

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа

Измерение скорости звука в воздухе

Выполнили:

Федоров Марк - экспериментатор

Черней Кирилл - руководитель

Иван Потылицын- программист от бога

Ерёмин Константин - программист

Долгопрудный, 2022

Оглавление

1. Введение.....	3
1.1. Цели	3
1.2. Задачи	3
2. Теория.....	3
2.1. Термины и определения.....	3
2.2. Физическая система	4
2.3. Экспериментальная установка	5
3. Программа и методика измерений	5
3.1. Методика измерений	5
3.2. Программа эксперимента	5
4. Обработка данных.....	6
4.1. Методика обработки данных.....	6
4.2. Методика нахождения концентрации CO ₂	6
5. Код программы.....	7
5.1. Скрипт эксперимента.....	7
5.1.1. Скрипт обработки данных	7
5.2. Функции	8
6. Эксперимент	8
6.1. Экспериментальные точки на аналитическом графике	10
7. Результаты.....	11
8. Итоги лабораторной работы.....	11

1. Введение

1.1. Цели

Определить концентрацию углекислого газа в выдыхаемом человеком воздухе, при помощи расчетов и измерений скорости звука с использованием элементов программирования, графического пакета и компьютерного осциллографа.

1.2. Задачи

1. Измерить скорость звука в обычном воздухе и в воздухе, выдыхаемом из лёгких
2. Получить аналитическую зависимость концентрации углекислого газа от скорости звука.
3. Рассчитать концентрацию углекислого газа в обычном воздухе и в воздухе, выдыхаемом из лёгких.
4. Построить график зависимости скорости звука от концентрации углекислого газа.

2. Теория

2.1. Термины и определения

Скорость распространения малых возмущений в среде называется скоростью звука. Выражение для скорости звука не может быть получено из элементарных соображений и требует решения уравнений сохранения массы, импульса и энергии совместно с уравнением состояния среды, для которой делается расчет. Чтобы не загружать описание лабораторной работы приведем конечный вид уравнения, получаемого в приближении идеального газа:

$$a^2 = \frac{\gamma P}{\rho} = \frac{\gamma RT}{\mu} \quad (1)$$

где a — скорость звука, γ — показатель адиабаты, μ — молекулярная масса, R — универсальная газовая постоянная 8.314 Дж/град, T — температура.

2.2. Физическая система

Воздух удобно представить как смесь трех газов (по объему: азот – 78.1%, кислород – 21%, аргон – 0.9%) с добавками паров воды и углекислого газа. Количество паров воды при комнатных условиях близко к 1%, количество углекислого газа сильно зависит от конкретных условий, но, как правило, не превышает 1% по объему, а в стандартной атмосфере принимается равным 0.03%.

Химический состав осушённого воздуха

Вещество	Обозначение	По объёму, %	По массе, %
Азот	N ₂	78,084	75,5
Кислород	O ₂	20,946	23,15
Аргон	Ar	0,934	1,292
Углекислый газ	CO ₂	0,03	0,046
Неон	Ne	0,001818	0,0014
Криптон	Kr	0,000114	0,003
Метан	CH ₄	0,0002	0,000084
Гелий	He	0,000524	0,000073
Водород	H ₂	0,0005	0,00008
Ксенон	Xe	0,0000087	0,00004

Поскольку в данной работе предлагается достаточно точное определение скорости звука, будем учитывать азот, кислород, аргон и углекислый газ при расчете по формуле(1), считая N₂-O₂-Ar как один газ, также в комнате газ имеет определённую влажность, то есть помимо всех газов из таблицы, в составе присутствует вода. Важным замечанием для нас является то, что

отношение долей газов из таблицы википедии сохранится. Поэтому справедливы следующие формулы:

X_{H_2O} - Доля водяного пара

$$X_{H_2O} = P_{н.п} \cdot \varphi / P_{атм} \quad (2)$$

$P_{атм}$ — атмосферное давление

$$X_j = (1 - X_{H_2O}) X_{j(сухого)} \quad (3)$$

X_j - искомая доля некоторого элемента

$X_{j(сухого)}$ - берется из таблицы

Показатель адиабаты для смеси газов рассчитывается следующим образом:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\sum_i \mu_i C_{pi} x_i}{\sum_i \mu_i C_{vi} x_i} \quad (4)$$

Молекулярная масса (μ):

$$\mu = \sum_i \mu_i x_i \quad (5)$$

где x_i – объёмная (мольная) доля или относительное число молекул данного сорта (сорта под номером i). Разумеется, обязательно должно выполняться равенство:

$$\sum_i x_i = 1$$

При анализе свойств комнатного воздуха можно ограничиться учетом следующих компонент: *смесь (N_2 , O_2 , Ar), H_2O и CO_2* .

