

**ЗАВДАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРУ**  
**III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади юних фізиків, 2013/14 н.р.**

**УМОВИ ЗАДАЧ**

**8 клас**

**З а д а ч а .** Виміряти густину тіла.

*Обладнання.* Досліджуване тіло неправильної форми (густина тіла більша за густину води); непрозора посудина з водою (густина води  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ); динамометр із закритою шкалою; міліметровий папір; нитка.

**9 клас**

**З а д а ч а .** Виміряти опір резистора.

*Обладнання.* Досліджуваний резистор; резистор з відомим опором; джерело струму (батарейка); амперметр; з'єднувальні провідники.

*Примітка.* Відомо, що опір амперметра набагато менший за опори указаних резисторів.

**10 клас**

**З а д а ч а .** Виміряти масу тіла.

*Обладнання.* Досліджуване тіло, маса якого перевищує межу вимірювання динамометра; динамометр на 4 Н; аркуш паперу; смужка міліметрового паперу; штатив з кільцем; нитка.

**11 клас**

**З а д а ч а .** Виміряти атмосферний тиск.

*Обладнання.* Прозора трубка; посудина з водою (густина води  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ); штатив з лапкою; лінійка; пластилін; аркуш паперу.

**Увага!** У роботі необхідно відобразити такі компоненти.

1. Теоретичне обґрунтування способу вимірювання (отримання робочої формули, опис досліду).
2. Опис ходу виконання експерименту із наведенням результатів прямих вимірювань.
3. Розрахунки.
4. Оцінка похибок результату вимірювання.
5. Запис кінцевого результату та його аналіз (серед іншого, бажано вказати: чи правдоподібним є результат; які вимірювання, на Ваш погляд, були найменш точними; як можна підвищити їх точність).

## РОЗВ'ЯЗАННЯ

### 8 клас

Визначення густини досліджуваного тіла базується на попередньому вимірюванні видовження  $x_1$  пружини динамометра при підвішуванні тіла у повітрі та вимірюванні видовження  $x_2$  – при зануренні тіла у воду.

Дійсно, силу Архімеда, що діятиме на тіло, можна знайти так:

$$F_A = P_1 - P_2,$$

де  $P_1$ ,  $P_2$  – відповідно вага тіла у повітрі та у воді.

Оскільки

$$F_A = \rho_0 g V, \quad P_1 = mg$$

де  $\rho_0$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $V$  – об'єм тіла;  $m$  – маса тіла, то об'єм тіла

$$V = \frac{P_1 - P_2}{\rho_0 g},$$

а його густина

$$\rho = \frac{m}{V} = \rho_0 \frac{P_1}{P_1 - P_2}.$$

За законом Гука

$$P_1 = kx_1, \quad P_2 = kx_2,$$

де  $k$  – жорсткість пружини динамометра;

$x_1$ ,  $x_2$  – видовження пружини, коли тіло відповідно у повітрі та у воді.

Отже, остаточно маємо

$$\rho = \rho_0 \frac{x_1}{x_1 - x_2}. \quad (1)$$

Слід пам'ятати, що закон Гука  $F_{np} = kx$  справедливий лише у випадку *пружних* деформацій. Тому у загальному випадку слід експериментально перевірити чи є *лінійною* залежність між видовженням пружини  $x$  та силою пружності  $F_{np}$  (у розглядуваному діапазоні видовжень). У випадку нашого досліду видовження пружини не виходить за межі вимірювання динамометра, тому зазначена умова виконується автоматично.

