*Обдаровані діти*

УДК 37.091.27:53

**Г. П. Кобель,**
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри експериментальної фізики
та інформаційно-вимірювальних технологій СНУ імені Лесі Українки;
**В. О. Савош,**
завідувач відділу фізико-математичних дисциплін ВІППО

# Експериментальний тур третього етапу LIII Всеукраїнської олімпіади з фізики

*Наведено умови задач та їх авторські розв'язки для 8–11 класів експериментального туру третього етапу LIII Всеукраїнської олімпіади з фізики.*

***Ключові слова:*** *середня швидкість, видовження пружини, нагрівання, термометр, жорсткість, маса, лінійка.*

**Kobel H. P., Savosh V. O. Experimental Round of the Third Stage of LIIIrd All-Ukrainian Olympiad in Physics.**

*The tasks and their authorial decisions for 8–11 classes of experimental round of the third stage of LIIIrd All-Ukrainian Olympiad in Physics are given.*

***Key words:*** *average velocity, lengthening of spring, heating, thermometer, inflexibility, mass, ruler.*

16 січня 2016 року проводився експериментальний тур третього (обласного) етапу LIII Всеукраїнської олімпіади юних фізиків. На нього запросили 11 учнів 8 класу, 13 – 9-го, 18 – 10-го і 14 учнів 11 класу.

Учасникам було запропоновано дві експериментальні задачі. При виконанні першого завдання перед учнями ставилися такі проблеми:

– розробити теорію експерименту, вивести розрахункову формулу;
– скласти план вимірювань; провести вимірювання;
– виконати обчислення шуканої величини; при потребі побудувати графічні залежності; обчислити похибки;
– вказати шляхи підвищення точності експерименту.

У другому завданні учні виконують уявний експеримент або їм пропонуються уже виміряні числові значення фізичних величин.

### *8 клас*

**Завдання 1.** За який час можна повністю закрутити шуруп-саморіз? Яка середня швидкість його поступального руху? Для закручування шурупа використовують шуруповерт, який робить при цьому 450 об/хв.

**Обладнання:** шуруп-саморіз, смужка міліметрового паперу.

***Розв'язування.*** Повна довжина шурупа становить $L = 69$ мм, а різьба є на частині завдовжки $l = 49$ мм. Підраховуємо кількість витків наявної різьби: $n = 14$ витків. Потрібно продовжити різьбу на всю довжину шурупа: $N = \frac{69}{49} \cdot 14 = 19{,}7$ (витків).

Шуруповерт робить $\nu = 450\ \frac{\text{об}}{\text{хв}} = 7{,}5\ \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Тоді шуканий час $t = \frac{N}{\nu} = \frac{19{,}7}{7{,}5} = 2{,}6\ (\text{с})$.

Середня швидкість поступального руху шурупа в дерево: $\upsilon = \frac{L}{t} = \frac{69}{2{,}6} = 26{,}5\left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right) = 2{,}65\ \frac{\text{см}}{\text{с}}$.

**Критерії оцінювання**

1. Виміряно довжину різьби та всю довжину шурупа – 1 бал.
2. Правильно пораховано кількість витків – 0,5 бала.
3. Умовно продовжено різьбу на всю довжину шурупа – 1,5 бала.
4. Визначено час закручування шурупа – 1 бал.
5. Правильно визначено швидкість закручування шурупа – 1 бал.

**Завдання 2.** Масивну посудину з водою за допомогою системи блоків підвішено до пружини (рис. 1). У певний момент часу відкривають корок і з посудини починає витікати вода зі швидкістю $\mu = 4\,\frac{\text{г}}{\text{с}}$. На міліметровому папері побудуйте графік залежності видовження пружини $\Delta x$ (см) від часу $t$ (хв). Взяти проміжок часу від 0 хв до 30 хв з інтервалом 5 хв. Масою блоків знехтувати. Нитку вважати невагомою та нерозтяжною.

