

Кобель Григорій Петрович,
доцент кафедри загальної фізики
та методики викладання фізики
СНУ імені Лесі Українки
Савош Валентин Олексійович,
завідувач відділом фізико-математичних
дисциплін ВІППО

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗАДАЧІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОСТОГО ОБЛАДНАННЯ

У статті запропоновані розв'язки експериментальних задач, у яких використовується просте, доступне обладнання.

Ключові слова: лінійка, медичний шприц, вода, циліндрична посудина.

Kobel H.P., Savosh V.O. The experimental problems with the use of simple equipment.

The ways of salvation of experimental problems, in which the simple, accesible equipment is used, are proposed in the article.

Keywords: ruler, medical syringe, water, cylinder utensil.

Розв'язування експериментальних задач – одна з активних форм навчально-виховного процесу, важливим компонентом якого є самостійна пізнавальна робота учнів. У шкільній практиці, знання, які отримані учнями самостійно, у більшості випадків мають суб'єктивну новизну і складають основу продуктивного підходу до процесу навчання. Тому виявляється можливою організація продуктивного підходу на основі використання експериментальних задач. Ця проблема висвітлювалася у роботах багатьох вчених, зокрема Гончаренка С.У., Коршака Є.В. [1], Кабардіна О.Ф., Орлова В.О. [3], Іваненка О.Ф.[2], Калапуші Л.Р.[4] та інших.

Особливо цікавими для вчителів-практиків є експериментальні задачі, які не потребують складного, дорогого обладнання. Експериментальні задачі з використанням простого, доступного обладнання можуть з успіхом використовуватися також в якості домашніх завдань.

Експериментальні задачі займають чільне місце і у проведенні фізичних олімпіад різного рівня.

Розглянемо приклади експериментальних задач, у яких використовується медичний шприц. Ці задачі пропонувалися на обласній олімпіаді юних фізиків для учнів 8-11 класів.

Завдання 1. Не виймаючи поршня із медичного шприца, визначити його радіус.

Обладнання: шприц, лінійка.

Розв'язування. Об'єм шприца: $V = Sh$, де h – висота циліндра певного об'єму, S – площа поршня медичного шприца. $S = \pi R^2$ тоді $V = \pi R^2 h$. Звідси знаходимо: $R = \sqrt{\frac{V}{\pi h}}$.

Для збільшення точності вимірювання вибирають максимальний об'єм шприца: 10 мл чи 20 мл.

Завдання 2. Медичний шприц занурте вертикально у воду та витисніть повітряну бульбашку. Визначте діаметр бульбашки і тиск повітря всередині шприца при виході з нього бульбашки.

Обладнання загальне: барометр;

Індивідуальне: шприц, посудина з водою, лінійка.

Розв'язування. Тиск повітря у бульбашці дорівнює сумі атмосферного тиску та тиску стовпа води над бульбашкою: $p = p_a + \rho_g h$. Отже, для знаходження p , потрібно виміряти лінійкою глибину занурення нижнього краю шприца та атмосферний тиск. Діаметр бульбашки можна

обчислити знаючи її об'єм: $V_0 = \frac{\pi d^3}{6}$. Звідси знаходимо: $d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}}$. Якщо

кількість витиснутих бульбашок становить n , то об'єм однієї бульбашки:

$V_0 = \frac{V_2}{n}$, де V_2 – об'єм повітря у шприці перед витискуванням. Якщо

початковий об'єм повітря рівний максимальному об'єму шприца V_1 , то при зануренні виконується рівняння Бойля-Маріотта: $p_a V_1 = (p_a + \rho_g h) V_2$. Звідси:

$$V_2 = \frac{p_a V_1}{p_a + \rho_g h_1}.$$

$$\text{Остаточно маємо: } d = \sqrt[3]{\frac{6 p_a V_1}{\pi n (p_a + \rho_g h)}}.$$

Завдання 3. Порівняти силу тертя, яка припадає на одиницю довжини для двох медичних шприців.

Обладнання: два медичні шприци, лінійка.

