

самостійного опрацювання тем та зошит для ІДЗ з оформленими роботами.

Оцінювання самостійної роботи здійснюється за п'ятибальною шкалою згідно критеріїв оцінювання.

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ І МОДУЛЯ ЮНГА У ТВЕРДОМУ ТІЛІ

В.М.Брацихін, доцент, старший науковий співробітник
Інститут прикладної фізики України
Л.І.Брацихіна, доцент кафедри ПММ

В наслідок великої швидкості звуку у твердих тілах для її визначення потрібне достатньо складне устаткування. Це заважає постановці відповідних робіт у шкільному практикуму. У цій доповіді пропонується проста за складом і виконанням лабораторна робота, в якій швидкість звуку визначається за тривалістю співудару пружних стержнів. Схема досліду приведена на рисунку 1.

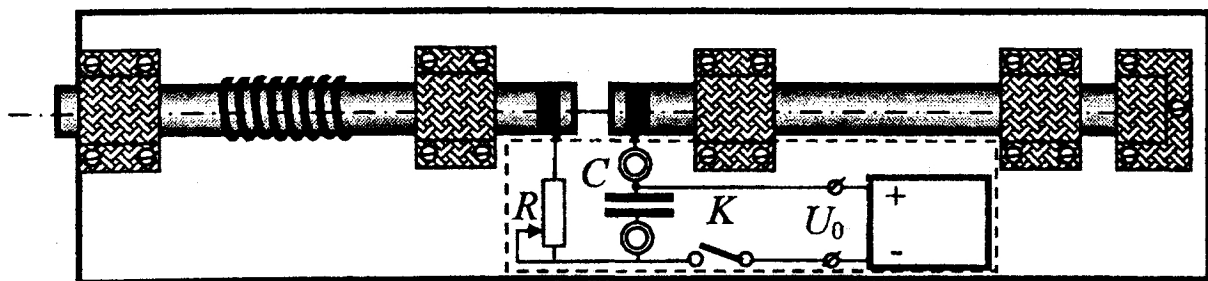


Рис. 1 Схема досліду визначення швидкості звуку і модуля Юнга у твердому тілі

Комплектація лабораторної установки

1. Два однакових стержня довжиною ~ 200 мм і діаметром ~ 10 мм.
2. Конденсатор паперовий $C \sim 0,5$ мкФ на $U \geq 100$ В.

3. Резистор на 6 фіксованих номіналів $1 \text{ кОм} < R < 10 \text{ кОм}$ на 1 Вт.
4. Просте джерело постійної напруги $\sim 40 \div 60 \text{ В}$.
5. Цифровий вольтметр постійної напруги з великим вхідним опором.
6. Вимикач.

Порядок виконання роботи

1. Заміряйте довжину стрижня. Занесіть дані у таблицю.
2. Вставте стрижні у панель і надіньте на них манжети електродів.
3. Встановіть значення R_1 (потім повторіть п.п.4-7 для інших R_i).
4. Увімкніть ключ K і зарядіть конденсатор.
5. Заміряйте початкову різницю потенціалів U_0 . Занесіть дані у таблицю.
6. Вимикніть ключ K .
7. Відтягніть стрижень з пружиною на $\sim 10 \text{ мм}$ і відпустіть його.
8. Заміряйте кінцеву різницю потенціалів U_{pi} . Занесіть дані у таблицю.

Теорія лабораторної роботи

Застосування двох однакових стрижнів дає можливість реалізувати модель зіткнення стержня з абсолютно жорсткою стінкою.

Тоді тривалість зіткнення однакових стрижнів у системі відліку, яка пов'язана з центром мас обох стрижнів, дорівнює сумі часу деформації τ_1 і часу звільнення від деформації τ_2 окремого стрижня.

При абсолютно пружній деформації $\tau_2 = \tau_1$

$$\tau_1 = \tau_2 = (l - \Delta l) / V_{\text{звук}} = l / (V_{\text{звук}} + V),$$

де Δl – загальна абсолютна деформація окремого стрижня;
 V – швидкість стрижня у системі відліку центру мас;

$V_{\text{звук}}$ – швидкість поширення зони деформації, яка дорівнює швидкості звуку у стержні.

$$\text{Повний час зіткнення: } \tau = \tau_1 + \tau_2 = 2l / (V_{\text{звук}} + V).$$

$$\text{Внаслідок } V_{\text{звук}} \gg V \text{ маємо: } \tau \approx 2l / V_{\text{звук}} \Rightarrow V_{\text{звук}} = 2l / \tau.$$

Залежність різниці потенціалу на конденсатора від часу розрядки τ :

$$U_p = U_0 \exp(-\tau_p / RC) \Rightarrow \tau = RC \ln(U_0 / U_p) = 2l / V_{\text{звук}},$$

$$V_{\text{звук}} = 2l / [RC \ln(U_0 / U_p)].$$

Для пружного твердого середовища швидкість поширення повздовжніх звукових хвиль зв'язана з модулем Юнга E та густиною ρ :

$$V_{\text{звук}} = \sqrt{E / \rho}, \text{ з чого випливає } \sqrt{E / \rho} = 2l / [RC \ln(U_0 / U_p)] \text{ і}$$

$$E = 4l^2 \rho / [RC \ln(U_0 / U_p)]^2.$$

Таким чином, за допомогою тільки одного вимірювального пристрою – цифрового вольтметра – можна досліджувати відношення швидкостей звуку у різних матеріалах, якщо точні значення R і C невідомі.

При точно відомих R і C можна визначити абсолютні значення швидкості звуку у твердих матеріалах. Розрахунок $V_{\text{звук}}$ і E та їх абсолютних і відносних похибок проводиться за допомогою метода найменших квадратів за схемою доповіді «Методика визначення похибок у багатofакторних експериментах», наданою у цьому збірнику.

Для $V_{\text{звук}}$ лінійна залежність

$$2l / (CR_i) = y_i = V_{\text{звук}C} \cdot x_i = V_{\text{звук}C} \ln(U_0 / U_{pi}).$$

Для E лінійна залежність

$$4l^2 \rho / (CR_i)^2 = y_i = E_c \cdot x_i = E_c [\ln(U_0 / U_{pi})]^2.$$

І перша, і друга залежності не мають вільних членів і тому розрахунки результатів і похибок суттєво спрощуються.