

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение зависимости времени распространения t звукового импульса в воздухе при комнатной температуре от расстояния s между двумя акустическими зондами.
- Подтверждение линейного характера взаимосвязи между s и t .
- Измерение зависимости времени распространения t звукового импульса в воздухе от температуры T при фиксированном расстоянии между двумя акустическими зондами.
- Определение зависимости скорости звука (групповой скорости) от температуры.
- Сравнение результата с выводами Лапласа.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение времени распространения звуковых импульсов в трубке Кундта

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Звуковые волны в газах являются продольными. В этом случае групповая скорость равна фазовой скорости. В этом опыте мы проведем измерение времени распространения звукового импульса между двумя акустическими зондами в трубке Кундта и используем результат для расчета скорости звука. Зависимость скорости звука от температуры исследуется в диапазоне от комнатной температуры до 50°C. Результат измерения согласуется с результатом, полученным Лапласом.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Трубка Кундта модели Е	U8498308
1	Блок формирования импульсов модели К	U8498281
1	Длинный акустический зонд	U8498282
1	Короткий акустический зонд	U8498307
1	Блок усилителя для акустических зондов (230 В, 50/60 Гц)	U8498283-230 или
	Блок усилителя для акустических зондов (115 В, 50/60 Гц)	U8498283-115
1	Микросекундный счетчик (230 В, 50/60 Гц)	U8498285-230 или
	Микросекундный счетчик (115 В, 50/60 Гц)	U8498285-115
1	Нагревательный стержень модели К	U8498280
2	Высокочастотный соединительный шнур, байонетный разъем/4-мм штекер	U11257
1	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (230 В, 50/60 Гц)	U33020-230 или
	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (115 В, 50/60 Гц)	U33020-115
1	Цифровой быстродействующий карманный термометр	U11853
1	Никель-хром-никелевый погружной датчик типа К с диапазоном измерения от -65° С до 550° С	U11854
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см	U13812

Дополнительно рекомендуется иметь:

различные технические газы

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Звуковые волны являются упругими волнами в деформируемой среде. Скорость волны зависит от упругих свойств среды. В простых газах звук распространяется исключительно в виде продольных волн, при этом групповая скорость равна фазовой скорости.

При выводе по Лапласу звуковые волны в газах рассматриваются как адиабатические изменения давления или плотности. Скорость звука определяется как:

$$(1) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot p}{C_v \cdot \rho}}$$

p : давление ρ : плотность
 C_p, C_v : теплоемкости газа

В случае идеального газа при абсолютной температуре T :

$$(2) \quad \frac{p}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$$

$R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{Мол} \cdot \text{К}}$: универсальная газовая постоянная.

M : молярная масса

Тогда скорость звука в этом газе:

$$(3) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot R \cdot T}{C_v \cdot M}}$$

Если разницы температур ΔT не слишком велики по сравнению с эталонной температурой T_0 , скорость звука линейно зависит от изменения температуры ΔT :

$$(4) \quad c = \sqrt{\frac{C_p \cdot R \cdot T_0}{C_v \cdot M}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta T}{2 \cdot T_0}\right)$$

Если в качестве идеального газа используется сухой воздух, скорость звука, соответственно, часто выражают следующим образом:

$$(5) \quad c(T) = \left(331,3 + 0,6 \cdot \frac{\Delta T}{\text{К}}\right) \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$T_0 = 273,15 \text{ К} = 0^\circ\text{C}$

В этом опыте мы измерим время распространения звукового импульса t между двумя акустическими зондами, находящимися на расстоянии s друг от друга. Звуковой импульс создается резким движением диффузора громкоговорителя, управляемым импульсом напряжения с крутым фронтом. Измерение времени распространения с высоким разрешением с помощью микросекундного счетчика начинается, когда звуковой импульс достигает первого акустического зонда, и заканчивается, когда он достигает второго акустического зонда, находящегося на расстоянии s . Нагревательный элемент используется для нагрева воздуха в трубке Кундта до 50°C для измерения зависимости времени распространения звука от температуры. Распределение температуры во время охлаждения является достаточно равномерным. Поэтому достаточно измерить температуру в одной точке трубки Кундта.

Для подачи в трубку Кундта технических газов, отличных от воздуха, можно использовать трубный соединитель.

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Скорость звука рассчитывается как частное от деления пройденного расстояния s на время распространения t :

$$c = \frac{s}{t}$$

На Рисунке 2 это показано прямой, наклон которой представляет собой величину, обратную вышеуказанному отношению.

Зависимость скорости звука от температуры описывается уравнением 3 со следующими параметрами:

$$M = 28,97 \frac{\text{г}}{\text{Мол}}, \quad \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$$

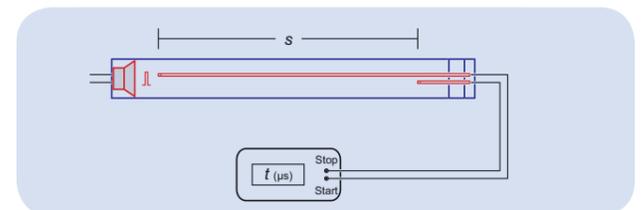


Рис. 1: Схема установки для проведения опыта

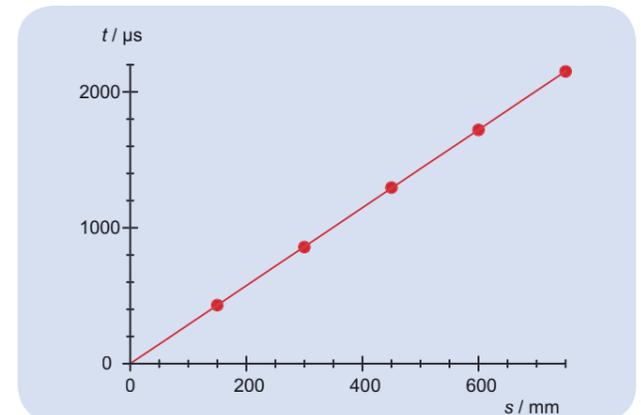


Рис. 2: Зависимость времени распространения звука в воздухе t от пройденного расстояния s при комнатной температуре

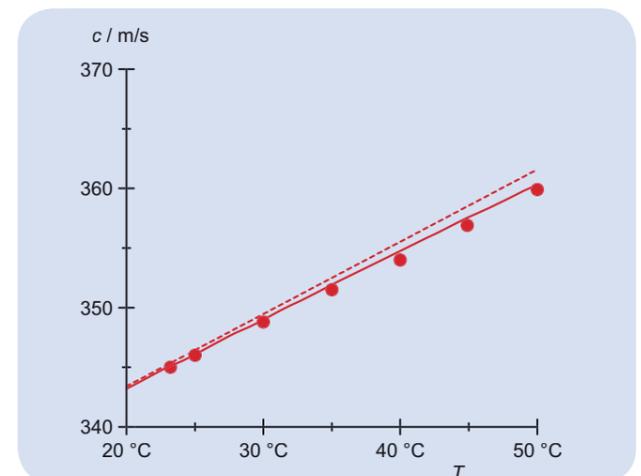


Рис. 3: Зависимость скорости звука c в воздухе от температуры T .
Сплошная линия: Результат расчета согласно уравнению 3.
Пунктирная линия: Результат расчета согласно уравнению 5.