Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 1-27

Визначення показника адіабати повітря за швидкістю звуку

Виконана студ. групи_____

Київ-2025

Лабораторна робота 1-27

Визначення показника адіабати повітря за швидкістю звуку

Прилади та обладнання.

Дану лабораторну роботу студенти можуть виконувати як у навчальній лабораторії, так і вдома (при дистанційному навчанні). Для її виконання у мобільному телефоні (планшеті) необхідно встановити вільно поширюваний застосунок (з Play Market): для Android – Spectroid, для iPhone, iPad, Mac – SignalScope X.

При виконані роботи у навчальній лабораторії: набір трубок різної довжини (однакового діаметру), динамік.

При виконанні роботи вдома можна :

- виготовити з паперу трубки однакового діаметру, довжина яких збільшується від 10 см до 24-26 см з кроком 2 см (трубки треба виготовляти, намотуючи листок паперу на еталонну трубку діаметра 1,5 – 2 см);
- 2) скористатися телескопічною трубкою пилососа.

1. Теоретичні основи дослідження

Якщо біля відкритого кінця трубки розмістити джерело гармонічних звукових коливань, то по трубці буде поширюватися біжуча хвиля, рівняння якої має вигляд

$$\xi_6 = a\cos(\omega t - kx),$$

де ξ - зміщення від положення рівноваги, a – амплітуда біжучої хвилі, $\omega = 2\pi/T = 2\pi\nu$ – циклічна частота, T – період, ν – лінійна частота (Гц), t – час, $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число, λ - довжина хвилі, x – відстань від джерела. На протилежному до джерела кінці трубки хвилі відбивається і по трубці поширюється відбита хвиля, Якщо втрати енергій можна не враховувати, то рівняння відбитої хвилі має вигляд

$$\xi_{\scriptscriptstyle \rm B} = a\cos(\omega t + kx + \varphi),$$

де φ – зсув фаз, який визначається умовами відбивання на кінці трубки: якщо кінець трубки закритий $\varphi = \pi$, якщо ж відкритий – $\varphi = 0$. В результаті накладання біжучої та відбитої хвиль в трубці утворюється стояча хвиля. Для трубки, відкритої з обох кінців рівняння стоячої хвилі записується як

$$\xi = \xi_{\rm f} + \xi_{\rm B} = 2a\cos(kx) \cdot \cos(\omega t). \tag{1}$$

Амплітуда коливань в стоячій хвилі визначається множником

$$A = 2a\cos(kx). \tag{2}$$

Точки, в яких амплітуда A = 0 називають вузлами стоячої хвилі, а точки, де амплітуда максимальна A = 2a – пучностями. Координати пучностей визначаються з умови $|\cos(kx)| = 1$, тобто при

$$kx = \pm m\pi \quad (m = 0, 1, 2, ...) \tag{3}$$

Врахувавши вираз для k і зв'язок довжини хвилі λ з її швидкістю c та частотою v, маємо $k = 2\pi/\lambda = 2\pi c/v$. Тоді з рівняння (3) маємо:

$$x = \frac{mc}{2\nu}$$

Якщо пучність співпадає з кінцем трубки, тобто x = l (l - довжина трубки), то можна чути резонансне підсилення гучності (амплітуди) звуку. Резонансна частота задовольняє умові

$$v = \frac{mc}{2l}$$

Найменша резонансна частота спостерігається при m = 0, тобто

$$\nu_0 = \frac{c}{2l}.\tag{4}$$

Однак, утворення стоячої відбувається за участі повітря, яке зовні прилягає до кінця трубки. Урахування цього дає значення резонансної частоти:

$$\nu_0 = \frac{c}{2(l+1,8R)},$$
(5)

де *R* – радіус трубки.

В теорії хвиль показано, що швидкість звукової хвилі в газі визначається виразом:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}},\tag{6}$$

де $\gamma = C_P/C_V$ – показник адіабати, рівний відношенню молярних теплоємностей газу при постійному тиску та постійному об'ємі, R = 8,31Дж/(моль K) – універсальна газова стала, T – абсолютна температура (K), М-молярна маса. 3 (6) маємо

$$\gamma = \frac{Mc^2}{RT}.$$
(7)

Таким чином, визначивши швидкість звуку при відомій температурі і скориставшись виразом (7) можна обчислити у.

2. Виконання лабораторної роботи

Ознайомтеся з додатком 1 – стислим описанням програми Spectroid. 1. Зафіксувати температуру повітря.

