

УДК 53:37.016]:001.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-2>

### **Григорій КОБЕЛЬ**

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

### **Ніна ГОЛОВІНА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**Бібліографічний опис статті:** Кобель, Г., Головіна, Н. (2021) Фізичні задачі з міжпредметним змістом. *Фізика та освітні технології*, 1, 8–13, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-2>

## **ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ З МІЖПРЕДМЕТНИМ ЗМІСТОМ**

Не можливо вивчати і досконало засвоювати фізику без розв'язування задач. Якщо школяр не вміє розв'язувати задачі, він практично не знає фізики. А для цього потрібно розв'язувати задачі з якимись цікавими для учнів фактами, які б допомогли краще засвоїти певну тему чи розділ. У значній мірі може підвищити ефективність вирішення цих завдань, використання задач з міжпредметним змістом. При їх розв'язанні, учні крім засвоєння фізичних законів, отримують інформацію з інших галузей знань. Такий підхід підвищує інтерес до вивчення фізики навіть у тих учнів, які схильні розглядати фізику як елемент загальної освіти і не передбачають використовувати її у своїй майбутній діяльності. Робота присвячена проблемам використання інформації із географії, хімії, біології, спорту у складанні та розв'язуванні фізичних задач. Запропоновано задачу про залежність ваги нерухомого тіла від широти місця його розміщення. Цікавою є задача про визначення різниці ваги потягів, які рухаються зустрічним курсом вздовж екватора. Для учнів, які захоплюються спортом буде цікавою задача, формулювання якої пов'язано з одним з найдавніших діючих світових рекордів у чоловічій легкій атлетичі. Це досягнення киянина Юрія Сєдих, який метнув молот на 86,74 м завдяки унікальній техніці кидку. У фізичній задачі такого ж типу можна використати біофізичну інформацію із життя коників-стрибунців. Учням військового ліцею будуть цікаві задачі з проблем артилерії. Розглянуто приклади фізичних задач з молекулярної фізики, у яких використовуються знання із хімії. Розглянуті задачі пропонувалися школярам та студентам під час проведення олімпіад з фізики.

**Ключові слова:** вага, широта місця, радіус Землі, екватор, молот, гармата, атмосферний тиск, об'єм легень, метан, хімічна реакція.

### **Hryhoriy KOBEL**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

### **Nina HOLOVINA**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**To cite this article:** Kobel, H. & Holovina, N. (2021) Fizychni zadachi z mizhpredmetnym zmistom [Physical problems with interdisciplinary content]. *Physics and educational technology*, 1, 8–13, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-1-2>

## **PHYSICAL PROBLEMS WITH INTERDISCIPLINARY CONTENT**

*It is impossible to study and master physics without solving problems. If a student does not know how to solve problems, he has almost no knowledge of physics. To teach them to do this, it is necessary to solve the problems with facts that could be interesting for students and that could help to understand certain themes or sections. The utilization of problems with interdisciplinary content can help to increase the efficiency of these problems. In the course of their solution, the pupils get the knowledge from the other disciplines, apart from learning about physical laws. Such an approach increases the interest*

to learning physics even for those students who consider physics as a discipline of general secondary education and who do not plan to use it in own future professional activity. The work is devoted to the problems of utilization of information in the domain of geography, chemistry, biology, and sport in the creation and solution of physical problems. The problem that analyzes the correlation between the weight of the stationary body and the latitude of its location is proposed. It is also interesting to consider the problem that measures the difference in the weight of the trains that move in the opposite direction around the equator. The pupils that like sport would appreciate the problem the formulation of which is related to one of the oldest current world records in men's athletics. It is about the achievement of Yuriy Sedykh that threw a hammer at 86,74 meters thanks to the unique throwing technique. In a physical problem of such type, it is also possible to use the biophysical information from the life of grasshoppers. The pupils of the military lyceum would appreciate the artillery problems. The research also considers examples of physical problems of molecular physics that use the knowledge of chemistry. The considered problems were proposed to the pupils and students during the physical olympiads.

