

На допомогу вчителю

УДК 37.091.27:53

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 L Всеукраїнської олімпіади з фізики



Наведено умови завдань та їх авторські розв'язування для 8–11 класів експериментального туру обласного етапу L Всеукраїнської олімпіади юних фізиків.

Ключові слова: маса, монета, лінійка, гальванічний елемент, мультиметр, барометр.

Кобель Г. П., Савош В. А. Експериментальний тур третього етапу L Всеукраїнської олімпіади по фізиці.

Приведены условия заданий и их авторские решения для 8–11 классов экспериментального тура областного этапа L Всеукраинской олимпиады юных физиков.

Ключевые слова: масса, монета, линейка,

гальванический элемент, мультиметр, барометр.

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

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

Key words: mass, coin, ruler, galvanic element, multimeter, barometer.

19 січня 2013 року проводився експериментальний тур третього (обласного) етапу L Всеукраїнської олімпіади юних фізиків, на який було запрошено 15 учнів 8 класу, 14 – 9-го, 17 – 10-го і 10 – 11 класів.

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 банкноти в 1 гривню. Запропонуйте практичне використання результатів експерименту.

Обладнання: дві банкноти, смужка міліметрового паперу, монета відомої маси 1 коп – 1,5 г.

Розв’язування. З допомогою смужки міліметрового паперу визначаємо довжину банкноти $l = 117$ мм та діаметр монети $d = 16$ мм. Тоді центр мас банкноти знаходиться на відстані 58,5 мм від краю. Складемо банкноту так, щоб монета з тертям входила усередину. Вставимо монету повністю у банкноту і зрівноважимо складену банкноту з монетою на краю стола або на круглomu олівці. Виходячи з рис. 1, запишемо умову рівноваги банкноти з монетою:

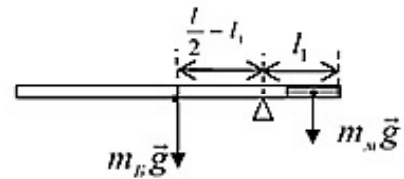


Рисунок 1

$$m_n g \left(\frac{l}{2} - l_1 \right) = m_m g \left(l_1 - \frac{d}{2} \right).$$

Звідси знаходимо: $m_n = \frac{m_m \left(l_1 - \frac{d}{2} \right)}{\frac{l}{2} - l_1}$. Вимірюємо l_1 за допомогою смужки міліметрового паперу.

У нашому випадку $l_1 = 23$ мм. Обчислимо масу банкноти: $m_n = \frac{1,5 \text{ г} (23 \text{ мм} - 8 \text{ мм})}{58,5 \text{ мм} - 23 \text{ мм}} = \frac{1,5 \cdot 15}{35,5} \text{ г} = 0,634 \text{ г} = 634 \text{ мг}$.

Маса 1 коп у 2,4 раза більша від маси банкноти. Вимірювання будуть точнішими, якщо визначати масу відразу двох банкнот. У цьому випадку значення l_1 буде більшим. Скласти банкноти потрібно у протилежні сторони, щоб смужка була розміщена з різних сторін. Цим ми компенсуємо вплив неоднорідності банкноти (різну поверхневу густину).

Точне значення маси банкноти можна використати для виявлення фальшивих банкнот.



Рисунок 2

Завдання 2. Знайти відношення швидкостей кінців годинної та секундної стрілок годинника.

Обладнання: годинник (рис. 2), міліметровий папір.

Розв’язування. За допомогою міліметрового паперу виміряємо відстані від центра обертання до кінців годинної та секундної стрілок: $R_r = 20$ мм, $R_c = 27$ мм. Відомо, що період обертання годинної стрілки: $T_r = 720$ хв, секундної – $T_c = 1$ хв. Швидкості кінців стрілок визначимо з формул: $v_c = \frac{2\pi R_c}{T_c}$ (1); $v_r = \frac{2\pi R_r}{T_r}$ (2). Відношення швидкостей

стрілок знайдемо, поділивши рівняння 1 на 2: $\frac{v_c}{v_r} = \frac{2\pi R_c T_r}{2\pi R_r T_c} = \frac{R_c T_r}{R_r T_c}$;

$$\frac{v_c}{v_r} = \frac{27 \text{ мм} \cdot 720 \text{ хв}}{20 \text{ мм} \cdot 1 \text{ хв}} = 972.$$

9 клас

Завдання 1. Визначити масу однієї клітинки аркуша учнівського зошита. Запропонуйте практичне використання результатів експерименту.

