НОВА 11-річна ШКОЛА

Ф. Я. Божинова, О. О. Карпухіна,
В. В. Хардіков

ФІЗИКА

10

Академічний рівень

ЗБІРНИК ЗАДАЧ

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

НОВА 11-річна ШКОЛА

Ф. Я. Божинова, О. О. Карпухіна,
В. В. Хардіков

ФІЗИКА

10

Академічний рівень

ЗБІРНИК ЗАДАЧ

2-ге видання, перероблене і доповнене

- Різні типи фізичних задач: якісні, розрахункові, графічні
- Приклади розв'язування задач
- Відповіді до всіх задач
- Довідкові таблиці

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

УДК 371.388:53
ББК 22.3я72
К26

Рекомендовано до використання в навчально-виховному процесі; відповідає чинній програмі з фізики, затвердженій МІНІСТЕРСТВОМ ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Рецензенти:
Т. А. Сарій, учитель фізики вищої категорії Харківського ліцею № 89, учитель-методист;
О. Ю. Бутрим, ст. наук. співробітник, доцент кафедри теоретичної радіофізики радіофізичного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна, канд. фіз.-мат. наук

Карпухіна О. О.

К26 Фізика. 10 клас. Академічний рівень: Збірник задач / О. О. Карпухіна, Ф. Я. Божинова, В. В. Хардіков.— 2-ге вид., перероб. і доп.— Х.: Видавництво «Ранок», 2011.— 288 с.

ISBN 978-611-540-760-6

Посібник відповідає чинній програмі з фізики для 10 класу (академічний рівень) і містить задачі, що диференційовані за трьома рівнями складності.

Видання побудовано максимально зручно для учителя й учня; за кожною темою наведено приклади розв'язування типових задач.

Посібник призначено для учнів 10 класу загальноосвітніх навчальних закладів та вчителів фізики.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я72

© О. О. Карпухіна, Ф. Я. Божинова, 2010
© О. О. Карпухіна, Ф. Я. Божинова, В. В. Хардіков, перероб. і доп., 2011
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2011

ISBN 978-611-540-760-6

ПЕРЕДМОВА

Розв'язування задач є необхідною складовою засвоєння учнями шкільного курсу фізики.

Збірник задач, що пропонується Вашій увазі, містить задачі різного типу за всіма темами курсу фізики 10 класу (академічний рівень). Зміст збірника відповідає чинній програмі з фізики для загальноосвітніх навчальних закладів.

Задачі, які подано у посібнику, згруповані за рівнями складності (перший, другий і третій), що в цілому відповідає середньому, достатньому та високому рівням передбачуваних навчальних досягнень учнів впродовж опанування курсу фізики 10 класу.

Загальна кількість задач є досить великою і значно перевищує необхідну, що дозволяє використовувати збірник не тільки для розв'язування типових задач на уроках та підбору диференційованих домашніх завдань, але й для організації поточного й тематичного оцінювання або для самоосвіти.

Збірник має структуру, яка буде зручною і для учнів, і для вчителя:

- у кожному розділі є приклади розв'язування задач;
- якісні задачі мають позначку **?** (вони не потребують розрахунків). За допомогою таких задач можна, наприклад, організувати мотиваційне фронтальне опитування;
- виділено групи однотипних завдань. Перша задача з такої групи позначена сірим прямокутничком — її можна розв'язати в класі колективно. Решту задач групи позначено світлим прямокутничком — їх учні за аналогією можуть розв'язувати самостійно на уроці або вдома.

1. ВСТУП

Приклад розв'язування задач

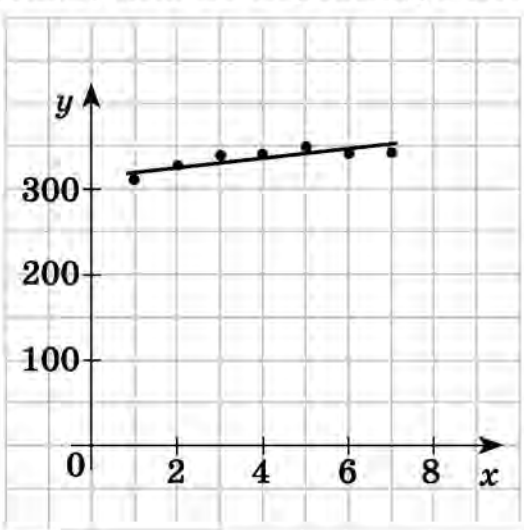
Задача. Досліджуючи залежність фізичної величини y від фізичної величини x, учні отримали результати, наведені в таблиці. Похибка вимірювання величини x дорівнює 0,1, а похибка вимірювання величини y дорівнює 5 (одиниці величин такі самі, як у таблиці). Який вигляд матиме графік, побудований за даними таблиці?

x	1	2	3	4	5	6	7
y	310	320	340	340	350	345	345

Розв'язання

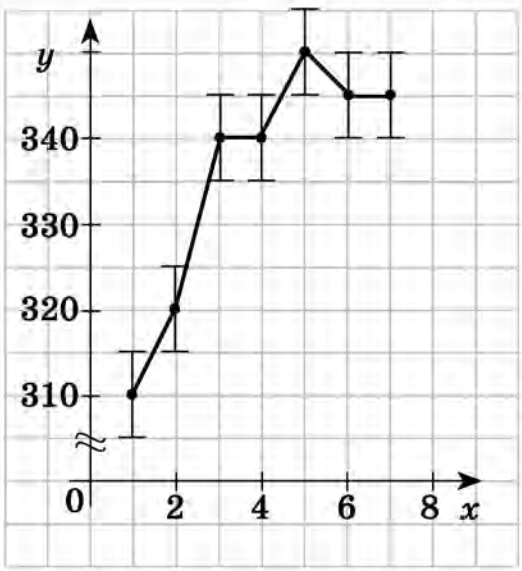
Щоб побудувати графік, у першу чергу слід раціонально вибрати масштаб. Наприклад, графік, зображений на рис. *а*, не є правильним, оскільки ціна поділки по осі OY суттєво перевищує похибку вимірювання величини y, а тому висновок про характер залежності $y(x)$ за таким графіком коректно зробити не можна.

Можна побудувати графік, як зображено на рис. *б* і *в*, але передбачити мінімуми та максимуми або різкі зміни величини y, яку учні досліджували, неможливо, оскільки відхилення y мало відрізняються від похибки вимірювань. Таким чином, найбільш вірогідним буде графік, зображений на рис. *г*, оскільки в цьому випадку, як видно з рисунка, всі точки віддалені від графіка на відстань, яка не перевищує похибку вимірювань.

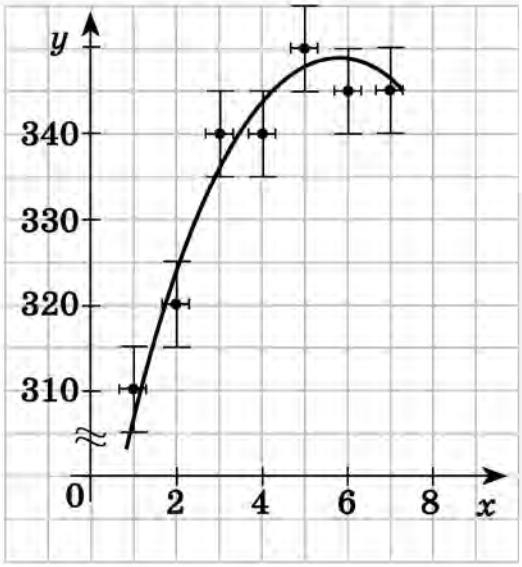


а

б



в

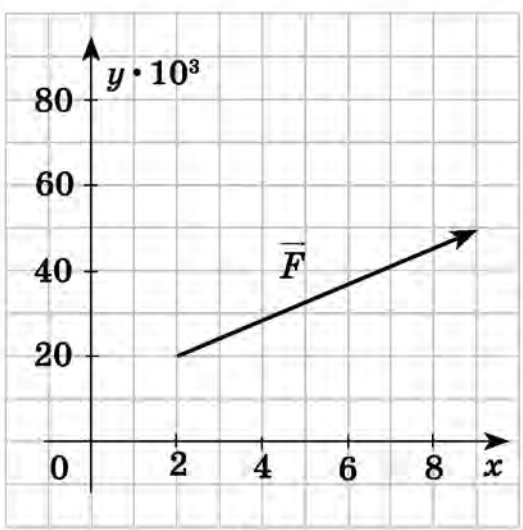


г

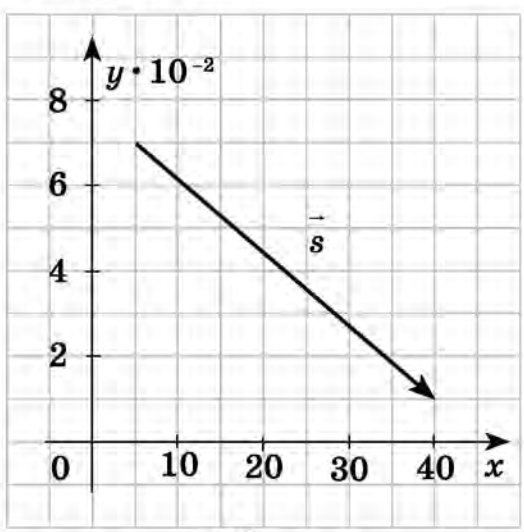
1-й рівень складності

1.1. На площині є дві точки: $A(3;-2)$ та $B(-1;4)$. Побудуйте вектор $\overrightarrow{AB}$, визначте його проекції на координатні осі.

1.2. Визначте проекції векторів $\vec{F}$ та $\vec{s}$, які зображені на рис. *а* і *б*, на координатні осі OX та OY.



а



б

? **1.3.** Яке значення має проекція вектора на координатну вісь, якщо вектор перпендикулярний до цієї осі?

? **1.4.** Чому дорівнює проекція вектора на координатну вісь, якщо вектор паралельний координатній осі?

1.5. Визначте середнє значення «косового сажня» у сантиметрах та максимальне відхилення від нього для групи з 5 чоловік у вашому класі. Порівняйте отримане вами значення з величиною «косового сажня», яка була прийнята в Росії у 1835 р. і дорівнювала 213,36 см. *Примітка.* «Косовий сажень» — це відстань від пальців лівої ступні до кінчиків пальців витягнутої вгору правої руки.

? **1.6.** Розв'язуючи задачі, учень отримав формули для розрахунків. Перевірте, чи збігаються одиниці вимірювання правої та лівої частин виразів:

а) тиск стовпа рідини висотою h на дно посудини: $p = \rho g h$;

б) швидкість руху тіла у момент падіння на землю: $v = \sqrt{2gh}$;

в) сила, з якою пластилінова кулька тисне на стіну в момент удару: $F = mvt$.

? **1.7.** Для яких з наведених у дужках величин (сила F, заряд q, робота A, потужність N, густина ρ, частота ν, тиск p, концентрація частинок n) використовуються такі самі одиниці вимірювання, як і для виразів: Fv, $\frac{mv^2}{2}$, mg, mn?

1.8. Довжина класу становить приблизно 12 м. Одна група учнів вимірює цю довжину за допомогою рулетки завдовжки 15 м із сантиметровими поділками, інша — за допомогою лінійки завдовжки 50 см з міліметровими поділками. У якої групи відносна похибка вимірювання буде меншою? Чому?

1.9. Вимірюючи довжину столу, учні отримали такі результати: $x_1 = 1{,}55$ м; $x_2 = 1{,}50$ м; $x_3 = 1{,}45$ м; $x_4 = 1{,}50$ м. Яку довжину має стіл? Якими були випадкова, абсолютна та відносна похибки вимірювань?

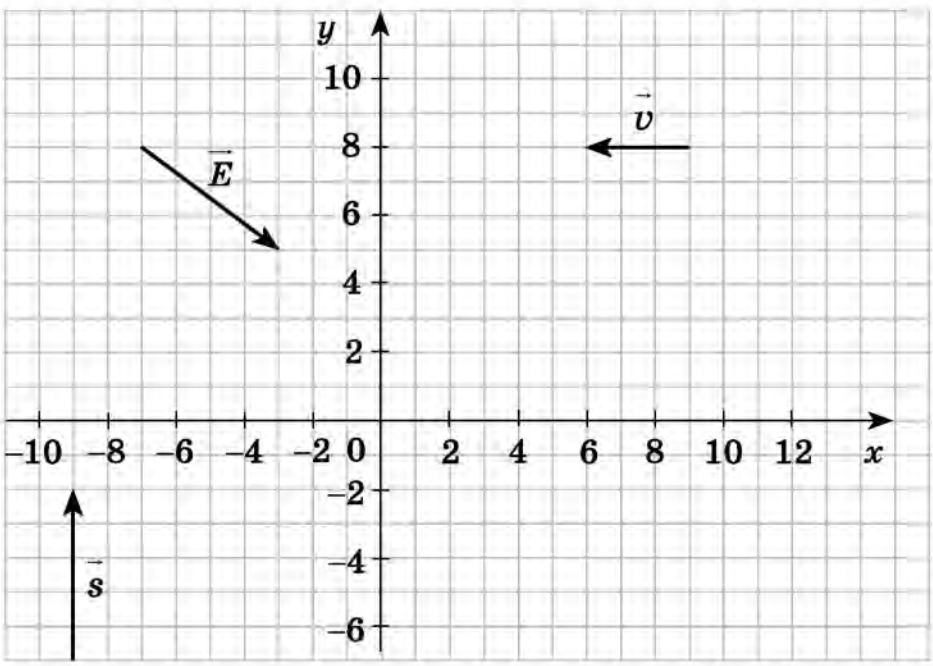
1.10. Учень, визначаючи масу циліндра за допомогою терезів, виконав зважування три рази й отримав такі результати: $m_1 = 149{,}5$ г; $m_2 = 148{,}9$ г; $m_3 = 149{,}15$ г. Яку масу має циліндр? Визначте абсолютну та відносну похибки вимірювань. Результат запишіть у такому вигляді: $m = m_c \pm \Delta m$.

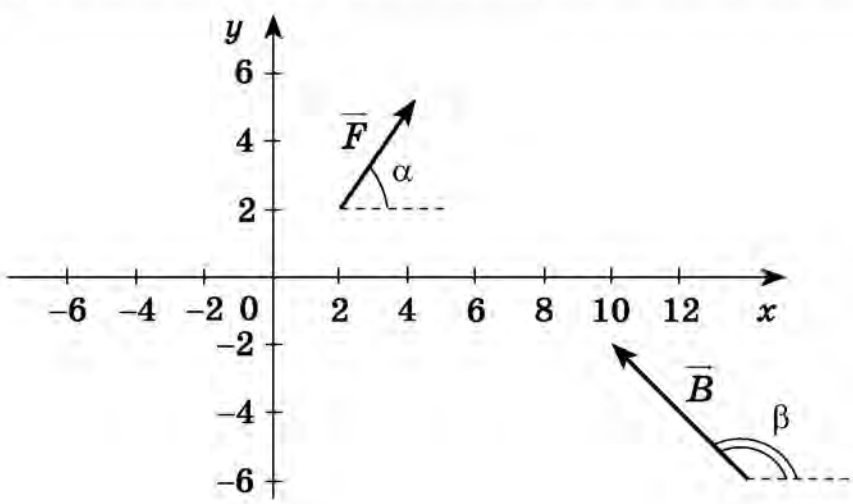
1.11. У таблиці наведені результати вимірювання часу t скочування кульки з похилої площини, що має висоту H (довжина похилої площини є незмінною). Побудуйте графік залежності цього часу від висоти H. Чи можна стверджувати, що час скочування кульки лінійно зменшується зі зростанням висоти похилої площини?

H, см	$5{,}0 \pm 0{,}5$	$10{,}0 \pm 0{,}5$	$15{,}0 \pm 0{,}5$	$20{,}0 \pm 0{,}5$	$25{,}0 \pm 0{,}5$
t, с	$0{,}64 \pm 0{,}10$	$0{,}46 \pm 0{,}10$	$0{,}36 \pm 0{,}10$	$0{,}32 \pm 0{,}10$	$0{,}26 \pm 0{,}10$

2-й рівень складності

1.12. Визначте проекції векторів, які зображені на рисунках, на координатні осі. Відомо, що $\alpha = 60°$, $\beta = 135°$; $|\vec{F}| = 4$; $|\vec{B}| = 6$.





1.13. Є два вектори: $\overline{F_1}$, який напрямлений вздовж осі OX і модуль якого дорівнює 3, та $\overline{F_2}$, який напрямлений під кутом 60° до осі OX і модуль якого дорівнює 4. Знайдіть векторну суму та різницю цих векторів, визначте приблизні модулі суми та різниці векторів.

? **1.14.** Як, не змінюючи модуль вектора $\overline{B}$, зменшити його проекцію на вісь OX (або вісь OY) у 2 рази? Покажіть це на рисунку.

1.15. Задано величину вектора $\overline{F}$ та кут α, який він утворює з віссю OX. Визначте проекції вектора $\overline{F}$ на осі OX та OY для випадків, наведених у таблиці.

F, Н	1	2	4	6	8	10	12
α, град	0	30	45	60	90	120	180

1.16. Задано проекції вектора швидкості $\vec{v}$ на осі OX та OY. Визначте модуль вектора швидкості $\vec{v}$ та його напрямок у випадках, наведених у таблиці.

v_x	2	3	4	5	5	4	8	15
v_y	3	4	5	5	4	3	4	5

1.17. Залежність тиску певної маси газу від його об'єму задано рівнянням $p = \frac{4 \cdot 10^5}{V}$. Побудуйте графік цієї залежності.

1.18. Залежність координати тіла від часу задано рівнянням $x = 5\sin\frac{\pi t}{3}$. Побудуйте графік цієї залежності.

1.19. За даними таблиці побудуйте графік залежності густини газів від їхньої молярної маси. Визначте, використовуючи цю залежність, молярну масу метану (основної складової природного газу), густина якого за нормальних умов становить 0,717 кг/м³.

Густини газів за нормальних умов та їхні молярні маси

Газ	H_2	He	Ne	N_2	CO	O_2	Ar	CO_2
ρ, кг/м³	0,09	0,18	0,9	1,25	1,25	1,43	1,78	1,97
M, 10^{-3} кг/моль	2	4	20	28	28	32	40	44

1.20. Щоб визначити відстань до Місяця, учень вирізав смужку паперу завширшки 4 мм і розташував її перпендикулярно до лінійки. Один кінець лінійки він розмістив біля ока, інший спрямував на нижній край Місяця і став переміщувати смужку паперу доти, доки вона повністю не закрила Місяць. При цьому відстань від ока до смужки виявилася рівною 44 см. Яке значення відстані до Місяця отримав учень, якщо діаметр Місяця дорівнює 3477 км?

1.21. У фізиці досить часто використовують заміну одних функцій іншими, що дозволяє проводити наближені розрахунки. Зокрема, $\sin\alpha \approx \alpha$, якщо α задано в радіанах, а $\sqrt{1+x} \approx 1+\frac{1}{2}x$. Заповніть наведену таблицю та розрахуйте відносну похибку запропонованих замін. Для яких значень x і α, на ваш погляд, така заміна є виправданою?

$\sin\alpha \approx \alpha$				$\sqrt{1+x} \approx 1+\frac{1}{2}x$			
α, град	α, рад	$\sin\alpha$	ε, %	x	$\sqrt{1+x}$	$1+\frac{1}{2}x$	ε, %
1				0,01			
5				0,05			
10				0,1			
20				0,2			
30				0,3			
45				0,5			

3-й рівень складності

1.22. Є два вектори: $\vec{a}=(3;4)$ і $\vec{b}=(2;0)$. Побудуйте вектори $(\vec{a}+\vec{b})$ і $(2\vec{a}-3\vec{b})$ та визначте модулі цих векторів.

1.23. Швидкості руху двох тіл на площині задані векторами $\vec{v}_1=(1;2)$ і $\vec{v}_2=(3;4)$. Який кут утворюють напрямки руху тіл у даний момент?

1.24. Побудуйте графіки залежності швидкостей руху трьох тіл від часу, якщо швидкості змінюються відповідно до таких рівнянь: $v_1(t)=3t+5$; $v_2(t)=3t^2-4t+1$; $v_3(t)=-t^3+1$. Через який проміжок часу будуть однаковими швидкості руху: а) першого та другого тіл; б) другого та третього тіл?

? **1.25.** Відомо, що швидкість витікання рідини з вузького отвору в нижній частині посудини залежить від густини ρ і тиску p рідини на рівні отвору. Користуючись методом розмірностей, визначте, у скільки разів зміниться швидкість витікання рідини, якщо тиск біля отвору збільшиться вдвічі.

1.26. Учень дослідив залежність сили струму в обмотці резистора від прикладеної напруги. Дані вимірювань учня наведено в таблиці. За цими даними побудуйте графік залежності сили струму від напруги. Чи можна вважати цю залежність лінійною? Визначте також опір резистора. Прокоментуйте отримані результати.

U, В	10,2	15,2	19,8	24,8	30,2
I, А	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

1.27. Під час вимірювань з'ясувалось, що діаметр м'яча становить $D=(30\pm1)$ см. Визначте об'єм м'яча (у м^3), розрахований на основі результату вимірювання.

1.28. Вивчаючи закон Архімеда, один учень занурював металевий кубик, підвішений до динамометра, у стакан з водою, а інший занурював металевий циліндр, підвішений до динамометра, у мензурку з водою. Результати вимірювань першого учня: ребро кубика $a=(40\pm1)$ мм, вага кубика у повітрі $(5{,}0\pm0{,}1)$ Н, у воді $(4{,}4\pm0{,}1)$ Н. У другого учня вага циліндра у воді та повітрі становила відповідно $(1{,}4\pm0{,}1)$ Н та $(1{,}6\pm0{,}1)$ Н, а об'єм витісненої води — (15 ± 2) мл. Чи можуть обидва учня в межах похибок своїх вимірювань стверджувати, що вага витісненої рідини дорівнює виштовхувальній силі? Чи можна, спираючись на результати вимірювань хлопців, стверджувати, що виштовхувальна сила лінійно зростає із збільшенням об'єму зануреного у воду тіла?

2. РУХ І СПОКІЙ

Приклад розв'язування задач

Задача. Вагон котиться зі сортувальної гірки. Які частини вагона рухаються, а які перебувають у стані спокою відносно: а) дороги; б) стін вагона.

Відповідь: відносно дороги рухаються всі точки вагона та його коліс; тільки точки коліс, які у цей момент дотикаються до залізничного полотна, перебувають у стані спокою. Відносно стін вагона рухаються всі точки коліс, окрім їхніх центрів.

1-й рівень складності

? **2.1.** Чи може тіло одночасно перебувати у стані спокою і рухатись?

? **2.2.** Приятелі їдуть в автомобілі. Відносно яких тіл вони перебувають у спокої, а відносно яких — рухаються?

? **2.3.** На столику в купе потяга, що рухається зі швидкістю 100 км/год, лежить книжка. У якому стані вона перебуває — спокою чи руху?

2-й рівень складності

? **2.4.** Повітряна куля летить захоплена вітром. Чи рухається вона: а) відносно землі; б) відносно повітря?

? **2.5.** Корабель пливе в строю ескадри. Чи рухається він: а) відносно води; б) відносно ескадри?

? **2.6.** Комбайнер, не зупиняючи комбайн, вивантажує зерно з бункера комбайна в кузов вантажівки. Що можна сказати про рух вантажівки у системі відліку, пов'язаній: а) з поверхнею землі; б) з комбайном?

? **2.7.** У фільмі «Швидкість» пасажирів автобуса, який рухається зі швидкістю 120 км/год, евакуюють на автоплатформу, яка їде поряд з автобусом. У стані спокою чи руху перебуває платформа у системі відліку, пов'язаній: а) з поверхнею землі; б) з автобусом? Чому дорівнює швидкість руху автоплатформи у цих системах відліку?

3-й рівень складності

? **2.8.** Під час стоянки потяга з верхньої полиці купе хлопчик упустив м'яч. Чи може м'яч впасти на те саме місце, якщо хлопчик упустить м'яч під час руху потяга? Відповідь обґрунтуйте.

3. ВІДНОСНІСТЬ ТРАЄКТОРІЇ

Приклад розв'язування задач

Задача. Кран, повертаючись навколо своєї осі, одночасно піднімає вантаж. Який вигляд матиме траєкторія руху вантажу: а) відносно землі; б) відносно кранівника?

Відповідь: а) відносно землі траєкторією руху вантажу є гвинтова лінія (вантаж одночасно рухається по колу і вгору); б) відносно кранівника вантаж тільки піднімається, отже, його траєкторія — вертикальна пряма.

1-й рівень складності

? **3.1.** Які з цих тіл рухаються відносно Землі прямолінійно, а які — криволінійно: а) ліфт; б) штучний супутник Землі; в) куля, яка вилетіла з рушниці; г) крапля води з водопровідного крана?

? **3.2.** Прямолінійною ділянкою залізниці рухається потяг. Які його частини відносно землі рухаються прямолінійно, а які — криволінійно?

? **3.3.** Що ви можете сказати про траєкторію руху тіла, якщо переміщення цього тіла дорівнює нулю?

? **3.4.** Яку форму має траєкторія руху тіла, якщо пройдений шлях і модуль переміщення тіла однакові?

2-й рівень складності

? **3.5.** Мостовий кран рівномірно опускає вантаж і одночасно переміщує його в горизонтальному напрямку. Який вигляд матиме траєкторія руху вантажу: а) відносно землі; б) відносно кранівника? Виконайте пояснювальний рисунок.

? **3.6.** Як приблизно виглядатиме траєкторія руху кінця пропелера літака, що летить над землею горизонтально: а) відносно льотчика; б) відносно злітної смуги летовища? Виконайте пояснювальний рисунок.

? **3.7.** Як виглядатиме траєкторія руху штучного супутника Землі відносно Сонця?

3-й рівень складності

? **3.8.** Диск обертається в горизонтальній площині. Від його центра до краю котиться кулька. Який вигляд має траєкторія кульки відносно: а) диска; б) землі?

4. МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА, ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХ

Приклад розв'язування задач

Задача. Наведіть приклади, коли Сонце можна вважати матеріальною точкою.

Відповідь: Сонце можна вважати матеріальною точкою, коли розглядають рух планет навколо Сонця або рух Сонця в Галактиці, оскільки у цих випадках розміри Сонця принципово менші за відстань, на якій розглядається його рух.

1-й рівень складності

? **4.1.** Чи можна космічний корабель вважати матеріальною точкою: а) при визначенні швидкості його руху по орбіті; б) при стикуванні корабля з орбітальною станцією; в) при визначенні відстані від корабля до Землі під час польоту?

? **4.2.** У якому випадку Місяць можна вважати матеріальною точкою відносно ракети: коли ракета стартує з поверхні Землі чи коли здійснює посадку на поверхню Місяця?

? **4.3.** Чи можна вважати Юпітер матеріальною точкою: а) розглядаючи його рух у Сонячній системі; б) визначаючи відстань від Землі до Юпітера; в) розглядаючи рух атмосферних потоків Юпітера?

? **4.4.** Потяг рухається через залізничний міст. Чи можна відносно моста вважати потяг матеріальною точкою?

2-й рівень складності

? **4.5.** Гелікоптер піднімається вгору, одночасно переміщуючись уперед. Чи можна назвати його рух поступальним?

? **4.6.** Чи можна розглядати рух кабінки атракціону «Оглядове колесо» як рух матеріальної точки?

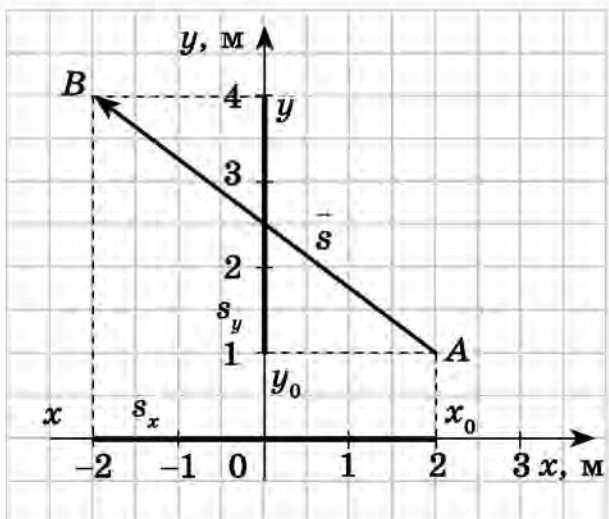
5. ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ

Приклад розв'язування задач

Задача. Тіло здійснило переміщення $\vec{s}$ із точки A з координатами $x_0 = 2$ м і $y_0 = 1$ м у точку B з координатами $x = -2$ м і $y = 4$ м. Накресліть вектор переміщення. Визначте проекції вектора переміщення на координатні осі OX і OY та його модуль.

Розв'язання

Накресливши координатну площину XOY, вибираємо масштаб (2 клітинки відповідають 1 м), позначаємо точки A і B, з'єднуємо їх — маємо вектор $\vec{s}$ (див. рисунок).



Проекція вектора $\vec{s}$ на вісь OX: $s_x = x - x_0$. Аналогічно проекція вектора $\vec{s}$ на вісь OY: $s_y = y - y_0$. Таким чином, проекції вектора переміщення на координатні осі OX та OY дорівнюють змінам координат (x та y) тіла:

$$s_x = -2\text{ м} - 2\text{ м} = -4\text{ м};\quad s_y = 4\text{ м} - 1\text{ м} = 3\text{ м}.$$

Модуль вектора переміщення знайдемо за теоремою Піфагора:

$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}\text{, тобто } |\vec{s}| = \sqrt{(-4)^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5\ \text{(м)}.$$

Відповідь: $s_x = -4$ м; $s_y = 3$ м; $|\vec{s}| = 5$ м.

1-й рівень складності

? **5.1.** Як визначити пройдений тілом шлях, якщо відома траєкторія його руху?

? **5.2.** Значення якої фізичної величини вимірює лічильник на спідометрі автомобіля — пройденого шляху чи переміщення?

2-й рівень складності

? **5.3.** Автомобіль здійснює правий поворот. Чи однакови-ми будуть: а) переміщення його правих і лівих коліс? б) пройдені правими та лівими колесами шляхи?

? **5.4.** Два тіла, рухаючись прямолінійно, здійснили однакові переміщення. За якої умови шляхи, пройдені ними, також однакові?

? **5.5.** По ескалатору метро піднімаються два пасажири: один стоїть на рухомому ескалаторі, а інший іде по ескалатору вгору. Для кожного пасажира порівняйте його шлях та переміщення: а) відносно платформи метро; б) відносно ескалатора.

? **5.6.** На ескалаторі метро, який рухається вгору, перебувають два пасажири: один стоїть, а інший іде вниз зі швидкістю, яка за модулем дорівнює швидкості ескалатора. Чи однакові пройдений кожним із пасажирів шлях і його переміщення: а) відносно платформи метро; б) відносно ескалатора?

? **5.7.** По ескалатору метро, який рухається вниз, спускаються два пасажири: один стоїть, а інший іде в напрямку руху ескалатора. Чи однакові переміщення кожного з пасажирів і пройдений ним шлях: а) відносно платформи метро; б) відносно ескалатора?

5.8. Човен на підводних крилах пливе прямолінійно по озеру з пункту A до пункту B, відстань між якими 40 км, а потім повертається в пункт A. Якими будуть переміщення та пройдений шлях човна?

5.9. Автомобіль, рухаючись по прямому шосе, від'їхав від населеного пункту на 600 м, потім повернув назад і, подолавши 700 м, зупинився. Визначте шлях, пройдений автомобілем, і його переміщення.

5.10. М'яч, кинутий вертикально вгору, досяг висоти 16 м від точки кидання і потім упав у ту саму точку. Який шлях пройшов м'яч? Чому дорівнює його переміщення?

5.11. Стрілу було випущено з лука вертикально вгору з обриву заввишки 5 м. Стріла піднялася на 6 м над обривом і впала до його підніжжя. Визначте шлях і переміщення стріли за час польоту.

5.12. Велосипедист, рухаючись по коловому велотреку, подолав півкола. Яке переміщення здійснив велосипедист, якщо пройдений ним шлях дорівнює 157 м? Виконайте пояснювальний рисунок.

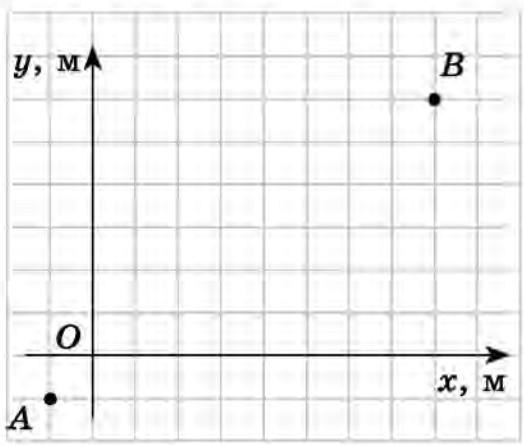
5.13. Подолавши чверть кола, мотоцикліст здійснив переміщення 70 м. Який шлях він пройшов? Виконайте пояснювальний рисунок.

5.14. Кінь, рухаючись ареною цирку, пробігає коло діаметром 14 м за 40 с. Визначте шлях і модуль переміщення коня: а) за 40 с руху; б) за 20 с руху; в) за 60 с руху; г) за 10 с руху. Виконайте пояснювальні рисунки.

5.15. Мостовий кран підняв вантаж на 2,5 м і одночасно перемістив його на 5 м у горизонтальному напрямку. Знайдіть модуль переміщення вантажу за час руху.

5.16. Мати з сином, прогулюючись парком, пройшли по прямій алеї парку 40 м, потім повернули на іншу алею, яка перетинає першу під кутом 90°, і пройшли по ній ще 30 м. Визначте пройдений ними шлях і модуль переміщення.

5.17. Тіло перемістилось із точки A в точку B (див. рисунок). Зобразіть вектор переміщення, визначте його модуль і проекції на координатні осі, якщо 2 клітинки на рисунку відповідають 20 м.



5.18. Тіло перемістилося з точки A з координатами $x_A = -10$ км і $y_A = 40$ км у точку B з координатами $x_B = 60$ км і $y_B = -20$ км. Зобразіть вектор переміщення, визначте його модуль і проекції на координатні осі.

5.19. Тіло перемістилося з початку координат так, що проекції його переміщення на координатні осі становлять $s_x = 4$ м та $s_y = 3$ м. Побудуйте вектор переміщення та визначте його модуль.

5.20. Велосипедист, рухаючись по прямолінійній ділянці шосе, проїхав 25 км. Побудуйте вектор його переміщення, якщо відомо, що проекція вектора переміщення на вісь OX становить 20 км, а координати селища, з якого велосипедист стартував, дорівнюють $x_0 = 50$ км і $y_0 = 30$ км.

3-й рівень складності

5.21. Куля-зонд піднялася на висоту 800 м, а західний вітер перемістив її на 600 м. Знайдіть модуль переміщення кулі відносно точки запуску. Під яким кутом видно кулю з точки її запуску? Розв'яжіть задачу аналітично та графічно.

5.22. Група туристів пройшла на північ 15 км, а потім повернула на захід і пройшла ще 20 км. Знайдіть шлях, пройдений групою, модуль і напрямок її переміщення. Розв'яжіть задачу аналітично та графічно.

5.23. Під час гри в шахи тура з лівого нижнього відносно шахіста кутка перемістилася спочатку на 5 клітинок вперед, потім на 4 клітинки праворуч, а наступним ходом ще на 2 клітинки вперед. Накресліть траєкторію руху тури та позначте її переміщення у вибраному вами масштабі. Визначте пройдений турою шлях і модуль здійсненого нею переміщення, якщо 1 клітинка шахової дошки відповідає 2 см.

5.24. Заєць, плутаючи сліди, стрибнув на 1,5 м вперед, потім на 50 см праворуч і ще на 2 м у напрямку, протилежному відносно першого стрибка. Зобразіть вектор переміщення, визначте його модуль і проекції на координатні осі.

6. РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ

Приклад розв'язування задач

Задача. З Харкова на захід вирушив велосипедист зі швидкістю 20 км/год, а через 3 год у тому самому напрямку виїхав автомобіль зі швидкістю 80 км/год. Через який час після виїзду велосипедиста і на якій відстані від Харкова автомобіліст наздожене велосипедиста?

Дано:

$v_1 = 20 \ \frac{\text{км}}{\text{год}}$

$v_2 = 80 \ \frac{\text{км}}{\text{год}}$

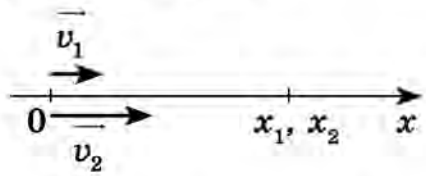
$\tau = 3$ год

t — ?

x — ?

Розв'язання

У системі відліку «земля» початок координат пов'яжемо з м. Харків, звідки вирушили обидва тіла, а початок відліку часу — з початком руху велосипедиста.



Згідно з умовою автомобіль рухався на час τ менше, ніж велосипедист. Таким чином, рівняння їх руху матимуть вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = v_1 t, \\ x_2 = v_2 (t - \tau). \end{cases}$$

У той момент, коли автомобіліст наздожене велосипедиста, вони перебуватимуть в одній точці $(x_1 = x_2)$.

Маємо систему рівнянь, ліві частини яких рівні, а отже, й праві частини рівні, тобто

$$v_1 t = v_2 (t - \tau).$$

Розв'яжемо рівняння відносно t:

$$t = \frac{v_2 \tau}{v_2 - v_1}.$$

Перевіримо одиниці і визначимо числове значення шуканої величини:

$$[t] = \frac{\frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot \text{год}}{\frac{\text{км}}{\text{год}} - \frac{\text{км}}{\text{год}}} = \text{год};$$

$$\{t\} = \frac{80 \cdot 3}{80 - 20} = 4; \ t = 4 \ \text{год}.$$

Відстань, на якій автомобіліст наздожене велосипедиста, дорівнює їхній спільній координаті. Знайдемо її як координату велосипедиста:

$$x = x_1 = v_1 t;$$

$$[x] = \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot \text{год} = \text{км};$$

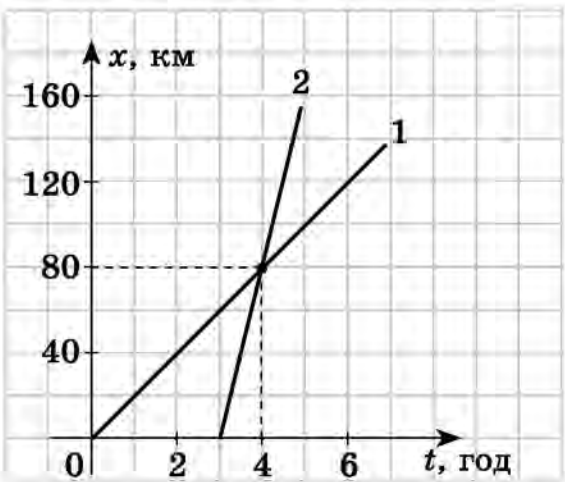
$$\{x\} = 20 \cdot 4 = 80.$$

Отже, $x = 80$ км.

Для графічного розв'язання задачі запишемо рівняння руху велосипедиста й автомобіля:

$$x_1 = 20t, \quad x_2 = 80(t-3).$$

Побудуємо їхні графіки. Точка перетину графіків визначатиме координату місця, де автомобіль наздожене велосипедиста, і час, коли це станеться (див. рисунок).



Відповідь: автомобіль наздожене велосипедиста через $t = 4$ год після виїзду велосипедиста на відстані $x = 80$ км від Харкова.

1-й рівень складності

? **6.1.** Під час руху вздовж прямої равлик щосекунди здійснював переміщення, яке дорівнювало 1 мм. Чи можна вважати його рух рівномірним?

? **6.2.** Мотоцикліст, рухаючись рівномірно прямолінійно, на подолання двох однакових ділянок дороги витратив різний час. Порівняйте швидкості його руху на цих ділянках.

? **6.3.** Автомобіль, рухаючись рівномірно прямолінійно, дві однакові ділянки дороги подолав з різними швидкостями. Порівняйте час його руху на цих ділянках.

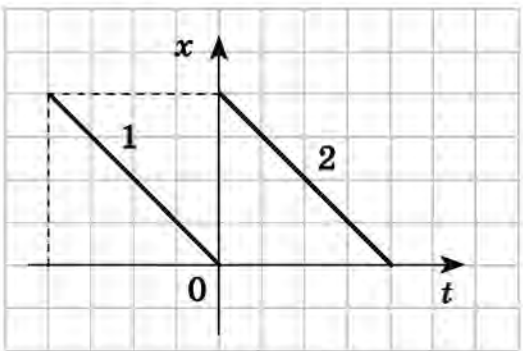
? **6.4.** Турист, рухаючись з незмінною швидкістю, на подолання двох ділянок шляху витратив різний час. Порівняйте довжини цих ділянок.

6.5. Автобус, що рухається зі швидкістю 90 км/год, обганяє вантажівку, швидкість руху якої 15 м/с. Побудуйте в одній координатній площині графіки швидкостей руху обох тіл.

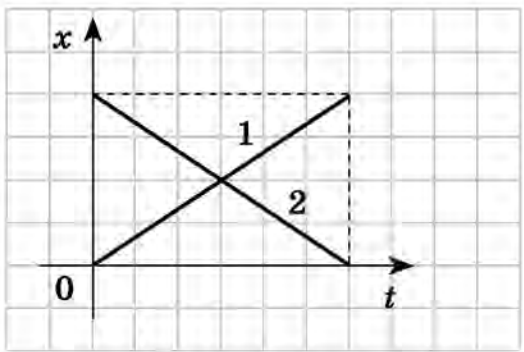
6.6. Мотоцикліст і велосипедист рухаються рівномірно прямолінійно назустріч один одному зі швидкостями відповідно 72 км/год та 5 м/с. Побудуйте в одній координатній площині графіки швидкостей руху мотоцикліста і велосипедиста.

? **6.7.** На рисунку зображені графіки руху двох автобусів. Що спільного між рухами автобусів? Чим вони відрізняються?

? **6.8.** На рисунку зображені графіки руху двох туристів. Що спільного між рухами туристів? Чим вони відрізняються?

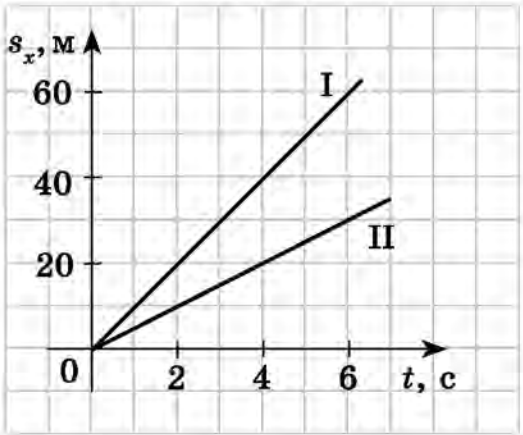


До задачі 6.7

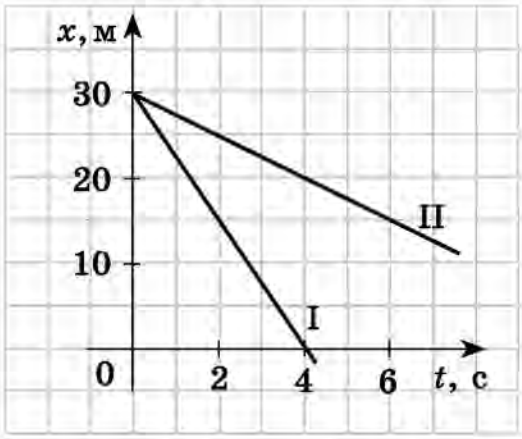


До задачі 6.8

6.9. За графіками переміщень двох тіл, поданими на рисунку, визначте, яке тіло рухається з більшою швидкістю. Визначте швидкості руху тіл.



6.10. За графіками руху двох тіл, поданими на рисунку, визначте, яке тіло рухається з більшою швидкістю. Визначте швидкості руху тіл.



До задачі 6.10

6.11. Рівняння руху тіла має вигляд: $x = 15 - 3t$. Охарактеризуйте рух, укажіть його параметри, побудуйте графік руху.

6.12. Рівняння руху автомобіля має вигляд: $x = -500 + 20t$. Охарактеризуйте рух, укажіть його параметри, побудуйте графік руху.

6.13. Рівняння руху потяга має вигляд: $x = 250 + 100t$. Охарактеризуйте рух, укажіть його параметри та побудуйте графік руху, враховуючи, що координата вимірюється в кілометрах, а час у годинах.

2-й рівень складності

? **6.14.** Чи можна вважати рух тіла рівномірним прямолінійним, якщо воно за будь-які рівні проміжки часу здійснює однакові за модулем переміщення?

6.15. Швидкість поширення радіохвиль 300 000 км/с. Хто і на скільки раніше почує співака: слухачі, що сидять на відстані 50 м від нього у концертній залі у Києві, чи телеглядачі, які дивляться пряму трансляцію концерту в Харкові, на відстані 480 км? Швидкість звуку в повітрі вважайте такою, що дорівнює 340 м/с. Технічні затримки телетрансляції можна не враховувати.

6.16. На якій відстані перебуває радіослухач, який чує пряму трансляцію концерту на 195 мс раніше, ніж слухач у концертній залі, який сидить на відстані 68 м від сцени. Швидкість поширення радіохвиль 300 000 км/с, а швидкість звукових хвиль у повітрі 340 м/с. Технічні затримки телетрансляції не враховуйте.

6.17. На прямолінійній ділянці дороги швидкість руху автомобіля становила 90 км/год. Запишіть рівняння його руху для двох випадків: а) у початковий момент часу положення автомобіля збігалося з початком координат; б) у початковий момент часу координата автомобіля дорівнювала −200 м. Вважайте, що вектор швидкості напрямлений так само, як і вісь OX.

6.18. По прямому шосе рівномірно рухався автобус зі швидкістю 72 км/год. Запишіть рівняння його руху для двох випадків: а) у початковий момент часу положення автобуса збігалося з початком координат; б) за початок відліку часу прийнято момент перебування автобуса на відстані 2 км від початку координат у напрямку осі OX. Вважайте, що вектор швидкості напрямлений проти напрямку осі OX.

6.19. Рівняння руху лижника має вигляд: $x = -10 + 5t$. Охарактеризуйте рух, укажіть його параметри та визначте: а) координату лижника через 4 с від початку спостереження; б) координату лижника за 2 с до початку спостереження; в) проміжок часу від початку спостереження, через який лижник буде на відстані 20 м від початку координат. Розв'яжіть задачу аналітично та графічно.

6.20. Рівняннями $x_1 = 20t$ і $x_2 = 700 + 6t$ задані відповідно рух автобуса та рух велосипедиста. Охарактеризуйте рух кожного з них, а також визначте: а) місце і час, коли автобус наздожене велосипедиста; б) координати автобуса та велосипедиста через 25 с від початку спостереження; в) проміжок часу від початку спостереження, через який відстань між ними становитиме 140 м. Розв'яжіть задачу аналітично та графічно.

6.21. Радісний собака зустрічає свого хазяїна. Рівняння рухів собаки та хазяїна мають вигляд: $x_1 = 11{,}5t$ і $x_2 = 800 - t$ відповідно. Охарактеризуйте рух кожного з них, а також визначте: а) місце їхньої зустрічі та час, через який станеться зустріч; б) координати собаки та хазяїна через 10 с від початку спостереження; в) проміжок часу від початку спостереження, через який відстань між хазяїном і собакою становитиме 200 м.

6.22. З пунктів A і B, відстань між якими 216 км, назустріч один одному рухаються мотоцикліст і велосипедист зі швидкостями 72 км/год і 10 м/с відповідно. Де й коли вони зустрінуться?

6.23. З Києва на південь вирушив товарний поїзд зі швидкістю 54 км/год, а через 2 год в тому ж напрямку вирушив експрес зі швидкістю 99 км/год. За який час і на якій відстані від Києва експрес наздожене товарний поїзд?

6.24. Легковий і вантажний автомобілі рухаються рівномірно прямолінійно в одному напрямку зі швидкостями 72 км/год і 54 км/год відповідно. Визначте, на якій відстані від свого початкового положення легковий автомобіль наздожене вантажівку, якщо в початковий момент часу він відставав від вантажівки на 1 км. Скільки часу йому знадобиться? Розв'яжіть задачу аналітично та графічно.

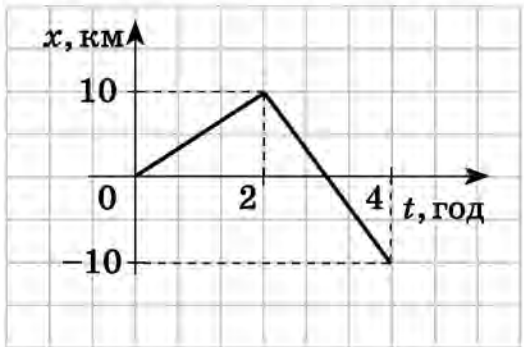
? 6.25. Моторний човен рівномірно пливе проти течії по прямолінійній ділянці річки з пункту A в пункт B і повертається назад в пункт A. Побудуйте приблизні графіки залежності переміщення та шляху човна від часу.

? 6.26. Листоноша рівномірно прямолінійно їде на велосипеді в село і повертається назад до пошти. Побудуйте приблизні графіки залежності шляху та модуля переміщення листоноші від часу, якщо протягом усієї поїздки дув постійний вітер в напрямку села.

? 6.27. Два автомобілі рухаються рівномірно прямолінійно в одному напрямку, причому швидкість першого втричі більша за швидкість другого. Чим відрізняються графіки: а) їхніх переміщень; б) шляхів; в) швидкостей? Перевірте свої міркування побудовою відповідних графіків.

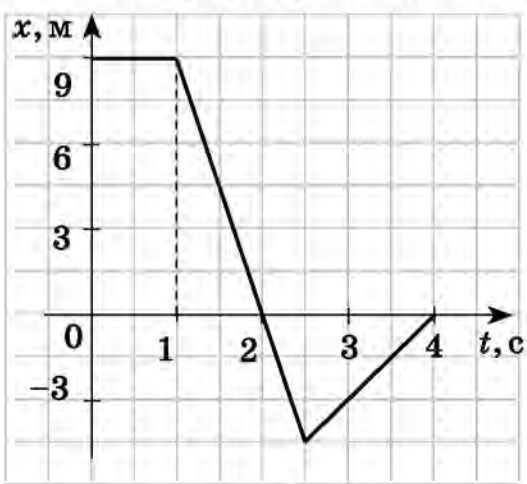
? **6.28.** Два потяги рухаються рівномірно прямолінійно назустріч один одному, причому швидкість першого вдвічі більша за швидкість другого. Чим відрізняються графіки: а) їхніх координат; б) шляхів; в) швидкостей? Перевірте свої міркування побудовою відповідних графіків.

6.29. На рисунку наведено графік руху тіла. Який шлях пройшло це тіло, яке переміщення воно здійснило?

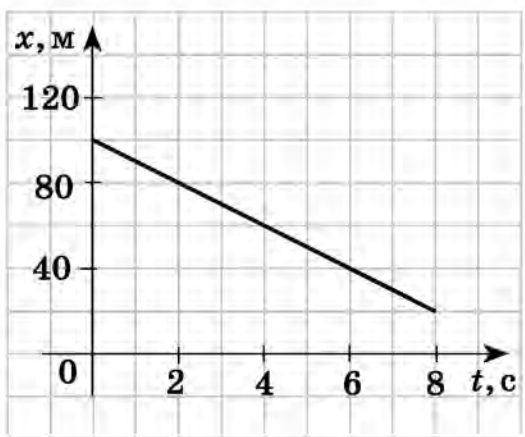


6.30. Який шлях і яке переміщення здійснило тіло, графік руху якого наведено на рисунку?

6.31. За графіком руху трамвая (див. рисунок) визначте: а) напрямок його руху; б) початкову координату; в) положення через $t_1 = 6$ с від початку руху; г) шлях, пройдений за час руху; д) швидкість руху; е) рівняння руху трамвая.