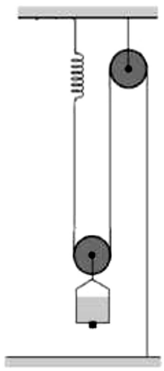

*Рисунок 1*

**Обладнання:** посудина масою $M$ = 1,2 кг; вода об'ємом $V$ = 4,8 л; нитка, два блоки, пружина жорсткістю $k = 1000\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$, секундомір, міліметровий папір.

***Розв'язування.*** Система складається з нерухомого та рухомого блоків. Запишемо умову рівноваги для рухомого блока:

$k\Delta x = \frac{(M+m)g}{2}$ (1), де $M$ – маса посудини, $m$ – маса води в посудині, $\Delta x$ – видовження пружини. З формули (1) отримаємо: $\Delta x = \frac{(M+m)g}{2k}$. Маса води $m = \rho V$; $m = 10^3 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-3} = 4{,}8$ (кг). Через кожні 5 хв маса води в посудині буде зменшуватись на величину $\Delta m = \mu \cdot t_1$; $\Delta m = 4\,\frac{\text{г}}{\text{с}} \cdot 300\,\text{с} = 1200\,\text{г} = 1{,}2\,\text{кг}$. Знайдемо максимальне видовження пружини:

$$\Delta x_{\text{макс}} = \frac{(1{,}2\,\text{кг} + 4{,}8\,\text{кг}) \cdot 10\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{2 \cdot 10^3\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}} = 3\,\text{см}.$$

Очевидно, що через 20 хв вся вода з посудини витече і видовження пружини перестане змінюватись й набуде мінімального значення:

$$\Delta x_{\text{мін}} = \frac{1{,}2\,\text{кг} \cdot 10\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{2 \cdot 10^3\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}} = 0{,}6 \cdot 10^{-2}\ \text{м} = 0{,}6\ \text{см}.$$

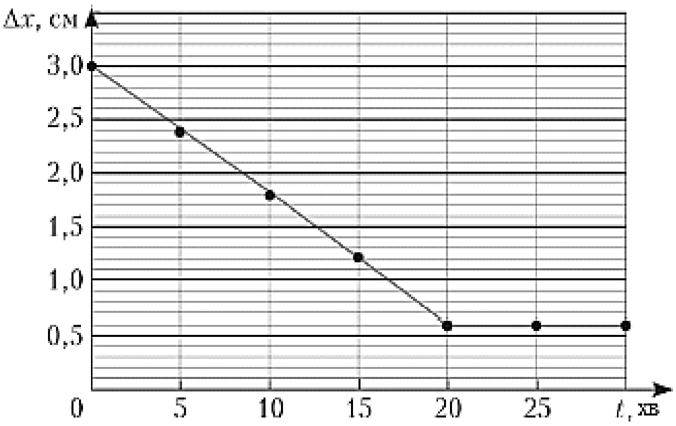


*Рисунок 2*

Врахувавши вищенаведені розрахунки, отримаємо графік залежності $\Delta x(t)$ (рис. 2).

*9 клас*

**Завдання 1.** Визначити відношення мас двох пляшечок.

**Обладнання:** дві прозорі скляні пляшечки різної маси, конічна посудина з водою, медичний шприц (20 мл).

***Розв'язування.*** 1. У першу пляшечку наливаємо таку кількість води, щоб при опусканні її в посудину з водою вона занурювалася до країв, але не тонула. Відповідно до умови плавання тіл маємо: $m_1 g + \rho_0 V_0 g = \rho_0 (V_0 + V_1 + V_C) g$ (1), де $m_1$ – маса 1-ї пляшечки, $\rho_0$ – густина води, $V_0$ – об'єм води у пляшечці, $V_1$ – частина внутрішнього об'єму пляшечки, який не заповнений водою, $V_C$ – об'єм скла, із якого виготовлена пляшечка. Звідси знаходимо: $m_1 = \rho_0 (V_1 + V_C) = \rho_0 (V_1 + \frac{m_1}{\rho_C}) = \frac{V_1}{\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_C}}$ (2), де $\rho_C$ – густина скла.

