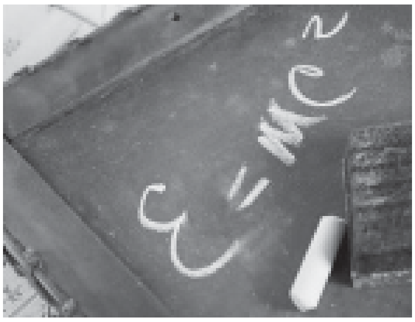
УДК 37.091.27:53

В. О. Савош,
завідувач відділу фізико-математичних дисциплін ВІППО;
Г. П. Кобель,
доцент кафедри загальної фізики та методики викладання фізики СНУ імені Лесі Українки;
Н. П. Сокол,
методист відділу фізико-математичних дисциплін ВІППО

ІІ етап LI Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики



Наведено приклади задач і їх розв'язання для 7–11 класів теоретичного та експериментального турів другого етапу LI Всеукраїнської олімпіади з фізики.

Ключові слова: *густина, маса, об'єм, швидкість, прискорення, коефіцієнт жорсткості, питома теплоємність, сила струму, електричний опір.*

Savosh V. O., Kobel H. P., Sokol N. P. The Second Stage of the LI All-Ukrainian Student's Olympiad in Physics.

Problems and their solutions for the 7–11 classes of theoretical and experimental rounds of the second stage of the LI All-Ukrainian Olympiad in Physics are given.

Key words: *density, mass, volume, speed, speed-up, rigidity coefficient, specific heat, current strength, electric resistance.*

Теоретичний тур

7 клас

Завдання 1. Дайте відповіді на запитання:

1. З якою точністю вимірює час: настінний годинник без секундної стрілки, наручний годинник із секундною стрілкою, наручний годинник з електронним шестизначним циферблатом?

Відповідь: 1 хв, 1 с, 1 с.

2. Чому у старих книжках на суміжних сторінках з'являється дзеркальне відображення малюнків?

Відповідь: Відбувається притягання між молекулами двох сторінок книжки; сторінки були наближені одна до одної досить тривалий час.

3. Чи зміниться відстань, яку проходить молекула від одного зіткнення до наступного, якщо з балона, в якому міститься газ, випустити деяку його кількість? Відповідь поясніть.

Відповідь: Збільшиться, бо збільшаться проміжки між молекулами і зменшиться частота їх зіткнень.

4. Чому навіть легкий вітер може підняти велику кількість піску, сильний вітер спричиняє піщані бурі, а від поверхні води відриває тільки невеликі краплини? Відповідь поясніть.

Відповідь: Сили притягання між молекулами води перешкоджають відриванню краплин води від її поверхні. Сили притягання між піщинками дуже малі, бо молекули сусідніх піщинок розміщені на великій відстані.

5. Чому залізничні і трамвайні рейки не кладуть упритул одна до одної, а залишають проміжки між ними?

Відповідь: Якби рейки були покладені впритул одна до одної, то в гарячу пору року під час їх розширення виникли б небезпечні для руху поїздів деформації.

Задача 2. 27 жовтня 2012 р. о 19 год співробітники спеціальної астрономічної обсерваторії виявили об'єкт, що рухався прямо на Землю. Виміряна в момент відкриття відстань до об'єкта дорівнювала 10 астрономічним одиницям (1 а. о. становить 150 000 000 км). О 19 год 40 хв об'єкт було виявлено на відстані 5 а. о. від Землі. Визначити, з якою швидкістю об'єкт наближався до Землі.

Розв'язання:

Переведемо відстані з астрономічних одиниць у метри:

$$1 \text{ а. о.} = 1{,}5 \cdot 10^8 \text{ км} = 1{,}5 \cdot 10^{11} \text{ м},$$

$$l_1 = 10 \text{ а. о.} = 1{,}5 \cdot 10^{12} \text{ м}, \; l_2 = 5 \text{ а. о.} = 5 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{11} \text{ м}.$$

$$t_1 = 19 \text{ год}, \; t_2 = 19 \text{ год } 40 \text{ хв}, \; c = 3 \cdot 10^8 \; \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Будемо вважати, що об'єкт випромінює сигнал. Момент випускання першого сигналу позначимо τ_1. Тоді момент отримання сигналу $t_1 = \tau_1 + \frac{l_1}{c}$. Аналогічно, момент отримання сигналу вдруге $t_2 = \tau_2 + \frac{l_2}{c}$.

Швидкість, з якою об'єкт наближався до Землі: $\upsilon = \frac{l_1 - l_2}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{l_1 - l_2}{t_2 - \frac{l_2}{c} - \left(t_1 - \frac{l_1}{c}\right)} = \frac{l_1 - l_2}{t_2 - t_1 + \frac{l_1 - l_2}{c}}$.

$$\upsilon = \frac{5 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{11}}{40 \cdot 3{,}6 \cdot 10^3 + \frac{5 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{11}}{3 \cdot 10^8}} = 5119 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right).$$

Відповідь: $5119\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Задача 3. Дано два кубики. Вони виготовлені з одного матеріалу та мають однакові розміри. Довжина ребра 8 см. Але один із них суцільний, а другий – порожнистий, товщина стінок якого становить 2 см. У скільки разів відрізняються маси кубиків?

Розв'язання:

$a = 8$ см $= 8 \cdot 10^{-2}$ м,

$d = 2$ см $= 2 \cdot 10^{-2}$ м.