В таблице 1 приведены C_p и C_v , для этих газов:

Таблица 1

газ	, г	$C_p(20^\circ C)$	$C_v(20^\circ C)$
N_2+O_2+Ar	28,97	1,0036	0,7166
H_2O	18,01	1,863	1,403
CO_2	44,01	0,838	0,249

Смесь N_2 , O_2 , Ar в пропорции, соответствующей воздуху, можно учитывать как один газ, а H_2O и CO_2 прибавляются к этой смеси.

2.3. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из квадратной толстостенной металлической трубки и регистрирующей аппаратуры (два датчика и плата с микроконтроллером).

Акустическая волна создается хлопком в ладоши.

Преобразование волн давления в электрический сигнал осуществляется двумя микрофонами, расстояние между которыми 1158 мм.

3. План и методика измерений

3.1. Методика измерений

Хлопок создаёт в трубке звуковую волну, которая фиксируется двумя датчиками, расположенными на расстоянии друг от друга. С помощью АЦП звуковой сигнал преобразуется в цифровой, далее с помощью малинки строится график, и определяется время между пиками сигнала с первого и второго датчиков. Зная расстояние между датчиками, можно найти скорость звука. Потом, используя формулы

3.2. План эксперимента(описание)

- 1 . Подготовить и настроить малинку и плату с микроконтроллером(позвать Потылицына)
- 2 . При помощи термогигрометра измерить температуру и относительную влажность
- 3 . Измерение скорости звука в воздухе
 - 3.1 . Хлопнуть в ладоши у первого конца трубки
 - 3.2 . Сохранить полученные данные для дальнейшей работы с ними
- 4 . Измерение скорости звука в в воздухе, выдыхаемом из лёгких
 - 4.1 . Закрыть первый конец трубки магнитом
 - 4.2 . Выдохнуть воздух из лёгких через трубку от кальяна в установку
 - 4.3 . Освободить первый конец трубки от магнита
 - 4.4 . Произвести хлопок у первого конца трубки
 - 4.5 . Сохранить полученные данные для дальнейшей работы с ними

4. Обработка данных

4.1. Методика обработки данных и нахождение концентрации CO₂

Отталкиваясь от подобия полученных графиков приводим их к одинаковой амплитуде и совмещаем параллельным переносом. Полученное смещение - это и есть время за которое звук проходит расстояние от первого до второго датчика. Зная расстояние и время, мы находим

скорость. Зная скорость, имея формулы 1-5 находим концентрации, учитывая все нюансы. С помощью функций библиотек `numpy` и `matplotlib` строится график зависимости скорости звука при концентрации углекислого газа от 0% до 5%.

