

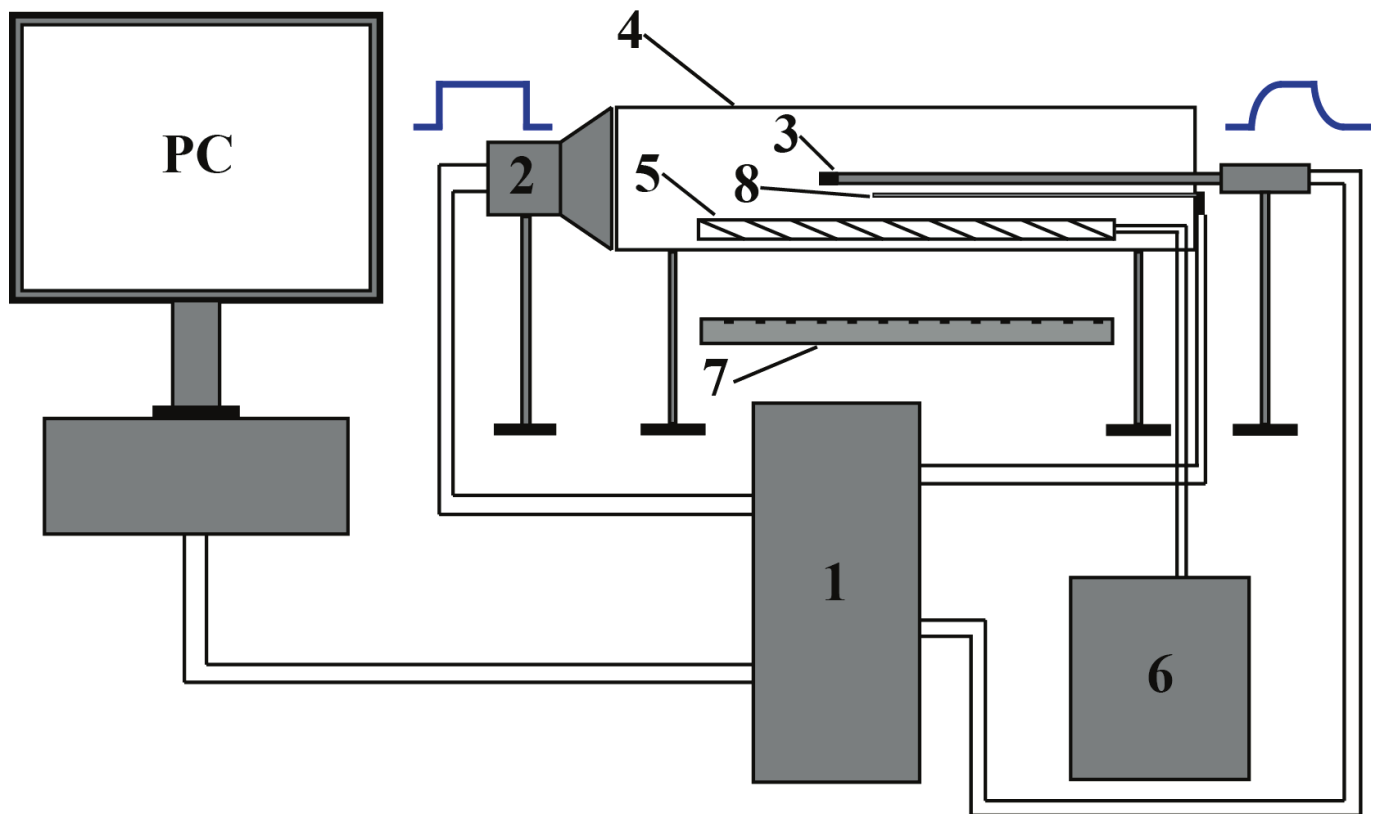
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Поляков Даниил, Б23-ФЗ

Цель работы: определение скорости звука в воздухе методом «динамика и микрофона», изучение зависимости скорости звука от температуры.