Маси тіл, виготовлених з одного матеріалу, відрізняються у стільки ж разів, як і їх об'єми:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1}{V_2}.$$

Об'єм суцільного кубика $V = a^3$, об'єм порожнистого – менший на величину «вирізаного» з нього меншого кубика з довжиною ребра $a - 2d$:

$V^2 = a^3 - (a - 2d)^3$.

Отже, $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a^3}{a^3 - (a - 2d)^3} = \frac{8 \cdot 10^{-2}\text{м}}{(8 \cdot 10^{-2}\text{м})^3 - (8 \cdot 10^{-2}\text{м} - 2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}\text{м})^3} = 1{,}14.$

Відповідь: $\frac{m_1}{m_2} = 1{,}14$.

Задача 4. На рис. 1 показано залежності маси від об'єму для двох рідин. Посудину місткістю 0,2 л заповнили на 3/5 першою рідиною, а решту – другою. Визначити масу суміші.

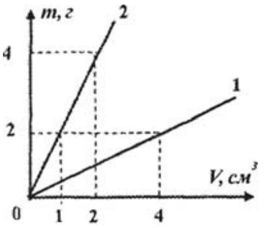


Рисунок 1

Розв'язання:

$V_0 = 0{,}2$ л $= 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ м^3,

$V_{01} = 0{,}12 \cdot 10^{-3}$ м^3,

$V_{02} = 0{,}08 \cdot 10^{-3}$ м^3.

Із графіка визначаємо маси й об'єми кожної речовини: $m_1 = 2$ г, $V_1 = 4$ см^3, $m_2 = 4$ г, $V_2 = 2$ см^3.

Визначимо густину кожної речовини:

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} = \frac{2}{4} = 0{,}5\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right) = 500\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right).$$

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} = \frac{4}{2} = 2\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right) = 2 \cdot 10^3\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right).$$

Визначимо маси кожної компоненти суміші:

$$m_{01} = \rho_1 \cdot V_{01} = 0{,}5 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0{,}12 \cdot 10^{-3}\text{м}^3 = 0{,}06\ \text{кг}.$$

$$m_{02} = \rho_2 \cdot V_{02} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0{,}08 \cdot 10^{-3}\text{м}^3 = 0{,}16\ \text{кг}.$$

$$m = m_{01} + m_{02} = 0{,}06\,\text{кг} + 0{,}16\,\text{кг} = 0{,}22\ \text{кг}.$$

Відповідь: маса суміші 0,22 кг.

Задача 5. Тато Карло зробив Буратіно з різних порід дерева: голову – з корка (ρ_1= 200 кг/м^3), тулуб – із дуба (ρ_2= 700 кг/м^3), ноги – з кедра (ρ_3= 550 кг/м^3), руки – з чорного дерева (ρ_4= 1200 кг/м^3). Яка середня густина Буратіно, якщо його частини виконані в об'ємах відповідно у відношенні 3:4:2:1?

Розв'язання:

$V_1 \div V_2 \div V_3 \div V_4 = 3 \div 4 \div 2 \div 1$.

Позначимо об'єм V_4 через V_0.

Середню густину Буратіно визначимо із формули:

$$\rho_{сер} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3 + \rho_4 V_4}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} = \frac{\rho_1 \cdot 3V_0 + \rho_2 \cdot 4V_0 + \rho_3 \cdot 2V_0 + \rho_4 \cdot V_0}{3V_0 + 4V_0 + 2V_0 + V_0} =$$

$$= \frac{3\rho_1 + 4\rho_2 + 2\rho_3 + \rho_4}{10} = \frac{3 \cdot 200\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + 4 \cdot 700\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + 2 \cdot 550\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + 1200\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{10} = 570\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Відповідь: $570\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

8 клас

Завдання 1. Дайте відповіді на питання:

1. Де більша вага астронавта – на Землі чи на Місяці? Відповідь обґрунтуйте.

Відповідь: На Землі, оскільки прискорення вільного падіння на Землі становить 9,81 м/с^2, а на Місяці – 1,62 м/с^2.

2. Як зміниться сила тертя ковзання ковзанів по горизонтальній поверхні льоду, якщо площа стикання ковзанів з льодом збільшиться у 2 рази?

Відповідь: Не зміниться, бо сила тертя ковзання не залежить від площі стичних поверхонь.

Рисунок 2

3. На вулицях міст вивішуються особливі знаки (рис. 2), що забороняють рух зі швидкостями, які перевищують величину швидкості, вказану на знакові. А) Яку швидкість тут мають на увазі? Б) Чи правильно вказано одиницю швидкості?

Відповідь: А) Миттєва швидкість. Б) Дозволена швидкість 50 км/год.

4. Часто продавці ріжуть масло на шматки за допомогою нитки, а не ножа. Попри те, що у ножа така ж товщина, як у нитки, ним різати масло важче. Чому?

Відповідь: При розрізуванні масла ножем доводиться долати не тільки сили притягання між молекулами масла, але й сили притягання між молекулами масла і ножа, а при різанні ниткою – сили взаємного притягання молекул нитки і масла дуже малі.

5. Чому результати зважування тіл на важільних терезах скрізь однакові, а на пружинних трохи різні в різних місцях земної поверхні й на різних висотах?

Відповідь: Бо за допомогою важільних терезів вимірюється маса тіла, яка скрізь однакова, а за допомогою пружинних (динамометра) вимірюється вага, значення якої залежить від географічної широти та положення тіла відносно поверхні Землі.

Задача 2. Див. задачу 2 (7 клас).

Розв'язання: див. розв'язання задачі 2 (7 клас).

