

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

$$p = \frac{1}{3} m_0 n v^2 \quad \vec{F} = -k \vec{x}$$



І. М. Гельфгат, І. Ю. Ненашев

ФІЗИКА

10 ЗБІРНИК ЗАДАЧ РІВЕНЬ СТАНДАРТУ

КЛАС

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_1}$$



$$Q = \Delta U + A$$

$$\sigma = \frac{F_{\text{поб}}}{l} \quad pV = \frac{m}{M} RT$$

I. М. Гельфгат, I. Ю. Ненашев

Ф

10

ІЗИКА ЗБІРНИК ЗАДАЧ

Рівень стандарту

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

УДК [53:37.016](076.1)

Г32

Схвалено для використання у загальноосвітніх навчальних закладах

(лист Інституту модернізації змісту освіти

Міністерства освіти і науки України

від 18.06.2018 № 22.1/12-Г-370)

Рецензенти:

M. O. Петракова, учитель фізики вищої кваліфікаційної категорії Харківського фізико-математичного ліцею № 27, учитель-методист;

I. M. Колупаєв, доцент Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», канд. фіз.-мат. наук

Гельфгат І. М.

Г32 **Фізика. 10 клас. Рівень стандарту : збірник задач / І. М. Гельфгат, І. Ю. Ненашев. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — 176 с. : іл.**

ISBN 978-617-09-4821-2

Посібник складений відповідно до нових навчальних програм з фізики для 10 класу закладів загальної середньої освіти (рівень стандарту) і містить задачі, диференційовані за трьома рівнями складності.

Збірник побудований максимально зручно для вчителя та учнів. Наведено приклади розв'язування задач; подано відповіді до більшості задач, а також вибірково вказівки та розв'язання. Уміщено тести для самоперевірки та відповіді до них.

Наявність однотипних задач дозволяє здійснити оптимальний добір задач для домашніх завдань та самостійних робіт. Задачі для допитливих допоможуть учням перевірити глибину отриманих знань і підготуватися до олімпіад з фізики.

Збірник містить додаток, що складається з довідкових таблиць і математичного довідника.

Призначено для учнів 10 класів закладів загальної середньої освіти та вчителів фізики.

УДК [53:37.016](076.1)



**Разом дбаємо
про екологію та здоров'я**

© Гельфгат І. М., Ненашев І. Ю., 2018

ISBN 978-617-09-4821-2

© ТОВ Видавництво «Ранок», 2019

ПЕРЕДМОВА

Пропонований посібник містить задачі для учнів 10 класу закладів загальної середньої освіти України, матеріал відповідає новим навчальним програмам вивчення фізики на рівні стандарту.

Подані в збірнику задачі розміщено за тематичними розділами та параграфами. Усередині кожного параграфа задачі диференційовано за трьома рівнями складності, що приблизно відповідають середньому, достатньому та високому рівням навчальних досягнень учнів. Наведено приклади розв'язування задач із належним записом. Кількість задач достатня, щоб забезпечити роботу на уроках, домашні завдання, повторення матеріалу тощо. Наявність певної кількості однотипних задач дозволяє оптимально відбирати задачі для домашньої роботи учнів та для самостійних робіт. Після багатьох параграфів наведено тести для самоперевірки (учитель може застосувати ці тести і для експрес-контролю).

До рубрики «Задачі для допитливих» увійшли задачі, які допоможуть перевірити глибину знань, отриманих учнями, якісно підготувати їх до олімпіад з фізики. Для розв'язання задач цієї рубрики цілком достатньо знань у межах шкільної програми. Зрозуміло, що ці задачі не можна використовувати для контролю рівня навчальних досягнень.

Під час розв'язування задач учням стане в пригоді наведений наприкінці посібника додаток, який містить довідкові таблиці та математичний довідник.

Умовні позначення

Збірник має елементи, які сприятимуть більш продуктивній роботі вчителя й учнів:

- ?** — якісні задачі, що їх у більшості випадків можна розв'язувати усно;
- ⌚** — задачі, до яких наприкінці збірника наведено повні розв'язання;

Позначено групи однотипних задач:

- 1.4.** — перша задача групи, яку доцільно розв'язати на уроці;
- 1.5.** — інші задачі групи, які учні за аналогією можуть розв'язати самостійно на уроці або вдома.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ КІНЕМАТИКИ. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. ЗАКОН ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ

1-й рівень складності

- ?** 1.1. Маленька дитина бачить, що секундна стрілка годинника рухається, а хвилинна та годинникова стрілки нерухомі. Як довести дитині, що вона помиляється?
- 
- ?** 1.2. Існують спогади про те, як у Першу світову війну пілот під час польоту впіймав рукою кулю, випущену із землі. При цьому він не постраждав (лише злегка обпікся). Чи могло таке статися? Обґрунтуйте свою відповідь.
- ?** 1.3. Наведіть приклади задач, у яких автомобіль: а) можна вважати матеріальною точкою; б) не можна вважати матеріальною точкою.
- ?** 1.4. Наведіть приклади задач, у яких Місяць: а) можна вважати матеріальною точкою; б) не можна вважати матеріальною точкою.
- ?** 1.5. Яка траєкторія руху вузла ручки, який пише, відносно Землі у випадку, коли вчитель ставить оцінку «дев'ять»? коли вчитель із ручкою в кишені піднімається в ліфті?
- ?** 1.6. Чи може модуль переміщення бути більшим за пройдений шлях?
- ?** 1.7. Перший автобус, виїхавши з гаража, зробив до поворотення 10 рейсів, а другий — 5 рейсів за тим же марш-

рутом. Який з автобусів пройшов більший шлях? Здійснив більше переміщення?

- ? 1.8.** Плавець переплив плавальний басейн завдовжки 50 м двічі — туди та назад. Визначте шлях і модуль переміщення плавця.
- ? 1.9.** Який модуль переміщення Землі за рік у системі від-ліку, пов'язаній із Сонцем?
- 1.10.** М'яч, кинутий із землі вертикально вгору, досяг висоти 10 м, і потім його спіймали на балконі на висоті 6 м над землею. Знайдіть шлях і модуль переміщення м'яча.
- 1.11.** М'яч упав із висоти 2 м, підскочив на 1 м вгору, знову впав, і після відскоку його спіймали на висоті 0,5 м. Знайдіть шлях і модуль переміщення м'яча.
- 1.12.** Автобус здійснює рейси прямою автотрасою між населеними пунктами А і Б, що розташовані на відстані 20 км один від одного. Він виїхав з пункту А, доїхав до пункту Б і проїхав половину зворотного шляху. Визначте шлях і модуль переміщення автобуса.
- 1.13.** Скільки часу потрібно поїзду завдовжки 450 м, щоб проїхати міст завдовжки 750 м, якщо швидкість руху поїзда 72 км/год?
- 1.14.** Швидкість руху човна відносно води 4 км/год, швидкість течії 2 км/год. За який час човен пройде 12 км за течією річки? проти течії?
- 1.15.** Катер рухається по річці проти течії зі швидкістю 12 км/год відносно берега, а за течією — зі швидкістю 16 км/год. Яка швидкість течії?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Назустріч мотоциклісту, що їде паралельно залізниці, про-мчалися два поїзди з інтервалом $t_1 = 6$ хв. Обидва поїзди, що відправилися зі станції з інтервалом $t_2 = 10$ хв, ідуть зі швид-кістю $u = 60$ км/год. Яка швидкість v руху мотоцикіста?

Дано:

$$t_1 = 6 \text{ хв}$$

$$t_2 = 10 \text{ хв}$$

$$u = 60 \text{ км/год}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Відстань між поїздами $s = ut_2$ не змінюється з часом. У системі відліку, пов'язаній із поїздами, мотоцикліст, що рухається зі швидкістю $v+u$, долає цю відстань за час t_1 . Отже, $s = (v+u)t_1$, звідки $(v+u)t_1 = ut_2$ і $v = \frac{u(t_2-t_1)}{t_1}$.

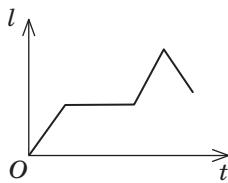
$$\text{Перевіримо одиниці: } [v] = \frac{\text{км} \cdot \text{хв}}{\text{год} \cdot \text{хв}} = \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

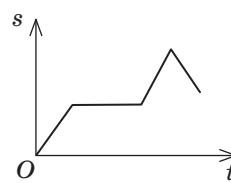
$$v = \frac{60 \cdot (10 - 6)}{6} = 40 \text{ (км/год)}.$$

Відповідь: $v = 40 \text{ км/год}$.

- ? 1.16. Траєкторії руху двох матеріальних точок перетинаються. Чи означає це, що тіла зіштовхуються? Наведіть приклад, що підтверджує вашу відповідь.
- ? 1.17. У випадках *a*, *b* на рисунку наведено графіки залежності шляху l і модуля s переміщення від часу t для двох рухів. На якому з графіків є помилка? Обґрунтуйте свою відповідь.



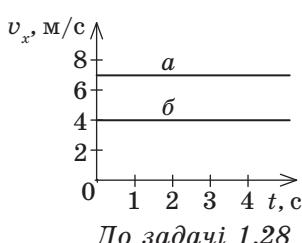
a



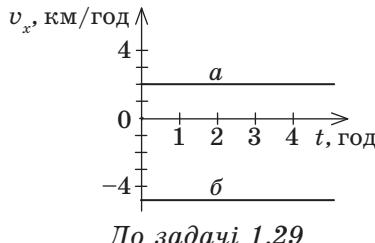
b

- ? 1.18. За якої умови шлях дорівнює модулю переміщення?
- 1.19. Визначте максимальний модуль переміщення під час руху тіла по колу радіусом 5 м.
- ? 1.20. Що ми оплачуємо в таксі: шлях чи модуль переміщення?
- ? 1.21. Два тіла, рухаючись прямолінійно, здійснили однакові переміщення. Чи обов'язково однакові пройдені ними шляхи? Відповідь поясніть прикладом.

- 1.22.** Літак пролетів по прямій 150 км, а потім повернув на 90° і пролетів ще 200 км. Знайдіть пройдений літаком шлях і модуль переміщення.
- 1.23.** Гелікоптер, що пролетів у горизонтальному польоті прямолінійно 30 км, повернув під кутом 90° і пролетів ще 40 км. Визначте шлях і модуль переміщення гелікоптера.
- 1.24.** Велосипедист рухається рівномірно круговою трасою радіусом 1 км, затрачуючи на кожне коло 8 хв. Знайдіть шлях і переміщення велосипедиста: а) за 2 хв; б) за 4 хв; в) за 8 хв; г) за 12 хв.
- 1.25.** Вадик іде в школу зі швидкістю 3 км/год і розраховує встигнути якраз до початку уроку. Пройшовши півшляху, він згадує, що забув вимкнути вдома комп'ютер. З якою швидкістю Вадик має бігти, щоб повернутися додому, швидко вимкнути комп'ютер і не спізнитися в школу?
- 1.26.** Велосипедист проїхав прямою трасою 80 км зі швидкістю 20 км/год, а потім ще 60 км зі швидкістю 10 км/год. Визначте середню швидкість його руху на всьому шляху.
- 1.27.** Мотоциклист проїхав 20 км за 30 хв, а потім їхав зі швидкістю 60 км/год протягом 1,5 год. Визначте середню швидкість його руху на всьому шляху, якщо весь час він їхав на захід.
- 1.28.** За графіками швидкості (див. рисунок) запишіть формулі і побудуйте графіки залежності $s_x(t)$.
- 1.29.** За наведеними на рисунку графіками швидкості запишіть формулі і побудуйте графіки залежності $s_x(t)$.



До задачі 1.28



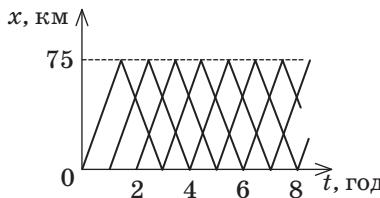
До задачі 1.29

- 1.30.** Уздовж осі Ox рухаються два тіла, координати яких змінюються відповідно до формул $x_1 = 6 + t$ і $x_2 = 14 - 3t$. Опишіть рухи. У який момент часу та в якій точці тіла зустрінуться?
- 1.31.** Уздовж осі Ox рухаються два тіла, координати яких змінюються відповідно до формул $x_1 = 12 - t$ і $x_2 = -6 + 2t$. Опишіть рухи. У який момент часу та в якій точці тіла зустрінуться?
-  **1.32.** Моторний човен за 1,5 год доставляє пошту з міста в селище, що розташоване нижче за течією річки. Скільки часу зайде зворотний шлях, якщо швидкість руху човна відносно води в 4 рази більша за швидкість течії?
- 1.33.** За 4 год моторний човен проходить проти течії відстань 48 км. За який час він повернеться назад, якщо швидкість течії 3 км/год?
- 1.34.** Моторний човен доляє відстань між двома пунктами за течією річки протягом 3 год, а пліт — протягом 12 год. Скільки часу витратить моторний човен на зворотний шлях?
- 1.35.** Катер перетинає річку завширшки 1 км. Швидкість катера відносно води напрямлена перпендикулярно до берега, модуль швидкості 4 м/с. На яку відстань знесе катер течія за час переправи, якщо швидкість течії 1 м/с? Який шлях пройде катер відносно берегів?

3-й рівень складності

- ? **1.36.** Міжпланетна станція здійснює переліт Земля — Марс. Чи можна вважати її матеріальною точкою у випадку, коли: а) оцінюємо ризик зіткнення з метеоритом; б) обчислюємо час перельоту; в) вивчаємо розігрів станції під час руху в атмосфері Марса?
- 1.37.** Складіть самостійно задачі, під час розв'язування яких потяг: а) можна вважати матеріальною точкою; б) не можна вважати матеріальною точкою.

- 1.38.** Накресліть траекторію руху, для якого шлях перевищує модуль переміщення у 2 рази.
- 1.39.** Накресліть траекторію руху, для якого шлях перевищує модуль переміщення: а) у 3 рази; б) у $\sqrt{2}$ разів.
- 1.40.** Мотоцикліст іхав на північ спочатку зі швидкістю 90 км/год, а потім — зі швидкістю 30 км/год. Визначте середню швидкість його руху на всьому шляху. Розгляньте випадки, коли мотоцикліст іхав зі швидкістю 90 км/год: а) половину шляху; б) половину часу.
- 1.41.** Людина проїхала першу половину прямолінійного відрізка шляху на автомобілі зі швидкістю 75 км/год, а другу половину — на велосипеді зі швидкістю 25 км/год. Визначте середню швидкість руху на всьому шляху.
- 1.42.** Пішохід $3/4$ часу руху йшов на південь зі швидкістю 4 км/год, а решту часу — зі швидкістю 6 км/год. Якою була середня швидкість його руху?
- 1.43.** На рисунку наведено графік руху автобусів за маршрутом. Чим занехтували під час побудови цього графіка? Скільки автобусів на маршруті? З якою швидкістю вони рухаються? Через які інтервали часу Δt повертаються на станцію відправлення? Скільки разів за час Δt водій бачить зустрічний автобус того ж маршруту?



Задача для допитливих

- 1.44.** Накресліть траекторію руху точки на ободі колеса залізничного вагона: а) відносно вагона; б) відносно Землі. Урахуйте, що обід залізничного колеса трохи виступає за поверхню, якою колесо катиться по рейках.

2. ПРИСКОРЕННЯ. РІВНОПРИСКОРЕНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ

1-й рівень складності

- ? 2.1.** Куди направлене прискорення ракети під час вертикального старту? під час вертикальної м'якої посадки?
- 2.2.** Автобус, що відходить від зупинки, набирає швидкості 12 м/с за 30 с . З яким прискоренням він рухається?
- 2.3.** За секунду швидкість прямолінійного рівноприскореного руху тіла збільшилася від 5 до $7,5 \text{ м/с}$. Визначте модуль прискорення руху тіла.
- 2.4.** Швидкість прямолінійного рівноприскореного руху тіла за 3 с зменшилася від $2,5$ до $0,7 \text{ м/с}$. Куди було направлене прискорення тіла? Чому дорівнював модуль прискорення?
- 2.5.** Поїзд рухається з постійним прискоренням без початкової швидкості, його прискорення дорівнює $0,4 \text{ м/с}^2$. Визначте швидкість руху поїзда через 1 с після початку руху; через 5 с ; через 30 с .
- 2.6.** Тіло, що перебувало в спокої, почало рухатися прямолінійно з постійним прискоренням $0,5 \text{ м/с}^2$. Визначте швидкість руху тіла через 3 і 6 с після початку руху.
- 2.7.** Тіло падає* без початкової швидкості. Яка швидкість його руху після $1,5 \text{ с}$ падіння?
- 2.8.** Визначте швидкість руху тіла після $2,5 \text{ с}$ вільного падіння без початкової швидкості.
- 2.9.** Тіло вільно падає без початкової швидкості. Яке переміщення тіла за перші 3 с падіння?
- 2.10.** Визначте висоту, вільне падіння тіла з якої без початкової швидкості триває $1,8 \text{ с}$.

* Тут і надалі вважайте, що $g = 10 \text{ м/с}^2$; опір повітря під час руху тіл не враховуйте, якщо про це не сказано в умові задачі.

2.11. Скільки часу триває вільне падіння тіла без початкової швидкості з висоти 33,8 м?

2.12. Скільки часу триває вільне падіння тіла без початкової швидкості з висоти 24,2 м?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Літак дотикається посадкової смуги за швидкості руху $v_0 = 50$ м/с і зупиняється, пробігши $L = 1200$ м. Якою була швидкість v руху літака, коли він пробіг по смузі $s = 600$ м?

Розв'язання. Скористаємося формулами, що зв'язують переміщення тіла під час рівноприскореного руху з початковою і кінцевою швидкостями руху: $-2aL = 0 - v_0^2$ і $-2as = v^2 - v_0^2$. Поділивши друге співвідношення на перше, отримаємо $\frac{s}{L} = \frac{v^2 - v_0^2}{-v_0^2}$. Звідси випливає, що $v^2 = v_0^2 \left(1 - \frac{s}{L}\right)$. Перевіривши одиниці та підставивши числові значення величин, дістанемо $v = 35$ м/с.

Відповідь: $v = 35$ м/с.

2.13. Визначте модуль прискорення руху поїзда, якщо під час гальмування він протягом 40 с зменшує швидкість руху від 75 до 39 км/год. Запишіть формулу залежності швидкості руху від часу.

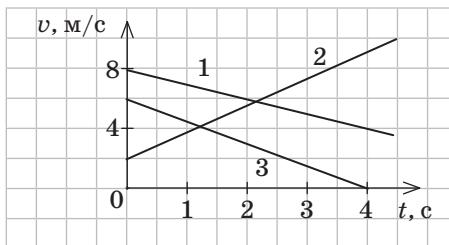
2.14. Визначте модуль прискорення руху ракети, якщо під час вертикального старту вона протягом 1,5 хв набрала швидкості руху 1,8 км/с. Запишіть формулу залежності швидкості руху від часу.

2.15. Визначте модуль прискорення автомобіля під час гальмування, якщо за початкової швидкості руху 54 км/год час гальмування до повної зупинки становить 7,5 с. Запишіть формулу залежності швидкості руху від часу.

2.16. Опишіть характер прямолінійних рухів, для яких:
а) $v_x = 2 + 0,5t$; б) $v_x = 3 - 2t$. Накресліть графіки $v_x(t)$.

- 2.17.** Велосипедист рухається під ухил з прискоренням $0,25 \text{ м/с}^2$. Якою стане швидкість його руху через 8 с, якщо початкова швидкість руху дорівнює 6 м/с ?
- 2.18.** Модуль прискорення автомобіля під час гальмування дорівнює $1,5 \text{ м/с}^2$. Якою стане швидкість його руху через 8 с, якщо початкова швидкість руху дорівнює 15 м/с ?
- 2.19.** Який шлях пройде тіло за 6 с, рухаючись зі стану спокою з прискоренням $0,5 \text{ м/с}^2$?
- 2.20.** За який час тіло, рухаючись зі стану спокою з прискоренням $0,3 \text{ м/с}^2$, пройде шлях 9,6 м?
- 2.21.** Велосипедист, швидкість руху якого дорівнювала 4 м/с , почав спускатися з гори з прискоренням $0,6 \text{ м/с}^2$. Визначте довжину гори, якщо спуск тривав 8 с.
- 2.22.** Автомобіль, що зупинився перед світлофором, набрав потім швидкості 54 км/год на відрізку 40 м. З яким прискоренням рухався автомобіль? Скільки часу тривав розгін?
- 2.23.** Автомобіль, рухаючись рівномірно, пройшов за 10 с шлях 50 м , а протягом наступних 10 с, рухаючись із постійним прискоренням, пройшов 150 м . З яким прискоренням рухався автомобіль на другій ділянці?
- 2.24.** Автомобіль, що рухався зі швидкістю 60 км/год , після гальмування зупинився. Визначте середню швидкість автомобіля за весь час гальмування.
- 2.25.** Під час гальмування, яке тривало 10 с, швидкість руху поїзда зменшилася від 16 м/с до 12 м/с . Яку відстань проїхав поїзд за цей час? Визначте швидкість його руху через 5 с після початку гальмування. Порівняйте її з середньою швидкістю за весь час гальмування.
- 2.26.** Куля, що летіла зі швидкістю 500 м/с , пробила стіну завтовшки 20 см , унаслідок чого швидкість руху кулі зменшилася до 200 м/с . Скільки часу рухалася куля в стіні?

- 2.27.** Під час гальмування модуль прискорення автомобіля дорівнював 2 м/с^2 , а швидкість його руху зменшилася від 25 м/с до 5 м/с . Який шлях пройшов автомобіль за цей час?
- 2.28.** Під час аварійного гальмування на сухому асфальті автомобіль рухається з прискоренням $7,5 \text{ м/с}^2$. Чому дорівнює гальмівний шлях автомобіля за швидкості руху 54 км/год ?
- 2.29.** Літак відривається від землі за швидкості руху 252 км/год . З яким прискоренням він має рухатися по злітній смузі, довжина якої $1,4 \text{ км}$?
- 2.30.** На злітній смузі завдовжки 1400 м літак набирає швидкості руху 60 м/с . Якої швидкості руху набере літак, пробігши по смузі перші 350 м ?
- 2.31.** Кулька скочується похилою площиною, рухаючись із постійним прискоренням. Пройшовши відстань $2,5 \text{ м}$, кулька набрала швидкості руху $0,8 \text{ м/с}$. Яку ще відстань має пройти кулька, щоб набрати швидкості руху $2,4 \text{ м/с}$?
- 2.32.** За графіком 1 залежності швидкості руху автомобіля від часу (див. рисунок) визначте початкову швидкість руху та модуль прискорення автомобіля.
- 2.33.** На графіку 2 (див. рисунок) показано залежність швидкості руху автомобіля, що розганяється, від часу. Визначте початкову швидкість руху та модуль прискорення автомобіля.
- 2.34.** Запишіть формулу залежності $v_x(t)$ для руху тіла вздовж осі Ox (графік 3 на рисунку).



До задач 2.32–2.34

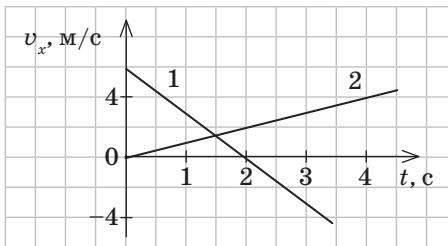
- 2.35.** Залежність проекції переміщення тіла від часу має вигляд $s_x = 3t + t^2$. Які проекції початкової швидкості та прискорення руху?
- 2.36.** Визначте проекції початкової швидкості та прискорення руху, якщо залежність проекції переміщення від часу має вигляд $s_x = 9t - 1,5t^2$.
- 2.37.** Рівняння проекції швидкості руху тіла $v_x = 4 + t$. Запишіть відповідне рівняння проекції переміщення тіла.
- 2.38.** Рівняння залежності проекції переміщення тіла від часу має вигляд $s_x = 6t + t^2$. Запишіть рівняння залежності проекції швидкості руху тіла від часу.
- 2.39.** Підкинутий угору камінь упав на землю через 3,8 с. Визначте початкову швидкість його руху. Якої висоти він досяг? З якою швидкістю впав на землю?
- 2.40.** У скільки разів збільшиться час польоту підкинутого вгору м'яча і максимальна висота його підйому, якщо збільшити початкову швидкість руху м'яча в 1,5 разу?
- 2.41.** Тіло підкидають угору зі швидкістю 12 м/с. Через який час після кидка воно опиниться на висоті 4 м?
- 2.42.** Камінець, підкинутий вертикально вгору, двічі пролетів повз верхівку дерева заввишки 11 м з інтервалом 1,6 с. Якої найбільшої висоти досяг камінець?

3-й рівень складності

-  **2.43.** Прямолінійний рух описано формулою $x = -2 + 4t - 0,5t^2$. Опишіть рух, побудуйте для нього графіки $v_x(t)$, $s_x(t)$, $l(t)$.
- 2.44.** Прямолінійні рухи двох тіл описано такими формулами: $x_1 = 9 - 9t + 1,5t^2$, $x_2 = -12 + 8t - t^2$. Опишіть рухи, побудуйте для них графіки $v_x(t)$, $s_x(t)$.

- 2.45.** Початкова координата тіла, що рухається вздовж осі Ox , дорівнює -8 м. Опишіть рух і побудуйте графіки $x(t)$, $s_x(t)$, $l(t)$, якщо: а) $v_x = 4t$; б) $v_x = 8 - 2t$.

- 2.46.** За графіками залежності $v_x(t)$ прямолінійних рухів (див. рисунок) визначте типи рухів. Побудуйте графіки $s_x(t)$, $l(t)$, $x(t)$, уважаючи $x_0 = 8$ м.

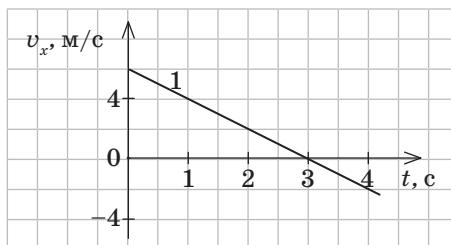


- 2.47.** Доведіть, що для прямолінійного рівноприскореного руху без початкової швидкості модуль переміщення тіла за четверту секунду руху в 7 разів більший, ніж за першу секунду.
- 2.48.** М'яч підкинули вертикально вгору зі швидкістю 22 м/с. Знайдіть шлях і модуль переміщення м'яча за 3 с руху.
- 2.49.** В останню секунду вільного падіння тіло пройшло 19 м. Скільки часу тривало падіння?
- 2.50.** В останню секунду вільного падіння тіло пройшло дві третини всього шляху. З якої висоти падало тіло?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- Автомобіль, що рухався прямолінійно, протягом 10 с збільшив швидкість руху від 25 до 43 км/год. Він рухався з прискоренням:
A $0,25$ м/ с^2 **B** $0,50$ м/ с^2 **C** $1,8$ м/ с^2 **D** $2,5$ м/ с^2
- Поїзд рушає з місця з прискоренням $0,1$ м/ с^2 . Через $1,5$ хв він набере швидкості руху:
A $0,15$ м/с **B** $0,3$ м/с **C** $1,5$ м/с **D** 9 м/с

3. Протягом третьої секунди вільного падіння без початкової швидкості (уважаємо $g = 10 \text{ м/с}^2$) тіло долає відстань:
A 15 м **B** 25 м **V** 35 м **Г** 45 м
4. Автомобіль пройшов ділянку дороги за 30 с, рухаючись із постійним прискоренням. Швидкість його руху за цей час змінилася від 12 до 18 м/с. Довжина пройденої ділянки дороги дорівнює:
A 180 м **B** 240 м **V** 360 м **Г** 450 м
5. Модуль прискорення прямолінійного руху тіла вздовж осі Ox , графік якого наведено на рисунку, дорівнює:
A 2 м/с^2 **B** 3 м/с^2 **V** 4 м/с^2 **Г** 6 м/с^2



До завдань 5, 6

6. На рисунку наведено графік руху тіла вздовж осі Ox . Протягом перших 4 с руху тіло пройшло шлях:
A 6 м **B** 8 м **V** 10 м **Г** 12 м

3. РУХ ТІЛА, КИНУТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО АБО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ

1-й рівень складності

- ? 3.1. Контейнер скидають із літака, що летить горизонтально з постійною швидкістю. Де буде контейнер у момент падіння — попереду чи позаду літака?
- 3.2. Як зміняться час і дальність польоту м'яча, кинутого горизонтально з певної висоти, якщо в 4 рази збільшити: а) початкову швидкість руху м'яча; б) початкову висоту?

- 3.3.** Камінь кинули зі швидкістю 25 м/с під кутом 60° до горизонту. Які швидкість і прискорення руху каменя у верхній точці траєкторії?
- 3.4.** Камінець, який кинули під кутом до горизонту, досяг висоти 12,8 м. Скільки часу він перебував у польоті?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

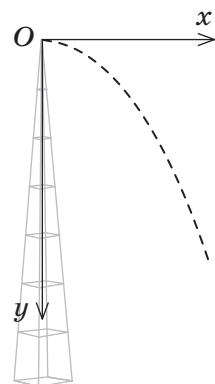
З вишкі стріляють у горизонтальному напрямі з пневматичної рушниці. Початкова швидкість кулі $v_0 = 40$ м/с. Напишіть рівняння залежностей $x(t)$, $y(t)$ і рівняння траєкторії $y(x)$ руху кулі в системі координат, що показана на рисунку. Які координати кулі та модуль її переміщення через $t = 3$ с після пострілу?

Розв'язання. Якщо опором повітря можна знехтувати, то рух кулі відбувається з постійним прискоренням \vec{g} , напрямленим униз. Цей рух можна розглядати як результат «додавання» рівномірного руху в напрямі осі Ox та рівноприскореного руху вздовж осі Oy .

Залежності координат кулі від часу мають вигляд $x(t) = v_0 t$, $y(t) = \frac{gt^2}{2}$. Виключивши з цих співвідношень час, отримуємо рівняння траєкторії $y = \frac{gx^2}{2v_0^2}$. Це рівняння параболи. Підставивши числові значення величин, дістанемо залежності $x(t) = 40t$, $y(t) = 5t^2$ і рівняння траєкторії $y = \frac{x^2}{320}$. У момент $t = 3$ с координати кулі $x = 120$ м, $y = 45$ м. Модуль переміщення кулі в цей момент $s = \sqrt{x^2 + y^2} = 130$ (м).

Відповідь: $x = 120$ м, $y = 45$ м, $s = 130$ м.

- 3.5.** Два тіла кинули одночасно з вершини вежі в протилежних напрямах: одне зі швидкістю 10 м/с, інше зі швидкістю 7,5 м/с. Якою буде відстань між тілами через 2 с?



- 3.6.** Хлопчик кидає м'яч горизонтально з вікна на висоті 45 м. Початкова швидкість руху м'яча дорівнює 15 м/с. Скільки часу він летітиме до землі? На якій максимальній відстані від стіни може впасти? Визначте модуль переміщення м'яча.
- 3.7.** Якої швидкості треба надати в горизонтальному напрямі яблуку, щоб перекинути його з балкона дев'ятого поверху сусідові на балкон шостого поверху? Висота кожного поверху дорівнює 3,3 м, а відстань між балконами по горизонталі — 12 м.
- 3.8.** Снаряд, випущений під кутом 35° до горизонту, влучив у мішень. На скільки збільшили кут нахилу ствола гармати до горизонту, якщо випущений після цього другий снаряд влучив у ту саму мішень?
- 3.9.** У скільки разів потрібно збільшити початкову швидкість руху спортивного молота, щоб гранична дальність кидка збільшилася в 1,5 разу?
- 3.10.** Випущена під кутом до горизонту стріла побувала на висоті 10 м двічі з інтервалом 2,8 с. Яка повна тривалість польоту стріли?
- 3.11.** Снаряд випущений зі швидкістю 800 м/с під кутом 60° до горизонту. Яка тривалість польоту снаряда? На яку висоту він піднімається? На якій відстані від гармати упаде на землю?

3-й рівень складності

- 3.12.** Два тіла кинули одночасно з вершини вежі: одне в горизонтальному напрямі зі швидкістю 10 м/с, інше вертикально вгору зі швидкістю 7,5 м/с. Яка відстань між тілами через 2 с? Накресліть графік залежності відстані між тілами від часу.
- 3.13.** 3 гелікоптера, що летить горизонтально на висоті 180 м, скинули вантаж без парашута. Яка швидкість руху гелікоптера, якщо вантаж перед приземленням рухався під кутом 45° до горизонту?

- 3.14.** Камінь кинули горизонтально з висоти 15 м. Яка його початкова швидкість, якщо дальність польоту каменя в 3 рази більша за початкову висоту? Під яким кутом до горизонту рухався камінь перед ударом об землю?
- 3.15.** Біатлоніст веде вогонь по вертикальній мішенні з відстані 50 м. Ствол його гвинтівки напрямлений горизонтально, початкова швидкість руху куль 800 м/с. Куля влучають точно в центр мішенні. На яку відстань від центра мішенні відхилиться куля, початкова швидкість руху якої через відвологлий порох у патроні дорівнює 700 м/с?
- 3.16.** Під яким кутом до горизонту кинули тіло, якщо дальність польоту в півтора разу перевищує максимальну висоту?
- 3.17.** З якою початковою швидкістю і під яким кутом до горизонту випущений снаряд, що перебував у повітрі 45 с і впав на відстані 13,5 км від гармати?
-  **3.18.** Випущений вертикально вгору снаряд розірвався у верхній точці траекторії на безліч дрібних осоколків, що розлетілися з однаковими за модулем початковими швидкостями v_0 у різних напрямках. Як буде змінюватися з часом форма «хмари» з осоколків?
-  **3.19.** Стрілець має влучити стрілою в яблуко, що падає без початкової швидкості з високої скелі. У яку точку варто цілитися, якщо постріл відбувається одночасно з початком падіння яблука?

Задача для допитливих

- 3.20.** Два снаряди, випущені під різними кутами до горизонту з однієї гармати, влучили в одну точку. Відстань від гармати до цієї точки вдвічі менша, ніж максимальна дальність стрільби даної гармати. У скільки разів відрізняються висоти верхніх точок двох траекторій?

4. РІВНОМІРНИЙ РУХ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПО КОЛУ

1-й рівень складності

- 4.1.** Чому дорівнює період обертання годинникової стрілки? хвилинної? секундної?
- 4.2.** Який приблизно період обертання Землі навколо Сонця?
- 4.3.** Період обертання тіла 0,25 с. Чому дорівнює обертова частота?
- ?** **4.4.** Період обертання збільшився в 5 разів. Як змінилася обертова частота?
- ?** **4.5.** У скільки разів обертова частота хвилинної стрілки годинника більша, ніж обертова частота годинникової стрілки?
- ?** **4.6.** Як напрямлена миттєва швидкість точки під час руху її по колу?
- ?** **4.7.** Коловою орбітою навколо Землі рухається космічна станція. Як напрямлені миттєва швидкість і прискорення станції?
- ?** **4.8.** Модуль швидкості тіла залишається під час руху постійним. Чи можна стверджувати, що тіло рухається без прискорення?
- 4.9.** Чи може автомобіль рухатися гірською дорогою криволінійно без прискорення?
- 4.10.** Яку частину повного оберту здійснює за 20 с секундна стрілка?
- 4.11.** Яку частину повного оберту здійснює за 5 хв хвилинна стрілка?
- 4.12.** Ще в давнину люди помітили, що нічний небосхил з усіма зорями обертається навколо певної точки. У наш час ця точка перебуває біля зорі, яку назвали

Полярною. Яку частину повного оберту робить небо-схил за годину?



- 4.13.** Деталь, закріплена в патроні токарського верстата, робить 600 об/хв. Визначте обертову частоту та період обертання.
- 4.14.** Нейтронна зоря щохвилини здійснює 300 обертів навколо своєї осі. Визначте обертову частоту та період обертання.
- 4.15.** Під час запису інформації компакт-диск швидко обертається. Порівняйте швидкості руху точок диска, які розташовані на відстанях 1 і 2,5 см від осі обертання.
- 4.16.** Матеріальна точка рухається по колу радіусом 0,2 м зі швидкістю 0,8 м/с. Визначте модуль прискорення точки.
- 4.17.** Поїзд рухається зі швидкістю 90 км/год закругленням залізничної колії радіусом 1,25 км. Визначте модуль прискорення поїзда.

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Супутник рухається коловою орбітою на висоті 400 км навколо планети радіусом 5000 км. Визначте модулі швидкості та прискорення супутника, якщо період його обертання дорівнює 81 хв.

Дано:

$$R = 5000 \text{ км} = 5 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$h = 400 \text{ км} = 4 \cdot 10^5 \text{ м}$$

$$T = 81 \text{ хв} = 4,86 \cdot 10^3 \text{ с}$$

$$v = ?$$

$$a = ?$$

Розв'язання

Супутник рухається по колу, радіус якого дорівнює $R + h$. Швидкість руху супутника $v = \frac{2\pi(R+h)}{T}$, а його доцентральне прискорення $a = \frac{v^2}{R+h} = \frac{4\pi^2(R+h)}{T^2}$.

Перевіримо одиниці: $[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $[a] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Визначимо значення шуканих величин:

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^5)}{4,86 \cdot 10^3} = 7 \cdot 10^3 \text{ (м/с)},$$

$$a = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 5,4 \cdot 10^6}{(4,86 \cdot 10^3)^2} = 9 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Відповідь: $v = 7$ км/с, $a = 9$ м/с².

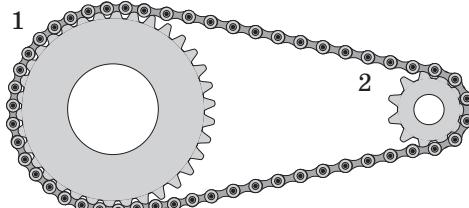
- 4.18.** Скільки обертів ручки криничного коловорота необхідно зробити, щоб підняти відро з водою з криниці завглибшки 8 м? Ланцюг, на якому висить відро, намотується на вал радіусом 10 см.
- 4.19.** Куди та з якою швидкістю має рухатися літак поблизу екватора, щоб Сонце на небі для нього «зупинилося»?
- 4.20.** Визначте модулі швидкості та прискорення точок земного екватора, обумовлені добовим обертанням Землі. Радіус Землі 6400 км.
- 4.21.** Знайдіть кутову швидкість і обертову частоту хвилинної стрілки секундоміра (див. рисунок).



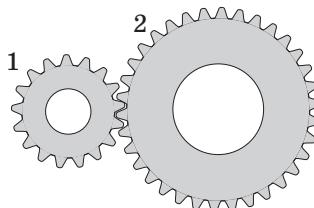
- 4.22.** У скільки разів швидкість кінця секундної стрілки перевищує швидкість кінця хвилинної стрілки годинника, якщо секундна стрілка в 1,5 разу довша*, ніж хвилинна?

* Тут і надалі довжиною стрілки ми називаємо відстань від осі обертання до кінця стрілки.

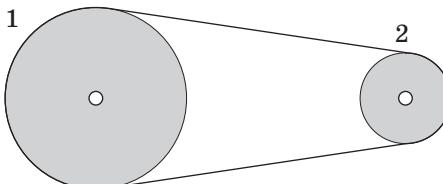
- 4.23.** За допомогою ланцюгової передачі обертальний рух передають від зубчастого колеса 1 до зубчастого колеса 2 (див. рисунок). Порівняйте обертові частоти руху коліс, якщо їх радіуси відрізняються в 3 рази.



- 4.24.** За допомогою зубчастої передачі обертальний рух передають від зубчастого колеса 1 до зубчастого колеса 2 (див. рисунок). Порівняйте обертові частоти коліс, якщо їх радіуси відрізняються у 2 рази.



- 4.25.** За допомогою ремінної передачі обертальний рух передають від колеса 1 до колеса 2 (див. рисунок). Порівняйте обертові частоти коліс, якщо їх радіуси відрізняються у 2 рази.

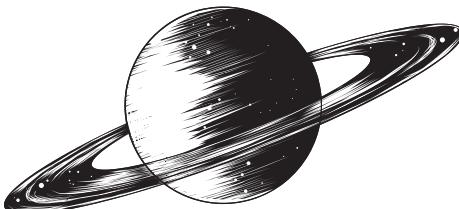


- 4.26.** Довжина хвилинної стрілки настінного годинника в 10 разів більша за довжину хвилинної стрілки наручного годинника. Порівняйте швидкості руху кінців цих стрілок.

- 4.27.** Секундна стрілка годинника на 20 % довша за хвилинну. У скільки разів швидкість руху кінця секундної стрілки більша від швидкості руху кінця хвилинної стрілки?
- 4.28.** Хвилинна стрілка годинника на 25 % довша за годинникову. У скільки разів швидкість руху кінця хвилинної стрілки більша від швидкості руху кінця годинникової стрілки?
- 4.29.** Визначте обертову частоту барабана лебідки діаметром 18 см під час піднімання вантажу зі швидкістю 0,45 м/с.
- 4.30.** Прискорення автомобіля під час руху на повороті дорівнює $0,45 \text{ м/с}^2$. Яке прискорення автомобіля, що проходить з тією самою швидкістю інший поворот, радіус якого в 1,5 разу більший?
- 4.31.** Модель автомобіля рівномірно рухається по колу радіусом 1,5 м, здійснюючи повний оберт за 30 с. Визначте швидкість і прискорення руху моделі.
- 4.32.** Супутник рухається навколо планети коловою орбітою радіусом 300 000 км з періодом 106 с. Визначте швидкість і прискорення його руху.
- 4.33.** Визначте прискорення кінця секундної стрілки баштового годинника, якщо її довжина дорівнює 1,2 м.