Схема установки и оборудование:



- 1) Блок преобразования электрических сигналов;
- 2) Динамик;
- 3) Микрофон;
- 4) Трубка, в которой распространяется звуковая волна;
- 5) Нагреватель воздуха в трубке;
- 6) Блок питания нагревателя воздуха;
- 7) Линейка;
- 8) Термопара для измерения температуры воздуха в трубке;
- Компьютер с ПО CASSY Lab.

Расчётные формулы:

- Скорость звука:

$$c = \frac{S + \Delta S}{\Delta t}$$

S – измеренное расстояние между динамиком и микрофоном;

ΔS – поправка на неопределённость положения источника звука;

Δt – время между отправкой и приёмом звукового сигнала.

- Поправка на положение источника звука:

$$\Delta S = \frac{S_2 \Delta t_1 - S_1 \Delta t_2}{\Delta t_2 - \Delta t_1}$$

S_1 – измеренное расстояние между динамиком и микрофоном в 1-ом положении;

S_2 – измеренное расстояние между динамиком и микрофоном во 2-ом положении;

Δt_1 – время между отправкой и приёмом звукового сигнала в 1-ом положении;

Δt_2 – время между отправкой и приёмом звукового сигнала во 2-ом положении.

- Теоретическая зависимость скорости звука от температуры:

$$c\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right) = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} = 331.4 \cdot \sqrt{1 + \frac{\theta(^{\circ}\text{C})}{273.2}}$$

θ – температура воздуха в $^{\circ}\text{C}$;

T – температура воздуха в $^{\circ}\text{K}$;

R – газовая постоянная;

γ – показатель адиабаты;

μ – молярная масса воздуха.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Стандартное отклонение измеряемой величины:

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (\bar{F} - F_i)^2}$$

- Относительная погрешность косвенных измерений:

$$\frac{\Delta(\Delta S)}{\Delta S} = \sqrt{\left(\frac{S_2 \sigma_{\Delta t_1}}{S_2 \Delta t_1 - S_1 \Delta t_2}\right)^2 + \left(\frac{S_1 \sigma_{\Delta t_2}}{S_2 \Delta t_1 - S_1 \Delta t_2}\right)^2 + \frac{\sigma_{S_1}^2 (\overline{\Delta t_2^2} + \overline{\Delta t_1^2})}{(S_2 \Delta t_1 - S_1 \Delta t_2)^2} + \frac{(\sigma_{\Delta t_2}^2 + \sigma_{\Delta t_1}^2)}{(\Delta t_2 - \Delta t_1)^2}};$$

$$\frac{\Delta c}{c} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta t_2}}{\Delta t_2}\right)^2 + \frac{(\Delta(\Delta S))^2 + \sigma_{S_2}^2}{(S_2 + \Delta S)^2}};$$

Методика измерений

1. Запустим ПО CASSY Lab и установку. Расположим микрофон на расстоянии до динамика, примерно равном S_1 , измеренном линейкой. Проведём серию из 5 измерений времени Δt_1 между отправкой и приёмом звукового сигнала в установке. Переместим микрофон на расстояние S_2 и аналогично измерим Δt_2 . Вычислим поправку ΔS .
2. Определим зависимость скорости звука от температуры. Зафиксируем положение микрофона и измерим Δt при начальной температуре θ . Включим нагреватель воздуха в трубке. Постепенно увеличивая температуру трубки, будем снимать соответствующие значения времени Δt и температуры θ . После того, как температура воздуха в трубке достигнет 60 °С, выключим нагреватель и повторим измерения в обратном направлении, при остывании воздуха.

Таблицы и обработка данных

Коэффициенты наклона графиков (и их погрешности) прямых зависимостей найдём по методу наименьших квадратов.

Погрешность расстояний, измеренных линейкой, примем равной половине цены деления: $\sigma_S = 0.05$ см.