**Key words:** weight, latitude, the radius of the Earth, equator, hammer, cannon, atmospheric pressure, lung volume, methane, chemical reaction.

Вчитель повинен ставити собі за мету, при викладанні фізики, сприяти всебічному розумовому розвитку дитини, формувати вміння розуміти Природу, намагатись значною мірою сприяти підвищенню пізнавальної активності учнів в інших видах навчальної діяльності, розвивати інтерес до науки, навчити аналізувати явища природи.

Не можливо вивчати і досконало засвоювати такий предмет як фізика без розв'язування задач. Добре засвоєння учнями теоретичного матеріалу є необхідною, але ще не достатньою умовою уміння застосовувати ці знання на практиці. Цьому їх потрібно спеціально вчити, а зробити це можна особливо ефективно при розв'язуванні задач. Передумовою цього є розуміння учнями суті задачі. Якщо школяр не вміє розв'язувати задачі, він, практично не знає фізики. А для цього потрібно розв'язувати задачі з якимись цікавими для учнів фактами, які б допомогли краще засвоїти певну тему чи розділ.

В значній мірі може підвищити ефективність вирішення цих завдань, використання задач з міжпредметним змістом. При їх розв'язанні, учні крім засвоєння фізичних законів, отримують інформацію з інших галузей знань.

Такий підхід підвищує інтерес до вивчення фізики навіть у тих учнів, які схильні розглядати фізику як елемент загальної освіти і не передбачають використовувати її у своїй майбутній діяльності.

Розглянемо приклади задач, у яких використовується інформація з геофізики, спорту, артилерії, біології, хімії.

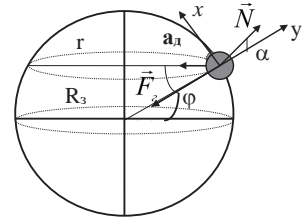
Проаналізуємо залежність ваги нерухомого тіла від широти місця його розміщення.

Дано:  
 $R_3=6371,1$  км  
 $g=9,81$ м/с  
 $T=86164$  с  
 $P_\phi$  - ?

**Задача 1.** Тіло масою  $m$  лежить на поверхні Землі в точці з широтою  $\phi$ . Яка вага цього тіла?

**Розв'язування.**

Розглянемо тіло на поверхні Землі відносно спостерігача, який знаходиться поза Землею. Тіло обертається разом із Землею по колу радіуса  $r$ , а тому рухається з доцентровим прискоренням  $a_\phi$ . Зобразимо сили, які діють на тіло:  $F_g$  – гравітаційна сила, яка напрямлена вздовж радіуса до центра Землі,  $N$  – реакція опори земної поверхні, яка напрямлена перпендикулярно до земної поверхні. Напрямок  $N$  не співпадає з вертикальним, оскільки Земля сплюснута біля полюсів і її екваторіальний радіус більший від полярного.



Запишемо закон руху тіла у векторній формі:

$$\vec{N} + \vec{F}_g = m\vec{a}_\phi \quad (1)$$

Спроектуємо рівняння (1) на вертикальну вісь.

$$N \cos \alpha - F_g = -ma_\phi \cos \phi \quad (2)$$

Відхилення  $N$  від вертикального напрямку складає  $\alpha = 0,0988^\circ$ , тому  $\cos \alpha \approx 1$ . Вага тіла чисельно рівна реакції опори  $P = N$ . Із (2) знаходимо:

$$N = F_g - ma_\phi \cos \phi \quad (3)$$

При обчисленнях можемо вважати Землю кулею радіусом  $R_3$  масою  $M_3$ , яка обертається навколо своєї осі з періодом  $T$ . Тому

$$F_g = G \frac{M_3 m}{R_3^2} \quad (4) \quad a_\phi = \omega^2 r \quad (5), \text{ де } \omega - \text{кутова швидкість обертання Землі. } \omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ де } T - \text{період добового обертання Землі. Радіус паралелі } r = R_3 \cos \phi. \text{ Враховуючи наведені співвідношення, отримаємо}$$

$$P_\phi = N = G \frac{M_3 m}{R_3^2} - m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 R_3 \cos^2 \phi.$$

