

Обдаровані діти

УДК 373.5.091.27:53

Г. П. Кобель,
доцент кафедри загальної фізики та методики
викладання фізики СНУ імені Лесі Українки;

В. О. Савош,
завідувач відділу фізико-математичних дисциплін ВІППО

Експериментальний тур третього етапу ІІ Всеукраїнської олімпіади з фізики



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

Ключові слова: маса, термометр, лінійка, амперметр, барометр.

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

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

Key words: mass, thermometer, ruler, amperemeter, barometer.

18 січня 2014 року проводився експериментальний тур третього (обласного) етапу ІІ Всеукраїнської олімпіади юних фізиків, на який було запрошено 13 учнів 8 класу, 15 – 9-го, 13 – 10-го і 14 учнів 11 класу.

Учасникам було запропоновано дві експериментальні задачі. При виконанні обох завдань 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.

8 клас

Завдання 1. Визначити масу медичного шприца.

Обладнання: медичний шприц зі смужкою міліметрового паперу, нитка, вода. Густина води при 20 °С $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язування. Розв'язок задачі зводиться до порівняння маси шприца з масою води в ньому. Ставимо поршень шприца на найбільше значення об'єму 10 мл і зрівноважуємо його з допомогою нитки. Відмічаємо положення нитки на смужці міліметрового паперу. Це буде положення центра мас шприца. Набираємо у шприц 10 мл води. Підвішуємо його з допомогою нитки, добиваючись горизонтального положення. Умова рівноваги шприца з водою: $m_{\text{ш}} g l_2 = m_{\text{в}} g l_1$, де $m_{\text{ш}}$ – маса шприца, $m_{\text{в}}$ – маса води. Плечі сил l_1 та l_2 визначаємо з допомогою смужки міліметрового паперу.

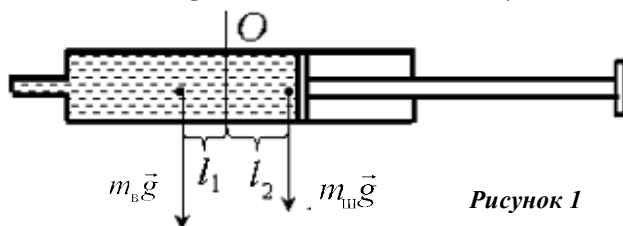


Рисунок 1

$$\text{Знаходимо масу шприца: } m_{\text{ш}} = m_{\text{в}} \frac{l_1}{l_2} = \rho V_{\text{в}} \frac{l_1}{l_2} \quad (1).$$

$$\text{Відносну похибку визначаємо за формулою: } \varepsilon = \frac{\Delta m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}}} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta V_{\text{в}}}{V_{\text{в}}} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2}.$$

Наводимо приклад вимірювання: $V_{\text{в}} = 10 \text{ мл} = 10 \text{ см}^3$, $l_1 = 15 \text{ мм}$, $l_2 = 21 \text{ мм}$. Масу шприца можемо знаходити у грамах. Для цього у формулу (1) підставляємо густину води $\rho = 0,998 \text{ г/см}^3$.

$$\text{Тоді } m_{\text{ш}} = \frac{0,998 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 10 \text{ см}^3 \cdot 15 \text{ мм}}{21 \text{ мм}} = 7,13 \text{ г}.$$

Обчислимо відносну похибку: $\varepsilon = \frac{\Delta m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}}} = \frac{0,5}{998} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,5}{15} + \frac{0,5}{21} = 0,083 = 8,3\%$. Тоді абсолютна

похибка результату: $\Delta m_{\text{ш}} = 0,083 \cdot 7,13 = 0,6$ (г).

Маса шприца: $m_{\text{ш}} = (7,1 \pm 0,6)$ г.

Завдання 2. Оцінити діаметр поперечного перерізу капіляра термометра.

Обладнання: спиртовий термометр (рис. 2), лінійка.

Залежність об'єму рідини від температури: $V = V_0(1 + \beta t)$, де коефіцієнт об'ємного розширення спирту $\beta = 1,12 \cdot 10^{-3} (^{\circ}\text{C})^{-1}$, густина спирту $\rho = 789 \text{ кг/м}^3$, маса спирту в термометрі $m = 0,12$ г.