Задача 3. Діаметри поршнів гідравлічного преса дорівнюють 0,5 см і 5 см. Малий поршень приводиться в рух за допомогою важеля, коротке плече якого дорівнює 10 см, а довге – 80 см. З якою мінімальною силою діє робітник на довге плече важеля, якщо прес розвиває силу тиску 0,2 МН?

Розв'язання:

$d_2 = 0{,}5\,\text{см} = 0{,}5 \cdot 10^{-2}\,\text{м}$,

$d_1 = 5\,\text{см} = 5 \cdot 10^{-2}\,\text{м}$,

$l_2 = 10\,\text{см} = 0{,}1\,\text{м}$,

$l_1 = 80\ \text{см} = 0{,}8\ \text{м}$,

$P = 0{,}2\ \text{МН} = 0{,}2 \cdot 10^6\ \text{Н}$.

Позначимо через F_1 силу, з якою робітник тисне на важіль, а через F_2 – силу, яка діє на менший поршень. Тоді $F_1 l_1 = F_2 l_2$, або $F_1 = F_2 \frac{l_2}{l_1}$. Згідно із законом Паскаля, $\frac{F_2}{S_2} = \frac{P}{S_1}$, де P – сила, яку розвиває прес. Звідси $F_2 = P\frac{S_2}{S_1} = P\frac{d_2^2}{d_1^2}$. Тоді $F_1 = P\frac{d_2^2}{d_1^2} \cdot \frac{l_2}{l_1}$.

$$F_1 = 0{,}2 \cdot 10^6\ \text{Н} \frac{\left(0{,}5 \cdot 10^{-2}\,\text{м}\right)^2}{\left(5 \cdot 10^{-2}\,\text{м}\right)^2} \cdot \frac{0{,}1\ \text{м}}{0{,}8\ \text{м}} = 250\ \text{Н}.$$

Відповідь: 250 Н.

Задача 4. Комашка летить до тонкої лінзи вздовж її головної оптичної осі зі швидкістю 10 см/с. Через 1 с після того як її зображення мало натуральну величину, розмір зображення збільшився вдвічі. Визначте тип лінзи та її фокусну відстань. Яким стало зображення ще через 2 с польоту?

Розв'язання: Зображення має натуральну величину, коли предмет перебуває у подвійному фокусі збиральної лінзи. Використовуючи формулу лінзи, визначаємо, що її фокусна відстань 20 см, а відстань від комашки до лінзи через 3 с польоту становитиме $l = \upsilon \cdot t = 10\ \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot 1\ \text{с} = 10\ \text{см}$, тобто половину від фокусної відстані. Зображення при цьому буде уявним і збільшеним у 2 рази.

Відповідь: Збиральна лінза з фокусною відстанню 20 см. Зображення комашки уявне і збільшене у 2 рази.

Задача 5. Вертикальний паперовий циліндр радіусом 50 см обертається навколо осі з частотою 50 обертів за секунду. Із пневматичної гвинтівки по центру бічної поверхні циліндра в горизонтальному напрямі роблять постріл. Куля пробиває циліндр, при цьому в циліндрі виявляється лише один отвір. З якою швидкістю летіла куля?

Розв'язання: Нехай d – діаметр циліндра. За проміжок часу $\tau = \frac{T}{2}$ циліндр здійснить півоберта, а куля пролетить відстань d. Тому її швидкість $\upsilon = \frac{d}{\tau} = \frac{4r}{T} = 4rn = 4 \cdot 0{,}5 \cdot 50 = 100\ \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$.

Відповідь: 100 м/с^2.

9 клас

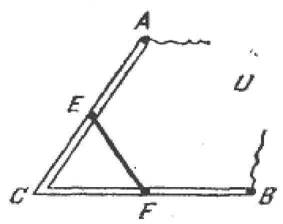


Рисунок 3

Задача 1. Дріт ACB зігнутий так, що точки A, C і B знаходяться у вершинах правильного трикутника (рис. 3). До середин сторін AC і BC під'єднано перемичку EF із дроту з удвічі меншою площею перерізу. До точок A і B прикладено напругу U = 3 В. Знайти спад напруги на перемичці.

Розв'язання: Очевидно, що опори ділянок CE, EA, CF, FB – рівні, оскільки дані провідники мають однакові площі поперечного перерізу і довжину.

Якщо S – площа поперечного перерізу провідника AB, то площа поперечного перерізу перемички $\frac{S}{2}$.

Оскільки $R = \frac{\rho l}{S}$, то опір перемички $R_x = \frac{\rho \cdot l}{\frac{S}{2}} = 2 \cdot \left(\frac{\rho \cdot l}{S}\right) = 2R$.

Знайдемо загальний опір ділянки EF (R_{EF}): $\frac{1}{R_{EF}} = \frac{1}{R+R} + \frac{1}{2R} \Rightarrow R_{EF} = R$.

Отже, загальний опір ділянки AB дорівнює: $R + R + R = 3R$. Загальна сила струму в колі: $I = \frac{U_{заг}}{R_{заг}} = \frac{U_{заг}}{3R}$.

Падіння напруги на ділянці EF і відповідно на перемичці: $U_{EF} = I \cdot R = \frac{U_{заг}}{3R} \cdot R = \frac{U_{заг}}{3} = 1$ (В).

Відповідь: 1 В.