З урахуванням формули (1) межу відносної похибки  $\varepsilon_\rho$  вимірювання густини тіла можна оцінити так:

$$\varepsilon_\rho = \varepsilon_{x_1} + \varepsilon_{x_1 - x_2} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{x_1 - x_2}.$$

Оскільки  $\Delta x_1 = \Delta x_2 \equiv \Delta x$ , то

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta x}{x_1} + 2 \frac{\Delta x}{x_1 - x_2}. \quad (2)$$

Як правило другий доданок у формулі (2) у кілька (більш ніж у чотири) разів перевищує перший. Тому у цьому випадку

$$\varepsilon_\rho \approx 2 \frac{\Delta x}{x_1 - x_2}.$$

При цьому межа абсолютної похибки

$$\Delta \rho = \varepsilon_\rho \cdot \rho.$$

### 9 клас

1. Електрична схема експериментальної установки наведена на рис. 1. При цьому амперметр по черзі підключається послідовно з  $R_1$  та  $R_2$ .

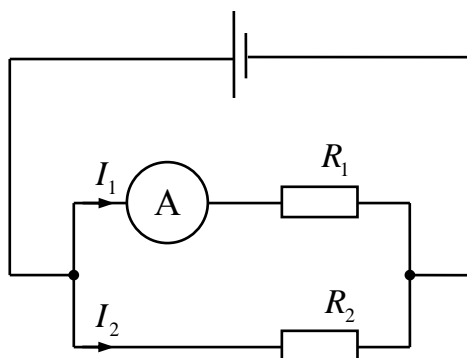


Рис. 1. Електрична схема експериментальної установки.

2. Оскільки опір амперметра  $R_A \ll R_1, R_2$ , можна вважати, що напруга на резисторах  $R_1, R_2$  однакова (паралельне з'єднання). Тобто

$$I_1 R_1 = I_2 R_2. \quad (1)$$

Нехай для визначеності досліджуваним є резистор  $R_2$ . Тоді з (1) отримуємо робочу формулу

$$R_2 = R_1 \frac{I_1}{I_2}. \quad (2)$$

Враховуючи формулу (2), межу відносної похибки  $\varepsilon_{R_2}$  вимірювання опору резистора можна оцінити так:

$$\varepsilon_{R_2} = \varepsilon_{I_1} + \varepsilon_{I_2} = \frac{I_{\max}}{I_1} \gamma + \frac{I_{\max}}{I_2} \gamma, \quad (3)$$

де  $I_{\max}$  – межа вимірювання амперметра;  $\gamma$  – клас точності амперметра.

При цьому межа абсолютної похибки

$$\Delta R_2 = \varepsilon_{R_2} \cdot R_2$$

**Примітка.** Похибки електровимірювальних приладів. Для електровимірювальних приладів інструментальна похибка задається за допомогою числа, яке називається класом точності  $\gamma$ . Клас точності (інша назва, зведена похибка вимірювального приладу) визначає межу абсолютної похибки даного приладу, виражену у відсотках від діапазону  $A$  шкали:

$$\gamma = \frac{\Delta_{np}}{A} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Наприклад, якщо клас точності міліамперметра  $\gamma = 4$ , а межа вимірювання цим приладом 250 мА, то межа абсолютної похибки даного приладу складе 4% від 250 мА, тобто  $\Delta_{np} = 10$  мА на всій шкалі.

Отже, якщо клас точності  $\gamma$  відомий, можна знайти межу абсолютної основної похибки приладу за формулою:

$$\Delta_{np} = \frac{\gamma \cdot A}{100}.$$

Так, для вольтметра з межею вимірювання 2 В і класом точності  $\gamma = 2,5$  отримаємо:

$$\Delta_{\epsilon} = \frac{2 \text{ В} \cdot 2,5}{100} = 0,05 \text{ В}.$$

Відносна ж похибка  $\epsilon$  при вимірюванні фізичної величини даним приладом тим більша, чим меншим є значення вимірюваної величини порівняно з діапазоном всієї шкали. Дійсно, відносну похибку конкретного виміряного значення  $x$  ( $x < A$ ) оцінюють так:

$$\epsilon_x = \frac{\Delta_{np}}{x} \cdot 100\%.$$

Помноживши і поділивши останній вираз на  $A$ , отримаємо з урахуванням (4):

$$\epsilon = \frac{A}{x} \cdot \frac{\Delta_{np}}{A} \cdot 100\% = \gamma \cdot \frac{A}{x}.$$

З останньої формули видно, що похибка вимірювання залежить не лише від класу точності приладу, але й від того, в якій частині його шкали знаходиться значення вимірюваної величини.