Розв'язування. Із залежності об'єму рідини від температури: $V = V_0(1 + \beta t)$, де V_0 – об'єм при $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$, знаходимо $V - V_0 = V_0\beta t$, або $S \Delta h = \frac{m}{\rho} \beta t$. Площа поперечного

перерізу капіляра $S = \frac{\pi d^2}{4}$. Звідси знаходимо $d = \sqrt{\frac{4m\beta t}{\pi\rho\Delta h}}$. Вимірюємо за рисунком

висоту стовпчика спирту: $\Delta h = h_{50} - h_0 = 41,0$ мм. Обчислюємо значення діаметра

капіляра: $d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} \cdot 1,12 \cdot 10^{-3} \cdot 50}{3,14 \cdot 789 \cdot 41 \cdot 10^{-3}}} = 5,14 \cdot 10^{-4} \text{ (м)} = 0,514 \text{ мм.}$

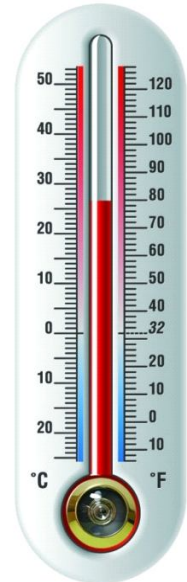


Рисунок 2

9 клас

Завдання 1. Визначити густину дерева та відношення площ перерізу мензурки і дерев'яної палички.

Обладнання: дерев'яна паличка сталого перерізу, мензурка, металева дротина, вода. Густина води при 20°C $\rho_{\text{в}} = 998 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язування. Наливаємо в мензурку таку кількість води, щоб у неї можна було повністю занурити дерев'яну паличку. Вимірюємо об'єм води $V_{\text{H}_2\text{O}}$ (рис. 3). Опускаємо паличку в мензурку і при її вертикальному плаванні вимірюємо верхній рівень води $V_{\text{в0}}$. Запишемо умову плавання палички: $mg = F_A$, або $\rho_{\text{д}}gV_{\text{д}} = \rho_{\text{в}}gV_3$, де V_3 – об'єм зануреної частини палички, $V_{\text{д}}$ – весь об'єм дерев'яної палички (рис. 4).

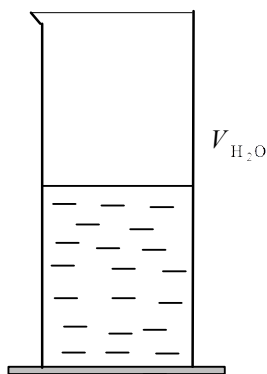


Рисунок 3

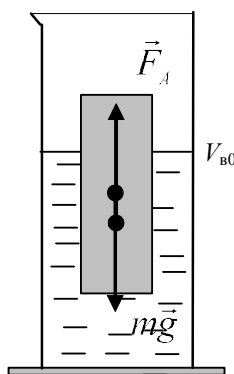


Рисунок 4

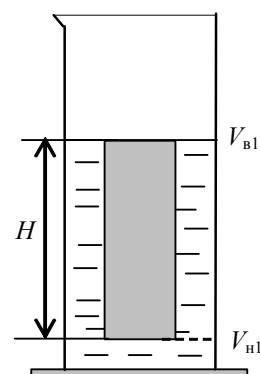


Рисунок 5

Звідси знаходимо густину дерева $\rho_{\text{д}} = \rho_{\text{в}} \frac{V_3}{V_{\text{д}}}$. Об'єм зануреної частини палички $V_3 = V_{\text{в0}} - V_{\text{H}_2\text{O}}$. Для

знаходження об'єму палички потрібно її повністю занурити у воду. За допомогою металевої дротини занурюємо паличку у воду так, щоб верхній рівень палички і води збігався (рис. 5). За поділками мензурки

Методичні публікації

вимірюємо положення верхнього і нижнього перерізів палички: $V_{в1}, V_{н1}$. Об'єм палички $V_d = V_{в1} - V_{H_2O}$. Тоді

$$\text{густина дерева } \rho_d = \frac{\rho_{в}(V_{в0} - V_{H_2O})}{V_{в1} - V_{H_2O}}.$$

Об'єм дерев'яної палички $V_d = sH$, де s – площа перерізу палички. $sH = V_{в1} - V_{н1}$, де S – площа перерізу мензурки. Тоді відношення площ перерізу мензурки і дерев'яної палички $\frac{S}{s} = \frac{V_{в1} - V_{н1}}{V_{в1} - V_{H_2O}}$.

