по формуле

$$V = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

где ρ – плотность среды, K – модуль объемной упругости среды.

Модуль объемной упругости K газа зависит от вида термодинамического процесса, его объемной деформации (сжатия-расширения).

$K_{из} = P$, $K_{ад} = \gamma P$. Соответственно скорость упругих волн в идеальном газе зависит от их частоты. При малой частоте процесс деформации газа близок к изотермическому и скорость волн равна

$$V = V_{из} = \sqrt{\frac{K_{из}}{\rho}} = \sqrt{\frac{RT}{\mu}} \quad (1)$$

и при большой частоте процесс близок к адиабатному и скорость волны может быть представлена в виде

$$V = V_{ад} = \sqrt{\frac{K_{ад}}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}, \quad (2)$$

где μ – молярная масса газа, T – абсолютная температура, R – универсальная газовая постоянная. Отсюда

$$\gamma = \frac{V^2 \mu}{RT}. \quad (3)$$

Таким образом, определение γ для воздуха сводится к измерению скорости звука и абсолютной температуры воздуха.

В данной работе скорость звука определяется методом стоячих волн. Стоячая волна образуется в результате наложения двух бегущих синусоидальных волн, которые распространяются навстречу друг другу и имеют одинаковые частоты и амплитуды.

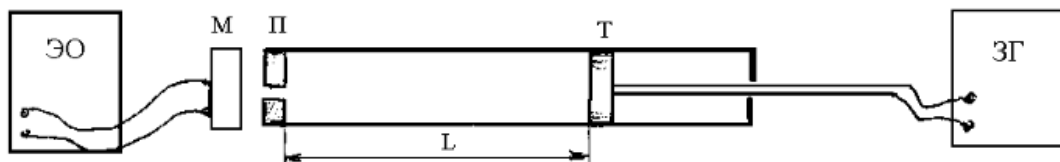


Рис. 1. Установка для измерения скорости звука

Установка для измерения скорости звука (рис. 1) состоит из стеклянной трубы, на одном конце которой помещен источник звука – телефон Т, другой конец закрыт плотной пластинкой П с отверстием, против которого помещается микрофон М. Колебания мембраны телефона возбуждаются переменным током звуковой частоты от звукового генератора ЗГ. Возникающий в микрофоне электрический сигнал подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографа ЭО. Возбуждаемая мембраной телефона Т звуковая волна, отражается от пластины П и интерферирует с «прямой» волной, идущей от телефона. Интенсивность суммарной звуковой волны зависит от расстояния L между пластиной П и телефоном Т, а также от частоты ν звуковых колебаний. Если расстояние равно целому числу полуволен звука

$$L = n \frac{\lambda}{2} = n \frac{v}{2\nu}, \quad (4)$$

где n – целое число, V – скорость звука, то в трубе устанавливается интенсивная стоячая волна – наступает звуковой резонанс.

Наблюдая возникновение резонанса, можно определить скорость звука. Изменяя расстояние L находят такое положение телефона Т, при котором на экране осциллографа происходит резкое увеличение амплитуды колебаний (звуковой резонанс), фиксируют положение L_n телефона по шкале, нанесенной на поверхности трубы.

Перемещая телефон Т ближе к торцу трубы (или, наоборот, дальше) находят ряд последовательных резонансов, каждый раз фиксируя положение телефона

$$L_n, L_{n+1}, L_{n+2}, \dots,$$

причем,

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

Используя формулу для скорости звуковой волны

$$V = \lambda \nu$$

и соотношение $\lambda = \frac{L_n}{n}$, получаем выражение для скорости звука

$$\lambda = \frac{L_n \nu}{n}.$$

Число n исключается измерением двух последовательных состояний колеблющейся системы, при которых устанавливаются стоячие волны

$$V = \frac{2\nu L_n}{n} = \frac{2\nu L_{n+1}}{n+1}, \text{ откуда } n = \frac{L_n}{L_{n+1} - L_n}.$$

Окончательное выражение для определения скорости звука

$$V = 2\nu(L_{n+1} - L_n).$$

4. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Труба с микрофоном на конце и перемещающимся телефоном в ней.
2. Генератор звуковых колебаний.
3. Осциллограф.
4. Линейка.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить осциллограф и звуковой генератор в сеть переменного тока. Исходя из примерного значения скорости звука 300 м/с рассчитать, в каком диапазоне частот следует вести измерения, чтобы изменения расстояния L_n на $\lambda/2$ были удобны для измерений.

2. Подобрать амплитуду колебаний на ЗГ и усиление на осциллографе так, чтобы на экране наблюдались колебания достаточной амплитуды. Остановить картину на осциллографе, подбирая частоту развертки.

3. При неизменной частоте генератора ЗГ произвести измерения двух последовательных расстояний L_n и L_{n+1} между пластиной П и телефоном Т, соответствующих резкому увеличению амплитуды электрических колебаний, наблюдаемых на экране осциллографа. Измерения произвести не менее 7 раз по всей длине трубки. Измеренные пары значений L_n и L_{n+1} занести в табл. 1.

4. Повторить все измерения пункта 3 для трех различных частот звуковой волны в диапазоне 1500...2000 Гц.

5. По формулам (6) и (3) вычислить скорость звука и показатель адиабаты для каждого случая. При этом за температуру воздуха принять комнатную температуру в лаборатории. Молекулярную массу воздуха находят из его плотности при температуре 0 °С и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па ($\rho = 1,2929$ кг/м³, $R = 8,31$ Дж/моль·К).

6. Определить среднюю квадратичную погрешность результата серии измерений показателя адиабаты воздуха

$$\Delta S_\gamma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \gamma_i)^2}{n(n-1)}}$$

и вычислить величину доверительного интервала $\Delta \gamma$ (абсолютную погрешность) при заданной преподавателем надежности α

$$\Delta \gamma = t_\alpha(n) \cdot \Delta S_\gamma.$$

7. Оценить относительную погрешность определения показателя адиабаты воздуха

$$\varepsilon = \frac{\Delta \gamma}{\gamma} \cdot 100 \, \%.$$

8. Окончательный результат записать в виде

$$\gamma = \gamma_{\text{ср}} + \Delta \gamma$$

9. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 1.

№	N, Гц	L _n , м	L _{n+1} , м	V, м/с	T, К	γ	$t_{\alpha}(n)$	$\Delta\gamma$	ε, %
1									
...									
...									
7									
Среднее значение									

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под уравнением волны?
2. От чего зависит фазовая скорость волны в упругой среде?
3. Чем принципиально отличается бегущая волна от стоячей?
4. Объясните возникновение стоячих волн.
5. Что называется теплоемкостью газа, удельной теплоемкостью, молярной теплоемкостью?
6. Почему теплоемкость газа при постоянном объеме C_v не равна теплоемкости газа при постоянном давлении C_p ?
7. Какой процесс называется адиабатическим, изотермическим, изохорическим, изобарическим?

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
АДИАБАТЫ ВОЗДУХА
ПО СКОРОСТИ ЗВУКА**

Учебно-методическое пособие

Составители: **Лисютин** Виктор Александрович,
Петренко Наталия Владимировна

В авторской редакции

Изд. № 29/2020. Объем 0,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»