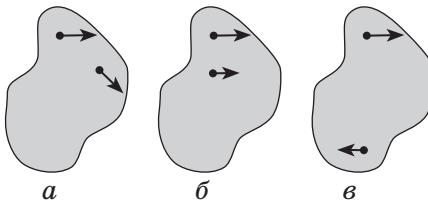
3-й рівень складності

- ?** **4.34.** Спостереження за кільцями Сатурна показали, що чим далі від планети перебуває ділянка кілець, тим менша швидкість обертання цієї ділянки. Виходячи з цього, зробіть висновок про будову кілець.



-  **4.35.** Знайдіть обумовлені добовим обертанням Землі швидкість і прискорення точок земної поверхні, що лежать на 60-й паралелі.
- 4.36.** Космонавтів тренують на перевантаження в спеціальних центрифугах. З якою частотою повинна обертатися центрифуга, щоб космонавт, який перебуває на відстані 3 м від осі обертання, рухався з прискоренням $5g$?
- 4.37.** Кулька на нитці описує коло в горизонтальній площині, роблячи один оберт за час T . Довжина нитки l , нитка утворює з вертикаллю постійний кут α . Визначте швидкість і прискорення кульки.
-  **4.38.** Кінозйомку обертання вентилятора з трьома лопатями здійснено зі швидкістю 24 кадри за секунду. На кіноекрані лопаті вентилятора здаються нерухомими, причому видно 6 лопатей. Якою була обертова частота лопатей? Що спостерігалося б на екрані, якби обертання лопатей ледь сповільнилося?
- 4.39.** На круглий олівець кладуть лінійку і проکочують олівець по столу. Які переміщення олівця і лінійки, якщо спочатку олівець перебував під поділкою «8 см», а після переміщення — під поділкою «18 см»?
-  **4.40.** Поїзд іде на південь. Які частини вагона в даний момент нерухомі? рухаються на північ?
- 4.41.** Велосипедист рухається зі швидкістю 6 м/с. З якою швидкістю відносно дороги рухаються вісь колеса велосипеда, нижня і верхня точки колеса? Колеса котяться без проковзування.
- 4.42.** Швидкості точок A і B у будь-який момент часу пов'язані між собою співвідношенням $\vec{v}_A = 2\vec{v}_B$. Чи може довжина відрізка AB залишатися незмінною?
- 4.43.** У випадках a – e на рисунку показано швидкості двох точок твердого тіла, закріпленого на осі. Де розташована

вісь обертання в кожному з випадків? Розв'яжіть задачу геометрично.



5. ПРИНЦИП ВІДНОСНОСТІ ГАЛІЛЕЯ. ЗАКОНИ ДИНАМІКИ

1-й рівень складності

- ? 5.1.** Під час якого руху судна пов'язану з ним систему відліку можна вважати інерціальною (хоча б приблизно)?
- ? 5.2.** Автомобіль рівномірно рухається кільцевою трасою. Чи є пов'язана з ним система відліку інерціальною?
- ? 5.3.** Тіло перебуває в спокої відносно інерціальної системи відліку. Як рухається це тіло відносно будь-якої іншої інерціальної системи відліку?
- ? 5.4.** Чому небезпечно перебігати вулицю перед транспортом, що рухається?
- 5.5.** Яка сила надає тілу масою 6 кг прискорення $1,5 \text{ м/с}^2$?
- 5.6.** Визначте силу, що надає прискорення 5 м/с^2 тілу масою 3 кг.
- 5.7.** Визначте масу тіла, якому сила 14 Н надає прискорення $3,5 \text{ м/с}^2$.
- 5.8.** Визначте масу тіла, якому сила 60 Н надає прискорення 4 м/с^2 .
- 5.9.** Яке прискорення надає сила 15 Н тілу масою 6 кг?
- 5.10.** Визначте прискорення тіла масою 600 г під дією сили 3 Н.

- ?** 5.11. Тенісист б'є ракеткою по м'ячу. Порівняйте модулі сил дії ракетки на м'яч і м'яча на ракетку.
- ?** 5.12. М'яч влучає в штангу футбольних воріт. На яке з тіл (м'яч або штангу) діє під час удару більша сила?
- 5.13.** Учень тримає на долоні яблуко масою 200 г. Які сили діють на яблуко? З якою силою яблуко діє на долоню?
- 5.14.** Учнівський рюкзак масою 3,5 кг лежить на столі. Які сили діють на рюкзак? З якою силою рюкзак діє на поверхню стола?

2-й рівень складності

- ?** 5.15. Каскадер, вистрибнувши на ходу з поїзда за швидкості руху 20 м/с, не зможе наздогнати поїзд. Чи не ризикує відстати від космічної станції космонавт, що вийшов у відкритий космос за швидкості руху близько 8 км/с? Поясніть свою відповідь.
- ?** 5.16. Дії яких сил на дерев'яний брускок компенсиуються, коли м'яч лежить на столі? плаває у ванні?
- ?** 5.17. Поясніть, на якому фізичному явищі ґрунтуються процес струшування води з мокрого плаща.
- ?** 5.18. Чому внаслідок струшування медичного термометра стовпчик рутуті опускається вниз?
- ?** 5.19. На рисунку показано, як відлітають іскри під час заточування інструмента на обертовому точильному камені. Про що свідчить напрям їх руху?



- ?** 5.20. Під час повороту автобуса пасажира «пригорнуло» плечем до лівої стінки салону. У який бік повертає автобус? Поясніть свою відповідь.

5.21. Одна й та сама сила надає порожньому візку прискорення $1,8 \text{ м/с}^2$, а навантаженому — прискорення $0,3 \text{ м/с}^2$. У скільки разів маса вантажу відрізняється від маси візка?

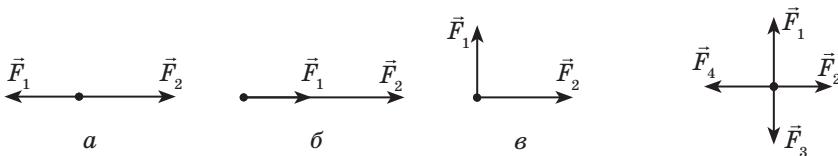
5.22. Яким може бути модуль рівнодійної сил 9 і 14 Н?

? **5.23.** Чи може модуль рівнодійної сил 3 і 8 Н дорівнювати 4 Н? 7 Н? 10 Н? 15 Н?

5.24. Знайдіть модуль прискорення матеріальної точки масою 5 кг під дією двох прикладених сил для випадків *a–c* (див. рисунок), якщо $F_1 = 6 \text{ Н}$, $F_2 = 8 \text{ Н}$.

5.25. Знайдіть модуль прискорення тіла масою 10 кг під дією чотирьох прикладених до нього сил (див. рисунок), якщо:

- $F_1 = F_3 = F_4 = 30 \text{ Н}$, $F_2 = 24 \text{ Н}$;
- $F_1 = F_4 = 40 \text{ Н}$, $F_2 = 32 \text{ Н}$, $F_3 = 34 \text{ Н}$.



До задачі 5.24

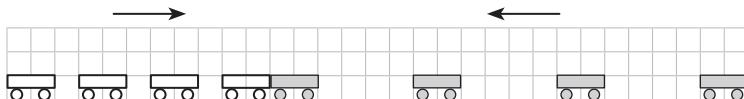
До задачі 5.25

? **5.26.** Більярдна куля, що рухається, ударяє по такій самій нерухомій кулі. Прискорення якої з цих однакових куль більше за модулем, якщо: а) удар лобовий; б) кулі розлітаються під кутом 90° ?

5.27. Тіло масою 100 г плаває у воді. З якою силою вода діє на тіло? тіло на воду?

5.28. Тренер і юний спортсмен, що стоять на роликових ковзанах, відштовхуються один від одного. Маса тренера вдвічі більша за масу спортсмена. Якого прискорення набуває спортсмен, якщо тренер рухається з прискоренням $0,8 \text{ м/с}^2$?

- 5.29.** Два візки (див. рисунок, зроблений зі стробоскопічної фотографії) після зіткнення зупинилися. Маса якого візка більша? У скільки разів?



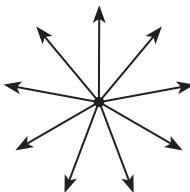
- ? 5.30.** Лижник спускається з гори. Накресліть усі сили, що діють на лижника. Яка природа цих сил?
- ? 5.31.** Чи може тіло рухатися вгору, якщо рівнодійна всіх прикладених до нього сил напрямлена вниз? Якщо так, то наведіть приклад.
- ? 5.32.** Ліфт підвішений на тросі. Порівняйте сили, що діють на ліфт з боку троса, коли порожній ліфт: а) рушає з першого поверху на восьмий; б) зменшує швидкість руху перед зупинкою на верхньому поверсі; в) рухається рівномірно; г) стоїть нерухомо.
- 5.33.** Автомобіль масою 800 кг, рушивши з місця, за 25 с набрав швидкості руху 36 км/год, після чого деякий час рухався прямолінійно рівномірно. Гальмування перед перехресям тривало 8 с. Визначте рівнодійну прикладених до автомобіля сил під час: а) розгону; б) рівномірного руху; в) гальмування.
- 5.34.** Літак масою 40 т торкається посадкової смуги за швидкості руху 180 км/год. Визначте силу опору рухові, якщо літак до зупинки пробігає по смузі 800 м.
- ? 5.35.** Відповідно до третього закону Ньютона кожній силі відповідає «сила протидії». Яка сила є «протидіючою» для сили Архімеда?
- 5.36.** Швидкість руху автомобіля масою 4 т змінюється під час прямолінійного руху за законом $v = 12 + 0,4t$ (значення величин у формулі наведено в СІ). Визначте рівнодійну всіх прикладених до автомобіля сил.
- 5.37.** Швидкість прямолінійного руху тіла під дією сили 18 Н змінюється за законом $v = 8 - 1,5t$ (значення величин у формулі наведено в СІ). Визначте масу тіла.

3-й рівень складності

- 5.38.** Координата автомобіля масою 2,5 т змінюється під час прямолінійного руху за законом $x = 800 + 15t + 0,5t^2$ (значення величин у формулі наведено в СІ). Визначте рівнодійну всіх прикладених до тіла сил.
- ? 5.39.** Терези, на яких стоїть неповна склянка з водою, зрівноважені. Чи порушиться рівновага, якщо опустити у воду палець, не торкаючись дна?
- 5.40.** Яку частину мідної кулі об'ємом 160 см³ потрібно опустити в посудину з водою, яка стоїть на вагах, щоб показання ваг збільшилися на 80 г? Кулі не торкається дна або стінок посудини, вода з посудини не витікає.
- ? 5.41.** Кінь тягне віз. За третім законом Ньютона сила, з якою кінь діє на віз, дорівнює силі, з якою віз діє на коня. Чому ж віз рухається за конем, а не навпаки?
- 5.42.** З якою силою притягує до себе Землю автомобіль, що стоїть на дорозі? Укажіть точку прикладання цієї сили. Маса автомобіля 1 т.

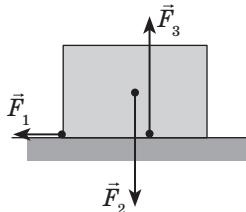
Задача для допитливих

- 5.43.** Знайдіть рівнодійну системи дев'яти однакових за модулем сил (див. рисунок), якщо всі кути між «сусіднimi» силами однакові.



ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Пасажир, що стоїть у салоні автобуса, під час аварійного гальмування може впасти вперед. Це відбувається тому, що...
 - A** ...ноги пасажира продовжують за інерцією рухатися вперед.
 - B** ...тіло пасажира продовжує за інерцією рухатися вперед.
 - C** ...на пасажира діє напрямлена вперед сила тертя.
 - D** ...на пасажира діє напрямлена вперед сила пружності.
2. На полу ліфта стоїть валіза масою 12 кг. Виберіть правильне твердження.
 - A** Якщо ліфт нерухомий, сила реакції підлоги більша ніж 120 Н.
 - B** Якщо ліфт рушає з нижнього поверху, сила реакції підлоги більша ніж 120 Н.
 - C** Якщо ліфт рушає з верхнього поверху, сила реакції підлоги більша ніж 120 Н.
 - D** Чим більше прискорення руху ліфта, тим більша сила тяжіння діє на валізу.
3. На рисунку зображено брускок, що рухається столом після поштовху. Виберіть правильне твердження.



- A** Рівнодійна сил \vec{F}_2 і \vec{F}_3 напрямлена вгору.
 - B** Рівнодійна всіх трьох сил дорівнює нулю.
 - C** Напрями швидкості руху та прискорення бруска протилежні.
 - D** Брускок рухається в напрямі рівнодійної всіх сил.
4. Хокейст завдає удару ключкою по шайбі. Ключка та шайба діють одна на одну з силами відповідно \vec{F}_1 і \vec{F}_2 . Сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 ...
 - A** ...напрямлені протилежно одна до одної.
 - B** ...мають різну природу.
 - C** ...відрізняються за модулями.
 - D** ...напрямлені під гострим кутом одна до одної.

5. Тіло масою 8,5 кг рухається під дією двох перпендикулярних сил 30 і 16 Н із прискоренням:
- A** 1,6 м/с² **B** 4,0 м/с² **C** 5,4 м/с² **D** 6,0 м/с²
6. Швидкість руху автомобіля масою 4,8 т змінюється під час прямолінійного руху за законом $v = 12 + 0,25t$ (значення величин у формулі наведено в СІ). Рівнодійна прикладених до автомобіля сил дорівнює:
- A** 0,6 кН **B** 1,2 кН **C** 2,4 кН **D** 4,8 кН

6. ГРАВІТАЦІЙНА ВЗАЄМОДІЯ. ВАГА ТА НЕВАГОМІСТЬ. ПЕРША КОСМІЧНА ШВИДКІСТЬ

1-й рівень складності

- ?** 6.1. Як рухалися б планети, якби сила тяжіння Сонця раптово зникла?
- ?** 6.2. Який фізичний зміст гравітаційної сталої?
- ?** 6.3. Як зміниться сила притягання між двома однорідними кулями, якщо відстань між їх центрами зменшити в 3 рази? збільшити в 5 разів?
- 6.4.** Чому дорівнює сила гравітаційної взаємодії між двома одинаковими більярдними кулями в момент зіткнення? Маса кожної кулі 200 г, діаметр 4 см.
- 6.5.** Оцініть, з якою силою притягаються дві людини масою 60 кг кожна, коли відстань між ними дорівнює 1 м.
- 6.6.** Під час виходу з порту супертанкер масою 150 000 т пройшов на відстані 400 м від авіаносця масою 100 000 т. Оцініть силу гравітаційної взаємодії між суднами.
- ?** 6.7. З яким приблизно прискоренням рухаються штучні супутники Землі по низьких навколоzemних орбітах?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Космічна експедиція відкрила планету, маса якої в 5 разів більша, ніж маса Землі. Визначте радіус цієї планети, якщо прискорення вільного падіння на її поверхні таке саме, як на Землі.

Дано:

$$M = 5M_3$$

$$a = g$$

$$R_3 = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$R = ?$$

Розв'язання

Як випливає з другого закону Ньютона й закону всесвітнього тяжіння,

$$mg = G \frac{M_3 m}{R_3^2}. \text{ Звідси } g = G \frac{M_3}{R_3^2}. \text{ Ана-}$$

$$\text{логічно отримуємо } a = G \frac{M}{R^2} \text{ (тут } a —$$

прискорення вільного падіння на поверхні відкритої планети).

Прирівнявши вирази для a і g , отримаємо $R = R_3 \sqrt{\frac{M}{M_3}}$.

$$\text{Перевіримо одиниці: } [R] = \text{м} \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{кг}}} = \text{м}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \sqrt{5} \approx 14 \cdot 10^6 \text{ (м).}$$

Відповідь: $R \approx 14\,000$ км.

- ?** **6.8.** Коли на вас діє більша сила тяжіння з боку Сонця — удень чи вночі? Орбіту Землі навколо Сонця вважайте коловою.
- 6.9.** У скільки разів зменшилася сила притягання космонавта до Землі, коли космічний корабель, стартувавши із Землі, піднявся на висоту, що дорівнює трьом радіусам Землі?
- 6.10.** На якій висоті над поверхнею Землі сила земного тяжіння в 4 рази менша від сили тяжіння поблизу поверхні?
- 6.11.** Яке прискорення вільного падіння на планеті, радіус якої в 3 рази більший, ніж радіус Землі,

а маса — у 24 рази більша, ніж маса Землі? Уважайте, що планета не обертається.

- 6.12.** Визначте прискорення вільного падіння на планеті, радіус якої вдвічі менший від радіуса Землі, а маса — у 10 разів менша від маси Землі. Уважайте, що планета не обертається.
- ? 6.13.** Відповідно до третього закону Ньютона кожній силі відповідає «сила протидії». Розглянемо книжку, що лежить на столі. Які сили є «протидіючими» для:
а) сили тяжіння, що діє на книжку; б) ваги книжки?
- 6.14.** Визначте вагу бензину в залізничній цистерні місткістю 85 м^3 .
- 6.15.** Який об'єм алюмінієвого бруска, якщо поблизу поверхні Землі на нього діє сила тяжіння 540 Н ?
- 6.16.** На мідну кулю об'ємом 200 см^3 діє сила тяжіння 12 Н . Суцільна ця куля чи порожниста?
- ? 6.17.** Чи доводилося вам відчувати стан невагомості? відчувати перевантаження? Якщо доводилося, то коли саме?
- ? 6.18.** Як змінюється вага космонавта під час вертикального старту? під час вертикальної м'якої посадки?
- 6.19.** Ракета стартує з Місяця вертикально вгору з прискоренням 20 м/с^2 . Скільки важить під час старту космонавт масою 90 кг ?
- 6.20.** З яким прискоренням стартує із Землі вертикально вгору ракета, якщо космонавт зазнає чотириразового перевантаження?
- 6.21.** Швидкісний ліфт у хмарочосі розганяється під час піднімання протягом 6 с до швидкості 6 м/с , потім рухається рівномірно, а перед зупинкою зменшує швидкість протягом 3 с . Знайдіть вагу валізи масою 10 кг , що перебуває в ліфті, на кожному з етапів руху.
- 6.22.** Мотузка витримує підвішений нерухомий вантаж масою до 15 кг . З яким прискоренням можна піднімати на ній вантаж масою 10 кг ?

- ?** 6.23. У які моменти перебуває в стані невагомості м'яч, якщо його підкидають: а) на Місяці; б) на Землі?
- ?** 6.24. Чи діє на космічній станції в умовах невагомості сила Архімеда?
- ?** 6.25. Чому космічні кораблі зазвичай запускають із заходу на схід?
- 6.26. Визначте швидкість штучного супутника, що рухається коловою орбітою на висоті 20 000 км над поверхнею Землі.
- 6.27. У скільки разів відрізняються одна від одної швидкості штучних супутників Землі, що рухаються коловими орбітами на висотах 600 км і 21 600 км?

3-й рівень складності

- 6.28. Скориставшись відомими значеннями радіуса Землі і прискорення вільного падіння біля її поверхні, знайдіть середню густину Землі.
- 6.29. Відстань між центрами планети та її супутника дорівнює 600 000 км. Маса супутника у 25 разів менша, ніж маса планети. У якій точці сили тяжіння до цих небесних тіл, що діють на космічний корабель, компенсують одна одну?
- 6.30. Космонавт перебуває на поверхні Місяці. До якого небесного тіла він притягається сильніше — до Землі чи до Сонця? У скільки разів сильніше?
- 6.31. Оцініть, у скільки разів відрізняються сили притягання вашого тіла до Землі й до Сонця.
- 6.32. Опуклий міст має форму дуги кола радіусом 100 м. Автомобіль масою 1 т рухається мостом зі швидкістю 54 км/год. а) Яка вага автомобіля в момент проходження середини моста? б) З якою швидкістю має рухатися автомобіль, щоб у середині моста водій перебував у стані невагомості?

- 6.33.** Вантаж розгойдується на нитці завдовжки 1 м. Яка вага вантажу в нижній точці його траєкторії? Маса вантажу 1 кг, його швидкість у нижній точці 2 м/с.
- 6.34.** Літак виходить із піке, рухаючись у вертикальній площині по дузі кола радіусом 1 км. Яка швидкість літака в нижній точці траєкторії, якщо льотчик у цій точці відчуває п'ятикратне перевантаження?
- 6.35.** Кульку масою 500 г обертають у вертикальній площині на шнурі завдовжки 1,5 м. Нижню точку траєкторії кулька проходить із швидкістю 10 м/с, а верхню — із швидкістю 6 м/с. Знайдіть силу натягу шнура, коли кулька перебуває в цих точках.
- 6.36.** У пральніх машинах для віджимання білизни використовують спеціальні центрифуги. Якого найбільшого перевантаження може зазнати під час віджимання білизна, якщо центрифуга робить 10 обертів у секунду, а її радіус 25 см?
- 6.37.** Чому дорівнює перша космічна швидкість для карликової планети, радіус якої в 6 разів менший від радіуса Землі, а маса в 2500 разів менша від маси Землі?
- 6.38.** Прискорення вільного падіння на Венері становить 0,9 земного, а радіус Венери дорівнює 0,95 радіуса Землі. Визначте першу космічну швидкість для Венери.
- 6.39.** Ракеті надали швидкості 9 км/с, направленої вертикально вгору. Чи стане вона супутником Землі?
- 6.40.** Чи можна запустити штучний супутник Землі такою орбітою, щоб вінувесь час перебував над вашим населеним пунктом? над яким-небудь іншим населеним пунктом?
- 6.41.** Штучний супутник рухається коловою орбітою навколо Землі зі швидкістю 5 км/с. Після маневру він рухається навколо Землі іншою коловою орбітою зі швидкістю 4 км/с. У скільки разів змінилися в результаті маневру радіус орбіти та період обертання?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Якщо збільшити відстань між двома матеріальними точками в 4 рази, то сила гравітаційної взаємодії між ними зменшиться:
A у 2 рази **B** у 4 рази **C** у 8 разів **D** у 16 разів
2. Радіус малої планети в 5 разів менший від радіуса Землі, а маса цієї планети в 200 разів менша від маси Землі. Прискорення вільного падіння поблизу поверхні малої планети становить приблизно:
A $0,05 \text{ м/с}^2$ **B** $0,4 \text{ м/с}^2$ **C** $1,2 \text{ м/с}^2$ **D** 5 м/с^2
3. Сила гравітаційної взаємодії двох куль масами 16 і 225 кг, відстань між якими становить 1,5 м, дорівнює:
A $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$ **B** $1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ **C** $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ **D** $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$
4. Перша космічна швидкість для малої планети (див. завдання 2) менша від першої космічної швидкості для Землі:
A у 6,3 разу **B** у 8 разів **C** у 14 разів **D** у 40 разів
5. Вага вантажу масою 15 кг, який рухається з прискоренням 4 м/с^2 , напрямленим угору, становить:
A 60 Н **B** 90 Н **C** 150 Н **D** 210 Н
6. Автомобіль масою 2 т проходить опуклий міст, рухаючись по коловій траекторії радіусом 200 м зі швидкістю 72 км/год. У верхній точці траекторії автомобіль тисне на міст із силою:
A 4 кН **B** 16 кН **C** 20 кН **D** 24 кН

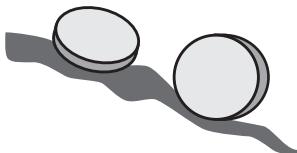
7. СИЛИ ТЕРТЯ ТА ОПОРУ СЕРЕДОВИЩА

1-й рівень складності

- ? 7.1.** Чи діє сила тертя на автомобіль, що стоїть на горизонтальній дорозі? на схилі пагорба?
- ? 7.2.** Чи може сила тертя розганяті тіло?
- ? 7.3.** У яких випадках діє сила тертя спокою: а) камінь лежить на схилі; б) автомобіль рушає з місця; в) люстра висить на шурупах, які вкручено в стелю?

? **7.4.** Яка природа сили, що надає прискорення автомобілю під час руху на поворотах?

? **7.5.** З рюкзака туриста, що стоїть на схилі пагорба, випали дві однакові банки консервів (див. рисунок). Чому за однією з банок туристу треба було лише нагнутися, а іншу довелося наздоганяти? Як змінилася б ситуація, якби схил був покритий снігом, що тільки-но випав?



? **7.6.** З якою метою механізм дверного замка змащують мастилом? тротуари взимку посипають піском?

? **7.7.** Витягнений на берег човен важко зрушити з місця, але якщо цей самий човен плаває на поверхні води, його може зрушити з місця навіть дитина. Яка особливість «рідкого» тертя виявляється в цьому випадку?

7.8. Дерев'яний бруск масою 400 г рухається горизонтальною поверхнею під дією горизонтальної сили. Визначте силу тертя, що діє на цей бруск, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,3.

7.9. Бруск масою 1,5 кг лежить на столі. Коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,4. Яку горизонтальну силу слід прикласти до бруска, щоб зрушити його з місця?

7.10. На санки масою 9 кг, які ковзають горизонтальною дорогою, діє сила тертя 9 Н. Визначте коефіцієнт тертя між полозами та дорогою.

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

За допомогою пружини дерев'яний бруск масою 240 г тягнуть прямолінійно рівномірно горизонтальною поверхнею стола (див. рисунок). Коефіцієнт тертя між бруском і столом

дорівнює 0,25. Визначте видовження пружини жорсткістю 40 Н/м, якщо під час руху пружина горизонтальна.



Розв'язання. Оскільки брускок рухається рівномірно, силу пружності пружини компенсує сила тертя ковзання між бруском і поверхнею стола ($F_{\text{пр}} = F_{\text{тер}}$), а силу тяжіння — сила реакції опори ($mg = N$). Оскільки $F_{\text{пр}} = kx$ і $F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg$, отримуємо $kx = \mu mg$. Звідси $x = \frac{\mu mg}{k}$.

$$\text{Перевіримо одиниці: } [x] = \frac{\text{КГ} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot \text{М}}{\text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$x = \frac{0,25 \cdot 0,24 \cdot 10}{40} = 0,015 \text{ (м)}.$$

Відповідь: $x = 1,5$ см.

- ? 7.11. Чи має сенс виготовляти з дуже легких сплавів пасажирські й вантажні вагони? тепловози?
- ? 7.12. Автомобіль рухається горизонтальною дорогою. Як напрямлена сила тертя, що діє на ящик у кузові під час: а) розгону; б) гальмування; в) рівномірного руху по прямій ділянці дороги; г) повороту праворуч? В усіх випадках ящик не ковзає по кузову і не дотикається до його бортів.
- ? 7.13. Чому мокрий папір легко рветься?
- ? 7.14. Чому вершкове масло легше різати туго натягнутою ниткою, а не ножем?
- 7.15. Парашутист масою 70 кг опускається зі сталою швидкістю. Визначте силу опору повітря, яка діє на парашут.
- ♂ 7.16. Брускок масою 2 кг лежить на столі, коефіцієнт тертя дорівнює 0,3. Яка сила тертя діє на брускок, якщо його тягнути у горизонтальному напрямі з силою: а) 4 Н; б) 8 Н; в) 12 Н?

- 7.17.** Намагаючись посунути по столу довідник масою 4 кг, учень прикладає до нього горизонтальну силу \vec{F} , поступово збільшуючи її. Як залежить сила тертя, що діє на довідник із боку столу, від модуля F прикладеної сили? Накресліть графік цієї залежності, якщо коефіцієнт тертя між довідником і столом 0,4.
-  **7.18.** У ході лабораторної роботи учень рівномірно тягне по столу брусков із вантажами загальною масою 300 г, прикладаючи за допомогою динамометра горизонтальну силу. Знайдіть коефіцієнт тертя між бруском і столом, якщо динамометр показує 1 Н.
- 7.19.** Брусков масою 1,6 кг рівномірно тягнуть по столу за допомогою пружини жорсткістю 40 Н/м. Яке видовження пружини, якщо коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,3?
- 7.20.** З яким максимальним прискоренням може рухатися горизонтальною дорогою автомобіль, якщо коефіцієнт тертя між його шинами й дорогою дорівнює 0,35?
- 7.21.** До якої максимальної швидкості може розігнатися автомобіль за 5 с, якщо коефіцієнт тертя між шинами й дорогою дорівнює 0,5?
- 7.22.** Запряжка собак під час руху саней по снігу може діяти з максимальною силою 550 Н. Визначте масу саней із вантажем, які може переміщати запряжка, якщо коефіцієнт тертя між полозами саней і снігом дорівнює 0,11.
-  **7.23.*** Відпустіть одночасно з однієї висоти важку книжку і аркуш паперу. Чому книжка падає швидше? Що впаде швидше, якщо на початку падіння аркуш паперу був під книжкою? на книжці? Чи має значення, які розміри аркуша паперу? Перевірте свої відповіді на досліді.
-  **7.24.** Якої форми слід надати тілу, щоб сила опору під час руху в повітрі була якнайбільшою? Для чого використовують тіло такої форми?

* У задачах 7.23–7.25 слід урахувати силу опору повітря.

- ? 7.25. Чому судна на повітряній подушці або підводних крилах розвивають набагато більшу швидкість, ніж судна, що глибоко сидять у воді?

3-й рівень складності

- ? 7.26. У вантажного автомобіля ведучими є задні колеса. У якому місці кузова слід розмістити важкий вантаж, щоб автомобіль розвивав якнайбільшу силу тяги?
- ? 7.27. Мотогонщик на старті піднімає свій мотоцикл «дібки». Навіщо?
- ? 7.28. Чи правильне твердження: під час перетягання каната перемагає той, хто прикладає до нього більшу силу?
- ? 7.29. Відповідно до третього закону Ньютона кожній силі відповідає «сила протидії». Які сили є «протидіючими» для: а) сили тяги автомобіля; б) сили, що зупиняє автомобіль під час гальмування?
- 7.30. На столі лежить стопка з восьми однакових підручників. У якому випадку треба прикласти більшу силу: щоб зрушити чотири верхніх підручники разом або щоб витягти третій зверху підручник (притримуючи інші) горизонтальною силою?
- ? 7.31. Яку природу має вага олівця (див. рисунок)?



До задач 7.31, 7.32

- 7.32. З якою силою потрібно стиснути двома пальцями олівець (див. рисунок), щоб утримати його? Маса олівця 10 г, коефіцієнт тертя між олівцем і пальцями 0,25.
- 7.33. Шайба, якій надали початкової швидкості 36 км/год, ковзає льодовим майданчиком. До зупинки вона проходить 40 м. Визначте коефіцієнт тертя між шайбою та поверхнею льоду.

- 7.34.** Під час аварійного гальмування на швидкості 72 км/год водій так різко натиснув на гальмо, що обертання коліс припинилося. Коефіцієнт тертя між гумою та асфальтом дорівнює 0,4. Скільки часу триватиме гальмування? Яким буде гальмівний шлях?
- 7.35.** Якої швидкості ні в якому разі не слід перевищувати водію під час туману, коли видимість лише 15 м, якщо коефіцієнт тертя між гумою та асфальтом дорівнює 0,3?
- 7.36.** Автомобіль, рушаючи з місця, набрав швидкості 54 км/год за 10 с. Проте незабаром йому довелося різко загальмувати, так що гальмівний шлях виявився рівним 32 м. Ящик, що стояв посеред кузова, під час розгону був нерухомим відносно автомобіля, а під час гальмування «поїхав» уперед. Який висновок можна зробити на підставі цих даних про значення коефіцієнта тертя між ящиком і днищем кузова?
- 7.37.** Якою має бути маса тепловоза, щоб забезпечити рівномірний рух по горизонтальному шляху поїзда масою 3000 т? Коефіцієнт тертя спокою коліс об рейки дорівнює 0,2, а сила опору рухові дорівнює 0,8 % від ваги поїзда.
- 7.38.** Автомобіль масою 2 т розвиває силу тяги 3,5 кН. Який коефіцієнт тертя ведучих коліс об дорогу, якщо на них припадає половина ваги автомобіля?
- 7.39.** Автомобіль рухається по трасі зі швидкістю 90 км/год. Яким може бути радіус його повороту, якщо коефіцієнт тертя між шинами та дорогою дорівнює 0,5? Поплотно дороги на повороті горизонтальне.
- ? 7.40.** Чому під час гальмування автомобіля припинення обертання коліс (таке припинення обертання називають блокуванням) є небезпечним? Чи є таким самим небезпечним припинення обертання коліс для трамвая?
- ? 7.41.** Камінь підкинули вертикально вгору. У який момент його прискорення максимальне за модулем? мінімальне? дорівнює прискоренню вільного падіння? Урахуйте силу опору повітря.

8. РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ*

Алгоритм розв'язування задач динаміки

1. Записати умову задачі, виразити чисельні значення в СІ.
2. Зробити схематичний рисунок, показавши на ньому всі діючі на тіло сили і напрям прискорення.
3. Записати другий закон Ньютона у векторній формі.
4. Вибрати зручні осі координат і записати другий закон Ньютона в проекціях на ці осі.
5. Записати додаткові рівняння (наприклад, формули для сил або рівняння кінематики).
6. Розв'язати отриману систему рівнянь у загальному вигляді.
7. Проаналізувати отриманий результат (перевірити однини, розглянути окремі або граничні випадки).
8. Провести чисельні розрахунки, оцінити правдоподібність результатів.
9. Записати відповідь.

Якщо розглядається рух системи тіл, пункти 3 і 4 слід виконати для кожного з тіл, а в пункті 5 — урахувати кінематичні зв'язки.

1-й рівень складності

- 8.1. Яке прискорення автомобіля масою 1 т на горизонтальній дорозі під дією сили тяги 1,8 кН, якщо сила опору рухові дорівнює 300 Н?
- 8.2. Автомобіль масою 4 т рушає з місця з прискоренням 1 м/с^2 . Яка сила тяги, якщо сила опору рухові дорівнює 0,05 від сили нормальної реакції опори?
- 8.3. Автобус масою 10 т, рушаючи з місця, розвиває силу тяги 9 кН. Через який час він розженеться до швидкості 50 км/год, якщо сила опору рухові дорівнює 0,06 від сили нормальної реакції опори?
- ? 8.4. Чому утримувати тіло на похилій площині легше, ніж витягати нагору?

* Розв'язуючи задачі цього розділу, нитки вважайте нерозтяжними; марами ниток і блоків, а також тертям в осіах блоків можна знектувати.

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Вантаж 1 масою 1 кг опускається з прискоренням 1 м/с² (рис. 1). Визначте коефіцієнт тертя між бруском 2 і столом, якщо маса бруска дорівнює 2 кг.

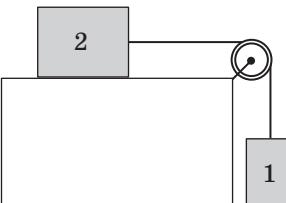


Рис. 1

Розв'язання. Скористаємося алгоритмом розв'язування задач динаміки. Відповідно до нього покажемо на рис. 2 всі сили та напрям прискорення кожного з тіл.

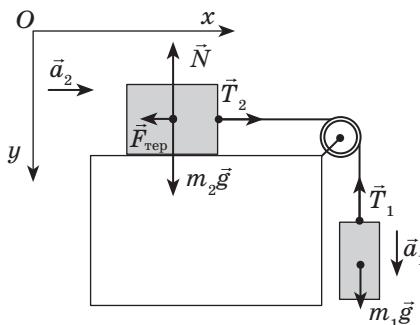


Рис. 2

Другий закон динаміки для тіл 1 і 2 має вигляд:

$$m_1 \vec{a}_1 = m_1 \vec{g} + \vec{T}_1, \quad m_2 \vec{a}_2 = m_2 \vec{g} + \vec{N} + \vec{T}_2 + \vec{F}_{\text{тер}}.$$

Напишемо ці рівняння в проекціях на осі координат Ox , Oy . Урахуємо, що з нерозтяжності нитки випливає співвідношення $a_1 = a_2 = a$. З нехтовою малої маси нитки та блока, а також відсутності тертя в осі блока випливає, що $T_1 = T_2 = T$. Отже, з урахуванням формули для сили тертя ковзання отримуємо:

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T, \\ m_2 a = T - F_{\text{тер}}, \\ m_2 g - N = 0, \\ F_{\text{тер}} = \mu N. \end{cases}$$

Додавши два перші рівняння, дістанемо $(m_1 + m_2)a = m_1g - F_{\text{теп}}$, звідки

$$\mu = \frac{F_{\text{теп}}}{N} = \frac{m_1g - (m_1 + m_2)a}{m_2g}.$$

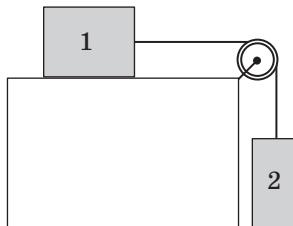
Перевіривши одиниці величин, отримуємо $[\mu] = 1$.

Визначимо числове значення шуканої величини:

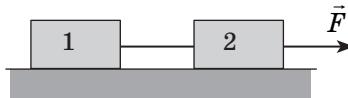
$$\mu = \frac{1 \cdot 10 - 3 \cdot 1}{2 \cdot 10} = 0,35.$$

Відповідь: $\mu = 0,35$.

- 8.5.** Яка маса бруска 1 (див. рисунок), якщо вантаж 2 має масу 200 г опускається з прискоренням 0,3 м/с²? Кофіцієнт тертя між бруском 1 і столом дорівнює 0,3.



- 8.6.** По столу тягнуть низку з двох вантажів, прикладаючи силу $F = 10$ Н (див. рисунок). Маси вантажів $m_1 = 800$ г і $m_2 = 1,2$ кг, кофіцієнти тертя об стіл відповідно $\mu_1 = 0,4$ і $\mu_2 = 0,2$. Знайдіть силу натягу нитки.



До задач 8.6, 8.7

- 8.7.** На гладенькому горизонтальному столі лежать два бруски, зв'язані ниткою. Якщо правий брускок тягти в горизонтальному напрямі із силою 24 Н (див. рисунок), то сила натягу нитки дорівнює 6 Н. Якою стане сила натягу нитки, якщо бруски поміняті місцями?



8.8. До нитки, перекинутої через нерухомий блок, підвішенні вантажі масами 300 і 600 г. З якими прискореннями рухаються вантажі? Визначте силу натягу нитки.

8.9. На одному кінці нитки, перекинутої через нерухомий блок, підвішено три тягарці, на другому — два. Усі тягарці одинакові. З яким прискоренням рухаються тягарці?

8.10. На нитці, перекинутій через блок, підвішенні два вантажі масами по 500 г. Який додатковий вантаж треба покласти на один із них, щоб система почала рухатися з прискоренням $50 \text{ см}/\text{s}^2$?

8.11. З яким прискоренням з'їжджає хлопчик (див. рисунок) слизьким обмерзлим схилом, якщо довжина схилу 13 м, а його висота 5 м?



8.12. Хлопчик (див. попередню задачу) потрапляє на ділянку схилу, посыпану піском. Яке прискорення хлопчика на цій ділянці, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,3?

8.13. Мішки з картоплею спускають у льох похилими дошками, оббитими сталлю. Коефіцієнт тертя між стальовим листом і мішковиною дорівнює 0,25. Під яким кутом до горизонту потрібно розташувати дошки, щоб мішки з'їджали рівномірно?

8.14. Яку силу треба прикласти до ящика масою 50 кг, щоб витягти його нагору схилом завдовжки 20 м і заввишки 6 м? Сила напрямлена вздовж схилу, тертя відсутнє.

8.15. Вантаж масою 30 кг розташований на похилій площині з кутом нахилу 20° . Яку силу треба прикласти до вантажу уздовж схилу, щоб: а) витягти вантаж наго-

ру; б) стягнути вантаж униз? Коефіцієнт тертя вантажу об площину дорівнює 0,4.

- 8.16.** Тіло рівномірно витягають нагору похилою площею з кутом нахилу 45° , прикладаючи силу в напрямі руху. За якого коефіцієнта тертя прикладена сила перевищує силу тяжіння?

- 8.17.** Автомобіль масою 1 т рухається в гору з прискоренням $0,4 \text{ м/с}^2$. Знайдіть силу тяги, якщо кут нахилу дороги до горизонту дорівнює 3° , а сила опору рухові дорівнює 0,04 від сили реакції опори.

3-й рівень складності

- 8.18.** Якщо один край метрової лінійки, що лежить на столі, підняти на 25 см, дерев'яний брусок зісковзує по ній із постійною швидкістю. З яким прискоренням буде рухатися брусок, якщо висоту верхнього краю лінійки збільшити: а) удвічі; б) утрічі?
- 8.19.** Брусок штовхнули нагору похилою площею, що складає кут 30° з горизонтом. Через 2 с брусок зупинився, а ще через 4 с — повернувся у вихідну точку. Чому дорівнює коефіцієнт тертя?
- 8.20.** Щоб витягти вантаж нагору похилою площею з кутом нахилу 15° , треба прикласти силу 120 Н, а щоб стягнути вниз, треба прикласти силу 15 Н. Знайдіть коефіцієнт тертя вантажу об площину, якщо в обох випадках сила напрямлена вздовж похилої площини.
- 8.21.** Хлопчик тягне горизонтальною дорогою санчата масою 10 кг, прикладаючи силу 15 Н під кутом 45° до горизонту. Визначте прискорення санчат, якщо коефіцієнт тертя між їхніми положами та дорогою дорівнює 0,1.



8.22. Кулька на нитці завдовжки 2 м рівномірно рухається по колу радіусом 10 см у горизонтальній площині. Визначте період руху.

8.23. Під яким кутом до горизонту слід нахилити дорожнє полотно на повороті радіусом 60 м, щоб автомобіль міг навіть на мокрій або обмерзлій дорозі пройти цей поворот на швидкості 90 км/год?

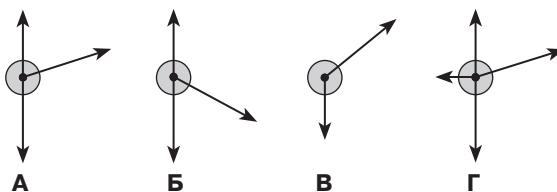
8.24. На заокругленні радіусом 50 м полотно велотреку нахилене під кутом 30° до горизонту. На яку швидкість їзди розрахована ця ділянка велотреку?