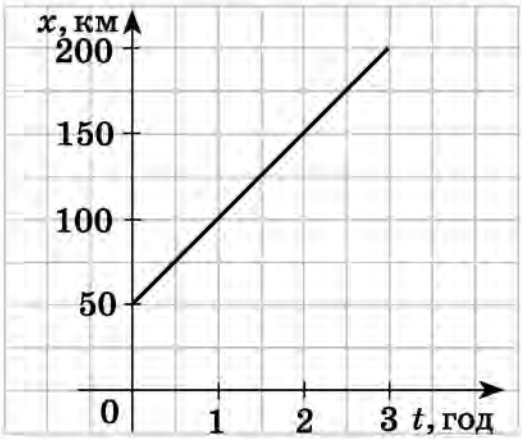
До задачі 6.30



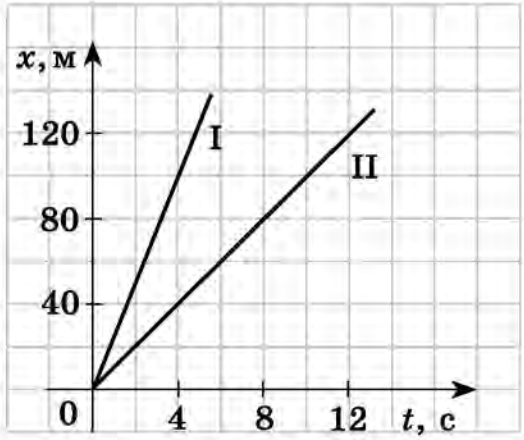
До задачі 6.31

6.32. За графіком руху автобуса (див. рисунок) визначте: а) напрямок його руху; б) початкову координату автобуса; в) час, через який він буде на відстані 100 км від початку координат; г) положення автобуса через $t = 3$ год від початку руху; д) швидкість руху автобуса; е) його переміщення з моменту $t_1 = 1$ год до моменту $t_2 = 3$ год; є) рівняння руху автобуса.

6.33. На рисунку подано графіки руху двох тіл. Визначте: а) швидкість руху кожного тіла; б) відстань між ними через 3 с після початку відліку часу; в) через який час після початку відліку часу відстань між тілами становитиме 60 м; г) рівняння руху кожного тіла.

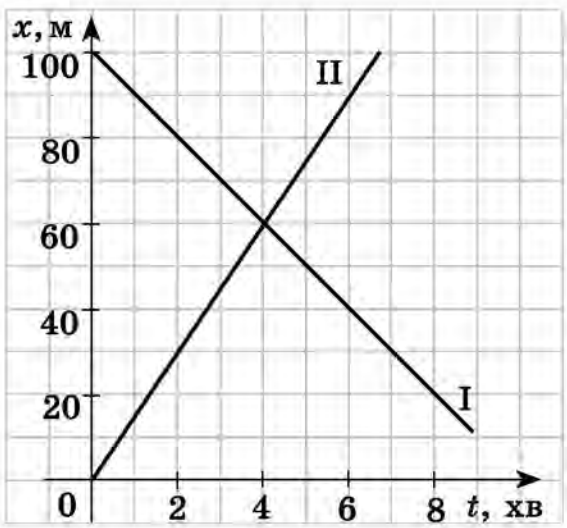


До задачі 6.32



До задачі 6.33

6.34. На рисунку подано графіки руху двох автомобілів. Охарактеризуйте рух кожного з них і визначте: а) місце та час зустрічі автомобілів; б) відстань між ними через 2 хв після початку відліку часу; в) положення кожного автомобіля через 5 хв після початку відліку часу; г) рівняння руху автомобілів.



3-й рівень складності

6.35. З якою швидкістю має рухатися нафта у трубопроводі з площею поперечного перерізу 100 см^2, щоб за годину трубопроводом протікало 18 м^3 нафти?

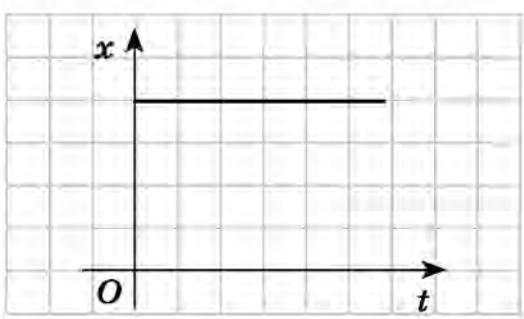
6.36. Потік води, що надає руху колесу млина, тече зі швидкістю 0,5 м/с по каналу, ширина якого 1,5 м, а глибина — 0,6 м. Скільки води падає на колесо млина щосекунди?

6.37. З міста з інтервалом 4 хв в одному напрямку виїхали два велосипедисти з однаковою швидкістю, що дорівнювала 15 км/год. Визначте швидкість туриста, який ішов їм назустріч, якщо він зустрів велосипедистів з інтервалом 3 хв.

6.38. Автомобіль за 45 хв обігнав два рейсові автобуси, які рухалися з інтервалом 30 хв, маючи швидкість 60 км/год. З якою швидкістю рухався автомобіль?

6.39. Інтервал між зустрічами пасажирського експреса, який рухався зі швидкістю 120 км/год, з двома електропоїздами, що їхали в протилежному до нього напрямку з однаковою швидкістю 80 км/год, становив 20 хв. Визначте інтервал руху електропоїздів.

? **6.40.** На рисунку подано графік залежності координати тіла від часу. Чи можна стверджувати, що тіло перебуває в стані спокою, якщо інших відомостей про його рух немає?

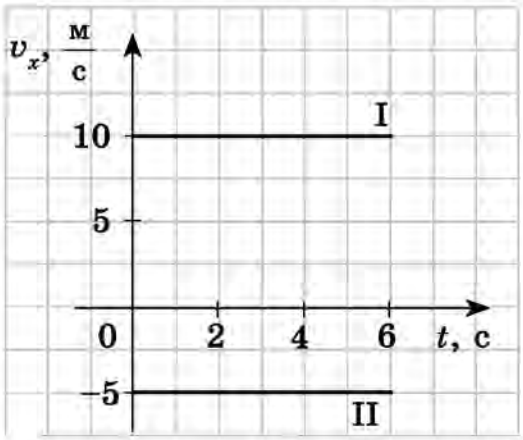


6.41. Рух тіла можна описати у площині XOY рівняннями: $x = 4 + 3t$, $y = 5 - 6t$. Запишіть рівняння траєкторії руху цього тіла, тобто залежність y від x.

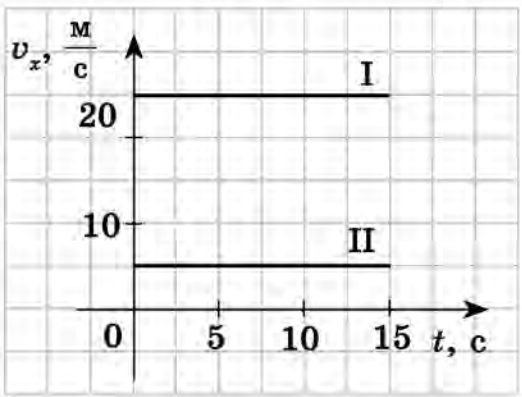
6.42. Рух велосипедиста в площині XOY змінюється згідно з рівняннями $x = -5t$ і $y = 8 + 2t$. Запишіть рівняння траєкторії руху велосипедиста та побудуйте траєкторію його руху.

6.43. На рисунку подано графіки швидкостей руху двох катерів. Побудуйте графіки рухів цих катерів, за якими визначте місце та час їхньої зустрічі, якщо відомо, що в початковий момент часу координати катерів мали значення 0 м і 75 м відповідно.

6.44. На рисунку подано графіки швидкості двох потягів. Побудуйте графіки рухів цих потягів, за якими визначте місце та час, коли почнеться обгін одного потяга іншим, якщо відомо, що в момент початку відліку часу їхні координати мали значення 100 м і 400 м відповідно.



До задачі 6.43



До задачі 6.44

7. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Вагон завширшки 2,4 м, який рухався рівномірно прямолінійно зі швидкістю 54 км/год, було пробито кулею, яка летіла перпендикулярно до напрямку руху вагона. Отвори від кулі у стінках вагона зміщені один відносно іншого на 6 см. Визначте швидкість руху кулі.

Дано:	*СІ*
$d = 2{,}4$ м	
$v = 54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$	$v = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$l = 6$ см	$l = 6 \cdot 10^{-2}$ м
u — ?	

Розв'язання

Задача пов'язана з відносністю руху вагона та кулі.

Час руху кулі, який ми вважатимемо рівномірним прямолінійним (знехтуємо зміною швидкості кулі під час її взаємодії зі стінками вагона), у вагоні: $t_1 = \frac{d}{u}$, де u — швидкість руху кулі; час переміщення вагона на відстань l (саме цим переміщенням зумовлено зміщення

вхідного та вихідного отворів кулі): $t_2 = \frac{l}{v}$, де v — швидкість руху вагона.

Оскільки $t_1 = t_2$, то $\frac{d}{u} = \frac{l}{v}$, звідки $u = \frac{dv}{l}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[u] = \frac{\text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{u\} = \frac{2{,}4 \cdot 15}{6 \cdot 10^{-2}} = 600;$$

$$u = 600 \text{ м/с}.$$

Відповідь: швидкість кулі 600 м/с.

Задача 2. Хлопчик бігає по ескалатору. Першого разу він нарахував 50 сходинок, а другого разу, рухаючись у той же бік зі швидкістю, втричі більшою відносно ескалатора, нарахував 75 сходинок. Скільки сходинок він нарахував би на нерухомому ескалаторі?

Дано:	*Розв'язання*
$n_1 = 50$ $n_2 = 75$ $u_2 = 3u_1$	Задача базується на відносності руху хлопчика та ескалатора.
n — ?	Нехай v — модуль швидкості ескалатора, l — його довжина, n — кількість сходинок на нерухомому ескалаторі. Очевидно, що на одиницю довжини ескалатора припадає $\frac{n}{l}$ сходинок.

З'ясуємо також, як напрямлені швидкості хлопчика та ескалатора. Якби хлопчик біг проти руху ескалатора, то, збільшивши свою швидкість, він нарахував би менше сходинок, але з умови видно, що, рухаючись з більшою швидкістю, хлопчик нарахував більше сходинок, отже, він рухався по ходу ескалатора. Швидкість його руху відносно землі за законом додавання швидкостей дорівнюватиме: $u + v$, час руху: $t = \frac{l}{u+v}$, відповідно переміщення відносно ескалатора: $s = ut = \frac{ul}{u+v}$.

Якщо на одиницю довжини ескалатора припадає $\frac{n}{l}$ сходинок, то на шляху s хлопчик їх нарахує $s \cdot \frac{n}{l}$.

Таким чином, у першому випадку: $n_1 = \frac{u_1 l}{u_1 + v} \cdot \frac{n}{l} = \frac{u_1 n}{u_1 + v}$, у другому: $n_2 = \frac{u_2 l}{u_2 + v} \cdot \frac{n}{l} = \frac{3u_1 n}{3u_1 + v}$.

Ми отримали систему рівнянь, яку можна записати так:

$$\begin{cases} \frac{n}{n_1} = \frac{u_1 + v}{u_1}, \\ \frac{n}{n_2} = \frac{3u_1 + v}{3u_1} \end{cases} \text{ або } \begin{cases} \frac{n}{n_1} = 1 + \frac{v}{u_1}, \\ \frac{n}{n_2} = 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{v}{u_1}. \end{cases}$$

Домножимо друге рівняння на 3 і віднімемо від нього перше рівняння. Отримаємо: $2 = \frac{3n}{n_2} - \frac{n}{n_1}$, звідки $n = \frac{2n_1 n_2}{3n_1 - n_2}$.

Знайдемо значення шуканої величини:

$$n = \frac{2 \cdot 50 \cdot 75}{3 \cdot 50 - 75} = 100.$$

Відповідь: хлопчик на нерухомому ескалаторі нарахує 100 сходинок.

1-й рівень складності

? **7.1.** Пасажир сидить у закритій каюті теплохода, який рухається озером рівномірно прямолінійно. Чи зможе пасажир, не виходячи з каюти (за допомогою механічних дослідів), визначити напрямок руху теплохода?

? **7.2.** У вагоні потяга в напрямку його руху йде людина. Яке з двох тіл — вагон чи людина — має більшу швидкість відносно землі?

? **7.3.** Експрес рухається на південь. У якому напрямку відносно поверхні землі летить гелікоптер, якщо пасажирові гелікоптера здається, що потяг нерухомий?

? **7.4.** У фільмі «Швидкість» пасажирів автобуса евакуюють на автоплатформу, що рухається поряд з автобусом. У якому напрямку та з якою швидкістю рухається автоплатформа відносно поверхні землі?

7.5. Річкою проти течії, швидкість якої 0,5 м/с, пливе човен, швидкість руху якого відносно води 4,5 м/с. Визначте швидкість руху човна відносно берега. Який шлях відносно берега він подолає за 5 хв?

7.6. Річкою за течією, швидкість якої 3 м/с, пливе пароплав, швидкість руху якого відносно берега 36 км/год. Визначте швидкість руху пароплава відносно води. За який час пароплав пройде відносно берега 70 м?

2-й рівень складності

7.7. Хлопчик перепливає річку, ширина якої 75 м, зі швидкістю 1,5 м/с відносно води, причому він пливе перпендикулярно до течії, швидкість якої 2 м/с. Визначте швидкість руху хлопчика відносно берега. На скільки метрів нижче за течією хлопчик вийде з води? Яке переміщення він здійснить за цей час?

7.8. Мостовий кран протягом 10 с піднімає вантаж зі швидкістю 15 м/хв і одночасно переміщує його в горизонтальному напрямку зі швидкістю 0,3 м/с. Визначте переміщення вантажу відносно землі.

7.9. Між двома пунктами, які розташовані на відстані 100 км один від одного, річкою курсує катер, який долає цю відстань за 4 год, якщо пливе за течією, і за 10 год — якщо проти течії. Визначте швидкість течії та швидкість руху катера відносно води.

7.10. Пароплав річкою долає відстань між двома містами за 6 год, коли рухається за течією, і за 8 год — коли проти течії. За який час подолає відстань між цими містами пліт?

7.11. За 1,5 год катер долає відстань між двома пристанями, що становить 18 км. За який час він подолає зворотній шлях, якщо швидкість течії 3 км/год?

7.12. Ескалатор метро рухається зі швидкістю 0,75 м/с. За який час пасажир підніметься по ескалатору завдовжки 50 м, якщо він іде в напрямку його руху зі швидкістю 0,25 м/с відносно стрічки ескалатора?

7.13. Пасажир піднімається пішки по нерухомому ескалатору за 2,5 хв, а якщо йде по рухомому — за 50 с. За який час ескалатор підніме пасажира, який стоїть на ньому?

7.14. Ескалатор метро піднімає нерухомого пасажира за 1,5 хв. Пасажир по нерухомому ескалатору піднімається за 2,5 хв. За який час підніметься пасажир, що йде по рухомому ескалатору?

7.15. Велосипедист обганяє армійську колону завдовжки 300 м, рухаючись зі швидкістю 18 км/год. За який час він здійснить обгін, якщо колона рухається зі швидкістю 4,5 км/год?

7.16. Пасажирський потяг, швидкість руху якого 108 км/год, і товарний, який рухається зі швидкістю 54 км/год, їдуть по паралельних коліях в одному напрямку. За який час відбудеться обгін, якщо довжина потягів дорівнює відповідно 120 м і 180 м?

7.17. Два потяги рухаються назустріч один одному. Пасажир першого помічає, що другий потяг, довжина якого 150 м, проходить повз нього за 6 с. З якою швидкістю рухається другий потяг, якщо перший рухається зі швидкістю 36 км/год?

3-й рівень складності

? **7.18.** Водій, сідаючи в автомобіль з відкидним верхом, з'ясував за нахилом дерев, що вітер дме з півночі. Коли ж він поїхав на південь, то невдовзі відчув, що вітер дме йому в обличчя. Як це пояснити, враховуючи, що напрямок вітру не змінився?

? **7.19.** Від пристані в протилежних напрямках одночасно відпливають човен і пліт. Через 15 хв човен миттєво розвертається і пливе назад. Скільки часу йому знадобиться, щоб наздогнати пліт?

7.20. Пліт завдовжки 16 м пливе річкою зі швидкістю 0,8 м/с. Вздовж плота рівномірно рухається людина, яка за 20 с проходить його від одного краю до іншого і повертається назад. Знайдіть швидкість руху, переміщення та пройдений людиною шлях: а) відносно плота; б) відносно берега.

7.21. Пліт завширшки 12 м пливе річкою зі швидкістю 1,5 м/с. Поперек плота рівномірно рухається людина, яка за 16 с проходить його від одного краю до іншого і повертається назад. Знайдіть швидкість руху, переміщення та пройдений людиною шлях: а) відносно плота; б) відносно берега.

7.22. Два тіла рухаються рівномірно прямолінійно назустріч одне одному. При цьому відстань між ними кожні 3 с зменшується на 240 м. На скільки збільшуватиметься відстань між ними кожні 4 с, якщо тіла будуть рухатися в одному напрямку? Відомо, що швидкість руху одного з тіл 50 м/с.

7.23. З пунктів A і B, відстань між якими 500 м, назустріч один одному по прямій дорозі йдуть два брати з однаковою швидкістю 5 км/год. Від одного брата до другого біжить їхній собака, який, добігши, негайно повертає і мчить до першого брата. Це повторюється, доки брати не зустрінуться. Визначте переміщення собаки та пройдений ним шлях, якщо швидкість руху собаки 20 км/год.

8. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ

Приклад розв'язування задач

Задача. Чверть шляху автомобіль рухався зі швидкістю 120 км/год, а решту шляху — зі швидкістю 90 км/год. Визначте середню шляхову швидкість руху автомобіля. Вважайте, що на кожній з ділянок автомобіль рухався рівномірно.

Дано:

$v_1 = 120 \ \frac{\text{км}}{\text{год}}$

$l_1 = \frac{1}{4} l$

$v_2 = 90 \ \frac{\text{км}}{\text{год}}$

$v_{\text{сер}}$ — ?

Розв'язання

Середня шляхова швидкість визначається за формулою $v_{\text{сер}} = \frac{l}{t}$, причому $l = l_1 + l_2$, а $t = t_1 + t_2$. З умови відомо, що $l_1 = \frac{1}{4} l$, а l_2 — решта шляху — може бути знайдена як $l_2 = l - l_1$, тобто $l_2 = \frac{3}{4} l$.

Враховуючи, що рух на окремих ділянках рівномірний, знайдемо $t_1 = \frac{l_1}{v_1} = \frac{l}{4v_1}$ і $t_2 = \frac{l_2}{v_2} = \frac{3l}{4v_2}$, тоді весь час руху

$$t = \frac{l}{4v_1} + \frac{3l}{4v_2} = \frac{l(v_2 + 3v_1)}{4v_1 v_2}.$$

Після підстановки у формулу середньої швидкості отримаємо:

$$v_{\text{сер}} = \frac{l \cdot 4v_1 v_2}{l(v_2 + 3v_1)} = \frac{4v_1 v_2}{v_2 + 3v_1}.$$

Перевіримо одиниці вимірювання й визначимо числове значення шуканої величини:

$$\left[v_{\text{сер}}\right] = \frac{\frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot \frac{\text{км}}{\text{год}}}{\frac{\text{км}}{\text{год}} + \frac{\text{км}}{\text{год}}} = \frac{\text{км}}{\text{год}}; \quad \left\{v_{\text{сер}}\right\} = \frac{4 \cdot 120 \cdot 90}{90 + 360} = 96;$$

$$v_{\text{сер}} = 96 \text{ км/год}.$$

Відповідь: середня швидкість руху автомобіля на всьому шляху становила 96 км/год.

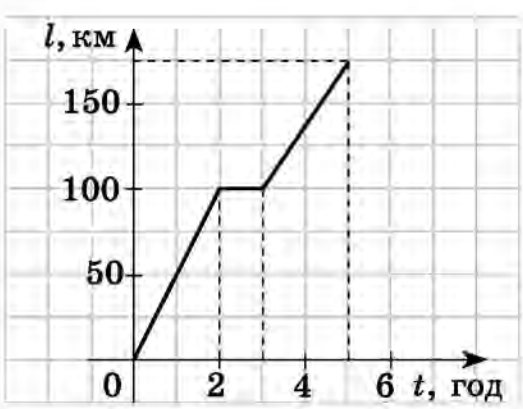
1-й рівень складності

? **8.1.** Чи може середня шляхова швидкість руху тіла за модулем дорівнювати середній швидкості переміщення?

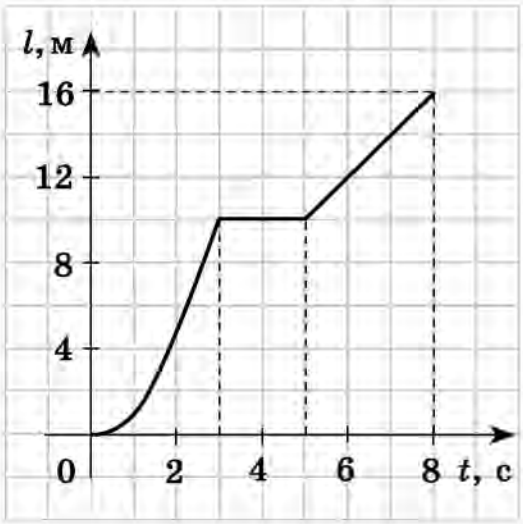
8.2. Вагон, рухаючись під ухил, подолав 120 м за 10 с. Скотившися з гірки, він пройшов до повної зупинки ще 360 м за 1,5 хв. Визначте середню швидкість руху вагона.

8.3. Протягом 12 с велосипедист рухався зі швидкістю 18 км/год, наступні 25 с — зі швидкістю 4 м/с. Якою була середня швидкість його руху?

8.4. На рисунку подано графік залежності шляху, пройденого автомобілем, від часу. Визначте швидкість руху автомобіля на кожній ділянці та середню швидкість його руху.



8.5. На рисунку подано графік залежності пройденого тілом шляху від часу. Охарактеризуйте рух тіла. Визначте середню швидкість його руху на всьому шляху.



2-й рівень складності

8.6. Відстань між містами становить 6000 км. Літак, подолавши 4000 км зі швидкістю 800 км/год, здійснив вимушену посадку на проміжному аеродромі. Через 3 год він вилетів з цього аеродрому і за 4 год долетів до пункту призначення. Визначте середню швидкість переміщення літака.

8.7. Відстань між пунктами A і B становить 360 км. Автобус проїхав перші 120 км за 2 год; решту шляху він їхав зі швидкістю 80 км/год. Якою була середня швидкість руху автобуса?

8.8. Велосипедист, рухаючись зі швидкістю 24 км/год, встиг проїхати 36 км, перш ніж його велосипед зламався. Годину він намагався відремонтувати велосипед, а коли з цього нічого не вийшло, повернув додому. Пройшовши 10 км зі швидкістю 5 км/год, він зупинив попутну машину і за півгодини повернувся додому. Визначте середню шляхову швидкість руху велосипедиста.

8.9. Піднімаючись на гору, лижник пройшов 3 км із середньою швидкістю 5,4 км/год, а відпочивши на горі 15 хв, спустився іншим схилом, подолавши 1 км із середньою швидкістю 10 м/с. Визначте середню швидкість руху лижника на всьому шляху.

8.10. Під час змагань велосипедист проїхав перше коло зі швидкістю 25 км/год, а друге — зі швидкістю 30 км/год. Якою була середня швидкість руху велосипедиста на всьому шляху?

8.11. Першу половину бігової доріжки спортсмен пробіг зі швидкістю 27 км/год. З якою швидкістю він рухався на другій половині дистанції, якщо середня швидкість його руху становила 18 км/год?

8.12. Третину шляху експрес рухався зі швидкістю 90 км/год, наступну третину шляху — зі швидкістю 150 км/год, а останню третину швидкість його руху становила 120 км/год. Якою була середня швидкість руху експреса?

8.13. Третину шляху турист рухався зі швидкістю 5 км/год, а решту шляху швидкість його руху становила 4 км/год. Визначте середню швидкість руху туриста на всьому шляху.

8.14. Третину часу потяг рухався зі швидкістю 72 км/год, наступну третину часу — зі швидкістю 50 км/год, а останню третину швидкість його руху становила 58 км/год. Якою була середня швидкість руху потяга?

8.15. Чверть усього витраченого часу турист ішов зі швидкістю 5 км/год, а решту часу їхав на коні зі швидкістю 20 км/год. Визначте середню швидкість руху туриста.

3-й рівень складності

8.16. У скільки разів відрізняються середні швидкості руху автомобіля на тій самій ділянці шляху у двох випадках: в одному випадку першу половину витраченого часу він їхав зі швидкістю 40 км/год, а другу половину часу — зі швидкістю 60 км/год; у другому випадку автомобіль проїхав першу та другу половини шляху з тими самими швидкостями, що й в першому випадку?

9. РІВНОПРИСКОРЕНИЙ РУХ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Координата тіла, яке рухається вздовж осі OX, змінюється відповідно до рівняння $x = 8 + 5t - 1{,}25t^2$. Визначте параметри руху, охарактеризуйте його та побудуйте графік залежності $v_x(t)$.

Дано:
$x = 8 + 5t - 1{,}25t^2$

x_0 — ?
v_{0x} — ?
a_x — ?
$v_x(t)$ — ?

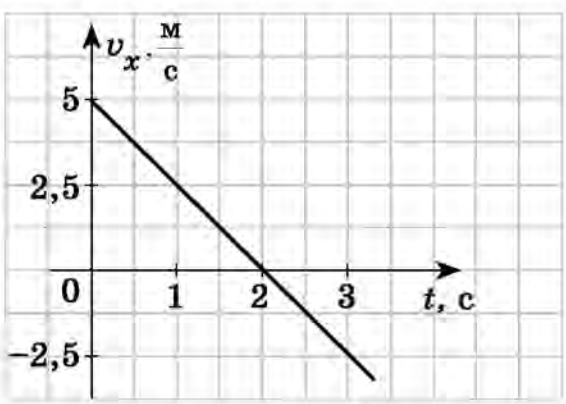
Розв'язання

Наведене рівняння відповідає рівнянню рівноприскореного прямолінійного руху, яке має загальний вигляд: $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$. Вважаючи, що всі величини дано в СІ, бачимо, що $x_0 = 8$ м, $v_{0x} = 5$ м/с, $a_x = -2{,}5$ м/с^2.

Формула миттєвої швидкості під час рівномірного прямолінійного руху має вигляд: $v_x = v_{0x} + a_x t$, отже, у нашому випадку $v_x = 5 - 2{,}5t$.

Складемо таблицю та побудуємо графік швидкості (див. рисунок).

t, с	0	2
v_x, м/с	5	0

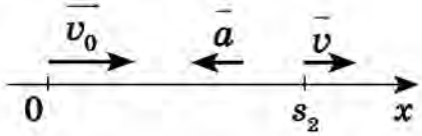


За параметрами руху тіла та графіком швидкості робимо висновок: тіло рухається в напрямку координатної осі OX $(v_{0x} > 0)$ рівноприскорено $(a_x < 0)$; через 2 с після початку спостереження тіло зупиняється, після чого рухається рівноприскорено ($|v_x|$ лінійно зростає) проти координатної осі $(v_x < 0)$.

Задача 2. За 50 м до в'їзду на міст мотоцикліст, який до того рухався зі швидкістю 54 км/год, почав гальмувати. Гальмівне прискорення за модулем дорівнювало 2 м/с². Чи порушив водій правила, якщо перед в'їздом на міст є знак обмеження швидкості 10 км/год?

Дано:	*СІ*
$v_0 = 54 \ \frac{\text{км}}{\text{год}}$	$v_0 = 15 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$s = 50$ м	
$a = 2 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	
$v = 10 \ \frac{\text{км}}{\text{год}}$	$v \approx 2{,}8 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$s_{\text{гальм}}$ — ?	

Розв'язання



Щоб відповісти на запитання, поставлене у задачі, можна, наприклад, знайти гальмівний шлях мотоцикліста.

Рух за умовою рівноприскорений, переміщення мотоцикліста може бути знайдене за формулою $s_{x\,\text{гальм}} = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ або, враховуючи, що $v_{0x} = v_0$, $a_x = -a$, $v_x = v$, $s_x = s$, отримаємо:

$$s_{\text{гальм}} = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}.$$

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення гальмівного шляху:

$$\left[s_{\text{гальм}}\right] = \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м}; \quad \left\{s_{\text{гальм}}\right\} = \frac{15^2 - 2{,}8^{\,2}}{2 \cdot 2} \approx 54; \quad s_{\text{гальм}} \approx 54 \text{ м}.$$

Бачимо, що необхідний гальмівний шлях більший за відстань, яка залишилася до мосту.

Відповідь: мотоцикліст порушив правила руху.

1-й рівень складності

9.1. Потяг вирушає від станції метро. За який час він досягне швидкості 72 км/год, якщо розганяється з прискоренням 1 м/с²?

9.2. Реактивний літак здійснює посадку на аеродром, маючи швидкість 324 км/год. Скільки часу пройде до його зупинки, якщо літак рухається з прискоренням 9 м/с²?

9.3. Мотоцикліст при гальмуванні рухається з прискоренням 0,5 м/с² і зупиняється через 20 с після початку гальмування. Якою була початкова швидкість руху мотоцикліста?

9.4. Визначте положення велосипедиста через 0,5 хв після старту, якщо велосипедист рухається з прискоренням 0,25 м/с².

9.5. Байдарка, рухаючись рівномірно прямолінійно, пливла зі швидкістю 6 м/с. Після проходження фінішу спортсмени опустили весла, і далі байдарка рухалася з постійним прискоренням 0,5 м/с². На якій відстані від лінії фінішу байдарка опиниться через 4 с?

9.6. Тролейбус, рухаючись зі швидкістю 18 км/год, зупинився за 4 с. Визначте прискорення його руху та гальмівний шлях тролейбуса.

9.7. Літак за 14 с збільшив свою швидкість від 108 км/год до 360 км/год. Якими при цьому були прискорення його руху та переміщення, якщо літак рухався рівноприскорено прямолінійно?

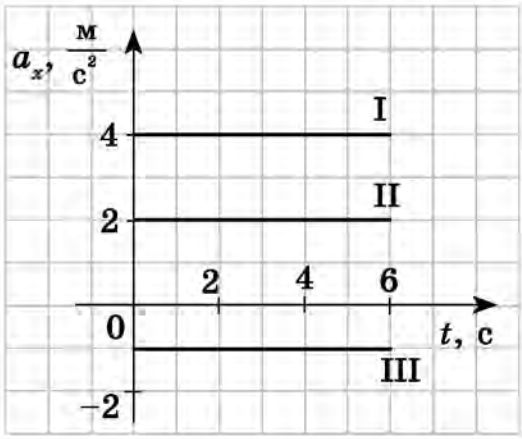
9.8. Залежність швидкості руху тіла від часу має вигляд: $v_x = 2 + 1{,}5t$. Охарактеризуйте рух тіла та визначте параметри цього руху.

9.9. Швидкість руху тіла змінюється згідно з рівнянням $v_x = 50 - 4t$. Охарактеризуйте рух тіла та визначте параметри цього руху.

9.10. Координата тіла, що рухається, змінюється згідно з рівнянням $x = 4t + 1{,}5t^2$. Охарактеризуйте рух тіла, визначте параметри цього руху та запишіть рівняння залежності швидкості руху від часу.

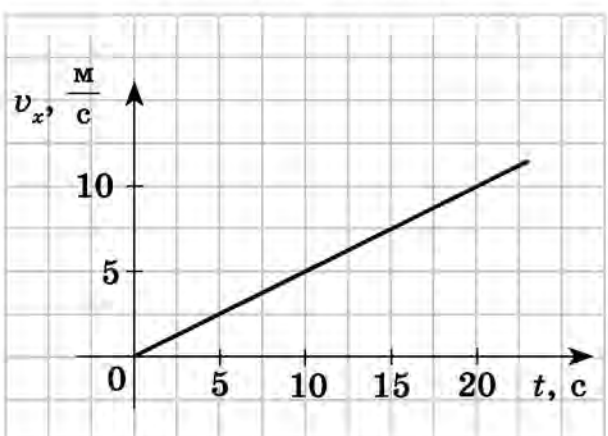
9.11. Рівняння руху тіла має вигляд: $x = 8 - 5t + 5t^2$. Охарактеризуйте рух тіла, визначте параметри цього руху і запишіть рівняння залежності швидкості від часу.

? **9.12.** За графіками залежності $a_x(t)$ для кількох тіл (див. рисунок) охарактеризуйте рух кожного тіла, якщо початкові швидкості руху всіх тіл однакові, напрямлені у бік осі OX і мають значення 5 м/с.

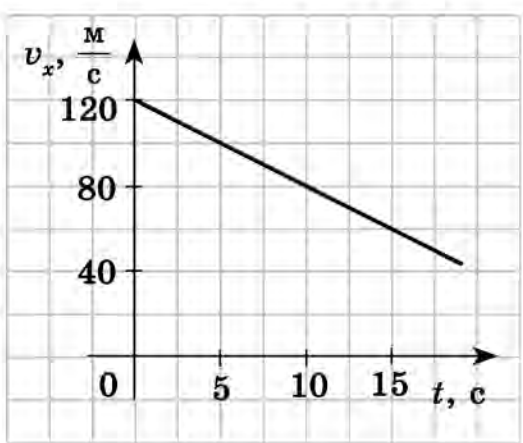


9.13. За графіком залежності швидкості від часу, який наведено на рисунку, охарактеризуйте рух тіла, визначте початкову швидкість і прискорення його руху та запишіть рівняння залежності швидкості від часу: $v_x = v_x(t)$.

9.14. На рисунку наведено графік залежності швидкості руху тіла від часу. Охарактеризуйте рух тіла, визначте початкову швидкість і прискорення його руху та запишіть рівняння залежності швидкості від часу: $v_x = v_x(t)$.



До задачі 9.13



До задачі 9.14

2-й рівень складності

9.15. Космічний корабель розганяється із стану спокою до швидкості 11 км/с, подолавши 200 км. З яким прискоренням він рухається?

9.16. З якою максимальною швидкістю повинен зайти на посадку літак, щоб приземлитися на смузі завдовжки 850 м, якщо гальмівне прискорення дорівнює 4 м/с^2?

9.17. Автомобіль рухається рівномірно по горизонтальній ділянці зі швидкістю 36 км/год. Увімкнувши іншу передачу, водій через 525 м збільшив швидкість до 90 км/год. З яким прискоренням рухався автомобіль на цій ділянці?

9.18. Куля, що летить горизонтально зі швидкістю 400 м/с, потрапляє у дерев'яний бруствер і застрягає в ньому на глибині 10 см. Скільки часу рухалась куля у бруствері? На якій глибині її швидкість зменшилась удвічі проти початкової? Вважайте рух кулі у бруствері рівноприскореним.

9.19. Лижник спускається з гори, довжина якої 108 м, з початковою швидкістю 6 м/с і прискоренням 0,5 м/с^2. Скільки часу тривав спуск? Якої швидкості досяг лижник в кінці спуску?

9.20. Потяг на початку спуску завдовжки 340 м мав швидкість 54 км/год і спустився за 20 с. З яким прискоренням рухався потяг і яку швидкість розвинув у кінці спуску?

9.21. Рухаючись рівноприскорено зі стану спокою, вантажівка на деякій відстані набула швидкості 36 км/год. Яку швидкість вона мала посередині цього шляху?

9.22. Кулька зі стану спокою скочується з гірки довжиною L за час t. У скільки разів відрізняється миттєва швидкість руху кульки посередині гірки від середньої швидкості руху кульки на всій гірці?

9.23. Санчата зі стану спокою з'їжджають з гладкої гірки довжиною L за час t. У скільки разів середня швидкість руху санчат менша за швидкість їхнього руху у кінці гірки?

9.24. Залежність швидкості руху автомобіля від часу виражається рівнянням $v_x = 20 - 2{,}5t$. Охарактеризуйте рух автомобіля, визначте початкову швидкість і прискорення його руху, побудуйте графік швидкості.

9.25. Швидкість руху велосипедиста залежить від часу відповідно до рівняння $v_x = -5 - 3t$. Охарактеризуйте рух велосипедиста, визначте початкову швидкість і прискорення його руху та побудуйте графік швидкості.

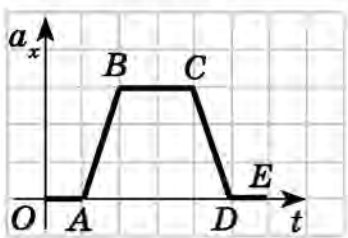
9.26. Охарактеризуйте рух тіл, залежності швидкості яких від часу задано рівняннями: $v_x = 4t$ і $v_x = 8 - 2t$. Побудуйте графіки швидкостей руху цих тіл.

9.27. За 5 с швидкість руху мотоцикліста збільшилась від 36 км/год до 54 км/год. З яким прискоренням він рухався? Запишіть формулу залежності швидкості від часу і побудуйте відповідний графік, якщо мотоцикліст рухався рівноприскорено.

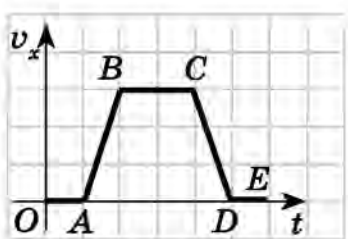
9.28. За 8 с покази спідометра автомобіля змінились від 108 км/год до 72 км/год. Визначте прискорення, з яким рухався автомобіль. Запишіть рівняння, згідно з яким змінювалась швидкість його руху, і побудуйте графік швидкості.

9.29. На рисунку подано графік прискорення для тіла, що рухається прямолінійно. Охарактеризуйте його рух на кожній ділянці, якщо відомо, що в початковий момент часу швидкість тіла дорівнювала $v_x = 6$ м/с.

9.30. На рисунку наведено графік швидкості для тіла, яке рухається прямолінійно. Охарактеризуйте рух тіла на кожній ділянці.

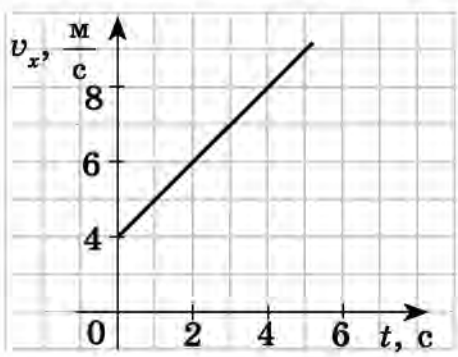


До задачі 9.29

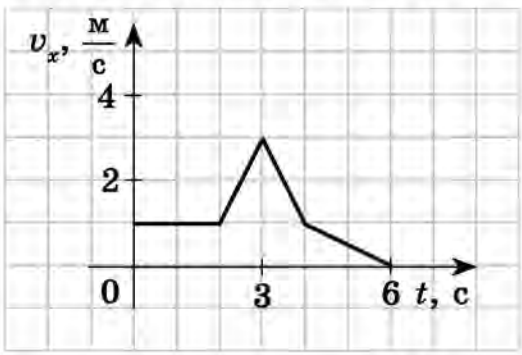


До задачі 9.30

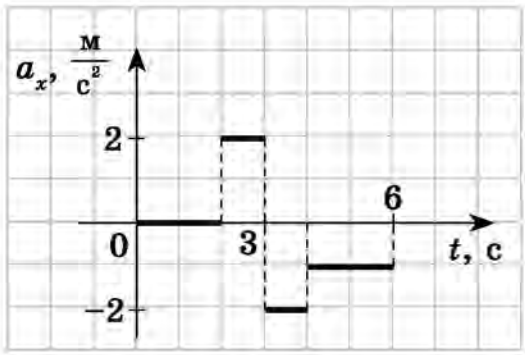
9.31. На рисунку подано графік залежності швидкості від часу. Охарактеризуйте рух тіла, визначте початкову швидкість і прискорення його руху та запишіть рівняння залежності швидкості від часу. Визначте переміщення, здійснене тілом за перші 5 с.



9.32. На рисунках *а* і *б* подані графіки залежностей швидкості v_x і прискорення a_x від часу. Чи однакові рухи описують ці графіки? За графіком залежності швидкості від часу, наведеним на рисунку *а*, визначте модуль переміщення тіла.



а



б

9.33. Рівняння руху має вигляд: $x = 5 + t + t^2$. Охарактеризуйте рух тіла, визначте параметри руху даного тіла, запишіть рівняння залежності швидкості від часу і побудуйте графік цієї залежності.

9.34. Рівняння руху тіла має вигляд: $x = 100 - 15t + 2t^2$. Охарактеризуйте рух тіла, визначте параметри цього руху і побудуйте графік руху тіла.

9.35. Рухи двох автомобілів описуються рівняннями: $x_1 = 5t + 2t^2$ і $x_2 = 80 - 7t$. Визначте: а) де й коли вони зустрінуться; б) відстань між автомобілями через 5 с після початку руху. Розв'яжіть задачу аналітично і графічно.

9.36. Рівняння руху двох тіл мають вигляд: $x_1 = 8t + 0{,}5t^2$, $x_2 = -4t + 2t^2$. Визначте місце і час їхньої зустрічі. Якою буде відстань між тілами через 4 с після початку руху? Розв'яжіть задачу аналітично і графічно.

3-й рівень складності

9.37. Тіло, рухаючись рівноприскорено зі стану спокою, за 4 с подолало 48 м. Який шлях воно пройшло за четверту секунду?

9.38. Рухаючись рівноприскорено зі стану спокою, автомобіль за п'яту секунду пройшов 18 м. З яким прискоренням рухався автомобіль і який шлях він пройшов за 4 с?

9.39. З яким прискоренням рухається автобус, якщо за шосту секунду свого рівноприскореного руху він пройшов 11 м? Початкова швидкість руху автобуса дорівнює нулю.

9.40. Потяг, що відходить від станції, проходить за третю секунду 2,5 м, рухаючись рівноприскорено. Визначте переміщення, яке здійснив потяг за сьому секунду.

9.41. Сідаючи, літак торкається поверхні зі швидкістю 288 км/год і починає гальмування з постійним прискоренням. За сьому секунду літак проходить шлях 28 м. Визначте прискорення та швидкість руху літака у кінці сьомої секунди.

9.42. Знизу вгору вздовж похилої площини штовхнули кульку. На відстані 80 см від початку руху кулька опиняється двічі: через 1 с та через 4 с після початку руху. Визначте прискорення та початкову швидкість руху кульки, вважаючи її рух рівноприскореним.

9.43. Знизу вгору вздовж похилої площини штовхнули кульку. У точці A кулька опиняється двічі: через 1 с і через 3 с після початку свого рівноприскореного руху. Яка швидкість була надана кульці, якщо відстань від верхньої точки її траєкторії до початкової точки становить 1 м?

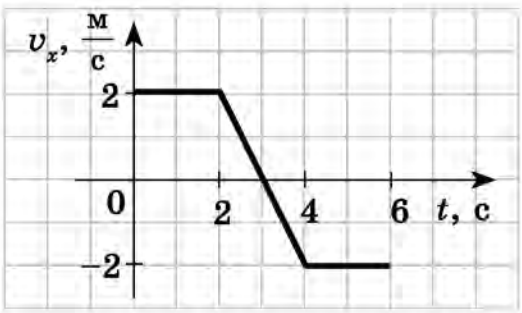
9.44. Два катери пливуть озером назустріч один одному з пунктів A і B, відстань між якими 150 м. Через який час і на якій відстані від пункту A вони зустрінуться, якщо початкові швидкості їхнього руху відповідно дорівнюють 14,4 км/год і 21,6 км/год, а прискорення однакові за модулем і мають значення 0,5 м/с^2?

9.45. Назустріч один одному рухаються два потяги, початкова відстань між якими 1 км. Перший потяг рухається рівноприскорено в напрямку координатної осі з початковою швидкістю 36 км/год і прискоренням 2 м/с^2. Інший потяг, початкова швидкість руху якого 54 км/год, гальмує з постійним прискоренням, модуль якого 1 м/с^2. Де й коли зустрінуться потяги?

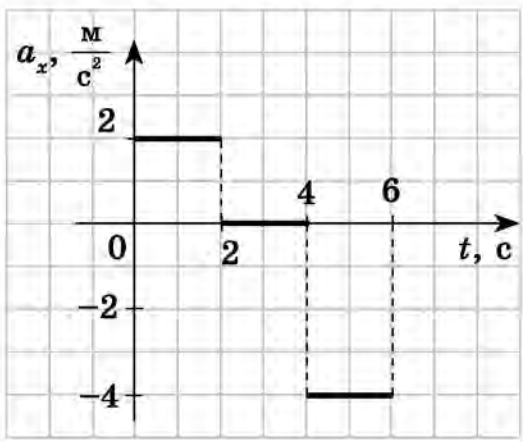
9.46. Від автовокзалу в одному напрямку вирушають два автобуси. Один з них виїздить на 20 с пізніше. Прискорення, з якими рухаються автобуси, однакові і дорівнюють 0,4 м/с^2. Через який час після початку руху першого автобуса відстань між ними становитиме 240 м?

9.47. На рисунку подано графік залежності проекції швидкості v_x для тіла, що рухається прямолінійно, від часу. Побудуйте графік залежності від часу: а) проекції прискорення a_x; б) координати x; в) пройденого шляху l. Вважайте, що початкова координата тіла дорівнює нулю.

9.48. На рисунку подано графік залежності проекції прискорення a_x для тіла, що рухається прямолінійно, від часу. Побудуйте графік залежності від часу: а) проекції швидкості v_x; б) координати x; в) пройденого шляху l. Вважайте, що початкова координата і швидкість руху тіла дорівнюють нулю.



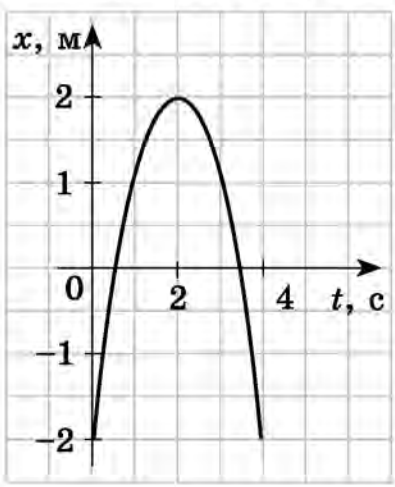
До задачі 9.47



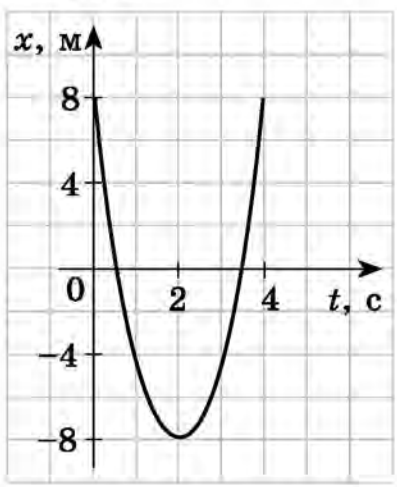
До задачі 9.48

9.49. Графіком руху тіла є парабола, подана на рисунку. Запишіть рівняння залежності від часу координати цього тіла, швидкості та прискорення руху.

9.50. Графіком руху тіла є парабола, подана на рисунку. Запишіть рівняння залежності від часу координати цього тіла, швидкості та прискорення руху.



До задачі 9.49



До задачі 9.50

10. ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Спортсмен стрибнув з восьмиметрової вишки, увійшовши у воду на глибину 2,5 м. З яким прискоренням і протягом якого часу він рухався у воді до зупинки? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2. Опором повітря знехтуйте.

Дано:

$v_{01} = 0$

$h_1 = 8$ м

$g = 9{,}8$ м/с^2

$v_2 = 0$

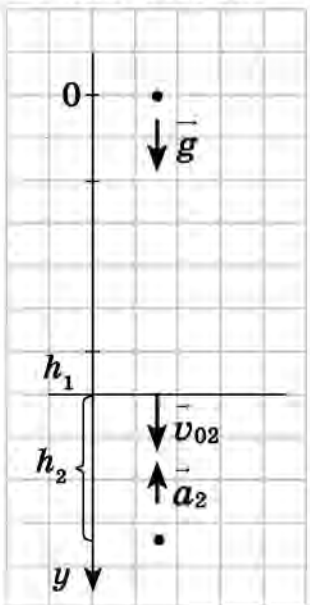
$h_2 = 2{,}5$ м

---

a_2 — ?

t_2 — ?

Розв'язання



На першій ділянці рух спортсмена можна вважати вільним падінням, без початкової швидкості, отже, $h_1 = \dfrac{v_1^2}{2g}$, де v_1 — кінцева швидкість спортсмена на цій ділянці. Вона ж є початковою швидкістю для другої ділянки його руху і дорівнює: $v_1 = \sqrt{2gh_1} = v_{02}$.

На другій ділянці рух спортсмена є рівноприскореним з прискоренням $a_{2y} = -a_2$ до зупинки ($v_2 = 0$), після чого почнеться підйом.

Переміщення на цій ділянці буде (після проектування векторів): $h_2 = \dfrac{v_2^2 - v_{02}^2}{-2a_2} = \dfrac{-v_{02}^2}{-2a_2} = \dfrac{v_{02}^2}{2a_2}$, звідки $a_2 = \dfrac{v_{02}^2}{2h_2}$; після підстановки виразу для v_{02} матимемо: $a_2 = \dfrac{2gh_1}{2h_2} = \dfrac{gh_1}{h_2}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[a_2] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \{a_2\} = \frac{9{,}8 \cdot 8}{2{,}5} \approx 31; \quad a_2 \approx 31 \text{ м/с}^2.$$

За означенням прискорення $a_{2y} = \dfrac{v_{2y} - v_{02y}}{t_2}$, а після проектування векторів $-a_2 = \dfrac{-v_{02}}{t_2}$, звідки $t_2 = \dfrac{v_{02}}{a_2}$; після підстановки виразу для v_{02} маємо: $t_2 = \dfrac{\sqrt{2gh_1}}{a_2}$.

Перевіримо одиниці вимірювання й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[t_2] = \frac{\sqrt{\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{с};$$

$$\{t_2\} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 8}}{31} \approx 0{,}4;$$

$$t_2 \approx 0{,}4 \text{ с}.$$

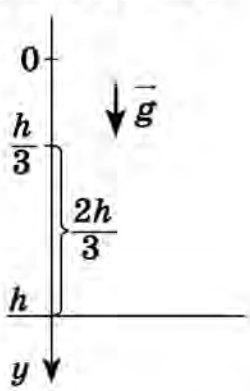
Відповідь: прискорення у воді $a_2 \approx 31$ м/с^2; час руху у воді $t_2 \approx 0{,}4$ с.

Задача 2. Тіло вільно падає і за останню секунду долає $\dfrac{2}{3}$ всього шляху. З якої висоти і скільки часу падало тіло? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

Дано:
$t_{\text{ост}} = 1$ с
$h_{\text{ост}} = \dfrac{2h}{3}$
$g = 9{,}8$ м/с^2

t — ?
h — ?

Розв'язання



Якщо тіло за останню секунду подолало $\dfrac{2}{3}$ всього шляху, то шлях, пройдений ним до останньої секунди, становитиме $\dfrac{h}{3}$, а затрачений на це час $t - t_{\text{ост}}$.

Запишемо рівняння руху тіла на всьому шляху і до останньої секунди.

Рівняння матимуть вигляд:

$$\begin{cases} h = \dfrac{gt^2}{2}, & (1) \\ \dfrac{h}{3} = \dfrac{g\left(t - t_{\text{ост}}\right)^2}{2}. & (2) \end{cases}$$

Розв'яжемо отриману систему рівнянь відносно t:

$$\frac{gt^2}{2} = \frac{3g\left(t - t_{\text{ост}}\right)^2}{2}.$$

Після скорочень і розкривання дужок матимемо:

$$t^2 = 3t^2 - 6t_{\text{ост}}t + 3t_{\text{ост}}^2, \text{ або } 2t^2 - 6t_{\text{ост}}t + 3t_{\text{ост}}^2 = 0.$$

Розв'язуючи квадратне рівняння відносно t, отримаємо два корені: $t_1 = \dfrac{3+\sqrt{3}}{2}t_{\text{ост}} \approx 2{,}37$ с і $t_2 = \dfrac{3-\sqrt{3}}{2}t_{\text{ост}} \approx 0{,}65$ с.