Враховуючи, що прискорення вільного падіння на поверхні Землі  $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$ , отримаємо

$$P_\phi = N = mg \left( 1 - \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{R_3}{g} \right) \cos^2 \phi .$$

Проведемо обчислення, враховуючи, що  $T=23$  год  $56$  хв  $4$  с =  $86164$  с:

$$P_\phi = mg \left( 1 - \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 6371200}{9,81 \cdot 86164^2} \right) \cos^2 \phi = mg (1 - 0,00345 \cos^2 \phi)$$

На полюсі  $\phi = 90^\circ$ , тому  $P_n = mg$ .  
 $P_\phi = P_n (1 - 0,00345 \cos^2 \phi)$ .

На екваторі  $\phi = 0^\circ$ , тому

$$P_e = P_n (1 - 0,00345) = 0,99655 P_n$$

Оскільки

$$a_{ax} = a_0 \sin \phi = \omega^2 r \sin \phi = \omega^2 R_3 \cos \phi \sin \phi = \frac{1}{2} \omega^2 R_3 \sin 2\phi,$$

тому лише на полюсі та екваторі  $a_{ax} = 0$ . В цих місцях висок напрямлений вздовж вертикалі.

Якщо ж вважати Землю еліпсоїдом обертання ( $R_n = 6356780$  м,  $R_e = 6378160$  м), то збільшення  $g$  від екватора до полюса становитиме  $0,052$  м/с<sup>2</sup> і  $g_e = 9,78$  м/с<sup>2</sup>, а  $g_n = 9,832$  м/с<sup>2</sup>.

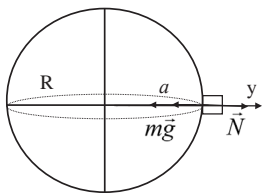
Дано:

$$\begin{aligned} v &= 72 \frac{\text{км}}{\text{год}} \\ m &= 461 \text{ т} \\ T &= 24 \text{ год} \\ \Delta P &=? \end{aligned}$$

**Задача 2.** Два однакові поїзди рухаються вздовж екватора Землі у Габоні зустрічними курсами з швидкістю  $v = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  відносно Землі. Визначити різницю ваги цих потягів, якщо маса

кожного з них становить  $461$  т.

**Розв'язування.** На екваторі доцентрове



прискорення кожного потяга напрямлене до центра Землі, тому вага:  $P_1 = N_1 = m(g - a_1)$ ,  $P_2 = N_2 = m(g - a_2)$

Доцентрове прискорення:

$$a_1 = \frac{v_1^2}{R} = \frac{(v_3 - v)^2}{R}, \quad a_2 = \frac{v_2^2}{R} = \frac{(v_3 + v)^2}{R}.$$

Різниця вагі потягів:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = m(a_2 - a_1) = \frac{m}{R} ((v_3 + v)^2 - (v_3 - v)^2) = \frac{4mvv_3}{R}.$$

Лінійна швидкість обертального руху точок екватора:  $v_3 = \frac{2\pi R}{T}$ , де  $T$ -період обертання Землі навколо своєї осі. Тоді  $\Delta P = \frac{4mv}{R} \frac{2\pi R}{T} = \frac{8\pi mv}{T}$ .

Виконаємо обчислення в СІ:

$$\Delta P = \frac{8 \cdot 3,14 \cdot 461 \cdot 10^3 \cdot 20}{24 \cdot 3600} = 2600,6 \text{ (H)}$$

Для учнів, які захоплюються спортом буде цікавою така інформація. Одним з найдавніших діючих світових рекордів у чоловічій легкій атлетиці є досягнення киянина Юрія Сєдих, який метнув молот на ЧС-1986 в Штутгарті на  $86,74$  м [5].