У наших вимірюваннях отримано такі дані: $V_{H_2O} = 35$ мл, $V_{в0} = 42,5$ мл, $V_{в1} = 46,5$ мл, $V_{н1} = 4,5$ мл.

За цими даними проводимо обчислення в СІ: $\rho_d = \frac{998 (42,5 - 35)}{46,5 - 35} = 650,87 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$.

Відносна похибка результату: $\varepsilon_\rho = \frac{\Delta\rho_d}{\rho_d} = \frac{\Delta V_{в0} + \Delta V_{H_2O}}{V_{в0} - V_{H_2O}} + \frac{\Delta V_{в1} + \Delta V_{H_2O}}{V_{в1} - V_{H_2O}}$,

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho_d}{\rho_d} = \frac{0,25 + 0,25}{42,5 - 35} + \frac{0,25 + 0,25}{46,5 - 35} = 0,067 + 0,043 = 0,11 = 11\%.$$

Абсолютна похибка $\Delta\rho_d = \rho_d \cdot \varepsilon_\rho = 650,87 \cdot 0,11 = 72 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$.

Отже, $\rho_d = (650 \pm 70) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Обчислюємо відношення площ перерізу мензурки і дерев'яної палички: $k = \frac{S}{s} = \frac{46,5 - 4,5}{46,5 - 35} = 3,65$. Відносна

похибка $\varepsilon_k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta V_{в1} + \Delta V_{н1}}{V_{в1} - V_{н1}} + \frac{\Delta V_{в1} + \Delta V_{H_2O}}{V_{в1} - V_{H_2O}}$. $\varepsilon_k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{0,25 + 0,25}{42,5 - 4,5} + \frac{0,25 + 0,25}{46,5 - 35} = 0,013 + 0,043 = 0,056 = 5,6\%$.

Абсолютна похибка $\Delta k = k \cdot \varepsilon_k = 3,65 \cdot 0,056 = 0,2$.

Отже, $k = 3,7 \pm 0,2$.

Завдання 2. Визначити опір з'єднувальних провідників.

Обладнання: джерело постійного струму, два амперметри, реостат, з'єднувальні провідники (5 шт.), мідна неізолювана дротина, лінійка.

Розв'язування. Складаємо коло, схему якого зображено на рис. 6. Якщо амперметр зашунтувати одним зі з'єднувальних провідників, то опір цього провідника визначається як опір шунта:

$$R_{ш} = \frac{U_{ш}}{I_{ш}} = \frac{I_2 R_{a2}}{I_1 - I_2} \quad (1), \text{ де } I_1, I_2 - \text{покази відповідних}$$

амперметрів, R_{a2} – опір амперметра A_2 . Використовуючи як шунт

інші провідники, отримуємо покази амперметрів та знаходимо опори цих провідників. Додаванням рівнянь

типу (1) знаходимо загальний опір усіх провідників: $R = R_{a2} \sum_{i=1}^5 \frac{I_{2i}}{I_{1i} - I_{2i}}$ (2).

Для визначення опору амперметра використаємо як шунт мідну дротину. Тоді $R_{a2} = R_m \frac{I_{1м} - I_{2м}}{I_{2м}}$. Опір

мідної дротини $R_m = \rho_m \frac{\ell}{S} = \frac{4\rho\ell}{\pi d^2}$. Похибка вимірювання буде найменшою, якщо дібрати таку довжину мідної

дротини, при якій $I_{10} = 2I_{20}$. У цьому випадку опір амперметра дорівнює опору частини мідної дротини