Другий корінь не має фізичного змісту, оскільки час польоту на всьому шляху (0,65 с) не може бути меншим за час польоту на частині шляху ($t_{\text{ост}} = 1$ с), отже, час польоту дорівнює $t \approx 2{,}37$ с.

Тепер можемо згідно з рівнянням (1) визначити висоту, з якої впало тіло.

Перевіримо одиниці вимірювання й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[h] = \frac{\text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2} = \text{м}; \quad \{h\} = \frac{9{,}8 \cdot 2{,}37^2}{2} \approx 27{,}5; \quad h \approx 27{,}5 \text{ м}.$$

Відповідь: тіло падало $t \approx 2{,}37$ с з висоти $h \approx 27{,}5$ м.

Примітка. Там, де в умовах задач спеціально не зауважено, що прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с², для розрахунків можна використовувати приблизне значення: $g \approx 10$ м/с².

1-й рівень складності

10.1. Тіло вільно падає на поверхню Землі з висоти 245 м. Протягом якого часу воно падатиме?

10.2. Тіло з висоти 80 м за 10 с впало на поверхню Місяця. Визначте прискорення вільного падіння на Місяці.

10.3. Під час вільного падіння тіло досягло поверхні Землі за 5 с. Визначте швидкість руху тіла в момент падіння та висоту, з якої воно впало. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

10.4. Кульку кинули вертикально вгору зі швидкістю 25 м/с. На яку максимальну висоту відносно точки кидання вона підніметься?

10.5. Струмінь води з брандспойта, спрямованого вертикально вгору, досягнув висоти 16,2 м. З якою швидкістю витікає вода з брандспойта?

2-й рівень складності

10.6. З гелікоптера, який рівномірно спускався зі швидкістю 6 м/с, скинули пакет. Через 8 с той упав на поверхню Землі. Визначте висоту, з якої було скинуто пакет.

10.7. З повітряної кулі, яка рівномірно піднімалася зі швидкістю 5 м/с, на висоті 200 м скинули вантаж. Як довго він падатиме?

10.8. М'яч кинули вертикально вниз з висоти 150 м. З якою швидкістю його кинули, якщо м'яч упав через 5 с? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

10.9. Тіло вільно падає з висоти 10 м. Одночасно з висоти 20 м вертикально вниз кидають інше тіло. На Землю обидва тіла впали одночасно. З якою початковою швидкістю кинули друге тіло? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

10.10. Тіло вільно падає з висоти 80 м. Який шлях пройде це тіло за останню секунду падіння?

10.11. Камінь вільно падає з висоти 100 м. Який шлях він подолає за останні 2 с падіння?

10.12. Тіло вільно падає з висоти 196 м. Який шлях подолало це тіло за другу половину часу польоту?

10.13. Тіло впало з висоти 45 м. За який час тіло подолало останній метр?

10.14. Камінь падає в ущелину глибиною 150 м. Скільки часу відбувалося падіння каменя на другій половині шляху?

10.15. М'яч, який кинули з поверхні землі вертикально вгору, впав через 3 с. З якою швидкістю кинули м'яч і на яку висоту він піднявся?

10.16. Тіло, яке було кинуте з поверхні землі вертикально вгору, впало через 6 с. На яку максимальну висоту воно піднялось?

10.17. Тіло, що кинули вертикально вгору, повернулося до рівня кидання зі швидкістю 20 м/с. На яку максимальну висоту відносно цього рівня піднімалося тіло? Скільки часу воно перебувало в польоті?

10.18. З якою початковою швидкістю слід кинути м'яч вертикально вгору, щоб через 8 с він падав вниз із швидкістю 20 м/с?

10.19. Снаряд, який було випущено з гармати вертикально вгору зі швидкістю 850 м/с, досяг цілі через 4 с. На якій висоті перебувала ціль і яку швидкість мав снаряд у момент її досягнення?

10.20. Тіло кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 25 м/с. Через скільки секунд тіло буде на висоті 20 м? Відповідь поясніть.

10.21. З яким інтервалом часу побувало на висоті 35 м тіло, яке кинули з поверхні землі вертикально вгору зі швидкістю 40 м/с?

10.22. М'яч кинули вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. Скільки часу знадобиться для того, щоб м'яч подолав шлях 30 м?

10.23. Над колодязем глибиною 20 м кидають вертикально вгору камінь зі швидкістю 15 м/с. Через скільки секунд він досягне дна колодязя?

3-й рівень складності

10.24. З яким проміжком часу відірвалися від карниза дві краплини, якщо через 2 с після початку падіння другої краплини відстань між краплинами становила 25 м?

10.25. Тіло кинули з висоти 200 м з початковою швидкістю 2 м/с. Протягом якого часу падало це тіло?

10.26. З якої висоти впало тіло, якщо за останню секунду падіння воно подолало 50 м?

10.27. Аеростат починає підніматися з поверхні землі вгору з прискоренням 2,5 м/с². Через 4 с після початку руху з аеростата випадає предмет. Протягом якого часу він падатиме?

10.28. З висоти 100 м почав падати камінь. Одночасно з поверхні землі назустріч йому кинули вертикально вгору м'яч зі швидкістю 40 м/с. Через який проміжок часу і на якій висоті над поверхнею землі вони зустрінуться?

11. РУХ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ

Приклад розв'язування задач

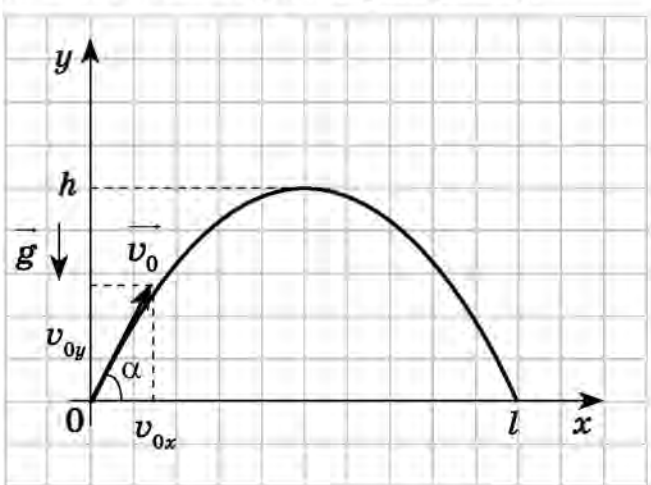
Задача. Тіло, яке кинули під кутом до горизонту, досягло максимальної висоти $h=10$ м, а в горизонтальному напрямку пролетіло 20 м до моменту падіння. Під яким кутом і з якою початковою швидкістю кинули тіло? Вважайте, що $g=10$ м/с².

Дано:
$h=10$ м
$l=20$ м
$g=10$ м/с²

α — ?
v_0 — ?

Розв'язання

Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, є складним: рівномірним по осі OX та вільним падінням по осі OY (див. рисунок).



Максимальну висоту при цьому можна визначити за формулою

$$h=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}, \qquad (1)$$

а дальність польоту — за формулою

$$l = \frac{2v_0^2 \sin\alpha\cos\alpha}{g}. \qquad (2)$$

Розділимо рівняння (1) на рівняння (2), отримаємо $\frac{h}{l} = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{4}$, звідки $\operatorname{tg}\alpha = \frac{4h}{l}$.

Виконаємо розрахунки: $\operatorname{tg}\alpha = \frac{4 \cdot 10\ \text{м}}{20\ \text{м}} = 2$, тоді $\alpha = \operatorname{arctg} 2$, тобто $\alpha \approx 63°$.

З рівняння (1) знайдемо: $v_0 = \frac{\sqrt{2gh}}{\sin\alpha}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення швидкості кидання тіла:

$$[v_0] = \frac{\sqrt{\text{м} \cdot \text{м}}}{\text{с}^2} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{v_0\} = \frac{\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 20}}{\sin 63°} \approx 22{,}4;$$

$$v_0 \approx 22{,}4\ \text{м/с}.$$

Відповідь: тіло кинули з початковою швидкістю $v_0 \approx 22{,}4$ м/с під кутом $\alpha \approx 63°$ до горизонту.

2-й рівень складності

11.1. М'яч кинули під кутом 30° до горизонту зі швидкістю 20 м/с. На яку максимальну висоту він підніметься? На якій відстані від точки кидання м'яч упаде?

11.2. Під час поливу квітів струмінь води витікає зі шланга зі швидкістю 8 м/с під кутом 60° до горизонту. На якій відстані від шланга розміщена клумба?

11.3. На полігоні проводяться навчальні стрільби з гармат. Якою є найменша висота безпечного польоту бомбардувальників над полігоном, якщо початкова швидкість виліту гарматних снарядів становить 800 м/с? Снаряди вилітають під кутом 15° до горизонту.

11.4. Під яким кутом до горизонту кинули камінь з початковою швидкістю 20 м/с, якщо він упав через 3 с на відстані 30 м від місця кидання?

11.5. Кулька, яку кинули під кутом 45° до горизонту з початковою швидкістю 30 м/с, через 2 с досягла даху будинку. Визначте висоту будинку та відстань до нього від міста кидання кульки.

11.6. З башти, висота якої 40 м, з початковою швидкістю 15 м/с кинули вгору тіло під кутом 30° до горизонту. Через який час і на якій відстані від башти тіло впаде на поверхню землі?

11.7. Під яким кутом до горизонту слід кинути м'яч, щоб дальність його польоту дорівнювала максимальній висоті підйому?

11.8. Під яким кутом до горизонту необхідно кинути з поверхні землі тіло, щоб його максимальна висота підйому була в 4 рази менша за дальність польоту?

11.9. З літака, який летить горизонтально зі швидкістю 144 км/год, на висоті 500 м скинули вантаж для полярників на відстані 400 м від місця їхнього розташування. Чи потрапив вантаж за місцем призначення? Протягом якого часу падав вантаж?

11.10. Гелікоптер летить горизонтально на висоті 8 км зі швидкістю 180 км/год. За скільки кілометрів до цілі льотчик має скинути вантаж?

11.11. Тіло кинули в горизонтальному напрямку зі швидкістю 15 м/с так, що дальність його польоту дорівнює висоті, з якої було кинуто тіло. Визначте, з якої висоти кинули тіло.

? 11.12. Тіло кидають в горизонтальному напрямку з певної висоти. Як слід змінити швидкість руху тіла, щоб дальність його польоту збільшилася втричі?

? 11.13. Як слід змінити висоту, з якої кидають тіло у горизонтальному напрямку, щоб дальність польоту зросла вдвічі (початкова швидкість тіла залишається незмінною)?

11.14. З крутого берега річки заввишки 20 м у горизонтальному напрямку кидають камінь зі швидкістю 15 м/с. Через який час, з якою швидкістю і під яким кутом камінь упаде у воду?

11.15. З мосту, висота якого над водою становить 75 м, у горизонтальному напрямку кинули камінь зі швидкістю 15 м/с. З якою швидкістю і під яким кутом до води впаде камінь?

3-й рівень складності

11.16. М'яч кинули під кутом 60° до горизонту з початковою швидкістю 20 м/с. На відстані 15 м від точки кидання м'яч пружно вдарився об стіну. На якій відстані від стіни м'яч упаде на поверхню землі?

12. КРИВОЛІНІЙНИЙ РУХ. РІВНОМІРНИЙ РУХ ПО КОЛУ

Приклад розв'язування задач

Задача. Матеріальна точка рівномірно обертається по колу радіусом 10 м, здійснюючи повний оберт за 2 с. Визначте її обертову частоту, лінійну та кутову швидкості, доцентрове прискорення. Як зміниться доцентрове прискорення, якщо радіус траєкторії збільшити в N разів?

Дано:
$R_1 = 10$ м
$T = 2$ с
$R_2 = NR_1$

n — ?
ω — ?
υ — ?
$a_{доц}$ — ?
$\frac{a_2}{a_1}$ — ?

Розв'язання

Обертову частоту можна знайти через період $n = \frac{1}{T}$, тобто $n = \frac{1}{2\text{ с}} = 0{,}5$ об/с.

Кутову швидкість даної точки знайдемо за формулою $\omega = 2\pi n$, отже, $\omega = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5$ с$^{-1}$, тобто $\omega = 3{,}14$ рад/с.

Лінійну швидкість доцільно визначити так:

$$\upsilon = \frac{2\pi R}{T}.$$

Таким чином, $\upsilon = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10\text{ м}}{2\text{ с}} = 31{,}4$ м/с.

Для визначення доцентрового прискорення використаємо формулу $a_{доц} = \frac{\upsilon^2}{R}$.

Перевіримо одиниці та визначимо числове значення шуканої величини:

$$\left[a_{\text{доц}}\right]=\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2\cdot\text{м}}=\frac{\text{м}}{\text{с}^2};\quad \left\{a_{\text{доц}}\right\}=\frac{31{,}4^2}{10}\approx 98{,}6;\quad a_{\text{доц}}=98{,}6\ \text{м/с}^2.$$

Оскільки в умові нічого не сказано про зміну лінійної та / або кутової швидкості, то коректно відповісти на запитання про зміну доцентрового прискорення при зміні радіусу траєкторії не видається можливим. Однак ми можемо розглянути два випадки.

1) Якщо при зміні радіусу траєкторії не змінилася лінійна швидкість руху, то $\frac{a_2}{a_1}=\frac{v^2R_1}{R_2v^2}=\frac{R_1}{NR_1}$, отже, $\frac{a_2}{a_1}=\frac{1}{N}$, тобто доцентрове прискорення зменшиться в N разів.

2) Якщо ж при зміні радіусу траєкторії незмінною залишиться кутова швидкість, то, виражаючи доцентрове прискорення через кутову швидкість ($a_{\text{доц}}=\omega^2R$), матимемо: $\frac{a_2}{a_1}=\frac{\omega^2R_2}{\omega^2R_1}=\frac{NR_1}{R_1}$, отже, $\frac{a_2}{a_1}=N$, тобто в цьому випадку доцентрове прискорення зросте в N разів.

1-й рівень складності

12.1. Диск за 10 с зробив 40 обертів. Визначте період його обертання та обертову частоту.

12.2. За який час тіло здійснить 60 обертів, якщо період його обертання становить 2 с?

12.3. Хлопчик обертає кульку, прив'язану до нитки, з частотою 5 об/с. Визначте період обертання кульки.

12.4. Визначте кутову швидкість, з якою рухається секундна стрілка механічного годинника.

12.5. Горизонтальна платформа обертається навколо вертикальної осі, здійснюючи 2 оберти за 1 с. Визначте кутову швидкість обертання платформи.

12.6. З якої частотою обертається матеріальна точка, якщо кутова швидкість її обертання становить 31,4 рад/с?

12.7. Автомобіль рухається по закругленій ділянці шосе радіусом 50 м з постійною за модулем швидкістю 72 км/год. Знайдіть доцентрове прискорення руху автомобіля на цій ділянці.

12.8. Літак на швидкості 360 км/год виконує «мертву петлю» радіусом 400 м. Визначте доцентрове прискорення, з яким рухається літак.

12.9. Трамвайний вагон рухається по закругленню радіусом 50 м. Визначте швидкість руху трамваю, якщо його доцентрове прискорення становить 0,5 м/с^2.

12.10. Визначте доцентрове прискорення, з яким рухаються крайні точки карусельного станка, віддалені від осі обертання на 2 м, якщо кутова швидкість обертання становить 1,5 рад/с.

12.11. Під час обертання вала радіусом 10 см доцентрове прискорення для точок на його поверхні становить 10 м/с^2. Визначте кутову швидкість обертання вала.

2-й рівень складності

12.12. Тіло рухається по колу радіусом 20 см. Знайдіть шлях і модуль його переміщення за проміжок часу, що дорівнює: а) періоду обертання тіла; б) половині періоду; в) чверті періоду.

12.13. Велосипедист рухається рівномірно по колу радіусом 150 м, роблячи 0,25 об/хв. Визначте шлях і переміщення велосипедиста за: а) 60 с; б) 120 с.

12.14. Кутова швидкість обертання лопатей вентилятора 15π рад/с. Визначте, скільки обертів здійснив вентилятор за 6 с.

12.15. За який час колесо, обертаючись із кутовою швидкістю 5π рад/с, здійснить 150 обертів?

12.16. Колесо велосипеда має діаметр 80 см. З якою швидкістю рухається велосипедист, якщо колесо велосипеда здійснює 150 обертів за хвилину? З якою кутовою швидкістю обертається колесо?

12.17. Знайдіть максимальну швидкість, з якою може обертатися шліфувальний круг діаметром 30 см, якщо допустима обертова частота для нього становить 1800 об/хв.

12.18. Точильний круг має діаметр 350 мм. Лінійна швидкість точок його робочої поверхні не може перевищувати 31,5 м/с. Чи можна насадити цей круг на вал електродвигуна, який здійснює: а) 1450 об/хв; б) 2000 об/хв?

12.19. Колесо радіусом 80 см котиться по горизонтальній дорозі без проковзування. Який шлях воно пройде, зробивши 20 повних обертів?

12.20. Диск діаметром 30 см котиться по горизонтальній поверхні. Скільки обертів зробить диск, подолавши шлях 90 м?

12.21. З якою лінійною швидкістю рухаються точки земної поверхні на екваторі в процесі добового обертання Землі? Радіус Землі вважайте таким, що дорівнює 6400 км.

12.22. Знайдіть лінійну швидкість добового обертання точок земної поверхні на широті Харкова (50°).

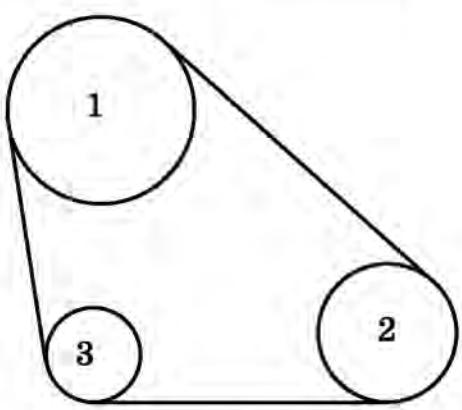
? 12.23. У скільки разів зміниться швидкість руху супутника по орбіті, якщо радіус його орбіти збільшиться у 3 рази, а період обертання — у 6 разів?

? 12.24. Секундна стрілка годинника у 2 рази коротша за хвилинну. Кінець якої з них має більшу лінійну швидкість?

? 12.25. Порівняйте кутові швидкості обертання годинної та секундної стрілок настінного годинника.

? 12.26. Порівняйте кутові швидкості обертання точок на ободі шківів генератора *1*, вентилятора *2* і двигуна *3* (див. рисунок).

? 12.27. Порівняйте лінійні швидкості руху точок на ободі шківів генератора *1*, вентилятора *2* і двигуна *3* (див. рисунок).



До задач 12.26, 12.27

12.28. Два шківи радіусами 10 см і 15 см з'єднані між собою ремінною передачею. Обертова частота більшого шківа 90 об/хв. Визначте швидкість руху ременя і період обертання меншого шківа.

12.29. Розрахуйте доцентрове прискорення обертання лева, який спить біля екватора нашої планети.

12.30. Земля здійснює один оберт навколо Сонця за один рік. Визначте доцентрове прискорення руху Землі відносно Сонця, якщо відстань від Землі до Сонця становить 150 млн км, вважаючи, що Земля рухається рівномірно по коловій орбіті.

12.31. Тягарець, підвішений на нитці завдовжки 1,25 м, відхиляють так, що нитка розміщується горизонтально, і відпускають. Визначте доцентрове прискорення, з яким тягарець проходить положення рівноваги, якщо швидкість його руху у цій точці становить 5 м/с.

3-й рівень складності

12.32. Лінійна швидкість обертання точок на ободі маховика становить 6 м/с, а точок, що лежать на 10 см ближче до осі,— 4 м/с. Визначте радіус маховика та кутову швидкість його обертання.

12.33. Визначте діаметр колеса, якщо відомо, що лінійна швидкість обертання точок на ободі колеса у 2 рази більша за лінійну швидкість обертання точок, що лежать на 4 см ближче до осі обертання.

12.34. Диск обертається з кутовою швидкістю 3 рад/с. Відносно диска по радіусу рухається тіло зі швидкістю 0,4 м/с. Знайдіть швидкість руху цього тіла відносно Землі, коли воно буде на відстані 10 см від осі обертання.

12.35. Уздовж радіуса диска, що обертається, повзе муха зі швидкістю 0,03 м/с відносно диска. У той момент, коли муха перебуває на відстані 5 см від осі обертання диска, швидкість її руху відносно Землі становить 5 см/с. Визначте обертову частоту диска.

12.36. Гелікоптер почав знижуватися вертикально з прискоренням 0,2 м/с^2. Лопаті його гвинта мають довжину 5 м і обертаються з частотою 300 об/хв. Скільки обертів зробить гвинт за час зниження гелікоптера на 40 м? Визначте також лінійну швидкість і доцентрове прискорення для кінців лопатей гвинта відносно корпуса гелікоптера.

12.37. Скільки обертів зробить дзиґа, яка обертається з частотою 251,2 рад/с, за час її вільного падіння з висоти, що становить 5 м?

12.38. На диск, який обертається з частотою 45 об/хв, з висоти 70 см падає кулька. За час її падіння диск встигає повернутися на 102°. Визначте за цими даними прискорення вільного падіння кульки.

12.39. Хлопчик обертає у вертикальній площині камінь, прив'язаний до мотузки завдовжки 60 см, здійснюючи 4 об/с. Мотузка обривається в той момент, коли швидкість руху каменя напрямлена вертикально вгору. На яку висоту від точки відриву піднявся камінь? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

13. ПЕРШИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Приклад розв'язування задач

Задача. Вираз «Сила — причина прискорення руху тіла» є неточним. Чому?

Відповідь: в інерціальній системі відліку причиною прискорення тіла є взаємодія тіл, а не сила, яка є мірою взаємодії. Проте в неінерціальній системі відліку причин прискорення дві: взаємодія та прискорення самої системи відліку. Цим, власне, і відрізняється інерціальна система відліку від неінерціальної.

1-й рівень складності

? **13.1.** Парашутист опускається, рухаючись рівномірно прямолінійно. Дії яких тіл компенсуються при такому русі?

? **13.2.** Дії яких тіл на стілець компенсуються, коли стілець стоїть на підлозі?

? **13.3.** Дії яких тіл на пліт компенсуються, коли пліт пливе по річці?

2-й рівень складності

? **13.4.** Тіло під дією кількох сил рухається рівномірно прямолінійно. Чи можна цей рух розглядати як прояв інерції тіла?

? **13.5.** Пасажир піднімається, стоячи на ескалаторі метро. Чи можна сказати, що в цьому випадку спостерігається явище інерції?

? **13.6.** Чи діють сили на тіло, що рухається рівномірно прямолінійно в інерціальній системі відліку?

? **13.7.** Автомобіль із вимкненим двигуном рухається по рівній горизонтальній дорозі. Чому не зберігається швидкість руху автомобіля?

? **13.8.** Снаряд, випущений з гармати, летить до цілі. Чому в цьому випадку не спостерігається явище інерції?

? **13.9.** Чи можна систему відліку, пов'язану з ліфтом, вважати інерціальною у випадку, коли ліфт: а) рухається прискорено вгору; б) рухається рівномірно вгору; в) рухається сповільнено вниз?

? **13.10.** У якому випадку систему відліку, пов'язану з автомобілем, можна вважати інерціальною? Автомобіль: а) рухається рівномірно прямолінійно по горизонтальному шосе; б) рухається прискорено з гори; в) здійснює поворот із постійною швидкістю.

? **13.11.** Чи можна вважати інерціальною систему відліку, пов'язану з велосипедистом, який рівномірно рухається по кільцевому треку?

? **13.12.** Чи є інерціальною система відліку, пов'язана з потягом, який рушає від станції?

? **13.13.** Під час різкого гальмування трамвая пасажир нахилився вперед. Назвіть тіло, дія якого змусила пасажира рухатися відносно автомобіля.

? **13.14.** Як рухається потяг, якщо яблуко, що випало з рук пасажирки: а) рухається відносно вагона вертикально вниз; б) під час падіння відхиляється вбік; в) відхиляється вперед по ходу потяга; г) відхиляється назад відносно напрямку руху потяга?

? **13.15.** Чому людині, яка стоїть у човні, що рухається, важко втримати рівновагу, коли човен раптом зупиняється?

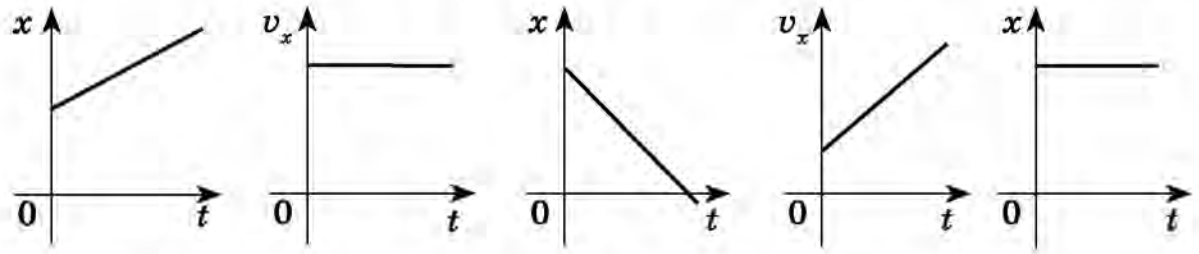
? **13.16.** Поясніть опускання стовпчика ртуті, коли ми струшуємо медичний термометр?

? **13.17.** Як пояснити той факт, що людина, яка біжить, спіткнувшись, падає вперед?

? **13.18.** Чому молоток або сокира щільніше насаджується на рукоять, якщо її вільним кінцем ударити об якийсь твердий предмет?

? **13.19.** Рівняння залежності координат і швидкостей руху тіл від часу мають вигляд: а) $x_1 = 5 - 2t$; б) $x_2 = 10 + 2t - t^2$; в) $v_{3x} = 25t$; г) $v_{4x} = -20$. У яких випадках рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю?

? **13.20.** На рисунку подано графіки залежності координати та швидкості руху тіл від часу. У яких випадках рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю?



а *б* *в* *г* *д*

3-й рівень складності

? **13.21.** Легкі двері людина може відчинити одним пальцем. Чому ж куля пробиває ті самі двері, не відчиняючи їх?

14. ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

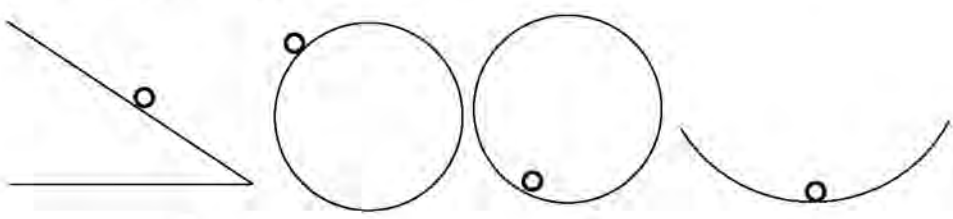
Приклад розв'язування задач

Задача. Чи можна вважати добуток маси та прискорення тіла ($m\vec{a}$) означенням сили ($\vec{F}$), що діє на тіло? Відповідь обґрунтуйте.

Відповідь: Ні. Ототожнювати $\vec{F}$ і $m\vec{a}$ не можна, бо прискорення тіла в інерціальній системі є лише наслідком дії на нього нескомпенсованої сили.

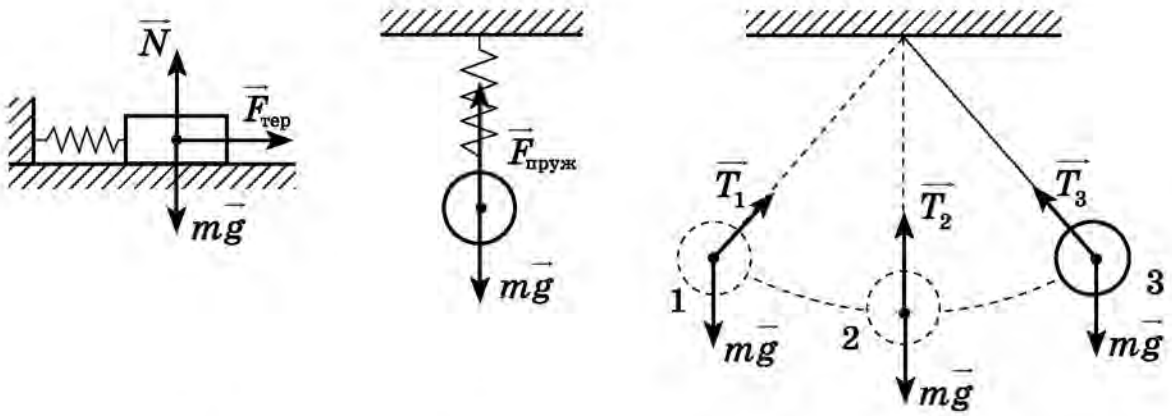
1-й рівень складності

? **14.1.** Зобразіть рівнодійну сил, прикладених до тіл, поданих на рисунках *а*—*г*. Куди напрямлене прискорення у кожному випадку?



а *б* *в* *г*

? **14.2.** На рисунках *а*—*в* показано сили, що діють на тіло, яке здійснює коливання. Куди напрямлене прискорення у кожному випадку?



а *б* *в*

? **14.3.** Зобразіть на рисунку сили, що діють на тіло під час його рівноприскореного прямолінійного руху в таких випадках:

а) кран піднімає вантаж вертикально вгору;

б) санчата з вантажем тягнуть за мотузку по горизонтальній поверхні;

в) санчата з вантажем тягнуть за мотузку на гірку;

г) санчата з'їжджають з гірки.

? **14.4.** Зобразіть на рисунку сили, що діють на тіло під час його рівномірного руху по колу в таких випадках:

а) кулька, що підвішена на нитці, обертається в горизонтальній площині;

б) муха сидить на диску, що обертається.

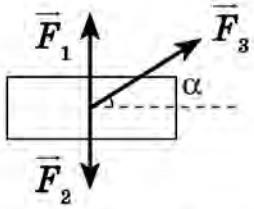
14.5. З яким прискоренням рухається вагонетка масою 500 кг під дією сили 125 Н?

14.6. Яку силу слід прикласти до тіла масою 200 г, щоб воно рухалось із прискоренням 2,5 м/с^2?

14.7. Визначте масу м'яча, який під дією сили 50 мН набуває прискорення 10 см/с^2.

2-й рівень складності

14.8. Сили $F_1 = 15$ Н, $F_2 = 10$ Н і $F_3 = 20$ Н діють на тіло так, як зображено на рисунку. Знайдіть рівнодійну цих сил та її проекції на координатні осі, якщо $\alpha = 30°$.

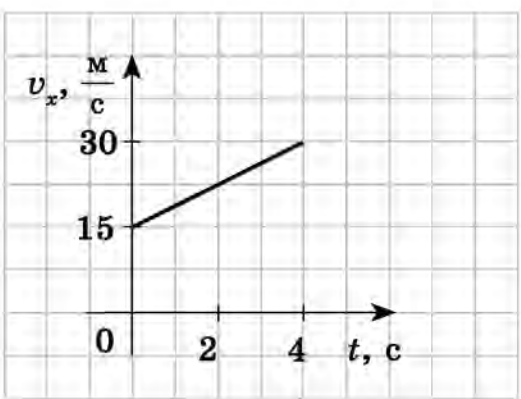


? 14.9. Рівнодійна всіх сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю. Чи може це тіло: а) рухатися прямолінійно; б) рухатися по колу; в) перебувати у спокої? Відповідь обґрунтуйте.

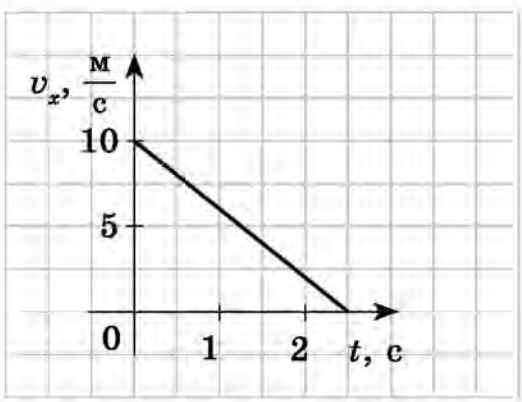
? 14.10. Чи дорівнює нулю рівнодійна сил, прикладених до тіла, якщо воно: а) рухається рівномірно прямолінійно; б) рухається рівномірно по колу; в) рухається рівноприскорено прямолінійно; г) перебуває у спокої? Відповідь обґрунтуйте.

14.11. За графіком швидкості тіла (див. рисунок) визначте модуль і напрямок рівнодійної сил, що діють на тіло масою 4 кг.

14.12. За графіком швидкості тіла (див. рисунок) визначте модуль і напрямок рівнодійної сил, що діють на автомобіль масою 1,5 т.



До задачі 14.11

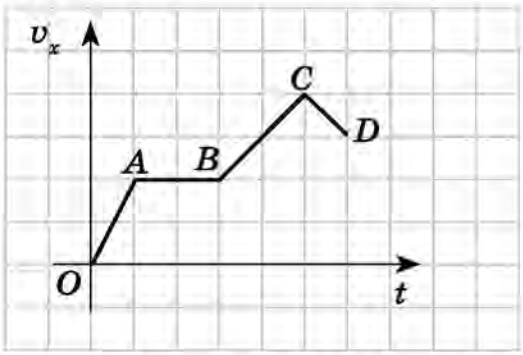


До задачі 14.12

14.13. Побудуйте графік швидкості руху велосипедиста масою 100 кг, який зупиняється через 2 с під дією сили 250 Н.

14.14. Побудуйте графік швидкості руху потяга масою 100 т, який, маючи швидкість 18 км/год, починає розганятися під дією сили тяги 150 кН.

? **14.15.** За графіком швидкості руху тіла (див. рисунок) визначте, на яких ділянках сили, що діють на тіло, врівноважуються?



14.16. Під дією певної сили тіло масою 90 кг рухається з прискоренням 0,4 м/с². З яким прискоренням рухатиметься тіло масою 120 кг під дією тієї самої сили?

14.17. Під дією певної сили тіло масою 450 кг рухається з прискоренням 0,8 м/с². Визначте масу тіла, яке під дією тієї самої сили рухається з прискоренням 0,25 м/с².

14.18. Певна сила надає порожньому візку масою 6 кг прискорення 1,5 м/с². Визначте масу вантажу, покладеного на візок, якщо відомо, що навантажений візок під дією тієї самої сили рухається з прискоренням 0,3 м/с².

14.19. Дві сталеві кульки, радіуси яких відрізняються в 3 рази, зіштовхуються. Чому дорівнює відношення модулів прискорення руху цих кульок внаслідок їхнього центрального удару? Чи залежить відповідь на запитання від початкових швидкостей кульок?

14.20. Під час зіткнення двох залізничних платформ прискорення навантаженої платформи виявилось у 4 рази меншим, ніж порожньої. У скільки разів навантажена платформа важча за порожню?

14.21. Вагон рухається згідно з рівнянням $x = 50 + t - 0{,}1t^2$ під дією сили 4 кН. Визначте його масу.

14.22. Чому дорівнює сила, що діє на тіло масою 200 кг, якщо залежність його переміщення від часу визначається рівнянням $s_x = 5t + 1{,}25t^2$?

14.23. На кульку масою 50 г у напрямку її руху діє постійна сила 150 мН. Запишіть рівняння залежності швидкості руху кульки від часу, якщо її початкова швидкість становила 2 м/с.

14.24. Візок масою 15 кг гальмує, рухаючись рівноприскорено під дією сили 9 Н. Запишіть рівняння його руху, якщо відомо, що початкова координата візка $x_0 = 16$ м, а початкова швидкість $v_x = 8$ м/с.

3-й рівень складності

14.25. З гармати вилітає снаряд масою 10 кг зі швидкістю 600 м/с. Визначте середню силу тиску порохових газів, якщо по стволу гармати снаряд рухається протягом 5 мс.

14.26. Потяг масою 900 т, маючи швидкість 108 км/год, зупинився під дією сили 135 кН. Скільки часу тривало гальмування?

14.27. Під дією сили 3 кН швидкість руху вантажівки масою 6 т зросла від 54 км/год до 90 км/год. Визначте час і шлях розгону вантажівки.

14.28. Автомобіль масою 4 т, рухаючись зі швидкістю 18 км/год, починає гальмувати і зупиняється, пройшовши 50 м. Визначте силу гальмування.

14.29. Потяг масою 100 т, вирушаючи від станції, рухався рівноприскорено. Подолавши 800 м, він набув швидкості 72 км/год. Визначте силу, що надавала потягу прискорення.

14.30. Кулька масою 250 г під дією постійної сили пройшла за перші 2 с руху 4 м. Визначте цю силу.

15. ТРЕТІЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Приклад розв'язування задач

Задача. Сили, з якими тіло і динамометр діють одне на одне під час зважування, не врівноважуються, оскільки прикладені до різних тіл. Чому ж тоді тіло і динамометр після певного видовження динамометра зупиняються?

Відповідь: на тіло крім сили пружності пружини динамометра діє ще й сила тяжіння, і вони врівноважують одна одну ($\vec{F}_{\text{пруж}} + \vec{F}_{\text{тяж}} = 0$).

1-й рівень складності

? **15.1.** На підлозі ліфта лежить предмет. Яка сила є більшою: та, з якою підлога діє на предмет, чи та, з якою предмет тисне на підлогу ліфта, якщо ліфт: а) перебуває у спокої; б) рухається рівномірно прямолінійно; в) рухається рівноприскорено?

? **15.2.** Книжка, що лежить на столі, тисне на нього з певною силою. Стіл діє на книжку з такою самою силою вгору. Що ви можете сказати про рівнодійну цих двох сил?

? **15.3.** Як пояснити явище віддачі внаслідок пострілу з рушниці?

? **15.4.** Тенісист б'є ракеткою по м'ячу. На яке з тіл (ракетку чи м'яч) діє в момент удару більша сила?

? **15.5.** Чи з однаковою силою стискаються буфери під час зіткнення двох товарних вагонів? Чи зміниться відповідь, якщо: а) один із вагонів у момент зіткнення перебував у спокої; б) один із вагонів був навантажений, а інший порожній?

2-й рівень складності

? **15.6.** Унаслідок зіткнення корабель може потопити катер без суттєвих для себе пошкоджень. Чи немає тут суперечності з третім законом Ньютона?

? **15.7.** Невеличкий човен підтягують канатом до корабля. Чому ж корабель не рухається у бік човна?

? **15.8.** До берега підходять два однакові човни. Човнярі підтягуються до берега за допомогою канатів. Який човен раніше торкнеться берега: той, у якого протилежний кінець каната прив'язаний до стовпа на березі, чи той, у якого протилежний кінець каната тримає матрос?

? **15.9.** Два човни на озері з'єднані канатом. Люди, сидячи у човнах, за допомогою каната підтягують човни один до одного. Порівняйте рух човнів відносно води.

3-й рівень складності

? **15.10.** Два хлопчики розтягують мотузку, посередині якої закріплено динамометр. Кожен із хлопчиків прикладає силу 150 Н. Дайте відповіді на такі запитання: а) що покаже динамометр; б) яке значення має рівнодійна сил, прикладених до мотузки?

? **15.11.** Канат витримує навантаження 500 Н. Чи порветься канат, якщо: а) підвісити до цього канату вантаж масою 60 кг; б) тягнути його в протилежні боки, прикладаючи з кожного боку зусилля 260 Н?

? **15.12.** На терезах урівноважили неповну посудину з водою. Чи порушиться рівновага, якщо в посудину опустити підвішену на нитці сталеву кульку так, щоб вона не торкалася дна та стінок посудини?

16. СИЛА ПРУЖНОСТІ

Приклад розв'язування задач

Задача. Визначте масу вантажу, який можна підняти за допомогою мідного тросу, складеного з 50 дротин діаметром 2 мм, якщо запас міцності його дорівнює 3. Межа міцності міді становить 400 МПа.

Дано:	*СІ*
$d = 2$ мм	$d = 2 \cdot 10^{-3}$ м
$N = 50$	
$\sigma_м = 400$ МПа	$\sigma_м = 4 \cdot 10^8$ Па
$n = 3$	
$g = 10 \ \frac{м}{с}$	
m — ?	

Розв'язання:

На трос діють дві сили: сила тяжіння $F_{тяж} = mg$ та сила пружності $F_{пруж} = \sigma S$, які врівноважуються, отже, $\sigma S = mg$, звідки $m = \frac{\sigma S}{g}$.

За визначенням запасу міцності: $n = \frac{\sigma_м}{\sigma}$, звідки $\sigma = \frac{\sigma_м}{n}$. Таким чином, $m = \frac{\sigma_м S}{ng}$.

Площу перерізу можна визначити як сумарну площу перерізу п'ятдесяти дротин, тобто $S = \frac{\pi d^2 N}{4}$. Тоді кінцева формула матиме вигляд

$$m = \frac{\pi d^2 N \sigma_м}{4ng}.$$

Перевіримо одиниці:

$$[m] = \frac{м^2 \cdot Па \cdot с^2}{м} = \frac{м \cdot Н \cdot с^2}{м^2} = \frac{кг \cdot м \cdot с^2}{с^2 \cdot м} = кг.$$

Знайдемо масу вантажу: $\{m\} = \frac{3{,}14 \cdot 2^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 50}{4 \cdot 10 \cdot 3} \approx 2093;$

$$m \approx 2093 \text{ кг}.$$

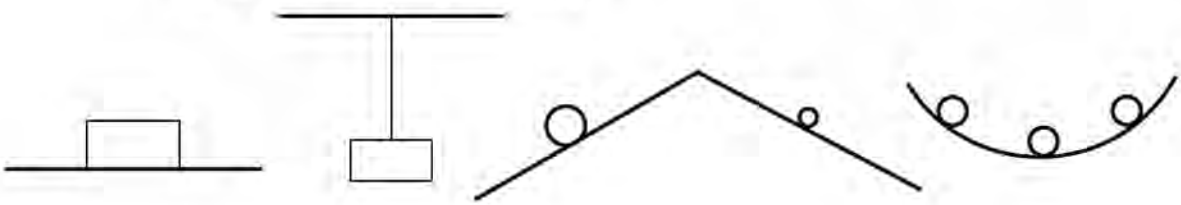
Відповідь: за допомогою цього тросу можна підняти вантаж масою $m \approx 2$ т.

1-й рівень складності

? **16.1.** Сили якої природи штовхають снаряд усередині ствола гармати?

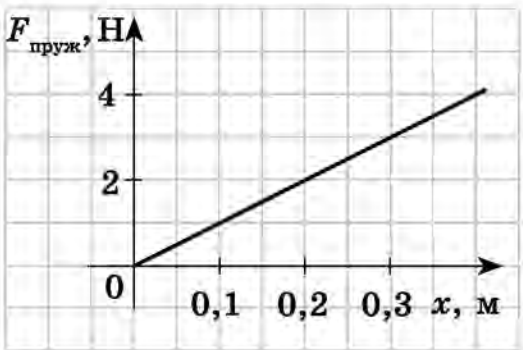
16.2. До якого виду сил належить сила Архімеда?

16.3. Визначте напрямок сил пружності, що діють на тіла, зображені на рисунку.

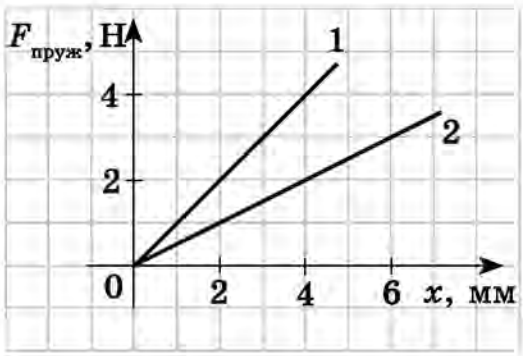


16.4. Визначте жорсткість тіла, графік залежності сили пружності якого від видовження подано на рисунку.

16.5. На рисунку наведено графіки залежності сили пружності від видовження для двох однакових дротів. Визначте, який з них — латунний (1) чи срібний (2) — має більшу жорсткість? Які значення мають жорсткості цих дротів?



До задачі 16.4



До задачі 16.5

16.6. Яка сила деформувала пружину жорсткістю 1500 Н/м, якщо внаслідок деформації пружина скоротилася на 5 см? Яка сила пружності виникла в пружині?

16.7. Визначте жорсткість пружини, яка під дією сили 100 Н деформувалась на 4 см.

16.8. Наскільки видовжиться канат, жорсткість якого 1800 Н/м, під дією сили 10,8 Н?

16.9. Одна з двох пружин під дією сили 3,6 кН видовжилась на 9 см, а друга під дією сили 2 кН видовжилась на 5 см. Яка з пружин має більшу жорсткість?

16.10. Пружина під дією сили 54 Н видовжилась на 9 см. На скільки вона видовжиться під дією сили 18 Н; 30 Н?

16.11. До тросу, що має жорсткість 15 кН/м, підвісили тягарець масою 6 кг. На скільки видовжився трос?

16.12. Визначте жорсткість пружини, яка видовжилась на 2,5 см, коли до неї підвісили вантаж масою 5 кг.

16.13. Яка механічна напруга виникає у рейці з площею поперечного перерізу 8 $см^2$ під дією сили 100 Н?

16.14. Визначте площу поперечного перерізу дерев'яного шеста, якщо під дією сили 810 Н у ньому створюється напруга 300 кПа.

16.15. Яка сила діє на лопать парової турбіни з площею перерізу 16 $см^2$, якщо напруга у лопаті 25 $кН/см^2$?

16.16. Визначте механічну напругу, яка виникла у сталевому тросі, якщо його відносне видовження становить 0,003.

16.17. Унаслідок стискання мідного стрижня у ньому виникла напруга 360 МПа. Визначте відносне видовження цього стрижня.

2-й рівень складності

? **16.18.** Сталевий і мідний дроти однакового розміру підвішені вертикально та з'єднані внизу горизонтальним невагомим стрижнем. Чи залишиться стрижень горизонтальним, якщо до його середини прикріпити вантаж?

? **16.19.** Чому сталева кулька від каменя відскакує добре, а від асфальту погано?

? **16.20.** Чи однаково деформуються буферні пружини під час зіткнення вагонів?

? **16.21.** Чи зміниться відповідь (див. попередню задачу), якщо: а) один з вагонів у момент зіткнення перебував у спокої; б) один вагон навантажений, а інший порожній? Обґрунтуйте відповідь.

? **16.22.** Порівняйте жорсткості цілого сталевого троса та його третини.

? **16.23.** Як зміниться жорсткість сталевого троса, якщо його скласти втроє?

16.24. З яким прискоренням рухається тіло масою 2 кг, яке тягнуть по гладкій горизонтальній поверхні за допомогою пружини жорсткістю 100 Н/м, якщо пружина під час руху видовжилась на 1 см? Тертям знехтуйте.

16.25. За допомогою троса жорсткістю 2 МН/м буксирують автомобіль масою 1,5 т. На скільки видовжився трос, якщо автомобіль, зрушивши з місця, за 20 с подолав 200 м? Тертям можна знехтувати.

16.26. Яка механічна напруга виникає в шийці гака підйомного крана під час рівномірного піднімання вантажу масою 6 т? Діаметр шийки гака 28 мм.

16.27. Радіус круглого стрижня дорівнює 2 см. Визначте, під дією якої сили в ньому виникає напруга 50 кПа.

16.28. Яким має бути мінімальний діаметр сталевого троса, щоб до нього можна було підвісити вантаж вагою 10 кН? Вагою троса можна знехтувати.

16.29. Циліндр, площа перерізу якого 2 см^2, під дією вантажу масою 1,05 т стиснувся на 0,025 % початкової довжини. Визначте модуль Юнга матеріалу, з якого виготовлено брусок.

16.30. На скільки відсотків від початкової довжини видовжився латунний дріт радіусом 1,5 мм, коли до нього підвісили вантаж 30 кг?

16.31. На скількох палях діаметром 12 см можна розмістити платформу масою 300 т, якщо допустима напруга на стиск становить 10 МПа?

16.32. У канаті, звитому із 40 дротин, під дією вантажу масою 250 кг виникає напруга 30 МПа. Визначте діаметр однієї дротини.

16.33. Для виготовлення попередньо напруженого залізобетону сталеві арматурні стрижні довжиною $l_0 = 6$ м і діаметром $d = 20$ мм видовжують на $\Delta l = 2$ мм. Яку силу для цього необхідно прикласти? Модуль Юнга для сталі вважайте рівним $E = 220$ ГПа.

16.34. Визначте початкову довжину латунного дроту з площею перерізу 0,5 мм^2, який під дією підвішеного до нього вантажу масою 5 кг видовжився на 2 мм.

16.35. Яким буде видовження сталевого дроту довжиною 5 м з площею перерізу 0,8 см^2 під дією вантажу вагою 1960 Н?

16.36. До мідного тросу довжиною 0,5 м і площею перерізу 2 см^2 підвісили контейнер масою 4 т. Який запас міцності має трос у цьому випадку? Визначте також абсолютне та відносне видовження троса.

3-й рівень складності

16.37. Дві пружини жорсткістю 800 Н/м та 500 Н/м з'єднали паралельно. Яку жорсткість матиме така система?

16.38. Пружину динамометра склали з двох пружин жорсткістю 160 Н/м і 240 Н/м, з'єднаних послідовно. Визначте жорсткість пружини такого динамометра.

16.39. Сталевий і мідний стрижні, які мають однакову площу перерізу 1,5 см^2 і довжини 1 м і 0,6 м відповідно, скріплені послідовно. Визначте видовження системи стрижнів під дією сили 400 Н.

16.40. Пружину стиснули до довжини 8 см, прикладаючи силу 12 Н, а потім розтягли до 14 см, діючи силою 18 Н. Якою була довжина недеформованої пружини?

16.41. Прикладаючи силу 56 Н, пружину видовжили до 16 см, а щоб видовжити цю пружину до 18 см, необхідно прикласти силу 70 Н. Яку довжину має недеформована пружина?

16.42. Під час океанологічних досліджень, щоб взяти пробу ґрунту, на дно океану на сталевому тросі опускають спеціальний прилад масою 10 кг. З якої глибини можна взяти пробу, якщо межа міцності троса становить 340 МПа? Густина води 1030 кг/м^3, густина сталі — $7{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3.

16.43. Дротину довжиною 2 м і діаметром 1 мм натягли горизонтально. Під дією вантажу масою 1 кг, підвішеного до середини дротини, вона розтяглась настільки, що точка підвісу опустилась на 4 см. Визначте модуль пружності дротини. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

16.44. Кулька масою 50 г, прикріплена до кінця гумового джгута, довжина якого у недеформованому стані 25 см, обертається у горизонтальній площині з частотою 3 об/с. Наскільки при цьому видовжується джгут, якщо його жорсткість дорівнює 620 Н/м.

16.45. Стрижень завдовжки 40 см, на кінці якого закріплено тягарець масою 100 г, обертається у горизонтальній площині з кутовою швидкістю 20 рад/с. Визначте видовження стрижня, якщо його жорсткість дорівнює 4 кН/м; вагою стрижня можна знехтувати.

16.46. З якою швидкістю може обертатися тонке свинцеве кільце навколо вертикальної осі, яка проходить через центр кільця? Межа міцності свинцю 19,6 МПа, густина свинцю $11{,}3 \cdot 10^3$ кг/м^3.

16.47. Кабінка центрифуги, яка прикріплена до стрижня, має масу 10 кг і обертається у горизонтальній площині з частотою 2 об/с навколо вертикальної осі, що проходить через кінець стрижня. Визначте напругу матеріалу стрижня. Довжина стрижня 1,2 м, площа поперечного перерізу — 2 мм^2. Масою стрижня можна знехтувати.

16.48. Із скількох сталевих дротин діаметром 2,5 мм складено трос, розрахований на підйом вантажу масою 1,5 т, якщо запас міцності становить 4.

16.49. Визначте межу міцності троса, сплетеного з 32 дротин радіусом 1,2 мм, якщо з його допомогою можна підняти вантаж масою 2,5 т при трикратному запасі міцності.

17. СИЛА ВСЕСВІТНЬОГО ТЯЖІННЯ

Приклад розв'язування задач

Задача. Діаметр планети Уран становить 51 000 км, прискорення вільного падіння на його поверхні дорівнює 8,9 м/с^2. Визначте середню густину цієї планети.