Аналогічно для маси другої пляшечки отримаємо $m_2 = \frac{V_2}{\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_C}}$ (3). Тоді відношення мас дорівнює відношенню об'ємів: $\frac{m_1}{m_2}=\frac{V_1}{V_2}$ (4). Для визначення об'єму, який не зайнятий водою, спочатку наповнимо пляшечку з допомогою шприца повністю і визначимо внутрішній об'єм пляшечки $V_{n1}$. Тоді шуканий об'єм $V_1 = V_{n1} - V_{01}$ (5). Шукане відношення мас: $\frac{m_1}{m_2}=\frac{V_{n1}-V_{01}}{V_{n2}-V_{02}}$ (6).

Наводимо один із варіантів вимірювання:

$V_{n1}=15{,}5$ мл, $V_{01}=8{,}5$ мл, тоді $V_1=15{,}5-8{,}5=7$ (мл).

$V_{n2}=19{,}5$ мл, $V_{01}=6$ мл, тоді $V_1=19{,}5-6=13{,}5$ (мл).

$\frac{m_2}{m_1}=\frac{13{,}5}{7}=1{,}93$.

Можливий інший підхід до розв'язування задачі.

2. Так само у першу пляшечку наливаємо таку кількість води, щоб при опусканні її в посудину з водою вона занурювалася до країв, але не тонула. Відповідно до умови плавання тіл маємо: $m_1 g+\rho_0 V_{01} g=\rho_0 V_{з1} g$, де $V_{з1}$ – зовнішній об'єм пляшечки, $V_{01}$ – об'єм налитої води у пляшечку. Тоді $m_1=\rho_0(V_{з1}-V_{01})$. Аналогічно $m_2=\rho_0(V_{з2}-V_{02})$. Шукане відношення мас: $\frac{m_2}{m_1}=\frac{V_{з2}-V_{02}}{V_{з1}-V_{01}}$. Проте визначити з допомогою наданого обладнання зовнішній об'єм пляшечки із задовільною точністю складно. Коли повністю занурена у воду пляшечка плаває, потрібно набрати із посудини повний шприц води (20 мл). Відмітити на бічній поверхні посудини рівень води при повністю зануреній пляшечці. Потім виймаємо пляшечку, виливаємо з неї $V_0$ води і з допомогою шприца доливаємо у посудину воду до її підняття до відміченого рівня. Таким чином можемо знайти зовнішній об'єм пляшечки.

Зовнішній об'єм більшої пляшечки більший, ніж 20 мл, а додаткової посудини із водою не надано.

**Критерії оцінювання**

1. Висунуто ідею плавання пляшечки при повному її зануренні – 1 бал.
2. Записано умову рівноваги пляшечки у вигляді (1) – 1 бал.
3. Здійснено перехід до рівняння (2) – 1 бал.
4. Знайдено об'єм, який не зайнятий водою, – 1 бал.
5. Правильно визначено відношення мас пляшечок: $\frac{m_2}{m_1}\approx 2$ – 1 бал.

**Завдання 2.** При нагріванні однорідного бруска всі його лінійні розміри збільшуються пропорційно й довжина його сторони $l$ залежить від температури за законом: $l=l_0(1+\alpha t)$ (1), де $\alpha$ – коефіцієнт лінійного розширення.

При нагріванні також збільшується об'єм бруска, який залежить від температури за законом: $V=V_0(1+\beta t)$ (2), де $\beta$ – коефіцієнт об'ємного розширення.

2.1. З'ясуйте фізичний зміст параметрів $l_0$, $V_0$, $\alpha$, $\beta$.

2.2. Установіть зв'язок між параметрами $\alpha$ та $\beta$ для твердих речовин.

Ви знаєте будову ртутного термометра: довга скляна циліндрична трубка з'єднана з невеликим скляним балоном, який заповнений ртуттю (рис. 3). При нагріванні ртуть розширюється, відповідно довжина стовпчика ртуті збільшується. Довжина стовпчика вимірюється за шкалою, яка проградуйована в градусах Цельсія.