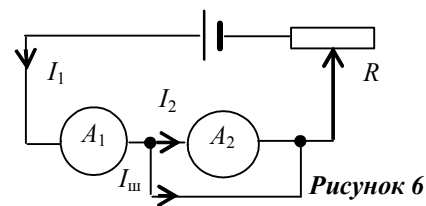


Рисунок 6

завдовжки ℓ_0 . Тоді опір амперметра $R_{a2} = R_m = \frac{4\rho_m \ell_0}{\pi d^2}$. Співвідношення для опору одного провідника:

$$R_{\text{п}} = \frac{I_2 R_{a2}}{I_1 - I_2} = \frac{I_2}{I_1 - I_2} \cdot \frac{4\rho_m \ell_0}{\pi d^2} = \frac{4\rho_m \ell_0 I_2}{\pi d^2 (I_1 - I_2)}$$

Відносна похибка знаходження опору одного з'єднувального провідника:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{\text{п}}}{R_{\text{п}}} = \frac{\Delta \ell_0}{\ell_0} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta I_2}{I_2} + \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2}{I_1 - I_2}$$

10 клас

Завдання 1. Визначити густину дерева і відношення діаметрів D/d мензурки та дерев'яної палички.

Обладнання: дерев'яна циліндрична паличка, мензурка, металева дротина, вода. Густина води при 20°C

$$\rho_{\text{в}} = 998 \text{ кг/м}^3$$

Розв'язування. Наливаємо в мензурку стільки води, щоб у неї можна було повністю занурити дерев'яну паличку. Вимірюємо об'єм води $V_{\text{H}_2\text{O}}$ (рис. 7). Опускаємо паличку в мензурку і при її вертикальному плаванні вимірюємо верхній рівень води $V_{\text{в0}}$. Запишемо умову плавання палички: $mg = F_A$, або $\rho_{\text{д}} g V_{\text{д}} = \rho_{\text{в}} g V_3$, де V_3 – об'єм зануреної частини палички, $V_{\text{д}}$ – весь об'єм дерев'яної палички (рис. 8).

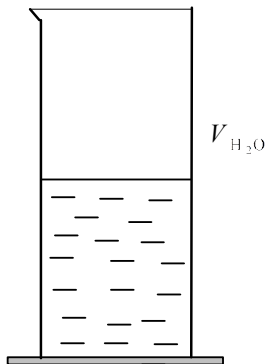


Рисунок 7

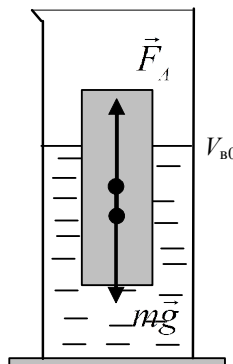


Рисунок 8

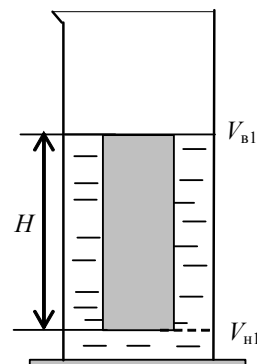


Рисунок 9

Звідси знаходимо густину дерева: $\rho_{\text{д}} = \rho_{\text{в}} \frac{V_3}{V_{\text{д}}}$. Об'єм зануреної частини палички: $V_3 = V_{\text{в0}} - V_{\text{H}_2\text{O}}$. Для

знаходження об'єму палички потрібно її повністю занурити у воду. За допомогою металевої дротини занурюємо так, щоб верхній рівень палички і води збігався (рис. 9). За поділками мензурки вимірюємо положення верхнього і нижнього перерізів палички: $V_{\text{в1}}$, $V_{\text{н1}}$. Об'єм палички $V_{\text{д}} = V_{\text{в1}} - V_{\text{H}_2\text{O}}$. Тоді густина

$$\text{дерева } \rho_{\text{д}} = \frac{\rho_{\text{в}} (V_{\text{в0}} - V_{\text{H}_2\text{O}})}{V_{\text{в1}} - V_{\text{H}_2\text{O}}}$$

Об'єм дерев'яної палички $V_{\text{д}} = sH$, де s – площа перерізу палички. $SH = V_{\text{в1}} - V_{\text{н1}}$, де S – площа перерізу мензурки. Тоді відношення площ перерізу мензурки і дерев'яної палички $\frac{S}{s} = \frac{V_{\text{в1}} - V_{\text{н1}}}{V_{\text{в1}} - V_{\text{H}_2\text{O}}}$. Площа перерізу

$$\text{мензурки та дерев'яної палички: } S = \frac{\pi D^2}{4}, s = \frac{\pi d^2}{4}. \text{ Тоді відношення діаметрів } \frac{D}{d} = \sqrt{\frac{V_{\text{в1}} - V_{\text{н1}}}{V_{\text{в1}} - V_{\text{H}_2\text{O}}}}$$