Дано:	*СІ*	*Розв'язання*:
$d = 51\ 000$ км $g = 8{,}9\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ ρ — ?	$d = 5{,}1 \cdot 10^7$ м	За означенням густини $\rho = \frac{M}{V}$, де M — маса Урана; V — його об'єм. За умовою нам відоме прискорення вільного падіння, яке визначається за формулою $g = G\frac{M}{R^2} = \frac{4GM}{d^2}$.

Отже, маса Урана дорівнює: $M = \frac{gd^2}{4G}$.

Вважаючи Уран кулею, знайдемо його об'єм за формулою

$$V = \frac{\pi d^3}{6}.$$

Підставимо отримані вирази у формулу для густини, отримаємо: $\rho = \frac{3g}{2\pi G d}$.

Перевіримо одиниці та визначимо числове значення шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{м} \cdot \text{кг}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\{\rho\} = \frac{3 \cdot 8{,}9}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}1 \cdot 10^7} \approx 1250;$$

$$\rho \approx 1250 \text{ кг/м}^3.$$

Відповідь: густина планети Уран становить $\rho \approx 1250$ кг/м^3.

1-й рівень складності

17.1. З якою силою притягується до станції масою 179 т транспортний космічний корабель масою 9 т у разі, якщо корабель перебуває на відстані 50 м від станції?

17.2. У порту на відстані 200 м один від одного стоять два танкери, маса одного з них становить 150 000 т. Визначте масу іншого, якщо сила гравітаційного притягування між ними становить 20 Н.

17.3. Визначте прискорення вільного падіння на Меркурії, маса якого становить $3{,}36 \cdot 10^{23}$ кг, а радіус — 2440 км.

17.4. Визначте масу Марса, якщо відомо, що його радіус становить $3{,}4 \cdot 10^6$ м, а прискорення вільного падіння на поверхні Марса має значення 3,7 м/с^2.

2-й рівень складності

17.5. Як змінилася сила гравітаційної взаємодії космічного корабля і Землі, якщо корабель здійснює політ: а) на висоті 400 км від поверхні Землі; б) на висоті, що дорівнює радіусу Землі?

17.6. На якій висоті сила гравітаційного притягання космонавта до Землі зменшиться у 9 разів?

17.7. Середня відстань між центрами Землі та Місяця становить приблизно 384 000 км. У якій точці відрізка Земля — Місяць сила гравітаційної взаємодії космічного корабля, який летить від Землі до Місяця, з обома космічними тілами буде однаковою? Врахуйте, що маса Місяця у 81 раз менша за масу Землі.

17.8. Середня відстань між центром Юпітера та центром його супутника Ганімеда приблизно у 16 разів перевищує радіус планети, а маса Юпітера більша за масу Ганімеда у 12 769 разів. Визначте точку, перебуваючи в якій, тіло буде притягуватися з однаковою силою до Юпітера і Ганімеда.

17.9. Визначте прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює трьом земним радіусам над поверхнею Землі.

17.10. На якій висоті над Землею прискорення вільного падіння вдвічі менше, ніж на її поверхні?

17.11. На скільки зменшиться прискорення вільного падіння на висоті, яка вдвічі більша за радіус Землі?

17.12. Яку швидкість необхідно розвинути ракеті, щоб стати штучним супутником Венери? Зауважте, що маса Венери дорівнює $4{,}92 \cdot 10^{24}$ кг, а її радіус — 6050 км.

17.13. У скільки разів зменшиться швидкість руху супутника Землі після його переходу з висоти 100 км на висоту 400 км? Радіус Землі вважайте рівним 6400 км.

17.14. На скільки змінилась висота орбіти космічного корабля, якщо швидкість його обертання навколо Землі зменшилась з 7,8 км/с до 7,6 км/с? Маса Землі становить $6 \cdot 10^{24}$ кг, а радіус — 6400 км.

3-й рівень складності

17.15. Визначте прискорення вільного падіння на Юпітері, якщо відомо, що середня густина планети дорівнює 1300 кг/м^3, а радіус становить 71 000 км. Вважайте, що Юпітер має форму кулі.

17.16. Відомо, що прискорення вільного падіння на поверхні Землі становить 9,8 м/с^2. Визначте прискорення вільного падіння на поверхні Сонця, якщо радіус Сонця становить 109 земних радіусів, а середня густина у чотири рази менша за густину Землі.

17.17. Визначте масу планети, навколо якої супутник обертається по коловій орбіті радіусом 3800 км з періодом 2 год.

17.18. Визначте період обертання штучного супутника Землі на висоті 200 км. Маса Землі $6{,}3 \cdot 10^{24}$ кг, а її радіус — 6400 км.

18. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА. НЕВАГОМІСТЬ

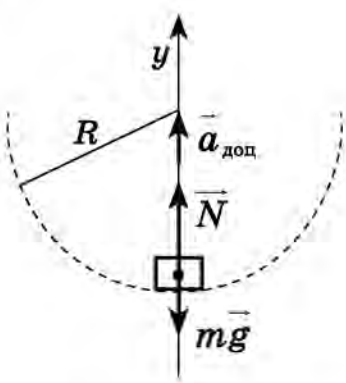
Приклад розв'язування задач

Задача. З якою швидкістю проходить літак ЯК-52 нижню точку «петлі Нестерова» радіусом 300 м, якщо льотчик масою 70 кг у цій точці витримує 4-кратне перевантаження?

Дано:
$R = 300$ м
$m = 70$ кг
$n = 4$
$g = 10$ м/с^2

v — ?

Розв'язання



За другим законом Ньютона $m\vec{a}_{доц} = \vec{N} + m\vec{g}$.

Оскільки всі вектори напрямлені вздовж однієї прямої, то для їхнього проектування достатньо однієї координатної осі OY. Тоді записане нами рівняння у проекціях матиме вигляд: $ma_{доц} = N - mg$.

Врахуємо, що сила реакції опори згідно з третім законом Ньютона за модулем дорівнює вазі $\left(\left|\vec{N}\right| = \left|\vec{P}\right|\right)$, а вага за умовою дорівнює: $P = nmg$. Крім того, відомо, що $a_{доц} = \dfrac{v^2}{R}$. Отже, після підстановки матимемо: $\dfrac{mv^2}{R} = (n-1)mg$, звідки $v = \sqrt{(n-1)gR}$.

Перевіримо одиниці та визначимо числове значення шуканої величини:

$$[v]=\sqrt{\frac{\text{м}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}}=\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\{v\}=\sqrt{3\cdot 10\cdot 300}=94{,}9;$$

$$v\approx 94{,}9\ \text{м/с}\approx 342\ \text{км/год}.$$

Відповідь: швидкість руху літака $v\approx 342$ км/год.

1-й рівень складності

? **18.1.** Чому сила тяжіння на екваторі Землі менша, ніж на полюсах?

? **18.2.** Динамометр було проградуйовано на екваторі. Чи буде вага, виміряна цим динамометром на полюсі, така сама, як на екваторі?

18.3. Яка сила тяжіння діятиме на літак масою 80 т під час його польоту на висоті, де прискорення вільного падіння на 4 см/с^2 менше, ніж на поверхні Землі? Прискорення вільного падіння на поверхні Землі вважати рівним 9,8 м/с^2.

18.4. Наскільки зменшується сила тяжіння, що діє на людину масою 70 кг, коли вона перебуває на оглядовому майданчику Останкінської вежі, де прискорення вільного падіння менше на 1 мм/с^2.

? **18.5.** Піднімаючись, ліфт рухається спершу прискорено, потім рівномірно, а перед зупинкою — сповільнено. Як при цьому змінюється сила натягу тросу, на якому закріплено ліфт?

? **18.6.** Порівняйте зміну ваги космонавта на старті та перед посадкою.

18.7. Визначте вагу вантажу масою 200 кг під час його підйому з прискоренням 1,5 м/с^2.

18.8. Канат витримує навантаження 2 кН. З яким найбільшим прискоренням можна піднімати з його допомогою вантаж масою 120 кг, щоб канат не розірвався?

18.9. Сталевий трос витримує вантаж, маса якого не перевищує 500 кг. Який максимальний вантаж можна піднімати з прискоренням 2,5 м/с^2, щоб трос не обірвався?

18.10. Визначте вагу кулі масою 12 кг, коли вона вертикально падає з прискоренням 4 м/с^2.

18.11. З яким прискоренням сповільнює свій рух ліфт, якщо людина масою 100 кг, яка піднімається в ньому, тисне на підлогу ліфта з силою 750 Н?

2-й рівень складності

? **18.12.** Камінь кинуто вертикально вгору. У які моменти камінь перебуває у стані невагомості?

18.13. Визначте вагу мідної кулі об'ємом 0,2 м^3, яка рівномірно котиться по горизонтальній поверхні.

18.14. Який об'єм мають стінки сталевого сейфа, якщо пустий сейф тисне на підлогу із силою 1170 Н?

18.15. Визначте, на скільки змінюється вага водія автомобіля, що проходить нижню точку увігнутого мосту з радіусом кривизни 80 м, якщо швидкість руху автомобіля у цій точці становить 36 км/год. Маса водія становить 80 кг.

18.16. З якою швидкістю проходить гойдалка нижню точку, якщо вага дитини масою 40 кг у цій точці становить 800 Н? Довжина підвісу гойдалки дорівнює 2,5 м.

18.17. З якою швидкістю проходить автомобіль верхню точку вигнутого мосту з радіусом кривизни 90 м, якщо пасажир автомобіля у цей момент невагомий?

18.18. Визначте масу автомобіля, який під час проходження на швидкості 72 км/год вершини вигнутого мосту з радіусом кривизни 100 м має вагу 18 кН.

18.19. Якою буде вага льотчика масою 75 кг, який виводить літак із піке на швидкості 540 км/год, якщо радіус кривизни траєкторії становить 500 м?

18.20. Пілот може витримувати 10-кратне перевантаження. «Мертву петлю» якого радіусу може виконати пілот на літаку, що рухається зі швидкістю 900 км/год?

3-й рівень складності

? **18.21.** Усі тіла на Землі мають вагу. А чи має вагу сама Земля?

? **18.22.** Яку вагу має Земля як планета у процесі обертання навколо Сонця?

? **18.23.** Чи завжди на борту космічного корабля, що обертається навколо Землі, спостерігається невагомість?

? **18.24.** Чи перебували у стані невагомості американські астронавти протягом польоту до Місяця?

? **18.25.** Чи перебуватиме у стані невагомості космонавт, який здійснює міжпланетний переліт, рухаючись з другою космічною швидкістю?

18.26. Динамометр з прикріпленим тягарцем спершу піднімають вертикально вгору, а потім опускають вниз з однаковим за модулем прискоренням, яке дорівнює 6 м/с^2. Визначте масу вантажу, якщо різниця показань динамометра становила 29,4 Н?

18.27. Тягарець масою 5 кг, підвішений до динамометра, піднімають вертикально вгору з прискоренням 7 м/с^2. Визначте, з яким прискоренням його потім опускають, якщо різниця показань динамометра становить 50 Н.

19. СИЛА ТЕРТЯ. СИЛА ОПОРУ СЕРЕДОВИЩА

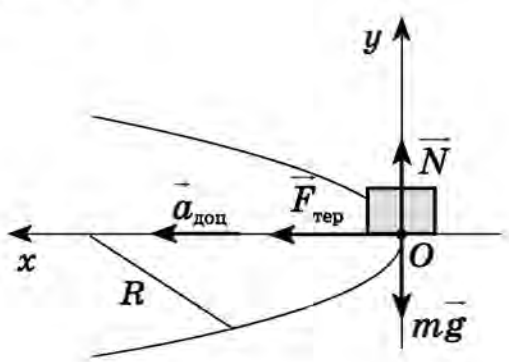
Приклад розв'язування задач

Задача. З якою найбільшою швидкістю автомобіль може рухатись на повороті радіусом 40 м, щоб його не занесло, якщо коефіцієнт тертя коліс об дорогу становить 0,25?

Дано:
$R = 40$ м
$\mu = 0{,}25$
$g = 10$ м/с^2

v_{max} — ?

Розв'язання



На автомобіль (див. рисунок на с. 79) діють три сили: сила тяжіння ($m\vec{g}$), сила реакції опори ($\vec{N}$) та сила тертя ($\vec{F}_{\text{тер}}$).

За другим законом Ньютона: $m\vec{a}_{\text{доц}} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тер}}$; в проекціях на осі OX та OY: $ma_{\text{доц}} = F_{\text{тер}}$; $0 = N - mg$, звідки $N = mg$. Взявши до уваги, що $F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg$ і $a_{\text{доц}} = \frac{v^2_{\max}}{R}$, отримаємо: $\frac{mv^2_{\max}}{R} = \mu mg$, звідки: $v_{\max} = \sqrt{\mu gR}$.

Перевіримо одиниці: $\left[v_{\max}\right] = \sqrt{\frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Виконаємо розрахунки: $\left\{v_{\max}\right\} = \sqrt{0{,}25 \cdot 10 \cdot 40} = 10$.

Таким чином, $v_{\max} = 10$ м/с $= 36$ км/год.

Відповідь: автомобіль може рухатися на повороті зі швидкістю $v_{\max} = 36$ км/год.

1-й рівень складності

19.1. Чи діє сила тертя на книжку, яка лежить на столі?

19.2. Чи діє сила тертя на потяг метро, коли він стоїть на станції?

19.3. Хлопчик намагається зрушити шафу з місця. Яка сила заважає йому це робити?

19.4. Максимальна сила тертя спокою візка становить 100 Н. Чи зрушить з місця візок дитина, штовхаючи його із силою 80 Н? Яка сила тертя діє на візок у цьому разі?

19.5. Щоб стрічка транспортера не проковзувала, ведучий барабан покривають зернистою пастою. Чи змінюється при цьому: а) сила тиску вантажу; б) сила тертя?

19.6. Навіщо на підошвах спортивного взуття бігунів роблять шипи?

2-й рівень складності

19.7. Чи завжди сила тертя заважає рухові? Відповідь обґрунтуйте.

19.8. Як напрямлене прискорення, яке надає тілу, що рухається: а) сила тертя ковзання; б) сила тертя спокою?

? **19.9.** У вагоні на столику лежать м'яч та зошит. Коли потяг рушив з місця, зошит залишився лежати на місці, а м'яч покотився. Чому?

? **19.10.** Що важче: зрушити вагон з місця чи підтримувати рух вагона, що вже рухається рівномірно прямолінійно? Чому?

? **19.11.** Коли колеса автомобіля проковзують під час буксування, то сила тяги двигуна значно зменшується. Чим це пояснити?

? **19.12.** Чому сила тертя не залежить від вибору системи відліку?

? **19.13.** До якого моменту зростає швидкість руху парашутиста під час затяжного стрибка?

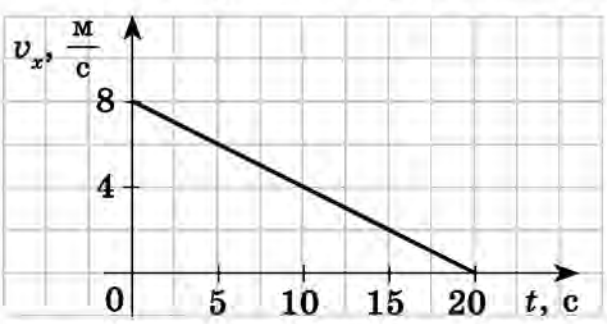
19.14. Як рухатиметься по горизонтальній поверхні візок масою 60 кг, коефіцієнт тертя якого 0,09, під дією сили, яка прикладена вздовж поверхні та дорівнює: а) 43 Н; б) 54 Н; в) 65 Н?

19.15. Вантажівка масою 5 т рухається рівномірно по прямолінійній ділянці дороги. Визначте силу тяги двигуна вантажівки, якщо відомо, що коефіцієнт тертя коліс об дорогу дорівнює 0,03.

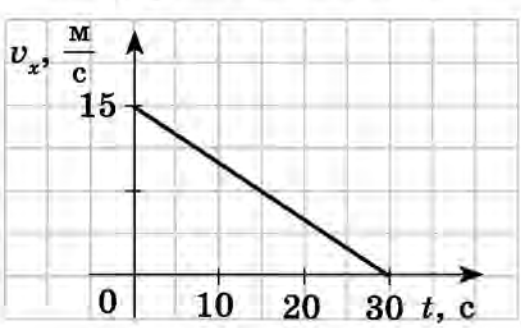
19.16. Визначте коефіцієнт тертя вагонетки масою 300 кг, яка рухається рівномірно прямолінійно під дією сили 45 Н, з якою її штовхає робітник.

19.17. На рисунку подано графік залежності швидкості руху автомобіля масою 5 т від часу. Визначте силу тертя коліс об дорогу під час гальмування.

19.18. На рисунку подано графік залежності швидкості руху потяга, який гальмує, від часу. Визначте масу поїзда, якщо сила тертя коліс об рейки дорівнює 200 кН.



До задачі 19.17



До задачі 19.18

19.19. Скільки часу тривало гальмування автомобіля, який їхав зі швидкістю 90 км/год по горизонтальній ділянці шляху, якщо відомо, що маса автомобіля 1,5 т, а коефіцієнт тертя становить 0,5.

19.20. Мотоцикліст починає гальмування на відстані 25 м від світлофора. Коефіцієнт тертя шин об асфальт дорівнює 0,8. З якою найбільшою швидкістю може рухатися мотоцикліст, щоб устигнути своєчасно зупинитися?

3-й рівень складності

? **19.21.** Шарикові підшипники здійснюють менше тертя, ніж роликові, однак на сучасних великих суцільнометалевих вагонах застосовують роликові підшипники. Чому?

? **19.22.** Чому деякі спортсмени під час змагань тримаються за суперником і вириваються вперед лише перед фінішем?

19.23. На горизонтальному диску, який рівномірно обертається з частотою 30 об/хв, на відстані 25 см від осі обертання лежить брусок. Яким має бути мінімальний коефіцієнт тертя між диском і бруском, щоб останній не зісковзував з диска під час обертання? Прискорення вільного падіння дорівнює 9,8 м/с^2.

19.24. З якою швидкістю може рухатися автомобіль на повороті з радіусом кривизни 90 м, якщо коефіцієнт тертя між колесами і асфальтом дорівнює 0,6?

19.25. З якою максимальною швидкістю мотоцикліст може пройти поворот радіусом 110 м, якщо коефіцієнт тертя коліс об дорогу становить 0,45? Під яким кутом до горизонту він має нахилитися, щоб утримати рівновагу?

19.26. Велосипедист рухається по колу радіусом 45 м зі швидкістю 27 км/год. На який кут від вертикалі він має відхилитися, щоб утримати рівновагу?

20. РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ

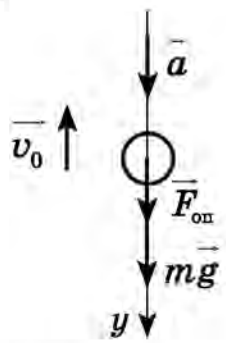
І. Рух по горизонталі та вертикалі

Приклад розв'язування задач

Задача. М'яч масою 300 г кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 25 м/с. У найвищій точці польоту м'яч був через 2 с. Визначте силу опору повітря, вважаючи її незмінною протягом польоту.

Дано:	*СІ*
$m = 300$ г	$m = 0{,}3$ кг
$v_0 = 25\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$	
$t = 2$ с	
$F_{\text{оп}}$ — ?	

Розв'язання



На тіло діють дві сили: сила тяжіння ($m\vec{g}$) та сила опору повітря ($\vec{F}_{\text{оп}}$).

За другим законом Ньютона $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{оп}}$. Координатну вісь спрямуємо вертикально вниз, тоді записане нами рівняння у проекціях на вісь OY матиме вигляд: $ma = mg + F_{\text{оп}}$, звідки $F_{\text{оп}} = m(g - a)$.

Щоб знайти прискорення, скористаємось формулою миттєвої швидкості: $v_y = v_{0y} + a_y t$. Враховуючи, що $v_{0y} = -v_0$, $a_y = a$ і в найвищій точці траєкторії $v_y = 0$, знайдемо прискорення м'яча: $a = \frac{v_0}{t}$.

Отже, отримаємо кінцеву формулу:

$$F_{\text{оп}} = m\left(\frac{v_0}{t} - g\right).$$

Перевіримо одиниці:

$$\left[F_{\text{оп}}\right] = \text{кг}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}\cdot\text{с}} - \frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}.$$

Визначимо числове значення сили опору:

$$\left\{F_{\text{оп}}\right\} = 0{,}3\left(\frac{25}{2} - 10\right) = 0{,}75, \text{ отже, } F_{\text{оп}} = 0{,}75\ \text{Н} = 750\ \text{мН}.$$

Відповідь: на м'яч діє сила опору $F_{\text{оп}} = 750$ мН.

1-й рівень складності

20.1. Електровоз на горизонтальній ділянці шляху розвиває силу тяги 148 кН; сила опору рухові — 86 кН. З яким прискоренням рухається поїзд, якщо його маса становить 2000 т?

20.2. Визначте силу тяги двигуна автомобіля масою 1,2 т, якщо він рухається з прискоренням 1,5 м/с^2, а сила опору його рухові дорівнює 500 Н.

20.3. Брусок масою 10 кг під дією сили 20 Н рухається по горизонтальній поверхні з прискоренням 1,5 м/с^2. Визначте силу тертя між бруском і поверхнею.

20.4. Куля масою 200 г падає вниз з прискоренням 9,2 м/с^2. Яка сила опору повітря діє на кулю?

20.5. З яким прискоренням падає тіло масою 4 кг, якщо середня сила опору повітря дорівнює 1,2 Н?

2-й рівень складності

20.6. Визначте прискорення реактивного лайнера під час зльоту, якщо його маса 167 т, сила тяги двигунів 225 кН, а коефіцієнт тертя коліс шасі об злітну смугу 0,02.

20.7. Вантаж масою 20 кг рухається по горизонтальній поверхні з прискоренням 0,6 м/с^2 під дією сили 50 Н. Визначте коефіцієнт тертя.

20.8. Під дією сили 2,5 кН швидкість руху платформи масою 4 т зросла від 54 км/год до 72 км/год. Визначте шлях і час розгону платформи. Врахуйте, що коефіцієнт тертя коліс дорівнює 0,05.

20.9. На горизонтальній ділянці електровоз розвиває силу тяги $3{,}45 \cdot 10^5$ Н. Визначте коефіцієнт тертя коліс об рейки під час руху товарного поїзда масою 1300 т, якщо на ділянці шляху 300 м швидкість його руху зросла від 36 до 43,2 км/год.

20.10. Тіло масою 500 г, кинуте вертикально вгору з початковою швидкістю 40 м/с, піднялось на висоту 50 м. Визначте силу опору повітря, вважаючи її під час руху тіла незмінною.

20.11. Яку швидкість матиме камінь масою 4 кг в кінці падіння з висоти 32 м, якщо протягом усього польоту діяла постійна сила опору повітря 4 Н?

20.12. Брусок масою 30 кг притискують до вертикальної стіни з силою 100 Н. Яку силу, напрямлену вертикально, слід прикласти, щоб: а) утримати брусок у спокої; б) рівномірно тягти його вертикально вгору? Коефіцієнт тертя становить 0,25.

3-й рівень складності

20.13. Сани масою 100 кг рухаються рівноприскорено по горизонтальній ділянці шляху під дією сили 200 Н, напрямленої вгору під кутом 30° до горизонту. З яким прискоренням рухаються сани, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,01?

20.14. По горизонтальній дорозі хлопчик тягне за мотузку, яка утворює з горизонтом кут 60°, візок з вантажем загальною масою 80 кг. Визначте коефіцієнт тертя, якщо сани рухаються з постійним прискоренням, яке дорівнює 0,1 м/с^2. Відомо також, що хлопчик прикладає зусилля 250 Н.

20.15. Робітник штовхає по горизонтальній дорозі вагонетку з силою 190 Н, яка напрямлена вниз під кутом 45° до горизонту. Визначте масу вагонетки, якщо відомо, що прискорення, з яким рухається вагонетка, дорівнює 0,8 м/с^2, а коефіцієнт тертя — 0,02.

20.16. Натирач підлоги масою 12 кг штовхають перед собою за допомогою ручки, яка утворює з горизонтом кут 30°. Найменша сила, яку необхідно спрямувати вздовж ручки, щоб зрушити натирач з місця, дорівнює 70 Н. Визначте коефіцієнт тертя між підлогою і натирачем.

II. Рух по похилій площині

Приклад розв'язування задач

Задача. Гальма автомобіля можуть утримати його на схилі з нахилом 0,1. На якій відстані від початку гальмування зупиниться цей автомобіль на горизонтальній дорозі, якщо до початку гальмування він рухався зі швидкістю 46,8 км/год?

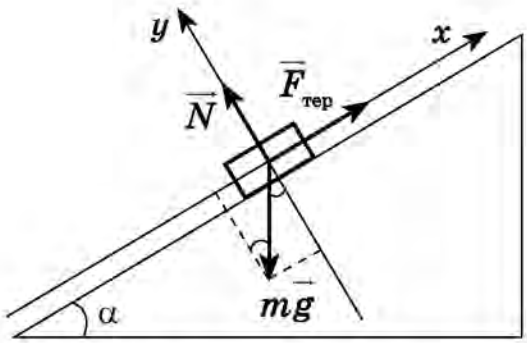
Дано:	*СІ*
$\sin\alpha = 0{,}1$	
$v_0 = 46{,}8$ км/год	$v_0 = 13$ м/с
$g = 10$ м/с^2	
l — ?	

Розв'язання

В умові описано дві ситуації.

Розглянемо першу, коли автомобіль гальмами утримується на схилі, як показано на рисунку.

Під нахилом розуміють значення синуса кута нахилу площини до горизонту.



Автомобіль перебуває у спокої, тому рівнодійна сил, прикладених до нього, дорівнює нулю, тобто $\vec{F}_{тер} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$.

Координатні осі направимо так: OX — уздовж похилої площини (схилу), а OY — перпендикулярно до неї, тоді записане нами рівняння після проектування векторів матиме вигляд:

$$OX:\ F_{тер} - mg\sin\alpha = 0;$$

$$OY:\ N - mg\cos\alpha = 0,\ \text{звідки}\ N = mg\cos\alpha.$$

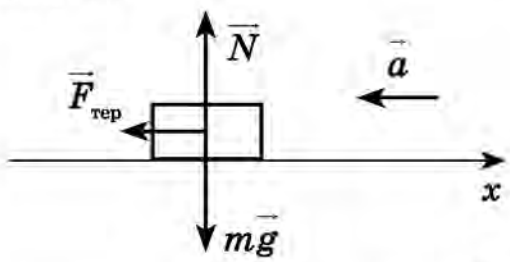
Враховуючи, що $F_{тер} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$, отримаємо:

$$\mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha = 0.$$

Звідки $\mu = \operatorname{tg}\alpha$, отже,

$$F_{тер} = \operatorname{tg}\alpha\, mg\cos\alpha = mg\sin\alpha.$$

Тепер розглянемо другу ситуацію, коли автомобіль гальмує на горизонтальній дорозі.



Згідно з другим законом Ньютона $m\vec{a} = \vec{N} + \vec{F}_{тер} + m\vec{g}$, або в проекціях на OX: $-ma = -F_{тер}$.

Враховуючи отриманий вище результат $\left(F_{тер} = mg\sin\alpha\right)$, матимемо: $ma = mg\sin\alpha$, або $a = g\sin\alpha$.

Знаючи прискорення, визначимо шлях, пройдений автомобілем до зупинки, за формулою $l=\frac{v_0^2}{2a}$, у яку підставимо отриманий для прискорення вираз $l=\frac{v_0^2}{2g\sin\alpha}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення гальмівного шляху:

$$[l]=\frac{\text{м}^2\cdot\text{с}^2}{\text{с}^2\cdot\text{м}}=\text{м};\ \{l\}=\frac{169}{2\cdot10\cdot0{,}1}=84{,}5;\ l=84{,}5\ \text{м}.$$

Відповідь: $l=84{,}5$ м.

2-й рівень складності

20.17. Яку силу необхідно прикласти, щоб рівномірно рухати вгору вагонетку масою 600 кг по естакаді з кутом нахилу 20°. Силою тертя можна знехтувати.

20.18. Прикладаючи силу 40 Н, переміщують ящик масою 8 кг вгору по похилій площині з кутом нахилу 15°. З яким прискоренням рухається ящик? Силою тертя можна знехтувати.

20.19. Тіло масою 10 кг зісковзує з похилої площини, кут нахилу якої дорівнює 40°. Визначте силу тертя, що діє на тіло, якщо воно рухається з прискоренням 2 м/с^2.

20.20. Тіло масою 3 кг зісковзує з похилої площини, кут нахилу якої дорівнює 30°. З яким прискоренням зісковзує тіло, якщо сила тертя дорівнює 10 Н?

20.21. На похилій площині помістили кубик, коефіцієнт тертя якого 0,5. Визначте прискорення, з яким кубик буде зісковзувати, якщо кут нахилу площини становитиме 30°. При якому коефіцієнті тертя він перебуватиме у стані спокою?

20.22. Брусок зісковзує з похилої площини, кут нахилу якої дорівнює 45°, з прискоренням 3,65 м/с^2. Визначте коефіцієнт тертя бруска об площину.

20.23. На похилій площині довжиною 6 м і висотою 3 м міститься вантаж масою 30 кг. Яку силу необхідно прикласти, щоб перемістити цей вантаж вгору по похилій площині з прискоренням 1,4 м/с^2, знаючи, що коефіцієнт тертя дорівнює 0,12?

20.24. Під дією сили 430 Н тіло масою 50 кг рухається з прискоренням 1 м/с^2 вгору по похилій площині, довжина якої 5 м, а висота 3 м. Визначте коефіцієнт тертя.

3-й рівень складності

20.25. Автомобіль масою 2 т піднімається на гору, нахил якої становить 0,2*. На ділянці шляху 32 м швидкість руху автомобіля зросла від 21,6 км/год до 36 км/год. Вважаючи рух автомобіля рівноприскореним, визначте силу тяги двигуна, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,02.

20.26. Навантажений самоскид масою 60 т піднімається по схилу довжиною 1 км з нахилом 0,02*. Швидкість руху самоскида на початку схилу була 72 км/год, а в кінці зменшилась до 57,6 км/год. Визначте силу тяги двигуна, якщо сила тертя дорівнює 58,8 Н.

20.27. З вершини похилої площини, висота якої 10 м, а кут нахилу до горизонту дорівнює 30°, починає зісковзувати брусок. Скільки часу він спускатиметься і якою буде швидкість його руху в кінці спуску, якщо коефіцієнт тертя бруска об площину дорівнює 0,1.

20.28. Ящик, зісковзуючи по похилій площині з кутом нахилу 30°, набуває в кінці площини швидкості 8 м/с при коефіцієнті тертя 0,2. Визначте висоту похилої площини.

20.29. Вагон спускається зі сортувальної гірки без початкової швидкості. Висота сортувальної гірки дорівнює 40 м, а довжина спуску — 400 м. Коефіцієнт тертя коліс вагона об рейки становить 0,05. Визначте швидкість, якої набуває вагон в кінці сортувальної гірки.

20.30. Тіло масою 200 кг рівномірно тягнуть по похилій площині, яка утворює кут 30° з горизонтом, прикладаючи силу 1,5 кН вздовж площини. З яким прискоренням тіло буде зісковзувати з похилої площини, якщо його відпустити?

---

* Нахил дорівнює відношенню висоти h похилої площини до її довжини l, тобто синусу кута нахилу площини до горизонту.

20.31. Під час рівномірного підйому вантажу по похилій площині, яка утворює з горизонтом кут 30°, треба прикласти силу 600 Н. Якщо вантаж відпустити, то він зісковзуватиме з прискоренням 3,8 м/с^2. Визначте масу цього вантажу.

20.32. Щоб утримувати візок на похилій площині, кут нахилу якої дорівнює 30°, достатньо прикласти силу 40 Н, а щоб затягти цей візок вгору, рухаючи його по цій площині рівномірно, необхідно прикласти зусилля 80 Н. Визначте коефіцієнт тертя.

20.33. Санчата спускаються з гори з кутом нахилу 30° без початкової швидкості за 4 с. Яку відстань і за який час пройдуть санчата далі по горизонтальній ділянці шляху до повної зупинки, якщо коефіцієнт тертя на всьому шляху становить 0,1?

III. Рух по колу

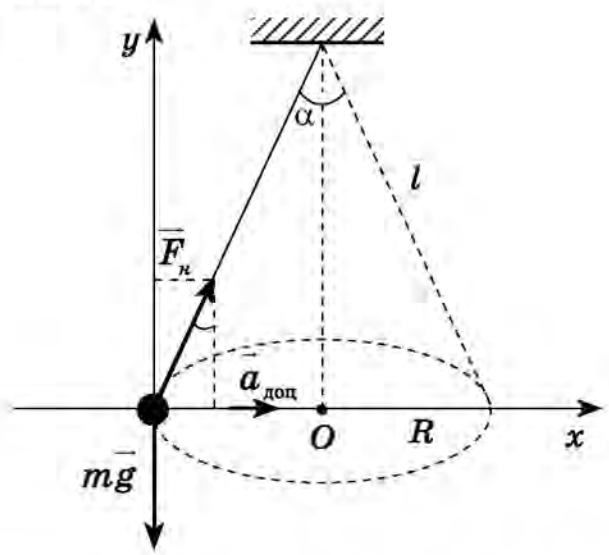
Приклад розв'язування задач

Задача. Конічний маятник, довжина підвісу якого 1,15 м, обертається з періодом 2 с так, що підвіс утворює з вертикаллю кут 30°. Визначте за цими даними прискорення вільного падіння.

Дано:
$l = 1{,}15$ м
$T = 2$ с
$\alpha = 30°$

g — ?

Розв'язання



На тіло діють дві сили: сила тяжіння ($m\vec{g}$) та сила натягу підвісу ($\vec{F}_н$), які й зумовлюють рух тіла з доцентровим прискоренням:

$a_{\text{доц}} = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R^2}{RT^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ (у перетвореннях ми врахували, що лінійна швидкість визначається за формулою $v = \frac{2\pi R}{T}$).

За другим законом Ньютона: $\vec{a}_{\text{доц}} = \vec{F}_{\text{н}} + m\vec{g}$.

Після проектування векторів на координатні осі OX та OY, які ми направимо звичайним чином, отримаємо:

$$OX:\ ma_{\text{доц}} = F_{\text{н}} \sin\alpha;$$

$$OY:\ 0 = F_{\text{н}} \cos\alpha - mg.$$

Тобто маємо систему рівнянь: $\begin{cases} \frac{4\pi^2 Rm}{T} = F_{\text{н}} \sin\alpha, \\ mg = F_{\text{н}} \cos\alpha. \end{cases}$

Поділимо перше рівняння на друге, матимемо:

$$\frac{4\pi^2 R}{gT^2} = \operatorname{tg}\alpha, \text{ звідки } g = \frac{4\pi^2 R}{T^2 \operatorname{tg}\alpha}.$$

З рисунка видно, що $R = l\sin\alpha$, тоді після підстановки отримаємо кінцеву формулу:

$$g = \frac{4\pi^2 l \cos\alpha}{T^2}.$$

Перевіримо одиниці:

$$[g] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Визначимо числове значення прискорення вільного падіння:

$$\{g\} = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1{,}15 \cdot \sqrt{3}}{2^2 \cdot 2} \approx 9{,}81.$$

Таким чином, $g \approx 9{,}81$ м/с^2.

Відповідь: $g \approx 9{,}81$ м/с^2.

2-й рівень складності

20.34. З якою напрямленою горизонтально силою тисне вагон масою 40 т на рейки, коли рухається по закругленню радіусом 800 м зі швидкістю 36 км/год?

20.35. З якою силою тисне вагон трамвая масою 19 т на трамвайну колію, якщо рейки розміщені: а) горизонтально; б) під кутом 4° до горизонту? Прискорення вільного падіння дорівнює 9,8 м/с^2.

20.36. Визначте радіус закруглення трамвайної колії шириною 1 м, якщо зовнішня рейка розміщена на 2,5 см вище за внутрішню. Трамвай проходить закруглення на швидкості 18 км/год.

20.37. Потяг рухається по закругленню радіусом 800 м зі швидкістю 54 км/год. На скільки сантиметрів зовнішня рейка має бути вища за внутрішню, якщо ширина залізничної колії 1,5 м?

20.38. Автогонщик рухається на повороті зі швидкістю 126 км/год. Під яким кутом до горизонту необхідно нахилити полотно дороги радіусом 122,5 м, щоб цей поворот був безпечним навіть під час ожеледиці?

20.39. Шосе має віраж з нахилом 10° і радіусом кривизни 125 м. На яку максимальну швидкість розраховано віраж?

20.40. Велотрек, розрахований на максимальну швидкість руху 20 м/с, має закруглення. У цьому місці трек має нахил до горизонту 45°. Визначте радіус кривизни закруглення.

20.41. З якою швидкістю має проходити мотоцикліст середину вигнутого мосту з радіусом кривизни 50 м, щоб його сила тиску у цей момент була у 5 разів меншою, ніж під час руху по горизонтальній ділянці шляху?

20.42. Увігнутий міст, радіус кривизни якого 80 м, витримує максимальне навантаження 40 т. З якою швидкістю може рухатися по ньому автомобіль масою 30 т, щоб міст не зруйнувався?

20.43. Відро з водою обертають у вертикальній площині на мотузці завдовжки 55 см. З якою найменшою частотою можна обертати відро, щоб при проходженні верхньої точки вода з нього не виливалась?

20.44. На мотузці завдовжки 40 см у вертикальній площині рівномірно обертають кулю масою 2,5 кг. З якою кутовою швидкістю можна обертати кулю, щоб мотузка не обірвалася, якщо мотузка витримує натяг 50 Н?

20.45. Під час тренувань на горизонтальній центрифузі радіусом 5 м космонавт набув доцентрового прискорення, що дорівнює $8g$. З якою частотою обертається центрифуга?

3-й рівень складності

20.46. Кулька масою 200 г обертається у вертикальній площині на підвісі, довжина якого 1 м. Вісь обертання розміщена на висоті 3 м над підлогою. У момент проходження найнижчої точки кулька відірвалась і впала на відстані 5 м (по горизонталі) від місця відриву. Визначте силу натягу підвісу в момент розриву. Опором повітря можна знехтувати.

20.47. Гиря, прив'язана до мотузки завдовжки 1,5 м, обертається у вертикальній площині з частотою 10 об/хв. У нижній точці траєкторії на висоті 3,5 м від підлоги гиря відривається. Визначте дальність її польоту.

20.48. Тягарець масою 200 г, прив'язаний до підвісу завдовжки 40 см, обертають у горизонтальній площині так, що підвіс описує конічну поверхню, відхиляючись на 30°. Визначте кутову швидкість обертання тягарця та силу натягу підвіса.

20.49. Кулька масою 300 г, яка підвішена на нитці завдовжки 40 см, обертається в горизонтальній площині. Визначте силу натягу нитки та швидкість обертання кульки, якщо нитка утворює з вертикаллю кут 60°. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

20.50. Тягарець масою 150 г, прив'язаний до мотузки завдовжки 50 см, відхилили від положення рівноваги та відпустили. Визначте силу натягу мотузки в момент, коли кут між мотузкою і вертикаллю становить 45°. Тягарець у цей момент має швидкість 5 м/с.

20.51. Піщинка зісковзує з диска, коли його площина утворює з горизонтом кут 30°. З якою частотою слід обертати диск у горизонтальній площині, щоб піщинка, яку розмістили на відстані 5 см від центра диска, не злетіла з нього під час обертання?

20.52. Дитячий атракціон «Колесо сміху» являє собою конічну пластикову поверхню з кутом 160° при вершині, яка обертається навколо осі конуса. Чи втримається дитина на цій поверхні, перебуваючи на відстані 1 м від вершини, коли колесо нерухоме та коли воно обертається з частотою 30 об/хв? Коефіцієнт тертя становить 0,2.

IV. Рух системи зв'язаних тіл

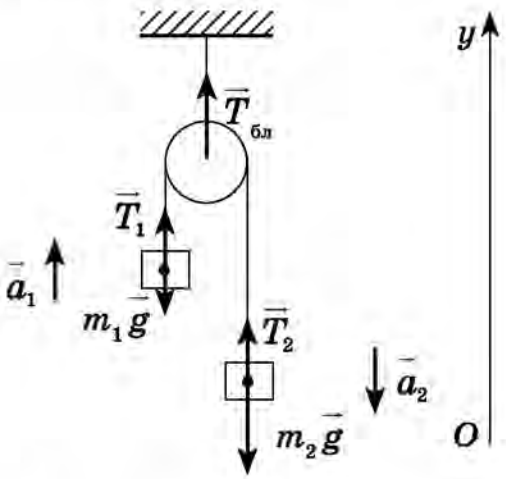
Приклад розв'язування задач

Задача. На невагомій нерозтяжній нитці, перекинутій через невагомий блок, підвішені два тягарці масами m_1 і m_2. Знайдіть прискорення тягарців та сили натягу всіх ниток.

Дано:
m_1
m_2

a — ?
T_1 — ?
T_2 — ?
$T_{бл}$ — ?

Розв'язання



Припустимо, що $m_2 > m_1$, тоді зрозуміло, що прискорення тягарця m_2 напрямлене вниз, а тягарця m_1 — вгору.

Оскільки тіла рухаються з прискоренням, то за другим законом Ньютона: $\begin{cases} m_1\vec{a}_1 = \vec{T}_1 + m_1\vec{g}, \\ m_2\vec{a}_2 = \vec{T}_2 + m_2\vec{g}. \end{cases}$

Тягарці зв'язані нерозтяжною ниткою, тому їхні прискорення за модулем рівні, тобто $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$. Блок вільно обертається, натяг нитки по обидві сторони блока однаковий, тоді $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$.

Спроектуємо вектори на вертикальну вісь OY, напрямлену вгору, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} m_1 a = T - m_1 g, \\ -m_2 a = T - m_2 g. \end{cases}$$

Від першого рівняння віднімемо друге. Матимемо:

$$(m_1 + m_2)a = (m_2 - m_1)g, \text{ звідки } a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g.$$

Ми з'ясували, що сили натягу ниток, до яких підвішено тягарці, однакові. Виразимо силу натягу цих ниток, наприклад,

з першого рівняння: $T = m_1(g + a)$ і, підставляючи вираз для прискорення, отримаємо: $T = m_1\left(g + \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}g\right)$; після спрощення:

$$T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}.$$

Сила натягу нитки, на якій підвішено блок:

$$T_{бл} = 2T = \frac{4m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}.$$

Відповідь: $a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}g$; $T_1 = T_2 = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$; $T_{бл} = \frac{4m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$.

1-й рівень складності

20.53. На одному кінці невагомої нерозтяжної мотузки, перекинутої через нерухомий блок, висить вантаж масою 7 кг. З якою силою треба тягти за вільний кінець мотузки, щоб вантаж піднімався з прискоренням 1,2 м/с²? Прискорення вільного падіння g = 9,8 м/с².

2-й рівень складності

20.54. До кінців невагомого нерозтяжного підвісу, перекинутого через нерухомий блок, прикріплено вантажі масою 2 кг і 2,1 кг. Визначте, з яким прискоренням рухатимуться вантажі, а також силу натягу мотузки. Тертям у блоці можна знехтувати.

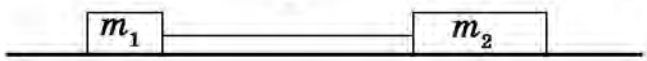
20.55. На кінцях нитки, яка перекинута через нерухомий блок, підвішено гирі масою 11 г і 13 г. Коли гирі відпустили, система почала рухатись з прискоренням 81,8 см/с². Визначте за цими даними прискорення вільного падіння.

20.56. До кінців нитки, перекинутої через нерухомий блок, підвішено тягарці масою 1 кг і 6 кг. Визначте вагу кожного тягарця під час руху.

20.57. До кінців мотузки, перекинутої через нерухомий блок, підвішено тягарці масою 600 г та 400 г. Визначте швидкість їхнього руху через 2 с після початку руху. З якою силою мотузка тисне на блок? Тертям у блоці можна знехтувати.

20.58. На кінцях тонкої нитки, перекинутої через нерухомий блок, підвісили на одній висоті два тягарці різної маси. Через 2 с після початку руху відстань між ними становила 48 см. Визначте масу важчого тягарця (m_2), якщо маса легшого дорівнює 100 г. Тертям у блоці можна знехтувати.

20.59. Два тіла масою $m_1 = 0{,}2$ кг та $m_2 = 0{,}3$ кг, які зв'язані між собою невагомою ниткою, лежать на гладкій горизонтальній поверхні. З яким прискоренням рухатимуться тіла, якщо до тягарця m_1 прикласти силу 2 Н? З якою силою натягується при цьому нитка, що їх зв'язує?



20.60. Як зміниться відповідь (див. умову попередньої задачі), якщо ту саму силу прикласти до іншого тіла?

20.61. Два бруски масою $m_1 = 0{,}2$ кг та $m_2 = 0{,}4$ кг зв'язані невагомою ниткою і лежать на горизонтальній поверхні (див. рисунок до задачі 20.59). З якою силою, прикладеною паралельно поверхні, можна тягти перше тіло, щоб нитка, яка витримує зусилля 8 Н, не розірвалась? Чи зміниться відповідь, якщо прикласти силу до іншого тіла? Тертям можна знехтувати.

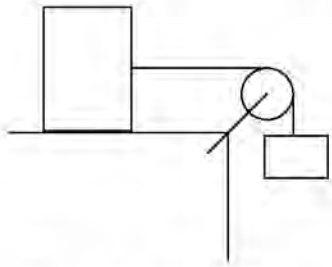
20.62. Коли два тіла (див. рисунок до задачі 20.59) тягнуть горизонтально вправо, то сила натягу нитки, що зв'язує тіла, дорівнює 24 Н, а коли з тією самою силою тягнуть вліво, то сила натягу дорівнює 12 Н. Яку силу прикладали до тіла?

20.63. На горизонтальній поверхні лежать два бруски, зв'язані між собою ниткою (див. рисунок до задачі 20.59), масами $m_1 = 200$ г і $m_2 = 300$ г. До правого бруска прикладають силу 1 Н, а до лівого — 0,6 Н. Визначте силу натягу нитки та прискорення, з яким рухаються бруски, якщо тертям можна знехтувати.

20.64. Два тіла, маси яких $m_1 = 1$ кг та $m_2 = 0{,}5$ кг, зв'язані між собою ниткою, тягнуть по горизонтальній поверхні, прикладаючи силу 9 Н (див. рисунок). Визначте прискорення руху тіл і силу натягу нитки під час руху, якщо коефіцієнт тертя тіл 0,5.

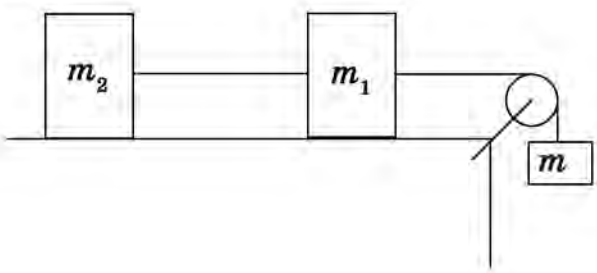
20.65. Брусок масою 500 г рухається під дією тягарця масою 200 г з прискоренням 0,2 м/с² (див. рисунок). Визначте коефіцієнт тертя між тягарцем і поверхнею столу.

До задачі 20.64



До задачі 20.65

20.66. На гладкому столі лежать зв'язані між собою тіла, маси яких $m_1 = 200$ г та $m_2 = 300$ г (див. рисунок). До тіла m_1 на нитці, перекинутій через нерухомий блок, закріплений на краю столу, підвішено тягарець масою $m = 100$ г. Визначте прискорення, з яким рухаються тіла, а також силу натягу нитки. Тертям можна знехтувати.



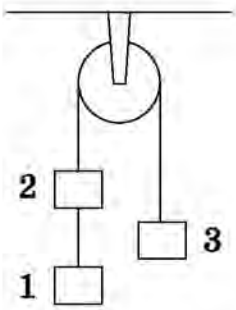
20.67. Розв'яжіть попередню задачу за умови, що коефіцієнт тертя для обох тіл однаковий і дорівнює 0,14.

3-й рівень складності

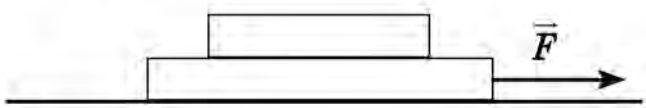
20.68. Через нерухомий блок перекинуто нитку, до кінців якої підвішено тягарці масою по 200 г кожний. На один з них кладуть маленький кубик масою 20 г. Визначте прискорення, з яким рухатимуться тягарці, силу натягу нитки та силу, з якою нитка тисне на блок. Тертям у блоці можна знехтувати.

20.69. На нерухомому блоці врівноважені два тягарці масою по 100 г кожний. Якої маси тягарець слід покласти на один з вантажів, щоб система почала рухатись із прискоренням 0,2 м/с²?

20.70. Через нерухомий блок перекинуто невагому нерозтяжну нитку, до якої прикріплено, як показано на рисунку, три однакові тягарці масою $m = 300$ г кожний. Визначте прискорення, з яким рухатимуться тягарці, і сили натягу нитки між ними.



20.71. На горизонтальній поверхні лежить дошка масою 6 кг, а на ній брусок масою 2 кг, як показано на рисунку. Коли дошку стали тягти з горизонтально напрямленою силою, яка дорівнює 60 Н, вся система почала рухатися. Визначте прискорення руху бруска відносно дошки, якщо коефіцієнт тертя між дошкою і поверхнею становить 0,2, а між бруском і дошкою становить 0,35.



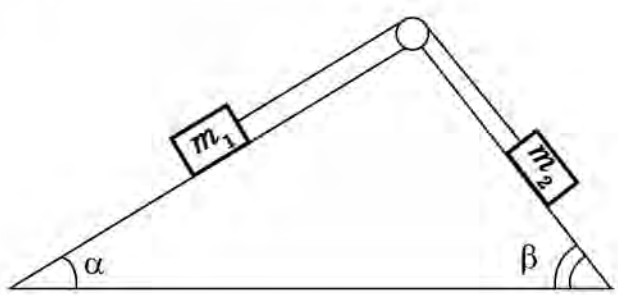
20.72. Вантаж масою 20 кг, який розташований на похилій площині, прив'язано до одного кінця шнура, перекинутого через блок, укріплений на вершині похилої площини. До іншого кінця того самого шнура підвішено тіло масою 4 кг. З яким прискоренням рухатимуться тіла, якщо кут нахилу площини дорівнює 30°, а коефіцієнт тертя становить 0,2?

20.73. Вантаж масою m за допомогою нитки, перекинутої через блок, тягне по похилій площині вантаж такої ж маси. Визначте коефіцієнт тертя, якщо вантажі рухаються з прискоренням 2,2 м/с^2, а похила площина утворює з горизонтом кут 30°.

20.74. Брусок масою 3 кг рухається по похилій площині під дією вантажу масою 2 кг, зв'язаного з бруском невагомою нерозтяжною ниткою, перекинутою через нерухомий блок, закріплений на вершині похилої площини. Яка сила діє на вісь блока, якщо похила площина утворює з горизонтом 30°? Тертям можна знехтувати.

20.75. На вершині двох похилих площин з кутами нахилу $\alpha = 30°$ укріплено блок, через який перекинуто невагому нерозтяжну нитку. До кінців нитки прикріплено два тягарці, маси яких $m_1 = 2$ кг і $m_2 = 1$ кг. Визначте прискорення, з яким рухаються тіла, якщо тертям можна знехтувати.

20.76. На вершині двох похилих площин з кутами нахилу $\alpha = 30°$ і $\beta = 60°$ укріплено блок, через який перекинуто невагому нерозтяжну нитку. До кінців нитки прикріплено два вантажі, маси яких $m_1 = 3$ кг і $m_2 = 4$ кг (див. рисунок). Визначте прискорення, з яким рухаються тіла, якщо коефіцієнти тертя обох однакові: $\mu = 0{,}15$.