Задача для допитливих

8.25. На нитці висить кулька 1, до якої за допомогою пружини підвішена така ж кулька 2. З якими прискореннями почнуть рухатися кульки відразу після перепалювання нитки?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Прискорення руху всіх показаних на рисунках тіл напрямлені горизонтально праворуч. На якому з рисунків неправильно показано сили, що діють на тіло?



2. По гладенькому столу тягнуть низку з двох вантажів, прикладаючи горизонтальну силу 24 Н (див. рисунок). Сила натягу нитки між вантажами дорівнює:

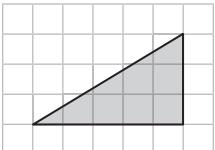
A 6 Н

B 8 Н

В 16 Н

Г 18 Н

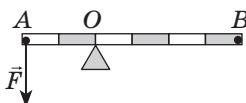


3. До нитки, перекинутої через нерухомий блок, підвішенні вантажі масами 200 і 600 г. Вони рухаються з прискоренням:
A $2,5 \text{ м/с}^2$ **B** $3,3 \text{ м/с}^2$ **C** $5,0 \text{ м/с}^2$ **D** $7,5 \text{ м/с}^2$
4. Тіло з'їжджає з похилої площини (див. рисунок) без прискорення, якщо коефіцієнт тертя між ним і площиною дорівнює приблизно:
A 0,4 **B** 0,5 **C** 0,6 **D** 0,7
- 
5. Верхній кінець дошки завдовжки 5 м закріпили на 3 м вище за нижній її кінець. Якщо коефіцієнт тертя між дошкою та бруском дорівнює 0,4, то брусок зісковзуватиме по дошці з прискоренням:
A $1,6 \text{ м/с}^2$ **B** $2,0 \text{ м/с}^2$ **C** $2,4 \text{ м/с}^2$ **D** $2,8 \text{ м/с}^2$
6. Верхній кінець дошки завдовжки 5 м закріпили на 3 м вище за нижній її кінець. Коефіцієнт тертя між дошкою та бруском масою 5 кг дорівнює 0,4. Щоб рухати брусок із постійною швидкістю вгору по дошці, до нього треба прикласти в напрямі руху силу:
A 16 Н **B** 30 Н **C** 46 Н **D** 60 Н

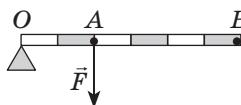
9. РІВНОВАГА ТІЛ. ЦЕНТР ТЯЖІННЯ. СТИКІСТЬ РІВНОВАГИ

1-й рівень складності

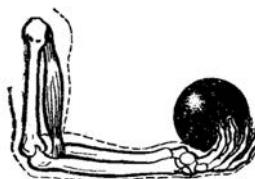
- 9.1.** На менше плече важеля діє сила 180 Н, на більше — 20 Н. Довжина меншого плеча 6 см. Визначте довжину більшого плеча, якщо важіль урівноважено.
- 9.2.** У точці A до легкого важеля прикладено силу 9 Н. Яку вертикальну силу треба прикласти до важеля в точці B (див. рисунок), щоб він залишався в рівновазі?



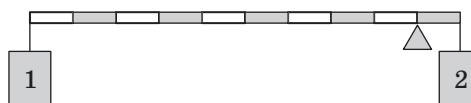
- 9.3.** У точці A (див. рисунок) до легкого важеля прикладено силу 6 Н . Яку вертикальну силу треба прикласти до важеля в точці B , щоб він залишався в рівновазі?



- 9.4.** Яку силу розвиває біцепс, коли людина тримає у висячому положенні вантаж масою 5 кг (див. рисунок)? Відстань від ліктьового суглоба до кисті руки дорівнює 30 см , а до точки прикріплення біцепса — $2,5 \text{ см}$.



- 9.5.** Маса вантажу 2 (див. рисунок) дорівнює 9 кг . Яка маса вантажу 1 , якщо важіль перебуває в рівновазі? З якою силою важіль тисне на опору? Масою самого важеля можна знехтувати.



- 9.6.** Щоб підняти один кінець дошки, що лежить на землі, необхідно прикласти силу, не меншу від 120 Н . Визначте масу дошки.
- ?** **9.7.** Де розташований центр тяжіння однорідного стрижня? труби? обруча?
- ?** **9.8.** Які особливості конструкції забезпечують високу стійкість гоночного автомобіля?
- ?** **9.9.** Чому олівець ніколи не плаває в широкій посудині вертикально?
- ?** **9.10.** У чому перевага двокорпусних суден (катамаранів) перед звичайними суднами?
- ?** **9.11.** Для чого в нижній частині корабельного трюму розміщають важкий баласт?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Невагомі стрижні AB і BC шарнірно з'єднані між собою і зі стіною (рис. 1). Знайдіть сили пружності в стрижнях, якщо $\alpha = 60^\circ$, а маса підвішеного в точці B тягарця дорівнює 5 кг.

Дано:

$$\alpha = 60^\circ$$

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$F_1 = ?$$

$$F_2 = ?$$

Розв'язання

На рис. 2 показано сили, що діють з боку стрижнів і нитки на шарнір B (під дією підвішеного тягарця стрижень AB розтягується, а BC — стискається).

Умова рівноваги шарніра має вигляд $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0$. У проекціях на осі координат $-F_1 + F_2 \cos \alpha = 0$, $F_2 \sin \alpha - mg = 0$. Звідси знаходимо $F_1 = mg \operatorname{ctg} \alpha$, $F_2 = \frac{mg}{\sin \alpha}$.

Перевіримо одиниці: $[F_1] = [F_2] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$.

Визначимо значення шуканих величин:

$$F_1 = 5 \cdot 10 \operatorname{ctg} 60^\circ = 29 \text{ (Н)}, \quad F_2 = \frac{5 \cdot 10}{\sin 60^\circ} = 58 \text{ (Н)}.$$

Відповідь: $F_1 = 29 \text{ Н}$, $F_2 = 58 \text{ Н}$.

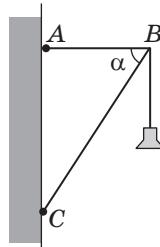


Рис. 1

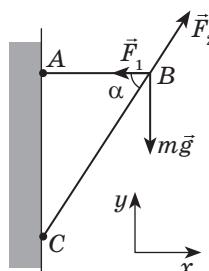


Рис. 2

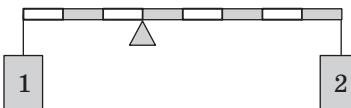
- ?** 9.12. Канат, на якому виступає канатоходець, має витримувати силу, що набагато перевищує вагу канатохідця. Навіщо потрібна така «перестраховка»?
- ?** 9.13. За допомогою сталевої гітарної струни можна підняти вантаж масою кілька десятків кілограмів. Чому ж під час гри на гітарі така міцна струна досить часто рветься?
- 9.14.** Які маси вантажів (див. рисунок), якщо їх загальна маса дорівнює 20 кг? Важіль перебуває в рівновазі*.



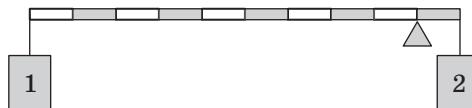
* Розв'язуючи задачі 9.14–9.16, масу важеля не враховуйте.

9.15. Яка маса кожного з вантажів (див. рисунок), якщо їх загальна маса 4,8 кг? Важіль перебуває в рівновазі.

9.16. Яка маса кожного з вантажів (див. рисунок), якщо вага одного з них більша за вагу іншого на 24 Н? Важіль перебуває в рівновазі.



До задачі 9.15

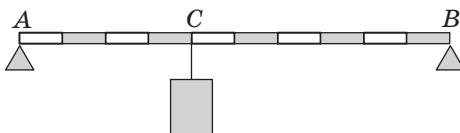


До задачі 9.16

9.17. До кінців легкого горизонтального важеля прикладено напрямлені вниз сили 27 і 18 Н. Точка опори міститься на 5 см більше до одного кінця важеля, ніж до іншого. Яка довжина важеля, якщо він перебуває в рівновазі?

9.18. Чи можна за допомогою автокрана, розрахованого на піднімання 2 т, без додаткових пристрій завантажити на залізничну платформу циліндричну колону масою 3 т? масою 5 т?

9.19. До легкого горизонтального стрижня (див. рисунок) підвісили вантаж масою 40 кг. Які сили тиску стрижня на опорі?



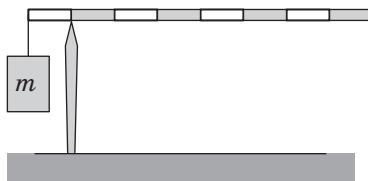
9.20. Стрижень масою 18 кг і завдовжки 1 м лежить на двох опорах. Одна з них перебуває біля лівого краю стрижня, а інша — на відстані 10 см від правого краю. З якою силою діє стрижень на кожну з опор?

9.21. Трубу завдовжки 5 м і масою 60 кг несуть двоє робітників. Один із них перебуває біля краю труби, а інший — на відстані 1 м від другого краю. З якою силою труба давить на кожного з робітників?

9.22. До однорідної балки масою 100 кг і завдовжки 3,5 м підвішений вантаж масою 70 кг на відстані 1 м від од-

ного з кінців. Балка кінцями лежить на опорах. Яка сила тиску на кожну з опор?

- 9.23.** Якою має бути маса m противаги, щоб показаний на рисунку шлагбаум легко було піднімати й опускати? Маса шлагбаума дорівнює 30 кг.



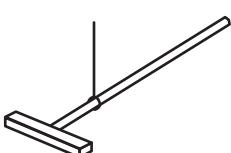
- 9.24.** Стрижень, на одному кінці якого підвішений вантаж вагою 120 Н, перебуває в рівновазі в горизонтальному положенні, якщо його підперти на відстані $1/5$ довжини стрижня від вантажу. Чому дорівнює вага стрижня?

- 9.25.** Щоб виміряти масу лінійки, на один із її кінців по-клали вантаж масою 250 г і почали висувати цей кінець за край столу. Лінійка перебувала в рівновазі доти, доки її не висунули на чверть довжини. Чому дорівнює маса лінійки? Розмірами вантажу можна знехтувати.

- ?** **9.26.** Чому високу вузьку шафу набагато легше нахилити, ніж підняти?

- ?** **9.27.** Підвішена на мотузці швабра є горизонтальною (див. рисунок). Вага якої з «половинок» буде більшою, якщо швабру розпиляти в місці підвісу?

- ?** **9.28.** Поясніть принцип дії іванця-ківанця (див. рисунок).

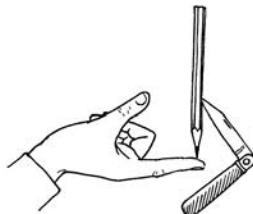
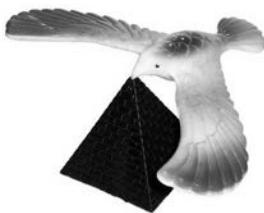


До задачі 9.27



До задачі 9.28

- ? 9.29.** Чим пояснюється стійкість рівноваги показаних на рисунках систем (іграшкового птаха та ножика з олівцем)?

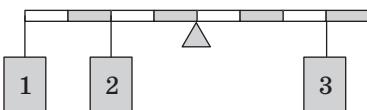


- ? 9.30.** Чому найважчі вантажі під час транспортування зазвичай розміщують у нижній частині трюму судна?

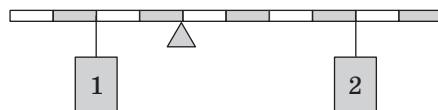
3-й рівень складності

- 9.31.** Маса вантажу 1 (див. рисунок) дорівнює 3 кг, маса вантажу 3 — 6 кг. Визначте масу вантажу 2. Масу вагеля не враховуйте.

- 9.32.** Маса вантажу 1 (див. рисунок) дорівнює 2 кг, маса вагеля — 0,8 кг. Яка маса вантажу 2?

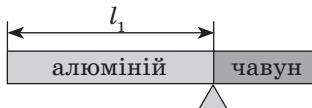


До задачі 9.31



До задачі 9.32

- 9.33.** Стрижень постійного перерізу, ліва частина якого виготовлена з алюмінію, а права — з чавуну, урівноважений на опорі (див. рисунок). Довжина лівої частини стрижня $l_1 = 50$ см. Яка довжина правої частини стрижня?

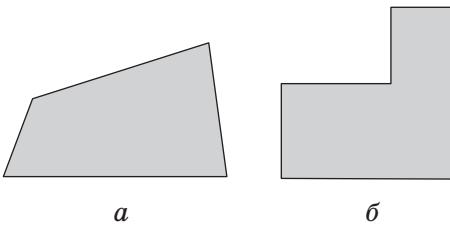


- 9.34.** Дошка масою 28 кг і завдовжки 1,2 м лежить на двох опорах. Ліва опора розташована на відстані 30 см від краю дошки, права — на відстані 15 см. Яку найменшу вертикальну силу треба прикласти до лівого краю дошки, щоб підняти протилежний край дошки?

-  **9.35.** У двох вершинах трикутника розташовані кульки масою m кожна. У третій вершині розташована кулька масою $2m$. Знайдіть положення центра тяжіння системи.
-  **9.36.** У вершинах трикутника поміщені кульки рівної маси. Знайдіть положення центра тяжіння системи.
-  **9.37.** Важіль, до якого підвішені два сталевих вантажі, урівноважений. Чи порушиться рівновага, якщо обидва вантажі помістити у воду? Чи залежить відповідь від співвідношення між масами вантажів?
-  **9.38.** Важіль, до якого підвішені сталевий і алюмінієвий вантажі, урівноважений. Чи порушиться рівновага, якщо обидва вантажі помістити у воду? Чи залежить відповідь від співвідношення між масами вантажів?
-  **9.39.** Драбина спирається на гладеньку вертикальну стіну. Коефіцієнт тертя між ніжками драбини і підлогою дорівнює μ . Який найбільший кут може утворювати драбина зі стіною? Центр тяжіння драбини збігається з її серединою.
-  **9.40.** Драбина завдовжки 5 м і масою 15 кг спирається на гладеньку вертикальну стіну. Чи може людина масою 60 кг піднятися до верхньої точки драбини, якщо коефіцієнт тертя між драбиною і підлогою дорівнює 0,3? Кут між драбиною і стіною 30° , центр тяжіння драбини збігається з її серединою.

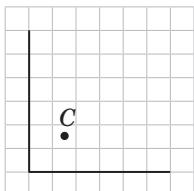
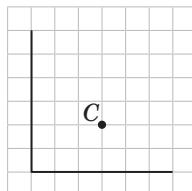
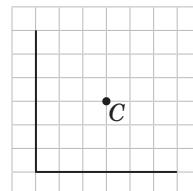
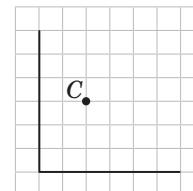
Задача для допитливих

- 9.41.** Знайдіть побудовою положення центрів тяжіння показаних на рисунку однорідних пластин.



ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Плечі важеля дорівнюють 20 і 90 см. До меншого плеча важеля підвісили вантаж масою 18 кг. Щоб важіль перебував у рівновазі, до більшого його плеча треба прикласти силу:
- A** 4 Н **B** 40 Н **V** 81 Н **Г** 810 Н
2. До лівого кінця легкого горизонтального стрижня завдовжки 1,5 м підвісили 4 одинакових тягарці, а до правого — 6 таких самих тягарців. Стриженъ перебуває в рівновазі на опорі, якщо відстань від цієї опори до лівого кінця стрижня дорівнює:
- A** 0,5 м **B** 0,6 м **V** 0,9 м **Г** 1 м
3. Горизонтальний стрижень, на одному кінці якого підвішений вантаж масою 6 кг, перебуває в рівновазі, якщо опора розташована на відстані $1/6$ довжини стрижня від вантажу. Маса стрижня дорівнює:
- A** 36 кг **B** 18 кг **V** 12 кг **Г** 3 кг
4. Невеликий тягарець масою 600 г закріплено на кінці стрижня завдовжки 60 см і масою 3 кг. Визначте відстань між тягарцем і центром тяжіння системи:
- A** 5 см **B** 10 см **V** 25 см **Г** 50 см.
5. Щоб забезпечити стійкість рівноваги високої шафи, можна:
- A** розмістити на ній зверху важкі вази
 - B** поставити шафу на високі ніжки
 - V** перемістити важкі предмети на верхню полицю
 - Г** завантажити нижні полиці шафи
6. Два одинакових тонких стрижні з'єднані під прямим кутом. На якому з рисунків правильно показано положення центра тяжіння *C* такого тіла?

**A****Б****V****Г**

10. ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ ТА ЕНЕРГІЇ

1-й рівень складності

- 10.1.** Визначте імпульс тіла масою 0,25 кг, яке рухається зі швидкістю 8 м/с.
- 10.2.** Визначте імпульс кулі масою 9 г, що летить зі швидкістю 400 м/с.
- 10.3.** Яке з тіл має більший імпульс: вагон масою 60 т, що рухається зі швидкістю 1,8 км/год, чи снаряд масою 4 кг, що летить зі швидкістю 800 м/с?
- 10.4.** Яке з тіл має більший імпульс: птах масою 400 г, що летить зі швидкістю 15 м/с, чи людина масою 60 кг, яка йде зі швидкістю 2 м/с?
- 10.5.** Яка маса тіла, якщо його імпульс дорівнює $100 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ за швидкості руху 5 м/с?
- 10.6.** За якої швидкості руху тіло масою 120 г має імпульс $3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$?
- 10.7.** Двоє приятелів масами 60 і 50 кг на слизькому льоду рухаються один до одного, перебираючи канат, який тримають у руках. Яка швидкість другого приятеля в той момент, коли швидкість першого 0,6 м/с? У початковий момент приятелі були нерухомі.
- ? 10.8.** Надуйте дитячу гумову кульку та, не зав'язуючи отвір, випустіть із рук. Поясніть спостережувані явища.
- ? 10.9.** У конструкції якого транспортного засобу використовують принцип реактивного руху: а) квадрокоптер; б) космічний корабель; в) автомобіль; г) катер із водометним двигуном; д) літак-винищувач?
- ? 10.10.** Як змінюються потенціальна і кінетична енергії вільно падаючого тіла? космічного корабля, що здійснює м'яку посадку?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Візок масою $m_1 = 120$ кг котиться зі швидкістю $v_1 = 6$ м/с. Людина, що біжить назустріч зі швидкістю $v_2 = 9$ км/год, стрибає у візок. З якою швидкістю v рухається після цього візок, якщо маса людини $m_2 = 60$ кг?

Розв'язання. Виберемо вісь Ox у напрямі руху візка, тоді $v_{1x} = 6$ м/с, $v_{2x} = -2,5$ м/с. Зовнішніми силами, що діють під час зіткнення на систему «візок + людина» уздовж осі Ox , можна знехтувати. Отже, проекція повного імпульсу системи на цю вісь зберігається: $m_1v_{1x} + m_2v_{2x} = (m_1 + m_2)v_x$, звідки $v_x = \frac{m_1v_{1x} + m_2v_{2x}}{m_1 + m_2}$.

$$\text{Модуль кінцевої швидкості } v = |v_x| = \frac{|m_1v_1 - m_2v_2|}{m_1 + m_2}.$$

$$\text{Перевіримо одиниці величин: } [v] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$v = \frac{|120 \cdot 6 - 60 \cdot 2,5|}{120 + 60} = 3,2 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Відповідь: $v = 3,2$ м/с.

 **10.11.** Яку силу тяги розвиває ракетний двигун, викидаючи щосекунди 6 кг продуктів згоряння палива зі швидкістю 2 км/с відносно ракети?

10.12. Якої швидкості руху набере брусковий стрягнути куля, що летить горизонтально зі швидкістю 400 м/с? Маса кулі 10 г, маса бруска 25 кг. Тертя бруска об підлогу не врахуйте.

10.13. Залізничний вагон масою 60 т, що рухається зі швидкістю 0,5 м/с, зіштовхується з нерухомою платформою масою 40 т і зчіплюється з нею. Яка швидкість руху системи після зчеплення?

10.14. Ковзаняр масою 60 кг відкинув назад рюкзак масою 7,5 кг зі швидкістю 4 м/с відносно Землі. Якої швидкості набрав ковзаняр, якщо його початкова швидкість дорівнювала нулю?

- 10.15.** Мисливці перебувають у човні, що рухається зі швидкістю 0,6 м/с. Скільки пострілів у напрямі руху човна вони мають зробити, щоб швидкість руху зменшилася вдвічі? Маса човна з мисливцями дорівнює 360 кг, маса заряду 18 г, швидкість вильоту дробу та порохових газів уважайте рівною 500 м/с.
- 10.16.** Людина біжить зі швидкістю 6 м/с. Вона наздоганяє візок, що рухається зі швидкістю 1 м/с, і стрибає на нього. З якою швидкістю рухатиметься візок після цього? Маси людини й візка дорівнюють відповідно 60 і 40 кг.
- 10.17.** Яку мінімальну роботу треба виконати, щоб поставити вертикально трубу, що лежить на землі? Довжина труби 4 м, маса 200 кг.
- ? 10.18.** Дерев'яний кубик був прив'язаний до каменя на дні озера. Мотузка обірвалася, і кубик сплив. Як змінилася потенціальна енергія системи «кубик + вода + + Земля»?
- 10.19.** Яку відстань проїде по горизонтальній дорозі автомобіль, у якого на швидкості 54 км/год відмовив двигун? Сила опору рухові дорівнює 0,075 від ваги автомобіля.
- 10.20.** У скільки разів збільшиться гальмівний шлях автомобіля, якщо швидкість руху збільшити з 50 до 75 км/год? Гальмування відбувається з максимально можливим прискоренням.
- 10.21.** Ожеледь призвела до зменшення коефіцієнта тертя шин об дорогу від 0,4 до 0,08. У скільки разів слід зменшити швидкість руху автомобіля, щоб його гальмівний шлях залишився незмінним?
- 10.22.** Порівняйте кінетичні енергії, яких набувають унаслідок пострілу снаряду масою 1,5 кг і відкотні частини гармати, маса яких 240 кг.
- 10.23.** Кулі масами 1 і 2 кг рухаються назустріч одна одній зі швидкостями відповідно 1 і 2 м/с. Визначте зміну

кінетичної енергії системи після абсолютно непружного удару.

- 10.24.** Залізничний вагон масою 36 т і платформа масою 12 т рухаються в зустрічних напрямах зі швидкостями 0,3 і 0,1 м/с відповідно. На скільки зменшиться сумарна кінетична енергія вагона й платформи після спрацьовування автозчеплення?

- 10.25.** Друга космічна швидкість перевищує першу в $\sqrt{2}$ разу. Визначте другу космічну швидкість для Меркурія, маса якого становить 5,5 % від маси Землі, а радіус — 38 % від радіуса Землі.

- 10.26.** Визначте другу космічну швидкість для планети, маса якої перевищує масу Землі в 3 рази, а радіус перевищує радіус Землі в 1,6 разу.

3-й рівень складності

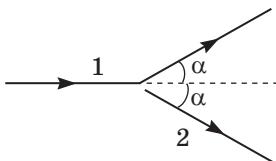
- 10.27.** По навчальній мішенні стріляють із кулемета. Маса кулі 10 г, швидкість її руху 500 м/с, темп стрільби — 180 пострілів щохвилини. Усі кулі застрюють у мішенні. З якою середньою силою вони діють на мішень?

-  **10.28.** Снаряд, випущений вертикально вгору, розірвався у верхній точці траєкторії. Перший осколок масою $m_1 = 1$ кг набрав швидкості руху $v_1 = 400$ м/с, направленої горизонтально. Другий осколок масою $m_2 = 1,5$ кг полетів угору зі швидкістю $v_2 = 200$ м/с. Визначте швидкість руху третього осколка масою $m_3 = 2$ кг.

- 10.29.** Снаряд, що летів по параболі, розірвався у верхній точці траєкторії на три осколки однакової маси. Перший осколок продовжував рух по тій же параболі і впав на відстані 1 км від гармати. Другий осколок рухався вертикально вниз і впав одночасно з першим. На якій відстані від гармати впав третій осколок?

- 10.30.** На рисунку показані траєкторії руху центрів двох куль ($\alpha = 30^\circ$). Знайдіть швидкості руху куль після

зіткнення, якщо до нього куля 1 рухалася зі швидкістю 1 м/с, а куля 2 була нерухомою. Розгляньте два випадки: а) маси куль однакові; б) маса другої кулі вдвічі перевищує масу першої.



- 10.31.** На скільки зміститься нерухомий човен масою 150 кг, якщо рибалки масою 60 і 90 кг, що сиділи на відстані 2,5 м один від одного, поміняються місцями? Опір води не врахуйте.
- 10.32.** Для автоматичного перезарядження гармати використовують енергію віддачі: відкотні частини гармати мають переміститися після пострілу на 40 см, стискаючи пружину жорсткістю 50 кН/м. Визначте початкову швидкість руху снаряда масою 1,5 кг, якщо маса відкотних частин гармати дорівнює 90 кг. Уважайте ствол горизонтальним.
- 10.33.** Куля, що летить горизонтально зі швидкістю 200 м/с, влучає в бруск, що лежить на столі, і застряє в бруску. На яку відстань переміститься бруск, якщо його маса в 99 разів більша, ніж маса кулі, а коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,4?
- 10.34.** Ковзаняр, що кинув горизонтально камінь масою 3 кг зі швидкістю 20 м/с, відкотився на 2,5 м. Визначте масу ковзаняра, якщо коефіцієнт тертя ковзанів облід дорівнює 0,02.
- 10.35.** Рухоме тіло 1 зіштовхується з нерухомим тілом 2. Яка частина механічної енергії переходить у внутрішню внаслідок абсолютно непружного зіткнення, якщо:
- а) $m_2 = 4m_1$; б) $m_2 = \frac{m_1}{4}$; в) $m_2 = 99m_1$?
- 10.36.** Куля масою 100 г налітає на нерухомий куб. У результаті лобового пружного зіткнення куля відскакує

назад зі швидкістю руху, що втрічі менша від початкової швидкості. Яка маса куба?

- 10.37.** Куля 1, що рухається, зіштовхується з нерухомою кулею 2. Яку частину кінетичної енергії кулі 1 буде передано кулі 2 внаслідок лобового пружного зіткнення, якщо: а) $m_2 = 4m_1$; б) $m_2 = \frac{m_1}{4}$; в) $m_2 = 99m_1$?

- 10.38.** Якої швидкості руху набере нерухома кулька для настільного тенісу, якщо по ній вдарити ракеткою, що рухається зі швидкістю $v = 10$ м/с? Зіткнення лобове, пружне.

- 10.39.** М'яч, що летить горизонтально зі швидкістю 22 м/с, вдаряється об задній борт автомобіля, що рухається в тому ж напрямі зі швидкістю 14 м/с. Визначте модуль швидкості руху м'яча після удару, якщо удар можна вважати пружним.

Задача для допитливих

- 10.40.** Канат завдовжки l перекинули через невеликий блок так, що з кожного боку звисає половина каната. Від легкого поштовху блок починає обертатися. Визначте швидкість руху каната в момент, коли дві третини його довжини перебувають по один бік від блока.

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- Човен набуває реактивного руху, коли:
 - A** людина в ньому починає веслувати
 - B** вітер діє на парус
 - C** людина в човні відштовхується веслом від берега
 - D** людина стрибає з корми у воду, відштовхуючись від човна
- Ракетний двигун викидає щосекунди 15 кг продуктів згоряння палива зі швидкістю 2 км/с відносно ракети. Цей двигун розвиває силу тяги:

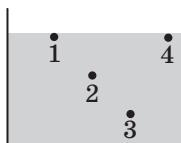
A 15 кН	B 30 кН	C 30 мН	D 60 мН
----------------	----------------	----------------	----------------

3. Снаряд розривається на два осколки в момент, коли швидкість його руху дорівнює нулю. Маси осколків відрізняються: $m_1 = 3m_2$. Порівняйте модулі імпульсів осколків (p_1 і p_2) і їх кінетичні енергії (W_1 і W_2).
- A** $p_1 = p_2$, $W_1 = 3W_2$ **B** $p_1 = 3p_2$, $W_1 = 3W_2$
B $p_2 = 3p_1$, $W_2 = 3W_1$ **G** $p_2 = p_1$, $W_2 = 3W_1$
4. Кулі масами 1 і 3 кг рухаються назустріч одна одній зі швидкостями відповідно 1 і 3 м/с. Після абсолютно непружного удару модуль швидкості руху куль дорівнюватиме:
- A** 1,2 м/с **B** 1,5 м/с **C** 2 м/с **D** 2,5 м/с
5. Куля масою 400 г зазнала абсолютно непружного зіткнення з нерухомим тілом масою 100 г. Унаслідок зіткнення кінетична енергія системи зменшилася:
- A** на 20 % **B** на 25 % **C** на 75 % **D** на 80 %
6. Куля масою 400 г зазнала пружного лобового зіткнення з нерухомим тілом масою 100 г. Унаслідок зіткнення кінетична енергія кулі зменшилася:
- A** на 16 % **B** на 27 % **C** на 36 % **D** на 64 %

11. РІВНОВАГА ТА РУХ РІДИНИ ТА ГАЗУ

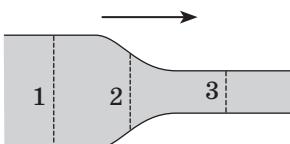
1-й рівень складності

? 11.1. Порівняйте тиск води в точках 1–4 (див. рисунок).



- 11.2. Визначте гідростатичний тиск стовпа води заввишки 20 м.
- 11.3. Визначте гідростатичний тиск шару гасу заввишки 1 м на дно цистерни.
- 11.4. Яку силу потрібно прикласти до малого поршня гідрравлічного преса, щоб він розвивав зусилля 150 кН? Відношення площ поршнів становить 1:50.
- 11.5. Яке зусилля розвиває гідрравлічний прес, якщо до малого поршня прикладають силу 120 Н? Площі поршнів відповідно 2 см^2 і $0,5 \text{ дм}^2$.

- 11.6.** Гідравлічний домкрат піднімає машину вагою 12 кН. До малого поршня домкрата прикладають силу 250 Н. Чому дорівнює площа великого поршня, якщо площа меншого 5 см^2 ?
- 11.7.** Чому дорівнює архімедова сила, що діє на тіло об'ємом 60 см^3 , повністю занурене в гас?
- 11.8.** На повністю занурене у воду тіло діє архімедова сила 22 Н. Який об'єм тіла?
- 11.9.** На повністю занурене в рідину тіло об'ємом 60 см^3 діє архімедова сила 0,66 Н. Визначте густину рідини.
- 11.10.** У воду опускають тіло масою 135 г і об'ємом 150 см^3 . Чи плаватиме це тіло? Чи плаватиме воно в гасі?
- 11.11.** Тіло масою 240 г при повному зануренні витісняє 210 см^3 води. Плаває воно у воді чи тоне?
- ? 11.12.** У якому поперечному перерізі показаної на рисунку труби швидкість руху рідини найбільша? найменша?

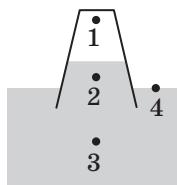


До задач 11.12, 11.13

- ? 11.13.** У якому поперечному перерізі показаної на рисунку труби тиск рідини найбільший? найменший?
- ? 11.14.** Чому ураганний вітер зриває дах з будинку, а не «продавлює» його?

2-й рівень складності

- ? 11.15.** Склянку занурили у воду, перевернули та частково підняли над водою (див. рисунок). Порівняйте тиск у точках 1–4.



- 11.16.** На тіло масою 540 г, повністю занурене в гас, діє архімедова сила 2,4 Н. Визначте густину тіла.
- 11.17.** Яка архімедова сила діє на скляне тіло масою 750 г, повністю занурене у воду?
- 11.18.** Яка архімедова сила діє на сталеву деталь, що повністю занурена у воду? Маса деталі 117 кг.
- 11.19.** До динамометра підвісили тіло вагою 6 Н і об'ємом 350 см^3 . Якими будуть показання динамометра, якщо тіло повністю занурити у воду?
- 11.20.** Що покаже динамометр, якщо підвішено до нього тіло повністю занурити у воду? Маса тіла дорівнює 250 г, об'єм — 80 см^3 .
- 11.21.** Що покаже динамометр, якщо підвішений до нього сталевий циліндр масою 780 г наполовину занурити у воду?
- 11.22.** Дошка завширшки 25 см та завдовжки 2 м плаває у воді, занурившись на 2 см. Визначте масу цієї дошки.
- 11.23.** Вода, що рухалася широкою ділянкою труби зі швидкістю 0,8 м/с, переходить у вузьку ділянку труби, площа перерізу якої менша у 3 рази. Визначте швидкість води у цій ділянці труби.
- 11.24.** Стінки сталевої труби старої ділянки водогону так «заросли», що фактично внутрішній діаметр труби зменшився від 25 до 15 мм. У скільки разів відрізняються швидкості руху води в цій ділянці та в нових пластикових трубах того самого водогону?
- 11.25.** Під час ремонту одну з труб теплотраси довелося замінити на трубу вдвічі меншого діаметра. З якою швидкістю рухається вода через цю трубу, якщо швидкість води в інших ділянках теплотраси дорівнює 1 м/с? Більший або менший тиск у «новій» трубі, ніж на інших ділянках теплотраси?
- 11.26.** Вода тече по трубі діаметром 6 см зі швидкістю 0,4 м/с, а потім проходить по трубі діаметром 2 см. Визначте швидкість руху води у вужчій трубі.

- ? 11.27.** Зближаться чи розійдуться паралельні вертикальні аркуші паперу, що висять на невеличкій відстані один від одного, якщо подути між ними?
- ? 11.28.** Чому небезпечно перебувати поблизу залізничної колії, по якій рухається швидкісний поїзд?
- ? 11.29.** Чому диспетчери в аеропорту зазвичай намагаються так керувати рухом, щоб літаки здійснювали зліт і посадку проти вітру?
- ? 11.30.** Літак здійснює горизонтальний політ. На яку поверхню крила (верхню чи нижню) повітря тисне з більшою силою?

3-й рівень складності

- 11.31.** Алюмінієва деталь масою 540 г, що підвішена на нитці та повністю занурена у воду, має порожнину. Визначте об'єм порожнини, якщо деталь у воді розтягує нитку з силою 2,4 Н.
- 11.32.** Мідна кулька масою 445 г має порожнину. Кульку підвісили до динамометра та занурили у воду. Визначте об'єм порожнини, якщо показання динамометра становлять 3,5 Н.
- ? 11.33.** У каструлі з водою плаває пустий кухоль. Чи зміниться рівень води у каструлі, якщо кухоль потоне?
- 11.34.** Скільки туристів може перевезти через озеро пліт, зроблений із 25 соснових колод завдовжки 3,5 м і площею поперечного перерізу 300 см^2 ? Середня маса туриста становить 75 кг.
- 11.35.** З якою швидкістю рухається вода по водопровідній трубі, що веде до крана, коли кран відкритий? Внутрішній діаметр труби дорівнює 2 см; цеберко ємністю 10 л, що стоїть під краном, наповнюється за 1 хв.
- ? 11.36.** Якщо направити струмінь повітря зі шланга пилососа вертикально вгору або під деяким кутом до вертикалі, то тенісна кулька парить у струмені й «слухняно» слідує за струменем під час повороту або переміщення шланга. Поясніть це явище.

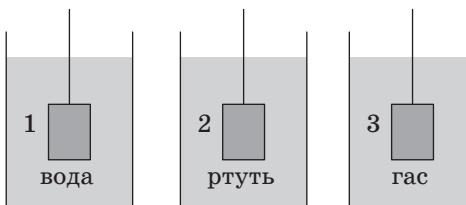
- 11.37.** З якою швидкістю витікає рідина з маленького отвору в дні посудини в той момент, коли висота рівня рідини дорівнює H ? Рідину вважайте ідеальною; скористайтесь законом збереження механічної енергії.

Задача для допитливих

- 11.38.** Рівень води в U-подібній трубці на 36 см нижчий за краї трубки. В одне з колін трубки потроху доливають гас. На скільки будуть відрізнятися рівні рідин у колінах, коли в одному з них рідина дійде до краю?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. У рідини опустили три металевих циліндри однакового об'єму: 1 — мідний, 2 — золотий, 3 — алюмінієвий (див. рисунок). Порівняйте архімедові сили F_1 , F_2 і F_3 , що діють на циліндри.



A $F_1 > F_2 > F_3$ **B** $F_1 = F_2 = F_3$ **C** $F_1 < F_2 < F_3$ **D** $F_3 < F_1 < F_2$

2. Тіло об'ємом 500 см³ повністю занурене в ртуть. З боку рідини на тіло діє архімедова сила:

A 0,68 Н **B** 6,8 Н **C** 68 Н **D** 680 Н

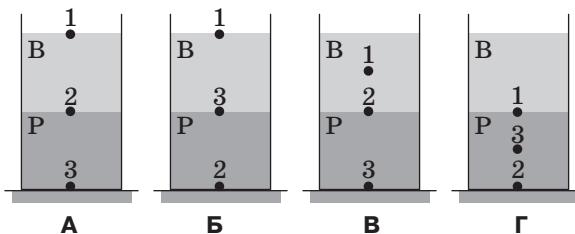
3. Мідний бруск масою 890 г, підвішений до динамометра, повністю занурений у гас. Яку силу показує динамометр?

A 0,81 Н **B** 0,97 Н **C** 8,1 Н **D** 9,7 Н

4. Якщо сили тяжіння та Архімеда, що діють на бруск, дорівнюють по 4 Н, то бруск:

- A** плаває, обов'язково повністю занурившись у рідину
B опускається на дно
C плаває тільки на поверхні рідини
D плаває всередині рідини або на її поверхні

5. У посудину, що містить ртуть P і воду B , опустили три кульки: 1 — соснову, 2 — сталеву, 3 — золоту. На якому рисунку правильно показано розташування кульок у посудині?



6. Осадка рятувального плота площею $4,5 \text{ м}^2$ збільшилася на 20 см після того, як на нього перебрався екіпаж річкового судна, що зазнало аварії. Загальна маса всіх членів екіпажу становить:

A 225 кг **B** 440 кг **C** 900 кг **D** 2250 кг

12. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ

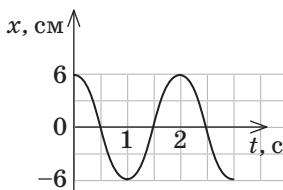
1-й рівень складності

- ?** 12.1. Які з перелічених коливань є вільними, а які — вимушеними:
- коливання підвішеного на пружині тягарця після поштовху;
 - рух гойдалки, яку періодично підштовхують;
 - коливання струни гітари, якої випадково торкнулися;
 - коливання поверхні працюючого динаміка;
 - коливання після поштовху підвішеного на нитці тягарця;
 - коливання важільних терезів, на які поклали гирю?
- 12.2. Гілка, що коливається від вітру, кожні дві секунди вдаряє у шибку. Знайдіть період і частоту коливань гілки.
- 12.3. Частота коливань струни дорівнює 1,2 кГц. Скільки коливань здійснює точка струни за 0,5 хв? Який шлях проходить за цей час точка струни, амплітуда коливань якої дорівнює 2 мм?

12.4. Точка струни, яка коливається з частотою 800 Гц, за 10 с пройшла шлях 32 м. Визначте амплітуду коливань.

12.5. Коливання описується формулою $x = 0,12 \sin 20\pi t$. Знайдіть амплітуду, частоту і період коливання. Накресліть графік залежності $x(t)$.

12.6. На рисунку наведений графік гармонічного коливання. Знайдіть амплітуду, частоту і період коливання. Запишіть формулу залежності $x(t)$.



- ?** **12.7.** Як зміниться період коливань пружинного маятника, якщо амплітуду коливань збільшити у 2 рази?
- ?** **12.8.** Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо збільшити його довжину?
- ?** **12.9.** У які моменти тіло, що коливається, має тільки потенціальну енергію?
- 12.10.** У скільки разів зміниться період коливань банки з піском, якщо в результаті висипання піску повна маса банки зменшиться у 2 рази? Банка підвішена:
а) на довгій нитці; б) на пружині (коливання вертикальні).
- 12.11.** Визначте період коливань математичного маятника завдовжки 1 м.
- 12.12.** Визначте частоту коливань математичного маятника завдовжки 4 м.
- 12.13.** Визначте період коливань пружинного маятника масою 100 г, якщо жорсткість пружини дорівнює 40 Н/м.

12.14. Визначте частоту коливань пружинного маятника, якщо жорсткість пружини дорівнює 160 Н/м, а маса вантажу 1,6 кг.

12.15. Які період і частота коливань причепа масою 110 кг на ресорах із загальною жорсткістю 12 кН/м?

2-й рівень складності

? 12.16. Космонавт узяв із собою на Місяць наручний механічний годинник і маятниковий годинник. Який із них іде на Місяці так само, як на Землі?

? 12.17. Якщо вночі сфотографувати лампочку, що розгойдується, то при тривалій експозиції на фотографії буде видно світлу *смугу*. Чому краї цієї смуги світліші, ніж середина?

12.18. Період коливань першого математичного маятника на 40 % більший, ніж період коливань другого. У скільки разів перший маятник довший, ніж другий?

12.19. Яке відношення довжин двох математичних маятників, якщо за один і той самий час перший із них здійснює 15, а другий — 27 коливань?

12.20. У каюті пасажирського судна встановлено годинник з маятником. Скільки коливань здійснює маятник під час переходу завдовжки 800 км, якщо середня шляхова швидкість судна дорівнює 20 км/год, а частота коливань маятника становить 1 Гц?

⌚ 12.21. Яке прискорення вільного падіння на планеті, якщо за $t = 20$ с гайковий ключ, опущений на нитці довжиною $l = 2$ м із люка космічного корабля, що «приземлився», здійснив $n = 5$ повних коливань?

12.22. Знайдіть жорсткість пружини, якщо підвішений на ній вантаж масою 700 г здійснює 18 коливань за 21 с.