У наших вимірюваннях отримано такі дані: $V_{\text{H}_2\text{O}} = 70$ мл, $V_{\text{в0}} = 92$ мл, $V_{\text{в1}} = 99$ мл, $V_{\text{н1}} = 20$ мл. За цими даними проводимо обчислення в СІ: $\rho_{\text{д}} = \frac{998 (92 - 70)}{99 - 70} = \frac{998 \cdot 22}{29} = 757 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$.

Відносна похибка результату: $\varepsilon_\rho = \frac{\Delta\rho_d}{\rho_d} = \frac{\Delta V_{B0} + \Delta V_{H_2O}}{V_{B0} - V_{H_2O}} + \frac{\Delta V_{B1} + \Delta V_{H_2O}}{V_{B1} - V_{H_2O}}$.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho_d}{\rho_d} = \frac{0,25+0,25}{92-70} + \frac{0,25+0,25}{99-70} = 0,023+0,017 = 0,04 = 4\%.$$

Абсолютна похибка $\Delta\rho_d = \rho_d \cdot \varepsilon_\rho = 757 \cdot 0,04 = 30 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$.

Отже, $\rho_d = (760 \pm 30) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Обчислюємо відношення площ перерізу мензурки і дерев'яної палички:

$$k = \frac{D}{d} = \sqrt{\frac{99-20}{99-70}} = \sqrt{\frac{79}{29}} = \sqrt{2,72} = 1,65. \text{ Відносна похибка: } \varepsilon_k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta V_{B1} + \Delta V_{H1}}{V_{B1} - V_{H1}} + \frac{\Delta V_{B1} + \Delta V_{H_2O}}{V_{B1} - V_{H_2O}} \right)$$

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta k}{k} = \frac{1}{2} \left(\frac{0,25+0,25}{99-20} + \frac{0,25+0,25}{99-70} \right) = 0,5 (0,0063 + 0,0172) = 0,012 = 1,2\%.$$

Абсолютна похибка $\Delta k = k \cdot \varepsilon_k = 1,65 \cdot 0,012 = 0,02$.

Отже, $k = 1,65 \pm 0,02$.

Завдання 2. Визначити опір з'єднувальних провідників.

Обладнання: джерело постійного струму, два амперметри, реостат, з'єднувальні провідники (5 шт.), мідна неізолювана дротина, лінійка.

Дивись розв'язування завдання 2 для 9-го класу.

11 клас

Завдання 1. Визначити відношення жорсткостей гумових ниток.

Обладнання: гумові нитки різних жорсткостей, нитки, лінійка.

Розв'язування. З допомогою нитки зв'язуємо гумові нитки і розтягуємо їх в одну пряму лінію. На точку з'єднання гумових ниток діють у протилежних напрямках сили пружності. Під час експерименту точку з'єднання гумових ниток утримуємо у рівновазі над середньою поділкою лінійки. Запишемо умову рівноваги точки з'єднання:

$$2F_{np1} = F_{np2} \quad (1), \text{ або } 2k_1(\ell_{n1} - \ell_{o1}) = k_2(\ell_{n2} - \ell_{o2}) \quad (2). \text{ Звідси знаходимо: } \alpha = \frac{k_1}{k_2} = \frac{\ell_{n2} - \ell_{o2}}{2(\ell_{n1} - \ell_{o1})}.$$

серію вимірювань довжини гумових ниток при їх деформації. Результати вимірювань записуємо у таблицю.