20.77. Розв'яжіть попередню задачу за умови, що $m_1 = 4$ кг, а $m_2 = 3$ кг.

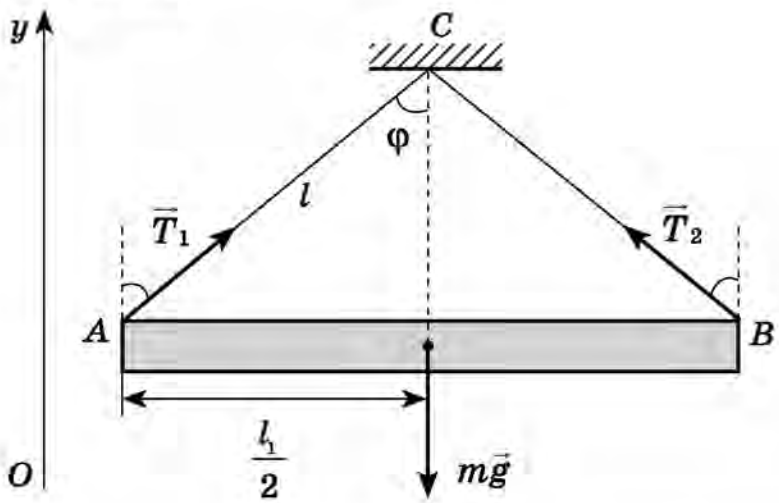
21. СТАТИКА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Однорідний стрижень масою m і довжиною l_1 підвісили в точці C на двох мотузках AC і BC однакової довжини l (див. рисунок). Визначте натяг мотузок.

Дано:
m
l_1
l
T — ?

Розв'язання:



На стрижень діють сила тяжіння ($m\vec{g}$) і дві сили натягу мотузок ($\vec{T}_1$ і $\vec{T}_2$), однакові за модулем ($|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$), оскільки стрижень AB однорідний і його сила тяжіння прикладена до нього посередині.

Стрижень перебуває у рівновазі, отже, $m\vec{g} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0$.

Спроектуємо вектори на координатну вісь OY, яку направимо вертикально вгору. Записане нами рівняння у проекціях матиме вигляд: $2T\cos\varphi - mg = 0$, звідки $T = \dfrac{mg}{2\cos\varphi}$.

За рисунком визначимо $\cos\varphi = \dfrac{\sqrt{l^2 - \left(\frac{l_1}{2}\right)^2}}{l} = \dfrac{\sqrt{4l^2 - l_1^2}}{2l}$ і після підстановки у вираз для визначення сили натягу T отримаємо:

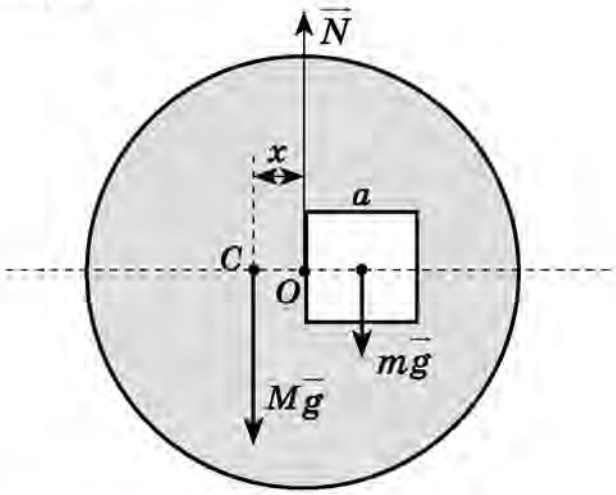
$$T = \frac{mgl}{\sqrt{4l^2 - l_1^2}}.$$

Відповідь: сила натягу мотузок $T = \dfrac{mgl}{\sqrt{4l^2 - l_1^2}}$.

Задача 2. Визначити положення центра тяжіння однорідної круглої пластини радіусом R, в якій вирізали квадратний отвір зі стороною $l=\frac{R}{3}$ так, як показано на рисунку.

Дано:
R
$l=\frac{R}{3}$
x — ?

Розв'язання



Вирізаний квадрат подумки помістимо на його колишнє місце, і відновлену пластину закріпимо в точці О на горизонтальній осі.

Пластина врівноважена, тому рівнодійна сил, прикладених до неї, повинна дорівнювати нулю:

$$M\vec{g}+m_{\text{кв. ч}}\vec{g}+\vec{N}=0.$$

Згідно з правилом моментів сума моментів усіх сил відносно осі O теж повинна дорівнювати нулю:

$$-Mgx+m_{\text{кв. ч}}g\frac{l}{2}=0.$$

Звідси $$x=\frac{m_{\text{кв. ч}}gl}{2Mg}=\frac{m_{\text{кв. ч}}l}{2M}. \qquad (1)$$

Нехай h — товщина пластини, ρ —густина речовини, з якої вона виготовлена. Оскільки масу можна знайти за формулою $m=\rho V$, а $V=Sh$, то $m=\rho Sh$. Тоді маса всієї частини дорівнює $m_{\text{д}}=\rho\pi R^2h$, амаса квадратної частини:

$$m_{\text{кв. ч}}=\rho l^2h=\frac{\rho R^2h}{9}.$$

Масу решти пластини знайдемо як різницю мас цілої пластини та квадратної частини:

$$M=\rho\pi R^2h-\rho l^2h=\rho h(\pi R^2-l^2).$$

Врахуємо, що згідно з умовою $l=\frac{R}{3}$. Тоді:

$$M=\rho h(\pi R^2-\frac{R^2}{9})=\frac{\rho R^2h(9\pi-1)}{9}.$$

Підставивши у формулу (1) вирази для m та M, отримаємо:

$$x = \frac{\rho R^2 hR \cdot 9}{9 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \rho R^2 h(9\pi - 1)} = \frac{R}{6(9\pi - 1)}.$$

Відповідь: $x = \dfrac{R}{6(9\pi - 1)}$.

1-й рівень складності

21.1. Якими можуть бути найбільше та найменше значення рівнодійної сил 60 Н і 40 Н?

21.2. Чи може рівнодійна сил 12 Н і 18 Н набувати значення: а) 5 Н; б) 15 Н; в) 32 Н? Від чого це залежить?

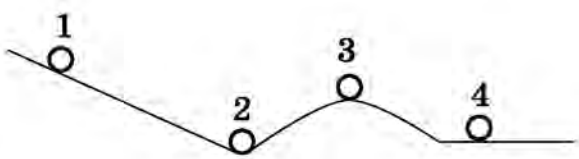
21.3. Як слід прикласти до тіла три сили: $F_1 = 4$ Н, $F_2 = 6$ Н і $F_3 = 10$ Н, — щоб тіло перебувало в стані рівноваги?

? **21.4.** Хлопчик, рухаючись рівномірно, тягне за мотузку санчата. Яка сила врівноважує силу тертя санчат?

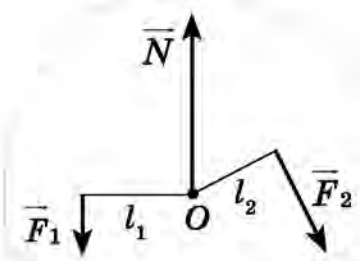
? **21.5.** Назвіть види рівноваги кульки для випадків, зображених на рисунку.

? **21.6.** У якій рівновазі перебуває канатоходець?

21.7. Знайдіть моменти сил, зображених на рисунку, якщо $|\vec{F}_1| = 20$ Н, $|\vec{F}_2| = 50$ Н, а $l_1 = 0{,}55$ м, $l_2 = 0{,}22$ м. Чи буде це тіло у рівновазі?

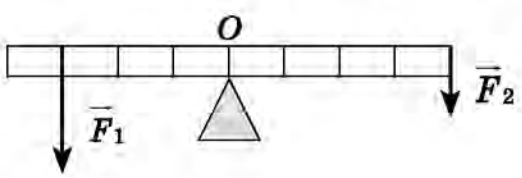


До задачі 21.5



До задачі 21.7

21.8. Порівняйте моменти сил, зображених на рисунку, якщо $|\vec{F}_1| = 1{,}5|\vec{F}_2|$. Чи буде це тіло у рівновазі?



21.9. До важеля підвішено вантажі масами 15 кг і 25 кг. Довжина плеча, до якого підвішено більший вантаж,— 32 см. Чи буде важіль у рівновазі, якщо: а) довжина другого плеча дорівнює 53 см; б) довжина важеля становить 86 см?

21.10. Плечі важеля, який перебуває у стані рівноваги, мають довжини 0,4 м і 30 см. До коротшого плеча прикладено у вертикальному напрямку силу 120 Н. Яку силу прикладено у вертикальному напрямку до довшого плеча? Масою важеля можна знехтувати.

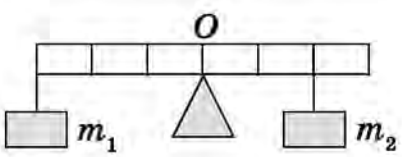
21.11. До правого плеча важеля довжиною 26 см прикладено силу 750 Н. Яку силу прикладено до лівого плеча, довжина якого 39 см, якщо важіль перебуває в стані рівноваги? Масою важеля можна знехтувати.

21.12. До лівого плеча важеля, який перебуває в стані рівноваги, прикладено силу 75 Н, а до правого — 180 Н. Яку довжину має ліве плече, якщо довжина правого плеча дорівнює 15 см? Масою важеля можна знехтувати.

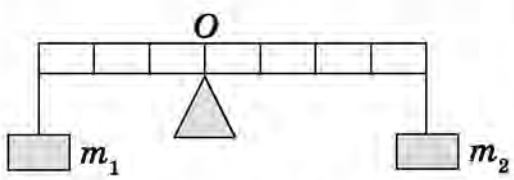
21.13. Сила, яка діє на кінець довшого плеча важеля, що перебуває в стані рівноваги, дорівнює 150 Н, а сила, яка діє на кінець коротшого плеча, становить 900 Н. Визначте довжину короткого плеча, якщо довше плече має довжину 1,2 м. Масою важеля можна знехтувати.

21.14. Маса тягарця m_1 становить 15 кг (див. рисунок). Визначте масу другого тягарця, якщо важіль врівноважений. Масою важеля можна знехтувати.

21.15. На кінцях однорідного стрижня, зображеного на рисунку, підвішено два тягарці. Вага другого тягарця становить 54 Н. Яку вагу має перший вантаж, якщо важіль перебуває у стані спокою? Масою важеля можна знехтувати.



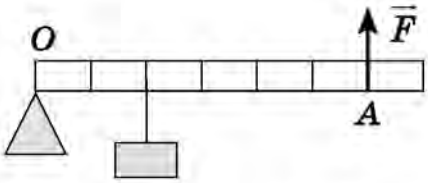
До задачі 21.14



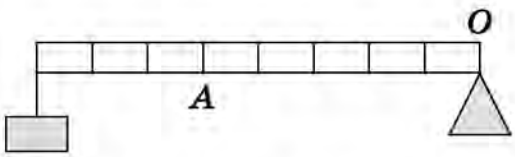
До задачі 21.15

21.16. Вага тягарця становить 63 Н. Яку силу слід прикласти у точці A (див. рисунок), щоб важіль був урівноважений? Масою важеля можна знехтувати.

21.17. Яку силу слід прикласти у точці A і в якому напрямку, щоб важіль (див. рисунок) був у рівновазі? Маса підвішеного до важеля вантажу 500 кг. Масою важеля можна знехтувати.



До задачі 21.16



До задачі 21.17

2-й рівень складності

21.18. Чи можна натягти мотузку горизонтально так, щоб вона не провисала?

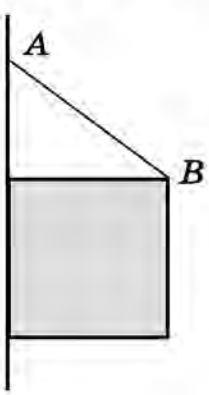
21.19. Чому сильно закручені гайки легше відкручувати довгим ключем?

21.20. Чому розмотувати нитку з повної котушки легше, ніж з котушки, на якій нитка майже закінчилася?

21.21. Чому ведучі колеса трактора мають значно більший діаметр, ніж ведучі колеса автомобіля?

21.22. Чому рукою, зігнутою у лікті, можна підняти значно більший вантаж, ніж витягнутою рукою?

21.23. Чи може втриматися в рівновазі ящик, який висить на мотузці AB (див. рисунок), якщо сила тертя відсутня?



21.24. По ґрунтовій вибоїстій дорозі їдуть дві вантажівки: одна з дровами, інша з кам'яним вугіллям. У якої з них ризик перекинутися більший, якщо маси вантажівок однакові?

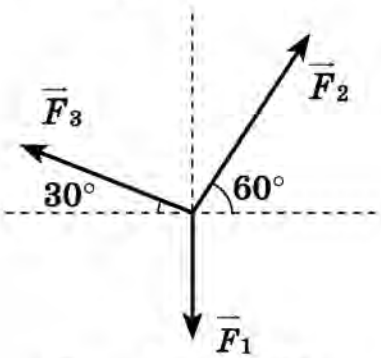
? **21.25.** Який автомобіль — вантажний чи легковий — може з більшою швидкістю рухатися на повороті? Чому?

? **21.26.** Чому танкери після розвантаження заповнюють водою? Обґрунтуйте свою відповідь.

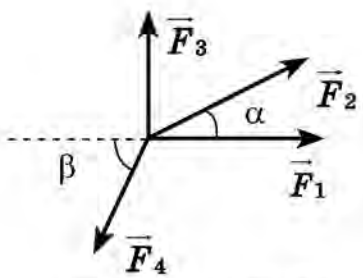
? **21.27.** Чому соснові ліси сильніше пошкоджуються буревіями, ніж ялинники?

21.28. Знайдіть рівнодійну сил, зображених на рисунку, та її проекції на координатні осі, якщо $|\vec{F}_1| = 100$ Н, $|\vec{F}_2| = 50\sqrt{3}$ Н, $|\vec{F}_3| = 50$ Н.

21.29. Знайдіть рівнодійну сил, зображених на рисунку, та її проекції на координатні осі, якщо $|\vec{F}_1| = 50$ Н, $|\vec{F}_2| = 100$ Н, $|\vec{F}_3| = 60$ Н, $|\vec{F}_4| = 200$ Н, $\alpha = 30°$, $\beta = 60°$.



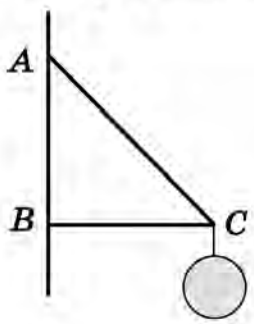
До задачі 21.28



До задачі 21.29

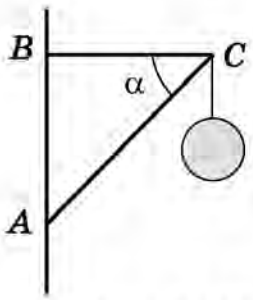
21.30. Кульку масою 600 г і діаметром 10 см підвішено на невагомій нерозтяжній нитці довжиною 8 см, один кінець якої прикріплено до стіни. З якою силою кулька тисне на стіну?

21.31. Визначте сили, які діють на стрижень AC та трос BC, якщо маса підвішеної кульки 80 кг, довжина стрижня $AB = 1$ м, а довжина троса $BC = 1{,}2$ м (див. рисунок). Вагою стрижня та троса можна знехтувати.

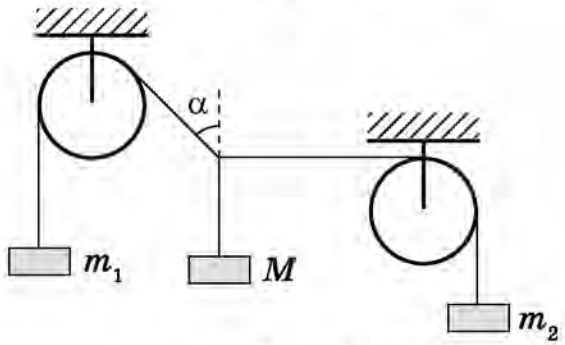


21.32. Визначте сили пружності, які виникають у стрижнях AC та BC (див. рисунок), якщо маса вантажу 50 кг, а кут $\alpha = 45°$. Вагою стрижнів можна знехтувати.

21.33. Тягар масою $M = 10$ кг врівноважено двома іншими тягарами масами m_1 і m_2, причому $m_1 = 18$ кг (див. рисунок). Визначте масу вантажу m_2 та кут α.



До задачі 21.32



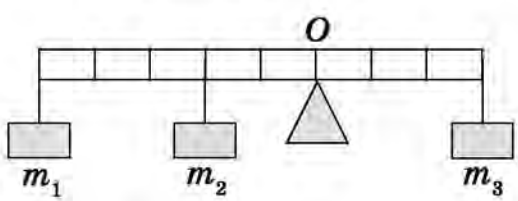
До задачі 21.33

21.34. До кінців легкого однорідного стрижня, довжина якого 2,5 м, підвішено вантажі, маси яких $m_1 = 18$ кг і $m_2 = 54$ кг. На якій відстані від середини стрижня має бути опора, щоб стрижень перебував у рівновазі?

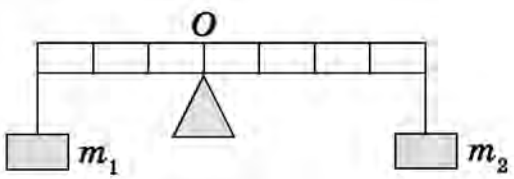
21.35. Стрижень, до кінців якого підвішено тягарці масою 500 г і 700 г, перебуває в рівновазі, якщо відстань від опори до середини стрижня становить 8 см. Визначте довжину стрижня. Масою стрижня можна знехтувати.

21.36. Яку масу m_3 має третій вантаж (див. рисунок), якщо маси перших двох становлять $m_1 = 7$ кг і $m_2 = 3{,}5$ кг? Важіль перебуває у стані рівноваги; його масою можна знехтувати.

21.37. Важіль, який зображено на рисунку, перебуває у стані рівноваги. Визначте його масу, якщо маси тягарців дорівнюють $m_1 = 4$ кг і $m_2 = 2{,}5$ кг. Масою важеля можна знехтувати.

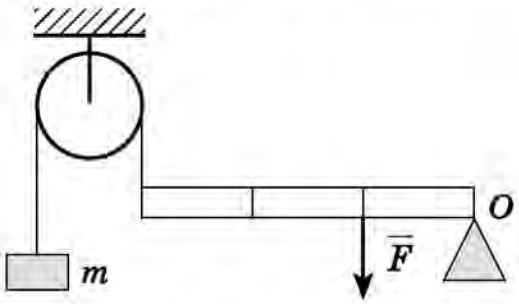


До задачі 21.36

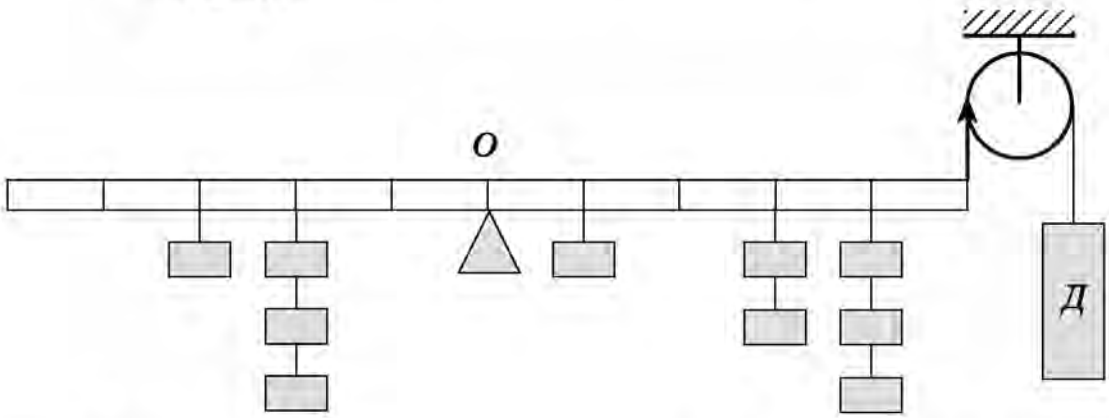


До задачі 21.37

21.38. Яка сила F врівноважує вантаж, маса якого $m = 8$ кг (див. рисунок)? Масою важеля можна знехтувати.



21.39. До важеля прикріплено тягарці масою по 100 г так, як показано на рисунку. Визначте показання динамометра *Д*.



21.40. Однорідна балка довжиною 4 м і вагою 4000 Н підперта на відстані 1,9 м від її правого кінця. На якій відстані від лівого кінця повинен стати на балку хлопчик масою 40 кг, щоб балка була у стані рівноваги?

21.41. До кінців стрижня, маса якого 5 кг, а довжина — 60 см, підвішено вантажі масою 20 кг і 5 кг. Де треба закріпити підвіс, щоб стрижень був у рівновазі?

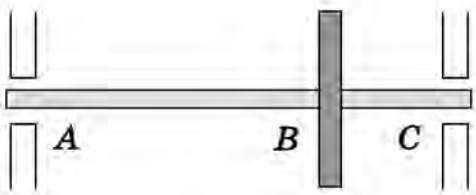
21.42. Дві однорідні кулі, маси яких дорівнюють відповідно 10 кг і 12 кг, а радіуси — 4 см і 6 см, з'єднали однорідним стрижнем масою 2 кг і довжиною 10 см так, що центри куль лежать на подовженні осі стрижня. Де треба закріпити підвіс, щоб система була у стані рівноваги?

21.43. Залізний лом масою 10 кг та довжиною 1,5 м лежить на ящику, виступаючи за його лівий край на 40 см і на 60 см — за правий край. Яку силу необхідно прикласти, щоб підняти лом: а) за лівий кінець; б) за правий кінець?

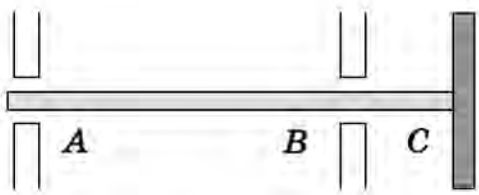
21.44. Колоду довжиною 3 м і масою 100 кг піднімають за допомогою двох канатів. Визначте сили натягу канатів, якщо вони закріплені на відстані 0,3 м і 1,2 м від кінців колоди.

21.45. На вал AC масою 5 кг наділи шків B масою 15 кг, як зображено на рисунку. Які сили діють на підшипники A і C, якщо $AC = 1$ м, $BC = 30$ см?

21.46. З якими силами тисне вал масою 8 кг, який зображено на рисунку, на підшипники A і B, якщо на валу закріплено шків C масою 30 кг, а $AB = 80$ см, $BC = 20$ см?



До задачі 21.45



До задачі 21.46

21.47. Дві однорідні кулі однакового радіуса з'єднані у точці дотику. Маса однієї з куль удвічі більша за масу іншої. Визначте положення центру тяжіння двох куль.

21.48. Дві кулі однакового об'єму, цинкова та алюмінієва, скріплені у точці дотику. Знайдіть положення центру тяжіння системи двох куль.

21.49. Дві мідні кулі з'єднані у точці дотику. Визначте положення центру тяжіння двох куль, якщо відомо, що радіус однієї з них утричі більший, ніж іншої.

3-й рівень складності

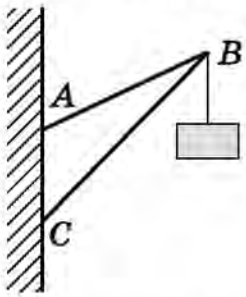
? 21.50. Для чого ковзанярі, розганяючись, розмахують руками?

? 21.51. Чому гальма в автомобілях та велосипедах ставлять на задні, а не на передні колеса?

? 21.52. Чому не перекидаються люльки підвісної дороги?

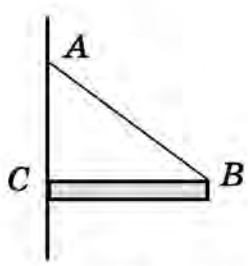
? 21.53. На вершині півкулі лежить у горизонтальному положенні тоненька лінійка. Який вид рівноваги спостерігається у цьому випадку?

21.54. Визначте сили, які діють на тягу AB та укосину BC кронштейна ABC, який зображено на рисунку, якщо маса підвішеного в точці B вантажу 10 кг. Відомо також, що $AB = 60$ см, $BC = 80$ см, $AC = 40$ см. Масами балки та укосини знехтуйте.

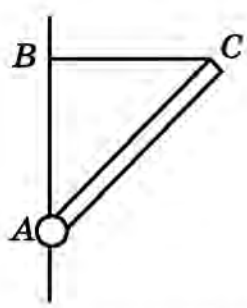


21.55. Кінець балки завдовжки 4 м і масою 1 т утримується залізною тягою AB, як це показано на рисунку. Визначте діаметр тяги, якщо допустима напруга становить 98 МПа; $AC = 3$ м.

21.56. Нижній кінець однорідного стрижня AC масою 3 кг, що утримується у стані рівноваги горизонтальною відтяжкою BC, як це показано на рисунку, прикріплено до шарніра так, що кут $BAC = 45°$. Визначте силу натягу відтяжки BC а також силу реакції шарніра та її напрямок. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.



До задачі 21.55



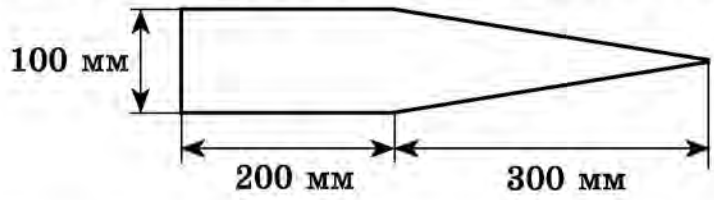
До задачі 21.56

21.57. Драбина стоїть біля стіни. Визначте максимальний кут між стіною та драбиною, при якому драбина ще не буде зісковзувати, якщо коефіцієнт тертя між підлогою та драбиною становить 0,45, а між стіною та драбиною тертя відсутнє.

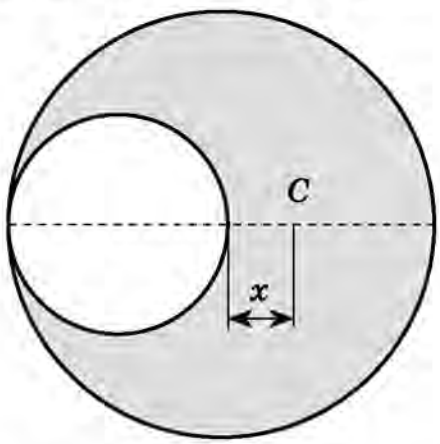
21.58. Чотириметрова драбина масою $m = 10$ кг стоїть під кутом $\alpha = 30°$ до стіни. Коефіцієнт тертя ковзання між стіною та драбиною $\mu_1 = 0{,}3$, а між підлогою та драбиною

$\mu_2 = 0{,}5$. Визначте висоту, на яку може піднятися по драбині людина масою $M = 50$ кг.

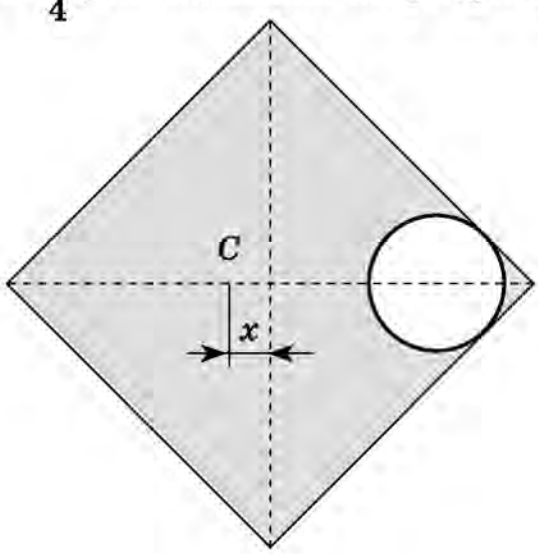
21.59. Визначте положення центру тяжіння однорідної пластини, розміри та форма якої зображено на рисунку.



21.60. Визначте положення центра тяжіння однорідної круглої пластини радіусом R, з якої вирізано круг радіусом $\frac{R}{2}$, як показано на рисунку.



21.61. Визначте положення центра тяжіння однорідної квадратної пластинки зі стороною l, з якої вирізано круг радіусом $\frac{l}{4}$, як показано на рисунку.



22. ІМПУЛЬС. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ

Приклад розв'язування задач

Задача. Снаряд, який летів горизонтально на висоті 30 м зі швидкістю 100 м/с, розірвався на два однакові осколки. Один із них полетів вертикально вниз зі швидкістю 150 м/с. На якій відстані один від одного осколки впали на землю?

Дано:

$v = 100 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$m_1 = m_2 = \frac{m}{2}$

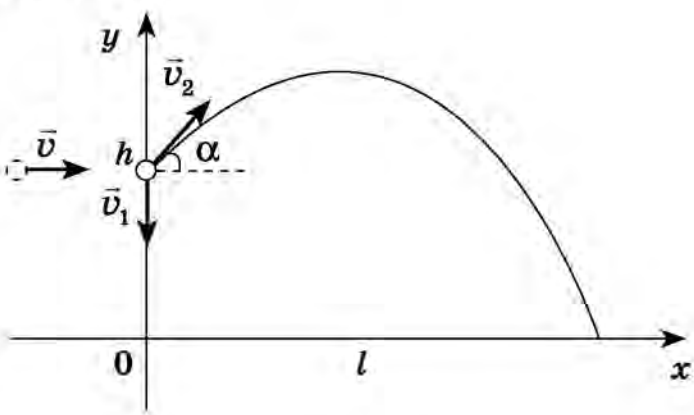
$h = 30$ м

$v_1 = 150 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$g = 10 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

l —?

Розв'язання



До вибуху імпульс снаряда становив $\vec{p} = m\vec{v}$. Після вибуху за законом збереження імпульсу сумарний імпульс двох осколків має залишитись таким, яким був до вибуху, тобто $m\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ або, з урахуванням умови: $m\vec{v} = \frac{m}{2}\vec{v}_1 + \frac{m}{2}\vec{v}_2$.

Спроектуємо вектори на координатні осі (OX направимо горизонтально, OY вертикально) і отримаємо:

OX: $mv = \frac{mv_2 \cos\alpha}{2}$, отже, $2v = v_2 \cos\alpha$;

OY: $0 = -\frac{m}{2}v_1 + \frac{m}{2}v_2 \sin\alpha$, тоді $v_1 = v_2 \sin\alpha$.

Після вибуху один осколок, згідно з умовою, летить вертикально вниз і падає під точкою вибуху. Другий осколок летить під кутом α до горизонту, тому рівняння його руху по осі OY матиме вигляд: $h+v_2\sin\alpha\cdot t-\frac{gt^2}{2}=0$. Врахувавши, що $v_1=v_2\sin\alpha$, запишемо отримане квадратне рівняння у звичному вигляді, помноживши його на 2: $gt^2-2v_1t-2h=0$, звідки визначимо час польоту:

$$t=\frac{v_1+\sqrt{v_1^2+2gh}}{g}.$$

По осі OX другий осколок, рухаючись рівномірно зі швидкістю $v_2\cos\alpha$, впаде на відстані l від точки падіння першого осколку. Таким чином, відстань між точками падіння осколків визначатиметься рівнянням $l=x=v_2\cos\alpha\cdot t=2vt$, а після підстановки у це рівняння виразу для часу отримаємо кінцеву формулу $l=\frac{2v}{g}\left(v_1+\sqrt{v_1^2+2gh}\right)$.

Перевіримо одиниці: $[l]=\frac{\text{м}\cdot\text{с}^2}{\text{м}}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}+\sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}+\frac{\text{м}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}}\right)=\text{м}$.

Виконаємо розрахунки: $\{l\}=\frac{2\cdot100}{10}\left(150+\sqrt{150^2+2\cdot10\cdot30}\right)\approx6040$.

Отже, $l\approx6040$ м.

Відповідь: відстань між точками падіння осколків становить $l\approx6040$ м.

1-й рівень складності

22.1. Чи може змінитись імпульс тіла, якщо не змінились ані маса тіла, ані модуль його швидкості?

22.2. Чи може людина, стоячи на ідеально гладкій горизонтальній поверхні льоду, зрушити з місця, не упираючись нічим гострим у лід?

22.3. Як космонавт може повернутися на корабель, якщо фал випадково обірветься?

22.4. Тіло, маса якого 3 кг, рухається зі швидкістю 4 м/с. Обчисліть імпульс тіла.

22.5. Визначте імпульс каменя масою 120 г, який кинули зі швидкістю 5 м/с.

22.6. М'яч летить зі швидкістю 6 м/с. Обчисліть масу м'яча, якщо його імпульс становить 4,2 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

22.7. З якою швидкістю рухається куля масою 63 г, якщо імпульс її руху становить 21 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$?

22.8. З якою швидкістю мав би рухатися легковий автомобіль, маса якого 1,5 т, щоб у нього був такий самий імпульс, як у вантажівки масою 9 т, що рухається зі швидкістю 54 км/год?

22.9. Визначте масу африканського слона, якщо, рухаючись зі швидкістю 40 км/год, він має такий самий імпульс, як і 6-тонний кит, що рухається зі швидкістю 27 км/год.

22.10. Візок масою 100 г рухається зі швидкістю 3 м/с. Яке значення має його імпульс? Який імпульс матиме система двох таких візків, якщо вони почнуть рухатися зі швидкістю, втричі меншою?

22.11. На скільки відрізняється імпульс кулі масою 50 г, яка летить зі швидкістю 20 м/с, від імпульсу іншої кулі, маса якої у 3 рази, а швидкість — у 4 рази більша, ніж у першої?

22.12. Куля масою 20 г рухалася зі швидкістю 650 м/с. Після того як вона пройшла крізь гіпсокартонну стіну, її імпульс зменшився на 8 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. З якою швидкістю стала рухатися куля?

22.13. М'яч масою 200 г, який мав швидкість 1,5 м/с, був спійманий на льоту. На скільки змінився імпульс м'яча?

22.14. Тенісист б'є ракеткою по м'ячу із силою 0,6 кН. Удар триває 0,001 с. На скільки змінюється імпульс м'яча?

22.15. Парашутист масою 100 кг перед розкриттям парашута має швидкість 100 м/с, а після розкриття його швидкість зменшується до 10 м/с. Яка середня сила діє на парашутиста під час розкриття парашута, що триває приблизно 3 с?

22.16. Хлопчик ударив по нерухомому м'ячу, маса якого 80 г, і надав йому швидкості 20 м/с. Визначте середню силу удару, якщо удар тривав 0,002 с.

22.17. У момент удару молотка масою 300 г по цвяхові швидкість руху молотка становить 5 м/с. Як довго триває удар, якщо середня сила удару становить 40 Н?

22.18. Санчата з вантажем, загальна маса яких 15 кг, рухаються зі швидкістю 8 м/с. Через який проміжок часу від початку гальмування зупиняться санчата, якщо під час гальмування середня сила опору рухові становила 12 Н?

22.19. З іграшкового пістолета вилітає кулька зі швидкістю 4 м/с. Визначте швидкість «віддачі» пістолета, якщо його маса становить 100 г, а маса кульки 5 г.

22.20. З нерухомого човна, маса якого 120 кг, стрибає хлопчик масою 60 кг зі швидкістю 2 м/с. Визначте швидкість руху човна після того, як з нього стрибнув хлопчик.

? **22.21.** Кальмар скороченням м'язів виштовхує із себе рідину, внаслідок чого переміщується і сам. Чи є це прикладом реактивного руху? Свою відповідь обґрунтуйте.

22.22. Гумову кульку наповнили повітрям. Маса кульки та повітря становлять відповідно 100 г і 150 г. Якої максимальної швидкості набуде кулька, якщо її відпустити? Зауважте, що після того як кульку відпустили, газ витікає з неї з постійною швидкістю 20 м/с; опором повітря можна знехтувати.

22.23. Визначте масу пального, необхідного для надання одноступінчастій ракеті масою 800 кг першої космічної швидкості, вважаючи, що гази викидаються з ракети зі швидкістю 2 км/с не поступово, а миттєво. Перша космічна швидкість дорівнює 7,9 км/с.

2-й рівень складності

22.24. Куля масою 25 г рухається зі швидкістю 20 м/с. Визначте зміну імпульсу кулі та середню силу удару під час зіткнення кулі з вертикальною стіною, якщо: а) куля рухається горизонтально і пружно відбивається від стіни; б) куля рухається горизонтально і прилипає до стіни; в) куля рухається під кутом 30° до стіни і пружно відбивається від неї. В усіх випадках вважайте тривалість удару рівною 0,1 с.

22.25. М'яч масою 500 г скинули з балкона п'ятого поверху будівлі і він після удару об землю підскочив на висоту 0,8 м. На скільки змінився імпульс м'яча після удару, якщо висота поверху 2,5 м, а м'яч рухався тільки вертикально. Опором повітря знехтуйте.

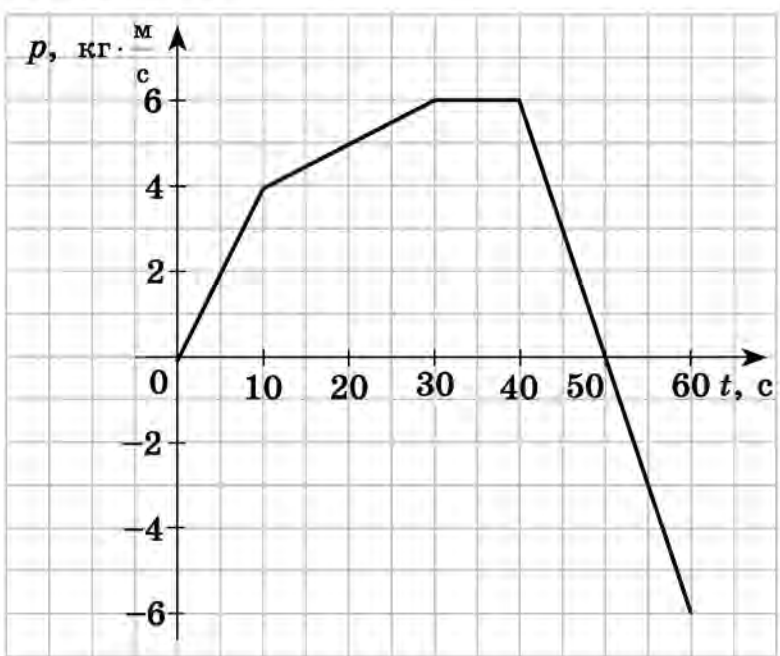
22.26. Протон, маючи швидкість $2 \cdot 10^4$ м/с, налітає на нерухоме ядро атома Гелію, внаслідок чого швидкість руху протону зменшилась на $1{,}2 \cdot 10^4$ м/с. Визначте швидкість, з якою рухатиметься ядро Гелію після зіткнення з протоном, якщо маса ядра у 4 рази більша за масу протона.

22.27. Тіло масою 7 кг рухається відповідно до рівняння $x = 3t + 4t^2$. Визначте, якого імпульсу набуло тіло через 5 с після початку спостереження руху, як цей імпульс змінився і яка сила викликала цю зміну.

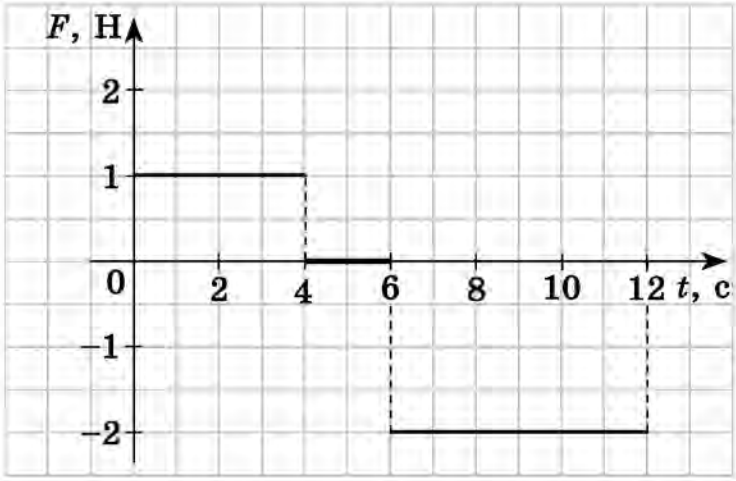
22.28. Рівняння руху матеріальної точки масою 2 кг задано рівнянням $x = 1 + 5t^2$. Визначте зміну імпульсу тіла, яка сталася за 2 с, і силу, що викликала цю зміну.

22.29. Імпульс тіла масою 4 кг, яке почало свій рух зі стану спокою, за 20 с змінився на 80 $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Запишіть рівняння руху цього тіла.

22.30. На рисунку наведено графік залежності імпульсу тіла від часу. Побудуйте графік залежності сили, що діє на це тіло, від часу.



22.31. На рисунку подано графік залежності сили, що діє на тіло масою 2 кг, від часу. Побудуйте графік залежності імпульсу цього тіла від часу, якщо початкова швидкість руху тіла 0 м/с.



22.32. На яку відстань перемістився м'яч масою 500 г за 5 с, якщо в початковий момент йому було надано у горизонтальному напрямку імпульс 4 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$? Опором можна знехтувати.

22.33. Визначте, на яку відстань могло переміститися гарматне ядро масою 0,5 кг, якщо в момент пострілу воно отримувало імпульс 6 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, напрямлений горизонтально, а гармата стояла на кручі, висота якої над рівниною 12,8 м.

22.34. Визначте середню силу тиску на долоню під час стрільби з пістолета Макарова, якщо темп стрільби становить 30 пострілів за хвилину, маса кулі дорівнює 8 г, а швидкість, з якою вона вилітає зі ствола,— 315 м/с.

22.35. Автомат Калашнікова, з якого куля масою 8 г вилітає зі швидкістю 715 м/с, діє на плече людини з середньою силою 12 Н. Визначте, скільки часу триватимуть 100 пострілів.

? **22.36.** Чому запуск реактивних снарядів мінометів «Катюша» на відміну від далекобійних гармат не потребував масивних стволів для зменшення відкату під час пострілу («Катюші» мали лише легку спрямовуючу раму)?

22.37. 25-тонний вагон рухається по горизонтальній ділянці залізничної колії зі швидкістю 2 м/с. Його наздоганяє 15-тонний вагон, швидкість якого 4 м/с. Якою буде їхня швидкість після зчеплення?

22.38. Платформа масою 140 кг рухається зі швидкістю 1 м/с. Спортсмен, маса якого 60 кг, біжить зі швидкістю 5 м/с. Визначте швидкість руху платформи після того як спортсмен застрибнув на неї, якщо: а) спортсмен наздоганяє платформу; б) спортсмен рухається назустріч платформі.

22.39. По річці сплавляють пліт масою 120 кг. Він рухається рівномірно прямолінійно і за 10 хв проходить 300 м відносно берега. Визначте швидкість та напрямок руху плота після того, як з нього стрибнув хлопчик масою 65 кг зі швидкістю відносно берега 1 м/с. Розгляньте випадки, коли: а) хлопчик стрибнув у напрямку руху плота; б) хлопчик стрибнув проти напрямку руху плота.

22.40. Дві кульки рухаються назустріч одна одній з однаковими швидкостями. Маса першої кульки 2 кг. Яку масу повинна мати друга кулька, щоб після зіткнення перша кулька зупинилась, а друга покотилась у зворотному напрямку з тією ж за модулем швидкістю?

22.41. Мисливець пливе у човні зі швидкістю 12 м/хв. Після двох послідовних пострілів, здійснених ним у напрямку руху, човен зупинився. Визначте масу човна з мисливцем, якщо маса заряду 25 г, а швидкість його вильоту з рушниці 500 м/с.

22.42. Винищувач масою 2,5 т летить зі швидкістю 396 км/год. Наскільки зменшиться швидкість руху літака після 15 с безперервної стрільби? Скорострільність гармати — 800 пострілів за хвилину, маса одного снаряда — 100 г, швидкість вильоту снаряда з гармати — 700 м/с.

22.43. Мисливець стріляє з легкого надувного човна, що перебуває у стані спокою. Якої швидкості набуває човен після пострілу, якщо маса мисливця разом з човном дорівнює 120 кг, маса дробу — 35 г, а швидкість вильоту дробу з рушниці становить 320 м/с? Ствол рушниці під час пострілу напрямлений під кутом 60° до горизонту.

22.44. Снаряд масою 50 кг, який летить під кутом 60° до горизонту зі швидкістю 800 м/с, потрапляє у нерухому платформу, навантажену піском, і застрягає у ньому, внаслідок чого платформа починає рухатися зі швидкістю 1,6 м/с. Визначте масу платформи.

22.45. Хлопчик, маса якого 50 кг, переміщується з одного кінця платформи в інший. Визначте, наскільки переміститься відносно землі платформа, довжина і маса якої дорівнюють відповідно 12 м і 100 кг, якщо до початку руху хлопчика вона була нерухомою. Тертям можна знехтувати.

22.46. Рибалка масою 80 кг перейшов з корми на ніс човна, маса якого 120 кг. Човен при цьому змістився на 1,4 м. На яку відстань перемістився рибалка відносно берега озера? У початковий момент човен перебував у спокої. Опором води можна знехтувати.

22.47. Людина масою 60 кг перейшла з одного кінця плоту на інший за 2,5 с. З якою швидкістю рухався відносно води пліт, який до того був нерухомий, якщо його довжина 3,5 м, а маса 240 кг?

22.48. З човна вибирають канат, поданий з катера. Відстань між човном і катером дорівнює 55 м. Розрахуйте відстані, пройдені човном та катером до їхньої зустрічі, якщо маса човна становить 300 кг, а маса катера — 1,2 т.

22.49. Барон Мюнхаузен стверджував, що сам витяг із болота і себе, і свого коня. Чи це можливо? Відповідь обґрунтуйте.

? 22.50. Космічний апарат рухається з вимкненими двигунами. Що станеться, якщо на сопло ракети надіти вигнуту трубу, вихідний отвір якої буде спрямований у бік руху ракети, і ввімкнути двигуни?

? 22.51. Чи збільшуватиметься швидкість ракети, якщо гази вириваються з її сопла зі швидкістю, яка: а) більша від швидкості ракети; б) дорівнює швидкості ракети; в) менша від швидкості ракети? Відповідь обґрунтуйте.

22.52. Ракета має масу 1 кг, де 200 г — це порох. Визначте висоту підйому ракети за умови, що гази при згорянні вилітають із швидкістю 400 м/с.

22.53. Розв'яжіть попередню задачу для випадку, коли в ракеті закладено 300 г пороху. Візьміть також до уваги, що за рахунок опору повітря реальна висота підйому ракети зменшується у 5 разів проти теоретичної. Прискорення вільного падіння вважайте рівним 9,8 м/с^2.

22.54. Ракета, маса якої зі зарядом 250 г, злітає вертикально вгору і досягає висоти 150 м. З якою швидкістю викидаються гази з ракети? Вважайте, що ракета містить заряд масою 50 г, який згоряє миттєво.

3-й рівень складності

? 22.55. Який імпульс має однорідний диск, який обертається навколо своєї осі? Вісь нерухома. Обґрунтуйте свою відповідь.

? 22.56. Чому дорівнює імпульс Землі, який виникає через її добове обертання навколо осі? Відповідь обґрунтуйте.

? 22.57. Снаряд, пущений вертикально вгору, вибухнув у верхній точці траєкторії. При цьому утворилося три осколки. Доведіть, що вектори початкових швидкостей руху усіх трьох осколків лежать в одній площині.

22.58. Пліт масою 800 кг пливе по річці зі швидкістю 1 м/с. З берега на пліт перпендикулярно рухові плоту стрибає зі швидкістю 2 м/с людина масою 80 кг. Визначте швидкість плоту з людиною і напрямок цієї швидкості.

22.59. Граната, кинута під кутом до горизонту, розривається на дві частини у верхній точці траєкторії, коли має швидкість 10 м/с. Більший осколок, маса якого становить 60 % від маси гранати, продовжує рухатись у тому ж напрямку, і швидкість його руху становить 25 м/с. Визначте швидкість і напрямок руху меншого осколку.

22.60. Граната, яка рухалась під кутом 30° до горизонту зі швидкістю 15 м/с, розірвалася на два осколки однакової маси. Один із них полетів горизонтально у зворотному напрямку зі швидкістю 30 м/с. Визначте швидкість і напрямок руху іншого осколку.

22.61. Вибух розриває камінь на три частини. Два осколки летять під прямим кутом один до одного: перший масою 1,5 кг відлітає зі швидкістю 10 м/с, другий осколок масою 3 кг — зі швидкістю 8 м/с. Третій осколок відлітає зі швидкістю 35 м/с. Якою є маса третього осколку? У якому напрямку він летить?

22.62. Візок масою 12 кг, рухаючись зі швидкістю 10 м/с, наштовхується на нерухомий візок масою 20 кг. Яку відстань візки пройдуть після зчеплення, якщо зупинились вони через 2 с? Вважайте рух після зіткнення до зупинки рівноприскореним.

22.63. Куля масою 15 г, маючи швидкість 300 м/с, влітає в ящик з піском, що стоїть на нерухомій платформі, маса якої 50 кг. Визначте швидкість руху платформи після потрапляння кулі та час її руху до повної зупинки, якщо платформа зупинилася, подолавши відстань 1,8 м. Вважайте, що під час руху на платформу діє постійна сила тертя.

22.64. З гармати вилітає снаряд зі швидкістю 500 м/с. На яку відстань після пострілу може відкотитися гармата, яка не має противідкатного пристрою, якщо її коефіцієнт тертя 0,4, а постріл здійснено у горизонтальному напрямку? Маса гармати 1 т, маса снаряду 12 кг.

22.65. Ковзаняр масою 60 кг, стоячи на льоду, кидає у горизонтальному напрямку камінь масою 3 кг і відкочується на 40 см. З якою швидкістю ковзаняр кинув камінь, якщо коефіцієнт тертя ковзанів об лід становить 0,02?

22.66. Платформа з гарматою стояла на прямолінійній ділянці горизонтальної залізничної колії. Після пострілу гармати у напрямку, паралельному колії, платформа відкотилася на 56,25 м. Визначте загальну масу платформи з гарматою, якщо відомо, що коефіцієнт тертя становить 0,002, маса снаряда 50 кг, а швидкість його вильоту 600 м/с.

? **22.67.** Під час вертикального підйому ракети з поверхні планети на неї діє незмінна сила тяги реактивних двигунів (щосекунди витрачається однакова маса палива). Чи можна при цьому вважати рух ракети рівноприскореним? Відповідь обґрунтуйте.

22.68. Ракету масою 1,2 т запускають з поверхні Землі вертикально вгору з прискоренням 19,6 м/с^2. Швидкість струменя газів, що викидаються із сопла, становить 1,5 км/с. Визначте, скільки пального витрачається щосекунди.

23. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ. ККД

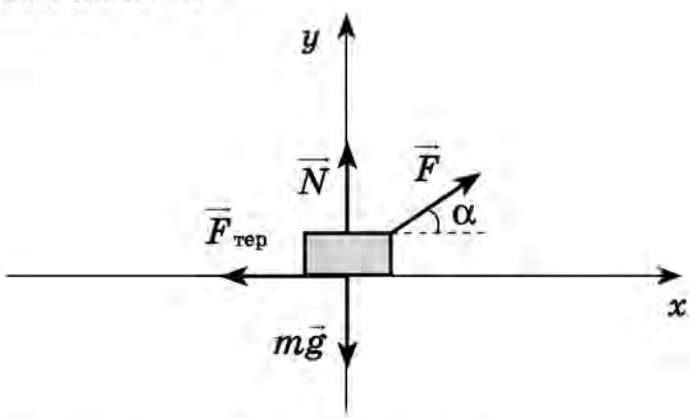
Приклад розв'язування задач

Задача. Яку роботу виконує кінь на шляху 50 м, якщо він тягне віз масою 200 кг по горизонтальній ділянці дороги з прискоренням 1,65 м/с^2? Врахуйте, що сила, яка діє на віз, напрямлена під кутом 45° до горизонту, а коефіцієнт тертя дорівнює 0,01.

Дано:
$s = 50$ м
$m = 200$ кг
$\alpha = 45°$
$\mu = 0{,}01$
$g = 10$ м/с^2
$a = 1{,}65$ м/с^2

A —?