1. Определение поправки

Таблица 1. Результаты исследования зависимости $\Delta t(S)$

№	$S \pm \sigma_S$, см	Δt , мс	$\overline{\Delta t} \pm \sigma_{\Delta t}$, мс
1	20 ± 0.05	0.4987	0.49876 ± 0.00013
		0.4987	
		0.4987	
		0.4987	
		0.4990	
2	40 ± 0.05	1.0945	1.09478 ± 0.00018
		1.0948	
		1.0948	
		1.0950	
		1.0948	

Вычислим поправку ΔS и её погрешность:

$$\overline{\Delta S} = -3.26 \pm 0.10 \text{ см}$$

Теперь можно найти значение скорости звука. Измерения проводились при температуре $\theta = 22.4$ °С. При расчёте будем использовать результаты при $S = 40$ см.

$$c = 33.56 \pm 0.10 \frac{\text{см}}{\text{мс}} = 335.6 \pm 1.0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Исследование зависимости скорости звука от температуры

Зафиксируем положение микрофона в положении S_2 . При этом реальное расстояние от источника звука до приёмника равно $S = S_2 + \overline{\Delta S} = 36.74 \pm 0.11$ см.

Таблица 2. Результаты исследования зависимости $c(\theta)$

№	$\theta, ^\circ\text{C}$	$t, \text{мс}$	$c_{\text{э}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$c_{\text{т}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\frac{c_{\text{э}} - c_{\text{т}}}{c_{\text{т}}}, \%$
1	22.2	1.0905	336.9	344.6	-2.24
2	25.0	1.0885	337.5	346.2	-2.52
3	30.1	1.0810	339.8	349.2	-2.68
4	32.5	1.0792	340.4	350.6	-2.90
5	35.1	1.0783	340.7	352.0	-3.23
6	37.5	1.0770	341.1	353.4	-3.48
7	40.0	1.0763	341.3	354.8	-3.81
8	42.6	1.0742	342.0	356.3	-4.02
9	45.0	1.0730	342.4	357.7	-4.27
10	47.4	1.0713	342.9	359.0	-4.48
11	50.0	1.0653	344.8	360.5	-4.33
12	52.5	1.0628	345.7	361.8	-4.47
13	55.1	1.0598	346.6	363.3	-4.58
14	57.5	1.0573	347.5	364.6	-4.71
15	60.0	1.0555	348.0	366.0	-4.90
16	56.9	1.0590	346.9	364.3	-4.77
17	54.9	1.0613	346.1	363.2	-4.69
18	52.5	1.0628	345.7	361.8	-4.47
19	49.9	1.0643	345.2	360.4	-4.23
20	47.5	1.0665	344.5	359.1	-4.07
21	45.0	1.068	344.0	357.7	-3.82
22	42.4	1.0695	343.5	356.2	-3.57
23	39.9	1.0712	342.9	354.8	-3.33
24	37.5	1.0730	342.4	353.4	-3.12
25	35.0	1.0750	341.7	352.0	-2.91
26	32.2	1.0773	341.0	350.4	-2.68
27	29.7	1.0800	340.2	348.9	-2.52
28	27.5	1.0835	339.1	347.7	-2.48

Здесь в таблице $c_{\text{э}}$ – экспериментально полученная скорость звука, $c_{\text{т}}$ – вычисленная по формуле (теоретическая) скорость звука.

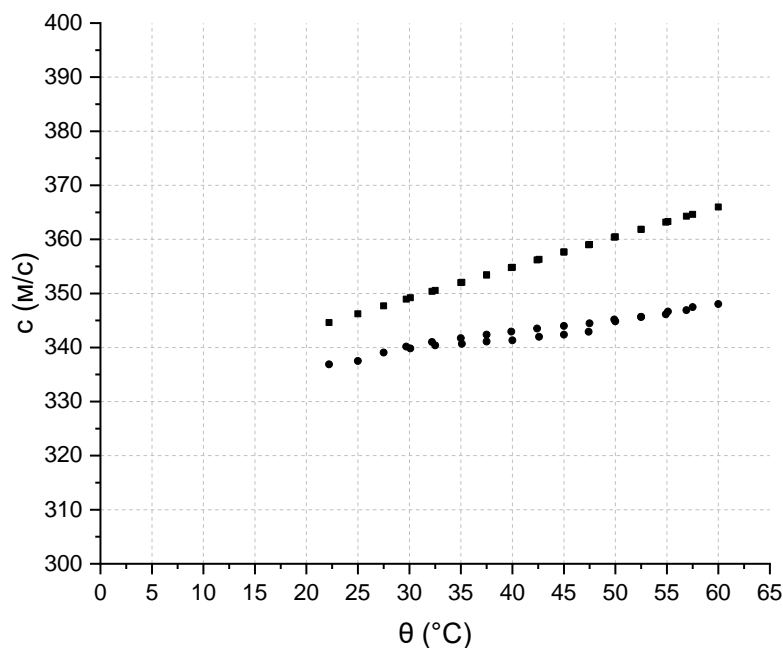


График 2.1. Зависимость экспериментально полученной скорости звука $c_{\text{э}}$ (•) и теоретически вычисленной $c_{\text{т}}$ (▪) от температуры воздуха θ