Розв'язування. Встановимо поршень шприца на максимальний об'єм $V_1 = 10$ мл, тиск повітря у поршні $P_1 = P_{am}$. Щільно притискаємо палець до отвору шприца і повільно стискаємо повітря до об'єму 5 мл. Відпустимо поршень і чекаємо поки він зупиниться. Фіксуємо значення об'єму $V_2 < V_1$. Стиснення повітря відбувалося ізотермічно, тому використаємо рівняння

Бойля-Маріотта: $P_{am} V_1 = P_2 V_2$. У другому стані тиск газу $P_2 = P_{am} + \frac{F_{mp}}{S}$, де S –

площа поршня. Тоді: $P_{am} V_1 = \left(P_{am} + \frac{F_{mp}}{S} \right) V_2$. Звідси знаходимо силу тертя

$F_{mp} = \frac{P_{am} S (V_1 - V_2)}{V_2}$. Сила тертя, яка припадає на одиницю довжини шприца

$$F_\ell = \frac{F_{mp}}{\ell} = \frac{P_{am} S (V_1 - V_2)}{\ell V_2} = \frac{P_{am} \pi d^2 (V_1 - V_2)}{4 \pi d V_2} = \frac{P_{am} d (V_1 - V_2)}{4 V_2}.$$

Для знаходження діаметра поршня шприца вимірюємо лінійкою висоту h стовпа повітря при об'ємі $V_1 = 10$ мл. Об'єм повітря $V_1 = h \frac{\pi d^2}{4}$. Знаходимо діаметр шприца $d = \sqrt{\frac{4V_1}{\pi h}}$. Тоді шукана

сила тертя: $F_\ell = \frac{F_{mp}}{\ell} = \frac{P_{am} \sqrt{V_1} (V_1 - V_2)}{2 \sqrt{\pi h} V_2}$. Для порівняння сили тертя, яка припадає

на одиницю довжини для двох медичних шприців, застосуємо останнє

співвідношення двічі. $F_{\ell 1} = \frac{P_{am} \sqrt{V_1'} (V_1' - V_2')}{2 \sqrt{\pi h'} V_2'}$ та $F_{\ell 2} = \frac{P_{am} \sqrt{V_1''} (V_1'' - V_2'')}{2 \sqrt{\pi h''} V_2''}$.

Відношення сил тертя для двох шприців: $k = \frac{F_{\ell 1}}{F_{\ell 2}} = \frac{\sqrt{V_1'} (V_1' - V_2') \sqrt{h''} V_2''}{\sqrt{h'} V_2' \sqrt{V_1''} (V_1'' - V_2'')}$. Якщо

досліджувані шприци розраховані на однаковий максимальний об'єм $V_1' = V_1''$, то

останнє співвідношення спрощується: $k = \frac{F_{\ell 1}}{F_{\ell 2}} = \frac{(V_1' - V_2') \sqrt{h''} V_2''}{\sqrt{h'} V_2' (V_1'' - V_2'')}$.

Логарифмуючи та диференціюючи останнє співвідношення знаходимо відносну похибку результату:

$$\varepsilon = \frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta V_1' + \Delta V_2'}{V_1' - V_2'} + \frac{1}{2} \frac{\Delta h''}{h''} + \frac{\Delta V_2''}{V_2''} + \frac{1}{2} \frac{\Delta h'}{h'} + \frac{\Delta V_2'}{V_2'} + \frac{\Delta V_1'' + \Delta V_2''}{V_1'' - V_2''}. \quad \text{Абсолютна}$$

похибка $\Delta k = \varepsilon k$.

Завдання 4. Визначте густину піску.

Обладнання: сухий пісок, два медичні шприци 20 мл та 5 мл, лінійка, важок відомої маси (10 г), нитки, вода, шматок пластиліну.

Розв'язування. Потрібно знайти густину самої речовини піску.

Густина піску $\rho_n = \frac{m}{V}$. Закриваємо нижній отвір шприца (20 мл) пластиліном.

Використовуючи лінійку, як важіль знаходимо масу цього шприца m_1 .

Насипаємо у шприц пісок так, щоб його об'єм був трохи меншим 20 мл.

Знаходимо масу шприца із піском m_2 . Тоді маса сухого піску $m_n = m_2 - m_1$.

Меншим шприцом (5 мл) наливаємо у шприц з піском такий об'єм V_1

води, щоб вона повністю покрила пісок. Бажано, щоб рівень води був на поділці $V_2 = 20 \text{ мл}$. Тоді об'єм сухого піску $V_n = V_2 - V_1$.

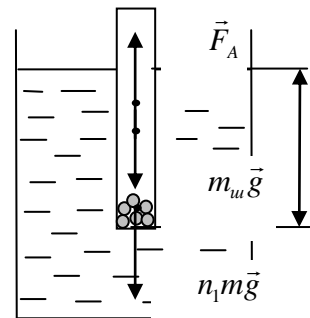
$$\text{Отже шукана густина піску } \rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1}.$$

Завдання 5. Визначити масу медичного шприца.