Розв'язання



За визначенням $A = Fs\cos\alpha$. Віз рухається рівноприскорено під дією чотирьох сил, отже, за другим законом Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{тер} + m\vec{g}.$$

Спроектуємо вектори на координатні осі:

$$OX:\ ma = F\cos\alpha - F_{тер};$$

$$OY:\ 0 = N + F\sin\alpha - mg.$$

Розв'язуючи отриману систему рівнянь відносно F (з урахуванням того, що за визначенням сили тертя: $F_{тер} = \mu N$), отримаємо:

$$F = \frac{m(a + \mu g)}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}.$$

Підставимо цей вираз у формулу для знаходження механічної роботи, матимемо: $A=\dfrac{ms(a+\mu g)\cos\alpha}{\cos\alpha+\mu\sin\alpha}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[A]=\text{кг}\cdot\text{м}\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}+\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)=\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}\cdot\text{м}=\text{Н}\cdot\text{м}=\text{Дж};$$

$$\{A\}=\frac{200\cdot 50\cdot(1{,}65+0{,}01\cdot 10)\sqrt{2}}{\left(\dfrac{\sqrt{2}}{2}+0{,}01\cdot\dfrac{\sqrt{2}}{2}\right)\cdot 2}\approx 1733.$$

Отже, $A\approx 1733$ Дж.

Відповідь: кінь виконує роботу $A\approx 1733$ Дж.

1-й рівень складності

23.1. Хлопчик рівномірно тягне санчата з вантажем по горизонтальній дорозі за мотузку, прикладаючи силу 24 Н під кутом 45° до горизонту. Яку роботу виконав хлопчик, перемістивши санчата на 15 м?

23.2. Мати, прикладаючи силу 40 Н, котить візок з немовлям за ручку, яка утворює з горизонтом кут 30°. Яку роботу виконала мати, пройшовши по прямолінійній горизонтальній ділянці 1,5 км? Яку роботу виконала за той же час сила тертя, якщо мати котила візок рівномірно?

23.3. Ящик тягнуть за мотузку по горизонтальній поверхні, прикладаючи силу 12 Н у напрямку руху. Яку роботу виконують, перемістивши ящик на 6 м?

23.4. Яка сила опору виникла під час обробки деталі на токарному станку, якщо різець рівномірно перемістився на 300 мм і при цьому була виконана робота 150 Дж?

23.5. Електровоз масою 2000 т на горизонтальній ділянці шляху рухається з прискоренням 0,035 м/с^2. Яку роботу виконує сила тяги на шляху 40 м, якщо сила опору рухові становить 85 кН?

23.6. Автомобіль масою 1,2 т рухається з прискоренням 1,5 м/с^2. Сила опору дорівнює 500 Н. Який шлях подолав автомобіль, якщо його двигуни виконали роботу 230 кДж?

23.7. Брусок масою 5 кг перемістили по горизонтальній поверхні на 2 м, виконавши роботу 20 Дж. Визначте силу тертя, що діє на брусок, якщо брусок рухався з прискоренням 1,4 м/с^2.

23.8. Парашутист рівномірно опускається зі швидкістю 5 м/с. Сила опору повітря за 20 с спуску виконує роботу 75 кДж. Визначте масу парашутиста.

23.9. Ящик масою 5 кг рухається по горизонтальній поверхні зі швидкістю 2 м/с під дією горизонтальної сили 5 Н. Яку роботу виконує ця сила за 2 хв?

23.10. Спортсмен підняв штангу вагою 200 Н на висоту 1,8 м з прискоренням 1,4 м/с^2. Визначте роботу, яку виконав спортсмен.

23.11. Підйомний кран підняв вантаж масою 2 т на висоту 10 м, виконавши роботу 200 кДж. Визначте прискорення, яке було надано вантажеві. Вважайте прискорення вільного падіння рівним 9,8 м/с^2.

23.12. Куля масою 250 г падає вниз з прискоренням 9,4 м/с^2. Яку роботу на шляху 5 м виконує: а) сила тяжіння; б) сила опору? Прискорення вільного падіння $g \approx 9{,}8$ м/с^2.

23.13. Визначте прискорення, з яким падало тіло масою 4 кг з висоти 30 м, якщо сила опору виконала за час падіння роботу 42 Дж. Прискорення вільного падіння $g \approx 9{,}8$ м/с^2.

23.14. Яку потужність має двигун, який за 2 год виконує роботу 0,9 МДж?

23.15. Скільки часу повинен працювати двигун потужністю 1,2 кВт, щоб виконати роботу 96 кДж?

23.16. Розрахуйте потужність трактора, якщо він рухається рівномірно зі швидкістю 2 м/с, а сила тяги його двигуна 25 кН.

23.17. Автомобіль, маючи тягову потужність 60 кВт та силу тяги двигуна 15 кН, рухається рівномірно прямолінійно. Визначте, з якою швидкістю рухається автомобіль.

23.18. Сила тяги двигуна тепловоза 100 кН. Визначте потужність тепловоза, якщо він за 1 хв подолав відстань 600 м.

23.19. Яку відстань подолав за 0,5 хв іграшковий катер, потужність двигуна якого 1,8 Вт, а сила тяги 0,2 Н?

23.20. Підйомний кран з двигуном, потужність якого 5 кВт, рівномірно піднімає вантаж зі швидкістю 0,2 м/с. Визначте масу вантажу.

23.21. Хлопчик тягне санчата, прикладаючи силу 50 Н, напрямлену під кутом 60° до горизонту. Яку потужність розвиває хлопчик, якщо санчата рухаються рівномірно прямолінійно і за хвилину перемістилися на 30 м?

23.22. Кінь, розвиваючи потужність 600 Вт, тягне віз із силою 450 Н, напрямленою під кутом 30° до горизонту. За який час він довезе хазяїна з одного села в інше, якщо відстань між ними 12 км?

23.23. Виконуючи ривок, важкоатлет підняв штангу масою 200 кг на висоту 2 м за 1 с. Яку потужність він при цьому розвинув?

23.24. Скільки часу потрібно підйомному кранові з двигуном потужністю 6 кВт, щоб підняти вантаж масою 3 т на висоту 10 м?

23.25. Яку масу води піднімає насос потужністю 720 Вт на висоту 12 м за 1 год?

23.26. Дрезина масою 3 т рухається з постійною швидкістю 10 м/с. Яку потужність вона розвиває, якщо коефіцієнт опору становить 0,02?

23.27. Яку швидкість має автомобіль масою 1,2 т, потужність двигуна якого 50 кВт, коли рівномірно рухається по горизонтальному шосе з коефіцієнтом тертя 0,15?

23.28. Вантаж масою 0,5 т підняли на висоту 1,6 м. При цьому підйомник виконав роботу 10 кДж. Визначте ККД підйомника.

23.29. За допомогою нерухомого блока бочку вагою 800 Н рівномірно підняли на висоту 5 м. Яку роботу виконав робітник, якщо ККД блока 85 %?

23.30. Визначте ККД важеля, за допомогою якого підняли вантаж вагою 200 Н на висоту 50 см. При цьому коротке плече під дією сили 500 Н опустилось на 25 см.

23.31. Робітник з допомогою важеля, ККД якого дорівнює 90 %, піднімає гранітну брилу вагою 5 кН на 18 см. Яку силу приклав робітник до довгого плеча, якщо воно опустилося на 96 см?

23.32. По похилій площині довжиною 5 м і висотою 1,8 м закотили бревно масою 200 кг, прикладаючи силу 800 Н. Визначте ККД цієї похилої площини.

23.33. Яку силу необхідно прикласти вздовж похилої площини довжиною 4 м з ККД 82 %, щоб вагонетку масою 160 кг закотити на висоту 0,8 м?

2-й рівень складності

23.34. Жалюзі масою 1,2 кг та довжиною 1,6 м, відкриваючи, скручують у тонкий валик біля верхньої частини вікна. Яку роботу при цьому виконують?

23.35. Сваю довжиною 3 м, яка лежала на землі, поставили вертикально, піднімаючи за один кінець. При цьому було виконано роботу 4,5 кДж. Визначте масу сваї.

23.36. Яка робота виконується під час рівномірного переміщення ящика масою 75 кг по горизонтальній поверхні на відстань 55 м, якщо коефіцієнт тертя становить 0,3, а мотузка, за допомогою якої тягнуть ящик, утворює з горизонтом кут 30°?

23.37. Робітник штовхає по горизонтальній колії вагонетку масою 150 кг з прискоренням 0,8 м/с^2. Визначте роботу, яку виконує робітник, перемістивши вагон на 5 м, якщо він діє на вагонетку із силою, що напрямлена вниз під кутом 60° до горизонту, а коефіцієнт тертя дорівнює 0,02.

23.38. Яку роботу виконала сила тяги автомобіля масою 2 т, якщо за 4 с швидкість його руху зросла від 36 км/год до 72 км/год? Коефіцієнт тертя становить 0,1.

23.39. Визначте прискорення реактивного лайнера масою 150 т на злітній смузі довжиною 1500 м, якщо сила тяги його двигунів на цьому шляху виконує роботу 375 МДж, а коефіцієнт тертя коліс шасі об злітну смугу 0,02.

23.40. Велосипедист масою 50 кг рухається по прямолінійній ділянці горизонтального шосе згідно з рівнянням $x = 4 + 2t + t^2$. Яку роботу виконує велосипедист за 20 с руху?

23.41. Потяг метро масою 180 т гальмує перед станцією метро. Рівняння залежності швидкості його руху від часу при цьому має вид: $v_x = 6 - 0{,}2t$. Визначте роботу, яку виконала гальмівна сила до повної зупинки потяга.

23.42. Визначте, яку роботу виконують, рівномірно піднімаючи відро з водою об'ємом 12 л, на висоту 8 м. Масою відра знехтуйте. Яку роботу при цьому виконала сила тяжіння?

23.43. Кран рівномірно піднімає бетонну плиту на висоту 15 м. Визначте об'єм балки, якщо у процесі піднімання плити було виконано роботу 1,4 МДж. Прискорення вільного падіння $g \approx 9{,}8$ м/с^2, $\rho_б = 2574$ кг/м^3.

23.44. Яку роботу виконала сила опору, якщо тіло масою 200 г, кинуте вертикально вгору з початковою швидкістю 35 м/с, піднялось на висоту 40 м? Вважайте, що сила опору повітря під час руху тіла була незмінною.

23.45. Визначте роботу, яку виконала сила опору над каменем масою 4 кг, якщо він падав 4 с і в момент падіння мав швидкість 24 м/с. Врахуйте, що початкова швидкість руху каменя дорівнювала 0 м/с.

23.46. Під час уроку з парти упав олівець масою 30 г, який долетів до підлоги за 0,4 с. Яку роботу виконала учениця, піднімаючи свій олівець? Прискорення вільного падіння вважайте рівним 10 м/с^2. Опором повітря знехтуйте.

23.47. Діюча модель автомобіля масою 8 кг рухається із стану спокою вгору по похилій площини з кутом нахилу 60° з постійним прискоренням 0,5 м/с^2. Визначте роботу сили тяги за перші 2 с, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,1.

23.48. Сани масою 7 кг зісковзують з гірки довжиною 5 м з кутом нахилу 45°. Яку роботу виконує сила тяжіння?

23.49. Розрахуйте потужність потоку води, що падає з греблі висотою 30 м, якщо щохвилини її витрачається 150 м^3.

23.50. Міні-ГЕС має потужність водяного потоку 150 кВт. Скільки кубометрів води падає щосекунди з її греблі, якщо висота греблі 5 м?

23.51. На горизонтальній ділянці шляху довжиною 2 км поїзд масою 800 т розігнався від 54 км/год до 72 км/год. Визначте роботу та середню потужність локомотива на цій ділянці, якщо коефіцієнт тертя 0,005.

23.52. На момент зльоту учбовий літак АН-52 повинен набрати швидкість 90 км/год. Яку потужність розвивають його двигуни на злітній смузі довжиною 100 м, якщо маса літака 1 т, а коефіцієнт опору 0,02?

23.53. Потяг, вага якого 600 кН, відходить на 200 м від станції за 40 с. Визначте миттєву потужність, яку розвивають двигуни потяга на момент $t = 40$ с, якщо коефіцієнт опору рухові 0,025.

23.54. Вантажівка масою 6 т, рухаючись рівноприскорено, на момент, коли швидкість її руху становить 72 км/год, має потужність 150 кВт. З яким прискоренням рухається вантажівка?

23.55. Електровоз, рухаючись з постійною швидкістю 54 км/год, розвиває потужність 600 кВт. Визначте силу тяги електровоза, якщо ККД його двигунів 75 %.

23.56. Визначте силу опору різанню стругального станка, якщо швидкість різання 0,75 м/с, потужність двигуна станка 7,5 кВт, а його ККД 70 %.

23.57. Ківш екскаватора піднімає 200 кг піску на висоту 3 м за 5 с. Визначте ККД двигуна підйомного пристрою, якщо його потужність 2 кВт.

23.58. Потужність двигуна насоса 28 кВт, а ККД — 45 %. На яку висоту насос може підняти 150 м^3 нафти за 10 хв?

23.59. Для відкачування води з шахти поставили насос з двигуном потужністю 7 кінських сил (1 к. с. $\approx$ 736 Вт). Скільки тон води можна відкачати з шахти глибиною 20 м за 5 год безперервної роботи насоса, якщо його ККД 82 %?

23.60. Людина качає ручним насосом з ККД 30 % воду з колодязя. Визначте глибину колодязя, якщо людина за 1 годину накачала 1,2 м^3 води. Потужність людини вважайте рівною 0,1 кінської сили.

23.61. Підйомний кран, двигун якого має потужність 15 кВт, піднімає вантаж зі швидкістю 0,3 м/с. Вантаж якої маси піднімає кран, якщо ККД двигуна 75 %?

23.62. Потужність гідроелектростанції становить 75 МВт, а ККД її турбіни — 80 %. Скільки кубометрів води щосекунди падає з її греблі? Гребля піднімає рівень води на 15 м.

23.63. Яку потужність має гідроелектростанція, якщо на лопаті її турбіни з висоти 12 м щохвилини падає 220 $м^3$ води? ККД турбіни 85 %.

23.64. Який ККД має похила площина з кутом нахилу 15°, якщо коефіцієнт тертя під час руху дорівнює 0,2?

23.65. Визначте ККД похилої площини довжиною 2,6 м та висотою 1 м, якщо коефіцієнт тертя під час руху по ній становить 0,15.

23.66. За допомогою рухомого блоку піднімають вантаж масою 33 кг на висоту 4 м, прикладаючи до вільного кінця мотузки силу 200 Н. Визначте ККД блоку, якщо маса самого блоку 1,5 кг. Яка сила тертя діє під час підйому вантажу?

23.67. Який ККД має рухомий блок масою 900 г, якщо з його допомогою підняли вантаж масою 30 кг?

3-й рівень складності

23.68. Піднімаючи мармурову статую з дна озера глибиною 10 м, археологи виконали роботу 34 кДж. Визначте масу статуї. Опором води можна знехтувати. $\rho_{марм} = 2700$ кг/$м^3$.

23.69. Зі дна річки глибиною 10 м на берег, висота якого 5 м, підняли гранітну брилу об'ємом 0,4 $м^3$. Яка робота була виконана при цьому?

23.70. Яку роботу виконує лівий шлуночок серця за 1 хв, якщо систолічний тиск дорівнює 16 кПа, а об'єм крові, що виштовхується при кожному скороченні шлуночка, становить 70 $см^3$? Частота пульсу 68 ударів за хвилину.

23.71. У давнину жорна млинів приводили в рух коні. Визначте силу тяги коня, який рухався по колу радіусом 3 м, здійснюючи 4 оберти за хвилину. Потужність коня вважайте рівною 500 Вт.

23.72. Двигун шліфувального верстата має потужність 300 Вт і обертається з частотою 480 об/хв. Деталь під час обробки притискають до робочої поверхні верстата із силою 120 Н. Визначте діаметр шліфувального диска. Коефіцієнт тертя між деталлю та робочою поверхнею диска 0,4.

23.73. З якою швидкістю поїзд масою 600 т рівномірно піднімається по схилу з уклоном 0,005, якщо сила тертя становить 10 кН, а потужність двигунів тепловоза 800 кВ?

23.74. Тягова потужність трактора Т-150 72 кВт. З якою постійною швидкістю він зможе тягнути причеп масою 5 т на підйом з кутом нахилу 12°, якщо коефіцієнт тертя становить 0,4?

23.75. Визначте середню потужність, яку розвиває двигун мотоцикла на підйомі, що становить 2 м на 100 м шляху, якщо мотоцикліст, рушаючи з місця, через 100 м досягає швидкості 36 км/год. Загальна маса мотоцикліста і мотоцикла 400 кг. Коефіцієнт тертя становить 0,08.

23.76. Велосипедист масою 80 кг, заїжджаючи на гору з кутом нахилу 2°, розганяється до швидкості 7,2 км/год на ділянці довжиною 50 м. Яку середню потужність розвиває велосипедист? Коефіцієнт опору 0,03.

23.77. З шахти глибиною 200 м рівномірно піднімають кліть масою 500 кг на канаті, кожен метр якого має масу 1,5 кг. Яку роботу при цьому виконують? Визначте ККД установки. Опором повітря можна знехтувати. Прискорення вільного падіння $g \approx 9{,}8$ м/с^2.

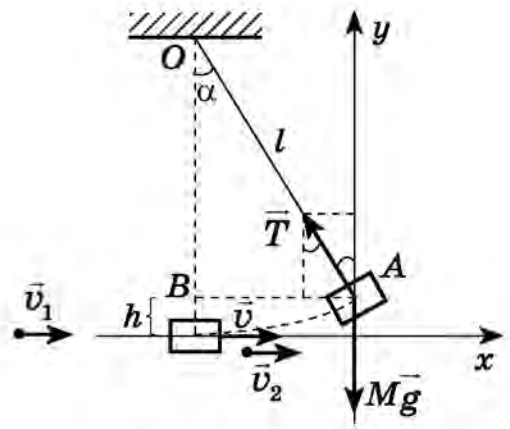
23.78. Транспортер з ККД 80 %, довжина стрічки якого 4 м, а кут нахилу 22°, піднімає вантаж масою 400 кг на платформу за 2 с. Яку потужність розвиває електродвигун транспортера?

23.79. На естакаду заввишки 3 м, рухаючись рівномірно зі швидкістю 18 км/год, за 3 с заїхав мотоцикліст, маса якого з мотоциклом 90 кг. Визначте силу тяги двигуна мотоцикла, якщо ККД похилої площини 75 %. Яку потужність розвинув двигун?

24. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Приклад розв'язування задач

Задача. Куля масою 10 г летіла горизонтально зі швидкістю 800 м/с і пробила тіло масою 1,2 кг, яке висить на підвісі довжиною 1,5 м (див. рисунок). У результаті швидкість кулі зменшилась до 700 м/с. Визначте силу натягу підвісу у момент найбільшого відхилення тіла від положення рівноваги. Опором повітря знехтуйте.

Дано:	*СІ*	*Розв'язання*
$m = 10$ г	$m = 10^{-2}$ кг	
$M = 1{,}2$ кг		
$v_1 = 800$ м/с		
$v_2 = 700$ м/с		
$l = 1{,}5$ м		
$g = 10$ м/с^2		
T — ?		

У момент найбільшого відхилення на тіло діють дві сили: сила тяжіння ($m\vec{g}$) та сила натягу підвісу ($\vec{T}$), причому $T\cos\alpha = Mg$, звідки $T = \dfrac{Mg}{\cos\alpha}$. Розглянемо трикутник AOB, де $\cos\alpha = \dfrac{OB}{OA} = \dfrac{l-h}{l}$, тоді $T = \dfrac{Mgl}{l-h}$.

Висоту підняття тіла h визначимо, скориставшись законом збереження енергії, згідно з яким $\dfrac{Mv^2}{2} = Mgh$, звідки $h = \dfrac{v^2}{2g}$.

За законом збереження імпульсу: $m\vec{v}_1 = m\vec{v}_2 + M\vec{v}$, або в проекціях на вісь OX: $mv_1 = mv_2 + Mv$, звідки $v = \dfrac{m(v_1 - v_2)}{M}$, тоді $h = \dfrac{m^2(v_1 - v_2)^2}{2gM^2}$ і, відповідно, $T = \dfrac{Mgl}{l - \dfrac{m^2(v_1 - v_2)^2}{2gM^2}}$.

Після необхідних перетворень отримуємо кінцеву формулу:

$$T = \frac{2M^3g^2l}{2M^2gl - m^2(v_1 - v_2)^2}.$$

Перевіримо одиниці: $[T]=\dfrac{\text{кг}^3\cdot\dfrac{\text{м}^2}{\text{с}^4}\cdot\text{м}}{\text{кг}^2\cdot\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}\cdot\text{м}-\text{кг}^2\cdot\left(\dfrac{\text{м}}{\text{с}}-\dfrac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}=\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}=\text{Н}.$

Виконаємо розрахунки:

$$\{T\}=\frac{2\cdot1{,}2^3\cdot10^2\cdot1{,}5}{2\cdot10\cdot1{,}5\cdot1{,}2^2-\left(10^{-2}\right)^2\cdot(300-700)^2}\approx12{,}3.$$

Отже, $T\approx12{,}3$ Н.

Відповідь: сила натягу підвісу у момент найбільшого відхилення тіла $T\approx12{,}3$ Н.

1-й рівень складності

24.1. На підставці стоїть ваза масою 1,5 кг. Висота підставки 1,8 м. Визначте потенціальну енергію вази відносно підлоги та відносно столу, висота якого 1,2 м.

24.2. Визначте потенціальну енергію тіла масою 12 кг, що перебуває на висоті 8 м над поверхнею землі.

24.3. На якій висоті над поверхнею землі м'яч масою 350 г має потенціальну енергію 14 Дж?

24.4. На висоті 22 м над поверхнею землі потенціальна енергія кульки становить 4,4 кДж. Визначте її масу.

24.5. М'яч масою 300 г кинули з висоти 8 м, після удару об землю він підскочив на висоту 7 м. На скільки змінилася потенціальна енергія м'яча? Чому?

24.6. Визначте потенціальну енергію стиснутої пружини, яка під дією сили 2 кН скоротилася на 24 мм.

24.7. Потенціальна енергія пружно деформованого гумового джгута жорсткістю 5 кН/м становить 16 Дж. Визначте його абсолютне видовження.

24.8. Потенціальна енергія пружини, стиснутої на 5 см, дорівнює 64 кДж. Визначте коефіцієнт жорсткості цієї пружини.

24.9. Яку кінетичну енергію має тіло масою 2 кг, що рухається зі швидкістю 3 м/с?

24.10. Визначте масу метеора, який рухається зі швидкістю 40 км/с і має кінетичну енергію 40 ГДж.

24.11. З якою швидкістю має рухатись автомобіль масою 1,5 т, щоб його кінетична енергія становила 180 кДж?

24.12. Яку роботу необхідно виконати, щоб зупинити автомобіль масою 2 т, який рухається зі швидкістю 54 км/год?

24.13. Щоб пробити дошку завтовшки 100 мм, необхідно виконати роботу 800 Дж. Чи може пробити її куля масою 16 г, яка підлітає до дошки зі швидкістю 300 м/с?

24.14. Визначте масу поїзда, якщо для збільшення його швидкості від 36 км/год до 54 км/год електровоз виконав роботу 190 МДж.

24.15. Визначте повну механічну енергію космічного корабля масою 2 т, який рухається з першою космічною швидкістю, що дорівнює 7,9 км/с, на висоті 300 км.

? **24.16.** Поясніть, чому для запуску супутника більшої маси на певну орбіту необхідно витратити більше енергії, ніж для запуску супутника меншої маси.

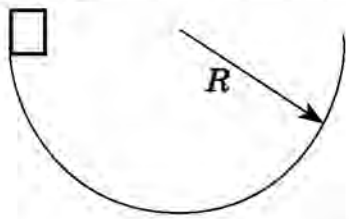
? **24.17.** Парашутист рівномірно спускається на парашуті, отже, його кінетична енергія не змінюється, а потенціальна зменшується. Чи не порушується закон збереження енергії? Чому?

24.18. Хлопчик на санчатах з'їжджає з гірки висотою 1 м, набуваючи в її кінці швидкості 4 м/с. Чи зберігається при цьому русі механічна енергія, якщо маса хлопчика разом із санчатами 40 кг? Чому? Яку роботу виконує сила опору? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

24.19. На яку максимальну висоту над поверхнею Землі може піднятися підкинуте тіло масою 500 г, якщо в момент кидання кінетична енергія тіла дорівнює 200 Дж? Прискорення вільного падіння вважайте рівним 9,8 м/с^2.

24.20. Зелений коник стрибає з місця вертикально вгору на висоту 54 см. Яку швидкість він має у момент відштовхування? Силою опору повітря знехтуйте.

24.21. З краю масивної сферичної чаші радіусом 45 см зісковзує без тертя невеличке тіло. Положення тіла у початковий момент часу показано на рисунку. Визначте швидкість руху цього тіла в нижній точці чаші.



24.22. Краплина води вільно падає з висоти 450 м. Визначте її потенціальну та кінетичну енергії на висоті 200 м, якщо маса краплини 2 г, а опором повітря можна знехтувати.

24.23. Камінь кинули вгору зі швидкістю 20 м/с. Визначте його потенціальну та кінетичну енергії на висоті 4 м відносно точки кидання, якщо маса каменя дорівнює 30 г. Опором повітря можна знехтувати.

24.24. Вагон масою 36 т, який рухається зі швидкістю 2 м/с, наштовхується на пружинний амортизатор і зупиняється. На скільки стиснулась пружина амортизатора, якщо її жорсткість становить 225 кН/м?

24.25. Хлопчик випустив камінчик масою 20 г з рогатки. Камінчик досяг висоти 40 м і впав. Під час «пострілу» гумовий джгут, використаний у рогатці, розтягнувся на 20 см. Визначте коефіцієнт жорсткості джгута. Опором повітря можна знехтувати.

24.26. Якої швидкості набула стріла, випущена вгору, масою 50 г, якщо перед пострілом лук був деформований на 10 см? Коефіцієнт жорсткості лука дорівнює 2 кН/м. На яку максимальну висоту підніметься стріла? Опором повітря знехтувати.

2-й рівень складності

24.27. Яку кінетичну енергію має тіло масою 500 г через 2 с від початку вільного падіння, якщо воно не встигло досягти поверхні землі?

24.28. Візок масою 9 кг рухається під дією сили 60 Н. Визначте кінетичну енергію руху візка через 3 с від початку його руху.

24.29. Однорідна куля (радіус кулі R; густина речовини, з якої вона виготовлена, ρ) лежить на горизонтальній поверхні. Чому дорівнює потенціальна енергія кулі?

? **24.30.** У якому випадку необхідно менше енергії: під час запуску штучного супутника Землі вздовж меридіана чи вздовж екватора у бік обертання Землі?

24.31. Визначте потенціальну та кінетичну енергії тіла масою 100 г, кинутого вертикально вгору зі швидкістю 15 м/с, через 2 с від початку руху.

24.32. Тіло кинули горизонтально зі швидкістю 10 м/с. Визначте швидкість тіла через 1 с після початку руху, якщо на цей момент тіло ще не досягло земної поверхні.

24.33. З висоти 2 м на горизонтальну сталеву поверхню падає м'яч масою 200 г і підстрибує на висоту 1,5 м. Визначте переданий підлозі імпульс, зміну механічної енергії та поясніть причини цієї зміни.

24.34. З якою швидкістю слід кинути вниз з висоти 3 м тенісну кульку, щоб після абсолютно пружного удара об землю вона підстрибнула на висоту 8 м? Опором повітря можна знехтувати. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

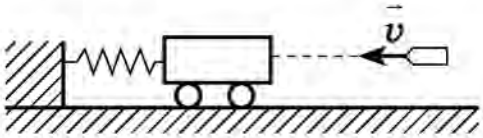
24.35. М'яч кинули вертикально вгору зі швидкістю 16 м/с. На якій висоті кінетична енергія м'яча дорівнюватиме його потенціальній енергії? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

24.36. З якою швидкістю слід пустити вертикально вгору стрілу, щоб на висоті 7,5 м її кінетична енергія була вдвічі менша від потенціальної?

24.37. З висоти 10 м вертикально вгору кинули м'яч зі швидкістю 5 м/с. Визначте швидкість, з якою м'яч торкнеться поверхні землі. Опором повітря можна знехтувати.

24.38. Тіло кинули з висоти 3 м під кутом 60° до горизонту з початковою швидкістю 13 м/с. Визначте швидкість, з якою тіло торкнеться поверхні землі, та її напрямок. Опором повітря можна знехтувати.

24.39. Куля потрапляє в ящик з піском, маса якого 9 кг, і застряє у ньому (див. рисунок). На скільки стиснеться пружина жорсткістю 400 Н/м, якщо маса кулі 8 г і рухається вона зі швидкістю 100 м/с?

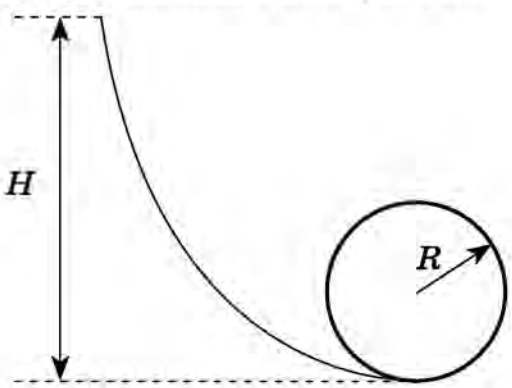


3-й рівень складності

? **24.40.** Після струшування неповного відра з картоплею найбільші картоплини завжди виявляються зверху. Чому?

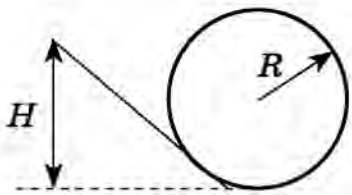
? **24.41.** Рухаються два однакових тіла: одне (тіло A) зісковзує без тертя по похилій площині, а друге (тіло B) одночасно з першим вільно падає вздовж катета тієї самої площини. Визначте: а) чи будуть кінцеві швидкості тіл однаковими; б) чи відмінна від нуля їхня відносна швидкість.

24.42. Велосипедист повинен проїхати по треку, який має форму «мертвої петлі» радіусом $R = 3$ м (див. рисунок). З якої найменшої висоти велосипедист має почати рух, щоб, не працюючи педалями, проїхати верхню точку треку? Тертям можна знехтувати.

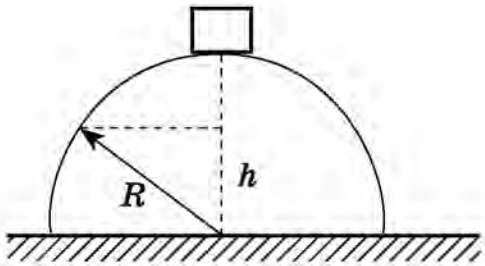


24.43. Невеличке тіло зісковзує по похилій площині, яка переходить у «мертву петлю», як показано на рисунку, з висоти $H = 2R$, де R — радіус петлі. На якій висоті тіло відірветься від петлі? Тертям можна знехтувати.

24.44. Тіло, що виведене зі стану рівноваги, зісковзує без тертя з верхньої точки півсфери радіусом R (див. рисунок). На якій висоті тіло відірветься від поверхні півсфери?



До задачі 24.43



До задачі 24.44

24.45. Дві кульки, маси яких 30 г і 15 г, рухаються з однаковою швидкістю 3 м/с назустріч одна одній. З якими швидкостями вони розлетяться після абсолютно пружного центрального удару?

24.46. У скільки разів змінилася швидкість руху атома Гелію після абсолютно пружного центрального зіткнення з нерухомим атомом Гідрогену?

24.47. Дві кульки, маси яких 30 г і 15 г, рухаються зі швидкостями 2 м/с і 3 м/с відповідно: а) назустріч одна одній; б) в один бік. З якими швидкостями вони рухатимуться після їхнього непружного удару? На скільки зміниться кінетична енергія системи після зіткнення кульок?

24.48. Кулька масою m, рухаючись зі швидкістю v, зіштовхується з такою самою кулькою, тільки нерухомою. Яка частина механічної енергії перетворилася на внутрішню, якщо удар був непружним?

24.49. Кулю масою 15 кг закріпили на невагомому стрижні, який відхилили від вертикалі на 60°. Визначте силу пружності, що виникає у стрижні в момент проходження кулею положення рівноваги.

24.50. На мотузці висить вантаж масою 25 кг. Визначте кут, на який можна відхилити вантаж, щоб у момент проходження ним положення рівноваги мотузка не обірвалася. Міцність мотузки на розрив 550 Н. Масою мотузки можна знехтувати.

24.51. Кулька масою 1 кг прикріплена до невагомої нитки довжиною 2,5 м. На яку найбільшу висоту можна відвести кульку, щоб в момент проходження нею положення рівноваги нитка не обірвалася?

24.52. На тонкому легкому стрижні завдовжки 1 м висить тягар. В нього влучає куля, яка летіла горизонтально, внаслідок чого стрижень відхиляється від вертикалі на кут 10°. Маса кулі у 1000 разів менша за масу тягаря. Визначте швидкість, з якою рухалася куля. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

24.53. Два тягарці, маси яких 100 г і 150 г, підвішені на паралельних нитках завдовжки по 80 см так, що тягарці дотикаються один до одного. Менший з них відхилили на 60° і відпустили. На яку висоту піднімуться тягарці, якщо удар був непружним?

25. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ

Приклад розв'язування задач

Задача. Два тягарці, підвішені до пружини, коливаються з періодом 2,5 с. Один з цих тягарців, підвішений до тієї самої пружини, коливається з періодом 1,5 с. Яким буде період коливань другого тягарця на тій самій пружині?

Дано:
$T = 2{,}5$ с
$T_1 = 1{,}5$ с
T_2 — ?

Розв'язання

Згідно з формулою періода пружинного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{k}}; \qquad (1)$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}; \qquad (2)$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}}. \qquad (3)$$

З рівняння (2) виразимо $k = \dfrac{4\pi^2 m_1}{T_1^2}$.

Поділивши рівняння (1) на рівняння (2), знайдемо m_2:

$$m_2 = \frac{m_1\left(T^2 - T_1^2\right)}{T_1^2}.$$

Після підстановки отриманих виразів для k та m_2 у формулу для визначення періоду коливань другого тягарця матимемо:

$$T_2 = \sqrt{T^2 - T_1^2}.$$

Перевіримо одиниці: $\left[T_2\right] = \sqrt{\text{с}^2 - \text{с}^2} = \text{с}$.

Виконаємо розрахунки: $\left\{T_2\right\} = \sqrt{2{,}5^2 - 1{,}5^2} = 2$.

Отже, $T_2 = 2$ с.

Відповідь: період коливань другого тягарця $T_2 = 2$ с.

1-й рівень складності

25.1. Одна кулька міститься на дні півсфери, інша — на вершині такої самої півсфери. Яка з них здійснюватиме вільні коливання після виведення зі стану рівноваги?

25.2. Які з наведених нижче предметів є такими, що вільно коливаються: а) голка швацької машини; б) струна гітари; в) поршень двигуна внутрішнього згоряння; г) стрілка компаса; д) гілка куща після пориву вітру?

25.3. Човен, який гойдається на морських хвилях, за 25 с здійснив 10 повних коливань. Визначте період і частоту коливань човна.

25.4. За 60 с тіло здійснює 120 повних коливань. Визначте період, частоту та циклічну частоту коливань цього тіла.

25.5. Обчисліть значення частоти і періоду коливань тіла, якщо циклічна частота його коливань дорівнює 50π $с^{-1}$.

25.6. Період коливань маленької кульки на довгій нерозтяжній нитці дорівнює 4 с. Визначте, скільки повних коливань кулька здійснить за 6 с.

25.7. Рівняння гармонічних коливань має вигляд: $x = 0{,}05\sin\left(0{,}01\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$, де всі величини задані в системі СІ. Визначте амплітуду, початкову фазу, циклічну частоту та період цих коливань.

25.8. Охарактеризуйте коливання, яке задано рівнянням $x = 2\cos 4\pi t$, якщо t вимірюється в секундах, а x — у сантиметрах. Побудуйте графік цих коливань.

25.9. Запишіть рівняння гармонічних коливань, що здійснюються за законом косинуса, якщо період коливань становить 0,25 с, амплітуда — 6 см, а початкова фаза коливань — $0{,}5\pi$ рад.

25.10. Який вигляд має рівняння гармонічних коливань для тіла, початкова фаза коливань якого дорівнює нулю, циклічна частота становить 10π $с^{-1}$, а максимальне відхилення від положення рівноваги — 12 см? Візьміть до уваги, що коливання здійснюється за законом синуса. Побудуйте графік цих коливань.

25.11. Визначте амплітуду гармонічних коливань, що здійснюються за законом косинуса, якщо для фази $\frac{\pi}{3}$ зміщення від положення рівноваги становить 4 см.

25.12. Для якої фази гармонічних коливань, що здійснюються за законом синуса з амплітудою 0,3 м, зміщення становить 10 см?

? **25.13.** Як зміниться період коливань пружинного маятника, якщо зменшити: а) масу підвішеного до пружини вантажу; б) коефіцієнт жорсткості пружини; в) амплітуду коливань?

25.14. Тіло масою 200 г коливається на пружині жорсткістю 2000 Н/м. Визначте період коливань тіла.

25.15. З якою частотою коливається тягарець масою 500 г на пружині з коефіцієнтом жорсткості 1,8 кН/м?

? **25.16.** Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо збільшити: а) довжину підвісу; б) амплітуду коливань?

25.17. Довжина математичного маятника 5 м. Визначте період його коливань. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

25.18. Довжина маятника Фуко в Ісаакієвському соборі у Санкт-Петербурзі дорівнює 98 м. За який час він здійснює одне повне коливання? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

25.19. Підвішена до пружини жорсткістю 600 Н/м куля коливається з амплітудою 5 см. Визначте повну енергію її коливань.

25.20. Тягарець масою 400 г коливається з амплітудою 4 см на пружині, проходячи положення рівноваги зі швидкістю 4 м/с. Визначте повну механічну енергію коливань і жорсткість пружини.

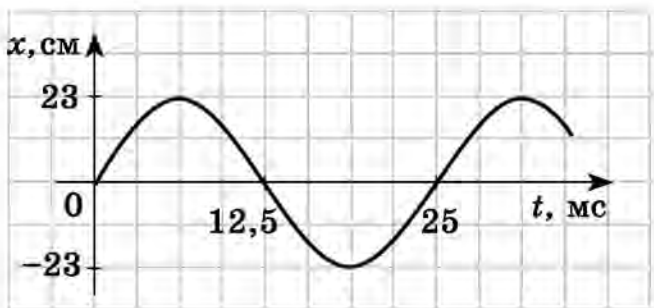
25.21. Швидкість руху тіла, що здійснює гармонічні коливання, в момент проходження положення рівноваги дорівнює 0,2 м/с. Визначте масу цього тіла, якщо повна енергія його коливань становить 10 мДж.

? **25.22.** Які перетворення енергії відбуваються під час коливань математичного маятника у вакуумі (розгляньте його рух за один період)?

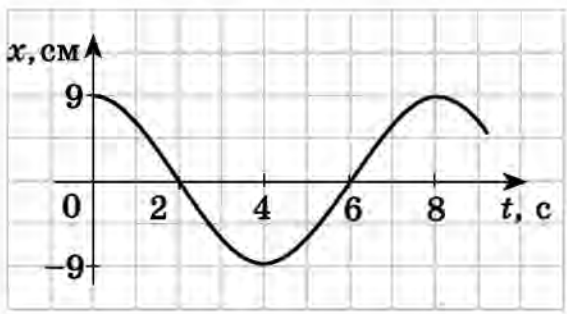
2-й рівень складності

25.23. На рисунку подано графік гармонічних коливань. Охарактеризуйте ці коливання і запишіть рівняння коливань.

25.24. За графіком, який подано на рисунку, охарактеризуйте коливання, що здійснює тіло, і запишіть рівняння залежності координати тіла від часу.



До задачі 25.23



До задачі 25.24

25.25. Гармонічні коливання матеріальної точки описуються рівнянням $x = 0{,}07\cos\left(\frac{\pi t}{4} + \frac{\pi}{3}\right)$. Визначте період коливань, зміщення матеріальної точки через 2 с від початку коливань. Побудуйте графік цих коливань.

25.26. Запишіть рівняння і побудуйте графік гармонічних коливань тіла, що здійснюються за законом синуса, з амплітудою 45 см, якщо за 2 хв відбулося 40 коливань. Початкова фаза коливань дорівнює $\frac{\pi}{6}$ рад.

25.27. Період гармонічних коливань матеріальної точки, що здійснюються за законом синуса, дорівнює 2,4 с, амплітуда — 5 см, початкова фаза коливань — нулю. Запишіть рівняння і побудуйте графік цих коливань, а також визначте зміщення матеріальної точки через 0,3 с після початку коливань.

25.28. Тіло масою 20 г здійснює гармонічні коливання за законом косинуса з періодом 12 с і початковою фазою $0{,}5\pi$. Запишіть рівняння та побудуйте графік цих коливань, а також визначте зміщення точки через 1 с після початку коливань, якщо амплітуда коливань дорівнює 25 см.

25.29. Два тіла здійснюють коливання з однією частотою. Побудуйте на одній координатній площині приблизні графіки залежності координат цих тіл від часу у таких випадках: а) коливання тіл відбуваються синфазно; б) зсув фаз становить $\frac{\pi}{2}$ рад; в) коливання протифазні.

25.30. Визначте масу вантажу, який здійснює 200 повних коливань за 2 хв 40 с на пружині жорсткістю 250 Н/м.

25.31. Яку жорсткість має пружина, на якій кулька масою 150 г здійснює 250 коливань за 2,5 хв?

25.32. Протягом якого часу вантаж масою 3,6 кг здійснить 20 коливань на пружині, жорсткість якої становить 10 Н/м?

? **25.33.** Пружинний маятник складається зі стальної кульки та пружини. Як зміниться період коливань цього маятника, якщо до пружини замість стальної кульки підвісити алюмінієву кульку того ж діаметра?

25.34. До пружини підвісили тягарець, внаслідок чого вона розтягнулась на 16 см. Визначте період вільних коливань тягарця, якщо його відтягли вниз на 8 см і відпустили. Запишіть рівняння цих коливань.

25.35. З якою частотою здійснюватиме коливання тягарець на пружині, яка у вертикальному положенні під дією цього тягарця розтягується на 2 см?

25.36. Тягарець, підвішений до пружини, коливається з частотою 2 Гц. На скільки розтягнеться пружина, якщо тягарець висітиме на тій самій пружині?

25.37. На пружині жорсткістю 2 Н/м підвішено вантаж масою 500 г. На яку відстань необхідно відвести вантаж від положення рівноваги, щоб у подальших коливаннях швидкість його руху в момент проходження положення рівноваги мала значення 1 м/с?

? **25.38.** Як зміниться хід маятникового годинника, якщо у літню спеку його винести з неглибокого підвалу на вулицю? Свою відповідь обґрунтуйте.

? **25.39.** Як зміниться хід маятникового годинника, якщо його перемістити з Землі на Місяць? Відповідь обґрунтуйте.

? **25.40.** Маятниковий настінний годинник почав відставати. Як слід змінити положення тягарця на стрижні, який слугує маятником? Відповідь обґрунтуйте.

? **25.41.** На довгій нитці коливається маленька свинцева кулька. Як зміниться період коливань, якщо свинцеву кульку замінити скляною? Чому?

? **25.42.** Як зміниться частота коливань маленької сталевої кульки, якщо під нею розмістити постійний магніт? Чому?

25.43. Математичний маятник довжиною 2,5 м здійснив 100 коливань за 314 с. Визначте період коливань маятника і прискорення вільного падіння у цьому місці.

25.44. Визначте довжину математичного маятника, який здійснює 60 коливань за 2 хв. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

25.45. Виконуючи лабораторну роботу, учень отримав такі результати: маятник довжиною 95 см здійснив 100 коливань за 196 с. Яке значення прискорення вільного падіння отримав учень?

25.46. Які довжини повинні мати секундні маятники на полюсі ($g = 9{,}83$ м/с^2) і на екваторі ($g = 9{,}78$ м/с^2)?

25.47. Визначте період коливань математичного маятника на Марсі, якщо на Землі період коливань цього маятника становив 2 с. Прискорення вільного падіння на Марсі у 2,6 разу менше, ніж на Землі.

25.48. Запишіть рівняння коливань математичного маятника довжиною 1,6 м, амплітуда коливань якого становить 11 см.

25.49. Коливання математичного маятника в одиницях системи СІ задано рівнянням $x = 0{,}13\cos\pi t$. Визначте довжину цього маятника.

25.50. За однаковий час один математичний маятник здійснює 80 коливань, а інший — 120. Визначте, у скільки разів один із них довший за інший.

25.51. Визначте співвідношення частот коливань двох математичних маятників, якщо один з них у 4 рази коротший за інший.

25.52. Визначте довжини двох математичних маятників, якщо відомо, що один з них на 30 см довший, а за однаковий час вони здійснили відповідно 32 і 28 коливань.

25.53. Тягарець, підвішений до пружини жорсткістю 75 Н/м, здійснює коливання з амплітудою 6 см. Швидкість тягарця в момент проходження положення рівноваги дорівнює 0,5 м/с. Визначте масу тягарця.

25.54. Тягарець масою 400 г, який коливається з амплітудою 10 см на пружині, проходить положення рівноваги зі швидкістю 4 м/с. Визначте повну механічну енергію коливань, їхню частоту та жорсткість пружини.

? 25.55. Чи може маленький хлопчик розкачати на підвісній гойдалці свою маму? Як?

? 25.56. Якщо ви несете вантаж, підвішений на мотузці до палиці на вашому плечі, то при певному темпі ходи вантаж починає розгойдуватись. Чому це відбувається? Чи можна подолати небажане розгойдування?

25.57. Період власних вертикальних коливань вагона дорівнює 1,25 с. На стиках рейок вагон отримує періодичні удари, які спричинюють його вимушені коливання. З якою мінімальною швидкістю рухається потяг, якщо пасажири відчувають сильне вертикальне розкачування вагона? Довжина рейок між стиками 25 м.

25.58. У давнину воду носили від колодязя у відрах, підвішених до перевесла. Час одного власного коливання відра становить 1,5 с. Коли швидкість людини, яка несла відра, дорівнювала 0,4 м/с, вода починала вихлюпуватися з відер. Визначте довжину кроку людини.

3-й рівень складності

25.59. Кулька масою 200 г, підвішена до невагомої пружини жорсткістю 20 Н/м, здійснює гармонічні коливання. Визначте зміщення кульки від положення рівноваги в той момент, коли її прискорення становить 3 м/с^2.

25.60. Рівняння гармонічних коливань тіла масою 5 кг має вигляд $x = 0{,}5\cos(0{,}8t + 0{,}3\pi)$, де всі величини задано в одиницях системи СІ. Визначте максимальну силу, що діє на тіло під час коливань.

25.61. Тіло здійснює гармонічні коливання за законом синуса з циклічною частотою $\omega = 5$ с$^{-1}$. Визначте, в який момент часу зміщення тіла від положення рівноваги дорівнюватиме 40 см, а швидкість його руху — 100 см/с. Вважайте початкову фазу коливань рівною нулю.

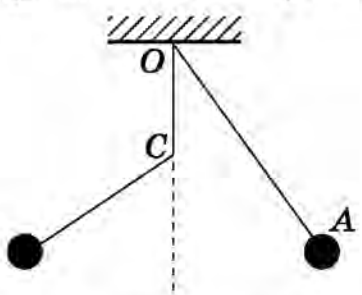
25.62. На двох однакових пружинах у вертикальній площині коливаються тягарці: один — з періодом 3 с, а другий — з періодом 4 с. З яким періодом коливатимуться два тягарці, якщо їх підвісити до однієї з цих пружин?

25.63. На двох однакових пружинах у вертикальній площині коливаються тягарці: один — з періодом 3 с, а другий — з періодом 4 с. З яким періодом коливатимуться два тягарці, якщо їх підвісити до тих самих пружин, з'єднаних послідовно?

25.64. На двох однакових пружинах у вертикальній площині коливаються тягарці: один — з періодом 3 с, а другий — з періодом 4 с. З яким періодом коливатимуться два тягарці, якщо їх підвісити до тих самих пружин, з'єднаних паралельно?

25.65. Вантаж, підвішений до пружини, вивели з положення рівноваги і відпустили. Визначте, через який мінімальний проміжок часу після початку коливань кінетична і потенціальна енергії вантажу будуть однаковими.

25.66. Визначте період коливань математичного маятника OA довжиною $l = 90$ см, якщо у точці C на відстані $\frac{l}{2}$ від точки підвісу, вбито цвях (див. рисунок).



25.67. Кульку підвісили до нитки довжиною l, відвели від положення рівноваги і відпустили. Як зміниться період коливань такого маятника, якщо у точці C $\left(OC = \frac{l}{4}\right)$ вбити цвях (див. рисунок до задачі 25.66).

25.68. Матеріальна точка коливається, як показано на рисунку до задачі 25.66. Визначте довжину маятника OA, якщо за 6 с здійснюється чотири коливання, а відстань від точки підвісу до вбитого у стіну цвяха $OC = 0{,}75\,OA$. Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

? **25.69.** Як зміниться частота коливань негативно зарядженої кульки, що коливається на ізольованому підвісі над горизонтальною поверхнею, якщо поверхні надати: а) позитивного заряду; б) негативного заряду? Свою відповідь обґрунтуйте.

? **25.70.** Маленька мідна кулька, яка здійснює гармонічні коливання на довгому підвісі, починає вільно падати разом із підвісом. Чи коливатиметься вона під час падіння? Відповідь обґрунтуйте.

25.71. Як зміниться хід маятникового годинника, якщо його перемістити з екватора на полюс? На екваторі годинник показував точний час. Прискорення вільного падіння на екваторі: $g_е = 9{,}78$ м/с^2, на полюсі: $g_п = 9{,}83$ м/с^2.

25.72. У ліфті, який рухався рівноприскорено, період коливань математичного маятника дорівнював 1,2 с, а після зупинки — 1,3 с. З яким прискоренням рухався ліфт? У якому напрямку? Прискорення вільного падіння $g = 9{,}8$ м/с^2.

25.73. Визначте період коливання математичного маятника довжиною $l = 2$ м, який висить у вагоні потяга, що рухається з прискоренням $a = 3$ м/с^2.

25.74. Маятниковий годинник з маятником, довжина якого 1 м, поспішає на півгодини за добу. На скільки треба збільшити чи зменшити довжину маятника, щоб годинник ішов точно?

25.75. Наскільки треба збільшити чи зменшити довжину математичного маятника на висоті 20 км над поверхнею Землі, щоб періоди коливань на поверхні Землі та на висоті 20 км були однаковими? Початкова довжина маятника становить 1 м.

? **25.76.** Чи зміниться період коливань хлопчика на гойдалці, якщо він спершу гойдався на ній сидячи, а потім — стоячи? Чому?

25.77. Дівчинка масою 40 кг гойдається на гойдалці з амплітудою 80 см, здійснюючи 8 коливань за 32 с. Визначте повну механічну енергії коливань, а також кінетичну та потенціальну енергії дівчинки через $\frac{1}{3}$ періоду після початку коливань.

25.78. Математичний маятник довжиною 1 м коливається з амплітудою 8 см. Визначте повну механічну енергію коливань та швидкість матеріальної точки масою 100 г у момент проходження положення рівноваги.

25.79. Маленька кулька, що коливається на 2-метровому підвісі, проходить положення рівноваги зі швидкістю 0,5 м/с. Визначте амплітуду її коливань.

26. МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ

Приклад розв'язування задач

Задача. Визначте частоту звукових коливань у сталі, якщо відстань між двома найближчими точками звукової хвилі, в яких коливання відрізняються за фазою на π, дорівнює 3 м. Швидкість звуку у сталі вважайте рівною 5000 м/с.