Задача 2. Учасник ІІІ етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики для виконання експериментального туру отримав дві однакових теплоізольованих посудини, в кожну з яких було налито однакову кількість невідомої рідини, розігріті дрібні металеві кульки, посудину з водою. У першу посудину учень налив води, майже по вінця, і насипав невелику кількість металевих кульок. Посудина виявилась повністю заповненою. Після встановлення теплової рівноваги температура в посудині збільшилась на $2\ ^\circ\text{C}$, а металевих кульок зменшилась на $60\ ^\circ\text{C}$. Далі експериментатор провів дослід із другою посудиною. У неї він насипав у 10 разів більше металевих кульок, ніж у першому досліді, і посудина після цього виявилася заповненою повністю. Коли в ній установилась теплова рівновага, то виявилося, що температура в посудині збільшилась на стільки ж градусів, на скільки градусів зменшилась температура металевих кульок. Допоможіть експериментатору визначити питому теплоємність металевих кульок, якщо їх густина 1,72 г/см^3, а питома теплоємність води 4,20 Дж/(г $\cdot\ ^\circ$С).

Розв'язання: Нехай $c_к$, $c_р$, $c_в$ – питомі теплоємності металевих кульок, невідомої рідини, води.

$\Delta t_{к_1} = 60\ ^\circ\text{C}$, $\Delta t_1 = 2\ ^\circ\text{C}$.

$V_к$, $V_р$, $V_в$ – об'єми кульок, невідомої рідини, води у першій посудині.

Запишемо рівняння теплового балансу для тіл у першій посудині:

$c_к \cdot \rho_к \cdot V_к \cdot \Delta t_{к_1} = c_в \cdot \rho_в \cdot V_в \cdot \Delta t_1 + c_р \cdot \rho_р \cdot V_р \cdot \Delta t_1$. (1)

Для тіл у другій посудині:

$10 c_к \cdot \rho_к \cdot V_к \cdot \Delta t_2 = c_р \cdot \rho_р \cdot V_р \cdot \Delta t_2$. (2)

З формули (2) отримуємо:

$10 c_к \cdot \rho_к \cdot V_к = c_р \cdot \rho_р \cdot V_р$. (3)

Об'єм тіл у першій посудині: $V = V_к + V_р + V_в$ (4), у другій: $V = 10V_к + V_р$. (5)

Прирівнявши формули (4) і (5), отримаємо: $V_в = 9V_к$. (6)

Підставимо (3) і (6) в (1):

$c_к \cdot \rho_к \cdot V_к \cdot \Delta t_{к_1} = 9c_в \cdot \rho_в \cdot V_в \cdot \Delta t_1 + 10c_к \cdot \rho_к \cdot V_к \cdot \Delta t_1$. (7)

Із рівності (7) знайдемо $c_к$:

$$c_к = \frac{9c_в \cdot \rho_в \cdot \Delta t_1}{\rho_к \left(\Delta t_{к_1} - 10\Delta t_1\right)} \cdot \quad c_к = 1{,}1 \left(\frac{Дж}{г \cdot {}^\circ C}\right).$$

Відповідь: $c_к = 1{,}1 \ \dfrac{Дж}{г \cdot {}^\circ C}$.

Задача 3. Із однакових кубиків збудували об'ємну пірамідку з десяти рядів, верхні три ряди якої зображено на рис. 4 (вигляд згори). Кубики жорстко скріплено між собою. Якщо цю пірамідку помістити у посудину з бензином, густина якого 0,8 г/см^3, то вона буде плавати, занурившись рівно на три нижніх ряди. Визначте густину рідини, в якій ця пірамідка буде плавати, занурюючись рівно на один нижній ряд.

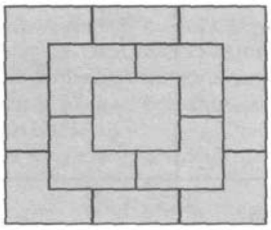


Рисунок 4

Розв'язання: Нехай V_0 – об'єм одного кубика, $\rho_р$, $\rho_б$, $\rho_к$ – густини рідини, бензину, кубика.

Із рисунка видно, що перший ряд складається з одного кубика, другий – з чотирьох, третій – з дев'яти і т. д. Запишемо умову плавання пірамідки у бензині та невідомій рідині:

$245\rho_б \cdot V_к \cdot g = 385\rho_к \cdot V_к \cdot g$. (1)

$100\rho_р \cdot V_к \cdot g = 385\rho_к \cdot V_к \cdot g$. (2)

Врахувавши (1) і (2), отримаємо:

$100\rho_р \cdot V_к \cdot g = 245\rho_б \cdot V_к \cdot g$;

$\rho_р = 2{,}45\rho_б$;

$\rho_р = 2{,}45 \cdot 0{,}8 = 1{,}96 \left(\frac{г}{см^3}\right)$.

Відповідь: $\rho_р = 1{,}96 \left(\frac{г}{см^3}\right)$.

Задача 4. Для виконання експериментального завдання ІІ етапу Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики дев'ятикласник Андрій налив у масивну посудину воду і прикріпив динамометр жорсткістю 1 кН/м до однієї з ниток системи блоків (рис. 5). Потім він визначив видовження пружини. У цей час інший учасник олімпіади Петро випадково зачепив корок у дні посудини і ганчіркою почав збирати воду з парти. Андрія ж зацікавило інше явище – він став записувати значення видовження пружини, дивлячись на годинник. Використовуючи графік (рис. 6), який отримав Андрій, визначте, скільки грамів води за секунду витікало з посудини.