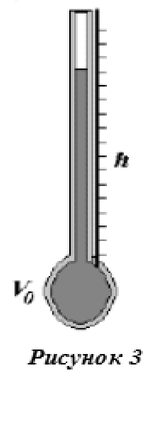

*Рисунок 3*

У досліджуваному термометрі при температурі $0{,}0\ ^\circ\mathrm{C}$:

внутрішній об'єм балона $V_0=200$ мм$^3$;

внутрішній діаметр трубки $d_0=0{,}20$ мм;

ртуть повністю заповнює балончик, але не заходить у трубку;

коефіцієнт об'ємного розширення ртуті $\beta = 1{,}8 \cdot 10^{-4}\,{}^\circ\text{C}^{-1}$;

коефіцієнт лінійного розширення скла $\alpha = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\,{}^\circ\text{C}^{-1}$.

2.3. Знехтувавши тепловим розширенням скла, побудуйте графік залежності висоти рівня ртуті в трубці $h$ (мм) від вимірюваної температури $t$ (${}^\circ$C).

2.4. Нехай термометр проградуйовано без урахування теплового розширення скла. Визначте відносну похибку показів такого термометра, пов'язану з тепловим розширенням скла, при температурі $t = 10\ {}^\circ$C.

***Розв'язування.*** 2.1. Фізичний зміст параметрів: $l_0$ – довжина тіла при температурі $t_0 = 0\ {}^\circ\text{C}$, $V_0$ – об'єм тіла при температурі $t_0 = 0\ {}^\circ\text{C}$, $\alpha = \dfrac{\Delta l}{l_0 t}$ – відносне видовження при зміні температури на один градус, $\beta = \dfrac{\Delta V}{V_0 t}$ – відносна зміна об'єму при зміні температури на один градус.

2.2. Зміну об'єму прямокутного паралелепіпеда можна виразити через зміну його лінійних розмірів. $V = l_1 l_2 l_3 = l_{10} l_{20} l_{30} (1 + \alpha t)^3 = V_0 \left(1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3\right) \approx V_0 \left(1 + 3\alpha t\right)$. В останньому виразі ми знехтували малими доданками другого та третього порядку. Порівнявши останнє співвідношення із (2), отримуємо зв'язок між параметрами $\alpha$ та $\beta$ для твердих речовин: $\beta \approx 3\alpha$ (3).

2.3. Для градуювання стовпчика термометра достатньо записати співвідношення для зміни об'єму ртуті. $V = V_0 + Sh = V_0 + \dfrac{\pi d_0^2}{4} h = V_0 (1 + \beta t)$. Звідси знаходимо: $h = \dfrac{4 V_0 \beta}{\pi d_0^2} t$ (4). Підставимо в останнє співвідношення числові значення величин: $h = \dfrac{4 \cdot 200 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-4}}{3{,}14 \cdot (0{,}2)^2} t \approx 1{,}15 t$ (мм).

Будуємо графік отриманої залежності (рис. 4).

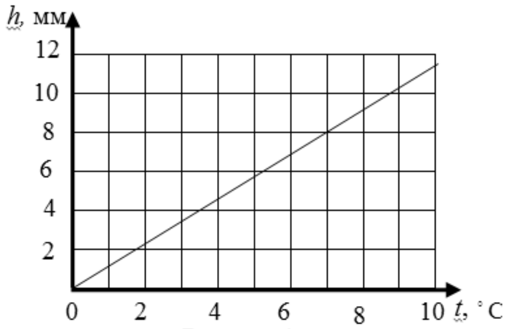


*Рисунок 4*

2.4. Якщо врахувати збільшення лінійних розмірів скляних деталей термометра (радіуса балона та діаметра циліндричної трубки), то співвідношення для зміни об'єму ртуті матиме вигляд: $V_0(1 + 3\alpha t) + \dfrac{\pi d_0^2}{4}(1 + 2\alpha t) h_1 = V_0 (1 + \beta t)$. З останнього рівняння знаходимо піднімання:

$$h_1 = \frac{4V_0}{\pi d_0^2} \frac{\beta - 3\alpha}{1 + 2\alpha t} t = \frac{4V_0}{\pi d_0^2} (\beta - 3\alpha)(1 - 2\alpha t) t = \frac{4V_0 \beta}{\pi d_0^2} \left(1 - \frac{3\alpha}{\beta}\right)(1 - 2\alpha t) t.$$

$$h_1 = \frac{4V_0 \beta}{\pi d_0^2} \left(1 - \frac{3\alpha}{\beta}\right)(1 - 2\alpha t) t = \frac{4V_0 \beta}{\pi d_0^2} \left(1 - \frac{3\alpha}{\beta} - 2\alpha t + \frac{6\alpha^2}{\beta} t\right) t \approx \frac{4V_0 \beta}{\pi d_0^2} \left(1 - \frac{3\alpha}{\beta} - 2\alpha t\right) t.$$

Цьому значенню висоти рівня стовпчика ртуті за градуювальною залежністю (4) відповідатиме виправлене значення температури:

$$t_{\text{вип}} = \frac{\pi d_0^2}{4 V_0 \beta} h_1 = \frac{\pi d_0^2}{4 V_0 \beta} \frac{4 V_0 \beta}{\pi d_0^2} \left(1 - \frac{3\alpha}{\beta} - 2\alpha t\right) t = \left(1 - \frac{3\alpha}{\beta} - 2\alpha t\right) t.$$

Відносна похибка вимірювання температури без урахування теплового розширення скла: $\varepsilon = \dfrac{\left|t_{\text{вип}} - t\right|}{t} = \dfrac{3\alpha}{\beta} + 2\alpha t.$ Обчислимо значення похибки для температури $t = 10\ {}^\circ$C.

$$\varepsilon = \frac{3 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{1{,}8 \cdot 10^{-4}} + 2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \approx 5 \cdot 10^{-2} = 5\ \%.$$

**Критерії оцінювання**

1. Охарактеризовано фізичний зміст параметрів $l_0$, $V_0$, $\alpha$, $\beta$ – 1 бал.

2. Встановлено зв'язок між параметрами $\alpha$ та $\beta$ для твердих речовин – 1 бал.

3. Отримано функціональну залежність висоти рівня ртуті в трубці $h$ від температури $t$ – 1 бал.

4. Побудовано графік отриманої залежності – 1 бал.

5. Знайдено відносну похибку показів такого термометра, пов'язану з тепловим розширенням скла, – 1 бал.

***10 клас***

**Завдання 1.** Три гумові нитки різної жорсткості та кольору з'єднано. Визначити жорсткість кожної гумової нитки, не роз'єднуючи їх.

**Обладнання:** три гумові нитки різної жорсткості та різного кольору, два тягарці відомої маси $(100 \pm 2)$ г, лінійка, скріпка, нитка, штатив.

**З'єднання гумових ниток повинно завжди бути вільним!**

***Розв'язування.*** Учням видано два тягарці масою 100 г із набору динамометра. Три гумові нитки різної жорсткості вже були зв'язані ниткою. Місце з'єднання доступне для спостереження. Під час експерименту потрібно з допомогою скріпки одну гумову нитку підвісити за середину на штативі, а до середини другої нитки підвісити тягарець. Третя гумова нитка на цьому етапі участі в експерименті не бере (рис. 5).

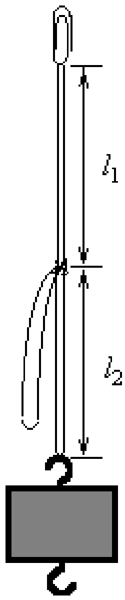


***Рисунок 5***

Точно виміряти початкову довжину недеформованої нитки досить складно. Тому краще виконувати експеримент двічі, навантажуючи гумки спочатку одним, а потім двома тягарцями.