Дано:	*Розв'язання*
$\Delta\varphi = \pi$ $v = 5000\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ $l = 3$ м	Швидкість розповсюдження звукової хвилі $v = \lambda\nu$, звідки $\nu = \frac{v}{\lambda}$. Зсув фаз між двома точками пружного середовища, які знаходяться на відстані l, дорівнює: $\Delta\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}$, отже, $\nu = \frac{v\Delta\varphi}{2\pi l}$.
ν — ?	

Врахувавши, що згідно з умовою $\Delta\varphi = \pi$, отримаємо кінцеву формулу: $\nu = \frac{v}{2l}$.

Перевіримо одиниці: $[\nu] = \frac{\text{м}}{\text{с}\cdot\text{м}} = \text{Гц}$.

Виконаємо розрахунки: $\{\nu\} = \frac{5000}{2\cdot 3} \approx 833$.

Таким чином, $\nu = 833$ Гц.

Відповідь: частота звукових коливань $\nu = 833$ Гц.

1-й рівень складності

26.1. Які хвилі (поздовжні чи поперечні) збуджує смичок віолончеліста у струні та у повітрі?

26.2. Чи виникають поперечні хвилі: а) у струнах під час гри на щипкових інструментах; б) у земній корі під час землетрусу; в) у повітрі, коли людина розмовляє?

26.3. Човен гойдається на морських хвилях з періодом коливань 2 с. Визначте довжину морської хвилі, якщо вона рухається зі швидкістю 3 м/с.

26.4. Визначте частоту коливань звукової хвилі довжиною 1,25 м у сталі, якщо відомо, що швидкість поширення звуку у сталі дорівнює 5 км/с.

26.5. Визначте швидкість поширення хвиль у воді, якщо джерело хвиль коливається з періодом 5 мс, а довжина хвилі дорівнює 7 м.

26.6. Визначте найменшу відстань між двома точками, що коливаються з однаковими фазами, якщо хвиля поширюється зі швидкістю 650 м/с, а частота коливань становить 185 Гц.

26.7. Хвиля від катера, що рухається по озеру, дійшла до берега за одну хвилину. Відстань між сусідніми гребенями хвилі дорівнює 1,5 м, а проміжок часу між послідовними ударами хвилі об берег становить 2 с. Визначте відстань від катера до берега.

26.8. За який проміжок часу звукова хвиля подолає відстань 29 км, якщо довжина хвилі дорівнює 7,25 м, а частота коливань становить 200 Гц?

26.9. Звукова хвиля переходить з одного середовища в інше. Яка з величин, що характеризують звукову хвилю, не змінюється?

26.10. У якому середовищі звук розповсюджуватися не може?

26.11. Якої принципової фізичної помилки припускаються автори фільмів про «зоряні війни», озвучуючи «зоряні» бої?

26.12. Вважається, що найнижчий тон чоловічого голосу має частоту 80 Гц, а найвищий тон жіночого голосу — 1300 Гц. Які довжини звукових хвиль у повітрі відповідають цим тонам? Швидкість поширення звуку у повітрі вважайте рівною 340 м/с.*

26.13. Вважається, що найменша частота звуку, який може чути людина, становить 16 Гц. Яку довжину має така звукова хвиля у повітрі?

? 26.14. Чому політ комах у більшості випадків супроводжується звуком?

? 26.15. Хто частіше змахує крилами: бджола чи джміль? Відповідь обґрунтуйте.

? 26.16. Чи можна за звуком дриля з'ясувати: працює він вхолосту чи висвердлює отвір? Відповідь обґрунтуйте.

26.17. Визначте швидкість звуку у склі, якщо звукова хвиля з частотою 1200 Гц має довжину 4,25 м.

26.18. Джерело звуку створює хвилю з частотою 15 кГц. Швидкість її поширення у гумі дорівнює 60 м/с. Чому дорівнює довжина цієї звукової хвилі під час її поширення в гумі?

26.19. Щоб визначити швидкість поширення звуку у воді, на озері розмістили на відстані 14 км два човни. На одному з них встановили пристрій, який одночасно створював звуковий сигнал у воді та світловий у повітрі. На іншому човні був спостерігач, який вимірював час приходу звукового сигналу; вважалося, що світловий сигнал досягає спостерігача миттєво. З'ясувалось, що звуковий сигнал надійшов через 10 с після світлового. Яке значення швидкості звуку у воді отримали експериментатори?

26.20. Перший гуркіт грому дійшов до спостерігача через 6 с після того, як він побачив блискавку. На якій відстані виникла блискавка? Вважайте, що блискавку спостерігач побачив миттєво.

? 26.21. Якою властивістю звуку пояснюється виникнення луни?

---

* Якщо в умовах задач не зазначено інше, вважайте, що швидкість поширення звуку в повітрі дорівнює 340 м/с.

? **26.22.** Блискавка продовжується долю секунди, а гуркіт грому буває чутно відносно довго. Чому?

26.23. Луна від пострілу дійшла до стрілка через 3 с після пострілу. На якій відстані від стрілка розміщено перепону, від якої відбився звук?

26.24. Сталеву деталь перевіряють за допомогою ультразвукового дефектоскопа. На якій глибині знайдено дефект і яка висота деталі, якщо після випромінювання ультразвуку було зафіксовано два відбитих сигнали — через 100 мкс та 200 мкс? Швидкість поширення звуку у сталі вважайте рівною 5200 м/с.

2-й рівень складності

? **26.25.** Хлопчик упустив м'яч у басейн. Чи зможе він пригнати м'яч назад до бортика, якщо створюватиме хвилі, б'ючи палицею по воді? Свою відповідь обґрунтуйте.

? **26.26.** Дерево є кращим провідником звуку, ніж повітря, однак, зачиняючи двері, ми значно менше чуємо шум у сусідньому приміщенні. Чому?

26.27. Людина, стоячи на березі моря, визначила, що відстань між двома сусідніми гребенями хвиль дорівнює 8 м і що за 1 хв повз неї пройшло 45 гребенів. Визначте швидкість поширення хвиль.

26.28. Під час штилю з катера в озеро кинули якір, від якого пішли хвилі. Рибалка на березі помітив, що хвиля дійшла до нього через 50 с, а відстань між гребенями хвиль дорівнює 50 см. Він також помітив, що за 5 с відбулося 20 сплесків хвиль об берег. На якій відстані від рибалки був катер?

26.29. Поперечна хвиля поширюється вздовж гумового шнура зі швидкістю 3 м/с, а частота коливань шнура становить 2 Гц. У яких по відношенню одна до одній фазах коливаються точки гумового шнура, якщо відстань між цими точками 75 см? Чому дорівнює зсув фаз між ними?

26.30. Хвиля з періодом коливань 4 с поширюється зі швидкістю 3,2 м/с. Чому дорівнює зсув фаз між двома точками хвилі, що лежать на одному промені, якщо відстані між ними та джерелом становлять 40 см та 60 см відповідно?

26.31. Звукова хвиля поширюється вздовж стрижня. Різниця фаз коливань між двома точками, які розміщені на відстані 1,5 м і 2 м від джерела звуку, становить $\frac{\pi}{6}$ рад. З якою швидкістю поширюється хвиля у стрижні, якщо частота коливань дорівнює 500 Гц?

26.32. Потяг, наближаючись до станції, подав сигнал, який там почули через 3 с, а через 3,4 хв потяг прибув на станцію. Вважаючи рух потяга рівномірним, визначте, з якою швидкістю він рухався.

26.33. Спортсмен почув, що куля влучила у мішень, через 1,5 с після того, як здійснив постріл. На якій відстані розміщена мішень, якщо куля летіла зі швидкістю 400 м/с?

26.34. Людина скрикнула, перебуваючи у центрі котловини діаметром 30 м. Чи почує вона луну від свого зойку, якщо відомо, що звукове відчуття у людини зберігається протягом 0,1 с?

26.35. Для пошуку риби використовують ультразвукові ехолокатори. На якій глибині пливе косяк риби, якщо проміжок часу між прийомом сигналів, що відбиваються від косяка та дна моря, становить 1,5 с, а глибина моря у цьому місці дорівнює 1,2 км? Швидкість звуку у воді 1500 м/с.

? 26.36. Якщо людина прикладе вухо до довгого металевого стрижня, а по іншому кінцю стрижня хтось ударить молотком, то людина почує подвійний удар. Чому?

? 26.37. Партизани, що вели «рейкову війну» під час Великої Вітчизняної війни, часто, щоб виявити потяг, якого вони ще не чули і не бачили, прикладали вухо до рейки. Як це їм допомагало?

26.38. На відстані 413 м від спостерігача вдарили по мідній рейці. Спостерігач, який приклав вухо до рейки, почув звук на 1,1 с раніше, ніж звук дійшов до нього через повітря. Визначте швидкість поширення звуку у міді, якщо у повітрі за даних умов вона дорівнює 340 м/с.

26.39. На якій відстані від джерела звуку перебуває спостерігач, якщо звуковий сигнал через воду дійшов до нього на 1,7 с раніше, ніж через повітря? Швидкість звуку у воді — 1500 м/с.

? **26.40.** Чому тон звуку не змінюється, коли він переходить із повітря в інше середовище, хоча швидкість поширення звуку може змінитися у кілька разів?

26.41. Довжина звукової хвилі у воді становить 3 м. Якою буде довжина цієї хвилі у повітрі? Швидкість звуку у воді дорівнює 1500 м/с. Доведіть, що людина почує цей звук.

3-й рівень складності

26.42. Механічна хвиля поширюється у пружному середовищі. Зміщення точки, віддаленої від джерела коливань на відстань $\frac{\lambda}{6}$, у момент часу $t=\frac{T}{2}$ становить 4 см. Визначте амплітуду коливань середовища.

26.43. Поперечна хвиля поширюється вздовж гумового шнура зі швидкістю 15 м/с. Період коливань точок шнура 1,2 с, амплітуда коливань 2 см. Визначте довжину хвилі, фазу та зміщення точки, віддаленої від джерела коливань на 45 м, через 4 с після початку коливань.

26.44. Чому ультразвук може переносити значно більшу енергію, ніж акустичні звукові хвилі?

26.45. У звичайній житловій кімнаті луна взагалі не спостерігається. Чи можна стверджувати, що у такому приміщенні звук не відбивається від стін, стелі, підлоги? Свою відповідь обґрунтуйте.

26.46. Сигнальний заряд, пущений із мортири вертикально вгору, спалахнув у найвищій точці свого польоту. Через 0,36 с після спалаху спостерігачі на землі почули звук розриву заряда. На яку висоту піднявся сигнальний заряд? Якою була початкова швидкість руху заряда? Опором повітря знехтуйте.

26.47. Звук від пострілу, здійсненого вертикально вгору, і куля одночасно досягають висоти 170 м. З якою швидкістю куля вилетіла з гвинтівки? Опором повітря знехтуйте.

26.48. На якій глибині у колодязі знаходиться вода, якщо звук від зроненого у колодязь каменя чути через 1 с після початку падіння каменя? Опором повітря знехтуйте.

26.49. Пароплав, рухаючись озером, дав гудок, частота якого 385 Гц. На березі звук гудка сприймається як звук 390 Гц. Як ви вважаєте: пароплав наближається чи віддаляється від берега? З якою швидкістю?

26.50. Літак відривається від злітної смуги, маючи швидкість 360 км/год. При цьому утворюється звук з частотою 255 Гц. Звук якої частоти почує людина, що перебуває на аеродромі?

27. РЕЛЯТИВІСТСЬКА МЕХАНІКА

Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте кінетичну та повну енергію релятивістського протона, модуль імпульсу якого $5{,}68\cdot10^{-19}\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. Маса протона $m=1{,}67\cdot10^{-27}$ кг. Швидкість світла у вакуумі $3\cdot10^{8}$ м/с.

Дано:

$p=5{,}68\cdot10^{-19}\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$

$m=1{,}67\cdot10^{-27}$ кг

$c=3\cdot10^{8}$ м/с

$E_к$ — ?

E — ?

Розв'язання

За означенням імпульс $p=mv$. Згідно з умовою частинка є релятивістською, отже, її імпульс дорівнює $p=\dfrac{mv}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$.

Розв'яжемо це рівняння відносно v^2:

$$v^2=\frac{p^2c^2}{p^2+m_0^2c^2}.$$

Повну енергію визначаємо згідно з формулою $E=\dfrac{mc^2}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$.

Після підстановки виразу швидкості та алгебраїчних перетворень отримаємо: $E=c\sqrt{p^2+m^2c^2}$.

Перевіримо одиниці: $[E]=\dfrac{\text{м}}{\text{с}}\sqrt{\dfrac{\text{кг}^2\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2}+\dfrac{\text{кг}^2\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2}}=\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{с}^2}=\text{Дж}$.

Виконаємо розрахунки:

$$\{E\} = 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{5{,}68^2 \cdot \left(10^{-19}\right)^2 + 1{,}67^2 \cdot \left(10^{-27}\right)^2 \cdot 3^2 \cdot \left(10^8\right)^2} \approx 2 \cdot 10^{-10}.$$

Таким чином, $E \approx 2 \cdot 10^{-10}$ Дж.

Кінетичну енергію протона можна знайти як різницю між його повною енергією та енергією спокою:

$$E_к = E - E_0 = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).$$

Після підстановки виразу швидкості та алгебраїчних перетворень отримаємо:

$$E_к = c\sqrt{p^2 + m^2c^2} - mc^2.$$

Перевіримо одиниці:

$$\left[E_к\right] = \frac{м}{с}\sqrt{\frac{кг^2 \cdot м^2}{с^2} + \frac{кг^2 \cdot м^2}{с^2}} - \frac{кг \cdot м^2}{с^2} = \frac{кг \cdot м^2}{с^2} = Дж.$$

Виконаємо розрахунки:

$$\{E_к\} = 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{5{,}68^2 \cdot \left(10^{-19}\right)^2 + 1{,}67^2 \cdot \left(10^{-27}\right)^2 \cdot 3^2 \cdot \left(10^8\right)^2} -$$

$$-1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 3^2 \cdot \left(10^8\right)^2 \approx 5 \cdot 10^{-11}.$$

Отже, $E_к \approx 5 \cdot 10^{-11}$ Дж.

Відповідь: повна енергія протона $E \approx 2 \cdot 10^{-10}$ Дж, а його кінетична енергія $E_к \approx 5 \cdot 10^{-11}$ Дж.

1-й рівень складності

? **27.1.** У яких з наведених нижче випадків можна застосувати закони класичної фізики, а в яких — тільки закони релятивістської фізики:
а) розрахунок навантаження на фундамент будинку;
б) розрахунок траєкторії польоту снаряда;
в) опис руху електронів в атомі;
г) опис руху елементарних частинок у прискорювачі?

? **27.2.** Автомобіль віддаляється від нерухомого спостерігача зі швидкістю 120 км/год. Спостерігач пускає світловий промінь у напрямку автомобіля. Яку швидкість має світловий промінь відносно автомобіля?

? **27.3.** Ракета летить назустріч світловому фронту від далекого джерела світла. З якою за модулем швидкістю ракета наближається до світлового фронту? Чому?

? **27.4.** Під час обертання Сонця навколо своєї осі один його край завжди рухається до Землі, а інший — від Землі. Чи з однаковою швидкістю приходить до Землі світло від обох країв Сонця? Чому?

? **27.5.** Які чинники визначають енергію спокою тіла?

27.6. Визначте енергію спокою сталевої кулі масою 2 кг. Чи зміниться відповідь, якщо куля того самого розміру буде дерев'яною? Швидкість поширення світла у вакуумі $3 \cdot 10^8$ м/с.

27.7. Яку масу має тіло, енергія спокою якого становить $40{,}5 \cdot 10^{16}$ Дж?

2-й рівень складності

? **27.8.** Тіло рухається відносно інерціальної системи відліку з постійною швидкістю. Для якого спостерігача не будуть проявлятися релятивістські ефекти?

27.9. Протон і нейтрон рухаються назустріч один одному зі швидкостями $2{,}1 \cdot 10^5$ км/с та $1{,}5 \cdot 10^5$ км/с відповідно. Визначте швидкість руху протона відносно нейтрона за класичною та релятивістською формулами додавання швидкостей. Який висновок можна зробити?

27.10. Космічна станція віддаляється від планети зі швидкістю $1{,}2 \cdot 10^8$ м/с. Зі станції у напрямку її руху стартує ракета і рухається зі швидкістю $1{,}2 \cdot 10^8$ м/с відносно станції. Визначте швидкість руху ракети відносно планети.

27.11. Який розмір матиме 20-метрова ракета відносно інерціальної системи відліку в напрямку руху, якщо швидкість руху ракети відносно цієї системи становить $2{,}4 \cdot 10^8$ м/с?

27.12. Метрова лінійка міститься у космічному кораблі, який рухається зі швидкістю $2{,}7 \cdot 10^8$ м/с відносно інерціальної системи відліку. У скільки разів відносно цієї системи відліку зміниться: а) лінійний розмір лінійки у напрямку руху ракети; б) поперечний розмір лінійки?

27.13. Ракета рухається зі швидкістю $2{,}2 \cdot 10^5$ км/с відносно нерухомого спостерігача. Поточний контроль систем ракети космонавти виконали за 5 год. Визначте, скільки часу тривав контроль за годинником спостерігача.

27.14. На космічному кораблі, який рухається зі швидкістю $1{,}8 \cdot 10^8$ м/с відносно інерціальної системи відліку, пройшов рік. У скільки разів довше він триватиме в інерціальній системі відліку?

27.15. Тіло має масу 2 кг і рухається зі швидкістю $1{,}8 \cdot 10^8$ м/с відносно інерціальної системи відліку. Визначте енергію цього тіла для спостерігача, нерухомого в інерціальній системі.

27.16. Яке значення мала б повна енергія ракети, маса якої 15 т, у системі відліку, яка пов'язана із Землею, якби ракета рухалася відносно Землі зі швидкістю $2{,}7 \cdot 10^8$ м/с?

27.17. Визначте кінетичну енергію протона, якщо той рухається зі швидкістю, яка дорівнює 0,8 швидкості світла у вакуумі.

27.18. З якою швидкістю має рухатись нейтрон, щоб його кінетична енергія дорівнювала енергії спокою нейтрона? Маса нейтрона $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг.

3-й рівень складності

? **27.19.** Що є відносним під час взаємодії тіл — їхні імпульси чи закон збереження імпульсу? Відповідь обґрунтуйте.

? **27.20.** Чи може повна енергія тіла бути різною у різних інерціальних система відліку? Відповідь обґрунтуйте.

? **27.21.** Доведіть, що виконання закону збереження енергії безумовно вимагає виконання закону збереження маси (і навпаки).

27.22. Сонце щохвилини випромінює у космічний простір приблизно $6{,}6 \cdot 10^{21}$ кВт·год енергії ($1\ \text{кВт} \cdot \text{год} = 3{,}6 \cdot 10^6$ Дж). На скільки за хвилину зменшується маса Сонця за рахунок випромінювання? За який час маса Сонця зменшиться в 1,5 разу? Прокоментуйте отриману відповідь.

27.23. Протон, рухаючись зі швидкістю 0,8 с, влітає в електричне поле. Яку різницю потенціалів він зможе подолати?

27.24. Якою має бути кінетична енергія тіла масою m, щоб його поздовжній розмір зменшився: а) у 5 разів; б) в n разів?

27.25. У космічних променях зустрічаються протони, енергія яких досягає 10^{10} еВ. Діаметр Галактики приблизно дорівнює 10^5 світлових років. Скільки часу знадобиться протону, щоб пройти крізь Галактику, з точки зору спостерігача, нерухомого: а) у системі відліку «Галактика»; б) у системі відліку «протон»? Світловий рік — це відстань, яку проходить світло за 1 рік.

27.26. Чи зможе вільний нейтрон подолати відстань від Сонця до Землі, рухаючись зі швидкістю 0,6 с, якщо час його життя в системі відліку, пов'язаній з цим нейтроном, дорівнює приблизно 12 хв?

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

28. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МКТ БУДОВИ РЕЧОВИНИ. МАСА Й РОЗМІР АТОМІВ І МОЛЕКУЛ. КІЛЬКІСТЬ РЕЧОВИНИ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Порівняйте число молекул: у 22,4 г кисню та у 30,8 г вуглекислого газу.

Дано:	*СІ*	*Розв'язання*
$m_{O_2} = 22{,}4$ г $m_{CO_2} = 30{,}8$ г $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$	$m_{O_2} = 22{,}4 \cdot 10^{-3}$ кг $m_{CO_2} = 30{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг	За допомогою періодичної таблиці хімічних елементів Менделєєва визначимо відносні атомні маси Оксигену і Карбону: $A_r(O) = 16$ а. о. м; $A_r(C) = 12$ а. о. м.
$\frac{N_{CO_2}}{N_{O_2}}$ — ?		

Потім обчислимо відносні молекулярні маси кисню й вуглекислого газу:

$M_r(O_2) = 2 \cdot A_r(O) = 2 \cdot 16 = 32$ (а. о. м);

$M_r(CO_2) = A_r(C) + 2 \cdot A_r(O) = 12 + 2 \cdot 16 = 44$ (а. о. м).

Молярна маса кисню й вуглекислого газу відповідно дорівнюють: $M(O_2) = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$; $M(CO_2) = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

Число молекул у речовині визначимо за формулою $N = \nu N_A$, де $\nu = \frac{m}{M}$. Отже, $N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A$.

Таким чином, відношення числа молекул кисню й вуглекислого газу визначається за виразом

$$\frac{N_{CO_2}}{N_{O_2}} = \frac{m_{CO_2} M_{O_2}}{m_{O_2} M_{CO_2}}.$$

Перевіримо одиниці:

$$\left[\frac{N_{CO_2}}{N_{O_2}}\right]=\frac{\text{кг}\cdot\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\text{кг}\cdot\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}=1.$$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\left\{\frac{N_{CO_2}}{N_{O_2}}\right\}=\frac{30{,}8\cdot10^{-3}\cdot32\cdot10^{-3}}{22{,}4\cdot10^{-3}\cdot44\cdot10^{-3}}=1;\ N_{CO_2}=N_{O_2}.$$

Відповідь: число молекул однакове.

Задача 2. Шматочок парафіну об'ємом $1\ \text{мм}^3$, кинутий у гарячу воду, розплавився й утворив плівку, площа поверхні якої становить $1\ \text{м}^2$. Визначте діаметр молекули парафіну, вважаючи, що товщина плівки дорівнює діаметру молекули.

Дано:	*СІ*
$V=1\ \text{мм}^3$	$V=10^{-9}\ \text{м}^3$
$S=1\ \text{м}^2$	
$d_\text{м}$ — ?	

Розв'язання

Об'єм шматочка парафіну дорівнює об'єму парафінової плівки, що утворилася на поверхні води. Об'єм парафінової плівки дорівнює добутку площі її поверхні на товщину. За умовою товщина плівки дорівнює діаметру молекули парафіну.

Таким чином, діаметр молекули парафіну визначимо зі співвідношення $V=Sd_\text{м}$, звідси $d_\text{м}=\frac{V}{S}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[d_\text{м}]=\frac{\text{м}^3}{\text{м}^2}=\text{м};\ \{d_\text{м}\}=\frac{10^{-9}}{1}=10^{-9};\ d_\text{м}=1\ \text{нм}.$$

Слід зазначити, що рівність об'ємів шматочка парафіну й парафінової плівки, використана під час розв'язування задачі, є приблизною, оскільки не враховує відстань між молекулами парафіну. Тому отриманий результат дає уявлення тільки про порядок величини діаметра молекули парафіну.

Відповідь: діаметр молекули парафіну $d_\text{м}=1$ нм.

1-й рівень складності

? **28.1.** Яким є фізичний зміст відносної молекулярної маси речовини; відносної атомної маси речовини? Який зв'язок між цими величинами?

? **28.2.** Чи відбувається тепловий рух: а) у воді, налитій у глечик; б) шматочку льоду; в) атомі Оксигену; г) порошинці; д) електроні?

? **28.3.** Учень випадково зламав кулькову ручку. Відомо, що ручка зламається, якщо будуть переборені сили притягання між молекулами пластмаси. Чи вдасться учню відновити цілісність ручки шляхом притискання відламаних частин однієї до одної? Відповідь обґрунтуйте.

? **28.4.** Чи відрізнятимуться траєкторії руху молекули в повітрі й вакуумі? Відповідь обґрунтуйте.

? **28.5.** Для надання міцності сталевим виробам їх поверхневий шар насичують азотом, тобто азотують. На якому фізичному явищі ґрунтується цей процес? Чому азотування здійснюють за високих температур?

? **28.6.** Як відомо, між молекулами речовини на близьких відстанях діють сили відштовхування. Чому ж речовина не розпадається на окремі молекули?

? **28.7.** Чи є справедливим твердження, що об'єм газу в посудині дорівнює сумі об'ємів його молекул? Відповідь обґрунтуйте.

28.8. Визначте відносну молекулярну масу: а) вуглекислого газу (CO_2); б) метану (CH_4); в) води (H_2O); г) діоксиду кремнію (SiO_2); д) водню (H_2).

28.9. За допомогою періодичної таблиці хімічних елементів Менделєєва визначте відносну атомну масу: а) Гідрогену; б) Гелію; в) Карбону; г) Сульфуру; д) Феруму.

28.10. Визначте відносну молекулярну масу двоатомних газів: а) водню; б) кисню; в) азоту.

28.11. Для вивчення броунівського руху французький фізик Ж. Перрен використовував частинки діаметром близько 1 мкм. У скільки разів діаметр цих частинок більший за діаметр молекули води? Вважайте, що середній діаметр молекули води приблизно дорівнює $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ см.

28.12. На фотознімку зображення, отриманого за допомогою електронного мікроскопа, видимий діаметр молекули деякої речовини дорівнює 0,4 мм. Визначте діаметр молекули цієї речовини, якщо електронний мікроскоп дає збільшення в 200 000 разів.

2-й рівень складності

? **28.13.** Для спостереження броунівського руху використовують частинки розмірами 0,1–1 мкм. Чи вдасться спостерігати броунівський рух частинки розміром 0,1 мм? Відповідь обґрунтуйте.

? **28.14.** Часто у стовпі сонячного світла, яке проникає через вікно, можна помітити дрібні порошинки, що безупинно й хаотично рухаються в повітрі. Чи можна такий рух назвати броунівським? Відповідь обґрунтуйте.

? **28.15.** Чому броунівський рух буде помітним тільки у частинок малої маси?

? **28.16.** Порівняйте число молекул в 1 моль води та кисню.

? **28.17.** Чи зміниться кількість речовини, якщо 200 г льоду перетворити спочатку на воду, а потім на пару? Якщо зміниться, то як?

28.18. У посудині міститься $1{,}505 \cdot 10^{22}$ молекул водню. Яка кількість речовини, виражена в молях, перебуває в цій посудині?

28.19. Скільки молекул міститься в 35 моль гелію?

28.20. Визначте молярну масу й масу молекули цукру ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

28.21. Маса молекули деякого газу дорівнює $3{,}32 \cdot 10^{-27}$ кг. Визначте його відносну молекулярну масу. Про який газ йдеться?

28.22. Визначте масу молекули кисню, пам'ятаючи, що ця молекула двоатомна.

28.23. Маса $18{,}06 \cdot 10^{22}$ молекул деякої речовини дорівнює 102,6 г. Визначте масу молекули й молярну масу цієї речовини.

28.24. Скільки молекул міститься в 300 г речовини, молярна маса якої становить 32 г/моль?

28.25. Якою є маса $54{,}18 \cdot 10^{25}$ молекул аміаку (NH_3)?

28.26. Скільки молекул міститься в 30 г водню?

28.27. Якою є маса 200 моль вуглекислого газу?

28.28. Яка кількість речовини міститься в краплі води масою 0,9 мг?

3-й рівень складності

28.29. Кулю об'ємом 2 л наповнено 10 г кисню. Визначте концентрацію молекул кисню в кулі.

28.30. Балон об'ємом 20 л наповнено воднем, концентрація молекул якого становить $2{,}5 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$. Визначте масу водню. Скільки молів водню міститься в балоні?

28.31. Алюмінієва й залізна деталі містять однакове число атомів. Визначте масу алюмінієвої деталі, якщо маса залізної 2 кг.

28.32. У скільки разів число атомів у шматку заліза більше, ніж у злитку золота тієї самої маси?

28.33. За 1 с зі склянки випаровується в середньому $4 \cdot 10^{18}$ молекул води. За який час випарується 50 г води?

28.34. З відкритої поверхні за дві доби випарувалося 126 г води. Скільки молекул у середньому вилітало з поверхні води за 1 с?

28.35. Скільки молекул міститься у вуглекислому газі масою 100 г? Яка маса однієї молекули? Визначте концентрацію молекул вуглекислого газу за нормальних умов, якщо його густина за нормальних умов 1,94 кг/м^3.

28.36. Знайдіть густину водню, якщо число молекул водню в посудині об'ємом 40 л в 2 рази більше за число Авогадро.

28.37. Залізо перебуває у твердому стані. Який об'єм при цьому займають $5 \cdot 10^{25}$ молекул заліза?

28.38. Оцініть концентрацію вільних електронів у натрії, вважаючи, що на один атом припадає один вільний електрон. Густина натрію 970 кг/м^3.

28.39. У посудині об'ємом 0,1 дм^3 міститься $2{,}7 \cdot 10^{24}$ молекул деякого газу. Визначте молярну масу цього газу, якщо його густина 0,09 г/см^3. Про який газ йдеться?

28.40. У двох посудинах містяться вуглекислий газ і водень однакової густини. Визначте відношення концентрацій цих газів у посудинах.

28.41. Радонові ванни містять $1{,}8 \cdot 10^6$ атомів Радону в 1 л води. Скільки молекул води в середньому припадає на один атом Радону?

28.42. Яку масу вуглекислого газу (CO_2) розчинено в пляшці з лимонадом об'ємом 0,5 л, якщо на одну молекулу газу припадає $5{,}56 \cdot 10^5$ молекул води?

28.43. Якщо склянку мічених молекул води вилити у Світовий океан, а потім зачерпнути повну склянку, то скільки в ній опиниться мічених молекул? Об'єм води у Світовому океані вважайте таким, що дорівнює $1{,}31 \cdot 10^{18}$ м^3. Об'єм склянки 200 см^3.

28.44. Порівняйте число молекул води і ртуті в посудинах рівного об'єму.

28.45. У посудині об'ємом 50 л змішали 48 г кисню й 84 г азоту. Визначте молярну масу й концентрацію отриманої суміші.

28.46. Змішали 30 г азоту й деяку кількість вуглекислого газу. Знайдіть масу вуглекислого газу в суміші, якщо молярна маса суміші 32 г/моль.

28.47. У суміш кисню й вуглекислого газу додали 280 г азоту. Визначте молярну масу й відсотковий склад отриманої суміші, якщо кількість речовини в цій суміші становить 30 моль, а її маса дорівнює 0,98 кг.

28.48. Скільки молекул міститься в повітрі масою 1 кг? Вважайте, що повітря складається з кисню (22 %) й азоту (78 %), а молекули цих газів двоатомні.

28.49. Визначте відстань між найближчими йонами кубічної кристалічної гратки заліза. Порівняйте отриманий результат з табличним значенням радіуса атома Феруму ($r_{Fe} = 1{,}24 \cdot 10^{-8}$ см).

28.50. Визначте густину води. Вважайте, що кожна молекула води являє собою сферу діаметром $2{,}5 \cdot 10^{-10}$ м, ці сфери дотикаються одна до одної, а їхні центри утворюють кубічні гратки. Порівняйте результат з табличним значенням густини води. Чи відповідає задана модель будови води дійсності?

28.51. У приладі О. Штерна більша частина молекул срібла рухається зі швидкістю 300 м/с. Визначте зсув максимуму товщини смужки срібла, що осів на зовнішньому циліндрі, відносно його розташування у випадку нерухомих циліндрів, якщо частота обертання циліндрів 20 об/с. Радіус зовнішнього циліндра 10 см. Радіусом внутрішнього циліндра знехтувати.

28.52. У дослідженні О. Штерна за температури випаровування срібла 1200 °С зсув максимуму товщини смужки срібла, що осів на зовнішньому циліндрі, становив 5,0 мм відносно його розташування у випадку нерухомих циліндрів. Визначте швидкість більшої частини атомів срібла за цієї температури, якщо радіус зовнішнього циліндра 10 см, а частота обертання 40 об/с. Радіусом внутрішнього циліндра знехтувати.

28.53. У дослідженні О. Штерна частота обертання циліндрів дорівнює 800 об/с, радіус зовнішнього циліндра 0,65 м, а середня швидкість руху атомів срібла 520 м/с. Визначте кутовий зсув максимуму товщини смужки срібла, утвореної атомами срібла, які осіли на зовнішньому циліндрі, відносно розташування смужки у випадку нерухомих циліндрів. Чим відрізняються отримані смужки у випадку циліндрів, що обертаються, та нерухомих?

29. МОДЕЛЬ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ. ТИСК І ТЕМПЕРАТУРА ГАЗУ. ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ МКТ ГАЗІВ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Знайдіть середньоквадратичну швидкість поступального руху молекул гелію за температури 1200 К.

Дано:
$T = 1200$ К
$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
$\upsilon_{\text{сер. кв. He}}$ — ?

Розв'язання

Для визначення середньоквадратичної швидкості руху молекул гелію скористаємося співвідношеннями

$$E_{\text{He}} = \frac{3}{2}kT \text{ і } E_{\text{He}} = \frac{m_{0_{\text{He}}}\upsilon^2_{\text{сер. кв. He}}}{2}.$$

Звідси випливає, що $\upsilon_{\text{сер. кв. He}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_{0_{\text{He}}}}}$, де $m_{0_{\text{He}}}$ — маса молекули гелію.

Для визначення маси молекули гелію скористаємося періодичною таблицею хімічних елементів Менделєєва. Знайдемо відносну атомну масу Гелію: $A_{r_{\text{He}}} = 4$ а. о. м. Потім визначимо відносну молекулярну масу гелію: $M_{r_{\text{He}}} = A_{r_{\text{He}}} = 4$ а. о. м. Тоді масу молекули гелію визначимо за формулою $m_{0_{\text{He}}} = M_{r_{\text{He}}} \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг. Таким чином, $\upsilon_{\text{сер. кв. He}} = \sqrt{\frac{3kT}{M_{r_{\text{He}}} \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}}}$.

Перевіримо одиниці:

$$\left[\upsilon_{\text{сер. кв. He}}\right] = \sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{К}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\left\{\upsilon_{\text{сер. кв. He}}\right\} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 1200}{4 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}}} \approx 1934;\ \upsilon_{\text{сер. кв. He}} = 1934 \text{ м/с}.$$

Відповідь: $\upsilon_{\text{сер. кв. He}} = 1934$ м/с.

Задача 2. Колба, наповнена деяким двоатомним газом, зазнала дії ультрафіолетового випромінювання, внаслідок чого частина молекул цього газу дисоціювала. При цьому в колбі установився тиск 93 кПа. Знайдіть тиск газу до опромінення, якщо температура

газу в колбі не змінилася. Відношення молекул газу, які дисоціювали під дією ультрафіолету, до початкового числа молекул дорівнює 0,12.

Дано:	*СІ*	*Розв'язання*
$p_1 = 93$ кПа $\frac{\Delta N}{N_0} = 0{,}12$	$p_1 = 93 \cdot 10^3$ Па	Скористаємося формулою, яка зв'язує тиск і температуру газу: $p = nkT$. Оскільки $n = \frac{N}{V}$, то $\frac{p_1}{N_1} = \frac{kT_1}{V}$ і $\frac{p_0}{N_0} = \frac{kT_0}{V}$.
p_0 — ?		

За умовою температура газу в колбі не змінилася, тобто $T_0 = T_1$.

Таким чином, $\frac{p_1}{N_1} = \frac{p_0}{N_0}$, звідси

$$p_0 = \frac{p_1 N_0}{N_1}. \qquad (1)$$

Число частинок газу після впливу на нього ультрафіолетового випромінювання збільшується внаслідок розпадання двоатомних молекул на атоми. У цьому випадку кожна молекула розпадається на два атоми. Тоді число частинок після впливу на газ ультрафіолету обчислюється за формулою

$$N_1 = (N_0 - \Delta N) + 2\Delta N, \qquad (2)$$

де перший доданок (взятий у дужки) визначає число молекул у газі, а другий доданок — число атомів. Підставимо формулу (2) у формулу (1) й отримаємо: $p_0 = \frac{p_1 N_0}{(N_0 + \Delta N)} = p_1 \frac{1}{1 + \frac{\Delta N}{N_0}}$.

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[p_0] = \text{Па}; \ \{p_0\} = 93 \cdot 10^3 \frac{1}{1 + 0{,}12} \approx 83 \cdot 10^3; \ p_0 = 83 \text{ кПа}.$$

Відповідь: тиск газу $p_0 = 83$ кПа.

1-й рівень складності

29.1. Згідно з означенням молекули ідеального газу не взаємодіють одна з одною. Чи можна стверджувати, що рух молекул ідеального газу абсолютно вільний від впливу інших молекул?

? **29.2.** Векторною чи скалярною величиною є тиск?

? **29.3.** Чим зумовлений атмосферний тиск повітря на поверхні Землі?

? **29.4.** Як зміниться тиск газу в посудині, якщо збільшиться: а) концентрація молекул газу; б) швидкість теплового руху молекул газу; в) об'єм посудини?

? **29.5.** Яким змінам мікроскопічних параметрів газу відповідає підвищення: а) температури газу; б) концентрації молекул газу?

? **29.6.** Чому, зануривши термометр у посудину з водою, не можна відразу ж знімати його покази?

? **29.7.** Чому будь-яке тіло, занурене в гарячу воду, не нагрівається вище від певної температури?

? **29.8.** Коли молекули повітря рухаються швидше: влітку чи взимку? Відповідь обґрунтуйте.

? **29.9.** Кисень і водень мають однакову температуру. Чи однакові: а) середні кінетичні енергії молекул цих газів; б) середньоквадратичні швидкості руху молекул цих газів?

29.10. Чи можна стверджувати, що людина здорова, якщо температура її тіла становить 311 К? Відповідь обґрунтуйте.

29.11. Температура повітря в кімнаті 20 °С, а температура води в каструлі на 30 °С вища. Визначте абсолютну температуру води.

29.12. Атмосферний тиск дорівнює 760 мм рт. ст., а тиск газу в балоні — 5 МПа. У скільки разів тиск у балоні вищий від атмосферного?

29.13. Під час нагрівання газу його тиск збільшився на 50 кПа. Визначте тиск газу після нагрівання, якщо до нагрівання тиск становив 735 мм рт. ст.

? **29.14.** Чи може йтися про тиск газу в посудині об'ємом 5 л, якщо цей газ містить: а) 10 молекул; б) N_A молекул?

? **29.15.** Атмосферний тиск зумовлений вагою повітря. Як підтримується нормальний тиск на борті космічного корабля, якщо повітря в ньому невагоме?

? **29.16.** Чи чинить повітря, яким наповнена кімната, тиск на стелю? Відповідь обґрунтуйте.

2-й рівень складності

29.17. Визначте імпульс і кінетичну енергію молекули кисню, яка рухається зі швидкістю 500 м/с.

29.18. Кінетична енергія молекули деякої речовини дорівнює 0,5 еВ ($1\ эВ = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж). Визначте швидкість руху цієї молекули, якщо її маса дорівнює $7{,}3 \cdot 10^{-23}$ г.

29.19. Молекула азоту летить зі швидкістю 600 м/с перпендикулярно до стінки посудини. Визначте: а) імпульс молекули до удару об стінку посудини; б) імпульс, переданий стінці молекулою внаслідок абсолютно пружного зіткнення.

29.20. Чи зміниться температура аргону, якщо середня кінетична енергія атома Аргону збільшиться на 50 %? Якщо зміниться, то у скільки разів?

29.21. За якої температури середня кінетична енергія молекули ідеального одноатомного газу дорівнює $2 \cdot 10^{-20}$ Дж?

29.22. Середня кінетична енергія поступального руху молекул газу за температури 500 °С дорівнює 0,1 еВ. Знайдіть значення кінетичної енергії за температури: а) −273 °С; б) 1000 °С.

29.23. Як змінилася температура ідеального газу, якщо середня кінетична енергія його молекул зменшилася в 1,2 разу? Початкова температура газу 127 °С.

29.24. Аргон перебуває за температури 27 °С. Кінетична енергія теплового руху всіх його молекул дорівнює 10 Дж. Визначте число молекул аргону.

29.25. Визначте кінетичну енергію 10^{10} атомів Гелію за температури 47 °С.

29.26. У посудині за температури −5 °С міститься 10 моль одноатомного газу. Визначте повну кінетичну енергію молекул цього газу.

29.27. Середньоквадратична швидкість молекул аргону дорівнює 470 м/с. Визначте середньоквадратичну швидкість криптону за цієї самої температури. Яка температура аргону?

29.28. Середньоквадратична швидкість молекули деякого газу при 0 °С дорівнює 360 м/с. Яка середньоквадратична швидкість молекул цього газу за температури 127 °С?

29.29. За якої температури молекули неону мають таку саму середньоквадратичну швидкість, як і молекули гелію при 0 °С?

29.30. Визначте середньоквадратичну швидкість атомів Гелію у фотосфері Сонця за температури 6000 К.

29.31. На скільки відсотків збільшиться середньоквадратична швидкість поступального руху молекул водяної пари у разі підвищення температури від 37 °С до 40 °С?

29.32. Підвищення температури газу на 150 К привело до збільшення середньоквадратичної швидкості його молекул від 400 м/с до 500 м/с. Як має змінитися температура газу, щоб середньоквадратична швидкість його молекул підвищилася ще на 100 м/с?

29.33. Дві однакові посудини заповнені газом: перша гелієм, а друга неоном. Температура обох газів 300 К. На скільки слід змінити температуру газу в одній з посудин, щоб середньоквадратичні швидкості молекул гелію й неону стали рівними? Розгляньте всі можливі варіанти розв'язання.

29.34. У посудині за атмосферного тиску міститься аргон. Визначте середньоквадратичну швидкість молекул аргону, якщо їх концентрація в посудині $1{,}5 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$.

29.35. Середньоквадратична швидкість теплового руху молекул деякого газу 1900 м/с. Який тиск чинить на стінки посудини газ, якщо концентрація його молекул 10^{27} м$^{-3}$, а маса молекули $3{,}32 \cdot 10^{-27}$ кг?

29.36. Знайдіть концентрацію молекул кисню, якщо його тиск 0,2 МПа, а середньоквадратична швидкість молекул 700 м/с.

29.37. Після нагрівання тиск газу в закритій посудині збільшився в 16 разів. Як змінилася середньоквадратична швидкість молекул цього газу?

29.38. Порівняйте тиск кисню й водню за однакових концентрацій, якщо середньоквадратичні швидкості молекул цих газів однакові.

29.39. Як зміниться тиск газу в разі зменшення його концентрації в 4 рази, якщо середньоквадратична швидкість молекул при цьому збільшиться в 2 рази?

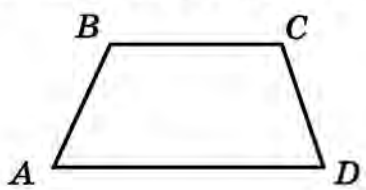
29.40. Середня кінетична енергія молекул одноатомного ідеального газу 0,038 еВ, тиск у посудині 0,2 МПа. Знайдіть концентрацію молекул цього газу.

29.41. Визначте середню кінетичну енергію поступального руху молекули ідеального одноатомного газу, якщо за тиску 200 кПа його концентрація дорівнює $5 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.

29.42. Як зміниться тиск ідеального газу в разі зменшення його об'єму втричі та збільшення середньої кінетичної енергії молекул удвічі?

3-й рівень складності

? 29.43. Чи однаковими є тиски й сили тиску на стінки AD і BC оболонки $ABCD$ (див. рисунок), заповненої стисненим газом? Якщо сили тиску не однакові, то чому оболонка не набуває прискорення у бік дії більшої сили?



29.44. Газ масою 6 кг займає об'єм 10 м^3. Яка середньоквадратична швидкість руху молекул газу, якщо його тиск 200 кПа?

29.45. Визначите тиск азоту, якщо середньоквадратична швидкість руху його молекул 500 м/с, а густина 1,35 кг/м^3.

29.46. Густина газу в балоні газонаповненої електричної лампи 0,9 кг/м^3. Після вмикання тиск у лампі зріс від 80 кПа до 110 кПа. На скільки збільшилася при цьому середньоквадратична швидкість молекул газу?

29.47. Водень перебуває за температури 290 К і тиску 10 МПа. Визначте середньоквадратичну швидкість молекул водню та його густину.

29.48. Газ густиною 5,95 кг/м^3 перебуває за нульової температури. Знайдіть тиск газу, якщо маса його молекули $7{,}3 \cdot 10^{-23}$ г.

29.49. Над Землею по коловій орбіті рухається супутник із середньою швидкістю 7,9 км/с. Площа поперечного перерізу супутника 3 м^2. Тиск повітря на висоті орбіти 0,138 мПа, температура 120 К. Оцініть число зіткнень молекул повітря із супутником протягом 1 с.

29.50. Знайдіть число молекул одноатомного газу масою 10 г, якщо середньоквадратична швидкість його молекул за температури 300 К дорівнює 500 м/с.

29.51. Середньоквадратична швидкість молекул одноатомного газу за температури 20 °С дорівнює 236 м/с. Визначте масу 10^{24} молекул цього газу.

29.52. У посудині міститься $1{,}5 \cdot 10^{23}$ молекул вуглекислого газу за тиску 300 кПа. Визначте густину газу в посудині, якщо повна кінетична енергія його молекул становить 831 Дж. Який об'єм посудини?

29.53. Газ займає об'єм 4 л за тиску 500 Па. Знайдіть сумарну кінетичну енергію поступального руху його молекул.

29.54. Дві однакові колби з однаковою кількістю молекул водню з'єднані трубкою із краном. Середньоквадратична швидкість молекул водню в першій колбі 400 м/с, в другій 600 м/с. Яка встановиться середньоквадратична швидкість, якщо відкрити кран, що з'єднує колби? Теплообміном з навколишнім середовищем знехтувати.

29.55. Дві колби, що містять кисень однакової концентрації, з'єднані трубкою із краном. У першій колбі число молекул утричі більше, ніж у другій. Визначте середньоквадратичну швидкість молекул у другій колбі, якщо в першій вона дорівнює 400 м/с. Середньоквадратична швидкість молекул після змішування газів дорівнює 458 м/с. Теплообміном із навколишнім середовищем знехтувати.

29.56. Скільки молекул міститься в 2 м^3 газу за нормальних умов?

29.57. Оцініть середню відстань між молекулами газу за нормальних умов.

29.58. На дні посудини, заповненої повітрям, лежить порожня сталева кулька радіусом 2 см і масою 5 г. До якого тиску треба стиснути повітря в посудині, щоб кулька піднялася вгору? Середньоквадратична швидкість молекул повітря постійна й дорівнює 500 м/с.

29.59. Атмосфера Венери майже цілком складається з вуглекислого газу. Температура біля поверхні планети становить близько 500 °С, а тиск — близько 100 атм. Який об'єм повинен мати дослідницький зонд масою 1 т, щоб плавати в нижніх шарах атмосфери Венери?

29.60. Повітряна куля наповнена гелієм за нормального атмосферного тиску. Сферична оболонка кулі виготовлена з матеріалу, квадратний метр якого має масу 1 кг. При якому мінімальному радіусі куля підніме сама себе? Температура гелію й температура навколишнього повітря однакові й дорівнюють 273 К. Молярну масу повітря вважати такою, що дорівнює 29 г/моль.

29.61. Об'єм повітряної кулі дорівнює 224 $м^3$, маса його сферичної оболонки 145 кг. Кулю наповнено гарячим повітрям за нормального атмосферного тиску. Яка температура повітря має бути всередині оболонки, щоб куля почала підніматися? Температура навколишнього середовища 0 °С. Молярну масу повітря вважати такою, що дорівнює 29 г/моль.

29.62. Дві посудини об'ємами 10 л і 30 л, заповнені повітрям однакової температури, з'єднані трубкою із краном. При закритому крані тиск у посудині більшого об'єму становить 10^5 Па. Якщо кран відкрити, то в посудинах установиться тиск $3 \cdot 10^5$ Па. Який початковий тиск повітря в посудині меншого об'єму? Температуру вважати постійною.

29.63. Дві посудини, заповнені різними ідеальними газами однакової температури, з'єднані трубкою із краном. Тиск у посудинах дорівнює 760 мм рт. ст. і 3 атм, а число молекул газів $2 \cdot 10^{23}$ і $7 \cdot 10^{23}$ відповідно. Яким буде тиск у посудинах, якщо відкрити кран, що з'єднує трубки? Температуру газів вважати постійною.

29.64. Три балони об'ємами 3 л, 7 л і 5 л заповнені відповідно киснем (до тиску 2 атм), азотом (3 атм) і вуглекислим газом (0,6 атм) однакової температури. З'єднавши всі балони між собою, отримали суміш газів тієї самої температури. Знайдіть тиск отриманої суміші.

29.65. У закриту посудину, що містить повітря, ввели рідкий ефір. Виявилося, що після його випаровування концентрація молекул газоподібного ефіру дорівнює 10^{23} м$^{-3}$, а тиск у посудині підвищився на 414 Па. Визначте сталу Больцмана, якщо температура суміші газів 27 °С.

29.66. У посудині міститься озон (O_3) за температури 527 °С. Через якийсь час озон повністю перетворився на кисень (O_2) і встановилася температура, що дорівнює 127 °С. На скільки відсотків змінився тиск у балоні?

29.67. У посудині міститься суміш азоту й водню. За температури T, після того як азот повністю дисоціював на атоми, а дисоціацією водню ще можна було знехтувати, тиск у посудині став дорівнювати p. За температури $2T$, після дисоціювання обох газів, тиск у посудині став дорівнювати $3p$. Знайдить співвідношення числа атомів Нітрогену й Гідрогену в суміші.

30. ІЗОПРОЦЕСИ. РІВНЯННЯ СТАНУ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ. РІВНЯННЯ МЕНДЕЛЄЄВА — КЛАПЕЙРОНА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Пружну кулю, що заповнена газом та має радіус 10 см за зовнішнього тиску 10^5 Па, поміщено під дзвін повітряного насосу. Яким має стати зовнішній тиск, щоб радіус кулі збільшився на 0,5 см? Тиск, який створюється оболонкою, $p = ar^2$, де $a = 1{,}66 \cdot 10^7 \ \frac{\text{Па}}{\text{м}^2}$ і r — радіус кулі. Температуру газу вважати постійною.

Дано:	*СІ*	*Розв'язання*
$p_1 = 10^5$ Па	$p_1 = 10^5$ Па	Якщо тиск газу всередині кулі дорівнює сумі зовнішнього тиску й тиску, який спричиняє на газ оболонка, то розмір кулі не змінюватиметься.
$a = 1{,}66 \cdot 10^7 \ \frac{\text{Па}}{\text{м}^2}$	$a = 1{,}66 \cdot 10^7 \ \frac{\text{Па}}{\text{м}^2}$	
$R_1 = 10$ см	$R_1 = 0{,}1$ м	
$\Delta R = 0{,}5$ см	$\Delta R = 0{,}005$ м	
p_2 — ?		

Якщо тиск усередині кулі перевищує сумарний тиск оболонки кулі та зовнішнього тиску, то куля збільшуватиметься в розмірах. У протилежному випадку розміри кулі зменшуватимуться.

Отже, початковий тиск газу всередині кулі $p_{\text{всер. к}_1} = p_1 + aR_1^2$; у випадку збільшення радіуса кулі до величини R_2, тиск становитиме $p_{\text{всер. к}_2} = p + aR_2^2$, де p — зовнішній тиск.