Обладнання: аркуш паперу в клітинку, монета відомої маси 2 коп – 1,8 г.

Розв’язування. Із заданої інформації про монету знаходимо, що її маса $m_m = 1,8$ г, а діаметр $d = 17,3$ мм. Порахуємо ширину та довжину аркуша у клітинках. У нашому випадку розмір паперу становить 40 x 33 клітинки. Складаємо аркуш уздовж довшої сторони у ширину діаметра монети 3,46 клітинки. Запишемо монету в середину паперу, як показано на рис. 3.

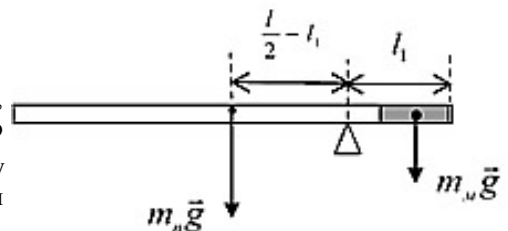


Рисунок 3

Зрівноважимо складений папір з монетою на краю стола або на круглomu олівці. Вимірюємо відстань $l_1 = 11$ (клітинок) від краю паперу до положення опори у клітинках. Записуємо умову рівноваги:

$$m_n g \left(\frac{l}{2} - l_1 \right) = m_m g \left(l_1 - \frac{d}{2} \right).$$

Звідси знаходимо:
$$m_n = \frac{m_m \left(l_1 - \frac{d}{2} \right)}{\frac{l}{2} - l_1}.$$

Виконаємо обчислення:
$$m_n = \frac{1,8 \text{ г} \left(11 - \frac{3,46}{2} \right)}{\frac{40}{2} - 11} = \frac{1,8 \text{ г} \cdot 9,27}{9} = 1,854 \text{ г} \approx 1,9 \text{ г}.$$

Загальна кількість клітинок становить $40 \times 33 = 1320$. Отже, маса однієї клітинки $m_1 = \frac{1854 \text{ мг}}{1320} = 1,4 \text{ мг}$.

Це значення можна використати для виготовлення гирок малої маси: 10; 20; 30 мг і т. д. Для цього із паперу потрібно вирізати смужку з потрібною кількістю клітинок.

Завдання 2. Визначити потужність нагрівника.

Обладнання: нагрівник, калориметр, посудина з водою, мензурка, термометр, секундомір.

Розв'язування. За допомогою мензурки виміряємо об'єм води V . Її масу визначимо з формули $m = \rho \cdot V$.

Переллємо воду в калориметр. Якщо знехтувати втратами енергії, то для процесу нагрівання води в калориметрі можна записати: $P \cdot \tau_1 = c_e \cdot m_1 \cdot \Delta t + C \Delta t$ (1), де P – потужність нагрівника, τ_1 – час нагрівання води, m_1 – її маса, c_e – питома теплоємність води, C – теплоємність калориметра.

Зробивши аналогічні вимірювання ще раз, визначимо час τ_2 нагрівання води до такої самої різниці температур Δt , як у першому випадку. Отримаємо: $P \cdot \tau_2 = c_e \cdot m_2 \cdot \Delta t + C \Delta t$ (2). Віднімемо від рівняння 2 рівняння 1: $c_e \cdot m_2 \cdot \Delta t - c_e \cdot m_1 \Delta t + C \Delta t - C \Delta t = P(\tau_2 - \tau_1)$. Звідси: $P = \frac{c_e \cdot \Delta t(m_2 - m_1)}{\tau_2 - \tau_1}$.

10 клас

Завдання 1. Однорідний стержень торкається нижнім кінцем до гладкої горизонтальної поверхні стола й утворює з нею кут α . Дослідити залежність горизонтального зміщення кінця стержня від початкової точки, при падінні стержня, від кута α . Побудуйте графік $x = f(\alpha)$. Порівняйте експериментальну та теоретичну залежності. Зробіть висновки.