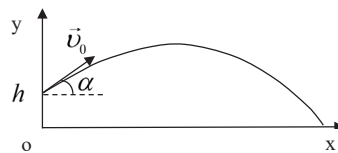
У Сєдих була унікальна техніка кидка: на відміну від більшості молотобійців, він робив

перед кидком три обороти замість чотирьох. Але цього вистачало, щоб надати снаряду гігантську кінетичну енергію. Цю інформацію використаємо у задачі на рух тіла кинутого під кутом до горизонту.

$$\begin{aligned} \text{Дано:} \\ L &= 86,74 \text{ м} \\ h &= 1,8 \text{ м} \\ R &= 1,9 \text{ м} \\ m &= 7,265 \text{ кг} \\ v_0 &=?; F=? \end{aligned}$$

**Задача 3.** Юрій Сєдих метнув молот на рекордну відстань  $86,74$  м вздовж траєкторії, яка забезпечила максимальну дальність польоту. Яка початкова швидкість кидання молота?

Висота виходу молота  $180$  см. Яка максимальна сила діє на руки спортсмена під час прискорення молота? Радіус кола обертання молота вважати рівним  $190$  см. Маса молота становить  $7,265$  кг ( $16$  фунтів). Опором повітря знехтувати.



**Розв'язування.**

Після кількох обертів спортсмен кидє молот під кутом  $\alpha$  до горизонту з початковою швидкістю  $v_0$  з висоти  $h$ .

Запишемо закон руху відповідно до вибраної системи координат.  $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$ ;

$$y = h + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$

Виключаючи із системи час  $t$  і підставляючи координати кінцевої точки руху молота:  $x = L$  та  $y = 0$ , отримуємо рівняння, до якого входять дві невідомі величини: початкова швидкість  $v_0$

$$\text{та кут } \alpha. \quad \frac{gL^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} - Ltg\alpha - h = 0$$

Траєкторію, яка забезпечує максимальну дальність польоту визначає кут кидання при найменшій можливій початковій швидкості. Виражаємо з останнього рівняння початкову швидкість, як функцію кута  $\alpha$ .

$$\begin{aligned} v_0^2 &= \frac{gL^2}{2 \cos^2 \alpha (Ltg\alpha + h)} = \frac{gL^2}{2L \sin \alpha \cos \alpha + 2h \cos^2 \alpha} = \\ &= \frac{gL^2}{L \sin 2\alpha + h(\cos 2\alpha + 1)}. \end{aligned}$$

Дослідимо останню функцію на екстремум. Знайдемо похідну знаменника.

$$(L \sin 2\alpha + h(\cos 2\alpha + 1))' = 0,$$

$$2L \cos 2\alpha - h 2 \sin 2\alpha = 0. \quad \text{Звідси знаходимо:} \\ tg 2\alpha = \frac{L}{h} \cdot tg 2\alpha = \frac{86,74}{1,8} = 48,19, \quad 2\alpha = 88,8^\circ, \quad \alpha = 44,4^\circ.$$

Тоді початкова швидкість виходу молота

$$v_0 = \sqrt{\frac{gL^2}{2 \cos^2 \alpha (Ltg\alpha + h)}} = \frac{L}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(Ltg\alpha + h)}}.$$

$$v_0 = \frac{86,74}{\cos 44,4^\circ} \sqrt{\frac{9,8}{2(86,74 \cdot \operatorname{tg} 44,4^\circ + 1,8)}} = 28,9 \frac{M}{c}$$

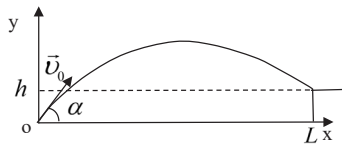
Сила, що діє на руки спортсмена під час прискорення молота:  $F = \frac{mv^2}{R}$ . Виконаємо обчислення в СІ  $F = \frac{7,265 \cdot 28,9^2}{1,9} = 3193,6 \text{ Н}$ .