Обладнання: прозора циліндрична посудина з водою, медичний шприц, смужка міліметрового паперу, тіла однакової маси (10 шт.) (дробинки).

Загальне обладнання: клейка стрічка, ножиці.

Розв'язування. Спочатку потрібно з допомогою смужки міліметрового паперу визначити зовнішню довжину кола ℓ циліндричного шприца. Наливаємо у циліндричну посудину стільки води, щоб шприц міг плавати у ній повністю занурившись. Поступово у шприц кидають стільки дробинок n_1 , щоб шприц плавав вертикально. На зовнішню сторону циліндричної посудини з допомогою клейкої стрічки кріпимо смужку міліметрового паперу. З його допомогою вимірюємо глибину зануреної частини шприца h_1 .



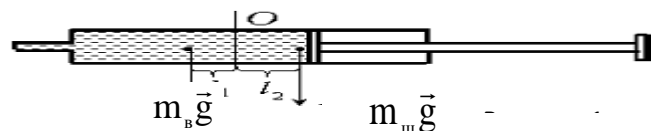
Запишемо умову рівноваги шприца із дробинками: $m_u g + n_1 m g = F_{A1}$ або $m_u g + n_1 m g = \rho_e S h_1 g$, $m_u + n_1 m = \rho_e S h_1$ (1). Площа поперечного перерізу шприца $S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \ell^2}{4\pi^2} = \frac{\ell^2}{4\pi}$.

Поступово у шприц добавляють дробинок, щоб шприц плавав вертикально із максимально можливим зануренням. Вимірюємо нове значення глибини занурення h_2 . У шприці знаходиться n_2 дробинок.

Запишемо знову умову рівноваги шприца із n_2 дробинками: $m_u + n_2 m = \rho_e S h_2$ (2).

Розв'язуємо рівняння (1) та (2) як систему і знаходимо масу шприца m_u . $m_u + n_1 m = \rho_e S h_1$ (1), $m_u + n_2 m = \rho_e S h_2$

$$(2). m_u = \frac{\rho_e S (n_2 h_1 - n_1 h_2)}{n_2 - n_1} = \frac{\rho_e \ell^2 (n_2 h_1 - n_1 h_2)}{4\pi (n_2 - n_1)}.$$



Завдання 6. Визначити масу медичного шприца.

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

Розв'язування: Розв'язок задачі зводиться до порівняння маси шприца із масою води у 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 шприца. Умова рівноваги шприца з водою: $m_u g l_2 = m_g g l_1$, де m_u – маса шприца, m_g – маса води. Плечі сил l_1 та l_2 визначаємо с допомогою смужки міліметрового паперу.

$$\text{Знаходимо масу шприца } m_u = m_g \frac{l_1}{l_2} = \rho V_g \frac{l_1}{l_2} \quad (1).$$

Відносну похибку визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_u}{m_u} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta V_g}{V_g} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2}.$$

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

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

Обчислимо відносну похибку:

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_u}{m_u} = \frac{0,5}{998} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,5}{15} + \frac{0,5}{21} = 0,083 = 8,3 \% . \quad \text{Тоді абсолютна}$$

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

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

Список використаних джерел

1. Гончаренко С.У. Готуємось до фізичних олімпіад / С.У. Гончаренко, Є.В. Коршак. – К. : ІСДО, 1995.–128 с.
2. Іваненко О.Ф. Експериментальні та якісні задачі з фізики: Посібник для вчителя / О.Ф. Іваненко, В.П. Махлай, О.І. Богатирьов. – К. : Рад. Шк., 1987.–144 с.
3. Кабардин О.Ф. Экспериментальные задания по физике. 9-11 классы: учебное пособие для учащихся общеобразовательных учреждений / О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов.–М. : Вербум-М, 2001.– 208 с.
4. Калапуша Л.Р. Навчальний фізичний експеримент у системі сучасних педагогічних технологій / Л.Р. Калапуша, О.С. Мартинюк, І.Г. Мірошніченко. – Луцьк, Вежа.–2002.–202 с.
5. Ляшенко О.І. Особливості формування експериментальних умінь учнів 7-8 класів // Методика викладання математики і фізики: респ. наук.–мет. зб. Вип. №7./ О.І. Ляшенко, В.В. Мендерецький; за ред. О.І.Бугайова.–К.–1991.–160 с.