Обладнання: дерев'яний стержень, лінійка, нитка, штатив.

Розв'язування. Для проведення експерименту можна на стіл покласти тверду поліетиленову плівку для зменшення сили тертя. Верхній кінець стержня за допомогою нитки кріплять до штатива так, щоб він торкався нижнім кінцем до стола. З допомогою лапки штатива можна закріпити вертикально лінійку для вимірювання висоти h .

Проаналізуємо задачу теоретично. Якщо можна нехтувати силою тертя між нижнім кінцем стержня та поверхнею стола, то стержень рухається лише під дією сили тяжіння. При цьому центр мас стержня рухається вертикально вниз, а точка дотику стержня з поверхнею ковзає уліво. Зміщення стержня $A_1B_1 = A_1O_1 - AC$.

$$A_1B_1 = \frac{l}{2} - \frac{l}{2} \cos \alpha = \frac{l}{2} (1 - \cos \alpha).$$

Отже, $x = \frac{l}{2} (1 - \cos \alpha) = l \sin^2 \frac{\alpha}{2}$. (1)

Лінійкою вимірюємо довжину палички: $l = 376$ мм. Побудуємо криву, яка відображає теоретичну функцію (1), – рис. 5.

α	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$\frac{\alpha}{2}$	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
x , мм	3	11	25	44	67	94	124	155

Для знаходження експериментальних точок точку B стержня фіксують біля певної поділки лінійки, вимірюють висоту h і помічають ручкою початкове положення точки A на плівці. Знаходимо кут $\alpha = \arcsin \frac{h}{l}$.

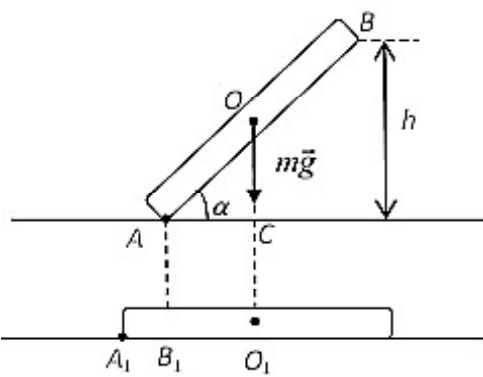


Рисунок 4

Відпускаємо нитку і спостерігаємо за падінням стержня та зміщенням точки дотику A вліво. За допомогою ручки на плівці помічаємо кінцеве положення точки $A - A_1$. Міняємо кут α і помічаємо нове значення кінцевого положення точки A_1 . Початкове положення нижньої точки стержня варто не міняти. Для цього можна переміщати штатив із лінійкою. Якщо стержень при падінні підскочив, дослід виконують повторно для цієї ж висоти. Після проведення дослідів вимірюють значення зміщень x для відповідних кутів α .

На графіку наносять експериментальні точки, які відображають залежність $x = f(\alpha)$.

При кутах до $40^\circ - 50^\circ$ експериментальні значення x не дуже відрізняються від теоретичних. При більших значеннях кутів вплив сили тертя зменшує значення x і експериментальні точки відхиляються від теоретичних. Для успішного проведення експерименту навіть для малих кутів α необхідно виключити пружний удар стержня об горизонтальну поверхню. Для цього можна справа від точки дотику A постелити м'яку серветку.

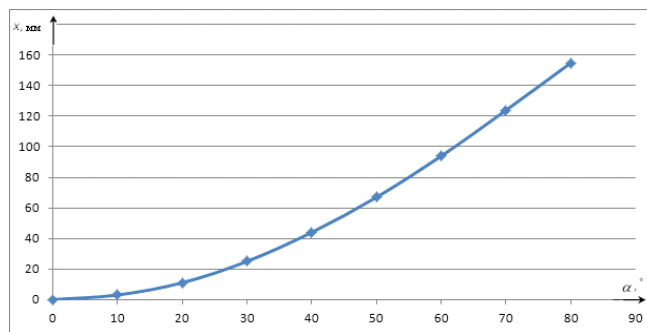


Рисунок 5

Завдання 2. Визначити потужність нагрівника.