У фізичній задачі такого ж типу можна використати біофізичну інформацію із життя коників.

Коники обережні, при шумі кроків перестають скрекотати і застигають непорушно. Якщо ворог наближається, тоді коник рятується швидкими і довгими стрибками. Відштовхується він задніми ногами і може стрибнути на відстань 1-2 метрів.

**Дано:**  $L=1,2 \text{ м}$   
 $h=0,35 \text{ м}$   
 $v_0 - ?; \alpha - ?$

**Задача 4.** Один берег струмка знаходиться на 35 см нижче від іншого. Ширина струмка – 120 см. З якою мінімальною швидкістю має відштовхнутися коник-стрибунець, щоб перестрибнути через струмок із нижчого берега на вищий? Опором повітря знехтувати.



**Розв'язування.** Запишемо закон руху відповідно до вибраної системи координат.

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t; \quad y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Виключаючи із системи час  $t$  і підставляючи координати кінцевої точки руху коника-стрибунця:  $x = L$  та  $y = h$ , отримуємо рівняння, до якого входять дві невідомі величини: початкова швидкість  $v_0$  та кут  $\alpha$ .

$$\frac{gL^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} - Ltg\alpha + h = 0$$

$$v_0^2 = \frac{gL^2}{2 \cos^2 \alpha (Ltg\alpha - h)} = \frac{gL^2}{2L \sin \alpha \cos \alpha - 2h \cos^2 \alpha}$$

$$= \frac{gL^2}{L \sin 2\alpha - h(\cos 2\alpha + 1)}$$

Дослідимо останню функцію на екстремум. Знайдемо похідну знаменника.

$$(L \sin 2\alpha - h(\cos 2\alpha + 1))' = 0, \quad 2L \cos 2\alpha + h2 \sin 2\alpha = 0$$

Звідси знаходимо:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{L}{h} \cdot \operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{1,2}{0,35} = -3,4286, \quad 2\alpha = 106,26^\circ,$$

$$\alpha = 53,13^\circ$$

Тоді початкова швидкість коника-стрибунця:

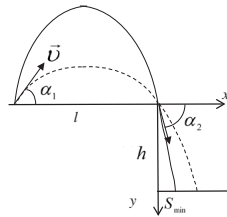
$$v_0 = \sqrt{\frac{gL^2}{2 \cos^2 \alpha (Ltg\alpha - h)}} = \frac{L}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(Ltg\alpha - h)}}$$

$$v_0 = \frac{1,2}{\cos 53,13^\circ} \sqrt{\frac{9,8}{2(1,2 \cdot \operatorname{tg} 53,13^\circ - 0,35)}} = 3,96 \frac{M}{c}$$

Учням військового ліцею будуть цікаві задачі з проблем артилерії.

**Дано:**  
 $v = 300 \frac{M}{c}$   
 $l = 8100 \text{ м}$   
 $h = 105 \text{ м}$   
 $g = 10 \frac{M}{c}$   
 $S_{\min} - ?$

**Задача 5.** Гармату встановлено на відстані 8100 м від вертикальної кручі, глибина якої 105 м. Швидкість вильоту снаряда з дула  $v = 300 \frac{M}{c}$ . На якій мінімальній горизонтальній відстані від краю кручі може впасти снаряд?



**Розв'язування.** Дальність польоту снаряда до кручі:  $l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ .

Звідси  $\sin 2\alpha = \frac{gl}{v_0^2}$ ;  
 $\sin 2\alpha = \frac{10 \cdot 8100}{300^2} = 0,9$ .

$$2\alpha = \arcsin 0,9 \approx 64^\circ; \quad \alpha_1 = 32^\circ$$

Потрібно взяти до уваги і друге значення кута:  $2\alpha_2 = 180^\circ - 64^\circ = 116^\circ$ . Тоді  $\alpha_2 = 58^\circ$ . Шукана відстань буде найменшою при навісній, а не при настільній траєкторії руху снаряда. Для її знаходження беремо  $\alpha = \alpha_2 = 58^\circ$ . Запишемо закон руху снаряда від краю кручі. З урахуванням вибраної системи відліку:  $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$ ;  
 $y = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{gt^2}{2}$ .