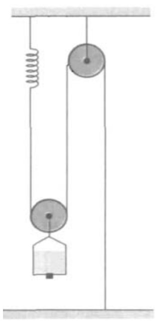


Рисунок 5

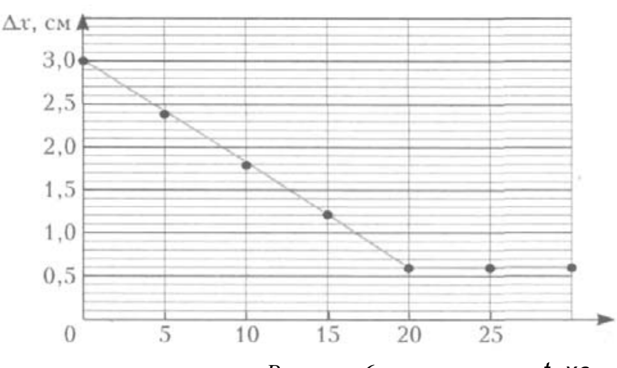


Рисунок 6

t, хв

Розв'язання: Горизонтальна ділянка графіка відповідає випадку, коли вся вода з посудини витекла. Тому: $\frac{Mg}{2} = \kappa \Delta x_1$ (1), де M – маса посудини, $\Delta x_1 = 6 \cdot 10^{-3}$ м.

Коли посудина наповнена водою:

$$\frac{(M+m)g}{2} = \kappa \cdot \Delta x_2. \quad (2)$$

Визначивши M із формули (1) і підставивши в (2), отримаємо: $m = \frac{2\kappa \cdot \Delta x_1}{g} \cdot \left(\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} - 1\right)$.

Тоді $\frac{\Delta m}{\tau} = \frac{2\kappa \cdot \Delta x_1}{\tau g} \cdot \left(\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} - 1\right)$.

$$\frac{\Delta m}{\tau} = 4 \left(\frac{\text{г}}{\text{с}}\right).$$

Відповідь: $4 \ \frac{\text{г}}{\text{с}}$.

Задача 5. Задача 5 (8 клас).

Розв'язання: Див. розв'язання задачі 5 (8 клас).

10 клас

Задача 1. Баскетболіст на тренуванні кидає м'яч (рис. 7) у напрямку вертикальної стінки так, щоб він після відбивання від стінки впав точно до його ніг. Визначте початкову швидкість м'яча, якщо кидок відбувся з висоти h = 1,5 м під кутом α до горизонту? Відстань від спортсмена до стінки l = 6 м. Удар м'яча об стінку вважати абсолютно пружним.

Розв'язання: Дотична до стінки складова швидкості м'яча не змінюється. У результаті кут між нормаллю до стінки і швидкістю м'яча до удару виявляється рівним за величиною куту між нормаллю до стінки і швидкістю м'яча після удару.

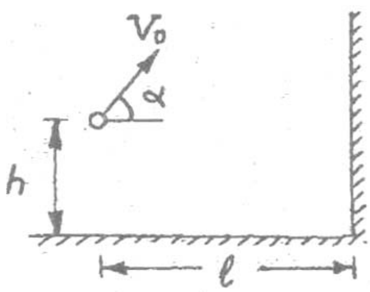


Рисунок 7

Позначимо через t_0 час польоту м'яча. За цей час він проходить по горизонталі шлях $2l$. Враховуючи, що горизонтальна складова швидкості м'яча дорівнює $\upsilon_0 \cdot \cos\alpha$ і при польоті не змінюється за величиною, можна записати рівність:

$2l = \upsilon_0 \cdot \cos\alpha \cdot t_0$, звідки час польоту м'яча: $t_0 = \frac{2l}{\upsilon_0 \cdot \cos\alpha}$.

З іншої сторони, згідно з умовою задачі в момент часу t_0 вертикальна координата м'яча повинна дорівнювати 0, тобто:

$$y(t_0) = h + \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot \text{t}_0 - \frac{gt_0^2}{2} = 0.$$

Підставляючи сюди значення t_0, отримуємо:

$$\upsilon_0 = \frac{l}{\cos\alpha}\sqrt{\frac{2g}{h + 2l \cdot \text{tg}\alpha}} \approx 10 \ (\text{м/с}).$$

Відповідь: $\upsilon_0 = 10$ м/с.

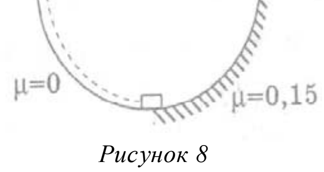


Рисунок 8

Задача 2. Маленьке тіло зісковзує без початкової швидкості по внутрішній поверхні півсфери з висоти, що дорівнює її радіусу (рис. 8). Одна половина півсфери абсолютно гладка, друга – шорсткувата, причому коефіцієнт тертя між тілом і цією поверхнею становить 0,15. Визначте прискорення тіла та кут між його напрямом і вертикаллю, коли воно тільки перейде на шорсткувату поверхню.

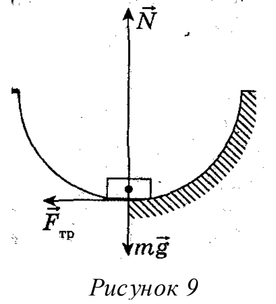


Рисунок 9

Розв'язання: Сили, які діють на тіло в момент, коли воно опиняється на шорсткуватій поверхні, показано на рис. 9. Повне прискорення тіла $\vec{a}$ зручно розкласти на дві складові: дотичну до поверхні $\overrightarrow{a_д}$ і нормальну до поверхні $\overrightarrow{a_н}$. Тоді прискорення тіла дорівнює $a = \sqrt{a_д^2 + a_н^2}$.