? 12.23. Куди треба пересунути вантаж на стрижні маятниковоого годинника, якщо годинник поспішає?

- ? 12.24.** Як змінився хід маятникового годинника, коли його перенесли взимку в неопалюване приміщення?
- ? 12.25.** Як змінився хід маятникового годинника, який привезли із Києва на наукову станцію в Антарктиді?
- 12.26.** Яке відношення довжин двох математичних маятників, якщо один із них здійснює 31 коливання за той самий час, за який інший здійснює 20 коливань?
- 12.27.** Учень виготовив два пружинних маятники, використавши для цього однакові пружини і вантажі однакових розмірів. Він виявив, що алюмінієвий вантаж здійснює 45 коливань за той самий час, за який інший вантаж здійснює 22 коливання. З чого може бути виготовлений цей вантаж?
- 12.28.** Коли до пружини підвісили вантаж, вона розтяглася на 20 см. Вантаж відвели вниз і відпустили, спричинивши коливання. Визначте їх період.
- 12.29.** Тягарець, підвішений на нитці завдовжки 90 см, розгойduють слабкими періодичними поштовхами. За якої частоти поштовхів амплітуда коливань тягарця буде найбільшою?
- 12.30.** У вагоні поїзда підвішений маятник завдовжки 1 м. Під час руху поїзда маятник розгойдується від поштовхів на стиках рейок. За якої швидкості руху поїзда маятник розгойдується особливо сильно, якщо довжина рейок дорівнює 25 м?
- ? 12.31.** Коли в цеху встановили новий верстат, стала відчуватися сильна вібрація підлоги. Як можна усунути або набагато зменшити цю вібрацію?

3-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Вантаж масою 400 г здійснює коливання на пружині жорсткістю 160 Н/м. Амплітуда коливань дорівнює 5 см. Знайдіть швидкість руху вантажу в той момент, коли він перебуває на відстані 3 см від положення рівноваги.

Дано:

$$\begin{aligned}m &= 400 \text{ г} = 0,4 \text{ кг} \\k &= 160 \text{ Н/м} \\A &= 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м} \\x &= 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}\end{aligned}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Скористаємося законом збереження механічної енергії: механічна енергія системи $W = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$ в будь-який момент дорівнює максимальній потенціальній енергії пружини $W_{\max} = \frac{kA^2}{2}$ (у момент максимальної деформації пружини кінетична енергія вантажу дорівнює нулю).

$$\text{Звідси отримуємо } v = \sqrt{\frac{k(A^2 - x^2)}{m}}.$$

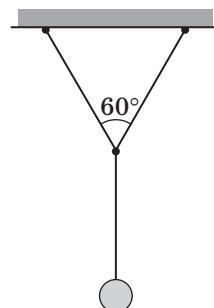
$$\text{Перевіримо одиниці: } [v] = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{м} \cdot \text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначимо значення швидкості:

$$v = \sqrt{\frac{160 \cdot (0,05^2 - 0,03^2)}{0,4}} = 0,8 \text{ (м/с).}$$

Відповідь: $v = 0,8 \text{ м/с.}$

- ?** 12.32. Як зміниться період коливань залізної кульки на нитці, якщо трохи нижче положення рівноваги кульки розмістити ввімкнений електромагніт?
- 12.33. Період коливань вантажу, підвішеного на гумовому джгуті, дорівнює 1 с. Яким стане період коливань, якщо джгут скласти навпіл?
- 12.34. На рисунку показаний біфілярний маятник. Який період коливань кульки, якщо вони відбуваються:
а) у площині рисунка; б) перпендикулярно до площини рисунка? Довжина кожної з ниток дорівнює 1 м.
- 12.35. Кулька на нитці здійснює за якийсь час 26 коливань. Якщо довжину нитки змінити на 5 см, кулька здійснить за той самий час 24 коливання. Яка довжина нитки?



- 12.36.** Перший математичний маятник здійснив 24 коливання, а другий — 30 коливань за такий самий час. Визначте довжину кожного з маятників, якщо один із них на 18 см довший за іншого.
- 12.37.** Пружинний маятник здійснив за якийсь час 16 коливань. Коли масу вантажу збільшили на 200 г, маятник здійснив за той самий час 15 коливань. Визначте початкову масу вантажу.
- 12.38.** До пружини по черзі підвішують два вантажі. У першому випадку період коливань пружинного маятника 0,5 с, а в другому — 1,2 с. Яким буде період коливань, якщо до тієї ж пружині підвісити обидва вантажі?
- 12.39.** Вантажу масою 900 г, що висить на пружині жорсткістю 360 Н/м, надали поштовхом вертикальної швидкості 10 см/с. Визначте амплітуду коливань, що виникли внаслідок поштовху.
- 12.40.** Вантаж масою 400 г здійснює коливання на пружині жорсткістю 160 Н/м. Амплітуда коливань дорівнює 5 см. Знайдіть найбільшу швидкість вантажу.
- 12.41.** Кулька на нитці завдовжки 1 м здійснює коливання з амплітудою 6 см. Яка максимальна швидкість кульки? Коли кулька має таку швидкість?

13. МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ. ЗВУКОВІ ЯВИЩА

1-й рівень складності

- ?** **13.1.** У багатьох фантастичних фільмах космічні бої супроводжуються жахливим гуркотом. Чи може він виникати насправді?
- ?** **13.2.** Чому розкоти грому тривають набагато довше, ніж спалах блискавки?
- 13.3.** Спостерігач почув звук артилерійського пострілу через 6 с після того, як побачив спалах. На якій відстані від нього розташована гармата?

- 13.4.** На якій відстані від стрімкої скелі перебуває людина, якщо, пlesнувши в долоні, вона через 1 с почула луну від удару?
- ? 13.5.** Які хвилі (поздовжні або поперечні) виникають:
а) у струнах під час гри на гітарі; б) у повітряному стовпі всередині сурми, коли музикант дує в сурму; в) на поверхні води, якщо вдарити по воді долонею?
- ? 13.6.** Які з наведених властивостей характерні для поперечних хвиль: а) ці хвилі являють собою почергові стиснення та розрідження; б) ці хвилі не можуть поширюватися в газах; в) коливання відбуваються перпендикулярно до напряму поширення хвилі?
- ? 13.7.** Які з наведених властивостей характерні для поздовжніх хвиль: а) ці хвилі можуть поширюватися тільки в газах; б) частинки середовища під час коливань зміщуються вздовж напряму поширення хвилі; в) ці хвилі являють собою почергові стиснення та розрідження?
- ? 13.8.** Від чого залежить висота звуку? Наведіть приклади високих і низьких звуків.
- ? 13.9.** Чим відрізняються музикальні звуки від шуму?

2-й рівень складності

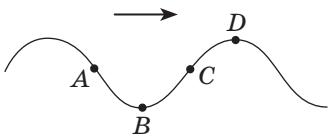
- ? 13.10.** Літак рухається з надзвуковою швидкістю. Чи чутний у кабіні пілота звук роботи двигуна, що розташований за кабіною?
- ? 13.11.** В одного з космонавтів, які перебувають у скафандрах на поверхні Місяця, відмовив радіозв'язок. Чи може цей космонавт перемовлятися з товаришами, що стоять поруч? Якщо може, то як саме?
- 13.12.** Яка швидкість морських хвиль, якщо вони піднімають плавучий буй кожні 1,5 с, а відстань між гребенями сусідніх хвиль дорівнює 6 м?

- 13.13.** Човен гойдається на хвилі з частотою 0,5 Гц. Яка швидкість цієї хвилі, якщо відстань між сусідніми гребенями дорівнює 3 м?
- 13.14.** Спостережливий рибалка порахував, що за 25 с плавок на хвильях здійснив 50 коливань. Рибалка також помітив, що відстань між сусідніми впадинами хвиль дорівнює 1,5 м. Визначте швидкість поширення хвиль на поверхні води.
-  **13.15.** Підводний човен сплив на відстані 100 м від берега, викликавши хвилі на поверхні води. Хвилі дійшли до берега за 20 с, причому за наступні 15 с було 30 сплесків хвиль об берег. Яка відстань між гребенями сусідніх хвиль?
- 13.16.** Яка швидкість звуку в матеріалі, у якому звукові хвилі з частотою 900 Гц мають довжину хвилі 5 м?
- 13.17.** Камертон є джерелом звукових хвиль із частотою 440 Гц. Яка довжина цих звукових хвиль у повітрі? у склі?
- 13.18.** Яка довжина звукової хвилі з частотою 300 Гц у повітрі? у воді?
- 13.19.** Довжина звукових хвиль, що випромінюються скрипкою, може змінюватися від 23 мм до 1,3 м. Який діапазон частот скрипки?
- ? 13.20.** Чому під час польоту жук утворює звук, а метелик — ні?
- ? 13.21.** Хто частіше змахує крилами в польоті: джміль чи комар? Поясніть свою відповідь.
- ? 13.22.** Для чого басові струни гітар обплітають дротом?
- ? 13.23.** Чому на відкритому повітрі голос людини, що стоїть за десяток кроків від вас, чутний гірше, ніж у помешканні?
- ? 13.24.** Чому музика та голоси співаків по-різному звучать у порожній залі й у залі, заповненій публікою?

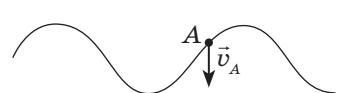
- ?** 13.25. Яка роль «ящика» під камертоном? роль корпусу скрипки або гітари?
- ?** 13.26. Механічна хвиля викликає коливання певної точки *A* середовища. Чи обов'язково ці коливання посилються, якщо в точку *A* приходитиме ще одна хвиля?
- ?** 13.27. Вікно в кімнаті ледь-ледь відчинене. Завдяки якому явищу вуличний шум добре чути в будь-якій точці кімнати?
- ?** 13.28. Чи можна отримати музикальний звук накладанням кількох шумів? А шум — накладанням кількох музикальних звуків?

3-й рівень складності

- ?** 13.29. Скло проводить звукові хвилі значно краще, ніж повітря. Чому ж, зачиняючи вікно, ми набагато послаблюємо вуличний шум, що потрапляє в кімнату?
- ?** 13.30. Чи обов'язково більш гучному звуку відповідає більша амплітуда звукової хвилі?
- ?** 13.31. Якщо вдарити молотком по однім кінці довгої сталевої труби, то біля іншого кінця буде чутний *подвійний* удар. Чому?
- ?** 13.32. Чому у твердих тілах можуть поширюватися як поперечні, так і поздовжні хвилі?
- ?** 13.33. Чому такі матеріали, як цегла та вата, мають *водночас гарні* звуко- та теплоізоляційні властивості?
- ?** 13.34. На рисунку показана поперечна хвиля, що біжить по натягнутій нитці. Як напрямлені швидкості точок *A*, *B*, *C*, *D*?
- ?** 13.35. У який бік рухається показана на рисунку хвиля?



До задачі 13.34



До задачі 13.35

- ?** 13.36. Як змінюються частота та довжина хвилі звуку під час переходу з повітря у воду?
- 13.37. Кажан за допомогою свого «звуколокатора» вимірює в темноті відстань до предметів із точністю до 5 мм. З якою точністю він «вимірює» час між випромінюванням і прийомом ультразвукового сигналу?
- 13.38. Літак рухається горизонтально з постійною швидкістю. Коли спостерігач чує, що літак перебуває над ним, він бачить літак під кутом 60° до горизонту. Яка швидкість руху літака?
- ?** 13.39. Чому показаний на рисунку камертон дуже тихо звучатиме взимку на відкритому повітрі?



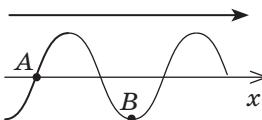
Задачі для допитливих

- 13.40. Артилерист почув звук розриву снаряда, випущеного під кутом 45° до горизонту, через 2 хв 30 с після пострілу. Яка була початкова швидкість снаряда?
- 13.41. В океані на невеликій глибині здійснено вибух. Гідроакустики корабля, що перебуває на відстані 2,25 км від місця вибуху, зафіксували два звукові сигнали, другий через 1 с після першого. Яка глибина океану в цьому районі?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- Коливання називають вільними, якщо:
 - A** вони відбуваються під дією внутрішніх сил у системі
 - B** їх амплітуда достатньо мала
 - C** вони відбуваються під дією зовнішніх сил
 - Г** ці коливання не загасають.

2. Період коливань вантажу масою 300 г на пружині з жорсткістю 150 Н/м приблизно дорівнює:
A 0,14 с **B** 0,28 с **C** 0,42 с **D** 0,56 с
3. Коливання описано формулою $x = 0,25 \cos 40\pi t$ (значення всіх величин подано в СІ). Амплітуда та частота цього коливання відповідно дорівнюють:
A 0,25 м і 40π Гц **B** 40 см і 40 Гц
C 10π м і 80 Гц **D** 0,25 м і 20 Гц
4. Маленький тягарець коливається на нитці завдовжки 1 м. Кількість його коливань протягом 1 хв становить приблизно:
A 15 **B** 30 **C** 45 **D** 60
5. Частота звукової хвилі становить 250 Гц. У середовищі, де швидкість звуку дорівнює 5 км/с, довжина цієї хвилі становить:
A 2 м **B** 5 м **C** 20 м **D** 50 м
6. На рисунку схематично показано поширення поперечної хвилі по натягнутому шнурі (стрілка вказує напрям поширення хвилі). Виберіть правильне твердження щодо швидкостей \vec{v}_A і \vec{v}_B руху точок шнура A і B в показаний момент.



- A** \vec{v}_A напрямлена вниз, \vec{v}_B дорівнює нулю.
B \vec{v}_A дорівнює нулю, \vec{v}_B напрямлена вниз.
C \vec{v}_A напрямлена вгору, \vec{v}_B дорівнює нулю.
D \vec{v}_A дорівнює нулю, \vec{v}_B напрямлена вгору.

14. ЕЛЕМЕНТИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ*

1-й рівень складності

- ? 14.1. Чи залежить від вибору інерціальної системи відліку:
 а) швидкість руху тіла; б) швидкість світла у вакуумі?

* У задачах на спеціальну теорію відносності позначення c відповідає швидкості світла у вакуумі.

- ? 14.2. Дві події в деякій інерціальній системі відліку відбуваються в одній точці одночасно. Чи будуть ці події одночасними в іншій інерціальній системі відліку?
- ? 14.3. На ракеті, швидкість якої відносно Землі дорівнює $0,9c$, увімкнули прожектор. Яка швидкість поширення світла відносно Землі, якщо промінь прожектора спрямований: а) у напрямі руху ракети; б) у протилежний бік?
- 14.4. Визначте енергію спокою 1 г будь-якої речовини.
- 14.5. На скільки збільшилася маса тіла, яке отримало кількість теплоти 900 ГДж?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

За якої швидкості руху частинки її кінетична енергія становить 25 % від енергії спокою?

Дано:

$$W_k = 0,25W_0$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Кінетична енергія дорівнює різниці енергії рухомої частинки $W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ та

$$\text{енергії спокою } W_0 = mc^2.$$

$$\text{Отже, } W = W_0 + W_k = 1,25W_0.$$

$$\text{Звідси отримуємо } \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,8 \text{ і } v = 0,6c = 1,8 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

$$\text{Відповідь: } v = 1,8 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

- ? 14.6. Чи однакові значення довжини, швидкості та прискорення тіла у двох різних інерціальних системах відліку?
- 14.7. З ракети, швидкість якої відносно Землі дорівнює $0,9c$, випустили вперед та назад снаряди зі швидкістю $0,5c$ відносно ракети. Яка швидкість снарядів відносно Землі?

- 14.8.** Дві частинки віддаляються від спостерігача зі швидкостями $0,7c$ у протилежних напрямах. Яка швидкість однієї частинки відносно іншої?
- 14.9.** Дві частинки віддаляються від спостерігача зі швидкостями $0,6c$ і $0,8c$ у протилежних напрямах. Яка швидкість однієї частинки відносно іншої?
- 14.10.** Дві частинки рухаються відносно спостерігача в одному напрямі зі швидкостями $0,6c$ і $0,8c$. Яка швидкість однієї частинки відносно іншої?
- 14.11.** Знайдіть повну енергію космічного апарату масою 10 т, що рухається зі швидкістю $0,9c$.
- 14.12.** Повна енергія тіла в 1,5 разу перевищує енергію спокою цього тіла. У скільки разів кінетична енергія тіла відрізняється від енергії спокою?
- 14.13.** Знайдіть кінетичну енергію космічного апарату масою 10 т, що рухається зі швидкістю $0,9c$.
- 14.14.** За якої швидкості руху кінетична енергія тіла в 3 рази перевищує енергію спокою?
- 14.15.** За якої швидкості руху кінетична енергія тіла становить 10 % від його енергії спокою?
- 14.16.** На скільки змінюється маса 10 кг води під час охолодження від 100 до 0 °C?
- 14.17.** На скільки змінюється маса 1 кг льоду під час плавлення? Чи можна вимірюти таку зміну експериментально?
- 14.18.** На скільки змінюється маса пружини з жорсткістю 5 кН/м під час стискання на 10 см?
- 14.19.** Унаслідок ядерної реакції маса речовини зменшується на 0,1 %. Яка енергія виділяється в результаті використання 1 г ядерного палива?

3-й рівень складності

- 14.20.** Частина рухається зі швидкістю $0,04c$. У скільки разів збільшиться її кінетична енергія, якщо швидкість руху збільшиться: а) у 2 рази; б) у 20 разів?
- 14.21.** Маса протона перевищує масу електрона в 1836 разів. За якої швидкості руху кінетична енергія протона дорівнює: а) енергії спокою протона; б) енергії спокою електрона?
- 14.22.** Маса графіту в крапці, поставленій олівцем на папері, дорівнює 1,5 мкг. Обчисліть енергію спокою цього графіту. Скільки часу могла б горіти електрична лампа потужністю 15 Вт за рахунок такої енергії?
- 14.23.** Сонячна стала дорівнює $1,36 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Це означає, що через 1 м^2 поверхні, розташованої поблизу верхньої межі атмосфери Землі перпендикулярно до сонячних променів, щосекунди проходить випромінювання з енергією $1,36 \text{ кДж}$. На яку величину щосекунди зменшується маса Сонця внаслідок випромінювання? Скористайтеся наведеними в Додатку довідковими даними.

15. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МКТ

1-й рівень складності

- ? 15.1.** Чим відрізняється розташування молекул у твердих, рідких і газоподібних тілах?
- ? 15.2.** Чим відрізняється характер руху молекул у твердих, рідких і газоподібних тілах?
- ? 15.3.** Чим пояснюється явище дифузії? Чому дифузія в газах відбувається набагато швидше, ніж у рідинах?
- ? 15.4.** Чому водень і гелій здатні «зникати» навіть з герметично закритих посудин?

15.5. Скільки молекул у 3 моль кисню? у 5 моль води? у 10 моль метану?

15.6. Визначте молярні маси Гелію, Купруму, Меркурію, Урану.

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Під час виготовлення астрономічного дзеркала на поверхні площею $S = 1 \text{ м}^2$ напилили срібло масою $m = 0,3 \text{ г}$. Оцініть розмір d атомів Аргентуму, якщо напилено $N = 100$ шарів атомів.

Розв'язання. Уважатимемо, що товщина шару срібла $h = Nd$. Об'єм цього шару $V = Sh = SNd$, а його маса $m = \rho V = N\rho Sd$ (тут ρ — густина срібла). Звідси $d = \frac{m}{N\rho S}$.

Перевіримо одиниці величин: $[d] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} = \text{м}$.

Підставимо числові значення: $d = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{100 \cdot 10500 \cdot 1} = 2,9 \cdot 10^{-10} \text{ (м)}$.

Відповідь: $d = 0,29 \text{ нм}$.

- ? 15.7.** Чому запах тільки-но пролитих парфумів відчувається в іншому кінці кімнати тільки через кілька хвилин, хоча швидкість руху молекул за кімнатної температури становить кілька сотень метрів у секунду?
- ? 15.8.** Якщо не працює вентиляція, дрібний деревний пил у столярному цеху годинами «висить» у повітрі навіть після вимикання деревообробних верстатів. Чому?
- ? 15.9.** Дві скляні пластинки важко відірвати одну від одної, якщо між ними є трохи води. Якщо ж пластинки сухі, то вони легко відокремлюються одна від одної. Чому?

- ? 15.10.** Чому полірування поверхонь, на яких відбувається тертя, може спричинити не зменшення тертя, а навпаки, його збільшення?
- 15.11.** Яка товщина плівки гасу на поверхні води, якщо гас масою 1,6 г утворив пляму площею 200 м²? Який висновок можна звідси зробити про розміри молекул?
- 15.12.** Які молярні маси кухонної солі NaCl, купрум(ІІ) сульфату CuSO₄, амоніаку NH₃?
- 15.13.** Яка маса 25 моль кисню?
- 15.14.** Визначте масу 40 моль вуглекислого газу CO₂.
- 15.15.** Яка маса атома Літію? атома Ауруму?
- 15.16.** Чому дорівнює маса молекули метану (CH₄)?
- 15.17.** Визначте масу молекули чадного газу (CO).
- ? 15.18.** Для дифузійного зварювання деталі притискають одну до одної, нагрівають до певної температури та витримують якийсь час (дифузійне зварювання дозволяє міцно з'єднувати деталі з різних металів і навіть металеві деталі з керамічними). Яку (приблизно) температуру слід підтримувати під час такого зварювання?
- 15.19.** У скільки разів змінилася б кількість речовини в балоні, якби в результаті електричного розряду кисень O₂, що міститься в балоні, перетворився на озон O₃?
- 15.20.** Скільки молекул міститься в 1 г вуглекислого газу (CO₂)?
- 15.21.** Скільки молекул міститься в 5 г водню (H₂)?
- 15.22.** Скільки іонів Натрію міститься в пачці кухонної солі (NaCl) масою 500 г?

- 15.23.** Через мікроскопічні щілини з балона зі стисненим повітрям* щосекунди вилітають 5 млрд молекул. За який час маса балона з повітрям зменшиться на 1 мг?
- 15.24.** Яка кількість речовини міститься в 39 г заліза?
- 15.25.** Яка кількість речовини (SiO_2) у піщинці масою 20 мг?
- 15.26.** Визначте кількість речовини у воді масою 1,5 кг.
- 15.27.** Де більше атомів Оксигену: в 10 моль води чи в 5 моль кисню O_2 ? У скільки разів?
- 15.28.** Де більше молекул: у 5 г водню H_2 чи в 10 г води? У скільки разів більше?
-  **15.29.** Визначте об'єм алюмінієвої деталі, що містить 4 моль речовини.
- 15.30.** Чи помістяться в трилітровій банці 50 моль ртуті?
- 15.31.** У якому об'ємі води міститься 10^{18} молекул (вода перебуває в рідкому стані)?
- 15.32.** Де більше молекул: у склянці води чи в повітрі всередині «порожньої» діжки? Об'єм склянки дорівнює 200 см^3 , об'єм діжки — $0,4 \text{ м}^3$. Повітря перебуває за нормальних умов, його густина дорівнює $1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$.
- 15.33.** За якого об'єму спортивної залі кількість молекул у повітрі в цій залі в 100 разів перевищує кількість атомів у залізній штанзі масою 100 кг? Густина повітря в залі за температури 20°C дорівнює $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$.
- 15.34.** Порівняйте кількість речовини у двох суцільних кубиках: мідному й алюмінієвому.
- 15.35.** У якій із крапель — води чи ртуті — кількість речовини більша? У скільки разів? Розгляньте випадки, коли краплі мають: а) однакові маси; б) однакові об'єми.

* Тут і надалі вважайте повітря газом з молярною масою 0,029 кг/моль.

- 15.36.** У гальванічній ванні корпуси годинників покривають шаром золота завтовшки 24 мкм. Скільки атомів Ауруму в покритті, якщо площа поверхні корпуса годинника дорівнює 10 см^2 ?
- 15.37.** На виріб, площа поверхні якого дорівнює 50 см^2 , нанесли шар хрому завтовшки 8 мкм. Скільки атомів Хрому містить покриття?
- 15.38.** Під час нікелювання виробу його покривають шаром нікелю завтовшки 4,5 мкм. Скільки атомів Нікелю містить покриття, якщо площа поверхні виробу дорівнює 400 см^2 ?

3-й рівень складності

- 15.39.** В озеро з середньою глибиною 7,5 м і площею 16 км^2 кинули кристалик кухонної солі NaCl масою 20 мг. Через дуже тривалий час з озера зачерпнули склянку води об'ємом 200 см^3 . Скільки іонів натрію з кинутого кристаліка виявилося у цій склянці?
- 15.40.** Вода масою 25 г, що перебувала в блюдці, повністю випарувалася за 3 доби. Скільки молекул води в середньому залишало її поверхню щосекунди?
- 15.41.** У науково-фантастичних творах є згадки про надміцну надтонку нитку завтовшки в один атом. Якою була б довжина такої нитки масою 20 г, виготовленої з вуглецю? Порівняйте цю довжину з відстанню від Землі до Сонця. Уважайте атом Карбону кулькою радіусом $7,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

16. ІДЕАЛЬНИЙ ГАЗ. ТЕМПЕРАТУРА

1-й рівень складності

- 16.1.** Виразіть у кельвінах значення температури: 27°C , -23°C , 370°C .
- 16.2.** Виразіть у градусах Цельсія значення температури: 23 K , 93 K , 753 K .

- 16.3.** Скориставшись довідковою таблицею в Додатку, визначте температуру плавлення свинцю за шкалою Кельвіна.
- 16.4.** Температура в кімнаті збільшилася на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. На скільки збільшилася температура за шкалою Кельвіна?
- ? 16.5.** Чому під час виготовлення ламп розжарення їх балони заповнюють газом під тиском, значно меншим від атмосферного?
- 16.6.** На скільки відсотків збільшився тиск газу в закритому балоні, що внесли з вулиці в кімнату? Температура зовнішнього повітря дорівнює $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура в кімнаті $17\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 16.7.** Тиск газу в балоні за температури $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 240 kPa . Яким стане тиск після нагрівання газу на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$? охолодження на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 16.8.** Балони електричних ламп розжарення заповнюють азотом за тиску $50,7\text{ kPa}$ і температури $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яким стане тиск у лампі в момент, коли після вмикання температура газу сягне 630 K ?
- 16.9.** За температури $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ газ займає об'єм 60 l . Яким буде об'єм газу за температури $127\text{ }^{\circ}\text{C}$? Тиск газу не змінився.
- 16.10.** Об'єм повітря за нормальніх умов 60 l . Яким стане тиск повітря, якщо його об'єм за сталої температури зменшити до 10 l ?
- 16.11.** Об'єм повітря в гумовій кульці дорівнює 9 l . Яким має стати об'єм повітря, щоб його тиск збільшився від 100 до 150 kPa ? Температуру вважайте сталою.
- 16.12.** Тиск повітря в балоні ємністю 10 l дорівнює $1,5\text{ MPa}$. Яким стане тиск, якщо відкрити кран, що з'єднує цей балон з іншим балоном ємністю 40 l , в якому повітря немає? Температура газу не змінюється.
- ? 16.13.** Повітря, яким ми дихаємо, складається головним чином з кисню й азоту. Молекули якого з цих газів ма-

ють: а) більшу середню кінетичну енергію; б) більшу середню квадратичну швидкість?

- 16.14.** Визначте середню кінетичну енергію поступального руху молекул за температури 27 °C.

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Спливаюча зі дна озера бульбашка повітря поблизу поверхні води має діаметр $D = 2$ мм. На якій глибині h діаметр бульбашки d був 1,5 мм? Зміну температури води з глибиною не враховуйте.

Розв'язання. Повітря всередині бульбашки зазнало ізотермічного розширення. Отже, його початкові та кінцеві параметри пов'язані рівнянням $p_1V_1 = p_2V_2$. Напишемо це рівняння у вигляді $p_1 = \frac{p_2V_2}{V_1}$ і врахуємо, що тиск всередині рідини дорівнює

сумі атмосферного та тиску стовпа рідини: $p_1 = p_{\text{атм}} + \rho gh$. Кінцевий тиск повітря в бульбашці практично дорівнює атмосферному: $p_2 = p_{\text{атм}}$. Об'єм бульбашки пропорційний кубу її діаметра,

$$\text{тобто } \frac{V_2}{V_1} = \frac{D^3}{d^3}.$$

$$\text{Із наведених рівнянь отримуємо } h = \frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} \left(\left(\frac{D}{d} \right)^3 - 1 \right).$$

Перевіримо одиниці величин:

$$[h] = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}} \left(\frac{\text{мм}}{\text{мм}} \right)^3 = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}} = \text{м.}$$

$$\text{Підставимо числові значення: } h = \frac{10^5}{10^3 \cdot 10} \left(\left(\frac{2}{1,5} \right)^3 - 1 \right) = 14 \text{ (м).}$$

Відповідь: $h = 14$ м.

- 16.15.** Об'єм газу за температури 37 °C і тиску 1,5 МПа дорівнює 10 л. Який об'єм цієї маси газу за нормальніх умов?

- 16.16.** Унаслідок стискання повітря в циліндрі дизельного двигуна об'єм повітря зменшується в 15 разів, а температура підвищується від 47 °C до 620 °C. Визначте

тиск повітря наприкінці стискання, якщо початковий тиск дорівнював 100 кПа.

- 16.17.** Газ за тиску 610 кПа і температури 300 К займає об'єм 440 л. Визначте об'єм тієї самої маси газу за температури -23°C і тиску 450 кПа.
- 16.18.** Об'єм газу за тиску 720 кПа і температури 288 К дорівнює $0,9\text{ m}^3$. За якої температури об'єм тієї самої маси газу буде $2,4\text{ m}^3$, якщо тиск стане 225 кПа?
- 16.19.** Яка кількість речовини в газі, якщо за температури -13°C і тиску 500 кПа об'єм газу дорівнює 30 л?
- 16.20.** Який тиск повинен витримувати газовий балон об'ємом 50 л, щоб за температури 25°C у ньому можна було зберігати 2 кг метану (CH_4)?
- ? 16.21.** Космічний корабель, стартувавши із Землі, вийшов на навколоzemну орбіту. Як змінився тиск повітря в герметично закритому відсіку? Температура у відсіку не змінилася.
- ? 16.22.** Чому балон із будь-яким стисненим газом становить велику небезпеку в разі пожежі?
- 16.23.** Об'єм газу зменшили в 1,5 разу, у результаті чого абсолютна температура збільшилась на 20 %, а тиск — на 320 кПа. Яким був початковий тиск газу?
- 16.24.** Після збільшення абсолютної температури в 1,2 разу об'єм газу збільшився на 0,6 л за постійного тиску. Знайдіть початковий об'єм газу.
- 16.25.** Після підвищення температури на 9 К тиск газу в закритому балоні збільшився на 3 %. Якою була початкова температура?
- 16.26.** Після збільшення абсолютної температури в 1,3 разу тиск газу в закритому балоні збільшився на 150 кПа. Яким був початковий тиск у балоні?
- 16.27.** Коли літнє сонце нагріло балон із газом на 15 К, показання манометра на балоні збільшилися від 19 до 20 атм. Якою була початкова температура газу в балоні?

ні? Уважайте, що манометр показує *надлишковий* над атмосферним тиск.

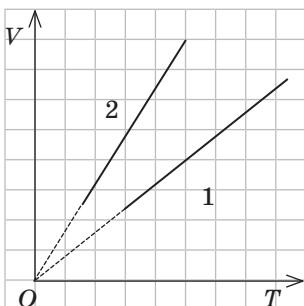
- 16.28.** Під час ізотермічного стискання об'єм газу зменшився на 5 л, а тиск збільшився в 3 рази. Яким був початковий об'єм газу?
- 16.29.** Під час ізотермічного стискання повітря в циліндрі його об'єм зменшився втрічі, а тиск збільшився на 460 кПа. Яким був початковий тиск газу?
-  **16.30.** Два балони, що мають об'єми 6 л і 14 л, містять гази за однакової температури та тисків відповідно 8 МПа і 5 МПа. Балони з'єднано трубкою з краном. Який тиск установиться в балонах, якщо відкрити кран? Температура не змінюється, гази в хімічну реакцію не вступають.
-  **16.31.** Під час надування щік і тиск, і об'єм повітря в роті зростають, а температура залишається незмінною. Чи не суперечить це рівнянню Клапейрона?
- 16.32.** Чи змінювався тиск газу, що міститься в непроникній еластичній оболонці, якщо під час нагрівання газу від 250 до 500 К його об'єм зрос в 1,5 разу?
- 16.33.** Чи змінювалася температура газу під час стискання, якщо внаслідок зменшення об'єму у 2 рази тиск зрос від 120 до 260 кПа?
- 16.34.** Тиск у балоні з газом за температури 27 °C дорівнював 6 атм. Коли балон винесли на вулицю, де температура дорівнює -23 °C, тиск зменшився до 4,6 атм. Чи не відбувся за цей час витік газу з балона?
- 16.35.** Газ міститься в сталевому балоні. Чи є тріщини в балоні, якщо під час нагрівання від 250 К до 300 К тиск у балоні змінюється від 320 кПа до 350 кПа?
- 16.36.** Компресор нагнітає повітря в резервуар ємністю 50 л, захоплюючи за кожний цикл роботи об'єм повітря 2 л. Початковий тиск у резервуарі дорівнює атмосферному. Який тиск установиться в резервуарі після

100 циклів роботи компресора? Уважайте, що температура повітря під час стискання не змінюється.

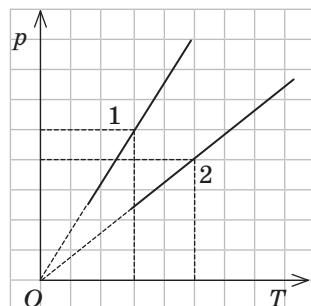
- 16.37.** Поршнєвим повітряним насосом об'ємом $V = 2$ л відкачують повітря з балона об'ємом $V_0 = 50$ л. Який тиск у балоні після $N = 100$ коливань поршня насоса, якщо початковий тиск дорівнює атмосферному? Температуру можна вважати незмінною.

- 16.38.** На рисунку зображені дві ізобари для тієї самої маси газу. Порівняйте тиски p_1 і p_2 .

- 16.39.** На рисунку зображені дві ізохори для тієї самої маси газу. Порівняйте об'єми V_1 і V_2 .



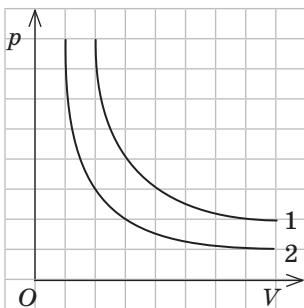
До задачі 16.38



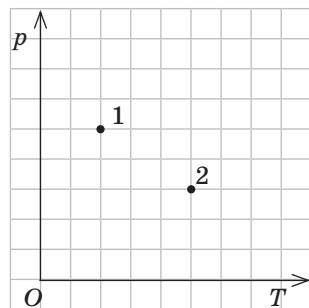
До задачі 16.39

- 16.40.** На рисунку зображені дві ізотерми для тієї самої маси газу. Порівняйте температури T_1 і T_2 .

- 16.41.** Порівняйте об'єм даної маси газу в станах 1 і 2 (див. рисунок).

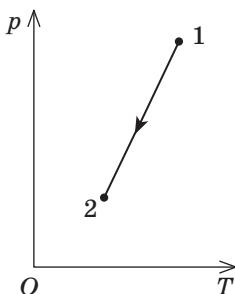


До задачі 16.40



До задачі 16.41

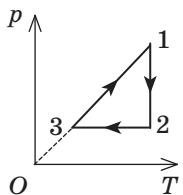
- 16.42.** Порівняйте об'єм даної маси ідеального газу в станах 1 і 2 (див. рисунок).



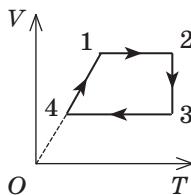
- 16.43.** Побудуйте графіки процесу, що відбувається з ідеальним газом (див. рисунок), у координатах V , T і p , V . Маса газу незмінна.

- 16.44.** Побудуйте графіки процесу, що відбувається з ідеальним газом (див. рисунок), у координатах p , V і p , T . Маса газу незмінна.

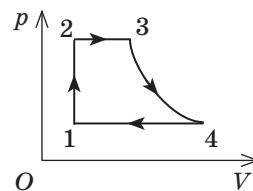
- 16.45.** Побудуйте графіки процесу, що відбувається з ідеальним газом (див. рисунок), у координатах p , T і V , T . Маса газу незмінна. Ділянка графіка 3–4 відповідає ізотермічному процесу.



До задачі 16.43



До задачі 16.44



До задачі 16.45

- 16.46.** Яка маса повітря, що займає об'єм 250 л за температури 288 К і тиску 150 кПа?

- 16.47.** На скільки зміниться маса повітря в кімнаті, якщо в результаті несправності опалювальної системи температура в кімнаті понизиться від 20 до 7 °C? Об'єм кімнати дорівнює 60 м³.

16.48. У скільки разів відрізняється за однакових умов густина вуглекислого газу (CO_2) від густини азоту (N_2)?

16.49. Знайдіть густину атмосфери Юпітера на тому рівні, де тиск дорівнює 100 кПа. Вважайте, що атмосфера цілком складається з водню (H_2), а її температура 150 К.

 **16.50.** Визначте тиск вуглекислого газу, якщо в балоні ємністю $V = 40$ л міститься $N = 5 \cdot 10^{24}$ молекул, а середня квадратична швидкість молекул становить $\bar{v}_{\text{KB}} = 400$ м/с.

16.51. Знайдіть середню квадратичну швидкість молекул кисню за нормальніх умов.

16.52. За якої температури середня квадратична швидкість атомів гелію дорівнює 1,3 км/с?

16.53. Температура повітря дорівнює -13 °С. До якої температури треба його нагріти, щоб середня кінетична енергія поступального руху молекул збільшилася на 15 %? в 1,5 разу?

16.54. Чому дорівнює тиск газу, якщо його густина 2 кг/ м^3 , а середня квадратична швидкість його молекул 600 м/с?

16.55. Молекули якого газу за температури 20 °С мають середню квадратичну швидкість 510 м/с?

16.56. У скільки разів відрізняються середні квадратичні швидкості молекул кисню й азоту у вашій кімнаті?

16.57. Яка концентрація молекул у повітрі за нормальніх умов?

 **16.58.** Одну з двох однакових посудин заповнено сухим повітрям, а іншу — вологим, яке містить водяну пару. Температури тиски в обох посудинах однакові. Яка з них легша?

3-й рівень складності

- 16.59.** Переверну відкриту колбу нагріли, закрили корком й опустили у відро з водою. Коли корок вийняли, вода заповнила 25 % об'єму колби. До якої температури було нагріто колбу, якщо температура води у відрі 20 °C?
- 16.60.** Щоб підводний човен сплив, потрібно за допомогою стисненого повітря витиснути з баластових цистерн 1 т морської води. З якої найбільшої глибини може спливати човен, маючи в запасі шість балонів стисненого повітря об'ємом по 30 л? Тиск стисненого повітря дорівнює 7 МПа, а густина морської води — 1030 кг/м³.
-  **16.61.** Щоб повітряна куля могла підняти Вінні Пуха, об'єм кулі має бути не менше $V = 25$ м³. Яка маса m Вінні Пуха, якщо повітряну кулю наповнено повітрям за температури $t_1 = 30$ °C, а температура зовнішнього повітря $t_0 = 7$ °C? Тиск повітря всередині кулі вважайте рівним атмосферному; масою оболонки повітряної кулі можна знехтувати.
- 16.62.** У скільки разів зміниться підіймальна сила повітряної кулі, якщо гелій, що її наповняє, замінити водою? Вагою оболонки кулі можна знехтувати.
- 16.63.** Горизонтальний циліндр завдовжки 20 см розділений закріпленим тонким поршнем навпіл. Ліворуч від поршня тиск газу дорівнює 400 кПа, праворуч — 100 кПа. Куди і на скільки посунеться поршень, якщо його відпустити?
-  **16.64.** Унаслідок підвищення абсолютної температури азоту у 2 рази кожна друга молекула дисоціювала на атоми. У скільки разів змінився тиск газу?
- 16.65.** У досліді Штерна прилад обертається з частотою 40 c^{-1} , радіуси внутрішнього та зовнішнього циліндрів дорівнюють відповідно 2 см і 20 см. На якій

відстані один від одного осядуть на зовнішньому циліндрі атоми срібла, що мають швидкості 200 м/с і 300 м/с?

16.66. У досліді Штерна (див. попередню задачу) зсув «середини» смужки срібла склав 17 мм. Оцініть температуру платинової нитки розжарення.

 **16.67.** Визначте середню квадратичну швидкість броунівської частинки за температури 20 °C; броунівську частинку розглядайте як кульку радіусом 3 мкм, густина якої дорівнює густині води.