### 10 клас

1. Підвішуємо досліджуване тіло на нитці (за допомогою штатива).
2. За допомогою динамометра відтягуємо нитку від вертикалі на певний кут  $\alpha$ , при якому сила пружності не перевищує межу вимірювання динамометра (рис. 1,а).

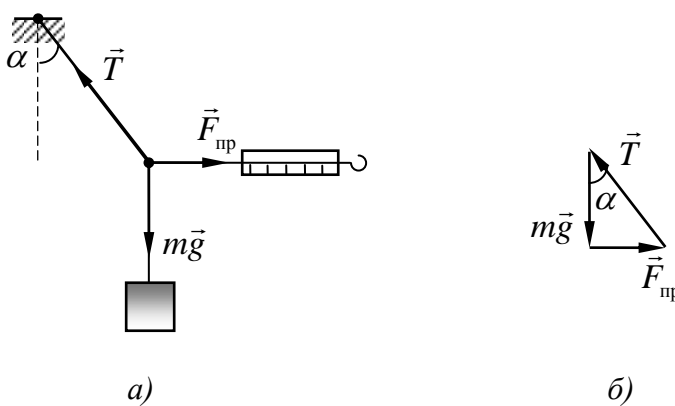


Рис. 1. Рівновага тіла.

3. Оскільки підвішене тіло перебуває у рівновазі, сума сил тяжіння  $m\vec{g}$ , пружності  $\vec{F}_{пр}$  та натягу нитки  $\vec{T}$  дорівнює нулеві:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{пр} + \vec{T} = \vec{0}.$$

Графічно останню рівність показано на рис. 1,б. З трикутника сил дістаємо

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{пр}}{mg}.$$

Звідки знаходимо масу тіла:

$$m = \frac{F_{\text{пр}}}{g \cdot \operatorname{tg} \alpha}.$$

4. Для знаходження  $\operatorname{tg} \alpha$  можна, наприклад, попередньо проградуювати за допомогою смужки міліметрового паперу дві суміжні сторони прямокутного аркуша. При виконанні досліду відтягнута нитка утворює на аркуші прямокутний трикутник з катетами  $a$  і  $b$  (рис. 2).

5. Отже, робоча формула матиме вигляд:

$$m = \frac{F_{\text{пр}}}{g} \cdot \frac{a}{b}.$$

6. Враховуючи вигляд робочої формули, межу відносної похибки  $\varepsilon_m$  можна оцінити так:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_{F_{\text{пр}}} + \varepsilon_a + \varepsilon_b = \frac{\Delta F_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}}} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}.$$

Межа абсолютної похибки

$$\Delta m = \varepsilon_m \cdot m.$$

### 11 клас

Відомо, що термодинамічні параметри ідеального газу (тиск  $p$ , об'єм  $V$  та температуру  $T$ ) можна знайти з рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона – Менделєєва)

$$pV = \nu RT, \quad (1)$$

де  $\nu$  – число молей газу;

$R$  – універсальна газова стала.

Рівняння Клапейрона – Менделєєва виявляється справедливим і для досить розріджених реальних газів і виконується тим точніше, чим менший тиск газу. Так, згідно з експериментальними даними об'єм одного моля азоту при тиску 1 атм та температурі  $0^\circ\text{C}$  дорівнює  $2,24 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ , а при тиску в 100 атм та при тій же температурі –  $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$  (що відрізняється від значення, отриманого з рівняння Клапейрона – Менделєєва, більш ніж на 7%).