Запишемо рівняння руху тіла в проекціях на дотичний і нормальний до поверхні півсфери напрями:

$$ma_{д} = F_{т} = \mu N,$$

$$ma_{н} = N - mg.$$

Враховуючи, що $a_{н} = \dfrac{\upsilon^2}{R}$, де υ – швидкість тіла, з останнього рівняння знаходимо: $N = \dfrac{m\upsilon^2}{R} + mg$. Для визначення швидкості тіла в нижній точці півсфери скористаємося законом збереження енергії, який справедливий під час руху тіла по гладкій поверхні: $\dfrac{1}{2}m\upsilon^2 = mgR$. Об'єднуючи записані співвідношення, знаходимо: $a_{н} = 2g$, $a_{д} = 3\mu g$, звідки відповідь: $a = g\sqrt{9\mu^2 + 4} = 20{,}5\left(\dfrac{м}{с^2}\right)$.

Відповідь: $a = 20{,}5\left(\dfrac{м}{с^2}\right)$.

Задача 3. Див. задачу 2 (9 клас).
Розв'язання: Див. розв'язання задачі 2 (9 клас).
Задача 4. Див. задачу 4 (9 клас).
Розв'язання: Див. розв'язання задачі 4 (9 клас).
Задача 5. Див. умову задачі 1 (9 клас).
Розв'язання: Див. розв'язання задачі 1 (9 клас).

11 клас

Задача 1. На тонкий гладкий горизонтальний діелектричний стержень надіто дві маленьких намистинки із зарядами $+q$ і $-q$, скріплені між собою діелектричною пружиною жорсткістю k. Вся система знаходиться в однорідному електричному полі, силові лінії якого паралельні стержню. При цьому пружина не деформована. Якщо змінити напрям поля на протилежний, залишивши незмінною величину його напруженості E, то довжина пружини зменшиться в $n = 2$ рази. Нехтуючи поляризацією діелектриків, знайдіть величину E.

Розв'язання: Будемо вважати, що стержень із кульками і джерело зовнішнього електричного поля перебуває в стані спокою відносно деякої інерціальної системи відліку. Тоді, нехтуючи, відповідно до умови задачі, силами тертя між кульками і стержнем та поляризацією пружини і стержня, будемо вважати, що сили, які діють на кульки зі сторони електричного поля при першопочатковій орієнтації вектора напруженості цього поля, зрівноважували сили взаємного притягання кульок. Тобто можемо записати рівняння:

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l_0^2} = qE,$$

де l_0 – довжина недеформованої пружини, ε_0 – електрична стала.

Після зміни напряму вектора напруженості зовнішнього поля в кінцевому рівноважному стані довжина пружини, за умовою задачі, стає в n разів меншою за початкову. Відповідно до закону Кулона і закону Гука, повинна виконуватись рівність:

$$\frac{q^2 n^2}{4\pi\varepsilon_0 l_0^2} + qE = kl_0\left(1 - \frac{1}{n}\right).$$

Підставляючи в цей вираз значення qE з попереднього рівняння, знаходимо, що довжина пружини у недеформованому стані повинна задовільняти рівняння $l_0^3 = \dfrac{q^2(n^2+1)n}{4\pi\varepsilon_0 k(n-1)}$, а шукане значення напруженості поля дорівнює:

$$E = \sqrt[3]{\frac{k^2(n-1)^2}{4\pi\varepsilon_0 (n^2+1)^2}} = \sqrt[3]{\frac{k^2}{400\pi\varepsilon_0 q}}.$$

Відповідь: $E = \sqrt[3]{\dfrac{k^2}{400\pi\varepsilon_0 q}}$.

Задача 2. Вертикально розміщена замкнена циліндрична посудина заввишки *H* розділена на дві частини рухомим поршнем. Спочатку в обох частинах посудини містилась однакова кількість ідеального газу. При цьому відстань між поршнем і дном посудини була h_0. Якою стане рівна відстань h між поршнем і дном посудини, якщо повністю відкачати газ із верхньої його частини? Температуру газу вважайте сталою. Товщиною поршня і тертям при його переміщенні можна знехтувати.

Розв'язання: Рівняння початкового стану газів у верхній і нижній частинах посудини мають вигляд:

$$p(H-h_0)S=\nu RT;$$
$$\left(p+\frac{Mg}{S}\right)h_0 S=\nu RT. \quad (1)$$

p – тиск газу у верхній частині посудини, M – маса поршня, ν – кількість молів газу, R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура. Рівняння кінцевого стану газу в нижній частині посудини $Mgh=\nu RT$. Розв'язуючи рівняння (1), знаходимо, що

$$h=h_0\frac{H-h_0}{H-2h_0}. \quad (2)$$

Проаналізуємо область застосування отриманого результату. Врахуємо, що максимально можливе значення h обмежене висотою посудини *H*, і знайдемо, при якій початковій висоті поршня h_0 його висота дорівнюватиме *H*. Для цього вважатимемо у рівнянні (2) $h=H$ і отримаємо квадратне рівняння відносно h_0, а саме: $h_0^2-3Hh_0+H^2=0$. Оскільки $h_0\le\frac{1}{2}H,$ має смисл менший корінь, тобто $h_0=\frac{1}{2}H\left(3-\sqrt{5}\right)\approx 0{,}382H$.

Таким чином, відповідь має вигляд:

$$h=\begin{cases} h_0\dfrac{H-h_0}{H-2h_0} & \text{при } h_0\le\dfrac{1}{2}H\left(3-\sqrt{5}\right),\\ H & \text{при } h_0>\dfrac{1}{2}H\left(3-\sqrt{5}\right).\end{cases}$$

Відповідь: $h=h_0\dfrac{H-h_0}{H-2h_0}$.

Задача 3. Див. умову задачі 2 (10 клас).

Розв'язання: Див. розв'язання задачі 2 (10 клас).