У момент падіння снаряда  $s_{\min} = v_0 \cos \alpha \cdot t_1$ ;  
 $h = v_0 \sin \alpha \cdot t_1 + \frac{gt_1^2}{2}$

$$gt_1^2 + 2v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - 2h = 0. \text{ Знаходимо}$$

$$t_1 = \frac{-2v_0 \sin \alpha + \sqrt{4v_0^2 \sin^2 \alpha + 4g \cdot 2h}}{2g} =$$

$$= -\frac{v_0 \sin \alpha}{g} + \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

$$s_{\min} = v_0 \cos \alpha \left( \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} + \frac{2h}{g}} - \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)$$

Виконаємо обчислення в СІ:

$$s_{\min} = 300 \cdot \cos 58^\circ \left( \sqrt{\frac{300^2 \sin^2 58^\circ}{10^2} + \frac{2 \cdot 105}{10}} - \frac{300 \sin 58^\circ}{10} \right) =$$

$$= 158,976 \cdot (25,85 - 25,44) \approx 65,1 \text{ (м)}$$

**Дано:**

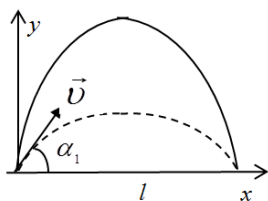
$$l = \frac{l_{\max}}{2}$$

$$\frac{H_{\max 2} - ?}{H_{\max 1}}$$

**Задача 6.** Два снаряди, які випущені під різними кутами до горизонту з однієї гармати, влучили в одну ціль на горизон-



тальній поверхні. Відстань від гармати до цілі вдвічі менша, ніж максимально можлива дальність стрільби даної гармати. У скільки разів відрізняються максимальні висоти підняття снарядів? Опором повітря нехтувати.



**Розв'язування.**

Горизонтальна дальність польоту снаряда:

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Максимальна дальність:  $l_{\max} = \frac{v_0^2}{g} = 2l$

Звідси  $\sin 2\alpha = \frac{1}{2}$ ;  $2\alpha = \arcsin 0,5 \approx 30^\circ$ ;  $\alpha_1 = 15^\circ$ . Потрібно взяти до уваги і друге значення кута:  $2\alpha_2 = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$ . Тоді  $\alpha_2 = 75^\circ$ . Максимальна висота підйому снаряда

$H_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ . Тоді шукане відношення висот:

$$\frac{H_{\max 2}}{H_{\max 1}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_2}{2g} \cdot \frac{2g}{v_0^2 \sin^2 \alpha_1} = \left( \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \right)^2$$

Виконаємо обчислення в СІ:

$$\frac{H_{\max 2}}{H_{\max 1}} = \left( \frac{\sin 75^\circ}{\sin 15^\circ} \right)^2 = \left( \frac{\sin (90^\circ - 15^\circ)}{\sin 15^\circ} \right)^2 = \left( \frac{\cos 15^\circ}{\sin 15^\circ} \right)^2 = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 15^\circ} = 13,93$$

При спокійному диханні здорова доросла людина використовує невелику частину життєвої ємності легень: вдихає і видихає 300–500 мл повітря (так званий дихальний об'єм). При цьому резервний об'єм вдиху, тобто кількість повітря, яка людина здатна додатково вдихнути після спокійного вдиху, і резервний об'єм видиху, рівний об'єму повітря, що додатково видихається після спокійного видиху, складає в середньому приблизно по 1500 мл кожний [4].