При цьому потрібно виміряти довжину кожної з двох розтягнутих і складених удвічі ниток: $l_1$ і $l_2$ при обох навантаженнях. Запишемо умову рівноваги тягарця для кожного з випадків. Потрібно врахувати, що гумову нитку складено удвоє (паралельно), тому на тягарець діє дві сили пружності: $2k_ч(l_1 - l_0) = mg$ (1), $2k_ч(l_2 - l_0) = 2mg$ (2). Віднімемо від другого рівняння перше: $2k_ч(l_2 - l_1) = mg$. Звідси знаходимо шукану жорсткість першої, наприклад, червоної нитки: $k_ч = \dfrac{mg}{2(l_2 - l_1)}$. Оскільки дві різні гумові нитки з'єднані під час експерименту послідовно, то сили натягу в них однакові. Тому, міркуючи аналогічно, визначаємо жорсткість другої, наприклад, зеленої гумової нитки: $k_з = \dfrac{mg}{2(l_2' - l_1')}$. Потім проводиться такий самий дослід із третьою (жовтою) й першою або третьою і другою гумовими нитками.

Наприклад, жорсткість червоної кільцевої гумової нитки: $k_ч = \dfrac{0{,}1 \cdot 9{,}8}{2(111 - 99)\cdot 10^{-3}} = \dfrac{490}{12} = 40{,}8 \left(\dfrac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.

Жорсткість зеленої кільцевої гумової нитки: $k_з = \dfrac{0{,}1 \cdot 9{,}8}{2(112 - 99)\cdot 10^{-3}} = \dfrac{490}{13} = 37{,}7 \left(\dfrac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.

Жорсткість жовтої кільцевої гумової нитки: $k_ж = \dfrac{0{,}1 \cdot 9{,}8}{2(155 - 117)\cdot 10^{-3}} = \dfrac{490}{38} = 12{,}9 \left(\dfrac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.

Для обчислення відносної похибки скористаємося співвідношенням:

$$\varepsilon = \frac{\Delta k}{k} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(l_2 - l_1)}{l_2 - l_1}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l_2 + \Delta l_1}{l_2 - l_1}\right)^2}.$$

Враховуючи інструментальну похибку лінійки та похибку відліку, беремо: $\Delta l_1 = \Delta l_2 = 1$ мм.

Наприклад, для червоної гумової нитки $\dfrac{\Delta k_ч}{k_ч} = \sqrt{\left(\dfrac{2}{100}\right)^2 + \left(\dfrac{1+1}{12}\right)^2} = 0{,}17 = 17\ \%$.

Тоді абсолютна похибка $\Delta k_ч = \varepsilon \cdot k_ч = 0{,}17 \cdot 40{,}8 = 6{,}8 \left(\dfrac{\text{Н}}{\text{м}}\right) \approx 7\ \dfrac{\text{Н}}{\text{м}}$.

$$k_ч = (41 \pm 7)\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right).$$

**Критерії оцінювання**

1. Сформульовано ідею щодо неможливості точного вимірювання початкової довжини гумової нитки – 1 бал.
2. Виведено формулу для знаходження жорсткості – 1 бал.

3. Визначено жорсткість кожної гумової нитки – 2 бали.
4. Обчислено відносну й абсолютну похибки результатів – 1 бал.

**Завдання 2.** *Див. завдання 2 для 9 класу.*

### *11 клас*

**Завдання 1.** Оцінити значення коефіцієнта непружності при центральному співударі двох монет. Коефіцієнт непружності – це відношення частини енергії, яка переходить у внутрішню, до повної енергії системи. Монети виготовлено з однакового матеріалу.

**Обладнання:** дві монети – 5 коп і 2 коп, аркуш паперу, лінійка, дощечка, штатив.

***Розв'язування.*** Розглянемо процес центрального удару двох монет масою *M* та *m*, які ковзають плазом по горизонтальній поверхні паперу. Нехай монета 5 коп (1) масою *M*, що має швидкість $\upsilon_1$ перед самим ударом, налітає на нерухому $u_1 = 0$ монету 2 коп (2) (рис. 6). Тоді $\upsilon_2$ та $u_2$ – швидкості першої та другої монет безпосередньо після удару.