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Броунівський рух — це:
 - A** хаотичний рух молекул
 - B** хаотичний рух завислих у рідині або газі частинок
 - C** хаотичний рух атомів усередині молекул
 - D** хаотичне перемішування рідин

2. Кількість речовини в 3 м³ газу за тиску 831 кПа та температури 27 °C становить:
 - A** 100 моль **B** 900 моль **C** 1000 моль **D** 9000 моль

3. Для ідеального газу даної маси добуток тиску на об'єм є стабілим під час:

A ізобарного процесу	B ізохорного процесу
C ізотермічного процесу	D будь-якого процесу

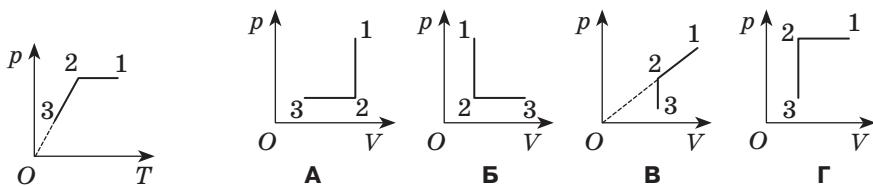
4. Середня кінетична енергія атомів аргону за температури 127 °C дорівнює:

A $5.5 \cdot 10^{-23}$ Дж	B $5,5 \cdot 10^{-21}$ Дж
C $8,3 \cdot 10^{-23}$ Дж	D $8,3 \cdot 10^{-21}$ Дж

5. Унаслідок нагрівання на 14 °C тиск газу в герметично закритому балоні збільшився на 5 %. Початкова температура газу дорівнювала:

A -7 °C	B 7 °C
C 28 °C	D 280 °C

6. На рисунку наведено графік процесу з ідеальним газом сталої маси в координатах p , T . Графік цього процесу в координатах p , V має вигляд:



17. ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ. НАСИЧЕНА ПАРА. ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ

1-й рівень складності

- ? 17.1. Що спільного між процесами випаровування та кипіння? У чому відмінність між ними?
- ? 17.2. Чим насичена пара відрізняється від ненасиченої?
- ? 17.3. Якщо закрити банку кришкою, то рівень води в ній не знижуватиметься. Чи означає це, що кришка «зупиняє» випаровування води?
- ? 17.4. Чому рідина під час випаровування охолоджується?
- ? 17.5. Чому спеку легше переносити, коли повітря сухе, а не вологе?
- ? 17.6. Яке значення має для організму виділення поту?
- ? 17.7. Температура повітря в спекотний літній день помітно вища, ніж температура води в морі. Чому ж вам холодно, коли ви виходите з води після купання?
- ? 17.8. Чому температура води, що довго перебувала у відкритій склянці, трохи нижча від температури повітря в кімнаті?
- ? 17.9. Якщо дути на гарячий чай, він швидше охолоне. Чому?

- ? 17.10.** Чому мокра білизна на вітру сохне швидше?
- ? 17.11.** У закритій посудині над водою міститься водяна пара. Що більше: внутрішня енергія 1 г води чи внутрішня енергія 1 г пари?
- 17.12.** Яка кількість теплоти потрібна, щоб випарити 20 г води, узятої за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 17.13.** Господарка забула зняти з плити посудину з водою, що вже закипіла. Википіла вода масою 0,5 кг. Яку кількість теплоти отримала вода?
- 17.14.** Яка кількість теплоти виділяється в результаті конденсації 50 г водяної пари за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 17.15.** У водяної пари за нормального атмосферного тиску та температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ відібрали кількість теплоти 690 кДж. Яка маса води утворилася в результаті конденсації пари?
- 17.16.** Визначте відносну вологість повітря, якщо тиск водяної пари в повітрі за температури $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 1,1 кПа.
- 17.17.** Яка відносна вологість повітря, якщо тиск водяної пари в повітрі за температури $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 2,4 кПа?
- 17.18.** Парціальний тиск водяної пари в повітрі за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 1,4 кПа. Визначте відносну вологість повітря.
- 17.19.** Визначте тиск водяної пари в повітрі за температури $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо відносна вологість повітря дорівнює 40 %.
- 17.20.** Відносна вологість повітря за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 70 %. Визначте тиск водяної пари в повітрі.
- 17.21.** Яка відносна вологість повітря за температури $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо тиск водяної пари в повітрі дорівнює 620 Па?
- ? 17.22.** Обидва термометри психрометра показують однакову температуру. Яка відносна вологість повітря?

2-й рівень складності

- ? 17.23.** Що відбувалося б навесні, якби значення питомої температури плавлення льоду було набагато меншим?
- ∅ ? 17.24.** Кухоль з водою плаває в каструлі з водою, що стоїть на вогні. Чи закипить вода в кухолі?
- ? 17.25.** Одну склянку доверху заповнено гарячим чаєм, а другу — гарячим жирним бульйоном за такої самої температури. Яка з рідин остигає швидше? Чому?
- ? 17.26.** У людини, яка ввійшла в тепле приміщення з морозу, запотівають окуляри. Чому?
- 17.27.** Калориметр містить воду масою 500 г, температура якої 20°C . Скільки пари з температурою 100°C потрібно впустити в калориметр, щоб підвищити температуру до 40°C ?
- 17.28.** У калориметрі міститься вода масою 300 г, температура якої 30°C . Скільки пари, що має температуру 100°C , потрібно впустити в калориметр, щоб підвищити температуру до 60°C ?
- ? 17.29.** Повітря в закритій посудині містить ненасичену водяну пару. Як змінюватиметься відносна вологість повітря під час нагрівання посудини?
- 17.30.** У повітрі об'ємом 6 m^3 за температури 19°C міститься 50 г водяної пари. Визначте відносну вологість повітря.
- 17.31.** Визначте відносну вологість повітря, у 10 л якого за температури 30°C міститься 0,2 г водяної пари.
- 17.32.** Скільки води треба випарувати, щоб відносна вологість повітря в кімнаті підвищилася від 25 до 65 %? Об'єм кімнати 60 m^3 , температура повітря 20°C .
- 17.33.** У 10 л повітря за температури 30°C міститься 0,2 г водяної пари. Яка кількість пари сконденсується, якщо за постійної температури зменшити об'єм повітря вдвічі?

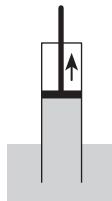
- 17.34.** У закритій посудині міститься вода за температури 20°C . Скільки води випарується, якщо відкрити кран, що з'єднує цю посудину з порожнім балоном об'ємом 50 л?
- 17.35.** Визначте густину водяної пари, якщо її парціальний тиск дорівнює 10 кПа, а температура повітря 50°C .
-  **17.36.** Визначте відносну вологість повітря за температури $t = 20^{\circ}\text{C}$, якщо точка роси становить $t_p = 15^{\circ}\text{C}$.
- 17.37.** У закритій посудині об'ємом 2 л міститься водяна пара масою 12 мг. До якої температури треба остудити посудину, щоб у ній випала роса?
- 17.38.** Чи випаде роса після охолодження повітря до 10°C , якщо за температури 18°C відносна вологість повітря дорівнює 65 %?
- 17.39.** Відносна вологість повітря в приміщенні за температури 25°C дорівнювала 70 %. Визначте масу роси, що випала з 1 м³ повітря після зниження температури до 16°C .
-  **17.40.** Протягом дня показання сухого термометра психрометра не змінювалися, а показання вологого термометра зменшувалися. Як змінювалася відносна вологість повітря?
- 17.41.** Яка відносна вологість повітря, якщо термометри психрометра показують 16 і 13°C ?
- 17.42.** Вологий термометр психрометра показує 10°C . Визначте температуру повітря, якщо його вологість становить 60 %.
- 17.43.** Відносна вологість повітря в кімнаті за температури 20°C становить 44 %. Яку температуру показує вологий термометр психрометра?
- 17.44.** Яку температуру показує вологий термометр психрометра, якщо відносна вологість у кімнаті дорівнює 61 %, а сухий термометр показує 22°C ?

- 17.45.** Який парціальний тиск водяної пари в повітрі, якщо термометри психрометра показують 18 і 12 °C?
- 17.46.** Скільки гасу буде потрібно спалити для одержання 15 л окропу з льоду, температура якого дорівнює –10 °C? ККД нагрівника 50 %.
- 17.47.** Спалюючи 200 г бензину, воду масою 8 кг нагрівають від 20 до 100 °C, причому частина води випаровується. Скільки води випарувалося, якщо ККД нагрівника дорівнює 40 %?
- 17.48.** Вода в електричному чайнику нагрівається від 20 до 100 °C за 4 хв. Скільки ще потрібно часу, щоб 20 % води перетворилося на пару? Утратами тепла можна знехтувати.
- 17.49.** У калориметрі міститься 1 л води за температури 100 °C. Скільки льоду, що має температуру 0 °C, потрібно помістити в калориметр, щоб температура в ньому понизилася до 20 °C? Теплоємність калориметра 300 Дж/К.

3-й рівень складності

- ?** 17.50. З якого боку утворюється взимку іній на шибках? Поясніть процес його утворення.
- ?** 17.51. У яку погоду утворюються бурульки? Якщо в мороз, то звідки береться вода? Якщо у відлигу, то чому вода замерзає?
- ?** 17.52. Чому в морозні дні над річкою утворюється туман?
- ?** 17.53. Чому в опалюваних приміщеннях узимку відносна вологість повітря менша, ніж на вулиці?
- ?** 17.54. У якому стані речовини її густина збільшується з підвищенням температури?
- ?** 17.55. Космонавт на поверхні Місяця відкрив ампулу з водою. Що відбуватиметься з водою?

- ?** 17.56. У теплій кухні розвішано випрану білизну. На вулиці мріячить холодний осінній дощ. Чи варто відкрити кватирку, щоб білизна висохнула швидше?
- ?** 17.57. Визначте точку роси, якщо термометри психрометра показують 20 і 17 $^{\circ}\text{C}$.
- ?** 17.58. Чи може вода кипіти за температури 90 $^{\circ}\text{C}$? 50 $^{\circ}\text{C}$? Якщо може, то за яких умов?
- 17.59. Скільки води википіло із забутого на плиті чайника, якщо в кухні на стінах і стелі з'явилися крапельки води? Площа кухні 8 m^2 , висота 3 m ; температура повітря дорівнює 20 $^{\circ}\text{C}$, а початкова відносна вологість 70% . Двері та вікно щільно зачинені.
- 17.60. У полірований металевий чайник налили холодну воду. Чайник «запотів». За якої температури води «запотівання» зникне? Температура повітря в кімнаті 20 $^{\circ}\text{C}$, відносна вологість 70% .
- 17.61. За температури 81 $^{\circ}\text{C}$ тиск насиченої водяної пари дорівнює 50 kPa . У скільки разів збільшиться цей тиск унаслідок підвищення температури до 100 $^{\circ}\text{C}$?
- 17.62. Холодна вода може піднятися за поршнем у трубці на висоту до 10 m (див. рисунок). На яку висоту можна підняти в такий спосіб воду, температура якої дорівнює: а) 90 $^{\circ}\text{C}$; б) 100 $^{\circ}\text{C}$?



- 17.63. Визначте густину насиченої водяної пари за температурі 100 $^{\circ}\text{C}$.

18. ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ. ЗМОЧУВАННЯ. КАПІЛЯРНІ ЯВИЩА*

1-й рівень складності

- ? 18.1. Чому в стані невагомості краплі будь-якої рідини приймають сферичну форму?
- ? 18.2. Для одержання мисливського шроту тонкі струмени розплавленого свинцю виливають з високої вежі у воду. На поверхню води падають уже затверділі свинцеві кульки. Поясніть, на чому ґрунтуються цей метод.
- ? 18.3. У якому випадку рідину можна налити в склянку вище країв?
- ? 18.4. З мокрого піску можна зліпити фігурку, а з сухого — ні. Чому?
- ? 18.5. Спробуйте зробити запис на масному папері. Чому це важко?

2-й рівень складності

- ? 18.6. Чому розпушування ґрунту сприяє збереженню в ньому вологи?
- ? 18.7. Чому крихітні краплі туману мають сферичну форму, а форма великих крапель дощу трохи відрізняється від сферичної?
- ? 18.8. Опустіть у воду пензлик. Що відбувається з його волосками у воді? після виймання пензлика з води? Поясніть ці явища.
- ? 18.9. Збільшується чи зменшується поверхневий натяг води внаслідок розчинення в ній прального порошку?
- ? 18.10. На поверхні води плаває дрібна деревна тирса. Як вона поведеться, якщо торкнутися поверхні води

* В усіх задачах цього розділу змочування або незмочування вважаються повними. Поверхня скла вважається чистою, тобто її змочує вода.

шматочком мила? цукру? Поверхневий натяг у розчину цукру більший, ніж у чистої води.

? 18.11. Чи мають фарба або лак змочувати поверхню, на яку їх наносять?

? 18.12. Перед паянням поверхні ретельно знежириють і очищають від бруду й оксидів. Навіщо це роблять?

? 18.13. На рисунку показано форму поверхні води біля стінок двох склянок. Яку з цих склянок ретельно вимили миючим засобом?



? 18.14. Тонка сталева голка може «лежати» на поверхні води. Чи вдається цей експеримент, якщо перед ним голку ретельно протерти одеколоном?

? 18.15. Якщо покласти шматок крейди на вологу губку, він просочиться водою; якщо ж після цього покласти його на суху губку, та залишиться сухою. Чому?

? 18.16. Яка тканина більше підходить для намету — змочувана водою чи незмочувана?

? 18.17. Чому рушники не шиють із шовку?

18.18. Прямий дріт завдовжки 10 см лежить на поверхні рідини. По один бік від нього міститься чиста вода, по іншій — мильний розчин. Яку горизонтальну силу потрібно прикласти до дроту, щоб утримувати його на місці?

18.19. Підвішено на нитках дротову прямокутну рамку зі сторонами 10 і 15 см занурюють у воду. Яку силу необхідно прикласти для відриву рамки від поверхні води, якщо маса рамки дорівнює 2,5 г? Уважайте, що рамка весь час залишається горизонтальною.

- 18.20.** Дротове кільце масою 1,5 г і діаметром 5 см відривається за допомогою динамометра від поверхні рідини. Динамометр у момент відриву показує 50 мН. Чому дорівнює поверхневий натяг рідини?
- 18.21.** Із круглої дірочки в дні посудини капає рідина. Маса 100 крапель виявилася рівною 2 г. Який поверхневий натяг рідини, якщо діаметр шийки краплі перед відривом дорівнює 1,2 мм?
- 18.22.** Знайдіть масу води, що піднялася по капіляру діаметром 0,64 мм.
- 18.23.** Знайдіть висоту капілярного підйому мильного розчину, якщо радіус капіляра дорівнює 0,5 мм. Густину мильного розчину вважайте рівною густині води.
- 18.24.** Густина рідини, що змочує стінки капіляра радіусом 0,2 мм, дорівнює $960 \text{ кг}/\text{м}^3$. Визначте висоту капілярного підйому рідини в капілярі, якщо поверхневий натяг цієї рідини дорівнює 36 мН/м.
- 18.25.** За якого радіуса скляного капіляра вода підніметься в ньому на 8 см?
- ? 18.26.** За допомогою якого експерименту можна оцінити товщину капілярів у фільтрувальному папері? Здійсніть цей експеримент.

3-й рівень складності

- ? 18.27.** За рахунок якої енергії піднімається рідина в капілярі?
- ? 18.28.** З нещільно закритого крана самовара падають краплі. Коли ці краплі крупніші: коли вода гаряча чи коли вона остигла?
- ? 18.29.** Вода легша за пісок. Чому ж вітер може здійняти хмару піску, але дуже мало водяних бризок?
- ? 18.30.** Космонавт у стані невагомості відкриває дві скляні пробірки: одну з гасом, іншу зі ртуттю. Як поведуться рідини?

-  **18.31.** Кубик масою $m=3$ г, що змочується водою, плаває на поверхні води. Довжина ребра кубика $a=3$ см. На якій глибині h перебуває нижня грань кубика, якщо вона горизонтальна?
- 18.32.** На поверхні води плаває кубик, що змочується водою, з довжиною ребра 2 см. Верхня грань кубика горизонтальна. На скільки зміниться глибина занурення кубика, якщо його натерти парафіном?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- Об'єм насиченої пари зменшили вдвічі за незмінної температури. Тиск пари:
A не змінився **B** збільшився у 2 рази
B зменшився у 2 рази **G** збільшився в 4 рази
- Парціальний тиск водяної пари в повітрі за температури 25 °C становить 1,9 кПа. Відносна вологість повітря дорівнює:
A 45 % **B** 50 % **C** 55 % **D** 60 %
- Термометри психрометра показують 22 і 15 °C. Відносна вологість повітря дорівнює:
A 41 % **B** 47 % **C** 51 % **D** 54 %
- Із дроту завдовжки 20 см зробили квадратну дротову рамку. Її опустили в мильний розчин і дістали, після чого в рамці утворилася мильна плівка. Вона діє на кожну сторону рамки з силою:
A 2 мН **B** 4 мН **C** 8 мН **D** 16 мН
- У скляному капілярі діаметром 0,5 мм вода піdnімається на:
A 2,9 мм **B** 5,8 мм **C** 29 мм **D** 58 мм
- З нещільно закритого крана кожні 2 с в мензурку падає крапля гліцеролу (його густина дорівнює 1260 кг/м³). Діаметр шийки краплі перед відривом дорівнює 2,4 мм. Через 7 хв набирається 8 мл рідини. Поверхневий натяг гліцеролу приблизно дорівнює:
A 32 мН/м **B** 45 мН/м **C** 64 мН/м **D** 72 мН/м

19. ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ. ТЕПЛОВЕ РОЗШИРЕННЯ

1-й рівень складності

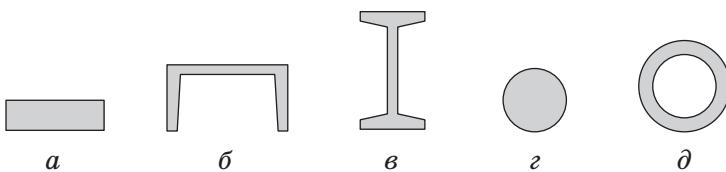
- ?** 19.1. Олово легко розплавити. Чому ж не можна видувати з нього вироби, як це роблять зі скла?
- ?** 19.2. Колби деяких ламп роблять із прозорого сапфіра (Al_2O_3). Чому їх не видувають, як скляні вироби, а вирощують з розплаву?
- ?** 19.3. Які факти свідчать, що скло — аморфна речовина, а кухонна сіль — кристалічна?
- ?** 19.4. Які види деформацій виникають у стіні будинку, плити міжповерхового перекриття, тросі ліфта, сидінні стільця?
- ?** 19.5. Якої деформації зазнає стрижень зачиненої дверної клямки, коли двері намагаються відчинити?
- 19.6. До мідного дроту з площею поперечного перерізу $0,5 \text{ mm}^2$ підвішений вантаж масою 5 кг. Знайдіть механічну напругу в дроті і його відносне видовження.
- 19.7. Під дією якої сили, напрямленої вздовж осі стрижня, у ньому виникає напруга 150 МПа? Діаметр стрижня дорівнює 0,4 см.
- 19.8. Чи витримає мідний дріт із площею поперечного перерізу 2 mm^2 вантаж масою 20 кг?
- 19.9. Яка границя міцності металу, якщо виготовлений із цього металу дріт із поперечним перерізом $0,5 \text{ mm}^2$ рветься під дією вантажу масою 10 кг?

2-й рівень складності

- ?** 19.10. Чи всім кристалам властива анізотропія?
- ?** 19.11. Чому найчастіше кристалізація рідини спричиняє утворення полікристала? За якої умови кристалізація спричиняє утворення монокристала?

? 19.12. Чому раму велосипеда виготовляють з металевих трубок, а не із суцільних стрижнів? На який тип деформації (головним чином) розраховано таку конструкцію?

? 19.13. На рисунку показано різні профілі будівельних конструкцій (випадок *б* — швелер, випадок *в* — двотавр). Усі вони виготовлені з одного сорту сталі, мають однакову довжину й однакову масу. Які з цих профілів найкраще «працюють» на вигин? на стискання?



? 19.14. У багатьох конструкціях заміна суцільних стрижнів на трубки дозволяє заощадити матеріали і полегшити конструкцію без зменшення її міцності. Чи можна замінити тонкостінними трубками суцільні колони? палі? трос ліфта?

19.15. Який максимальний вантаж можна підвісити до трося, що складається з 250 сталевих дротів діаметром 0,8 мм?

19.16. Якщо до кінців дроту завдовжки 2 м і площею поперечного перерізу 2 mm^2 прикласти дві протилежно напрямлені сили по 100 Н, дріт подовжується на 0,5 мм. Знайдіть модуль Юнга металу, з якого виготовлено дріт.

19.17. Довжина алюмінієвого дроту внаслідок розтягнення збільшилася від 160 до 160,1 см. Визначте механічну напругу в дроті.

19.18. До сталевого дроту завдовжки 1 м із площею поперечного перерізу $0,5 \text{ mm}^2$ підвішено вантаж масою 15 кг. Знайдіть механічну напругу в дроті, його відносне абсолютне видовження.

- 19.19.** Під дією підвішеного вантажу довжина алюмінієвого дроту збільшилася на 0,5 мм. На скільки збільшиться довжина такого самого за розмірами мідного дроту, якщо підвісити до нього цей вантаж?
- 19.20.** Довжина мідного стрижня за температури 0 °C становить 60 см. На скільки збільшиться ця довжина внаслідок нагрівання до 80 °C?
- 19.21.** До якої температури треба нагріти залізний стрижень завдовжки 1 м, щоб його довжина збільшилася на 1,8 мм? Початкова температура стрижня становить 0 °C.
- ? 19.22.** Чому під час спеки забороняють проїзд дуже важких автомобілів по асфальтованим дорогам?
- ? 19.23.** Чому під час нагрівання осколка скла його гострі краї «обпливають» (набувають округлої форми)?
- ? 19.24.** Чому посуд для дослідів з гарячими рідинами виготовляють з тонкого скла?
- ? 19.25.** Які речовини мають одночасно такі властивості, як плинність і анізотропія?
- ? 19.26.** Як можна змінювати властивості рідких кристалів?
- ? 19.27.** Які основні переваги рідокристалічних екранів?

3-й рівень складності

- 19.28.** Якою має бути площа поперечного перерізу сталевого троса ліфта, якщо ліфт масою 500 кг може рухатися з прискоренням до $1 \text{ м}/\text{s}^2$? Запас міцності троса $n=10$, тобто припустима механічна напруга в 10 разів менша від границі міцності сталі.
- 19.29.** Яким має бути діаметр сталевого стрижня гака підйомального крана, якщо вантажопідйомність крана 2 т, а припустиме прискорення вантажу дорівнює $4 \text{ м}/\text{s}^2$?
- 19.30.** Яка механічна напруга матеріалу поблизу основи сталевого димаря заввишки 50 м? Уважайте димар циліндричним.

- 19.31.** За якої довжини алюмінієвий дріт, підвішений вертикально, рветься під власною вагою?
- 19.32.** Трос зі сталевого дроту використовують для спуску глибоководного апарату в морські глибини. Яка найбільша глибина занурення апарату?
- 19.33.** Мідний брускок за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ має розміри $10 \times 15 \times 20$ см. На скільки збільшиться об'єм бруска внаслідок нагрівання до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 19.34.** До якої температури треба нагріти залізну кульку, щоб її об'єм збільшився на 1 %? Початкова температура кульки становить $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

20. ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ. АДІАБАТНИЙ ПРОЦЕС

1-й рівень складності

- ? 20.1.** Від яких фізичних величин залежить внутрішня енергія газу?
- ? 20.2.** Як зміниться внутрішня енергія цеглини, якщо її помістити в гарячу піч? підняти з першого поверху на другий?
- ? 20.3.** Під час якого процесу внутрішня енергія газу не змінюється?
- ? 20.4.** Чи можна підвищити температуру тіла, не передаючи йому тепла?
- ? 20.5.** Шматок м'якого дроту кілька разів зігнули і розігнули. В яку форму перейшла витрачена на це енергія?
- ? 20.6.** У якому процесі газ, одержуючи тепло, не змінює температуру?
- ? 20.7.** У якому випадку робота газу від'ємна?
- 20.8.** Яку роботу виконав газ під час ізобарного збільшення об'єму від 35 до 50 л? Тиск газу дорівнює 200 кПа.

- 20.9.** Газ, що займав об'єм 8 л, розширився до об'єму 34 л за сталого тиску 500 кПа. Яку роботу виконав газ?
- 20.10.** Яку роботу виконав газ під час ізобарного збільшення об'єму від 27 до 37 л? Тиск газу дорівнює 300 кПа.
- 20.11.** Визначте внутрішню енергію 10 моль одноатомного газу за температури 27 °С.
- 20.12.** Яка внутрішня енергія аргону масою 0,4 кг за температури –23 °С?
- 20.13.** На скільки змінилася внутрішня енергія газу, якщо йому надали кількість теплоти 15 кДж і виконали над ним роботу 25 кДж?
- 20.14.** На скільки змінилася внутрішня енергія газу, що виконав роботу 50 кДж, одержавши кількість теплоти 85 кДж?
- 20.15.** Яку кількість теплоти потрібно передати газу, щоб його внутрішня енергія збільшилася на 15 Дж і при цьому газ виконав роботу 25 Дж?
- 20.16.** Над газом було виконано роботу 55 Дж, при цьому його внутрішня енергія збільшилася на 15 Дж. Отримав чи віддав тепло газ у цьому процесі? Яку саме кількість теплоти?
- ? 20.17.** У якому процесі газ віddaє тепло, не змінюючи своєї внутрішньої енергії?
- 20.18.** У ході ізотермічного розширення газу було надано кількість теплоти 300 Дж. Яку роботу виконав газ?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Для ізобарного нагрівання 20 моль газу на 200 К йому передали кількість теплоти 83 кДж. Яку роботу виконав газ? Визначте зміну його внутрішньої енергії.

Розв'язання. Під час ізобарного нагрівання газ виконав роботу $A_r = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1$.

З огляду на рівняння Менделєєва — Клапейрона $pV = \nu RT$ можна записати: $A_{\text{г}} = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R \Delta T$.

З першого закону термодинаміки одержуємо $\Delta U = Q - A_{\text{г}}$.

Перевіримо одиниці величин: $[A_{\text{г}}] = \text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}$.

Визначимо числові значення величин:

$A_{\text{г}} = 20 \cdot 8,3 \cdot 200 \approx 3,3 \cdot 10^4$ (Дж), $\Delta U = 83 - 33 = 50$ (кДж).

Відповідь: 33 кДж; 50 кДж.

20.19. Один моль пари ртуті та один моль гелію мають однукову температуру. Порівняйте внутрішні енергії обох газів.

20.20. Один грам пари ртуті та один грам гелію мають однукову температуру. Який із газів має більшу внутрішню енергію? У скільки разів?

20.21. Яка внутрішня енергія аргону в балоні місткістю 50 л, якщо тиск газу дорівнює 1 МПа?

20.22. Під час зменшення об'єму одноатомного газу в 4 рази тиск цього газу збільшився в 5 разів. У скільки разів змінилася внутрішня енергія газу?

? **20.23.** У надувній кульці і сталевому балоні містяться однакові маси повітря. В якому випадку для підвищення температури повітря на 1 К буде потрібна більша кількість теплоти?

? **20.24.** У яких процесах газ не виконує роботи: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізохорне охолодження; г) ізобарне стискання?

? **20.25.** У яких процесах внутрішня енергія газу не змінюється: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізотермічне розширення; г) ізохорне охолодження; д) адіабатне стискання?

? **20.26.** У яких процесах газ не одержує тепла та не віддає його: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізотермічне розширення; г) ізохорне охолодження; д) адіабатне стискання?

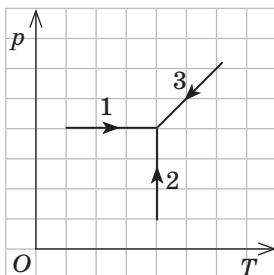
? 20.27. Під час яких із зазначених процесів газ виконує додатну роботу: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізотермічне стискання; г) адіабатне розширення?

? 20.28. Під час яких із зазначених процесів газ одержує тепло: а) ізохорне нагрівання; б) ізобарне нагрівання; в) ізотермічне стискання; г) адіабатне розширення?

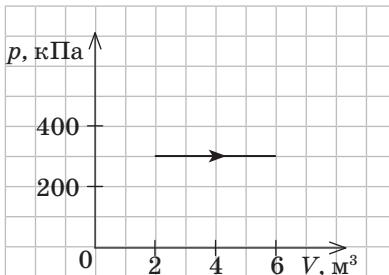
? 20.29. У якому процесі вся отримана газом кількість теплоти йде на збільшення його внутрішньої енергії?

∅ 20.30. Після вмикання опалення повітря в кімнаті нагрілося від температури $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температури $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. У скільки разів змінилася внутрішня енергія повітря, що міститься в кімнаті?

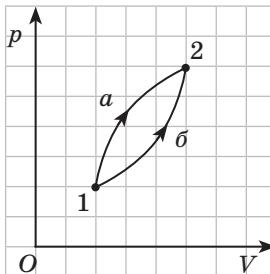
20.31. На рисунку наведено графіки декількох процесів з газом даної маси. Чи можете ви вказати процес (процеси), під час якого робота газу: а) додатна; б) від'ємна; в) дорівнює нулю?



20.32. На рисунку показано ізобару газу в координатах p , V . Визначте роботу, виконану газом у процесі розширення.



- 20.33.** Газ можна перевести зі стану 1 у стан 2 двома способами (див. рисунок). У якому випадку виконується більша робота? Унаслідок якого процесу зміна внутрішньої енергії газу більша?

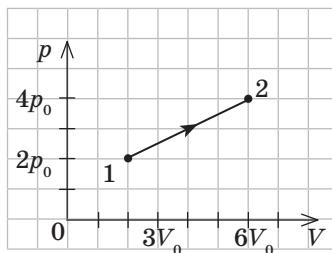


- 20.34.** У вертикальному циліндрі під поршнем, що може переміщатися без тертя, перебуває повітря масою 29 г. Яку роботу виконає повітря під час підвищення температури на 100 К? Повітря розглядайте як газ із молярною масою 0,029 кг/моль.
- 20.35.** Яку роботу виконує водень масою 6 г під час ізобарного підвищення температури на 60 К?
- 20.36.** Яку роботу виконує газ під час ізобарного нагрівання на 50 К, якщо кількість речовини в газі дорівнює 5 моль?
- 20.37.** Під час адіабатного стискання 5 моль одноатомного газу його температура підвищилася на 20 К. Яку роботу виконано над газом?
- 20.38.** Газ, що займав об'єм 560 л за температури 280 К, нагріли до 295 К. Визначте роботу, виконану газом, якщо процес відбувався за сталого тиску 1 МПа.
- 20.39.** Одноатомному газу ($v=2$ моль) передали кількість теплоти 1,2 кДж. Газ виконав роботу 600 Дж. На скільки змінилася температура газу?
- ? 20.40.** Чому питома теплоємність газу за постійного тиску помітно більша, ніж питома теплоємність за постійного об'єму? Чому для рідин і твердих тіл обидві ці величини практично одинакові?

- ? 20.41.** Об'єм даної маси газу треба збільшити у 2 рази. Під час якого розширення газ виконає більшу роботу: ізотермічного чи ізобарного?
- 20.42.** Під час ізобарного нагрівання об'єм гелію збільшився в 3 рази. Яку роботу виконав газ? Яку кількість теплоти йому передано? Маса гелію 12 г, початкова температура -123°C .
- ? 20.43.** Якщо відкрити вентиль балона зі стисненим газом, балон навіть улітку може покритися інеєм. Поясніть це явище.
- ? 20.44.** Паливо, що впорскують у циліндр дизельного двигуна, спалахує без електричної іскри внаслідок високої температури повітря в циліндрі (блізько 700°C). Унаслідок чого повітря так сильно нагрівається?

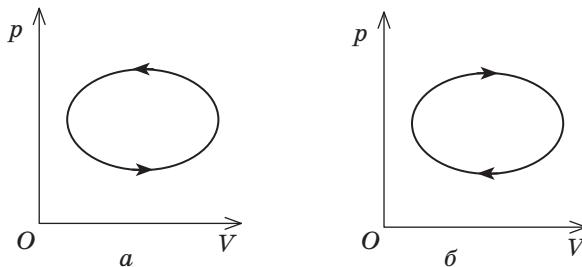
3-й рівень складності

- 20.45.** Яка частка кількості теплоти, наданої гелію під час ізобарного розширення, витрачається на виконання роботи?
- ? 20.46.** Об'єм газу зменшують у 2 рази: одного разу — швидко, а іншого — повільно. У якому випадку: а) відразу після стискання тиск газу більший; б) під час стискання виконали більшу роботу? Чому?
- 20.47.** У циліндрі під поршнем міститься газ масою 20 г. Для підвищення температури газу на 10 K необхідна така кількість теплоти: 130 Дж, якщо поршень закріплений, і 182 Дж у випадку незакріпленого поршня. Який це може бути газ?
- 20.48.** Яку роботу виконав одноатомний газ у показаному на рисунку процесі? Яку кількість теплоти отримав газ?

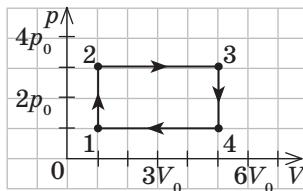




- 20.49.** У якому з циклічних процесів (див. рисунок) газ виконує додатну роботу, а в якому — від'ємну?

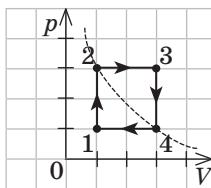


- 20.50.** З одноатомним ідеальним газом відбувається циклічний процес (див. рисунок). Знайдіть для кожного з етапів циклу виконану газом роботу A та кількість отриманої чи відданої теплоти Q .



Задача для допитливих

- 20.51.** Один моль ідеального газу здійснює замкнений процес, що складається з двох ізохор і двох ізобар. Температура в стані 1 дорівнює T_1 , у стані 3 — T_3 . Визначте роботу газу за цикл, якщо точки 2 і 4 лежать на одній ізотермі.



21. ДРУГИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ. ТЕПЛОВІ МАШИНІ

1-й рівень складності

- ? 21.1. Які процеси називають оборотними?
- ? 21.2. Наведіть приклади відомих вам оборотних процесів.
- ? 21.3. З чого складається будь-який тепловий двигун?
- ? 21.4. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи теплового двигуна?
- ? 21.5. Що є нагрівником і що — холодильником: а) в автомобільному двигуні; б) у двигуні теплохода; в) у реактивному двигуні літака?
- ? 21.6. Чи залежить ККД автомобільного двигуна від температури зовнішнього повітря?
- 21.7. Унаслідок згоряння палива в тепловому двигуні виділилася кількість теплоти 200 кДж , а холодильнику передано кількість теплоти 120 кДж . Знайдіть ККД теплового двигуна.
- 21.8. Який ККД теплового двигуна, якщо робоче тіло, одержавши від нагрівника кількість теплоти $1,6 \text{ МДж}$, виконало роботу 400 кДж ? Яку кількість теплоти передано холодильнику?
- 21.9. Виконавши корисну роботу 270 кДж , тепловий двигун передав холодильнику кількість теплоти 630 кДж . Який ККД теплового двигуна?
- 21.10. Газ у круговому процесі віддав холодильнику $2/3$ кількості теплоти, отриманої від нагрівника. Який ККД циклу?
- 21.11. Тепловий двигун виконав корисну роботу 120 кДж . Яка кількість енергії виділилася внаслідок повного згоряння палива, якщо ККД двигуна 25% ?

- 21.12.** Який ККД ідеальної теплової машини, якщо температура нагрівника дорівнює 347 °C, а температура холодильника 37 °C?
- 21.13.** Який ККД ідеальної теплової машини, якщо температура нагрівника 387 °C, а температура холодильника 27 °C?
- 21.14.** Температура нагрівника ідеальної теплової машини дорівнює 477 °C. Якою має бути температура холодильника, щоб ККД машини перевищував 80 % ?
- 21.15.** Тепловий двигун, що працює за температури нагрівника 527 °C і температури холодильника 17 °C, має ККД 30 %. У скільки разів ККД цього двигуна менший, ніж ККД ідеального теплового двигуна за тих самих температур нагрівника і холодильника?

2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Двигун потужністю $N = 5$ кВт витрачає щогодини $V = 2,5$ л бензину. Визначте ККД двигуна.

Розв'язання. ККД двигуна визначається співвідношенням $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q} \cdot 100\%$. Корисна робота $A_{\text{кор}} = Nt$; маса витраченого бензину $m = \rho V$, а теплота його згоряння $Q = qm$. Тут ρ , q — відповідно густина та питома теплота згоряння бензину. Звідси $\eta = \frac{Nt}{q\rho V} \cdot 100\%$.

Перевіримо одиниці величин: $[\eta] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} \cdot \% = \%.$

Підставимо числові значення величин у СІ:

$$\eta = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 3600}{4,6 \cdot 10^7 \cdot 700 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 22\%.$$

Відповідь: $\eta = 22\%$.

- ?** **21.16.** Які перетворення енергії «заборонені» відповідно до другого закону термодинаміки?

- ? 21.17.** Чому в теплових двигунах не вдається використати внутрішню енергію Світового океану?
- ? 21.18.** Чи можна було б користуватися вітряними двигунами, якби температура атмосферного повітря була скрізь однаковою?
- 21.19.** Який ККД теплового двигуна потужністю 50 кВт, якщо за 10 с він передав навколошньому середовищу кількість теплоти 1 МДж?
- 21.20.** Тепловий двигун витратив 9 кг гасу за 3 год. Яка потужність цього двигуна, якщо його ККД дорівнює 25 %?
- 21.21.** Тепловий двигун потужністю 19 кВт за 5 год роботи витратив 20 кг гасу. Визначте ККД цього двигуна.
- 21.22.** На катері встановлений дизельний двигун потужністю 80 кВт із ККД 30 %. На скільки кілометрів шляху йому вистачить 1 т дизельного палива за швидкості руху 20 км/год?
- 21.23.** Під час роботи кондиціонера, установленого в кімнаті, у навколошньому середовищі було «викинуто» кількість теплоти 200 кДж. На скільки зменшилася внутрішня енергія всіх тіл у кімнаті, якщо за цей час кондиціонер витратив 50 кДж електроенергії?
- 21.24.** Холодильник за певний час відібрав у вмісту холодильної шафи кількість теплоти 60 кДж і передав повітря в кімнаті кількість теплоти 75 кДж. Скільки електроенергії витратив холодильник за цей час?

3-й рівень складності

- ? 21.25.** Чи можлива передача тепла від тіла з меншою температурою до тіла з більшою? Якщо можлива, то за якої умови?
- ? 21.26.** Як зміниться температура в кімнаті, якщо надовго відкрити дверцята працюючого холодильника?

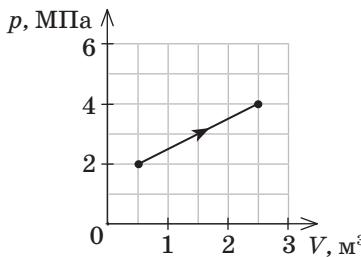
21.27. Температура нагрівника ідеального теплового двигуна дорівнює 127°C , а температура холодильника 7°C . Яким стане ККД цього двигуна, якщо: а) на 20°C позити температуру холодильника; б) на 20°C підвищити температуру нагрівника?

21.28. Скільки літрів бензину витратить автомобіль маючи 800 кг на шляху завдовжки 500 км, якщо ККД двигуна 25 %, а середня сила опору рухові дорівнює 0,06 від ваги автомобіля?

21.29. Реактивний двигун літака, що летить зі швидкістю 900 км/год, розвиває силу тяги 45 кН. Визначте витрату гасу за 1 год польоту, якщо ККД двигуна становить 20 %.

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- Газ отримав кількість теплоти 95 Дж і розширився, виконавши роботу 35 Дж. У цьому процесі його внутрішня енергія:
A збільшилася на 130 Дж **B** зменшилася на 130 Дж
B збільшилася на 60 Дж **G** зменшилася на 60 Дж
- Внутрішня енергія ідеального газу не змінюється під час:
A адіабатного процесу **B** ізобарного процесу
B ізохорного процесу **G** ізотермічного процесу
- Метан (CH_4) масою 960 г під час ізобарного нагрівання на 20 K виконує роботу:
A 10 кДж **B** 15 кДж **B** 25 кДж **G** 35 кДж
- На рисунку наведено графік процесу з одноатомним ідеальним газом. Протягом цього процесу газ виконав роботу:
 На рисунку наведено графік процесу з одноатомним ідеальним газом. Протягом цього процесу газ виконав роботу:



- A** 2 МДж **B** 4 МДж **B** 3 МДж **G** 6 МДж

5. Температура нагрівника ідеальної теплової машини дорівнює 147°C , а температура холодильника становить 7°C . ККД цієї теплової машини дорівнює приблизно:
A 5 % **B** 33 % **C** 67 % **D** 95 %
6. За допомогою транспортера з бензиновим двигуном підняли вантаж масою 2,3 т на висоту 10 м. Визначте масу витраченого бензину, якщо ККД транспортера становить 25 %.
A 2 г **B** 5 г **C** 20 г **D** 50 г

22. НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ*

1-й рівень складності

22.1. Дві однакові металеві кульки мають заряди 12×10^{-18} нКл. Якими стануть заряди кульок, якщо вони торкнуться одна одної?

22.2. З якою силою взаємодіяли б у вакуумі два точкових заряди по 1 Кл на відстані 1 м?

22.3. Чи може модуль електричного заряду тіла дорівнювати $6 \cdot 10^{-20}$ Кл? $2 \cdot 10^{-19}$ Кл? $4,8 \cdot 10^{-18}$ Кл?

? 22.4. Доторкнувшись позитивно зарядженою скляною паличкою до сталевої кульки, ми передаємо їй позитивний заряд. Які елементарні частинки і куди при цьому переміщаються?

? 22.5. Якщо піднести на нитці заряджену станіолеву гільзу до незарядженої, то вони спочатку притягнуться одна до одної, а після дотику відштовхнуться. Поясніть це явище.

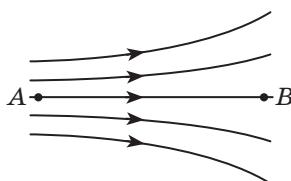
? 22.6. Як зарядити дві металеві кульки однаковими за модулем, але різними за знаком зарядами?

22.7. Дві маленькі заряджені кульки притягаються з силою 3 мН. Якою стане сила притягання, якщо кожна з кульок втратить половину свого заряду?

* Якщо не зазначено, у якому середовищі перебувають заряди, тут і надалі вважайте, що вони перебувають у вакуумі.