Дано:  
 $V=60 \text{ м}^3$   
 $m=10^{-4} \text{ г}$   
 $\mu=1 \text{ кг/моль}$   
 $V_0=0,5 \text{ л}$   
 $N_A=6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$   
 $N_0=?$

**Задача 7.** В кімнаті об'ємом  $V=60 \text{ м}^3$  випарували краплину парфумів, в якій було  $m=10^{-4} \text{ г}$  ароматичної речовини, молярна маса якої  $\mu=1 \text{ кг/моль}$ . Обчислити, скільки молекул ароматичної

речовини попадає в легені людини при кожному вдиханні повітря. Дихальний об'єм легень  $V_0=0,5 \text{ л}$ , число Авогадро  $N_A=6\text{Ч}$  Знайдемо концентрацію ароматичної речовини у кімнаті:  $n = \frac{N}{V}$ , Загальна кількість молекул:  $N = \nu N_A = \frac{m}{\mu} N_A$ .

Тоді кількість молекул, яка попадає у легені при одному вдиханні:  $N_0 = nV_0 = \frac{mN_A V_0}{\mu V}$ .

Виконаємо обчислення:

$$N_0 = \frac{10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 60} = 5 \cdot 10^{11} \text{ молекул.}$$

Розглянемо приклади фізичних задач з молекулярної фізики, у яких використовуються знання із хімії.

Дано:

$V=100 \text{ л}$   
 $P_a=101325 \text{ Па}$   
 $T=373 \text{ К}$   
 $\mu_1=16 \text{ кг/моль}$   
 $\mu_2=32 \text{ кг/моль}$   
 $R=8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$   
 $m=?$

**Задача 8.** В міцній закритій посудині об'ємом 100 л міститься суміш метану (молярна маса  $\mu_1=16 \text{ г/моль}$ ) з киснем (молярна маса  $\mu_2=32 \text{ г/моль}$ ), парціальні тиски яких однакові. Після підпалювання суміші відбувається хімічна

реакція  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ [1]. Визначити масу суміші, якщо після охолодження вмісту посудини до температури  $t=100^\circ\text{C}$  на стінках посудини випадає роса. Нормальний атмосферний тиск  $P_a=101325 \text{ Па}$ . Універсальна газова стала  $R=8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ .

**Розв'язування.** Оскільки парціальні тиски однакові, то початкове число молекул метану та кисню однакове. В реакції беруть участь усі молекули кисню та половина молекул метану. Кількість утворених молів води рівна початковій кількості молів кисню, а отже, і метану. Знайдемо число молів водяної пари. При  $100^\circ\text{C}$  випадає роса, тому пара насичена. Парціальний тиск насиченої пари при  $100^\circ\text{C}$  рівний нормальному атмосферному. Запишемо рівняння Менделєєва-Клапейрона для водяної пари.  $P_a V = \nu RT$ . Звідки знаходимо:  $\nu = \frac{P_a V}{RT}$ . Маса суміші газів  $m = (\mu_1 + \mu_2)\nu$ , де  $\mu_1$  - молярна маса метану,  $\mu_2$  - молярна маса кисню. Тоді шукана маса  $m = (\mu_1 + \mu_2) \frac{P_a V}{RT}$ .

Проведемо обчислення в СІ:

$$m = \frac{(0,016 + 0,032) \cdot 101325 \cdot 0,1}{8,31 \cdot 373} = 0,157 \text{ кг} = 157 \text{ г}$$

Дано:

$P=132 \text{ кПа}$   
 $m_1=2 \text{ г}$   
 $m_2=64 \text{ г}$   
 $\mu_1=2 \text{ г/моль}$   
 $\mu_2=32 \text{ г/моль}$   
 $P'=?$

**Задача 9.** У герметично закритому балоні знаходиться суміш із 2 г водню і 64 г кисню при тиску 129 кПа. Відбувається реакція згоряння водню. Який тиск установиться в балоні після охолодження до початкової температури?

Водяна пара при охолодженні не конденсується. Молярна маса водню  $\mu_1=2 \text{ г/моль}$ . Молярна маса кисню  $\mu_2=32 \text{ г/моль}$ .