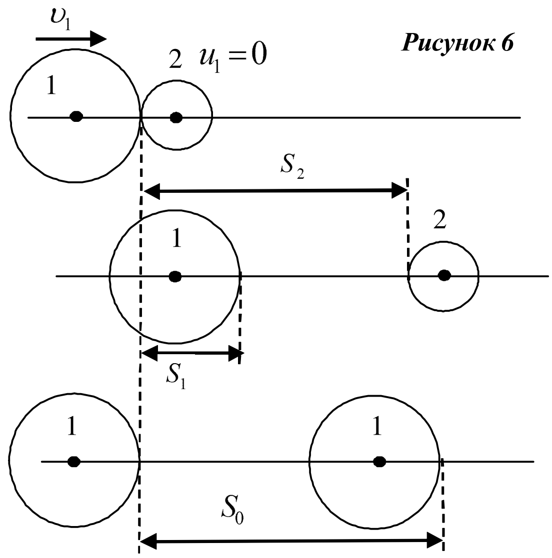

***Рисунок 6***

Із закону збереження повної енергії запишемо:

$$\frac{M\upsilon_1^2}{2} = \frac{M\upsilon_2^2}{2} + \frac{mu_2^2}{2} + Q, \quad (1)$$

де *Q* – частина енергії, яка переходить у внутрішню внаслідок неабсолютної пружності удару. Після удару обидві монети зупиняються. Отже, їх кінетична енергія йде на виконання роботи проти сили тертя.

$$\frac{M\upsilon_2^2}{2} = \mu MgS_1 \ (2), \quad \frac{mu_2^2}{2} = \mu mgS_2. \ (3)$$

З (1) знаходимо:

$$Q = \frac{M\upsilon_1^2}{2} - \frac{M\upsilon_2^2}{2} - \frac{mu_2^2}{2} = \frac{M\upsilon_1^2}{2} - \mu MgS_1 - \mu mgS_2.$$

Повна енергія системи монет дорівнює кінетичній енергії першої монети перед ударом. Тоді:

$$k = \frac{Q}{E_k} = \frac{\frac{M\upsilon_1^2}{2} - \mu MgS_1 - \mu mgS_2}{\frac{M\upsilon_1^2}{2}} = 1 - \frac{\mu MgS_1 + \mu mgS_2}{\frac{M\upsilon_1^2}{2}}.$$

Для визначення кінетичної енергії монети (5 коп) до удару потрібно надати їй таку ж швидкість, як і в першому випадку (рис. 6), та виміряти пройдений шлях $S_0$ до зупинки. $\frac{M\upsilon_1^2}{2} = \mu MgS_0$ (4). Тоді шуканий коефіцієнт $k = 1 - \frac{\mu MgS_1 + \mu mgS_2}{\mu MgS_0} = 1 - \frac{S_1 + \frac{m}{M}S_2}{S_0}$ (5).

Другий експеримент можна і не виконувати, а записати для центрального удару (швидкості монет напрямлені вздовж лінії) закон збереження імпульсу: $M\upsilon_1 = M\upsilon_2 + mu_2$ (6). Враховуючи співвідношення (2), (3) і (4), співвідношення (6) набуває вигляду: $\sqrt{2\mu gS_0} = \sqrt{2\mu gS_1} + \frac{m}{M}\sqrt{2\mu gS_2}$, або $\sqrt{S_0} = \sqrt{S_1} + \frac{m}{M}\sqrt{S_2}$.

Звідси $S_0 = \left(\sqrt{S_1} + \frac{m}{M}\sqrt{S_2}\right)^2$. Співвідношення (5) набуває вигляду: $k = 1 - \frac{S_1 + \frac{m}{M}S_2}{\left(\sqrt{S_1} + \frac{m}{M}\sqrt{S_2}\right)^2} = 1 - \frac{1 + \frac{m}{M}\frac{S_2}{S_1}}{\left(1 + \frac{m}{M}\sqrt{\frac{S_2}{S_1}}\right)^2}$.