Отже, для знаходження атмосферного тиску можна скористатися рівнянням стану ідеального газу. Для цього можна здійснити деякий процес над певною кількістю повітря та застосувати для початкового та кінцевого станів газу рівняння (1). З огляду на надане обладнання доцільно провести саме процес розширення (або стиснення) певної кількості повітря у трубці при постійній температурі (адже температуру повітря

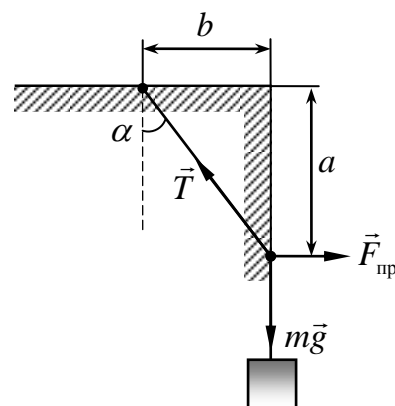


Рис. 2. Вимірювання  $\operatorname{tg} \alpha$ .

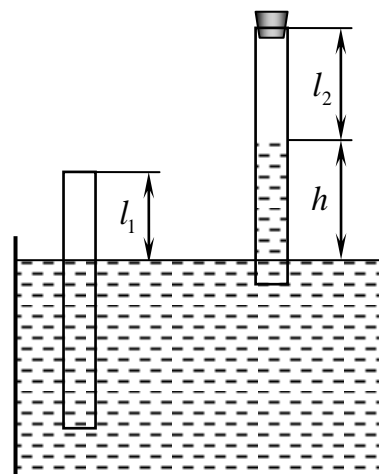


Рис. 1. Схема досліду з вимірювання атмосферного тиску

виміряти нічим). При ізотермічному ( $T = \text{const}$ ) процесі з ідеальним газом:  $pV = \text{const}$  (закон Бойля – Маріотта).

Рис. 1 пояснює суть розглядуваного способу. Спочатку повітря у трубці знаходиться під атмосферним тиском  $p$  та займає об'єм  $V_1$ . Вкінці розширення тиск зменшується на величину

$$\Delta p = \rho gh,$$

де  $h$  – висота стовпчика води у трубці (див. рис. 1);

$\rho$  – густина води,

при цьому новий об'єм повітря під пробкою  $V_2$ . Відповідно до закону Бойля – Маріотта маємо:

$$pV_1 = (p - \rho gh)V_2.$$

Звідки:

$$p = \rho gh \frac{V_2}{V_2 - V_1}.$$

Оскільки  $V_1 = Sl_1$  і  $V_2 = Sl_2$ , де  $S$  – площа внутрішнього отвору трубки, то

$$p = \rho gh \frac{l_2}{l_2 - l_1}. \quad (2)$$

Отже, для визначення атмосферного тиску необхідно виміряти початкову довжину  $l_1$  стовпчика повітря у трубці при однакових рівнях води у трубці і посудині, довжину  $l_2$  стовпчика повітря у трубці після його розширення (після підняття трубки) та різницю рівнів  $h$  води у трубці та посудині.

Зазначимо, що для того, щоб розширення повітря у трубці було ізотермічним, процес повинен відбуватися досить повільно (в цьому випадку завдяки теплообміну з навколишнім середовищем температура повітря буде майже постійною).

Межу відносної похибки  $\varepsilon_p$  при визначенні тиску за формулою (2) можна оцінити так:

$$\varepsilon_p \equiv \frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta(l_2 - l_1)}{l_2 - l_1} = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_2}{l_2 - l_1} + \frac{\Delta l_1}{l_2 - l_1}.$$

Оскільки  $\Delta l_1 = \Delta l_2 \equiv \Delta l$ , то

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta l}{l_2} + 2 \frac{\Delta l}{l_2 - l_1}.$$

Звичайно різниця  $l_2 - l_1$  суттєво менша від  $l_2$  і, тим більше, від  $h$ , тому третій доданок в останній формулі набагато перевищує суму перших двох. Тому для оцінки меж відносної  $\varepsilon_p$  та абсолютної  $\Delta p$  похибок отримуємо:

$$\varepsilon_p \approx 2 \frac{\Delta l}{l_2 - l_1}; \quad \Delta p = \varepsilon_p p.$$