**Розв'язування.** У балоні міститься

$$\nu_1 = \frac{m_1}{\mu_1} = \frac{2}{2} = 1 \text{ (моль) водню і } \nu_2 = \frac{m_2}{\mu_2} = \frac{64}{32} = 2 \text{ (моль) кисню.}$$

Після підпалювання суміші відбувається хімічна реакція  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ .

В реакції бере участь 1 моль водню та 0,5 моль кисню (у два рази менше ніж водню). Кількість утворених молів води рівна початковій кількості молів водню.

Отже, після реакції у балоні буде знаходитися  $\nu_{\text{в.п.}} = 1$  моль водяної пари і  $\nu'_2 = 1,5$  моль кисню.

Запишемо рівняння Менделєєва-Клапейрона для водню та кисню у початковому стані:  $P_o V = \nu_1 RT$ ,  $P_k V = \nu_2 RT$ , де  $P_o$  і  $P_k$  - парціальні тиски водню і кисню до реакції. Тоді викорис-

товуючи закон Дальтона:  $P = P_o + P_k$  маємо рівняння стану суміші газів  $PV = (\nu_1 + \nu_2)RT$  (1)

Аналогічно отримаємо рівняння стану суміші водяної пари і кисню після реакції та охолодження суміші до початкової температури:  $P'V = (\nu_{\text{в.п.}} + \nu'_2)RT$  (2).

Поділимо друге рівняння на перше:  $\frac{P'}{P} = \frac{\nu_{\text{в.п.}} + \nu'_2}{\nu_1 + \nu_2}$ .

Звідки знаходимо:  $P' = \frac{\nu_{\text{в.п.}} + \nu'_2}{\nu_1 + \nu_2} P$ .

Виконаємо обчислення:

$$P' = \frac{1 + 1,5}{1 + 2} 132 \cdot 10^3 = 110 \cdot 10^3 \text{ (Па)} = 110 \text{ кПа}.$$

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. Освіти / за ред. В.Г. Бар'яхтара, С.О. Довгого. Харків : Вид-во «Ранок», 2018. 272 с.
2. Григорович О.В. Хімія : підручник для 9 класу загальноосвіт. навч. закл. Х. : Вид-тво «Ранок», 2017. 256 с.
3. Кобель Г.П., Савош В.О. Третій етап ЛІІІ Всеукраїнської олімпіади з фізики. *Педагогічний пошук*. 2016. № 4. С. 65–71.
4. Матяш Н.Ю., Остапченко Л.І., Пасічніченко О.М., Балан П.Г. Біологія : підручник для 8 класу загальноосвіт. навч. закл. К. : Генеза, 2016. 288 с.
5. Чен Е.Б. Молот на рекордной орбите (о Ю.Г. Седых). М. : Физкультура и спорт, 1990. 190 с.

#### REFERENCES:

1. Baryahtar, V.G., Dovgiy, S.O., Bozhynova, F.Ya. Kiryuhina, O.O. (2018) *Physics (standard level according to the educational program of the authors, under the guidance of Loktieva V.M.)*: textbook for 10th form of general educational establishments. under the edition of V.G. Baryahtar and S.O. Dovgiy . Kharkiv: Publishing House "Ranok" [in Ukrainian].
2. Grygorovych, O.V. (2017) *Chemistry*: textbook for 9th grade of general educational establishments. Kharkiv: Publishing House "Ranok" [in Ukrainian].
3. Kobel, G.P., Savosh, V.O. (2016) Third stage of LIII All-Ukrainian Olympiad in Physics. *Pedagogical search*. 4, 65–71 [in Ukrainian].
4. Matiash, N.Y., Ostapchenko, L.I., Pasichenko, O.M., Balan, P.G. (2016) *Biology*: textbook for 8th form of general educational establishments. Kyiv. Genesis [in Ukrainian].
5. Chen, E.B. (1990) *Hammer on record orbit (about Yu. G. Sedyh)*. M.: Physical culture and sport [in Russian].