Задача 4. Кільце радіусом *a*, виготовлене з тонкого мідного дроту, утримують в однорідному магнітному полі, лінії індукції якого перпендикулярні до площини кільця. Проекція вектора індукції поля *B* на вісь кільця змінюється з часом за законом, зображеним на рис. 10. Знехтувавши індуктивністю кільця, визначте середню теплову потужність, яка виділяється у кільці за один період. Електричний опір кільця *R*.

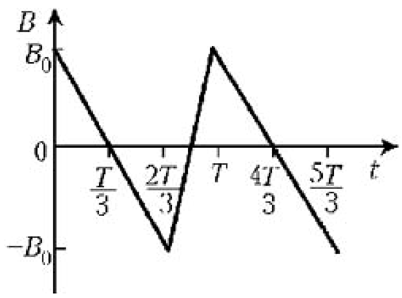


Рисунок 10

Розв'язання: Згідно з графіком, протягом проміжків часу $0\le t\le 2T/3$ і $2T/3\le t\le T$ проекція вектора індукції однорідного зовнішнього магнітного поля на вісь кільця рівномірно змінюється на $2B_0$. За умовою задачі, кільце виготовлено з тонкого дроту і його індуктивністю нехтуємо. Тому можна не враховувати магнітний потік, пов'язаний з матеріалом кільця, і знехтувати потоком магнітного поля, породженого струмом у кільці. Враховуючи, що кільце і джерело магнітного поля знаходяться у стані спокою відносно інерціального спостерігача, спираючись на закон електромагнітної індукції (правило потоку Фарадея–Максвелла), можна стверджувати, що протягом часу $\tau_1=2T/3$ в кільці діють сторонні електричні сили, величина ЕРС яких дорівнює:

$$\varepsilon_1=\pi a^2\frac{2B_0}{\tau_1}=\frac{3\pi a^2 B_0}{T},$$

а в іншу частину періоду ($\tau_2=T/3$) величина ЕРС індукції дорівнює:

$$\varepsilon_2=\pi a^2\frac{2B_0}{\tau_2}=\frac{6\pi a^2 B_0}{T}.$$

Оскільки індуктивністю кільця нехтуємо, то згідно з законом Ома, протягом першої і другої частин періоду сила струму в кільці дорівнює:

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R};\ I_2 = \frac{\varepsilon_2}{R},$$

а тому, згідно з законом Джоуля–Ленца, в кільці за період T повинна виділятись кількість теплоти $Q = \left(I_1^2\tau_1 + I_2^2\tau_2\right)R$.

Відомо, що середня за період теплова потужність дорівнює відношенню кількості теплоти, яка виділяється за період, до тривалості періоду. Отримуємо шукану теплову потужність:

$$N = \frac{Q}{T} = \frac{18\pi^2 a^4 B_0^2}{RT^2}.$$

Відповідь: $N = \dfrac{18\pi^2 a^4 B_0^2}{RT^2}$.

Задача 5. Див. умову задачі 3 (9 клас).

Розв'язання: Див. розв'язання задачі 3 (9 клас).

Експериментальний тур

7 клас

Визначити масу аркуша друкарського паперу.

Прилади і матеріали: аркуш з учнівського зошита і аркуш друкарського паперу однакової площі.

Примітка: поверхнева густина друкарського паперу відома (вказана на пачці з папером: 80 г/м^2).

Розв'язання: За аркушем із учнівського зошита знаходимо площу аркуша друкарського паперу. Рахуємо кількість повних клітинок і додаємо половину числа неповних клітинок. Для визначення площі у сантиметрах квадратних число клітинок ділимо на 4. Наприклад, $\dfrac{1320}{4} = 330\text{см}^2$. Поверхнева густина друкарського паперу $\rho = 80\ \dfrac{\text{г}}{\text{м}^2} = \dfrac{80\ \text{г}}{(100\ \text{см})^2} = 0{,}008\ \dfrac{\text{г}}{\text{см}^2}$. Тоді шукана маса аркуша $m = \rho S \cdot m = 0{,}008\ \dfrac{\text{г}}{\text{см}^2} \cdot 330\ \text{см}^2 = 2{,}64\ \text{г}.$

Відповідь: 2,64 г.

8 клас

Визначити жорсткість пружини.

Прилади і матеріали: пружина (гумова нитка), штатив із муфтою і затискачем, лінійка, тягарець масою 100 г.

Розв'язання: За допомогою затискача фіксують гумову нитку. До нижнього кінця нитки чи пружини підвішують тягарець і вимірюють лінійкою видовження гумової нитки. Умова рівноваги тягарця: $F_{пр} = mg$, або $kx = mg$. Звідси знаходимо жорсткість гумової нитки: $k = \dfrac{mg}{x} = \dfrac{mg}{\ell - \ell_0}$.

Результат експерименту буде точнішим, якщо вимірювати відразу видовження гумової нитки: $\Delta\ell = \ell - \ell_0$. Для цього потрібно відмітити положення нижнього кінця гумової нитки відносно нерухомого предмета (вертикальної стійки штатива чи закріпленої вертикально лінійки).

9 клас

Визначте, з якого матеріалу виготовлено обмотку реостата.

Прилади і матеріали: реостат із відомим опором, лінійка, таблиця з питомими опорами речовин.