- 22.8.** З якою силою взаємодіють два точкових заряди 2 і 4 нКл, що розташовані на відстані 3 см?
- 22.9.** З якою силою взаємодіють два точкових заряди 2 і 4 нКл, що розташовані на відстані 3 см у воді? у гасі?
- 22.10.** Дві маленькі краплі, розташовані на відстані 1 см одна від одної, відштовхуються з силою 0,9 мН. Заряд першої краплі дорівнює 5 нКл. Визначте заряд другої краплі.
- 22.11.** Два однакових точкових заряди, розташовані на відстані 9 см, відштовхуються з силами 1 мН. Які модулі зарядів?
- 22.12.** Два однакових точкових заряди, розташовані на відстані 9 см один від одного у воді, відштовхуються з силами 1 мН. Які модулі зарядів?
- 22.13.** На якій відстані один від одного два точкових заряди по 4 нКл відштовхуються з силою 0,36 мН?
- 22.14.** На якій відстані один від одного точкові заряди 5 і -5 нКл притягаються з силою 90 мкН?
- ? 22.15.** Що вам відомо про напрям напруженості поля позитивного заряду? негативного заряду?
- ? 22.16.** У якому випадку напрям діючої на частинку кулонівської сили протилежний до напряму напруженості електричного поля?
- 22.17.** На точковий заряд 1 нКл у певній точці електричного поля діє сила 2 мкН. Яка напруженість поля в цій точці?
- 22.18.** На точковий заряд 4 нКл у певній точці електричного поля діє сила 18 мкН. Яка напруженість поля в цій точці?
- 22.19.** Тіло із зарядом 2 нКл помістили в електричне поле з напруженістю 2 кН/Кл. З якою силою поле діє на тіло?

- 22.20.** Напруженість електричного поля дорівнює 6 кН/Кл. З якою силою електричне поле діє на заряд 7 мкКл?
- 22.21.** Який заряд має порошінка масою 0,1 мг, яка «висить» у напрямленому вгору електростатичному полі напруженістю 1 кН/Кл?
- 22.22.** З яким прискоренням рухається протон в електричному полі з напруженістю 40 кН/Кл?
- 22.23.** Визначте прискорення електрона в електричному полі з напруженістю 910 Н/Кл.
- 22.24.** У скільки разів зміниться напруженість поля точкового заряду, якщо збільшити відстань до заряду в 3 рази?
- 22.25.** Визначте напруженість електростатичного поля точкового заряду 40 нКл на відстанях 8 і 16 см від заряду.
- 22.26.** Визначте напруженість електричного поля протона на відстані 0,1 нм від нього.
- 22.27.** На якій відстані від точковорого заряду 12 нКл напруженість його електричного поля дорівнює 30 кН/Кл?
- 22.28.** Точковий заряд 2 нКл перебуває в гасі. Яка напруженість поля цього заряду на відстані 1 см від нього?
- 22.29.** На якій відстані від заряду 10 нКл у масилі напруженість поля дорівнює 10 кН/Кл?
- 22.30.** На рисунку показано лінії напруженості електричного поля. Порівняйте напруженості поля в точках A і B.



2-й рівень складності

Приклад розв'язування задачі

Заряди двох однакових маленьких металевих кульок дорівнюють -2 нКл і $+10 \text{ нКл}$. Кульки торкнулися одна до одної, після чого їх розвели на початкову відстань. У скільки разів змінився модуль сили взаємодії між ними?

Дано:

$$q_1 = -2 \text{ нКл} = -2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 10 \text{ нКл} = 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$\frac{F_0}{F} = ?$$

Розв'язання

Позначимо відстань між кульками r .

Тоді початкова сила взаємодії між ними $F_0 = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$, а кінцева

$F = k \cdot \frac{q^2}{r^2}$. Тут q — заряд кожної з кульок після дотику.

За законом збереження заряду $2q = q_1 + q_2$.

$$\text{Отже, } \frac{F_0}{F} = \frac{4|q_1| \cdot |q_2|}{(q_1 + q_2)^2}.$$

$$\text{Перевіримо одиниці: } \left[\frac{F_0}{F} \right] = \frac{\text{Кл}^2}{\text{Кл}^2} = 1.$$

Підставимо числові значення величин:

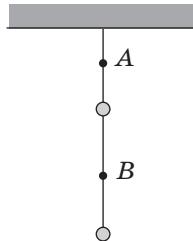
$$\frac{F_0}{F} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-8}}{(-2 \cdot 10^{-9} + 10^{-8})^2} = 1,25.$$

Відповідь: модуль сили взаємодії кульок зменшився в 1,25 разу.

- 22.31.** Дві нейтральні порошинки розташовані на відстані 10 см одна від одної. Якою буде сила взаємодії між ними, якщо десять мільярдів електронів перенести з однієї порошинки на іншу?

- 22.32.** Скільки електронів треба «перенести» з однієї порошинки на іншу, щоб сила кулонівського притягання між порошинками на відстані 1 см дорівнювала 10 мкН?

- 22.33.** У скільки разів сила кулонівського відштовхування між електронами в електронному пучку більша, ніж сила гравітаційного притягання між ними?
- 22.34.** Дві кулі мають маси по 10 г. Які однакові заряди необхідно надати цим кулям, щоб кулонівське відштовхування зрівноважило гравітаційне притягання? Відстань між кулями велика порівняно з їхніми радіусами.
- 22.35.** Заряди двох однакових маленьких металевих кульок дорівнюють 18 і -24 нКл . Кульки торкнулися одна до одної, після чого їх розвели на початкову відстань. У скільки разів змінився модуль сили взаємодії між ними?
- 22.36.** Дві однакові маленькі провідні кульки, які мають електричні заряди 9 і -1 нКл , торкнулися одна до одної. Якою буде сила їх взаємодії, якщо їх розмістити на відстані 4 мм одну від одної?
- 22.37.** На шовковій нитці висять дві заряджені кульки масами 20 мг кожна (див. рисунок). Модулі зарядів кульок 1,2 нКл. Відстань між кульками 1 см. Визначте сили натягу ниток у точках A і B. Розгляньте випадки однотипних і різночленних зарядів.



- 22.38.** Порошинка масою 2 мг перебувала в рівновазі в однорідному вертикальному електричному полі з напруженістю 80 кН/Кл. Порошинка втратила 200 електронів. З яким прискоренням вона почала рухатися?
- 22.39.** Дві однакові провідні кульки масою по 2 г підвішено на нитках завдовжки 1 м в одній точці. Який

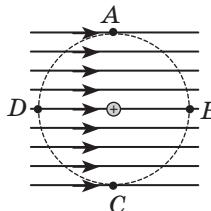
сумарний заряд мають отримати кульки, щоб кут між нитками збільшився до 90° ?

- 22.40.** Кулька масою 0,2 г, підвішена на нитці, перебуває в горизонтальному електричному полі з напруженістю 8 кН/Кл. Який кут утворює нитка з вертикаллю, якщо заряд кульки 50 нКл?

- 22.41.** У горизонтальне електричне поле внесли підвішену на нитці кульку масою 2 г, що має заряд 0,1 мкКл. Яка напруженість поля, якщо нитка утворює з вертикаллю кут 45° ?

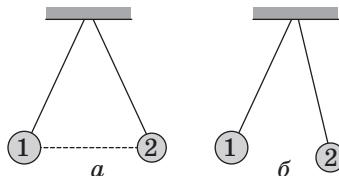
- 22.42.** В однорідне поле з напруженістю 10 кН/Кл, напрямлене вгору, внесли заряд 25 нКл. У якій точці напруженість поля дорівнюватиме нулю?

- 22.43.** В однорідне поле з напруженістю 12 кН/Кл внесли точковий заряд +2,5 нКл. Якою буде напруженість поля в точках A, B, C, D, що розташовані на відстані 5 см від заряду (див. рисунок)?

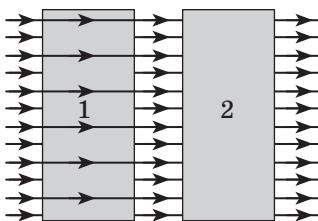


- 22.44.** У яких точках напруженість поля двох точкових зарядів з модулями 4 і 16 нКл дорівнює нулю? Відстань між зарядами дорівнює 12 см. Розгляньте два випадки: а) заряди одноїменні; б) заряди різноїменні. Зробіть рисунок.

- ? 22.45.** Дві кульки, підвішені на нитках однакової довжини, мають позитивні заряди (див. рисунок). Яка з кульок має більшу масу і більший заряд у кожному з випадків?



- ?** 22.46. Заряджений прямокутний лист фольги згорнули в циліндр. Як змінилася поверхнева густина заряду?
- ?** 22.47. Чому *незаряджені* легкі шматочки паперу притягаються до заряджених тіл незалежно від знака їхнього заряду?
- ?** 22.48. Нарисуйте силові лінії однорідного електричного поля, у яке внесли діелектричну пластинку, перпендикулярну до силових ліній.
- ?** 22.49. Дві пластинки перебувають в однорідному електростатичному полі. Визначте за картиною силових ліній поля (див. рисунок), яка з цих пластинок парафінова, а яка — мідна.



- ?** 22.50. В однорідне електричне поле внесли металеву кулю. Покажіть приблизний вигляд силових ліній поля поблизу кулі.
- ?** 22.51. Дві одинакові заряджені кульки, підвішені в одній точці на нитках рівної довжини, розійшлися у повітрі на деякий кут. Визначте густину кульок, якщо після залінення їх у гас цей кут не змінився.

3-й рівень складності

- ?** 22.52. Дві одинакові заряджені металеві кулі розташовані на невеликій відстані одна від одної. У якому випадку модуль кулонівської сили взаємодії між ними більший: а) заряди обох куль $+q$; б) заряди куль $+q$ і $-q$?
- 22.53. Відстань між двома одинаковими металевими дробинками з різномірними зарядами дорівнює 2 см. Сила притягання між ними 40 мН. Дробинки торкаються одна до одної, і їх знову розводять на відстань 2 см.

Тепер дробинки відштовхуються з силою 22,5 мН. Знайдіть початкові заряди дробинок.

-  **22.54.** Якого заряду набула б крапелька води масою 1,8 мг, якби їй передали один «зайвий» електрон на кожну тисячу молекул?
- 22.55.** З якою силою відштовхувалися б дві крапельки (див. попередню задачу), перебуваючи на відстані 1 м одна від одної?
-  **22.56.** Негативний точковий заряд $q_1 = -0,2 \text{ мККл}$ і позитивний заряд $q_2 = 0,8 \text{ мККл}$ розташовані на відстані $a = 60 \text{ см}$ один від одного. Де потрібно розмістити третій заряд Q , щоб рівнодійна кулонівських сил, які діють на *кожний* із трьох зарядів, дорівнювала нулю? Яким має бути третій заряд?
- 22.57.** Два позитивних заряди $0,2 \text{ мККл}$ і $1,8 \text{ мККл}$ закріплено на відстані 60 см один від одного. Де потрібно розмістити третій заряд, щоб діючі на нього кулонівські сили компенсували одна одну?
-  **22.58.** Відстань між двома зарядженими кульками $a = 12 \text{ см}$. З якою силою вони діють на заряд $q = +2 \text{ нКл}$, віддалений на $r = 10 \text{ см}$ від кожної з них? Розгляньте випадки: а) заряди кульок $+Q$ і $-Q$; б) заряди обох кульок $+Q$. Тут $Q = 50 \text{ нКл}$.
- 22.59.** Дві маленьки заряджені кульки розташовані на відстані 8 см одна від одної. Знайдіть напруженість електричного поля в точці, віддаленій від кожної з них на 5 см . Розгляньте випадки: а) заряди кульок $+20 \text{ нКл}$ і -20 нКл ; б) заряди обох кульок $+20 \text{ нКл}$.
- 22.60.** У вершинах квадрата зі стороною a розташовано три позитивних заряди $+q$ і негативний заряд $-q$. Знайдіть напруженість електричного поля в центрі квадрата.
- 22.61.** Чотири заряди по $+20 \text{ нКл}$, попарно зв'язані нитками, розташовані у вершинах квадрата. Який заряд потрібно помістити в центрі квадрата, щоб сили натягу ниток зменшилися до нуля?

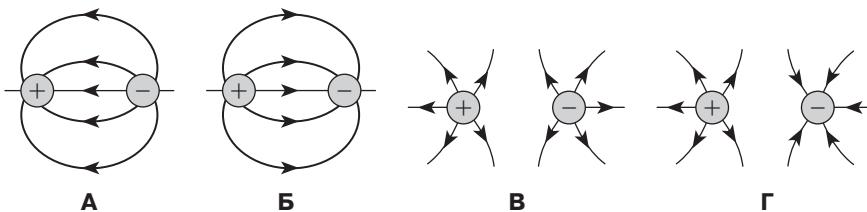
- ? 22.62. Як діє на диполь (систему з двох точкових зарядів $+q$ і $-q$) однорідне електричне поле? неоднорідне електричне поле?
- 22.63. Маленьку позитивно заряджenu кульку піднесли до великого металевого листа. Покажіть приблизний вигляд силових ліній електричного поля.
- 22.64. Накресліть приблизний вигляд силових ліній електричного поля позитивного точкового заряду, розташованого поблизу порожнистої мідної кулі.

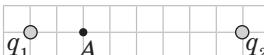
Задача для допитливих

- 22.65. Точковий заряд q перебуває на відстані h від великої незарядженої сталевої пластиини. Визначте силу взаємодії між зарядом і пластиною.

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

- Дві одинакові маленьки мідні кульки із зарядами 6 і -2 нКл привели в дотик і розмістили на відстані 10 см одну від одної. Сила кулонівської взаємодії між кульками дорівнює:
A 1,08 мкН **B** 1,8 мкН **C** 3,6 мкН **D** 18 мкН
- Електричне поле з напруженістю 5 кН/Кл діє на заряд 2 нКл із силою:
A 0,4 мкН **B** 1 мкН **C** 2,5 мкН **D** 10 мкН
- Виберіть рисунок, на якому правильно зображені силові лінії електричного поля точкових зарядів $+q$ і $-q$.



4. В однорідне вертикальне електричне поле внесли три горизонтальні пластинки: 1 — парафінову, 2 — мідну, 3 — слюдяну. Порівняйте напруженості E_1 , E_2 , E_3 електричного поля всередині пластинок.
- A** $E_1 < E_2 < E_3$ **B** $E_1 < E_3 < E_2$
Б $E_2 < E_3 < E_1$ **Г** $E_3 < E_2 < E_1$
5. Показані на рисунку заряди $q_1 = 60$ нКл і $q_2 = 90$ нКл, а довжина бічної сторони кожного квадрата дорівнює 5 см. Напруженість електричного поля двох зарядів у точці A дорівнює:
- A** 45 кН/Кл **Б** 60 кН/Кл **В** 75 кН/Кл **Г** 90 кН/Кл
- 
6. Точкові заряди 36 і -36 нКл розташовані у вакуумі на відстані 21 см один від одного. Точка A міститься на відстані 18 см від кожного з них. Напруженість електричного поля зарядів у точці A дорівнює:
- A** 7,3 кН/Кл **Б** 10 кН/Кл **В** 12 кН/Кл **Г** 20 кН/Кл

23. ПОТЕНЦІАЛ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ

1-й рівень складності

- 23.1.** Потенціальна енергія заряду 1 нКл у точці електричного поля дорівнює 5 мкДж. Чому дорівнює потенціал поля в цій точці?
- 23.2.** У точці поля з потенціалом 300 В заряджене тіло має потенціальну енергію $-0,6$ мкДж. Визначте заряд тіла.
- 23.3.** Яку роботу виконує поле під час переміщення заряду 2 нКл із точки з потенціалом 200 В у точку з потенціалом 50 В?
- 23.4.** Яку роботу виконує поле під час переміщення заряду 4 нКл із точки з потенціалом 20 В у точку з потенціалом 220 В?

- 23.5.** Під час перенесення з точки A в точку B заряду 5 нКл електричне поле виконало роботу 10 мкДж . Визначте різницю потенціалів між точками A і B .
- 23.6.** Під час перенесення з точки A в точку B заряду 4 мкКл електричне поле виконало роботу -40 МДж . Визначте різницю потенціалів між точками A і B .
- 23.7.** Частина перемістилася в електростатичному полі з точки з потенціалом 10 В у точку з потенціалом 15 В . Збільшилася чи зменшилася швидкість руху цієї частинки? Розгляньте два випадки: а) заряд частинки позитивний; б) заряд частинки негативний.
- 23.8.** Заряд -20 нКл перемістили в однорідному електричному полі з напруженістю 10 кВ/м на 5 см у напрямі силової лінії. Яку роботу виконало поле? На скільки змінилася потенціальна енергія заряду?
- 23.9.** У вертикальному однорідному електричному полі потенціал збільшується на 800 В зі збільшенням висоти на 4 м . Визначте напруженість електричного поля.
- 23.10.** В однорідному електричному полі дві точки лежать на одній силовій лінії. Відстань між точками дорівнює 10 см . Яка напруга між ними, якщо напруженість поля 150 кВ/м ?

2-й рівень складності

- 23.11.** Для енергії мікрочастинок часто застосовують позасистемну одиницю — електронвольт (eВ). Таку енергію отримує електрон, пройшовши різницю потенціалів 1 В . За якої швидкості електрона його кінетична енергія дорівнює 1 eВ ? 1 кeВ ?
- 23.12.** Яку кінетичну енергію отримав електрон, пройшовши прискорючу різницю потенціалів 2 кВ ? Виразіть відповідь у електрон-вольтах і джоулях.
- 23.13.** До якої швидкості розігнався електрон, пройшовши прискорючу різницю потенціалів 2 кВ , якщо його початкова швидкість дуже мала?

23.14. Швидкість електрона зменшилася від 10 000 км/с до нуля. Яку різницю потенціалів пройшов електрон?

23.15. Під час руху в електричному полі швидкість електрона збільшилася з 1 000 до 5 000 км/с. Яку різницю потенціалів пройшов електрон?

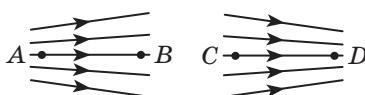
23.16. Порошинка масою 2,5 мг висить у вакуумі, не рухаючись, в однорідному вертикальному електричному полі з напруженістю 100 кВ/м. Порошинка втрачає 100 електронів. Яку швидкість вона матиме, пройшовши 2 см?

? 23.17. Як можна змінити потенціал провідної кулі, не торкаючись її та не змінюючи її заряду?

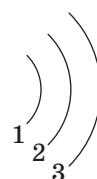
? 23.18. Порівняйте потенціал і напруженість електричного поля в точках A і B, C і D (див. рисунок).

23.19. На рисунку зображені еквіпотенціальні поверхні електричного поля. Нарисуйте силові лінії цього поля. Розгляньте два випадки: а) $\Phi_1 > \Phi_2 > \Phi_3$; б) $\Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3$.

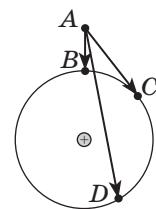
? 23.20. В електричному полі позитивного точкового заряду з точки A по черзі переміщають заряд у точки B, C і D (див. рисунок). У якому випадку кулонівська сила виконує найбільшу роботу?



До задачі 23.18



До задачі 23.19



До задачі 23.20

23.21. Чому дорівнює потенціал поля точкового заряду 20 нКл на відстані 5 см від заряду?

23.22. Металевій кулі радіусом 2 см передано заряд 40 нКл. Який потенціал поверхні кулі? центра кулі?

- 23.23.** До якого потенціалу можна зарядити в повітрі металеву кулю радіусом 3 см, якщо напруженість поля, за якої виникає розряд у повітрі, дорівнює 3 МВ/м?
- 23.24.** Чотири заряди по 40 нКл розташовані у вершинах квадрата зі стороною 4 см. Який потенціал поля в центрі квадрата?
- 23.25.** Між двома горизонтальними пластинами, до яких прикладено різницю потенціалів 500 В, перебуває в рівновазі порошинка масою 10^{-7} г. Відстань між пластинами 5 см. Визначте електричний заряд порошинки.
- 23.26.** Між двома горизонтальними пластинами перебуває в рівновазі порошинка масою 10^{-12} кг із зарядом $-5 \cdot 10^{-16}$ Кл. Визначте різницю потенціалів між пластинами, якщо відстань між ними 1 см.
- ? 23.27.** Дві кулі (порожниста мідна та суцільна сталева), які мають однакові радіуси, торкаються одна одної. Як розділиться між ними переданий електричний заряд за відсутності зовнішнього електричного поля?
- ? 23.28.** Чому крупинки діелектрика в сильному електричному полі «шикуються» вздовж силових ліній поля?
- ### 3-й рівень складності
- 23.29.** Визначте напруженість і потенціал поля в центрі рівномірно зарядженого дротового кільця радіусом R з електричним зарядом Q .
- 23.30.** Двом металевим кулям з радіусами $R_1 = 5$ см і $R_2 = 15$ см надали заряди $q_1 = 12$ нКл і $q_2 = -40$ нКл. Кулі з'єднують тонким дротом. Який заряд пройде по дроту? Відстань між кулями набагато більша, ніж їхні радіуси.
- 23.31.** Двом металевим кулям з радіусами 2 і 8 см надали заряди відповідно 34 і -14 нКл. Кулі з'єднують тонким дротом. Який заряд протече по дроту? Відстань між кулями набагато більша, ніж їхні радіуси.

- 23.32.** Відстань між двома однаковими металевими порошниками масою 1 мкг дорівнює 1 см. Кожній із порошинок надають заряд 0,1 нКл. Якої максимальної швидкості можуть набути порошинки?
- 23.33.** Електрон рухається в напрямі лінії напруженості однорідного поля, напруженість якого дорівнює 1,2 В/см. Яку відстань він пролетить у вакуумі до повної зупинки, якщо його початкова швидкість дорівнює 1 000 км/с?

24. КОНДЕНСАТОРИ. ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ. ЕНЕРГІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

1-й рівень складності

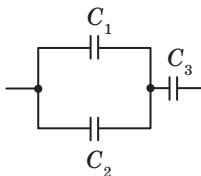
- ? 24.1.** Чи зміниться електроємність конденсатора, якщо настиснути на ньому збільшити вдвічі?
- ? 24.2.** На корпусі конденсатора написано «12 мкФ, 6 В». Що означають ці величини?
- ? 24.3.** У скільки разів зміниться електроємність плоского конденсатора, якщо зменшити робочу площину пластин у 3 рази?
- ? 24.4.** Відстань між пластинами плоского конденсатора зменшили в 2 рази. Як змінилася електроємність конденсатора?
- 24.5.** Яка електроємність конденсатора, заряд якого дорівнює 20 мКл за різниці потенціалів між обкладками 2 кВ?
- 24.6.** Який заряд потрібно передати конденсатору електроємністю 1 мкФ, щоб різниця потенціалів між його пластинами дорівнювала 50 В?
- 24.7.** Визначте різницю потенціалів між обкладками конденсатора електроємністю 2000 пФ, якщо заряд конденсатора дорівнює 4 нКл.

- ?** 24.8. Як зміниться електроємність плоского конденсатора, якщо замінити діелектрик між пластиналами: замість папера, просоченого парафіном, використовувати слюду такої самої товщини?
- ?** 24.9. Які досліди підтверджують, що електричне поле має енергію?
- ?** 24.10. Яку небезпеку становлять знеструмлені кола з конденсаторами? Що треба зробити після розмикання такого кола?
- 24.11. На корпусі конденсатора написано «500 пФ, 300 В». Чи дозволяє цей конденсатор накопичити заряд 50 нКл? 200 нКл?

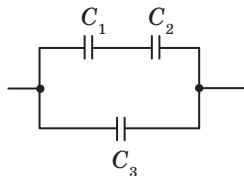
2-й рівень складності

- 24.12. Визначте електроємність плоского повітряного конденсатора з площею обкладок 24 м^2 , якщо відстань між обкладками 0,12 мм.
- 24.13. Площа пластинал слюдяного конденсатора 18 см^2 , а відстань між ними 0,24 мм. Визначте електроємність конденсатора.
- 24.14. Визначте електроємність плоского конденсатора, що складається з двох круглих пластинал діаметром 20 см, розділених шаром парафіну завтовшки 0,8 мм.
- 24.15. Плоский конденсатор являє собою дві плоскі металеві пластинал площею 36 см^2 , між якими розташована слюдяна пластиналка завтовшки 0,14 см. Чому дорівнює електроємність конденсатора? Який заряд конденсатора, якщо напруга на ньому дорівнює 300 В?
- 24.16. Яку площину мав би плоский повітряний конденсатор електроємністю $0,885 \text{ Ф}$ із відстанню між обкладками 0,5 мм?
- 24.17. Визначте напруженість електричного поля всередині плоского повітряного конденсатора, якщо його заряд дорівнює $0,5 \text{ мКл}$, а площа пластинал 500 см^2 .

- 24.18.** Визначте заряд плоского конденсатора електроємністю 20 пФ , якщо напруженість поля між пластинами дорівнює 50 кВ/м , а відстань між пластинаами становить 5 мм .
- 24.19.** Різниця потенціалів між пластинаами плоского повітряного конденсатора 210 В . Площа кожної пластини 120 см^2 , а заряд 7 нКл . Яка відстань між пластинаами?
- 24.20.** Об'єм плоского повітряного конденсатора 424 см^3 , а його електроємність 600 пФ . Визначте відстань між пластинаами конденсатора.
- 24.21.** Діелектриком у плоскому конденсаторі є пластинка слюди площею 800 см^2 і завтовшки 4 мм . Конденсатор підключений до джерела напруги 400 В . Який заряд пройде по колу, якщо пластинку витягти?
- 24.22.** Два конденсатори мають електроємності 1 і 4 мкФ . Батарею якої електроємності можна отримати, з'єднавши ці конденсатори паралельно? послідовно?
- 24.23.** Два конденсатори мають електроємності 2 і 3 мкФ . Батареї якої електроємності можна виготовити з цих конденсаторів?
- 24.24.** Визначте електроємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = C_2 = 1000 \text{ пФ}$ і $C_3 = 250 \text{ пФ}$.
- 24.25.** Визначте електроємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = 0,5 \text{ мкФ}$, $C_2 = 2 \text{ мкФ}$ і $C_3 = 2,6 \text{ мкФ}$.



До задачі 24.24

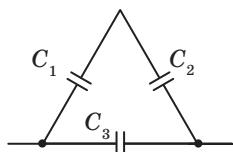


До задачі 24.25

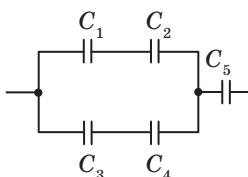
24.26. Визначте електроємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо електроємність кожного конденсатора дорівнює 20 мкФ .

24.27. Визначте електроємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = C_4 = 5 \text{ мкФ}$, $C_2 = 10 \text{ мкФ}$, $C_3 = 2,5 \text{ мкФ}$, $C_5 = 15 \text{ мкФ}$.

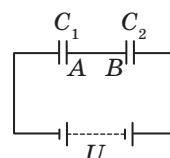
24.28. Конденсатори електроємністю C_1 і C_2 з'єднали послідовно та приєднали до джерела струму (див. рисунок) з напругою U . Чому дорівнюють заряди обкладок A і B ?



До задачі 24.26



До задачі 24.27



До задачі 24.28

24.29. Конденсатори електроємністю 2 і 3 мкФ з'єднані послідовно. Порівняйте: а) напруги на цих конденсаторах; б) енергії електричного поля цих конденсаторів.

24.30. Конденсатори електроємністю 4 і 10 мкФ з'єднані паралельно. Порівняйте: а) заряди цих конденсаторів; б) енергії електричного поля цих конденсаторів.

24.31. Визначте енергію електричного поля конденсатора, заряд якого дорівнює 24 нКл , а напруга між пластиналами 300 В .

24.32. Визначте енергію електричного поля конденсатора електроємністю $0,5 \text{ мкФ}$, заряд якого дорівнює 8 мкКл .

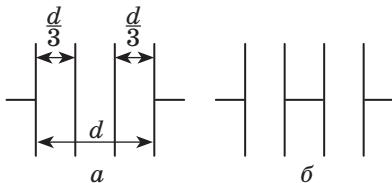
24.33. Визначте енергію електричного поля конденсатора електроємністю 3 мкФ , зарядженого до напруги 200 В .

24.34. Конденсатор електроємністю 5 мкФ заряджений до напруги 400 В . Обкладки конденсатора з'єднують через резистор. Визначте кількість теплоти, яка виділяється в резисторі.

- 24.35.** Визначте електроємність конденсатора, якщо за різниці потенціалів на обкладках 500 В енергія його електричного поля дорівнює 2,5 Дж.
- 24.36.** Імпульсна лампа фотоспалаху споживає за один спалах 36 Дж електричної енергії. До якої напруги заряджають конденсатор електроємністю 800 мкФ, що живить спалах?

3-й рівень складності

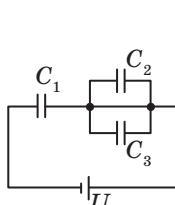
- ? 24.37.** Плоский конденсатор приєднали до джерела постійної напруги. Як зміняться заряд конденсатора, різниця потенціалів між обкладками і напруженість поля усередині конденсатора, якщо відстань між обкладками збільшити у 2 рази: а) не від'єднавши джерела напруги; б) попередньо від'єднавши джерело?
- ? 24.38.** Плоский повітряний конденсатор зарядили та від'єднали від джерела напруги. У скільки разів зміниться заряд і напруга на обкладках конденсатора, якщо простір між обкладками заповнити парафіном?
- 24.39.** Конденсатор невідомої електроємності, заряджений до напруги 800 В, приєднали паралельно до конденсатора електроємністю 4 мкФ, зарядженого до напруги 200 В. Яка електроємність первого конденсатора, якщо після з'єднання напруга на батареї дорівнює 400 В?
- 24.40.** У скільки разів зміниться електроємність плоского конденсатора, якщо в нього ввести дві тонкі металеві пластини (див. рисунок, випадок а)? Якщо з'єднати ці пластини провідником (див. рисунок, випадок б)?



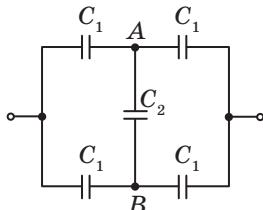
24.41. Знайдіть заряди на кожному з конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = 2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 4 \text{ мкФ}$, $C_3 = 6 \text{ мкФ}$, $U = 18 \text{ В}$.

24.42. Знайдіть електроемність C_0 батареї конденсаторів, яку зображено на рисунку.

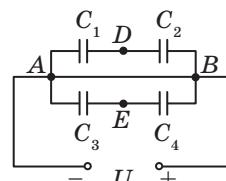
24.43. Знайдіть заряд кожного з конденсаторів і різницю потенціалів між точками D і E (див. рисунок), якщо $C_1 = C_2 = C_3 = C$, а $C_4 = 4C$. До точок A і B підведено постійну напругу U .



До задачі 24.41

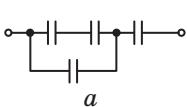


До задачі 24.42

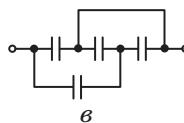


До задачі 24.43

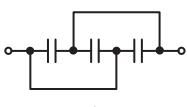
24.44. Знайдіть електроемності показаних на рисунку систем, якщо всі конденсатори мають однакову електроемність C .



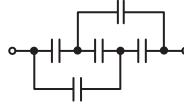
a



b



c

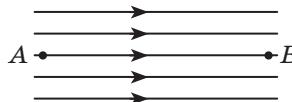


d

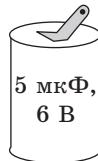
24.45. На корпусах двох конденсаторів зазначено « $5 \text{ мкФ}, 6 \text{ В}$ » і « $10 \text{ мкФ}, 6 \text{ В}$ ». Конденсатори з'єднані послідовно. До якого максимального значення можна збільшувати напругу на цій ділянці кола?

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Точки A і B (див. рисунок) розташовані в однорідному електричному полі. Порівняйте модулі напруженості поля в цих точках і потенціали точок.



- A** $E_A > E_B$, $\varphi_A > \varphi_B$ **B** $E_A = E_B$, $\varphi_A > \varphi_B$
Б $E_A = E_B$, $\varphi_A < \varphi_B$ **Г** $E_A = E_B$, $\varphi_A = \varphi_B$
2. Дві точки лежать на одній силовій лінії однорідного електростатичного поля. Відстань між цими точками дорівнює 25 см, а різниця потенціалів між ними становить 8 кВ. Напруженість електричного поля дорівнює:
A 200 В/м **Б** 2 кВ/м **В** 32 кВ/м **Г** 200 кВ/м
3. Під час переміщення заряду 200 нКл між двома точками кулонівські сили виконали роботу 10 мкДж. Різниця потенціалів між зазначеними точками дорівнює:
A 2 В **Б** 5 В **В** 50 В **Г** 200 В
4. Максимальний припустимий заряд показаного на рисунку конденсатора дорівнює:



- A** 30 мкКл **Б** 11 мкКл **В** 1,2 мкКл **Г** 0,83 мкКл
5. З трьох конденсаторів електроємністю по 6 мкФ можна зібрати батарею конденсаторів електроємністю:
A 5 мкФ **Б** 9 мкФ **В** 16 мкФ **Г** 20 мкФ
6. Напруга на конденсаторі електроємністю 50 мкФ дорівнює 400 В. Обкладки конденсатора з'єднують через резистор. У резисторі виділяється кількість теплоти:
A 1 Дж **Б** 2 Дж **В** 4 Дж **Г** 8 Дж

ВІДПОВІДІ, ВКАЗІВКИ, РОЗВ'ЯЗАННЯ

1.1. Показати, що через півгодини положення хвилинної і годинникової стрілок помітно зміниться. **1.6.** Не може.

1.8. 100 м; 0. **1.9.** Нуль. **1.10.** 14 м; 6 м. **1.11.** 4,5 м; 1,5 м.

1.12. 30 км; 10 км. **1.13.** 1 хв. **1.14.** 2 год; 6 год. **1.15.** 2 км/год.

1.16. Ні (перетинаються, наприклад, траєкторії руху автомобілів на кожному перехресті). **1.17.** Помилка в графіку залежності шляху від часу: шлях не може зменшуватися. **1.18.** Якщо тіло рухається по прямій, не змінюючи напряму руху. **1.19.** 10 м.

1.22. 350 км; 250 км. **1.23.** 70 км; 50 км. **1.24.** а) 1,57 км;

1,41 км; б) 3,14 км; 2 км; в) 6,28 км; 0; г) 9,42 км; 2 км.

1.25. 9 км/год. **1.26.** 14 км/год. **1.27.** 55 км/год. **1.32.** 2,5 год.

Розв'язання. Позначимо швидкість течії v . Коли човен пливе за течією, його швидкість відносно берега дорівнює $5v$, а під час руху проти течії його швидкість дорівнює $3v$. Отже, час

руху проти течії в $\frac{5}{3}$ разу більший, ніж час руху за течією.

1.33. За 2 год 40 хв. **1.34.** 6 год. **1.35.** 250 м; 1,03 км.

1.40. а) 45 км/год; б) 60 км/год. **1.41.** 37,5 км/год.

1.42. 4,5 км/год.

2.1. В обох випадках — угору. **2.2.** 0,4 м/с². **2.3.** 2,5 м/с².

2.4. Протилежно до напряму руху; 0,6 м/с². **2.7.** 15 м/с.

2.9. 45 м. **2.10.** 16 м. **2.11.** 2,6 с. **2.12.** 2,2 с. **2.13.** 0,25 м/с².

2.14. 20 м/с². **2.15.** 2 м/с²; $v = 15 - 2t$. **2.17.** 8 м/с. **2.18.** 3 м/с.

2.19. 9 м. **2.20.** За 8 с. **2.21.** 51 м. **2.22.** 2,8 м/с²; 5,3 с.

2.23. 2 м/с². **2.24.** 30 км/год. **2.25.** 140 м; 14 м/с. **2.26.** 0,57 мс.

2.27. 150 м. **2.28.** 15 м. **2.29.** 1,75 м/с². **2.30.** 30 м/с. **2.31.** 20 м.

2.32. 8 м/с; 1 м/с². **2.34.** $v_x = 6 - 1,5t$. **2.35.** 3 м/с; 2 м/с².

2.37. $s_x = 4t + 0,5t^2$. **2.38.** $v_x = 6 + 2t$. **2.39.** 19 м/с; 18 м; 19 м/с.

2.40. В 1,5 разу; у 2,25 разу. **2.41.** 0,4 і 2 с. **2.42.** 14 м.

2.43. *Розв'язання.* Оскільки наведена формула залежності $x(t)$ являє собою окремий випадок загальної формули

$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, рух є прямолінійним рівноприскореним,

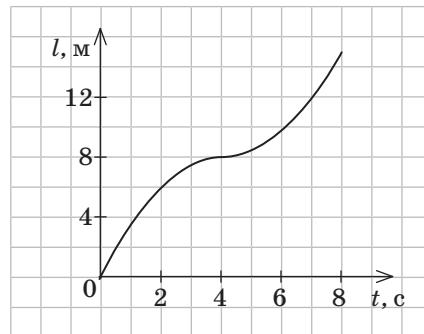
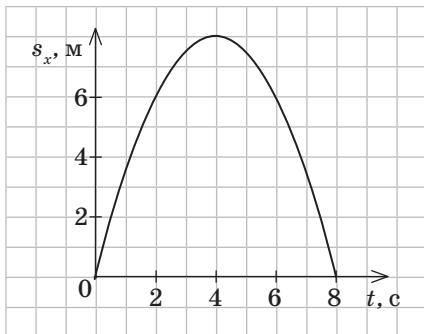
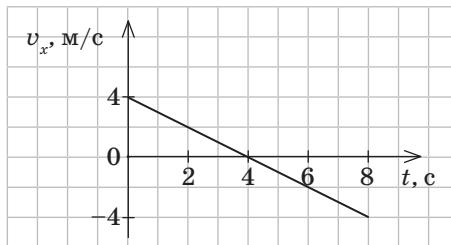
причому $x_0 = -2$ м, $v_{0x} = 4$ м/с, $a_x = -1$ м/с². Таким чином, за 4 с швидкість руху тіла зменшилася від 4 м/с до нуля, а потім тіло рухалось у від'ємному напрямі осі Ox , а модуль

швидкості його руху збільшувався. Залежності проекцій швидкості руху та переміщення від часу задаються формулами

$$v_x = v_{0x} + a_x t = 4 - t; \quad s_x = x - x_0 = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} = 4t - 0,5t^2.$$

Графіки

цих залежностей наведено на рис. 1. Для побудови графіка залежності шляху від часу $l(t)$ зручніше скористатися не формулою, а вже побудованим графіком $s_x(t)$. Слід урахувати, що під час руху у від'ємному напрямі осі Ox (коли s_x зменшується), шлях збільшується, причому $\Delta l = |\Delta s_x|$. Інакше кажучи, залежність $l(t)$ є такою, що не убуває. Щоб одержати з графіка $s_x(t)$ графік $l(t)$, потрібно симетрично відбити ділянку графіка при $t > 4$ с вгору. **2.48.** 27 м; **2.49.** 2,4 с. **2.50.** 28 м.



Rис. 1

- 3.1.** Під літаком. **3.3.** 12,5 м/с; 10 м/с². **3.4.** 3,2 с. **3.5.** 35 м. **3.6.** 3 с; 45 м; 64 м. **3.7.** 8,5 м/с. **3.8.** На 20°. **3.9.** В 1,22 разу. **3.10.** 4 с. **3.11.** 140 с; 24 км; 55 км. **3.12.** 25 м. **3.13.** 60 м/с. **3.14.** 26 м/с; 34°. **3.15.** 6 мм. **3.16.** 69°. **3.17.** 375 м/с; 37°.

3.18. *Розв'язання.* За відсутності тяжіння осколки рухалися б рівномірно і прямолінійно, заповнюючи сферу з радіусом $v_0 t$ із центром у точці вибуху. Оскільки тяжіння надає всім осколкам однакового прискорення, його легко можна «видалити» — для цього треба перейти в систему відліку, зв'язану з вільно падаючим тілом (так рухався б сам снаряд, якби він залишився цілим). У цій системі відліку осколки рухаються без прискорення. Виходить, «хмара осколків» — теж сфера з радіусом $v_0 t$, тільки центр її не перебуває в спокої відносно Землі, а опускається з прискоренням \bar{g} без початкової швидкості (пригадайте святкові феєрверки). **3.19.** У центр яблука. **3.20.** 14.

4.1. 12 год; 1 год; 1 хв. **4.2.** 1 рік. **4.3.** 4 c^{-1} . **4.4.** Зменшилася в 5 разів. **4.5.** У 12 разів. **4.8.** Ні. **4.10.** $\frac{1}{3}$. **4.11.** $\frac{1}{12}$. **4.12.** $\frac{1}{24}$.

4.13. 10 c^{-1} ; 0,1 с. **4.14.** 0,2 с; 5 c^{-1} . **4.16.** $3,2\text{ м/c}^2$. **4.17.** $0,5\text{ м/c}^2$.

4.18. 13 обертів. **4.19.** *Розв'язання.* Сонце рухається небосхилом зі сходу на захід. Цей спостережуваний рух Сонця обумовлений добовим обертанням Землі навколо своєї осі із *заходу на схід*. Один оберт Землі триває 24 год. Щоб «компенсувати» цей рух Землі, літак має летіти зі *сходу на захід* з такою швидкістю, щоб облетіти Землю саме за добу. Поблизу екватора його швид-

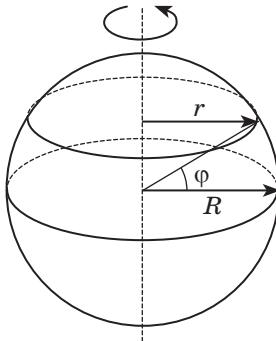
кість має бути $v = \frac{2\pi R}{T} = 1670 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, що цілком можливо для сучасного літака. Можна сказати, що Земля у своєму добовому обертанні буде «провертатися» під літаком, над яким зависає Сонце. **4.20.** 465 м/c ; $3,4\text{ см/c}^2$. **4.21.** $\frac{\pi}{900}$ рад/с, $5,6 \cdot 10^{-4}\text{ c}^{-1}$.