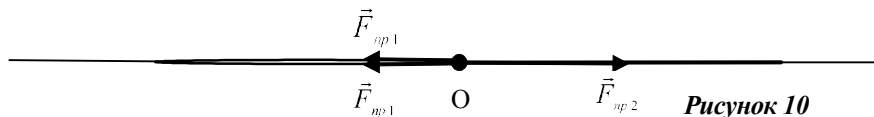
Початкову довжину недеформованої нитки виявити складно, тому варто відняти рівняння (2) для послідовних вимірювань: $2k_1(\ell_{(n+1)1} - \ell_{n1}) = k_2(\ell_{(n+1)2} - \ell_{n2})$. Тоді відношення жорсткостей знаходимо за формулою:

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} = \frac{\ell_{(n+1)2} - \ell_{n2}}{2(\ell_{(n+1)1} - \ell_{n1})}.$$

Дані вимірювань та обчислень наводимо у таблиці. Відносну похибку результату знайдемо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta\ell_{(n+1)2} + \Delta\ell_{n2}}{\ell_{(n+1)2} - \ell_{n2}} + \frac{\Delta\ell_{(n+1)1} + \Delta\ell_{n1}}{\ell_{(n+1)1} - \ell_{n1}},$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{0,5+0,5}{145-115} + \frac{0,5+0,5}{90-80} = 0,033+0,1 = 0,133 = 13,3\%. \text{ Абсолютна похибка } \Delta\alpha = \alpha \cdot \varepsilon_\alpha = 1,5 \cdot 0,13 = 0,2.$$



№ з/п	ℓ_{n1} , см	$\ell_{(n+1)1} - \ell_{n1}$, см	ℓ_{n2} , см	$\ell_{(n+1)2} - \ell_{n2}$, см	$\frac{k_1}{k_2}$
0	8		11,5		
1	9	1	14,5	3	1,5
2	10	1	16,5	2	1
3	11	1	19,5	3	1,5
4	12	1	22	2,5	1,25
5	13	1	24,7	2,7	1,35
6	14	1	26,7	2	1
ср.					1,27

Завдання 2. Визначити масу стовпа повітря, який тисне на стіл учасника експериментального туру олімпіади.

Обладнання: нитка достатньої довжини, кулька з гачком, секундомір, барометр, штатив, стіл. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Розв'язування. Тиск $p = \frac{F}{S}$, де F – сила; S – площа поверхні. Тоді сила тиску атмосфери $F = pS$.

Атмосферний тиск можемо виміряти з допомогою барометра-анероїда. Стіл має форму прямокутника, тому його площа $S = a \cdot b$. Для визначення площі необхідно виміряти довжину та ширину прямокутника, але серед обладнання немає лінійки. Візьмемо нитку та прив'яжемо до неї кульку. Нитку візьмемо такої довжини, щоб вона разом із радіусом кульки дорівнювала довжині стола a . Отриманий математичний маятник закріплюємо у

штативі та вимірюємо час t_1 , протягом якого відбувається N_1 коливань. Тоді $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{a}{g}} = \frac{t_1}{N_1}$. Звідси

знаходимо довжину стола: $a = \frac{t_1^2 g}{4\pi^2 N_1^2}$. Аналогічно знаходимо ширину стола: $b = \frac{t_2^2 g}{4\pi^2 N_2^2}$. Остаточно сила тиску

атмосфери на поверхню стола: $F = p \cdot \frac{t_1^2 g}{4\pi^2 N_1^2} \cdot \frac{t_2^2 g}{4\pi^2 N_2^2}$. $F = p \cdot \frac{t_1^2 t_2^2 g^2}{16\pi^4 N_1^2 N_2^2}$. $m = \frac{F}{g} = p \cdot \frac{t_1^2 t_2^2 g}{16\pi^4 N_1^2 N_2^2}$.

Відносна похибка: $\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta p}{p} + 2 \frac{\Delta t}{t_1} + 2 \frac{\Delta t}{t_2}$.

Література

1. Алексейчук В. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки / В. Алексейчук, О. Гальчинський, Г. Шопя. – Л. : ЄвроСвіт, 2004. – 184 с. : іл.
2. Гончаренко С. У. Фізика. Олімпіадні задачі. Вип. 2. 9–11 кл. / С. У. Гончаренко, Є. В. Коршак. – Т. : Навч. кн. – Богдан, 1999. – 200 с.
3. Задачі по физике : учебн. пособ. / [под ред. О. Я. Савченко]. – СПб. : Лань, 2001. – 368 с.