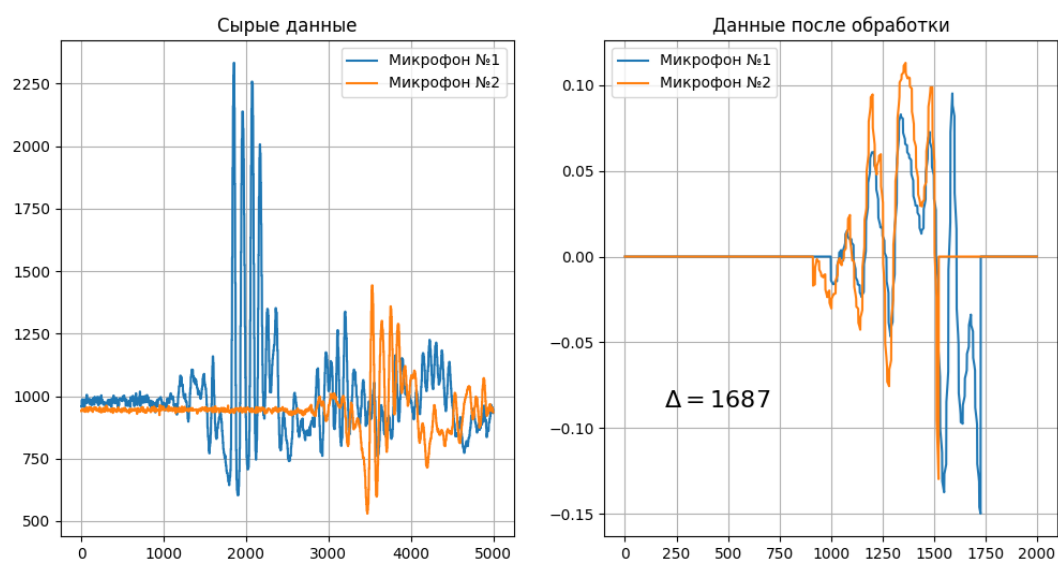


Рис. 1 Графики

5. Эксперимент

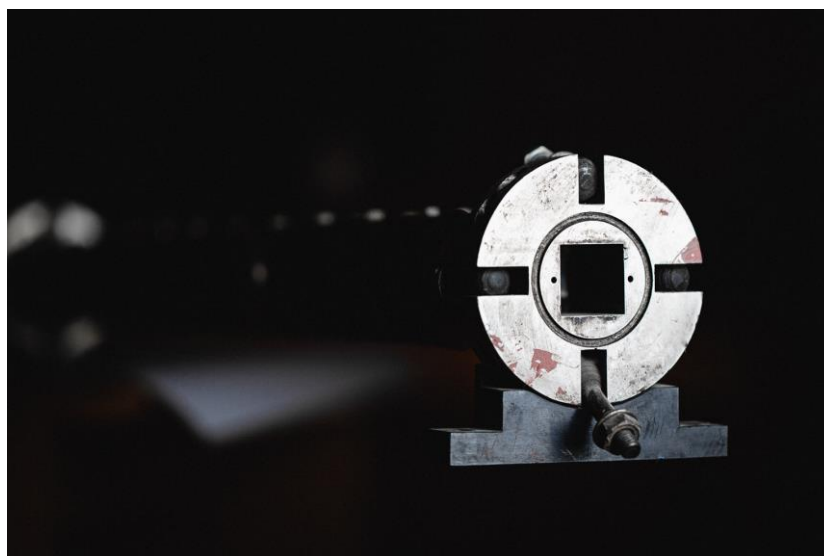


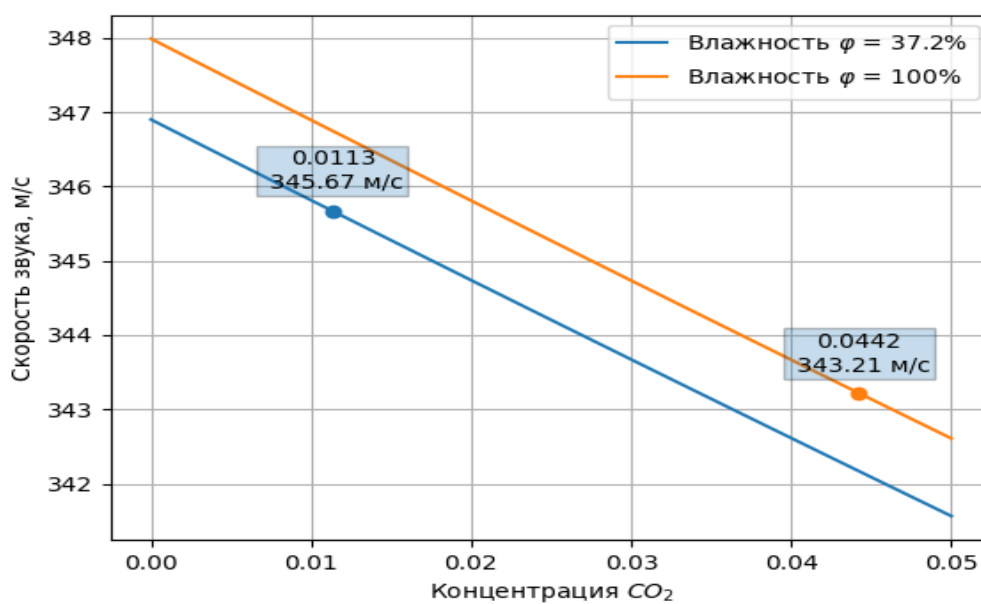
Рис. 2 Установка



Рис. 3 — Трубка от кальяна

создаем возмущение, ударив в ладоши, тем самым запуская процесс измерения. См фото установки

5.1. Экспериментальные точки на аналитическом графике



6. Результаты

Скорость звука до выдоха **345.67** м/с

Скорость звука после выдоха **343.21** м/с

Полученное значение концентрации углекислого газа в воздухе — **1.15%**.

Полученное значение концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе — **4.42%**.

7. Итоги лабораторной работы

В ходе лабораторной работе с помощью измерений скорости звука в обычном воздухе и в выдыхаемом человеком воздухе углекислого газа были найдены концентрация углекислого газа и зависимость скорости звука от концентрации углекислого газа в каждом случае.