Обладнання: нагрівник, калориметр, посудина з водою, мензурка, термометр, секундомір.

Розв'язування. Див. завдання 2 для 9 класу.

11 клас

Завдання 1. Сконструйте гальванічні елементи з різними ЕРС. Визначте електричні характеристики отриманих джерел: ЕРС, внутрішній опір, силу струму короткого замикання. У якому випадку ЕРС максимальна? Яка максимальна корисна потужність цього елемента? Запропонуйте практичне використання результатів експерименту.

Обладнання: мультиметр – прилад для вимірювання електричних величин (додається інструкція до нього), картоплина, пластини або дротини з різних металів (Cu, Zn, Al, Fe), шліфувальний папір.

Розв'язування. Послідовність розміщення металів у порядку зростання стандартних електродних потенціалів, якому відповідає зменшення електрохімічної активності металів, називається **електрохімічний ряд напруг металів**:

Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

З аналізу електрохімічного ряду напруг металів випливає декілька важливих висновків.

1. Метали, стандартні електродні потенціали яких нижчі, ніж водневий електродний потенціал у нейтральному середовищі, здатні витіснити водень із води, але ті активні метали, що розміщуються у ряді напруг після Mg, за звичайних умов з H_2O не взаємодіють, тому що покриті нерозчинними у воді оксидними плівками.

2. Метали, які розміщені у ряді напруг до H_2 , витісняють водень з кислот-неокисників (HCl, H_3PO_4 , CH_3COOH , розведена H_2SO_4 тощо).

3. Для металів, що розміщуються у ряді напруг після Mg, характерна закономірність: більш активний метал витісняє менш активний із розчину його солі. Або для загального випадку: *метал, що розміщується ближче до початку ряду напруг, витісняє інший метал, що знаходиться правіше, з розчину його солі. А метали у ряді напруг до Mg настільки активні, що у водних розчинах солей взаємодіють не з сіллю, а з водою.*

4. Під час реакції у розчинах електролітів *відновні властивості металів зменшуються від початку ряду напруг, а окисні властивості катіонів металів, навпаки, – від кінця ряду напруг.* Так, метали Li, Na, Mg, Zn виявляють сильні відновні властивості й легко окиснюються, а катіони Pt^{2+} , Au^{3+} , Ag^+ , Cu^{2+} є сильними окисниками, які швидко відновлюються до вільних металів.

Принцип дії гальванічного елемента ґрунтується на взаємодії двох металів через електроліт, яка приводить до виникнення у замкнутому колі електричного струму. Отже, гальванічний елемент містить дві пластини з різних металів, занурених у розчин електроліту. Така схема дозволяє просторово розділити напівреакції окиснення і відновлення, що відбуваються на поверхні поділу фаз метал–електроліт, на якій утворюється подвійний електричний шар.

Методичні публікації

Гальванічний елемент – це хімічне джерело електричного струму, що складається з однієї гальванічної комірки.

Щоб визначити, який електрод у гальванічному елементі відіграє роль анода, а який – катода, необхідно порівняти значення електродних потенціалів відповідних електрохімічних систем. Окисно-відновна реакція самочинно проходить у тому напрямі, при якому електрохімічна система з більшим значенням електродного потенціалу є окисником, тому катодом (окисником) є електрод, виготовлений з менш активного металу, електродний потенціал якого має більш додатне значення, – саме тому *катод у схемах гальванічних елементів позначається знаком плюс*. І навпаки, анодом (відновником) є електрод, виготовлений із більш активного металу, у якого електродний потенціал має більш від’ємне значення, тому *анод позначається знаком мінус*.