Розв'язання: Потрібно визначити питомий опір матеріалу, з якого виготовлено обмотку реостата. Для цього скористаємося формулою: $R = \rho\dfrac{\ell}{S}$. Звідси знаходимо: $\rho = \dfrac{RS}{\ell}$. Потрібно визначити довжину та площу поперечного перерізу дротини обмотки реостата. Для визначення довжини дроту вимірюємо діаметр циліндра D, на якому знаходиться обмотка, і підраховуємо кількість витків N. Тоді шукана довжина $\ell = \pi DN$. Площа перерізу дротини $S = \dfrac{\pi d^2}{4}$. Для визначення діаметра дротини вимірюємо довжину циліндра h, на якій уміщується N повних витків. Тоді діаметр дротини $d = \dfrac{h}{N}$. Площа перерізу дротини $S = \dfrac{\pi h^2}{4N^2}$. Питомий опір матеріалу дротини $\rho = \dfrac{R\pi h^2}{4N^2\pi DN} = \dfrac{Rh^2}{4N^3D}$. За таблицями з питомими опорами речовин визначаємо, з якого матеріалу виготовлена обмотка.

Відносну похибку результату знаходимо за формулою: $\varepsilon = \dfrac{\Delta\rho}{\rho} = \dfrac{\Delta R}{R} + 2\dfrac{\Delta h}{h} + \dfrac{\Delta D}{D}$.

Кінцевий результат подаємо у вигляді: $\rho = \overline{\rho} \pm \Delta\rho$.

10 клас

Визначити густину невідомої рідини.

Прилади і матеріали: посудина з невідомою рідиною, посудина з водою, дерев'яний прямокутний брусок, лінійка.

Розв'язання: Потрібно порівняти плавання дерев'яного бруска у воді та в невідомій рідині. Запишемо умову плавання дерев'яного бруска у воді та в рідині невідомої густини: $mg = \rho_в g V_{з1}$ (1), $mg = \rho_x g V_{з2}$ (2). Прирівнюємо праві частини рівнянь (1) та (2): $\rho_в g V_{з1} = \rho_x g V_{з2}$. Об'єм прямокутного бруска $V = Sh$. Тоді $\rho_в S h_{з1} = \rho_x S h_{з2}$. Звідси знаходимо густину рідини: $\rho_x = \rho_в \dfrac{h_{з1}}{h_{з2}}$. Вимірюємо глибину занурення бруска $h_{з1}$ при його плаванні у воді та в невідомій рідині – $h_{з2}$. Відносну похибку результату знаходимо за формулою: $\varepsilon = \dfrac{\Delta\rho_x}{\rho_x} = \dfrac{\Delta h_{з1}}{h_{з1}} + \dfrac{\Delta h_{з2}}{h_{з2}}$. Вимірювання глибини занурення прямокутного бруска у рідинах потрібно проводити при вертикальному розміщенні його бічних граней. Якщо вони не розміщуються вертикально, то брусок притримують у потрібному положенні ручкою.

Кінцевий результат подаємо у вигляді: $\rho_x = \overline{\rho}_x \pm \Delta\rho_x$.

11 клас

Визначити період коливань тіла на пружній гумовій нитці (пружині).

Прилади і матеріали: гумова нитка (пружина), лінійка, тягарець (тіло) невідомої маси.

Розв'язання: Період коливань пружинного маятника $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$, де k – жорсткість пружини чи гумової нитки, m – маса тягарця. Підвісимо тягарець на гумовій нитці, нитка при цьому видовжиться на $\Delta\ell = \ell - \ell_0$. Умова рівноваги системи: $mg = k\,\Delta\ell$. Звідси маємо: $\dfrac{m}{k} = \dfrac{\Delta\ell}{g}$. Тоді період коливань $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\Delta\ell}{g}}$. Отже, для розв'язання задачі потрібно виміряти видовження пружини чи гумової нитки під дією ваги тягарця у стані спокою $(g = 9{,}81\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}^2})$.

Відносну похибку результату знаходимо за формулою: $\varepsilon = \dfrac{\Delta T}{T} = \dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta(\Delta\ell)}{\Delta\ell} = \dfrac{1}{2}\dfrac{\Delta\ell + \Delta\ell_0}{\ell - \ell_0}$.

Із останнього співвідношення видно, що похибка буде меншою, якщо вимірювати відразу видовження гумової нитки (пружини): $\Delta\ell = \ell - \ell_0$. Для цього потрібно відмітити положення нижнього кінця гумової нитки відносно нерухомого предмета (вертикальної стійки штатива чи закріпленої вертикально лінійки).

Кінцевий результат подаємо у вигляді: $T = \overline{T} \pm \Delta T$.

Література

1. Гончаренко С. У. Олімпіади з фізики. Завдання. Відповіді / С. У. Гончаренко. – Х. : Вид. група «Основа» ; «Тріада +», 2008. – 400 с.

2. Готуємось до олімпіад з фізики. – Х. : Вид. група «Основа», 2005. – 208 с. – (Б-ка журн. «Фізика в школах України». Вип. 9 (21)).

3. Іваненко О. Ф. Експериментальні та якісні задачі з фізики : посібн. для вчителя / О. Ф. Іваненко, В. П. Махлай, О. І. Богатирьов. – К. : Рад. шк., 1987. – 144 с.

4. Савченко М. О. Розв'язування задач з фізики : навч. посібн. / М. О. Савченко ; пер. з рос. П. Ф. Пістуна. – Т. : Навч. кн. – Богдан, 2004. – 504 с.

5. Трофімчук А. Б. Задачі фізичних олімпіад та їх розв'язки / А. Б. Трофімчук, Я. Ф. Левшенюк. – Рівне : ППФ «Принт-експрес», 2007. – 164 с.

6. Филатов Е. Н. Межрегиональная заочная физическая олимпиада / Е. Н. Филатов // Физика. – 2004. – № 41. – С. 5–9.