Полученные графики напоминают прямые, что связано с коротким диапазоном изменения температуры.

Теперь изобразим графики линеаризованных зависимостей $c_{\text{э}}^2(\theta)$ и $c_{\text{т}}^2(\theta)$:

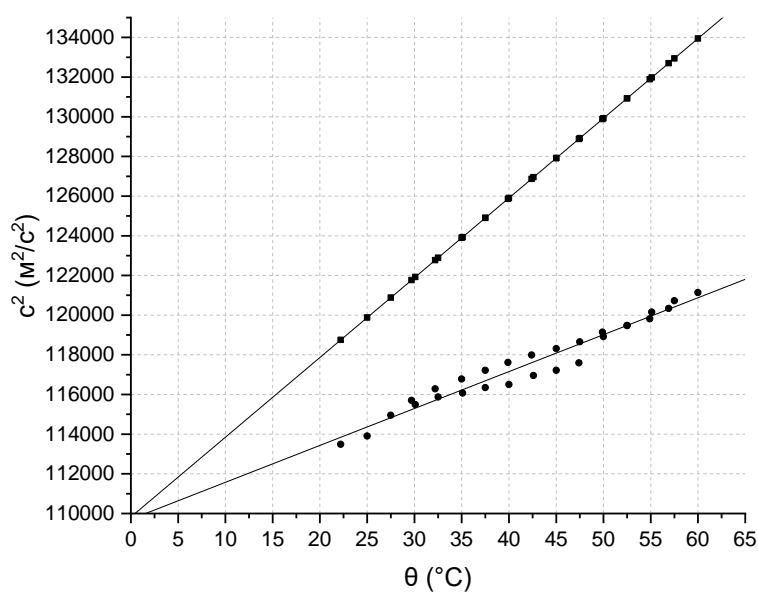


График 2.2. Зависимость квадратов экспериментально полученной скорости звука $c_{\text{э}}^2$ (•) и теоретически вычисленной $c_{\text{т}}^2$ (▪) от температуры воздуха θ

Коэффициенты наклона графиков:

$$\alpha_{\text{э}} = \frac{\gamma R}{\mu} = 186 \pm 8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{\gamma R}{\mu} = 401.87 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Выводы

В результате эксперимента была получена скорость звука в воздухе при нормальных условиях и температуре $\theta = 22.4\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c = 335.6 \pm 1.0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Это значение совпадает с теоретическим.

При исследовании зависимости скорости звука от температуры, были получены значения скорости, близкие к теоретическим. Однако, процентное отклонение было не постоянным – оно увеличивалось с увеличением температуры, вплоть до 4.9% при $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. После линеаризации графиков $c(\theta)$ можно наблюдать большую разницу экспериментально и теоретически полученных коэффициентов наклона:

$$\alpha_{\text{э}} = \frac{\gamma R}{\mu} = 186 \pm 8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$\alpha_{\text{т}} = \frac{\gamma R}{\mu} = 401.87 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Теоретически коэффициент вычисляется как $\alpha = \frac{\gamma R}{\mu}$. Вряд ли свойства воздуха в комнате, где проводилась лабораторная работа, так сильно отличаются от средних. Скорее всего это различие связано с неправильной калибровкой экспериментальной установки или термопары, но также может быть связано с малым диапазоном рассмотренных температур. Также мы не учитывали уменьшение показателя адиабаты с ростом температуры, но оно очень мало изменяется в нашем диапазоне температур. Несмотря на это, экспериментально полученные значения скорости звука достаточно близки к теоретическим в том диапазоне температур, в котором проводились измерения.