Із запропонованих у задачі металів найменш активним є мідь Cu. У картоплину, яку використовуємо як електроліт, встромлюємо посередині мідну дротину. На відстані 1 см від мідної дротини ставимо дротини чи пластини з інших металів, розміщуючи їх по колу. З електродів спочатку потрібно очистити окисну плівку з допомогою шліфувального паперу. Далі з допомогою мультиметра, увімкненого як вольтметр, вимірюємо ЕРС між різними парами електродів: Cu – Al; Cu – Zn; Cu – Fe. Таке вимірювання дає значення ЕРС, оскільки внутрішній опір мультиметра у режимі вольтметра 10 МОм, який набагато більший від опору сконструйованого гальванічного елемента. Для вимірювання ЕРС чорний шуп з’єднуємо з гніздом “COM”, а червоний – із гніздом “V Ω mA”. Поворотним перемикачем вибираємо межу вимірювання 2 V. Червоний провід (+) під’єднуємо до мідної дротини.

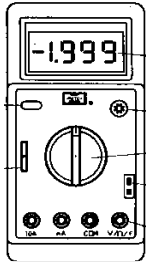


Рисунок 6

Для визначення внутрішнього опору отриманого гальванічного елемента потрібно виміряти спочатку струм короткого замикання. Для такого вимірювання червоний шуп перемикаємо у гніздо “mA” приладу. Поворотним перемикачем міняємо межу вимірювання від 200 mA до 2 mA. Якщо дисплей показує “1”, то це свідчить про перевантаження, і потрібно вибрати більшу межу вимірювань. Знаходимо внутрішній опір джерела: $r = \frac{\varepsilon}{I_{к.з.}}$.

У таблиці наводимо результати двох варіантів вимірювань:

Вим. величина	Cu – Al (дротина)	Cu – Al (пластина)	Cu – Zn	Cu – Fe (нерж. сталь)	Cu – Fe (залізна пластина)
E (ЕРС), В	0,97		1,35		
$I_{к.з.}$, мкА	200		500		
r, кОм	4,85		2,7		

Як видно із таблиці, максимальне значення ЕРС отримано при використанні електродів Cu – Zn. Із електрохімічного ряду напруг металів максимальна ЕРС буде при використанні електродів Cu – Al. Причиною невідповідності теорії та експерименту є, мабуть, використання як електрода не чистого алюмінію, а алюмінієвого сплаву.

Корисна потужність виділяється на зовнішньому опорі: $P_k = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$. Дослідимо функцію

$P_k = f(R)$ на екстремум. Знаходимо похідну: $\frac{dP_k}{dR} = \frac{\varepsilon^2 (R + r)^2 - 2(R + r)\varepsilon^2 R}{(R + r)^4} = \frac{\varepsilon^2 (r - R)}{(R + r)^3}$. Отже, потужність

набуває максимального значення при $R = r$. Тоді $P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$. Обчислимо максимальну корисну потужність

для максимального значення ЕРС: $P_{\max} = \frac{1,35^2}{4 \cdot 2,7 \cdot 10^3} = 0,17 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт)} = 0,17 \text{ мВт}$.

Завдання 2. Запропонуйте аквалангістові спосіб визначення глибини прісного озера. При якій температурі навколишнього середовища похибка вимірювань буде мінімальною?

Обладнання: довга циліндрична мензурка, барометр.

Розв’язування. Необхідно помістити мензурку у воду отвором донизу. За нормального атмо сферного тиску p_0 повітря в посудині займає об’єм $V_1 = Sl$, де l – її довжина, S – площа поперечного перерізу. Занурившись до дна водоймища, аквалангісту необхідно відзначити положення рівня води у мензурці й визначити об’єм повітря в ній: $V_2 = Sl_2$. Тиск повітря біля дна буде становити: $p_0 + \rho gh$, де h – глибина водоймища, ρ – густина води, g – прискорення вільного падіння. Застосувавши закон Бойля–Маріотта до повітря у мензурці, отримаємо:

$$p_0 Sl = (p_0 + \rho gh) l_2 S. \text{ Звідси } h = \frac{p_0 (l - l_2)}{\rho g l_2}.$$

Похибка вимірювань буде мінімальною, коли температура повітря буде найменше відрізнятись від температури води.

Література

1. Алексейчук В. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв’язки / В. Алексейчук, О. Гальчинський, Г. Шопя. – Львів : 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. Задачи по физике : учебн. пособие / [под ред. О. Я. Савченко]. – СПб. : Лань, 2001. – 368 с.