4.22. У 90 разів. **4.23.** Обертона частота колеса 2 більша в 3 рази.

4.24. Обертона частота колеса 2 менша у 2 рази. **4.27.** У 72 рази.

4.28. У 15 разів. **4.29.** $0,8\text{ c}^{-1}$. **4.30.** $0,3\text{ м/c}^2$. **4.31.** $0,31\text{ м/c}$; $6,6\text{ см/c}^2$. **4.32.** $1,9\text{ км/c}$; $1,2\text{ см/c}^2$. **4.33.** $1,3\text{ см/c}^2$. **4.34.** Кільця не є суцільними твердими тілами, вони складаються з безлічі окремих тіл. **4.35.** 230 м/c ; $1,7\text{ см/c}^2$. *Розв'язання.* Точка земної поверхні описує відносно центра Землі коло радіусом $r = R \cos \phi$,

де $\varphi = 60^\circ$ (рис. 2). Швидкість руху $v = \frac{2\pi r}{T}$, де період обертання $T = 24$ год; доцентрое прискорення $a = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 R \cos \varphi}{T^2}$.



Ruc. 2

$$4.36. 0,64 \text{ c}^{-1}. 4.37. v = \frac{2\pi l \sin \alpha}{T}, a = \frac{4\pi^2 l \sin \alpha}{T^2}.$$

4.38. $n = 4 \text{ c}^{-1} \cdot (2k+1)$, де $k = 0, 1, 2, \dots$ Якби обертання трошки сповільнилося, на екрані спостерігалося б повільне обертання у зворотний бік. *Роз'язання.* Оскільки лопаті вентилятора практично неможливо розрізнати одну від одної, їхнє видиме положення після повороту на кут, кратний до $\Phi_0 = \frac{2\pi}{3}$, не змінюється. Якби такий поворот відбувався за час $\Delta t = \frac{1}{24}$ с (час зміни кадрів), на екрані було б видно *три* нерухомі лопаті. Якщо ж за час Δt лопаті повертаються на кут $\frac{\Phi_0}{2}$, то на всіх «парних» кадрах буде одне положення лопатей, а на всіх «непарних» — інше, отримане з першого поворотом на кут $\frac{\Phi_0}{2}$. Унаслідок інерції зору ми побачимо на екрані 6 нерухомих лопатей. Той же результат вийде, якщо за час Δt лопаті повертаються на кут $\frac{\Phi_0(2k+1)}{2}$, де $k = 0, 1, 2, \dots$ Таким чином, ми

приходимо до співвідношення $\frac{\varphi_0(2k+1)}{2} = 2\pi n \cdot \Delta t$, звідки обертова частота вентилятора $n = \frac{2k+1}{6\Delta t} = 4 \text{ c}^{-1} \cdot (2k+1)$. Якби обертання лопатей трошки сповільнилося, на черговому кадрі вони б трохи не доходили до старих «нерухомих» положень. У результаті на екрані спостерігалося б повільне обертання лопатей у бік, зворотний дійсному обертанню. **4.39.** 10 см; 20 см. **4.40.** Нерухомі точки коліс, що лежать на миттєвих осях обертання; рухаються на північ частини коліс, що лежать нижче від миттєвих осей обертання. **4.41.** 6 м/с; 0; 12 м/с. **4.42.** Може, якщо швидкості точок *A* і *B* напрямлені перпендикулярно до відрізка *AB* (ці точки можуть, наприклад, розташовуватися посередині та на кінці годинникової стрілки). **4.43.** Див. рис. 3.

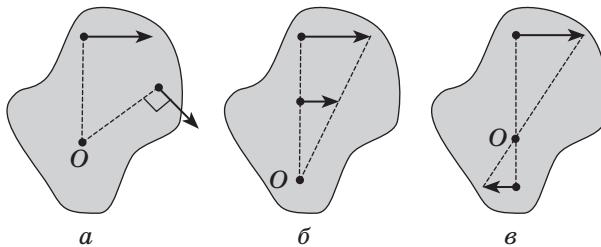


Рис. 3

5.5. 9 Н. **5.6.** 15 Н. **5.7.** 4 кг. **5.8.** 15 кг. **5.11.** Модулі сил однакові. **5.12.** Сили однакові за модулем. **5.13.** Сили тяжіння та реакції опори; 2 Н. **5.14.** Сили тяжіння та реакції опори; 35 Н. **5.15.** На космонавта не діють сили опору рухові. **5.21.** Маса вантажу в 5 разів більша. **5.22.** Від 5 до 23 Н. **5.23.** Можливі значення 7 і 10 Н. **5.24.** а) 0,4 м/с²; б) 2,8 м/с²; в) 2 м/с². **5.25.** а) 0,6 м/с²; б) 1 м/с². **5.26.** Модулі прискорень однакові. **5.27.** 1 Н; 1 Н. **5.28.** 1,6 м/с². **5.29.** Маса світлого візка вдвічі більша. **5.31.** Прикладом є рух тіла, яке підкинули вгору. **5.32.** У випадку *a* — найбільша; у випадку *b* — найменша. **5.33.** а) 320 Н; б) 0; в) 1000 Н. **5.34.** 62,5 кН. **5.35.** Сила тиску тіла на рідину. **5.36.** 1,6 кН. **5.37.** 12 кг. **5.38.** 2,5 кН. **5.39.** Склянка переважить. **5.40.** Половину. **5.41.** Розв'язання. Слід урахувати сили, які діють на коня й віз з боку землі. Кінь відштовхується

від землі, тобто з боку землі на коня діє напрямлена вперед сила тертя спокою. Саме ця сила (вона перевищує на початку руху силу тертя кочення) надає коню з возом швидкості на початку руху й урівноважує надалі сили опору рухові. **5.42.** 10 кН; центр Землі. **5.43.** Рівнодійна дорівнює нулю. *Вказівка.* Поверніть подумки всю систему сил на 1/9 повного оберту та з'ясуйте, як може змінитися в результаті повороту рівнодійна.

- 6.4.** $1,7 \cdot 10^{-9}$ Н. **6.5.** $2,4 \cdot 10^{-7}$ Н. **6.6.** 6,3 Н. **6.7.** 10 м/с². **6.8.** Удень. **6.9.** У 16 разів. **6.10.** 6400 км. **6.11.** 27 м/с². **6.12.** 4 м/с². **6.13.** а) Сила, з якою книжка притягує Землю; б) сила реакції стола, яка діє на книжку. **6.14.** 600 кН. **6.15.** 20 дм³. **6.16.** Порожниста. **6.17.** Короткочасна невагомість виникає під час стрибків. **6.18.** В обох випадках вага космонавта збільшується, оскільки його прискорення напрямлене вгору. **6.19.** 1,95 кН. *Розв'язання.* Сила притягання космонавта до Місяця дорівнює $m\vec{g}_M$, де \vec{g}_M — прискорення вільного падіння на Місяці (воно в 6 разів менше, ніж земне). Згідно з другим законом Ньютона $m\vec{a} = m\vec{g}_M + \vec{N}$, де \vec{N} — сила реакції опори. У проекції на вертикальну вісь отримуємо $ma = -mg_M + N$, звідки $N = m(g_M + a)$. Згідно з третім законом Ньютона вага космонавта дорівнює за модулем силі реакції опори. Отже, $P = m(g_M + a)$. **6.20.** 30 м/с². **6.21.** 110 Н; 100 Н; 80 Н. **6.22.** Не більше ніж 5 м/с². **6.23.** а) Уесь час польоту; б) тільки у верхній точці. *Вказівка.* Невагомість виникає, коли на тіло діє тільки сила тяжіння. У земній атмосфері сила опору повітря «зникає» тільки тоді, коли швидкість м'яча дорівнює нулю. **6.24.** Ні. **6.25.** До швидкості ракети-носія додається швидкість добового обертання Землі. **6.26.** 3,9 км/с. **6.27.** На більш високій орбіті швидкість супутника у 2 рази менша. **6.28.** 5500 кг/м³. **6.29.** На відстані 500 000 км від центра планети та 100 000 км — від центра супутника. **6.30.** До Сонця, приблизно вдвічі. **6.31.** Сила притягання до Землі більша приблизно в 1600 разів. **6.32.** а) 7,75 кН; б) 32 м/с (110 км/год). **6.33.** 14 Н. **6.34.** 200 м/с. **6.35.** 38 Н; 7 Н. *Вказівка.* Відповідно до другого закону Ньютона в нижній точці $ma = T - mg$, а у верхній точці $ma = T + mg$. **6.36.** 100-разове перевантаження. **6.37.** 390 м/с. **6.38.** 7,3 км/с. **6.39.** Ракета впаде на Землю. **6.40.** Орбіта супутника та центр

Землі перебувають в одній площині. У даному випадку ця площа має збігатися з площею екватора. Тому підходить тільки населений пункт, розташований на екваторі. **6.41.** Збільшився в 1,56 разу.

7.2. Може. Саме сила тертя спокою надає прискорення тілам на транспортері, автомобілю та бігу на старті. **7.3.** Діє у випадках *a* і *c*; у випадку *b* — тільки у разі відсутності проковзування коліс. **7.4.** Сила тертя спокою. **7.6.** Для зменшення тертя; для збільшення тертя. **7.7.** Відсутність тертя спокою. **7.8.** 1,2 Н. **7.9.** 6 Н. **7.10.** 0,1. **7.11.** Вагони — так; тепловози — ні. **7.12.** а) У напрямі руху; б) протилежно напряму руху; в) сила тертя відсутня; г) праворуч. **7.13.** Вода зменшує тертя між волокнами целюлози. **7.14.** Немає тертя між бічною поверхнею ножа та маслом. **7.15.** 700 Н. **7.16.** а) 4 Н; б) 6 Н; в) 6 Н. *Розв'язання.* Максимальне значення сили тертя спокою, що діє на бруск, $F_0 = \mu mg = 6$ Н. Поки прикладена сила F не перевищує F_0 , брусок нерухомий, а модуль сили тертя спокою дорівнює F . Коли F перевищує F_0 , брусок ковзає по столу. При цьому модуль сили тертя ковзання дорівнює F_0 . **7.17.** Див. рис. 4 ($F_0 = 16$ Н).

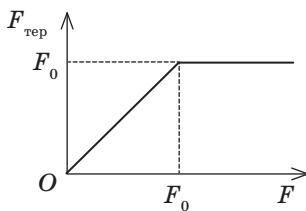


Рис. 4

7.18. 0,33. *Розв'язання.* Під час рівномірного руху бруска попарно врівноважують одна одну сили тяжіння $m\vec{g}$ і реакції опори \vec{N} , сила тертя ковзання $\vec{F}_{\text{теп}}$ і сила пружності \vec{F} , яка діє з боку пружини динамометра. Отже, $\mu = \frac{F_{\text{теп}}}{N} = \frac{F}{mg}$. **7.19.** 12 см.

7.20. 3,5 м/с². **7.21.** 25 м/с. **7.22.** 500 кг. **7.24.** Потік повітря має набігати на увігнуту поверхню; такої форми надають парашутам. **7.26.** Над ведучими колесами (сила тяги є силою тертя між *ведучими* колесами та дорогою). **7.27.** Щоб збільшити силу тяги.

7.28. Неправильно: перемагає той, для кого більше максималь-
но можливе значення сили тертя спокою між підошвами та
підлогою. **7.30.** Більшу силу треба прикласти, щоб витягти
третій зверху підручник. **7.31.** Сила тертя спокою. **7.32.** Не
менше ніж 0,2 Н. **7.33.** 0,13. **7.34.** 5 с; 50 м. **7.35.** 9,5 м/с
(34 км/год). **7.36.** Значення коефіцієнта тертя від 0,15 до 0,35.
7.37. Не менше ніж 120 т. **7.38.** 0,35. **7.39.** Не менше ніж 125 м.
7.40. У випадку блокування силу тертя спокою заміняє сила
тертя ковзання між колесами та дорогою; напрям цієї сили не
змінюється внаслідок повороту передніх коліс (автомобіль пе-
рестає «слухатися» руля). **7.41.** Прискорення максимальне за
модулем у початковий момент, мінімальне — наприкінці падін-
ня, дорівнює прискоренню вільного падіння — у верхній точці
траєкторії.

8.1. 1,5 м/с². **8.2.** 6 кН. **8.3.** Через 46 с. **8.5.** 590 г. **8.6.** 5 Н.
Розв'язання. Прикладена сила перевищує максимально можли-
ву силу тертя спокою $F_{\text{тер}} = (\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2)g$. Отже, прискорення
брусків $a = \frac{F - F_{\text{тер}}}{m_1 + m_2}$. Із формулі $m_1 a = T - \mu_1 m_1 g$ отримуємо

$$T = m_1 \frac{F + m_2 g (\mu_1 - \mu_2)}{m_1 + m_2}.$$
8.7. 18 Н. **8.8.** 3,3 м/с²; 4 Н. *Розв'язання.*

На рис. 5 показані діючі на вантажі сили. Напишемо рівняння
другого закону Ньютона для кожного з вантажів у проекції на
вісь Oy : $m_1 a_1 = -m_1 g + T$, $-m_2 a_2 = -m_2 g + T$ (у випадку невагомо-
го шнура і невагомого блока без тертя сила T натягу шнура
всюди однакова). Скористаємося також кінематичним зв'язком:
із нерозтяжності шнура випливає, що переміщення обох ванта-
жів однакові за модулем; отже, $a_1 = a_2 = a$. Звідси $a = g \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}$,

$$T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_2 + m_1}.$$
 На прикладі цієї задачі покажемо два ефективних

методи перевірки отриманого результату. Перший із них —
перевірка на симетрію. Очевидно, якщо помінити вантажі міс-
цями, натяг шнура і модуль прискорення вантажів не повин-
ні змінитися. Отримані для a і T вирази цю вимогу задоволь-
няють.

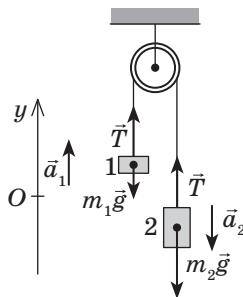


Рис. 5

Другий метод — перевірка на окремі і граничні випадки. Наприклад, у випадку $m_1 = m_2 = m$ прискорення має дорівнювати нулю, а $T = mg$. Якщо $m_1 \rightarrow 0$, має бути $a \rightarrow g$, $T \rightarrow 0$ (вантаж 2 вільно падає і тому перебуває в стані невагомості). Отримані формули задовольняють і цю вимогу. Вага обох вантажів однакова, як би сильно не відрізнялися їхні маси: адже обидва вантажі діють на шнур з однаковими силами. Річ у тім, що вага меншого вантажу збільшується (прискорення цього вантажу напрямлене вгору), а вага більшого вантажу зменшується.

$$\mathbf{8.9.} \quad a = \frac{g}{5}. \quad \mathbf{8.10.} \quad 53 \text{ г.} \quad \mathbf{8.11.} \quad 3,8 \text{ м/с}^2. \quad \mathbf{8.12.} \quad 1,1 \text{ м/с}^2. \quad \mathbf{8.13.} \quad 14^\circ.$$

8.14. 150 Н. **8.15.** а) 215 Н; б) 10 Н. **8.16.** Більше за 0,41. **8.17.** 1,3 кН. **8.18.** а) $2,8 \text{ м/с}^2$; б) $5,8 \text{ м/с}^2$. *Вказівка.* Бруск зі сковзує рівномірно, якщо $\operatorname{tg} \alpha = \mu$. **8.19.** 0,35. *Вказівка.* Модуль прискорення бруска під час руху вгору в 4 рази більший, ніж під час руху вниз. **8.20.** 0,34. **8.21.** 0,17 м/с². **8.22.** 2,8 с. **8.23.** 46° . **8.24.** 17 м/с. **8.25.** $2g$; 0. *Вказівка.* Відразу після перепалювання нитки деформація пружини не встигає змінитися. Отже, не змінюються й сили пружності, що діють з боку пружини на кожну з кульок.

9.1. 54 см. **9.2.** 4,5 Н. **9.3.** 2 Н. **9.4.** 600 Н. **9.5.** 1 кг; 100 Н. **9.6.** 24 кг. **9.8.** Низьке розташування центра тяжіння, велика площа опори. **9.14.** 14 кг; 6 кг. **9.15.** 3 кг; 1,8 кг. **9.16.** 0,3 кг; 2,7 кг. **9.17.** 25 см. **9.18.** Можна; не можна. **9.19.** 240 Н; 160 Н.

9.20. 80 Н; 100 Н. *Розв'язання.* На рис. 6 показані сили, що діють на стрижень (сила тяжіння прикладена в середині стрижня).

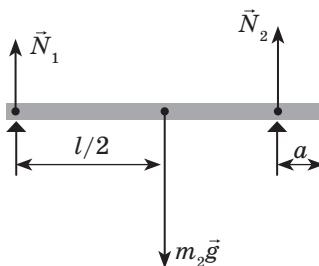


Рис. 6

Оскільки стрижень перебуває в рівновазі, $m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 = 0$. Звідси $N_1 + N_2 = mg$. Застосуємо також правило моментів, уважаючи, що вісь обертання проходить через центр стрижня: $N_1 \frac{l}{2} = N_2 \left(\frac{l}{2} - a \right)$. Із двох останніх рівнянь одержуємо

$N_1 = \frac{mg(l-2a)}{2(l-a)}$, $N_2 = \frac{mgl}{2(l-a)}$. Відповідно до третього закону динаміки саме такими за модулями є сили, з якими стрижень діє на опори. Перевіривши одиниці величин і підставивши числові значення, знаходимо $N_1 = 80$ Н, $N_2 = 100$ Н.

9.21. 225 Н; 375 Н. **9.22.** 700 Н; 1 кН. **9.23.** 90 кг. **9.24.** 80 Н. **9.25.** 250 г. **9.27.** Лівої. **9.29.** Центр тяжіння розташований нижче точки опори. **9.31.** 3 кг. **9.32.** 0,8 кг. **9.33.** 31 см. **9.34.** 120 Н; 280 Н. **9.35.** У середині медіани, проведеної з третьої вершини. *Розв'язання.* Перші дві кульки можна подумки замінити однією, що має масу $2m$ і міститься посередині між ними. Центр мас системи розташований у середині медіани, що з'єднує цю кульку з третьою, яка має таку ж масу. **9.36.** У точці перетину медіан. **9.37.** Не порушиться; не залежить. **9.39.** $\alpha_{\max} = \arctg(2\mu)$. *Розв'язання.* Позначимо масу драбини m , а довжину l . Напишемо умови рівноваги, вираховуючи моменти сил відносно точки O (рис. 7). При цьому моменти двох сил обертаються в нуль. Отримаємо $F_{\text{теп}} = N_2$, $N_1 = mg$,

$mg \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin \alpha - N_2 l \cos \alpha = 0$. Оскільки $F_{\text{тер}} \leq \mu N_1$, одержуємо $\tan \alpha \leq 2\mu$.

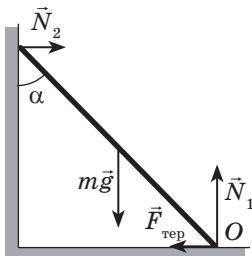


Рис. 7

9.40. Не може. *Вказівка.* В міру підйому людини сила тертя спокою збільшується. Знайдіть, де знаходиться людина, коли ця сила досягає свого найбільшого значення. **9.41.** *Вказівка.* Кожну з пластин можна подумки розбити на дві частини, що мають форму прямокутників або трикутників. Скористайтесь тим, що розбивку на частини можна зробити двома різними способами.

10.1. $2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **10.2.** $3,6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. **10.3.** Вагон. **10.4.** Людина.

10.5. 20 кг. **10.6.** 25 м/с. **10.7.** 0,72 м/с. **10.9.** б) Космічний корабель; г) катер із водометним двигуном; д) літак-винищувач.

10.11. 12 кН. *Розв'язання.* Скористаємося другим законом Ньютона в імпульсній формі та знайдемо силу, що діє на продукти згоряння палива: $N = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{v \Delta m}{\Delta t}$. Тут Δm — маса продуктів

згоряння, що викидаються за час Δt . Згідно з третім законом Ньютона сила тяги (сила, з якою продукти згоряння палива діють на ракету) дорівнює за модулем знайденій силі.

10.12. 0,16 м/с. **10.13.** 0,3 м/с. **10.14.** 0,5 м/с. **10.15.** 12 пострілів.

10.16. 4 м/с. **10.17.** 4 кДж. **10.18.** Зменшилася (слід урахувати не тільки підйом кубика, але й опускання води на його місце).

10.19. 150 м. *Розв'язання.* Під час руху автомобіля по горизонтальній дорозі з непрацюючим двигуном роботу виконують тільки сили опору рухові. При цьому кінетична енергія автомобіля

зменшується. Робота сил опору $A_{\text{оп}} = -\mu mgs$, де $\mu = 0,075$, дорівнює зміні кінетичної енергії автомобіля: $A_{\text{оп}} = 0 - \frac{mv^2}{2}$. Отримуємо $s = \frac{v^2}{2\mu g}$. **10.20.** У 2,25 разу. **10.21.** У 2,2 разу.

10.22. Кінетична енергія снаряда більша в 160 разів. **10.23.** Кінетична енергія зменшиться на 3 Дж. **10.24.** На 720 Дж.

10.25. 4,3 км/с. **10.26.** 15 км/с. **10.27.** 15 Н. **10.28.** 250 м/с.

Розв'язання. Снаряд, що вибухає, можна вважати замкненою системою (сила тяжіння набагато менша, ніж сила тиску порохових газів, що розриває снаряд на осколки). Отже, можна користуватися законом збереження імпульсу. Оскільки імпульс снаряда у верхній точці траєкторії дорівнював нулю, векторна

сума імпульсів усіх осколків теж дорівнює нулю. Вектори імпульсів осколків утворюють прямокутний трикутник. Шуканий вектор — гіпотенуза цього трикутника, звідки $p_3 = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$

$$\text{i } v_3 = \frac{\sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2}}{m_3} = 250 \text{ (м/с).} \quad \textbf{10.29.} \text{ 1,5 км.} \quad \textbf{10.30. a) } v_1 =$$

$= v_2 = 0,58 \text{ м/с; б) } v_1 = 0,58 \text{ м/с; } v_2 = 0,29 \text{ м/с.} \quad \textbf{10.31.} \text{ На 25 см.}$

10.32. 570 м/с. **10.33.** 0,5 м. **10.34.** 60 кг. **10.35.** а) 0,8; б) 0,2;

в) 0,99. **10.36.** 200 г. **10.37.** а) 0,64; б) 0,64; в) 0,04. **10.38.** 20 м/с.

Розв'язання. Переїдемо у систему відліку, зв'язану з ракеткою.

У цій системі відліку кулька налітає зі швидкістю v на нерухоме тіло, маса якого в багато разів більша, ніж маса кульки.

Після пружного лобового зіткнення кулька відлітає назад з такою самою за модулем швидкістю. Отже, у системі відліку, зв'язаній із Землею, швидкість руху кульки дорівнює $2v$.

$$\textbf{10.39.} \text{ 6 м/с.} \quad \textbf{10.40. } v = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{gl}{2}}.$$

11.1. $p_3 > p_2 > p_1 = p_4$. **11.3.** 8 кПа. **11.4.** 3 кН. **11.5.** 3 кН.

11.6. 240 см². **11.7.** 480 мН. **11.8.** 2,2 дм³. **11.9.** 1100 кг/м³.

11.10. У воді плаватиме, у гасі — ні. **11.11.** Тоне. **11.12.** 3 — найбільша, 1 — найменша. **11.13.** 1 — найбільший, 3 — найменший. **11.15.** $p_3 > p_4 > p_2 > p_1$. **11.16.** 1800 кг/м³. **11.17.** 3 Н.

11.18. 150 Н. **11.19.** 2,5 Н. **11.20.** 1,7 Н. **11.21.** 7,3 Н.

11.22. 10 кг. **11.23.** 2,4 м/с. **11.24.** У старій ділянці швидкість більша у 2,8 разу. **11.25.** 4 м/с; тиск у «новій» трубі менший, ніж на інших ділянках. **11.26.** 3,6 м/с. **11.27.** Зближається. **11.28.** Через рух у просторі між людиною та поїздом тиск знижений, людину «штовхає» до поїзда. **11.29.** Підіймальна сила крила зростає при збільшенні швидкості літака *відносно повітря*. **11.30.** На нижню. **11.31.** 100 см³. **11.32.** 45 см³. **11.33.** Зменшиться. **11.34.** 21. **11.35.** 0,53 м/с. **11.36.** *Вказівка.* При віддаленні від осі струменя швидкість повітряного потоку стає меншою, отже, тиск стає більшим. Унаслідок цього при випадковому відхиленні кульки від осі струменя виникає повертуюча сила, що обумовлена різницею тисків. **11.37.** $v = \sqrt{2gH}$. *Вказівка.* За відсутності тертя відбувається перетворення потенціальної енергії рідини тільки в кінетичну енергію струменя, що витікає. Тому можна вважати, що тонкий верхній шар рідини масою m немовби «провалюється» крізь усю посудину і випадає з отвору (рис. 8). **11.38.** На 12 см.

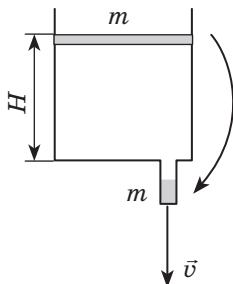


Рис. 8

12.2. 2 с, 0,5 Гц. **12.3.** 36 000; 288 м. **12.4.** 1 мм. **12.5.** 12 см; 10 Гц; 0,1 с. **12.6.** 6 см; 0,5 Гц; 2 с; $x = 0,06 \cos \pi t$. **12.7.** Не зміниться. **12.8.** Збільшиться. **12.10.** а) Не зміниться; б) зменшиться в $\sqrt{2}$ разу. **12.11.** 2 с. **12.12.** 0,25 Гц. **12.13.** 0,31 с. **12.14.** 1,6 Гц. **12.15.** 0,6 с; 1,7 Гц. **12.16.** Наручний механічний годинник. **12.17.** *Вказівка.* Ділянка смуги тим світліша, чим повільніше її «проходить» лампочка. **12.18.** У 2 рази.

12.19. $\frac{l_1}{l_2} = 3,2$. **12.20.** 144 000. **12.21.** 4,9 м/с². *Розв'язання.*

Гайковий ключ можна розглядати як математичний маятник з періодом коливань $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. Оскільки $T = \frac{t}{n}$, отримуємо $g = \frac{4\pi^2 l n^2}{t^2}$. **12.22.** 20 Н/м. **12.23.** Уніз. **12.24.** Годинник почав

поспішати. **12.25.** Годинник почав поспішати. **12.26.** Довжина другого маятника більша у 2,4 разу. **12.27.** Із свинцю. **12.28.** 0,9 с. **12.29.** 0,53 Гц. **12.30.** 12,5 м/с. *Вказівка.* Найсильніше розгойдування спостерігається за умови резонансу, коли інтервал часу між поштовхами дорівнює періоду коливань маятника. **12.32.** Зменшиться. *Вказівка.* Умикання електромагніту еквівалентне збільшенню прискорення вільного падіння. **12.33.** 0,5 с. **12.34.** а) 2 с; б) 2,7 с. **12.35.** 29 см. **12.36.** 50 і 32 см. **12.37.** 1,45 кг. *Розв'язання.* Період коливань вантажу $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{t}{n}$. Тому $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{m + \Delta m}{m}}$. Звідси $m = \frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2 - n_1^2} \Delta m$.

12.38. 1,3 с. **12.39.** 5 мм. *Розв'язання.* У положенні рівноваги сила пружності пружини компенсує силу тяжіння, що діє на вантаж. Під час коливань рівнодійна цих сил направлена до положення рівноваги, її модуль дорівнює kx , де x — відхилення від положення рівноваги. Отже, характер коливань такий самий, як і за відсутності сили тяжіння. Із закону збереження енергії $\frac{mv^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$, звідки $A = v \sqrt{\frac{m}{k}}$. **12.40.** 1 м/с. **12.41.** 0,19 м/с; під час проходження положення рівноваги.

13.3. 2 км. **13.4.** 170 м. **13.5.** а) Поперечні; б) поздовжні; в) хвилі, що не належать до поперечних або поздовжніх. **13.10.** Так. *Вказівка.* Звукові хвилі поширяються корпусом літака і повітрям усередині нього. **13.11.** Може: для цього треба, щоб шоломи космонавтів, які розмовляють, стикалися. **13.12.** 4 м/с. **13.13.** 1,5 м/с. **13.14.** 3 м/с. **13.15.** 2,5 м. *Розв'язання.* Швидкість хвиль $v = \frac{l}{t_1}$, частота $v = \frac{N}{t_2}$ (де $t_1 = 20$ с, $t_2 = 15$ с). Відстань між гребенями сусідніх хвиль (тобто довжина хвилі) $\lambda = \frac{v}{N} = \frac{t_2 l}{N t_1}$. **13.16.** 4,5 км/с. **13.17.** 77 см; 12,5 м.

13.18. 1,1 м; 5 м. **13.19.** Від 260 Гц до 15 кГц. **13.23.** Немає відбивання звуку від стін. **13.26.** Ні; через інтерференцію двох хвиль може бути послаблення коливань. **13.27.** Завдяки дифракції хвиль. **13.28.** Ні; можна. **13.29.** Звук відбивається від поверхні скла. **13.34.** Швидкість точки А напрямлена вгору, точки С — униз, швидкості точок В і D дорівнюють нулю. *Вказівка.* У показаний на рисунку момент точки В і D розташовані на максимальній відстані від відповідних положень рівноваги, точки А і С проходять положення рівноваги. Нарисуйте хвилю через невеликий проміжок часу. **13.35.** Праворуч. **13.36.** Частота не змінюється. Довжина хвилі зростає в 4,4 разу. *Вказівка.* Звукова хвиля частоти v , що падає на воду, спричиняє коливання поверхні води з такою самою частотою. Коливання точок поверхні викликають поширення у воді хвиль такої самої частоти. **13.37.** 29 мкс. **13.38.** 200 м/с. *Вказівка.* Доки звук з точки зеніту проходить шлях до спостерігача $l_1 = v_{\text{зв}} t$, літак встигає пролетіти відстань $l_2 = v_{\text{літ}} t$, яка дорівнює $l_1 \operatorname{tg} \alpha$. **13.39.** *Вказівка.* Частота власних коливань стовпа повітря у ящику камертонна через зменшення швидкості звука у холодному повітрі вже не збігається з частотою коливань самого камертона. **13.40.** 510 м/с. **13.41.** 1,5 км.

14.3. В обох випадках швидкість дорівнює c . **14.4.** $9 \cdot 10^{13}$ Дж. **14.5.** На 10 мг. **14.7.** $0,97c$; $0,73c$. **14.8.** $0,94c$. **14.9.** $0,95c$. **14.10.** $0,38c$. **14.11.** $2,1 \cdot 10^{21}$ Дж. **14.12.** Менша у 2 рази. **14.13.** $1,2 \cdot 10^{21}$ Дж. **14.14.** $0,97c$. **14.15.** $0,42c$. **14.16.** Зменшується на $4,7 \cdot 10^{-11}$ кг. **14.17.** Збільшується на $3,7 \cdot 10^{-12}$ кг. **14.18.** Збільшується на $2,8 \cdot 10^{-16}$ кг. **14.19.** $9 \cdot 10^{10}$ Дж. **14.20.** а) У 4 рази; б) у 833 рази. **14.21.** а) $0,87c$; б) $0,033c$. **14.22.** 135 МДж; 2500 годин. **14.23.** На 4,3 млн т.

15.7. Кожна молекула ароматичної речовини зазнає багато зіткнень, через які змінює напрям руху; модуль її переміщення набагато менший від пройденого шляху. **15.9.** Це приклад дії сил міжмолекулярного притягання. Сухі стекла легко відокремлюються, тому що через нерівності на поверхнях площа контакту дуже мала, а радіус дії міжмолекулярних сил порівнянний з розмірами молекул. **15.10.** Полірування спричиняє зменшення нерівностей обох поверхонь, міжмолекулярне притягання цих

поверхонь зростає. **15.11.** 10^{-8} м; розміри молекул не перевищують 10^{-8} м. **15.12.** $58 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 0,16 кг/моль; $17 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. **15.13.** 0,8 кг. **15.14.** 1,8 кг. **15.15.** $1,2 \cdot 10^{-26}$ кг; $3,3 \cdot 10^{-25}$ кг. **15.16.** $2,7 \cdot 10^{-26}$ кг. **15.17.** $4,7 \cdot 10^{-26}$ кг. **15.18.** Трохи нижче від температури плавлення більш легкоплавкого матеріалу. **15.19.** Зменшилася б в 1,5 разу. **15.20.** $1,4 \cdot 10^{22}$. **15.21.** $1,5 \cdot 10^{24}$. **15.22.** $5,15 \cdot 10^{24}$. **15.23.** 130 років. **15.24.** 0,7 моль. **15.25.** $3,3 \cdot 10^{-4}$ моль. **15.26.** 83 моль. **15.27.** Кількість атомів Оксигену однакова. **15.28.** У водні, у 4,5 разу. **15.29.** 40 см³. **Розв'язання.** Об'єм алюмінію можна виразити через його масу і густину: $V = \frac{m}{\rho}$. Масу ж алюмінію можна виразити через кількість речовини і молярну масу: $m = vM$. Звідси отримуємо $V = \frac{vM}{\rho}$. **15.30.** Так. **15.31.** 0,08 мм³. **15.32.** У повітрі, в 1,6 разу.

15.33. 4300 м³. **15.34.** У мідному кубику кількість речовини в 1,4 разу більша. **15.35.** а) У краплі води, в 11 разів; б) у краплі ртуті, в 1,2 разу. **15.36.** $1,4 \cdot 10^{21}$. **15.37.** $3,4 \cdot 10^{21}$. **15.38.** $1,6 \cdot 10^{22}$. **15.39.** $3,3 \cdot 10^8$. **15.40.** $3,2 \cdot 10^{18}$. **15.41.** $1,5 \cdot 10^{15}$ м; довжина нитки перевищувала б відстань від Землі до Сонця в 10 000 разів.

16.1. 300 К; 250 К; 643 К. **16.2.** -250 °C; -180 °C; 480 °C. **16.3.** 600 К. **16.4.** На 10 К. **16.5.** Щоб після вмикання лампи тиск азоту не розірвав балон (під час нагрівання тиск газу помітно зростає). **16.6.** На 16 %. **16.7.** 320 кПа; 200 кПа. **16.8.** 110 кПа. **16.9.** 96 л. **16.10.** 600 кПа. **16.11.** 6 л. **16.12.** 0,3 МПа. **16.13.** а) Середня кінетична енергія однакова; б) молекули азоту. **16.14.** $6,2 \cdot 10^{-21}$ Дж. **16.15.** 130 л. **16.16.** 4,2 МПа. **16.17.** 0,5 м³. **16.18.** 240 К. **16.19.** 6,9 моль. **16.20.** 6,2 МПа. **16.21.** Тиск не змінився. **16.22.** Зростаючий унаслідок нагрівання тиск газу може розірвати балон і надати його осколкам великої швидкості. **16.23.** 400 кПа. **16.24.** 3 л. **16.25.** 300 К. **16.26.** 500 кПа. **16.27.** 300 К. **16.28.** 7,5 л. **16.29.** 230 кПа. **16.30.** 5,9 МПа. **Розв'язання.** Відповідно до рівняння стану ідеального газу $p_1V_1 = v_1RT$, $p_2V_2 = v_2RT$, $p(V_1 + V_2) = vRT$. Тут v_1 і v_2 — кількість речовини відповідно в першому і другому балонах, v — загальна кількість речовини

в балонах. Оскільки $v = v_1 + v_2$, дістаємо $p_1 V_1 + p_2 V_2 = p(V_1 + V_2)$, звідки $p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$. **16.31.** Рівняння Клапейрона не виконується, оскільки змінюється маса газу.

16.32. Тиск збільшився в $\frac{4}{3}$ разу. **16.33.** Температура збільшувалася. **16.34.** Витікання газу відбулося. **16.35.** У балоні є тріщини (відбулося витікання газу). **16.36.** 500 кПа. *Вказівка.* Насос захопив 200 л атмосферного повітря, тобто фактично відбулося ізотермічне стискання повітря від об'єму 250 л до об'єму 50 л. **16.37.** 2 кПа. *Розв'язання.* На початку кожного циклу роботи поршень міститься біля краю циліндра; висуваючи поршень, надають можливість повітря розширюватися від об'єму V_0 до об'єму $V_0 + V$; потім повітря з насоса витісняють в атмосферу, і процес повторюється. Відповідно до умови цей процес ізотермічний. Отже,

$p_n V_0 = p_{n+1} (V_0 + V)$. Тут p_n — тиск у балоні після n коливань поршня. Як бачимо, значення p_n утворюють геометричну прогресію (під час кожного наступного коливання поршня насос захоплює менше повітря, ніж під час попереднього). Після N таких коливань тиск у балоні $p_N = p_a \left(\frac{V_0}{V_0 + V} \right)^N$. **16.41.** У стані

2 об'єм більший у 4,2 разу. **16.42.** У стані 1 об'єм газу менший. **16.43.** *Розв'язання.* Перш ніж будувати графіки, потрібно з'ясувати, що саме відбувається з газом на кожному етапі замкненого процесу. Скориставшись рівнянням Клапейрона, можна зробити висновок і про характер зміни об'єму газу на кожному з етапів. Етап 1–2 — це ізотермічне розширення (температура постійна, тиск зменшується), етап 2–3 — ізобарне охолодження (тиск постійний, температура зменшується), етап 3–1 — ізохорне нагрівання (тиск збільшується прямо пропорційно до абсолютної температури газу). Етап 1–2: $T = \text{const}$, p — убуває, V — зростає (пропорційно до $\frac{1}{p}$). Етап 2–3: T — убуває, $p = \text{const}$, V — убуває (пропорційно до T). Етап 3–1: T — зростає,

p — зростає (пропорційно до T), $V = \text{const}$. Слід також урахувати, що всі графіки мають замкненими (рис. 9).

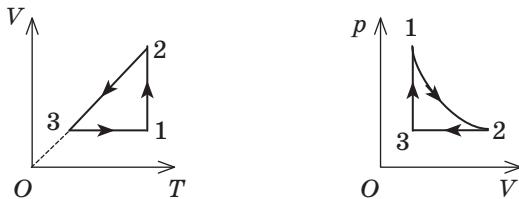


Рис. 9

16.44. Див. рис. 10.

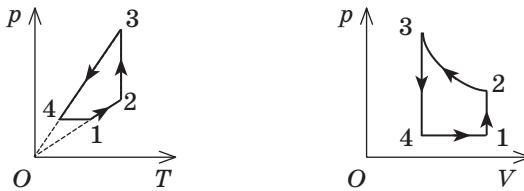


Рис. 10

16.45. Див. рис. 11.

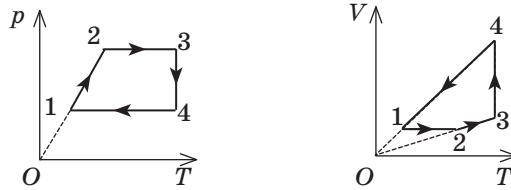


Рис. 11

16.46. 0,45 кг. **16.47.** Збільшиться на 3,3 кг. **16.48.** Густина вуглекислого газу більша в 1,57 разу. **16.49.** 160 г/м³.

16.50. 490 кПа. *Розв'язання.* Скористаємося основним рівнянням молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу. Концентрація

молекул $n = \frac{N}{V}$, масу молекули можна виразити через молярну

масу вуглекислого газу: $m_0 = \frac{M}{N_A}$. Звідси $p = \frac{NM\bar{v}^2}{3VN_A} = \frac{NM(\bar{v}_{\text{кв}})^2}{3VN_A}$.

16.51. 460 м/с. **16.52.** 271 К. **16.53.** 26 °С; 117 °С. **16.54.** 240 кПа.

16.55. Наприклад, азоту або етилену. **16.56.** Швидкість молекул азоту більша в 1,07 разу. **16.57.** $2,65 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. **16.58.** Посудина з вологим повітрям легша. *Розв'язання.* У рівних об'ємах газів за однакових температур і тисків міститься однакова кількість молекул. Виходить, у вологому повітрі легкі молекули води просто замінюють таку ж кількість молекул азоту та кисню.

16.59. До 118 °С. **16.60.** 97 м. **16.61.** 2,4 кг. *Розв'язання.* Повітряна куля піднімає Вінні Пуха за умови, що вага витиснутого кулею зовнішнього (холодного) повітря дорівнює сумарній вазі теплого повітря в кулі і самого Вінні Пуха: $m_0g = m_1g + mg$. Щоб знайти маси теплого і холодного повітря, скористаємося рівнянням стану ідеального газу: $m_{0,1} = \frac{p_a VM}{RT_{0,1}}$.

Звідси дістаємо $m = \frac{p_a VM}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right)$. **16.62.** Збільшиться в 1,08 разу. **16.63.** Вправо, на 6 см. **16.64.** Тиск збільшився в 3 рази. *Розв'язання.* Скористаємося формулою $p = nkT$. Відповідно до умови T зростає у 2 рази; внаслідок дисоціації кожної другої молекули концентрація n часток у газі зростає в 1,5 разу. Отже, тиск зростає в 3 рази. **16.65.** 15 мм. **16.66.** 1200 К. **16.67.** 0,33 мм/с. *Розв'язання.* Середня кінетична енергія хаотичного руху броунівської частки дорівнює середній кінетичній енергії поступального руху окремої молекули, тобто $\frac{3kT}{2}$. Звідси для середньої

квадратичної швидкості броунівської частки дістаємо вираз

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3kT}{\frac{4\pi r^3 \rho}{3}}} = \frac{3}{2r} \sqrt{\frac{kT}{\pi \rho r}}.$$

17.12. 46 кДж. **17.13.** 1,15 МДж. **17.14.** 115 кДж. **17.15.** 0,3 кг.