Відношення мас монет можемо визначити, зрівноважуючи їх на лінійці на краю столу: $\frac{m}{M}=\frac{l_5}{l_2}$. Тоді

остаточно маємо: $k=1-\frac{1+\frac{l_5}{l_2}\frac{S_2}{S_1}}{\left(1+\frac{l_5}{l_2}\sqrt{\frac{S_2}{S_1}}\right)^2}$ (7), або $k=1-\frac{S_1+\frac{l_5}{l_2}S_2}{S_0}$ (8).

Для оцінки похибки можна використати диференціювання останнього виразу. Для оцінки точності прямих вимірювань потрібно визначати випадкові похибки.

Реалізувати описані умови експерименту можна двома способами:

1. З допомогою дощечки і штатива виготовити похилу площину. На смужці паперу провести поздовжню лінію, вздовж якої повинні рухатися центри мас обох монет. Смужку паперу розміщують так, що одна її частина лежить на похилій площині, а друга – горизонтальна. Першу монету відпускають без початкової швидкості з верхнього краю паперу. На горизонтальній ділянці проводять поперечну лінію, до якої торкаються обідки монет у момент удару і від якої будемо вести відлік пройденого монетами шляху до зупинки. Експеримент проводять із двома монетами і визначають відстані $S_1$ та $S_2$. Потрібно дібрати такі умови експерименту, щоб монета 2 коп не виходила за межі паперу. Потім пускають монету 5 коп із тієї ж висоти і вимірюють відстань $S_0$ (рис. 6).

Наводимо результати одного із вимірювань: $S_0=58$ мм, $S_1=17$ мм, $S_2=73$ мм. При зрівноважуванні монет: $l_2=140$ мм, $l_5=58$ мм.

Виконаємо обчислення за (8): $k=1-\frac{17+\frac{58}{140}\cdot 73}{58}0{,}185$ або за (7): $k=1-\frac{1+\frac{58}{140}\cdot\frac{73}{17}}{\left(1+\frac{58}{140}\sqrt{\frac{73}{17}}\right)^2}=0{,}195.$

2. Першу монету встановити на краю столу так, щоб її невеличка частина виступала над краєм. Другу монету розмістити вслід за першою і з допомогою лінійки намагатися забезпечити однакову силу удару. Дослід повторити кілька разів для виключення промахів. Другу частину експерименту виконати тільки з однією монетою. Виміряти кілька значень відстаней $S_1$, $S_2$ і $S_0$.

У цьому методі важко досягнути однакової початкової швидкості монети для ряду експериментів. Тому перший метод більш точний і його використання дає учаснику більше балів.

Відносну похибку визначити складно. Можна обчислити спочатку абсолютну похибку, продиференціювавши вираз (8) у частинних похідних.

При оцінці абсолютної похибки прямих вимірювань відстаней $S_0$, $S_1$ та $S_2$ потрібно врахувати випадкову похибку, крім інструментальної та похибки відліку.

**Критерії оцінювання**

1. Записано закон збереження повної енергії з урахуванням непружності – 1 бал.
2. Виведено формулу для кількості теплоти – 0,5 бала.
3. Виражено кінетичну енергію монети через роботу на подолання сили тертя – 1 бал.
4. Визначено правильне відношення мас монет – 0,5 бала.
5. Отримано співвідношення (8) для коефіцієнта непружності – 0,5 бала.
6. Проведено вимірювання відповідних відстаней $S_0$, $S_1$ та $S_2$ – 1 бал.
7. Проведено оцінку випадкових похибок прямих вимірювань відстаней $S_0$, $S_1$ та $S_2$ – 0,5 бала.

**Завдання 2.** *Див. завдання 2 для 10 класу.*

### Література

1. Гончаренко С. У. Фізика. Олімпіадні задачі : 9–11 кл. – Вип. 2 / С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак. – Т. : Навч. кн. – Богдан, 1999. – 200 с.
2. Задачи по физике : учебн. пособие / [под ред. О. Я. Савченко]. – СПб. : Лань, 2001. – 368 с.