- http://physics.zfftt.kpi.ua/mod/page/view.php?id=1083 2. сайту 3 завантажити в пристрій, який буде використовуватися як джерело звуку (комп'ютер або мобільний гаджет), програму генератора звуку.
- 3. Для кожної з підготовлених трубок:

3.1) виміряйте радіус та довжину трубки і запишіть їх в табл. 1. За формулою (4) оцінити резонансну частоту v_0 головного максимуму m = 1;

3.2) біля одного кінця трубки розмістить динамік джерела звуку, біля іншого – мікрофон приймача, на якому встановлена програма Spectroid;

3.3) у віконці генератора встановіть мінімальну частоту, як дорівнює 0,75 и, максимальну частоту 1,25 *v*₀ і крок зміни частоти 2 – 5 Гц;

3.4) увімкніть програму Spectroid та генератор й одержіть на екрані залежність амплітуди звуку від

частоти – це амплітудно частотна характеристик – АЧХ (червона лінія на рис.1). Торкнувшись екрану двома пальцями можна переміщувати зображення та змінювати масштаб;

Рис.1. Скріншот для програми Spectroid



3.5) торкнувшись екрану одним пальцем, переміщуйте зелену маркерну лінію і визначте частоту, яка відповідає головному максимуму (m = 0) АЧХ. Значення частоти виводиться поряд з цією лінією;

TT 2 1

3.6) значення резонансної частоти запишіть в табл.1;

3.7) пункти 2.1, 2.4 – 2.6 виконайте з трубками різної довжини.

			гаол.т.
Довжина трубки	Радіус трубки,	Резонансна	1
<i>l</i> , м	<i>R</i> , м	частота	2(l+1,8R)
		<i>v</i> 0, Гц	

 $M = 29.10^{-3}$ T = K c = м/с $\gamma =$ кг/моль

3. Обробка експериментальних даних

1. Обчисліть $\frac{1}{2(l+1,8R)}$ і результати занести в табл.1.

2. Побудувати графік залежності резонансної частоти v_0 залежно від $\frac{1}{2(l+1,8R)}$.

3. Обчисліть кутовий коефіцієнт прямої побудованого графіка, який дорівнює швидкості звуку *с*.

4. За формулою (7) обчисліть γ .

5. Зробіть висновки стосовно одержаних результатів.

Контрольні запитання

- 1. Запишіть рівняння біжучої та відбитої хвиль. Як одержати з них рівняння (1)?
- 2. Що таке вузли та пучності стоячої хвилі? За якої умови у відкритій з обох кінців трубці відбувається підсилення гучності звуку?

- 3. Який процес називають адіабатним? Як записати рівняння адіабати? Який вигляд має графік адіабати?
- 4. Як формулюється перший закон (начало) термодинаміки?
- 5. Як вивести рівняння адіабати?
- 6. Теплоємність тіла, молярна та питома теплоємності, зв'язок між ними.
- 7. Як вивести співвідношення Майєра між теплоємностями *С*_Р та *С*_V?

Література

- 1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики. У трьох томах. Том 1. Київ, «Техніка», 1999. Стор.261 264, 374 386, 390 397.
- 2. Бригінець В. П., Подласов С. О. ФІЗИКА ДЛЯ БАКАЛАВРІВ. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ТЕРМОДИНАМІКА. Перше начало термодинаміки. <u>https://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=296&chapterid</u> =24#m43
- 3. Бригінець В. П., Подласов С. О. ФІЗИКА ДЛЯ БАКАЛАВРІВ. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ТЕРМОДИНАМІКА. Теплоємність ідеального газу. <u>https://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=296&chapterid</u> =25#m51
- 4. Бригінець В. П., Подласов С. О. ФІЗИКА ДЛЯ БАКАЛАВРІВ. ФІЗИКА ДЛЯ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ. Пружні хвилі. <u>https://physics.zfftt.kpi.ua/mod/book/view.php?id=299&chapterid</u> <u>=58</u>

можна завантажити з Google Play Market.

Додаток 1. Короткий опис інтерфейсу застосунку Spectroid

Зовнішній вигляд екрану застосунку показаний на рис. Д1. Тут: Червона лінія – амплітудні значення звуку, жовта – миттєві. Уздовж горизонтальної осі відкладена частота. У нижній частині екрану (waterfall) відображається залежність інтенсивності звуку від часу.

Застосунок Spectroid є вільно поширюваним і його

У верхньому правому кутку екрану розміщені кнопки керування: трикутник – пуск/стоп, три крапки – налаштування (рис. Д2). Увійшовши в налаштування,

можна скинути зображення амплітудних значень, натиснувши «Reset max hold», або ж перейти до налаштувань, зокрема, співвідношення розмірів

верхньої та нижньої частин екрану та вибрати масштаб осі частот – лінійний, чи логарифмічний.

Якщо повести пальцем по екрану вздовж осі частот, то з'являється вертикальна зелена маркерна лінія (рис. ДЗ), біля якої висвітлюється значення частоти.

Рис. Д2

Рис. Д3