17.16. 50 %. **17.17.** 76 %. **17.18.** 60 %. **17.19.** 0,83 кПа.

17.20. 1,63 кПа. **17.21.** 67 %. **17.22.** 100 %. **17.23.** Після підвищення температури повітря до 0 °С сніг танув би дуже швидко, тому щовесни відбувалися б спустошливи повені. **17.24.** *Розв'язання.* Хоча вода в кухолі, що плаває, нагріється до температури кипіння, для процесу кипіння цього недостатньо: необхідне

подальше підведення тепла, а для цього — теплообмін з більш нагрітим тілом. Вода в каструлі кипить, одержуючи тепло від дна, температура якого вища за температуру кипіння; однак вода в каструлі не може служити нагрівачем для води в кухолі. Тому вода в кухолі кипіти не буде. **17.25.** Швидше остигає чай: плівка жиру на бульйоні заважає випаровуванню води. **17.26.** Відбувається конденсація водяної пари, коли тепле повітря стикається з холодним склом окулярів. **17.27.** 16,5 г. **17.30.** 51 %. **17.31.** 66 %. **17.32.** 415 г. **17.33.** 0,05 г. **17.34.** 0,87 г. **17.35.** 67 г/м³. **17.36.** 74 %. *Роз'язання.* Густина ρ водяної пари дорівнює густині насыченої пари при 15 °C (можна вважати, що під час охолодження густина пари практично не змінюється).

Тоді відносна вологість повітря $\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100 \%$, де ρ_n — густина насыченої пари за температурі 20 °C. **17.37.** До 3 °C. **17.38.** Роса випаде. **17.39.** 2,5 г. **17.40.** Відносна вологість повітря зменшувалася. **17.41.** 71 %. **17.42.** 14 °C. **17.43.** 13 °C. **17.44.** 17 °C. **17.45.** 1 кПа. **17.46.** 0,5 кг. **17.47.** 0,43 кг. **17.48.** 5,5 хв. **17.49.** 0,87 кг. **17.50.** Іній утворюється на внутрішньому боці шиби в результаті перетворення водяної пари в кристали льоду. **17.51.** Наприклад, у сонячну морозну погоду. Промені сонця нагрівають сніг на даху та викликають його танення. Вода, стикаючи на тіньову сторону, замерзає, утворюючи бурульки. **17.52.** Поблизу поверхні води температура повітря та водяної пари вища за температуру навколошнього повітря. Піднімаючись угору й охолоджуючись, водяна пара стає насыченою та конденсується в маленькі краплі туману. **17.53.** *Вказівка.* Парціальний тиск водяної пари в приміщенні та на вулиці приблизно одинаковий. **17.54.** Наприклад, насычена пара або вода за температури від 0 до 4 °C. **17.55.** Вода буде одночасно кипіти та замерзати. **17.56.** Так (пара буде виходити з кухні на вулицю). **17.57.** 15 °C. *Роз'язання.* Відповідно до показань психрометра температура повітря 20 °C, а відносна вологість 74 %. Густина *насыченої* водяної пари за 20 °C дорівнює 17,3 г/м³; отже, густина водяної пари в повітрі $0,74 \cdot 17,3 \text{ г/м}^3 = 12,8 \text{ г/м}^3$. Роса випаде за температури, за якої водяна пара з такою густиною є насыченою, тобто за 15 °C. **17.58.** Може; за тиску відповідно

70 і 12 кПа. **17.59.** Більше 125 г. **17.60.** 14 °С. **17.61.** У 2 рази. **17.62.** а) На 3 м; б) вода не буде підніматися. **17.63.** 0,58 кг/м³.

18.6. Розпушування руйнує капіляри, якими вода піднімається до поверхні та випаровується. **18.9.** Зменшується.

18.10. Тирса буде «розвігатися» від шматочка мила і «збігатися» до шматочка цукру. **18.13.** Склянку *a*. **18.15.** Капіляри в шматку крейди значно тонші, ніж у губці. **18.16.** Незмочувана.

18.18. 3,3 мН. **18.19.** 98 мН. **18.20.** 0,11 Н/м. **18.21.** 53 мН/м. **18.22.** 15 мг. **18.23.** 1,6 см. **18.24.** 3,8 см. **18.25.** 0,18 мм.

18.28. Коли вода охолонула (зі зниженням температури поверхневий натяг води збільшується). **18.30.** Гас буде обволікати пробірку зсередини і ззовні; ртуть збереться в краплю.

18.31. 4,3 мм. *Розв'язання.* На кубик, що плаває, діють напрямлені вниз сила тяжіння mg та сила поверхневого натягу $4\sigma a$, а також напрямлена вгору архімедова сила $\rho_{\text{в}}ga^2h$. З умови рівноваги кубика дістаємо $h = \frac{mg + 4\sigma a}{\rho_{\text{в}}ga^2}$. Зазначимо, що за умови

ви відсутності сили поверхневого натягу глибина занурення нижньої грані кубика була б на 1 мм меншою. **18.32.** Зменшиться на 2,9 мм.

19.2. Сапфір, на відміну від скла, має кристалічну структуру. **19.6.** 100 МПа; $8,3 \cdot 10^{-4}$. **19.7.** 1,9 кН. **19.8.** Не витримає.

19.9. 200 МПа. **19.10.** Не всім (наприклад, полікристали ізотропні).

19.11. Монокристал утворюється за наявності одного центра кристалізації. **19.14.** Не можна, бо ці тіла зазнають деформації розтягнення або стиснення, а не вигину. **19.15.** 6,3 т. **19.16.** 200 ГПа. **19.17.** 44 МПа. **19.18.** 300 МПа; $1,5 \cdot 10^{-3}$; 1,5 мм. **19.19.** На 0,29 мм. **19.20.** На 0,82 мм. **19.21.** До 150 °С. **19.24.** Щоб стінки швидко прогрівалися на всю товщину й у них не виникала механічна напруга. **19.28.** Не менше ніж 1,1 см². *Розв'язання.* Сила F натягу троса найбільша, коли прискорення ліфта напрямлене вгору: $F = m(g+a)$. Границя міцності сталі $\sigma_{\text{мц}}$ має не менше ніж у n разів перевищувати виникаючу при цьому в тросі ме-

ханічну напругу $\sigma = \frac{F}{S}$. Звідси знаходимо: $S \geq \frac{nm(g+a)}{\sigma_{\text{мц}}}$.

19.29. Не менше ніж 8,4 мм. **19.30.** 3,9 МПа. **19.31.** 3,7 км. **19.32.** 7,4 км. **19.33.** На 2,55 см³. **19.34.** До 280 °С.

20.3. Під час ізотермічного процесу. **20.5.** У внутрішню енергію. **20.8.** 3 кДж. **20.9.** 13 кДж. **20.10.** 3 кДж. **20.11.** 37 кДж. **20.12.** 31 кДж. **20.13.** Збільшилася на 40 кДж. **20.14.** Збільшилася на 35 кДж. **20.15.** 40 Дж. **20.16.** Віддав 10 Дж. **20.17.** Під час ізотермічного стискання. **20.18.** 300 Дж. **20.19.** Обидва гази мають однакову внутрішню енергію. **20.20.** Гелій, у 50 разів. **20.21.** 75 кДж. **20.22.** Збільшилася в 1,25 разу. **20.23.** У випадку нагрівання повітря в надувній кульці. *Вказівка.* Під час нагрівання повітря в кульці його об'єм збільшується. **20.24.** У процесах *a*, *b*. **20.25.** У процесі *v*. **20.26.** У процесі *d*. **20.28.** Під час процесів *a*, *b*. **20.30.** Внутрішня енергія повітря в кімнаті не змінилася. *Розв'язання.* Через витікання повітря тиск у кімнаті не змінюється під час нагрівання: тиск залишається рівним атмосферному. Отже, маса *m* повітря в кімнаті зменшується.

Внутрішня енергія повітря пропорційна $\frac{mRT}{M}$, тобто (відповідно до рівняння стану ідеального газу) добутку тиску повітря на об'єм кімнати. Але обидві ці величини під час нагрівання не змінюються; виходить, внутрішня енергія повітря в кімнаті під час нагрівання теж не змінюється! Усю енергію, що надходить від джерела тепла, уносить повітря, яке виходить назовні.

20.32. 1,2 МДж. **20.34.** 831 Дж. **20.35.** 1,5 кДж. **20.36.** 2,1 кДж. **20.37.** 1,25 кДж. **20.38.** 30 кДж. **20.39.** Збільшилася на 24 К. **20.40.** Під час ізобарного нагрівання гази, на відміну від рідин і твердих тіл, помітно розширяються та виконують роботу. **20.41.** Під час ізобарного розширення. **20.42.** 7,5 кДж; 18,7 кДж. **20.43.** Відбувається практично адіабатне розширення газу, що супроводжується зниженням температури. **20.45.** 40 %. **20.46.** а, б) У випадку швидкого стискання. **20.47.** Наприклад, кисень. **20.48.** $12p_0V_0$; $42p_0V_0$. **20.49.** а) Від'ємну; б) додатну. *Розв'язання.* б) Розіб'ємо процес на два етапи: розширення (рис. 12, *a*) і стискання (рис. 12, *b*).

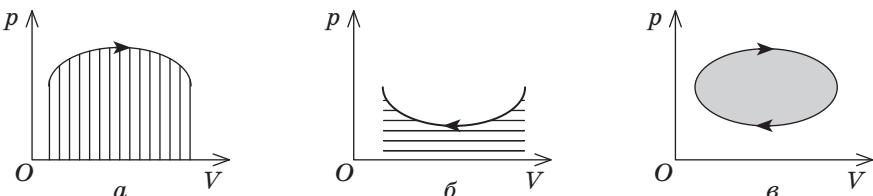


Рис. 12

На першому етапі газ виконує додатну роботу, що чисельно дорівнює площі ділянки з вертикальним штрихуванням; на другому етапі газ виконує від'ємну роботу, модуль якої чисельно дорівнює площі ділянки з горизонтальним штрихуванням. Площа, заштрихована на рис. 12, а, більша за площину, заштриховану на рис. 12, б. Отже, у циклічному процесі газ виконує додатну роботу, рівну площі всередині графіка (рис. 12, в). Таким чином, газ виконує за цикл додатну роботу, якщо в координатах p , V цикл проходиться за годинниковою стрілкою.

20.50. $A_{1-2} = 0$, $Q_{1-2} = 3p_0V_0$; $A_{2-3} = 12p_0V_0$, $Q_{2-3} = 30p_0V_0$; $A_{3-4} = 0$, $Q_{3-4} = -15p_0V_0$; $A_{4-1} = -4p_0V_0$, $Q_{4-1} = -10p_0V_0$.

20.51. $A = \nu R (\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2$.

21.7. 40 %. **21.8.** 25 %; 1,2 МДж. **21.9.** 30 %. **21.10.** 33 %. **21.11.** 480 кДж. **21.12.** 50 %. **21.13.** 55 %. **21.14.** Нижче від 150 К. **21.15.** У 2,1 разу. **21.19.** 33 %. **21.20.** 9,6 кВт. **21.21.** 37 %. **21.22.** 900 км. **21.23.** На 150 кДж. **21.24.** 15 кДж. **21.25.** Можлива: саме такий процес здійснюють холодильні машини. **21.26.** Збільшиться. **21.27.** а) 35 %; б) 33 %. **21.28.** 30 л. **21.29.** 4,4 т.

22.1. -3 нКл. **22.2.** $9 \cdot 10^9$ Н. **22.3.** Ні; ні; да. **22.4.** Електрони; від кульки до палички. **22.7.** 750 мкН. **22.8.** 80 мкН. **22.9.** 1 мкН; 38 мкН. **22.10.** 2 нКл. **22.11.** 30 нКл. **22.12.** 270 нКл. **22.13.** 2 см. **22.14.** 5 см. **22.17.** 2 кН/Кл. **22.18.** 4,5 кН/Кл. **22.19.** 4 мкН. **22.20.** 42 мН. **22.21.** 1 нКл. **22.22.** $3,8 \cdot 10^{12}$ м/с². **22.23.** $1,6 \cdot 10^{14}$ м/с². **22.24.** Зменшується в 9 разів. **22.25.** 56 кН/Кл; 14 кН/Кл. **22.26.** $1,4 \cdot 10^{11}$ Н/Кл. **22.27.** 6 см. **22.28.** 86 кН/Кл. **22.29.** 6 см. **22.30.** $E_A > E_B$. **22.31.** 2,3 мкН. **22.32.** $2,1 \cdot 10^9$. **22.33.** У $4,2 \cdot 10^{42}$ разів. **22.34.** $8,6 \cdot 10^{-13}$ Кл. **22.35.** Зменшився в 48 разів. **22.36.** 9 мН. **22.37.** Сила натягу нитки в точці А дорівнює 0,4 мН; у точці В для однійменних зарядів 0,33 мН, а для різномейнних 67 мкН. **22.38.** $1,3 \cdot 10^{-6}$ м/с². **22.39.** 4,2 мкКл. **22.40.** $11,5^\circ$. **22.41.** 0,2 МН/Кл. **22.42.** У точці, що лежить на 15 см нижче від заряду. **22.43.** 15 кН/Кл (у точках А і С); 21 кН/Кл (у точці В); 3 кН/Кл (у точці D). **22.44.** а) На відстані 4 см від меншого заряду і 8 см від більшого; б) на відстані 12 см від меншого заряду і 24 см від більшого. **22.45.** У випадку а маса кульок однакові, у випадку б маса кульки 2 більша; про співвідношення

зарядів кульок нічого сказати не можна. **22.46.** На зовнішній поверхні збільшилася у 2 рази; на внутрішній — зменшилася до нуля. **22.47.** Унаслідок поділу зарядів в електричному полі.

22.49. 1 — парафінова, 2 — мідна. **22.51.** $1500 \text{ кг}/\text{м}^3$. *Розв'язання.* На рис. 13 показано сили, що діють на одну з кульок після занурення в гас. З умови рівноваги одержуємо співвідношення

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{\kappa}}{mg - F_A}. \text{ Тут } F_{\kappa} \text{ — сила кулонівського відштовхування}$$

в гасі, F_A — архімедова сила. У повітрі архімедова сила практично відсутня, а кулонівська сила збільшується в ϵ разів

$$(\epsilon \text{ — діелектрична проникність гасу}); \operatorname{тому}: \operatorname{tg} \alpha = \frac{\epsilon F_{\kappa}}{mg}. \text{ Звідси}$$

$$mg = \frac{\epsilon F_A}{\epsilon - 1}. \text{ З огляду на співвідношення } m = \rho V \text{ і } F_A = \rho_g g V,$$

знаходимо $\rho = \frac{\epsilon \rho_g}{\epsilon - 1}$. Тут ρ_g — густина гасу.

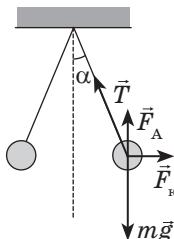


Рис. 13

22.52. У випадку б. **22.53.** Модулі зарядів 2,7 і 0,67 нКл. **22.54.** 9,6 мКл. *Розв'язання.* Кількість молекул у крапельці води

$$N = \frac{m}{M} N_A. \text{ Заряд крапельки буде } q = 10^{-3} \frac{m}{M} e N_A. \text{ Зрозуміло,}$$

що отримане значення заряду неправдоподібно велике (уже за набагато меншого заряду кулонівські сили розірвуть крапельку).

22.55. 830 кН. **22.56.** На відстані 0,6 м від меншого заряду та 1,2 м від більшого; 0,8 мкКл. *Розв'язання.* Заряд Q слід помістити в точку, в якій напруженість поля двох перших зарядів дорівнює нулю: $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$. Ця точка лежить на прямій, що проходить через заряди 1 і 2, причому поза відрізком, який

з'єднує заряди (у точках на цьому відрізку вектори \vec{E}_1 і \vec{E}_2 напрямлені в один бік). Щоб виконувалася умова $E_1 = E_2$, шукана точка має лежати ближче до меншого за модулем заряду (рис. 14).

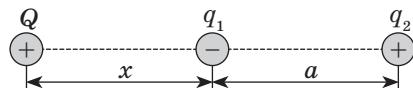


Рис. 14

Зі співвідношення $k \frac{q_2}{(a+x)^2} = k \frac{|q_1|}{x^2}$ отримуємо $x = a$. Знайдемо тепер заряд Q . Для цього можна використати умову рівноваги заряду q_1 : він міститься посередині між зарядами Q і q_2 . Звідси випливає, що $Q = q_2$.

22.57. На відстані 15 см від меншого заряду і 45 см від більшого. **22.58.** а) 0,11 мН; б) 0,14 мН. *Розв'язання.* а) Силу $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ знайдемо, скориставшись правилом паралелограма (рис. 15, а). Паралелограм сил являє собою ромб. З подібності виділених на рисунку трикутників випливає, що

$$F = \frac{a}{r} F_1 = k \frac{Qqa}{r^3}. \quad \text{б)} \quad \text{Див. рис. 15, б.} \quad F = 2F_1 \cos\alpha, \quad \text{де} \\ \cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha} = \frac{\sqrt{4r^2 - a^2}}{2r}.$$

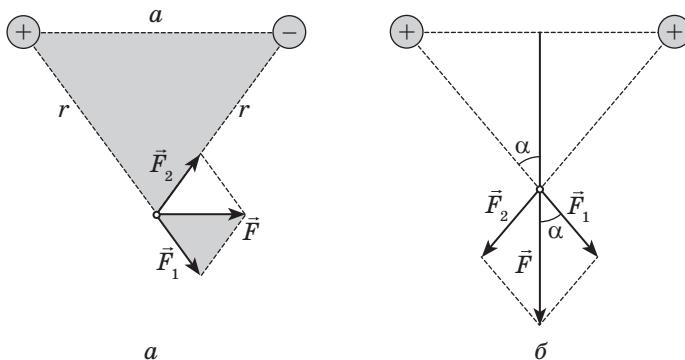


Рис. 15

22.59. а) 115 кН/Кл; б) 86 кН/Кл. **22.60.** $E = \frac{q}{\pi \epsilon_0 a^2}$.

22.61. –19 нКл. **22.62.** Повертає вздовж силових ліній; «втягує» в ділянку, де напруженість поля більша. **22.63.** Див. рис. 16.

22.64. Див. рис. 17. **22.65.** $F = k \frac{q^2}{4h^2}$.

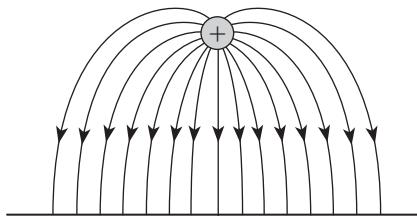


Рис. 16

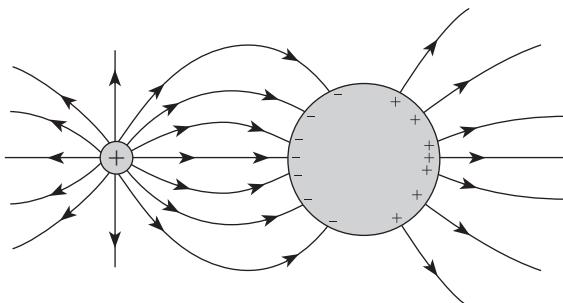


Рис. 17

- 23.1.** 5 кВ. **23.2.** –2 нКл. **23.3.** 0,3 мкДж. **23.4.** –0,8 мкДж.
23.5. 2 кВ. **23.6.** –10 кВ. **23.7.** а) Зменшилася; б) збільшилася.
23.8. –10 мкДж; збільшилася на 10 мкДж. **23.9.** 200 В/м.
23.10. 15 кВ. **23.11.** $5,9 \cdot 10^5$ м/с; $1,9 \cdot 10^7$ м/с. **23.12.** 2 кеВ;
 $3,2 \cdot 10^{-16}$ Дж. **23.13.** $2,7 \cdot 10^7$ м/с. **23.14.** 280 В. **23.15.** –68 В.
23.16. 0,16 мм/с. **23.17.** Наприклад, піднести до кулі заряджене тіло. **23.18.** $\Phi_A > \Phi_B$, $E_A > E_B$, $\Phi_C > \Phi_D$, $E_C < E_D$. **23.19.** Вказівка. Силові лінії перпендикулярні до еквіпотенціальних поверхонь і напрямлені в бік зменшення потенціалу. **23.20.** У всіх випадках робота однаакова. **23.21.** 3,6 кВ. **23.22.** 18 кВ; 18 кВ. **23.23.** 90 кВ.

23.24. 51 кВ. **23.25.** 10^{-13} Кл. **23.26.** 200 В. **23.27.** Порівну.

23.29. $E = 0$, $\phi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$. **23.30.** $\Delta q = 19$ нКл. *Розв'язання.* Після

того як кулі з'єднують дротом, між ними починається перерозподіл заряду. Перерозподіл продовжується, поки потенціали куль не зрівняються ($\phi'_1 = \phi'_2$): $\frac{q'_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} = \frac{q'_2}{4\pi\epsilon_0 R_2}$. Ураховуючи

закон збереження заряду $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$, розраховуємо заряд першої кулі після перерозподілу $q'_1 = \frac{(q_1 + q_2)R_1}{R_1 + R_2}$. Дротом пройшов

заряд $\Delta q = |q_1 - q'_1| = \left| \frac{q_1 R_2 - q_2 R_1}{R_1 + R_2} \right|$. **23.31.** 30 нКл. **23.32.** 3 м/с.

23.33. 2,4 см.

24.1. Ні. **24.3.** Зменшиться в 3 рази. **24.4.** Збільшилася у 2 рази. **24.5.** 10 мкФ. **24.6.** 50 мкКл. **24.7.** 2 В. **24.8.** Збільшиться в 3,5 разу. **24.11.** Дозволяє; ні. **24.12.** 1,8 мкФ. **24.13.** 66 пФ.

24.14. 700 пФ. **24.15.** 160 пФ; 48 нКл. **24.16.** $5 \cdot 10^7$ м².

24.17. 1,1 МВ/м. **24.18.** 5 нКл. **24.19.** 3,2 мм. **24.20.** 2,5 мм.

24.21. 425 нКл. **24.22.** 5 мкФ; 0,8 мкФ. **24.23.** 5 мкФ; 1,2 мкФ.

24.24. 220 пФ. **24.25.** 3 мкФ. **24.26.** 30 мкФ. **24.27.** 3,8 мкФ.

24.28. $q_A = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U$, $q_B = -\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U$. **24.29.** а) $\frac{U_1}{U_2} = \frac{3}{2}$; б) $\frac{W_1}{W_2} = \frac{3}{2}$.

24.30. а) $\frac{q_2}{q_1} = 2,5$; б) $\frac{W_2}{W_1} = 2,5$. **24.31.** 3,6 мкДж. **24.32.** 64 мкДж.

24.33. 60 МДж. **24.34.** 0,4 Дж. **24.35.** 20 мкФ. **24.36.** 300 В.

24.37. а) Заряд і напруженість поля зменшаться вдвічі, різниця потенціалів не зміниться; б) заряд і напруженість поля не зміняться, різниця потенціалів збільшиться у 2 рази. **24.38.** Заряд не зміниться, напруга зменшиться у 2 рази. **24.39.** 2 мкФ.

24.40. Не зміниться; збільшиться в 1,5 разу. **24.41.** $q_1 = 30$ мкКл,

$q_2 = 12$ мкКл, $q_3 = 18$ мкКл. **24.42.** $C_0 = C_1$. *Вказівка.* Потенціали точок A і B однакові, приєднаний між цими точками

конденсатор не заряджений. Якщо його вилучити, електроемність батареї не зміниться. **24.43.** $q_1 = q_2 = \frac{CU}{2}$, $q_3 = q_4 = \frac{4CU}{5}$,

$\varphi_D - \varphi_E = -0,3U$. Розв'язання. Електроемність верхньої гілки кола $\frac{C}{2}$, заряди на конденсаторах цієї гілки $q_1 = q_2 = \frac{CU}{2}$. Електроемність нижньої гілки кола $C_{3-4} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{4C}{5}$, заряди конденсаторів $q_3 = q_4 = \frac{4CU}{5}$. Знайдемо напруги на конденсаторах 1

$$\text{i 3: } U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{U}{2}, \quad U_3 = \frac{q_3}{C_3} = \frac{4U}{5}. \quad \text{Оскільки } U_1 = \varphi_D - \varphi_A$$

i $U_3 = \varphi_E - \varphi_A$, отримуємо $\varphi_D - \varphi_E = U_1 - U_3 = -0,8U$.

24.44. a) 0,6C; б) 3C; в) $\frac{5C}{3}$; г) C. **24.45.** 9 В.

ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТИВ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

До § 2

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Б	Г	Б	Г	А	В

До § 5

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Б	Б	В	А	Б	Б

До § 6

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Г	В	Б	А	Г	Б

До § 8

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Б	Г	В	В	Г	В

До § 9

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Б	В	Г	В	Г	А

До § 10

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Г	Б	Г	В	А	Г

До § 11

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Г	В	В	Г	А	В

До § 13

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	А	Б	Г	Б	В	А

До § 16

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Б	В	В	Г	Б	Г

До § 18

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	А	Г	Б	Б	Г	В

До § 21

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	Б	Г	А	Г	Б	В

До § 22

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	В	Г	Б	Б	А	В

До § 24

Завдання	1	2	3	4	5	6
Відповідь	В	В	В	А	Б	В

ДОДАТОК

ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

Прискорення вільного падіння $g \approx 10$ м/с²

Гравітаційна стала $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

Стала Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

Стала Болтьцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Універсальна газова стала $R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

Електрична стала $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Маса електрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг

Маса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Деякі відомості про Сонячну систему

Відношення маси Сонця до маси Землі	333 000
Середня відстань від Землі до Сонця	150 млн км
Середній радіус Землі	6370 км
Радіус Місяця	1740 км
Середня відстань від Землі до Місяця	384 000 км

Густина речовин, кг/м³

Алюміній	2700
Бензин	700
Вода	1000
Гас	800
Залізо	7800
Золото	19 300
Латунь	8500
Лід	900

Мідь	8900
Ртуть	13 600
Свинець	11 300
Скло	2500
Сосна (суха)	400
Срібло	10 500
Сталь	7800
Чавун	7000

Швидкість звуку (за температури 20 °С), м/с

Вода	1500	Повітря	340
Скло	5500	Сталь	6000

Теплові властивості речовин

Тверді тіла

Речовина	Питома теплоємність, кДж кг · °С	Температура плавлення, °С	Питома теплота плавлення, кДж кг
Лід	2,10	0	330
Свинець	0,14	327	25

Рідини

Речовина	Питома теплоємність, кДж кг · °С	Температура кипіння*, °С	Питома теплота пароутворення**, МДж/кг
Вода	4,2	100	2,3
Спирт	2,5	78	0,90

Питома теплота згоряння палива

Речовина	q , МДж/кг	Речовина	q , МДж/кг
Антрацит	30	Гас	46
Бензин	46	Паливо дизельне	43

Залежність тиску p_n і густини ρ_n насиченої водяної пари від температури t

t , °С	p_n , кПа	ρ_n , г/м ³	t , °С	p_n , кПа	ρ_n , г/м ³
0	0,61	4,8	18	2,07	15,4
3	0,76	6,0	19	2,20	16,3
6	0,93	7,3	20	2,33	17,3
10	1,23	9,4	25	3,17	23,0
15	1,71	12,8	30	4,24	30,4
16	1,81	13,6	50	12,34	82,9
17	1,93	14,5	90	70,11	423,3

* За нормального атмосферного тиску.

** За нормального атмосферного тиску і температури кипіння.

Поверхневий натяг рідин за 20 °С, мН/м

Вода 73	Мильний розчин 40
---------	-------------------

Психрометрична таблиця

Показання сухого тер- мометра, °С	Різниця показань сухого та вологого термометрів, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Відносна вологість, %									
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	25
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	36	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
25	100	92	84	77	70	63	57	50	43	38

Границя міцності на розтяг $\sigma_{\text{мц}}$ і модуль пружності E

Речовина	$\sigma_{\text{мц}}, \text{ МПа}$	$E, \text{ ГПа}$
Алюміній	100	70
Мідь	50	120
Сталь	500	200

Температурний коефіцієнт лінійного розширення твердих тіл

Залізо $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$	Мідь $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$
---	---

Діелектрична проникність

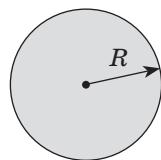
Вода	81
Гас	2,1
Мастило	2,5

Парафін	2
Слюдя	7

МАТЕМАТИЧНИЙ ДОВІДНИК

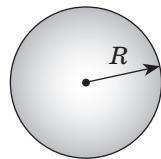
Довжина кола $l = \pi D = 2\pi R$

$$\text{Площа круга } S = \frac{\pi D^2}{4} = \pi R^2$$



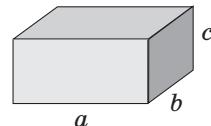
$$\text{Площа поверхні кулі } S = 4\pi R^2$$

$$\text{Об'єм кулі } V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

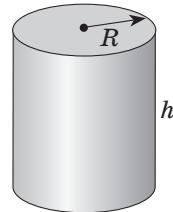


Об'єм прямокутного паралелепіпеда

$$V = abc$$



$$\text{Об'єм циліндра } V = \pi R^2 h$$



ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Групи Періоди	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б
1	H ¹ 1,0079 Гідроген Водень				
2	Li ³ 6,941 Літій	Be ⁴ 9,012 Берилій	B ⁵ 10,81 Бор	C ⁶ 12,011 Карбон Вуглець	N ⁷ 14,0067 Нітроген Азот
3	Na ¹¹ 22,990 Натрій	Mg ¹² 24,305 Магній	Al ¹³ 26,981 Алюміній	Si ¹⁴ 28,086 Силіцій	P ¹⁵ 30,973 Фосфор
4	K ¹⁹ 39,098 Калій	Ca ²⁰ 40,08 Кальцій	Sc ²¹ 44,956 Скандій	Ti ²² 47,90 Титан	V ²³ 50,941 Ванадій
	Cu ²⁹ 63,546 Купрум Мідь	Zn ³⁰ 65,38 Цинк	Ga ³¹ 69,72 Галій	Ge ³² 72,59 Германій	As ³³ 74,921 Арсен
5	Rb ³⁷ 85,468 Рубідій	Sr ³⁸ 87,62 Стронцій	Y ³⁹ 88,906 Ітрій	Zr ⁴⁰ 91,22 Цирконій	Nb ⁴¹ 92,906 Ніобій
	Ag ⁴⁷ 107,868 Аргентум Срібло	Cd ⁴⁸ 112,40 Кадмій	In ⁴⁹ 114,82 Індій	Sn ⁵⁰ 118,69 Станум Олово	Sb ⁵¹ 121,75 Стибій
6	Cs ⁵⁵ 132,905 Цезій	Ba ⁵⁶ 137,34 Барій	*La ⁵⁷ 138,905 Лантан	Hf ⁷² 178,49 Гафній	Ta ⁷³ 180,948 Тантал
	Au ⁷⁹ 196,967 Золото	Hg ⁸⁰ 200,59 Меркурій Ртуть	Tl ⁸¹ 204,37 Талій	Pb ⁸² 207,2 Пломбум Свинець	Bi ⁸³ 208,980 Бісмут
7	Fr ⁸⁷ [223,02] Францій	Ra ⁸⁸ [226,03] Радій	Ac ⁸⁹ ** [227,03] Актиній	Rf ¹⁰⁴ [265,12] Резерфордій	Db ¹⁰⁵ [268,13] Дубній
	Rg ¹¹¹ [280,16] Рентгеній	Cn ¹¹² [285,17] Коперніцій	Nh ¹¹³ [284,18] Ніхоній	Fl ¹¹⁴ [289,19] Флеровій	Mc ¹¹⁵ [288,19] Московій

*Лантаноїди

58 140,12 Ce	59 140,91 Pr	60 144,24 Nd	61 [144,91] Pm	62 150,36 Sm	63 151,96 Eu	64 157,25 Gd
Церій	Празеодим	Неодим	Прометій	Самарій	Європій	Гадоліній

**Актиноїди

90 232,04 Th	91 231,04 Pa	92 238,03 U	93 [237,05] Np	94 [244,06] Pu	95 [243,06] Am	96 [247,07] Cm
Торій	Протактиній	Уран	Нептуній	Плутоній	Амеріцій	Кюрій

Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА (короткий варіант)

а VI б	а VII б	а VIII б				
	(H)	He ² Гелій				
O ⁸ 15,999 Оксиген Кисень	F ⁹ 18,998 Флуор Фтор	Ne ¹⁰ 20,179 Неон				
S ¹⁶ 32,06 Сульфур Сірка	Cl ¹⁷ 35,453 Хлор	Ar ¹⁸ 39,948 Аргон				
Cr ²⁴ 51,996 Хром	Mn ²⁵ 54,938 Манган					
Se ³⁴ 78,96 Селен	Br ³⁵ 79,904 Бром	Kr ³⁶ 83,80 Криптон				
Mo ⁴² 95,94 Молібден	Tc ⁴³ 98,906 Технецій					
Te ⁵² 127,60 Телур	I ⁵³ 126,904 Йод	Xe ⁵⁴ 131,30 Ксенон				
W ⁷⁴ 183,85 Вольфрам	Re ⁷⁵ 186,207 Реній					
Po ⁸⁴ [209] Полоній	At ⁸⁵ [210] Астат	Rn ⁸⁶ [222] Радон				
Sg ¹⁰⁶ [271,13] Сиборгій	Bh ¹⁰⁷ [270] Борій					
Lv ¹¹⁶ [293] Ліверморій	Ts ¹¹⁷ [294] Теннессін	Og ¹¹⁸ [294] Оганессон				

65 158,93 Tb Тербій	66 162,50 Dy Диспрозій	67 164,93 Ho Гольмій	68 167,26 Er Ербій	69 168,93 Tm Тулій	70 173,05 Yb Ітербій	71 174,97 Lu Лютецій
------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------

97 [247,07] Bk берклій	98 [251,08] Cf Каліфорній	99 [252,08] Es Ейнштейній	100 [257,10] Fm Фермій	101 [258,10] Md Менделевій	102 [259,10] No Нобелій	103 [262,11] Lr Лоуренсій
---------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------

ЗМІСТ

Передмова	3
1. Основні поняття кінематики. Прямолінійний рух.
Закон додавання швидкостей	4
2. Прискорення. Рівноприскорений прямолінійний рух. Вільне падіння	10
3. Рух тіла, кинутого горизонтально або під кутом до горизонту	16
4. Рівномірний рух матеріальної точки по колу	20
5. Принцип відносності Галілея. Закони динаміки....	26
6. Гравітаційна взаємодія. Вага та невагомість. Перша космічна швидкість.....	32
7. Сили тертя та опору середовища	37
8. Рух тіла під дією кількох сил.....	43
9. Рівновага тіл. Центр тяжіння. Стійкість рівноваги	49
10. Застосування законів збереження імпульсу та енергії.....	57
11. Рівновага та рух рідини та газу	63
12. Коливальний рух	68
13. Механічні хвилі. Звукові явища.....	73
14. Елементи спеціальної теорії відносності	78
15. Основні положення МКТ	81
16. Ідеальний газ. Температура	85
17. Фазові переходи. Насичена пара. Вологість повітря.....	95
18. Поверхневий натяг. Змочування. Капілярні явища	101
19. Властивості твердих тіл. Теплове розширення ..	105
20. Перший закон термодинаміки. Адіабатний процес	108
21. Другий закон термодинаміки. Теплові машини ..	115
22. Напруженість електричного поля.....	119

23. Потенціал електростатичного поля	128
24. Конденсатори. Електроємність. Енергія електричного поля	132
Відповіді, вказівки, розв'язання	139
Відповіді до тестів для самоперевірки.....	167
Додаток.....	168
Довідкові таблиці.....	168
Математичний довідник	171
Періодична система хімічних елементів Д. І. Менделєєва.....	172
	175

**Навчальне видання
ГЕЛЬФГАТ Ілля Маркович
НЕНАШЕВ Ігор Юрійович**

T741007У. Підписано до друку 29.10.2018.
Формат 60×90/16. Папір офсетний.
Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 11,0.

**ФІЗИКА. 10 клас.
Рівень стандарту
Збірник задач**

Редактор І. Л. Морєва
Технічний редактор С. В. Яшиш
Верстка О. М. Правдюк
Художнє оформлення В. І. Труфен
Регіональні представництва
видавництва «Ранок»:

Для листів: вул. Космічна, 21а, Харків, 61145.
E-mail: office@ranok.com.ua
Тел. (057) 719-48-65,
тел./факс (057) 719-58-67.

Київ – тел. (044) 229-84-01,
e-mail: office.kyiv@ranok.com.ua,
Львів – тел. (067) 269-00-61,
e-mail: office.lviv@ranok.com.ua.

Житомир – (067) 122-63-60;
Львів – (032) 244-14-36;
Миколаїв та Одеса – (067) 551-10-79;
Черкаси – (0472) 51-22-51;
Чернігів – (0462) 93-14-30.

E-mail: commerce@ranok.com.ua.

«Книга поштою»: вул. Котельниківська, 5, Харків, 61051.

Тел. (057) 727-70-90, (067) 546-53-73.

E-mail: pochta@ranok.com.ua

www.ranok.com.ua

Окремі зображення, що використані в оформленні посібника,
розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Папір, на якому надрукована ця книга,



безпечний для здоров'я
та повністю
переробляється



з оптимальною білизною,
рекомендованою
офтальмологами



вибілювався
без застосування
хлору

Разом дбаємо про екологію та здоров'я

**ВИДАВНИЦТВО
РАНОК**

$$A = F s \cos \alpha$$

$$\vec{s} = \vec{v} t$$

Існує лише те, що можна вимірюти.

$$C = \frac{q}{\Phi}$$

Макс Планк

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Видання є складовою навчально-методичного комплекту «Фізика. 10 клас», до якого входять:

- Підручник
- **Збірник задач**
- Зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму
- Зошит для оцінювання результатів навчання
- Розробки уроків

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Збірник задач містить:

- різні типи фізичних задач: якісні, розрахункові, графічні
- задачі для допитливих
- приклади розв'язування задач
- відповіді, вказівки, розв'язання
- довідкові таблиці
- математичний довідник
- тести для самоперевірки

Збірник задач вирізняє:

- ✓ рівнева диференціація задач
- ✓ оптимальна кількість однотипних задач



interactive.ranok.com.ua



ISBN 978-617-09-4821-2



9 786170 948212

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

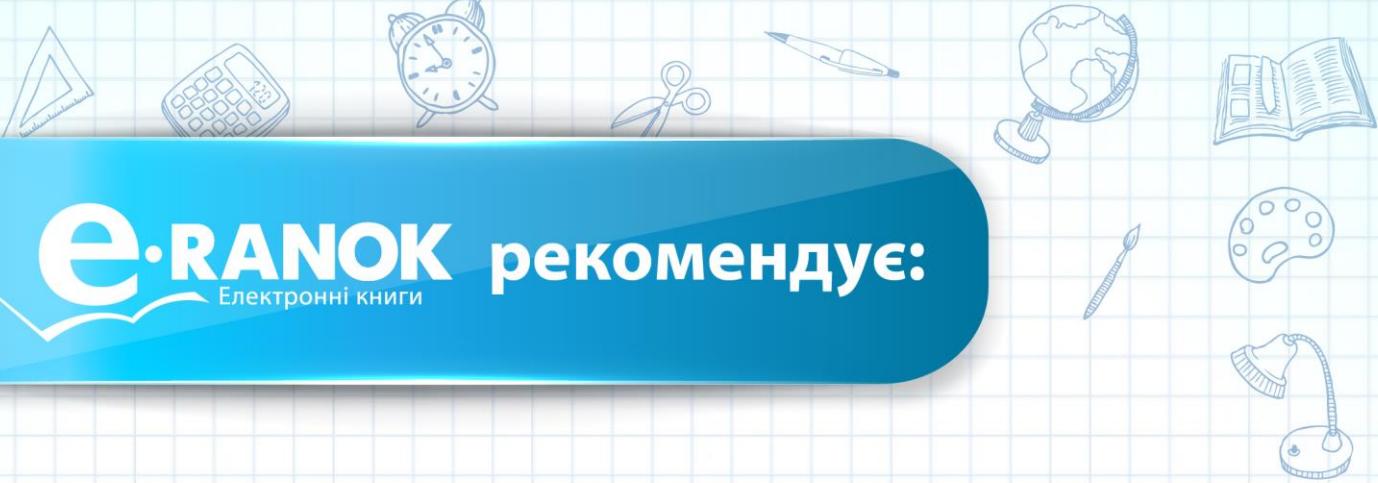
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА ЛІТЕРАТУРА
УСІ КНИГИ ТУТ!

ranok.com.ua

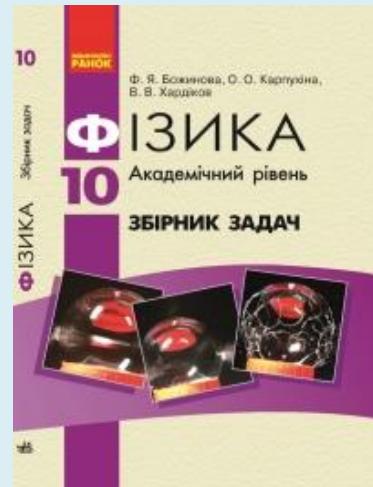
e-ranok.com.ua

pochta@ranok.com.ua

(057) 727-70-90



e-RANOK рекомендує:



Фізика. 10 клас. Рівень стандарту : зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму

**Физика. 10 класс.
Академический уровень:
тетрадь для лабораторных
работ и физического
практикума**

**Фізика. 10 клас.
Академічний рівень:
Збірник задач**

Ми у соціальних мережах:

Придайте книжку собі
до смаку саме зараз!

e-ranok.com.ua

Нас цікавлять Ваші
враження та побажання!