Оскільки за умовою маса газу всередині кулі та його температура не змінюються, то тиск газу і його об'єм пов'язані законом Бойля — Маріотта: $p_{\text{всер. к}_1} V_1 = p_{\text{всер. к}_2} V_2$. Тут об'єми газу всередині кулі до й після збільшення її радіуса відповідно дорівнюють $V_1 = \frac{4}{3}\pi R_1^3$ і $V_2 = \frac{4}{3}\pi R_2^3$. Таким чином, зовнішній тиск, за якого радіус кулі збільшиться до величини R_2, визначимо за формулою

$$p = \left(p_1 + aR_1^2\right)\frac{R_1^3}{R_2^3} - aR_2^2. \qquad (1)$$

Шуканий тиск відповідає умові

$$R_2 = R_1 + \Delta R. \qquad (2)$$

Підставимо у формулу (1) формулу (2) й отримаємо:

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{R_1^3}{\left(R_1 + \Delta R\right)^3} + \frac{a}{\left(R_1 + \Delta R\right)^3}\left(R_1^5 - \left(R_1 + \Delta R\right)^5\right).$$

Перевіримо одиниці: $[p_2] = \text{Па} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} + \frac{\frac{\text{Па}}{\text{м}^2}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^5 = \text{Па}$.

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{p_2\} = 10^5 \cdot \left(\frac{10}{10{,}5}\right)^3 + \frac{1{,}66 \cdot 10^7}{(10{,}5)^3 \cdot 10^{-6}}\left(10^5 - 10{,}5^5\right) \cdot 10^{-10} \approx 0{,}47 \cdot 10^5;$$

$$p_2 \approx 47 \text{ кПа}.$$

Відповідь: зовнішній тиск $p_2 \approx 47$ кПа.

Задача 2. Водяний павук-серебрянка будує у воді на глибині 50 см повітряний будиночок. Для цього він переносить на лапках та черевці бульбашки атмосферного повітря й поміщає їх під купол павутини, прикріплений кінцями до водяних рослин. Скільки рейсів треба зробити павуку, щоб побудувати будиночок об'ємом 1 см^3, щоразу переносячи 5 мм^3 повітря за атмосферного тиску?*

* Якщо в умові задач цього розділу не зазначено інше, атмосферний тиск вважайте таким, що дорівнює 100 кПа.

Дано:	*СІ*
$h = 50$ см	$h = 0{,}5$ м
$V = 1$ см^3	$V = 10^{-6}$ м^3
$V_0 = 5$ мм^3	$V_0 = 5 \cdot 10^{-9}$ м^3
$p_0 = 10^5$ Па	$p_0 = 10^5$ Па
$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
N — ?	

Розв'язання

Вважатимемо, що температура повітря, яке павук переносить для будівництва будиночка, залишається постійною. Тоді, користуючись законом Бойля —Маріотта, запишемо рівність $p_0 V_1 = pV$, де V_1 — повний об'єм повітря за атмосферного тиску, який павук має перенести для будівництва будиночка; V — об'єм будиночка; p_0 — атмосферний тиск; p — тиск, який відповідає тиску повітря всередині будиночка.

При цьому p визначається сумою атмосферного тиску й тиску, який чинить на будиночок стовп рідини заввишки h.

Таким чином, $p = p_0 + \rho g h$, а $V_1 = \left(1 + \frac{\rho g h}{p_0}\right) V$. Тут ρ — густина води.

Оскільки павук за один рейс у середньому переносить повітря за атмосферного тиску об'ємом V_0, то для того щоб перенести повітря об'ємом V_1, йому необхідно зробити $N = \frac{V_1}{V_0}$ рейсів. У результаті отримаємо формулу

$$N = \left(1 + \frac{\rho g h}{p_0}\right) \frac{V}{V_0}.$$

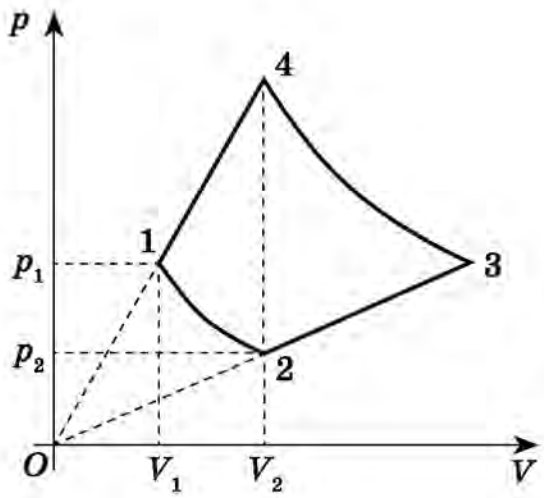
Перевіримо одиниці: $[N] = \left(1 + \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}{\text{Па}}\right) \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3} = \left(1 + \frac{\frac{\text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}}}{\frac{\text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}}}\right) = 1.$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{N\} = \left(1 + \frac{10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}5}{10^5}\right) \cdot \frac{10^{-6}}{5 \cdot 10^{-9}} = 210; \quad N = 210 \text{ рейсів.}$$

Відповідь: кількість рейсів $N = 210$.

Задача 3. На рисунку подано графік процесу, який відбувається в ідеальному газі постійної маси. Ділянки 1–2 і 3–4 — ізотерми. Побудуйте графік цього процесу в координатах V, T. Знайдіть об'єм газу в стані 3, якщо об'єми газу в станах 1, 2 і 4 дорівнюють 20 л, 40 л і 40 л відповідно.



Дано:
$V_1 = 20$ л
$V_2 = V_4 = 40$ л

V_3 — ?

Розв'язання

Оскільки маса газу в ході процесу не змінювалася, то газ підкоряється основному рівнянню ідеального газу, тобто для ділянок 1–4 і 2–3 запишемо відповідно рівняння:

$$\frac{p_2V_2}{T_2} = \frac{p_3V_3}{T_3}, \qquad (1)$$

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_4V_4}{T_4}. \qquad (2)$$

У рівняннях (1) і (2) індекс параметрів газу (температури, тиску й об'єму) позначає номер стану. Оскільки за умовою задачі ділянки 1–2 і 3–4 — ізотерми, то $T_1 = T_2$, а $T_3 = T_4$. Виразимо з рівнянь (1) і (2) відношення $\frac{T_2}{T_3} = \frac{p_2V_2}{p_3V_3}$ і $\frac{T_1}{T_4} = \frac{p_1V_1}{p_4V_4}$ відповідно й дорівняємо їхні праві частини: $\frac{p_2V_2}{p_3V_3} = \frac{p_1V_1}{p_4V_4}$. У результаті отримаємо вираз для шуканого об'єму:

$$V_3 = \frac{p_2p_4V_2V_4}{p_3p_1V_1} = \frac{p_2p_4}{p_3p_1} \cdot \frac{V_2^2}{V_1}, \qquad (3)$$

де враховано, що $V_2 = V_4$.

Крім того, ділянки 1–4 і 2–3 є відрізками прямих, які проходять через початок координат, а отже, тиск і об'єм на цих ділянках пропорційні. Тоді для зазначених ділянок виконуються тотожності:

$$p_4 = \frac{p_1}{V_1} V_4, \qquad (4)$$

$$p_3 = \frac{p_2}{V_2} V_3. \qquad (5)$$

З виразів (4) і (5) випливає, що $\frac{p_2}{p_3} = \frac{V_2}{V_3}$, а $\frac{p_4}{p_1} = \frac{V_4}{V_1}$.

Підставимо ці співвідношення у вираз (3) й отримаємо:

$$V_3 = \frac{V_2^2}{V_1 V_3} \cdot \frac{V_2^2}{V_1}, \text{ або } V_3 = \frac{V_2^2}{V_1}.$$

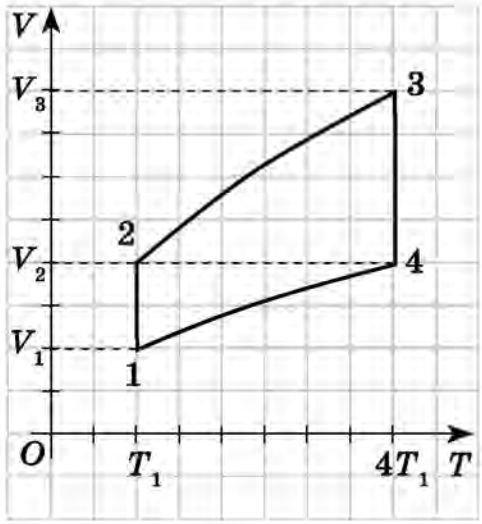
Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[V_3] = \frac{\text{л}^2}{\text{л}} = \text{л}; \ \{V_3\} = \frac{40^2}{20} = 80; \ V_3 = 80 \text{ л}.$$

Тепер побудуємо графік цього процесу в координатах V, T та визначимо зв'язок між температурою й об'ємом газу на ділянках 1–4 і 2–3. Для цього скористаємося основним рівнянням стану ідеального газу на зазначених ділянках: $\frac{pV}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$ і $\frac{pV}{T} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$, а також тим фактом, що для цих ділянок виконуються тотожності (4) і (5). Отже, залежність об'єму від температури на ділянці 1–4 має вигляд $V = V_1 \sqrt{\frac{T}{T_1}}$, а на ділянці 2–3 — вигляд $V = V_2 \sqrt{\frac{T}{T_1}}$. Використовуючи останні співвідношення, легко встановити співвідношення між температурами, за яких протікають ізотермічні процеси 1–2 і 3–4. Для цього у залежність об'єму від температури на ділянці 1–4 замість об'єму V підставимо V_2 й отримаємо:

$$T_4 = \left(\frac{V_4}{V_1} \right)^2 T_1 = 4T_1.$$

Таким чином, у координатах V, T процеси 1–2 і 3–4 зображатимуться як ділянки ізотерм (відрізки, паралельні осі V) при температурах T_1 і $4T_1$ відповідно (див. рисунок). При цьому на ділянці 1–2 об'єм збільшуватиметься від величини V_1 до величини V_2, а на ділянці 3–4 — зменшуватиметься від величини V_3 до величини V_2. Ділянки 1–4 і 2–3 являють собою ділянки парабол, вітки яких направлені уздовж осі T.



Відповідь: об'єм газу $V_3 = 80$ л.

1-й рівень складності

? **30.1.** Чи можуть перетинатися графіки залежності тиску від об'єму для двох ізотермічних процесів, що протікають в тому самому газі за різних температур? Відповідь обґрунтуйте.

? **30.2.** Чи можна застосовувати закон Бойля — Маріотта до двох станів повітря у дитячій гумовій кулі в ході її надування? Вважайте температуру постійною. Відповідь обґрунтуйте.

? **30.3.** Бак наповнений рідиною, над поверхнею якої перебуває повітря, і герметично закритий. У нижній частині цього бака розташований кран. Якщо його відкрити, із бака витече деяка кількість рідини, а потім витікання припиниться. Чому? Що слід зробити для забезпечення вільного витікання рідини?

? **30.4.** Пластикову пляшку, наполовину наповнену водою й щільно закорковану, перевернули вертикально, а потім відкоркували. Чому пляшка деформуватиметься в міру витікання води?

30.5. У циліндрі під поршнем перебуває повітря об'ємом 5,0 л за тиску 1,04 МПа. Знайдіть об'єм повітря за тиску 1,00 МПа, якщо температура повітря не змінилася.

30.6. За тиску 750 мм рт. ст. азот займає об'єм 6 л. Визначте тиск, який створює цей самий азот у посудині об'ємом 5 л, якщо його температура залишається незмінною.

30.7. Газ ізотермічно стискають від 5 л до 4 л. Тиск газу при цьому підвищився на $2 \cdot 10^5$ Па. Яким був початковий тиск газу?

30.8. Внаслідок ізотермічного стискання тиск ідеального газу зріс у 3 рази. Визначте різницю між початковим і кінцевим об'ємами, якщо початковий об'єм становить 9 л.

30.9. Внаслідок ізотермічного розширення об'єм газу збільшився в 1,25 раза. Знайдіть початковий тиск газу, якщо під час розширення його тиск змінився на 0,25 Мпа.

30.10. У циліндрі під поршнем ізобарично охолоджують газ об'ємом 10 л від 323 К до 273 К. Який об'єм займатиме охолоджений газ?

30.11. Деяку масу ідеального газу нагрівають від 300 К до 45 °С за умови постійного тиску. Визначте початковий об'єм газу, якщо після нагрівання його об'єм дорівнює 5,3 $м^3$.

30.12. Зовнішнє повітря, що надходить узимку через вентиляційну камеру в тунель метрополітену, попередньо нагрівають. Як змінюється об'єм повітря внаслідок нагрівання від –20 °С до +30 °С?

30.13. У вертикальному відкритому зверху циліндрі під рухомим поршнем перебуває повітря. Циліндр внесли з вулиці у приміщення й через якийсь час помітили, що об'єм повітря збільшився в 1,1 раза. Визначте температуру повітря на вулиці, якщо у приміщенні вона дорівнює 27 °С.

30.14. Деяку масу повітря, що займає об'єм 6 л за нормального тиску, ізобарично нагрівають від 27 °С до 400 К. Побудуйте графік цього процесу в координатах: а) p, V; б) p, T; в) V, T.

30.15. Ідеальний газ, що займає об'єм 5 л, нагріли за постійного тиску на 50 К. Після нагрівання об'єм газу дорівнює 6 л. Побудуйте графік цього процесу в координатах V, T.

? 30.16. На бляшаних банках для зберігання аерозолю є написи «Берегти від потрапляння прямих сонячних променів» або «Не тримати поблизу джерела вогню». Поясніть, у чому полягає небезпека.

? **30.17.** Чому взимку в гаражі камери коліс автомобіля нагнітають повітрям до більшого тиску, ніж влітку?

? **30.18.** Якщо в холодну зимову погоду з приміщення на вулицю винести пластикову щільно закорковану пляшку, то вона деформується. Деформація зникає, якщо відкрити кришку. Поясніть, чому.

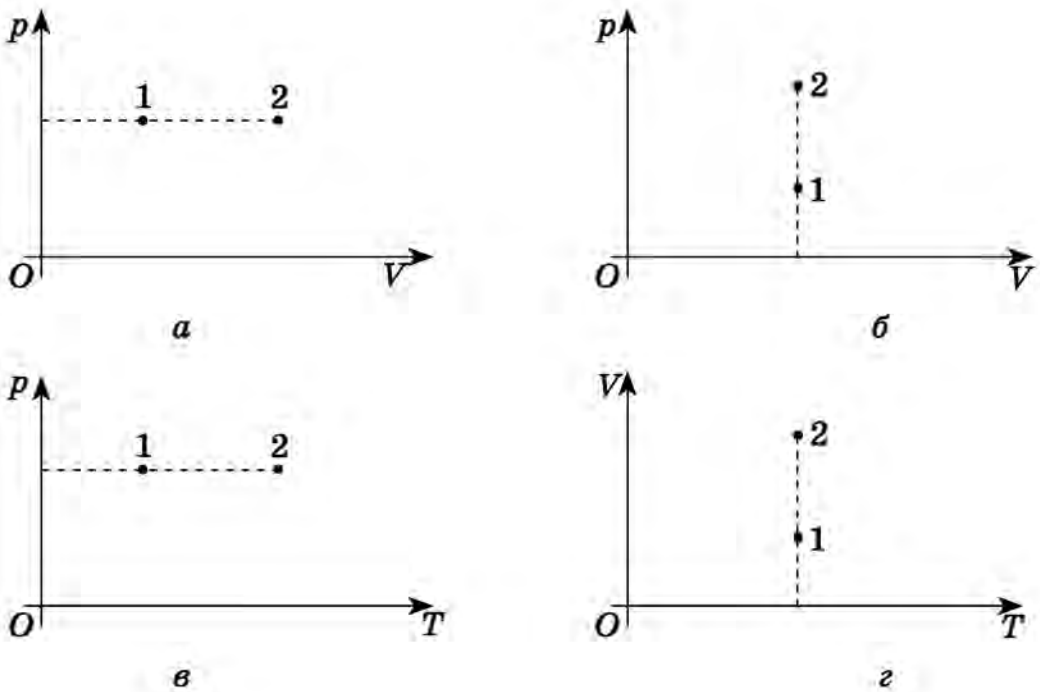
? **30.19.** Якщо склянку (краще тонкостінна) помістити в гарячу воду, потім витягти й перекинути догори дном на поверхню столу, злегка притиснувши, то через кілька хвилин зрушити її важко. Чому?

30.20. Під час заповнення балона газом до тиску 16,5 МПа температура газу підвищилася до 50 °С. Знайдіть тиск газу після охолодження балона до температури 20 °С.

30.21. За температури 7 °С тиск газу в колбі вимкненої газонаповненої електричної лампи розжарювання дорівнює 8 кПа. Знайдіть температуру газу в увімкненій лампі, якщо тиск у робочому режимі зростає до 15 кПа.

? **30.22.** Які незалежні макроскопічні параметри необхідні для опису ідеального газу постійної маси?

30.23. Точки 1 і 2 відповідають різним термодинамічним станам тієї самої маси ідеального газу (див. рисунок). Установіть у кожному з випадків *а–г* співвідношення між температурами, тисками й об'ємами газу в цих станах.



30.24. Деяку масу газу, який перебуває за нормальних умов, піддали стисканню до об'єму 5 л. Визначте початковий об'єм газу, якщо після стискання його тиск становить 0,2 МПа, а температура дорівнює 20 °С.

30.25. Який тиск робочої суміші встановився в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння, якщо до кінця такту стискання температура підвищилася від 47 °С до 367 °С, а об'єм зменшився з 1,8 л до 0,3 л? Початковий тиск суміші 100 кПа.

30.26. Деяка маса повітря при 0 °С та за тиску 100 кПа займає об'єм 1 л. Визначте температуру, за якої тиск цієї маси повітря, поміщеного в посудину об'ємом 2 л, становитиме 200 кПа.

30.27. Об'єм деякої маси ідеального газу зменшили вчетверо, при цьому температуру газу понизили з 27 °С до –3 °С. Визначте початковий тиск газу, якщо внаслідок стискання він збільшився на 210 кПа.

30.28. Під час збільшення абсолютної температури ідеального газу утричі тиск газу збільшився на 30 %. Як при цьому змінився об'єм газу?

30.29. У циліндрі дизельного двигуна на початку такту стискання температура повітря становила 310 К. Знайдіть температуру повітря наприкінці такту, якщо об'єм повітря зменшився в 12 разів, а тиск зріс у 36 разів.

30.30. У посудині об'ємом 1 л перебуває ідеальний газ, концентрація молекул якого становить $2 \cdot 10^{26}$ м$^{-3}$. Скільки молекул газу вилетіло з посудини, якщо внаслідок підвищення температури вдвічі, тиск зменшився у 4 рази?

30.31. У посудині об'ємом 5 л перебуває ідеальний газ за нормальних умов. Скільки молекул газу необхідно відкачати з посудини, щоб тиск зменшився удвічі?

30.32. Як зміниться концентрація молекул газу, якщо за постійного тиску газ спочатку охолодити в 7 разів, а потім зменшити кількість газу в 14 разів?

30.33. Який об'єм займає 3 кмоль газу за тиску $4 \cdot 10^5$ Па і температури 11 °С?

30.34. Яку кількість водню необхідно помістити в посудину об'ємом 10 л, щоб за температури 360 К він чинив тиск 3 МПа?

30.35. У відкритій посудині під невагомим поршнем перебуває 0,2 моль повітря. Якою є температура повітря, якщо його об'єм під поршнем дорівнює 5 л, а атмосферний тиск 99 кПа?

30.36. Знайдіть масу 12 л вуглекислого газу, який перебуває за температури 15 °С і тиску 0,9 МПа.

30.37. У посудину об'ємом 500 $см^3$ помістили 0,89 г водню. Знайдіть тиск, який установився в посудині за температури 17 °С.

30.38. За якої температури повітря* об'ємом 1 л має масу 1 г? Тиск вважайте нормальним.

30.39. У посудині об'ємом 6100 $см^3$ міститься 10 г деякого газу. Визначте молярну масу цього газу, якщо за температури 21 °С тиск у посудині становить 1 МПа.

2-й рівень складності

30.40. Для вимірювання об'єму посудини з неї відкачали повітря й за допомогою трубки із краном приєднали до балона з повітрям, оснащеного манометром. Який об'єм цієї посудини, якщо покази манометра після того, як кран було відкрито, зменшилися від 100 кПа до 98 кПа? Об'єм балона 0,5 $м^3$. Температуру повітря вважайте постійною.

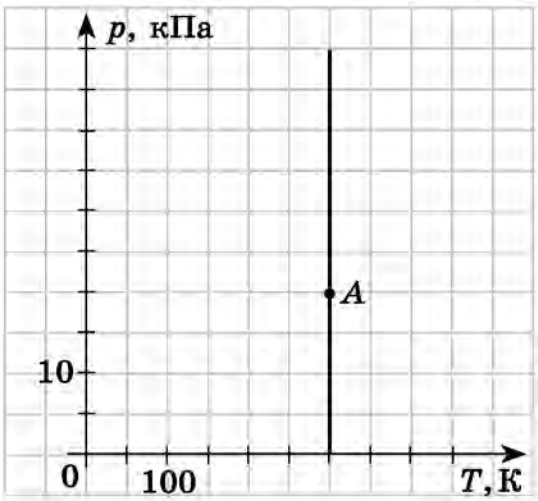
30.41. Посудину, що містить 8 л повітря за нормального тиску, з'єднали з порожньою посудиною місткістю 2 л, яка не містить повітря. Який тиск установиться в посудинах? Зміною температури газу знехтувати.

30.42. Ідеальний газ за 0 °С й за тиску 10^5 Па займає об'єм, що становить 1 $м^3$. Побудуйте ізотерму цього газу, яка відповідає температурі 0 °С, у координатах: а) p, V; б) p, T; в) V, T. На всіх графіках позначте точку, що відповідає стану газу, описаному в умові.

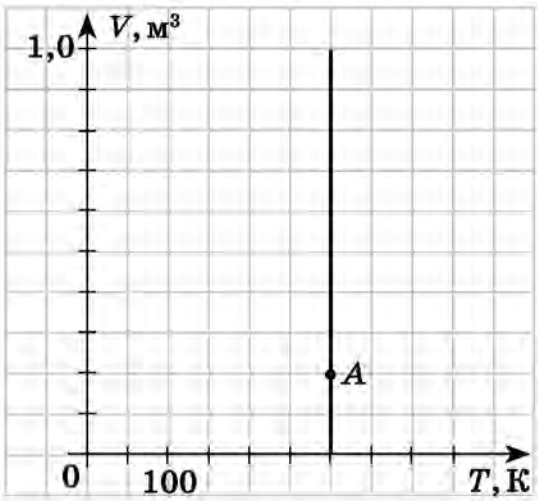
---

* Якщо в умові задач цього розділу не зазначено інше, вважайте молярну масу повітря такою, що дорівнює 29 г/моль.

30.43. На рисунку подано ізотерми ідеального газу в координатах p, T і V, T. Побудуйте ізотерму в координатах p, V і позначте на ній точку A. За якої температури за шкалою Цельсія відбувається перебіг процесу?



а



б

30.44. Як зміниться тиск газу в циліндрі, якщо його об'єм зменшити, просунувши поршень на чверть висоти циліндра? Температура газу не змінюється.

30.45. Атмосферне повітря за допомогою компресора нагнітають у порожній балон місткістю 30 л, що не містить повітря. За який час тиск повітря становитиме 1,5 МПа, якщо компресор подає за хвилину 2 $м^3$ повітря?

30.46. Компресор, який забезпечує роботу відбійних молотків, подає 100 л атмосферного повітря на секунду. Скільки відбійних молотків може працювати за допомогою цього компресора, якщо для роботи одного молотка необхідно 100 $см^3$ повітря на секунду за тиску 4 МПа?

30.47. Як зміниться тиск повітря в резервуарі пневматичного гальма трамвайного вагона після 50 ходів поршня насоса, якщо об'єм резервуара 30 л? Насос за один хід поршня в середньому подає 600 $см^3$ повітря за нормального атмосферного тиску. Зміною температури повітря знехтувати. Вважайте, що початковий тиск у резервуарі дорівнює нормальному атмосферному тиску.

30.48. Робочий об'єм насоса 2500 $см^3$. За скільки ходів поршня насоса можна підвищити тиск у посудині об'ємом 10 л від атмосферного тиску до 1,5 МПа? Зміною температури повітря знехтувати.

30.49. Тиск повітря в посудині становить 765 мм рт. ст. Об'єм циліндра розріджувального насоса в 4 рази менший за об'єм посудини. Який тиск установиться в посудині після 6 повних ходів поршня насоса? Зміною температури повітря знехтувати.

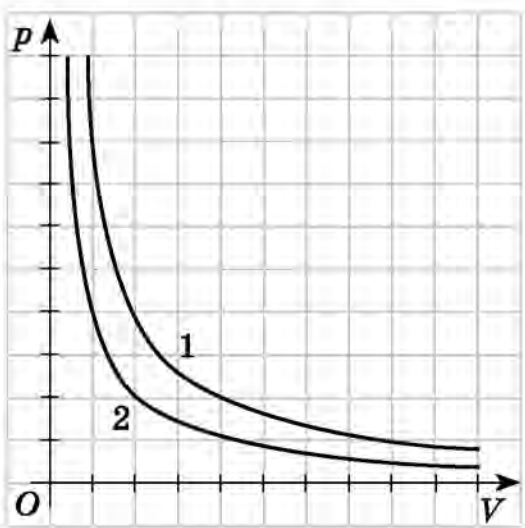
30.50. Об'єм посудини 3 л, об'єм циліндра розріджувального насоса 200 $см^3$. Після 60 повних ходів поршня у посудині встановився тиск 6,7 кПа. Яким був початковий тиск газу в посудині, якщо температура газу не змінювалася?

30.51. У балоні об'ємом 0,4 л перебуває повітря за нормального тиску. За скільки ходів поршня розріджувального насоса об'ємом 200 $см^3$ можна знизити тиск у балоні в 2 рази? Температуру повітря вважайте постійною.

30.52. Електрична лампа наповнена азотом за тиску 600 мм рт. ст. Об'єм лампи 500 $см^3$. У лампи відламали кінчик під водою за тиску 780 мм рт. ст. Яка маса води при цьому ввійде в лампу?

30.53. У фляжці ємністю 0,5 л перебуває 300 мл води. Турист п'є із фляжки воду, щільно притиснувши губи до горлечка, тому в неї не потрапляє зовнішнє повітря. Скільки води вдасться випити туристу, якщо він може знизити тиск решти повітря у фляжці до 75 кПа? Атмосферний тиск вважайте таким, що дорівнює 100 кПа.

30.54. На рисунку подано ізотерми 1 і 2 ідеального газу. Яка з ізотерм за інших рівних умов відповідає: а) більшій температурі; б) меншій масі газу?



30.55. Деяка маса ідеального газу за тиску 100 кПа й температури 300 К займає об'єм 1 $м^3$. Побудуйте графік залежності тиску від об'єму для даної маси газу під час перебігу ізотермічних процесів 1 і 2 за температури: а) 300 К; б) 450 К.

30.56. В ході нагрівання деякої маси ідеального газу на 1 °С за постійного тиску його об'єм збільшився на 1/250. Знайдіть початкову температуру газу за шкалою Цельсія.

30.57. При згорянні палива в циліндрі дизельного двигуна під час попереднього розширення об'єм газу збільшився в 2,2 раза за постійного тиску. Визначте зміну температури газу, якщо його початкова температура 1650 К.

30.58. Ідеальний газ нагрівають від 300 К до 750 К за постійного тиску, внаслідок чого його об'єм збільшується на 6 л. Визначте початковий об'єм газу.

30.59. Визначте початкову температуру повітря, якщо в ході нагрівання на 3 К його об'єм збільшився на 1 %. Тиск газу не змінюється.

30.60. Температура повітря, яке перебуває в горизонтальному циліндрі з поршнем, становить 7 °С. Поршень розташовується на відстані 14 см від торця циліндра. На яку відстань переміститься поршень внаслідок нагрівання повітря на 20 К?

30.61. Горизонтальний циліндр із повітрям, відділеним від зовнішнього простору рухомим невагомим поршнем, піддали тепловому контакту із киплячою водою, внаслідок чого поршень установився на відстані 10 см від дна циліндра. Потім циліндр поставили на стіл і через якийсь час помітили, що поршень опустився вниз на 2 см. Яка температура повітря в кімнаті?

30.62. Гумовий човен накачали вранці за температури повітря 7 °С. На скільки відсотків збільшився тиск повітря в човні, якщо вдень він прогрівся до 35 °С?

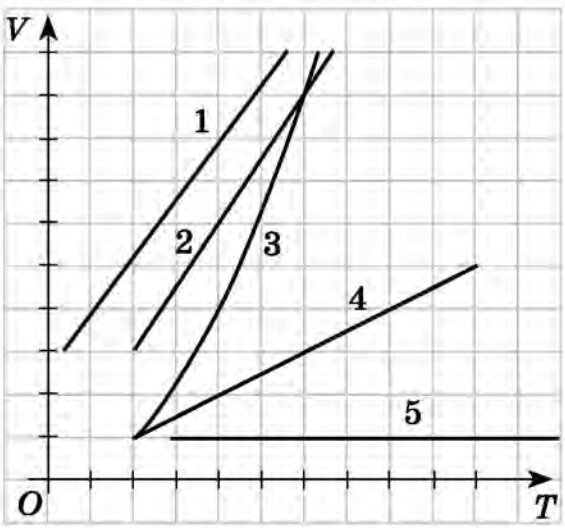
30.63. У скільки разів збільшиться тиск газу в балоні електричної лампи, якщо після її вмикання температура газу підвищилася від 15 °С до 300 °С?

30.64. За якої температури перебував газ у закритій посудині, якщо в ході його нагрівання на 125 К тиск зріс у 1,5 разу?

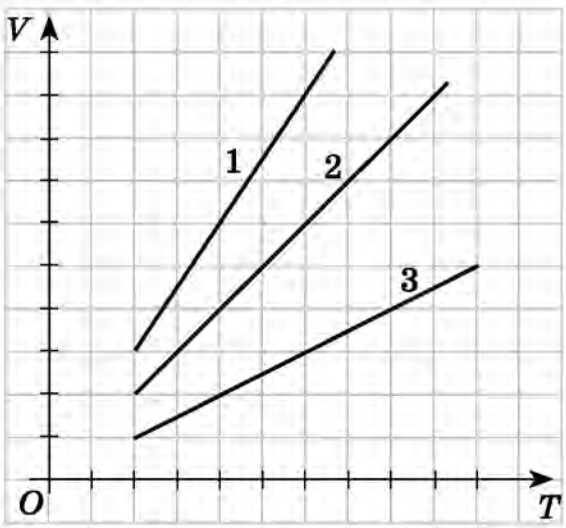
30.65. Покази манометра, установленого на балоні з газом, вдень за температури 33 °С становили 14 МПа, а вночі — 13,3 МПа. На скільки градусів знизилась температура вночі?

30.66. На рисунку подано графіки залежності об'єму деякої маси газу від абсолютної температури для процесів 1–5. Визначте, у яких із процесів тиск газу залишається постійним. Який графік відповідає ізобарному процесу з найбільшим тиском?

30.67. На рисунку подано графіки залежності об'єму деякої маси газу від абсолютної температури для ізобарних процесів 1–3. Встановіть співвідношення між тисками, при яких відбуваються зазначені процеси.

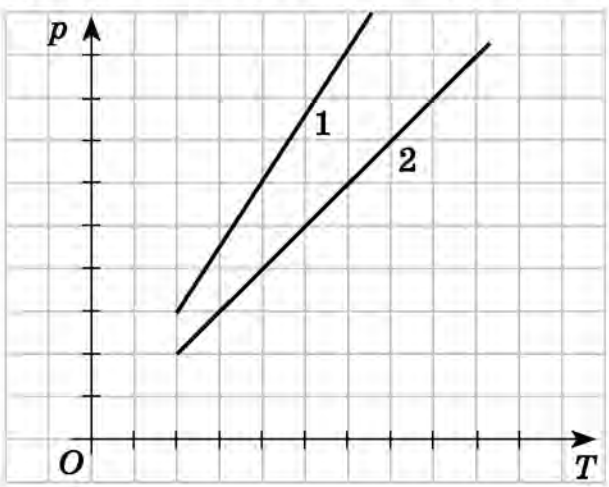


До задачі 30.66



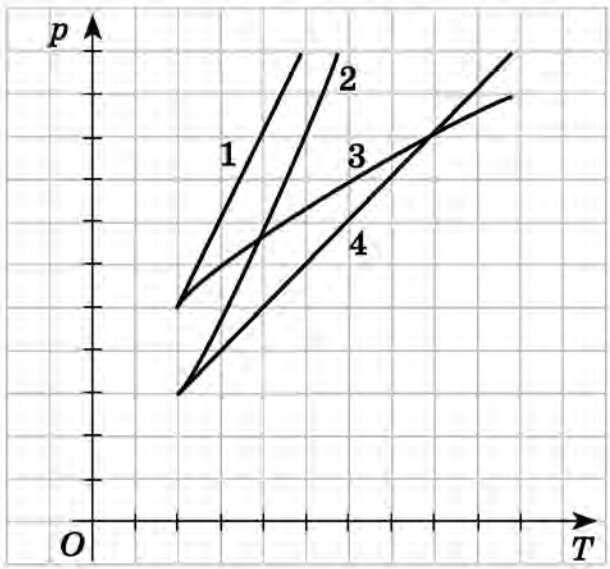
До задачі 30.67

30.68. На рисунку подано графіки 1 і 2 залежності тиску деякої маси ідеального газу від абсолютної температури в посудинах різного об'єму. Яка посудина має більший об'єм?

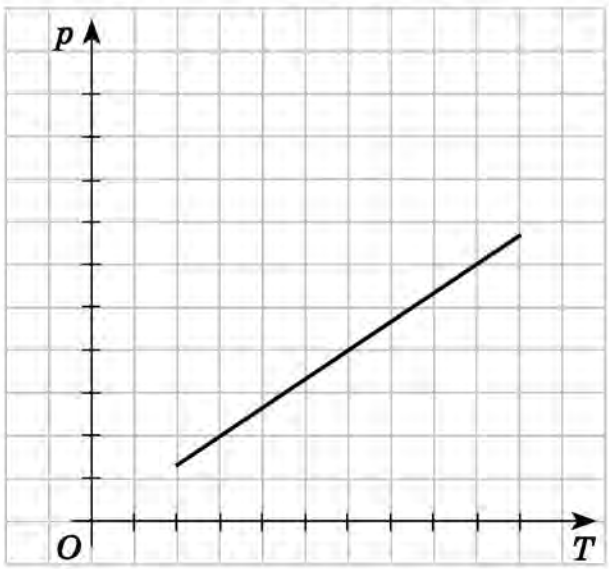


30.69. На рисунку подано графіки залежності тиску деякої маси газу від абсолютної температури. Які із графіків 1–4 відповідають процесам, що відбуваються за постійного об'єму? Який графік відповідає ізохорному процесу, що відбувається у посудині з найбільшим об'ємом?

30.70. На рисунку подано графік залежності тиску деякої маси газу від абсолютної температури. Як зміниться ця залежність, якщо збільшити удвічі: а) масу газу (1); б) об'єм посудини (2)? Побудуйте відповідні графіки.

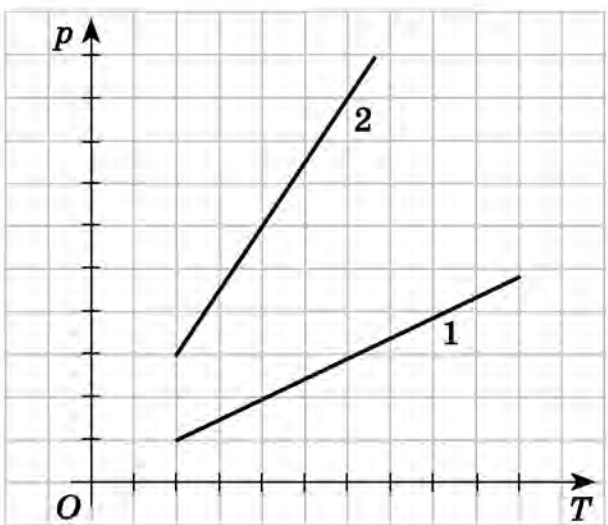


До задачі 30.69



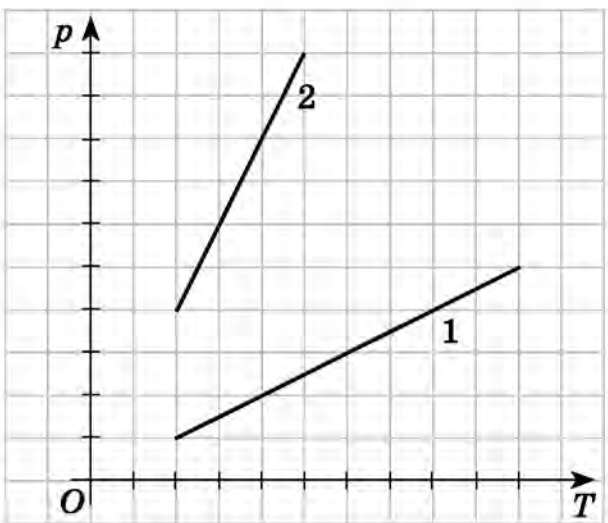
До задачі 30.70

30.71. На рисунку подано ізохори 1 і 2 для тієї самої маси ідеального газу. Як співвідносяться об'єми газу, якщо кути нахилу ізохор до осі абсцис дорівнюють 30° і 60° відповідно?

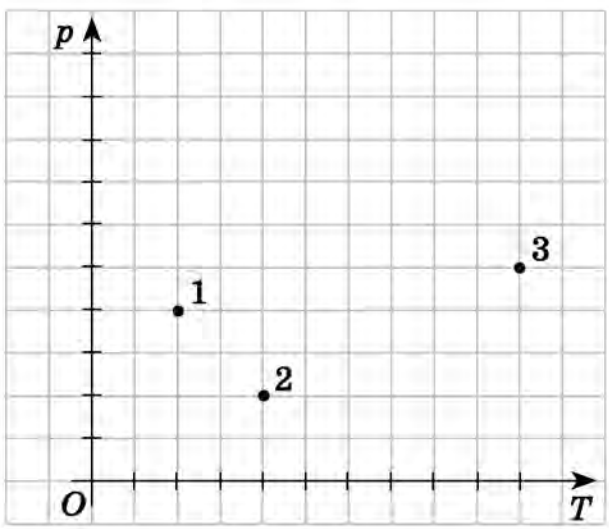


30.72. У двох однакових посудинах міститься деякий газ. На рисунку подано графіки залежності тиску газу в цих посудинах від абсолютної температури. Визначте масу газу в другій посудині, якщо маса газу в першій посудині дорівнює 1 кг.

30.73. Точки 1–3 відповідають термодинамічним станам тієї самої маси ідеального газу (див. рисунок). Визначте, якими співвідношеннями пов'язані у цих станах: а) тиски; б) температури; в) об'єми газу.

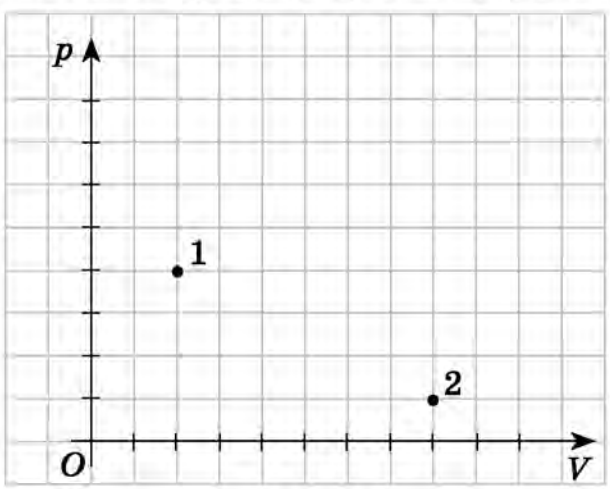


До задачі 30.72



До задачі 30.73

30.74. Точки 1 і 2 відповідають термодинамічним станам деякої маси ідеального газу (див. рисунок). У якому із цих станів більше: а) тиск; б) об'єм; в) температура?



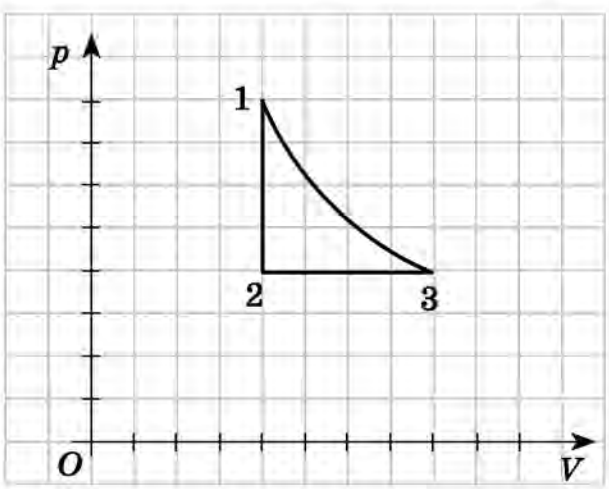
30.75. Газ, який за температури 300 К і тиску 5 МПа займав об'єм 3 л, піддали ізобаричному розширенню до 5,1 л, а потім нагріли за постійного об'єму так, що його тиск зріс до 7,5 МПа. Визначте температуру газу в кінцевому стані.

30.76. Газ об'ємом 2 л, що перебував за температури 127 °С и тиску 0,4 МПа, спочатку ізотермічно стисли, потім ізобарично охолодили до температури −73 °С, після чого ізотермічно довели об'єм до 1 л. Визначте кінцевий тиск газу.

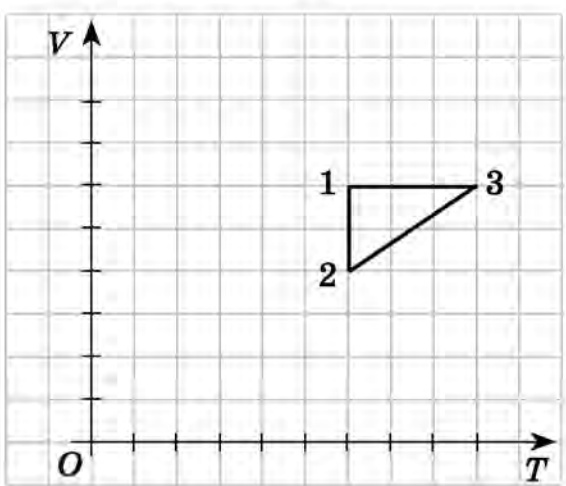
30.77. Газ, який міститься в посудині об'ємом 3 л за температури 450 К, спочатку ізобарично охолодили до температури 300 К, а потім нагріли до 570 К за постійного об'єму. Внаслідок цього тиск газу зріс до 1,9 МПа. Визначте температуру, об'єм і тиск газу: а) у початковому стані; б) після охолодження; в) після нагрівання. Побудуйте графік цього процесу в координатах: а) V, T; б) p, T; в) p, V.

30.78. На рисунку подано графік процесу, що відбувся з ідеальним газом постійної маси. Визначте термодинамічні параметри газу в станах 1 і 3, якщо у стані 2 об'єм газу становив 4 л за нормальних умов.

30.79. На рисунку подано графік процесу, що відбувся з ідеальним газом, у координатах V, T. Побудуйте графіки цього процесу в координатах: а) p, V; б) p, T.

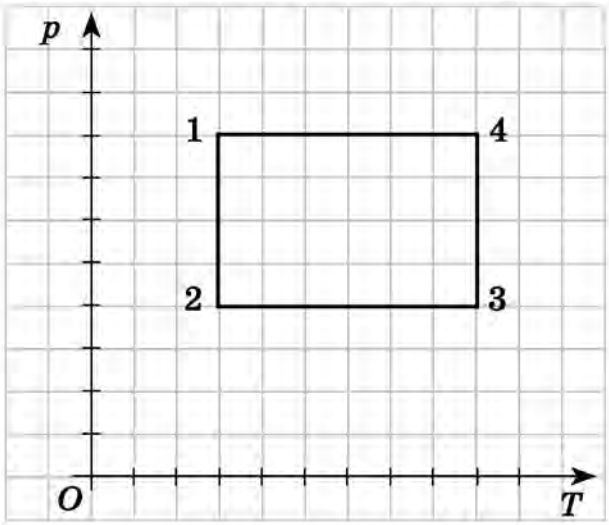


До задачі 30.78



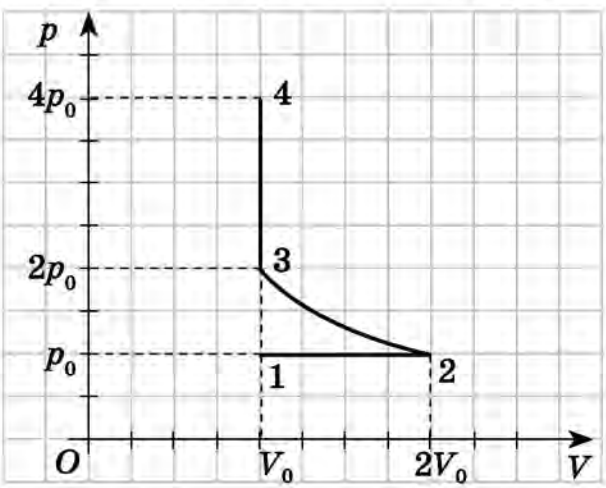
До задачі 30.79

30.80. На рисунку подано графік процесу, що відбувся з ідеальним газом, у координатах p, T. Побудуйте графіки цього процесу в координатах: а) p, V; б) V, T.

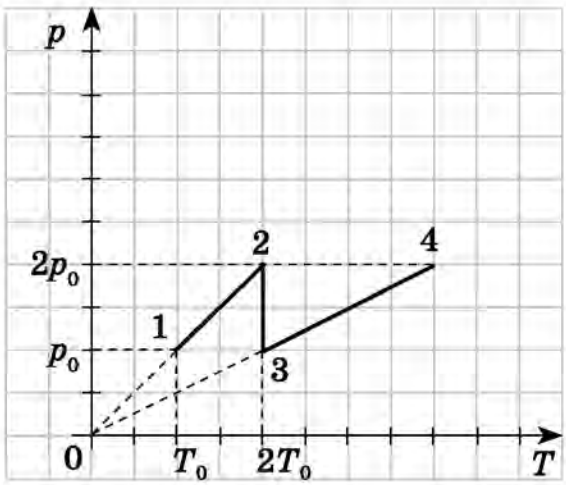


30.81. На рисунку подано графік процесу, що відбувся з ідеальним газом, у координатах p, V. Побудуйте графіки цього процесу в координатах: а) V, T; б) p, T. Вважайте ділянку 2–3 ізотермою.

30.82. На рисунку подано графік процесу, що відбувся з ідеальним газом, у координатах p, T. Побудуйте графіки цього процесу в координатах: а) V, T; б) p, T. Визначте кінцеву температуру газу.



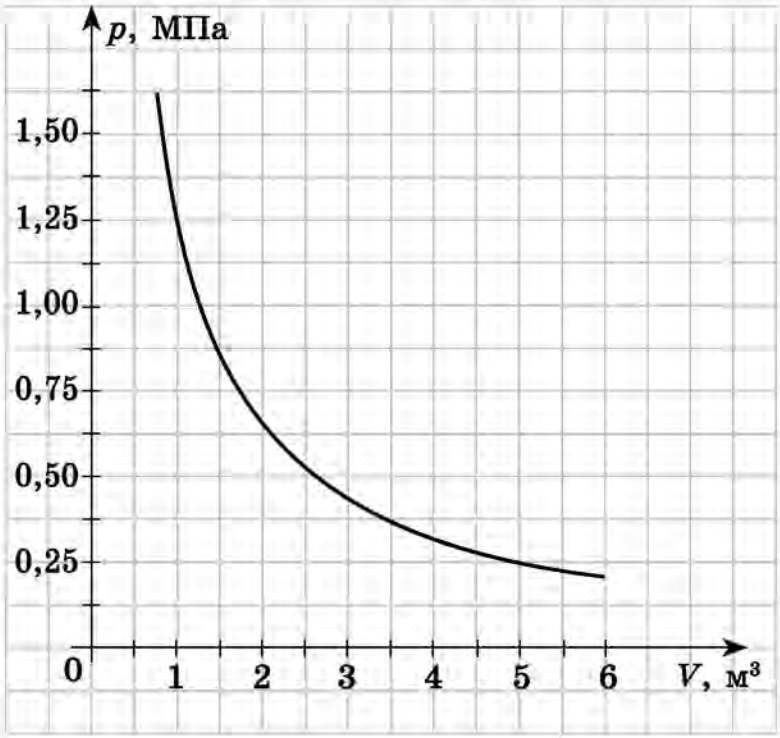
До задачі 30.81



До задачі 30.82

30.83. Побудуйте на одному рисунку графіки залежності тиску від об'єму для 9 г і 18 г водню за абсолютної температури 273 К.

30.84. Користуючись графіком залежності об'єму кисню від його тиску (див. рисунок), визначте масу газу. Температура газу є постійною і дорівнює 0 °С.



30.85. Балон витримує тиск 1568 Н/см^2. Визначте мінімальний об'єм балона, при якому у ньому можна зберігати 6,4 кг кисню за температури 20 °С.

30.86. Температура повітря в кімнаті піднялася з 7 °С до 27 °С. Яка маса повітря повинна вийти з кімнати, щоб тиск залишився незмінним і дорівнював 100 кПа? Об'єм повітря в кімнаті 50 м^3.

30.87. У балоні із запобіжним клапаном міститься водень за температури 15 °С і тиску 1 МПа. Під час нагрівання балона до температури 37 °С через клапан витік водень масою 6 кг, внаслідок чого тиск не змінився. Визначите об'єм балона.

30.88. У ході аеродинамічного гальмування автоматичного апарата, що спускається в атмосфері деякої планети, температура всередині нього підвищилася від 20 °С до 80 °С. Яку частину повітря необхідно випустити з апарата, щоб тиск усередині не змінився?

30.89. У балоні об'ємом 10 л міститься гелій за температури 300 К і тиску 0,5 МПа. Після того як балон нагріли, з нього випустили 1 г гелію і тиск знизився до 0,49 МПа. Визначте температуру гелію, який залишився в балоні.

30.90. У балоні ємністю 12 л міститься азот масою 1,5 кг за температури 37 °С. Яким стане тиск, якщо під час його нагрівання до 50 °С із балона вийде 50 % азоту? Знайдіть початковий тиск азоту.

30.91. Атмосферний тиск на висоті 7184 м (пік Леніна) приблизно дорівнює 38 кПа. Знайдіть густину повітря на цій вершині за 0 °С. Визначте число молекул повітря в одиниці об'єму за зазначених умов.

30.92. Доведіть, що один моль ідеального газу за нормальних умов займає об'єм 22,4 л. Скільки молекул газу при цьому міститься в одиниці об'єму?

30.93. За температури 309 К і тиску 0,7 МПа густина газу становить 12 $кг/м^3$. Визначте молярну масу цього газу.

30.94. Вода повністю займає посудину ємністю 1 л. Температура води 300 К. Оцініть тиск, який міг би установитися всередині посудини, якби зникли сили взаємодії між молекулами.

30.95. За якої температури густина повітря за нормального тиску дорівнюватиме густині водню, взятого за того самого тиску й температури 200 К?

30.96. Доведіть, що відношення густини будь-якого газу до густини водню, взятих за однакових тисках і температурах, дорівнює відношенню молярних мас газу й водню.

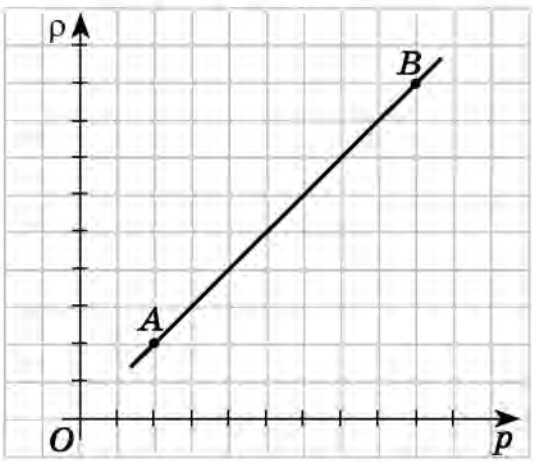
30.97. Сполука вуглецю й водню масою 0,65 г у газоподібному стані за температури 27 °С в об'ємі 1 л створює атмосферний тиск. Визначте хімічну формулу цієї сполуки.

30.98. За температури 27 °С і тиску 415,5 кПа густина газу 2,833 $кг/м^3$. Відомо, що молекули цього газу складаються з атомів Нітрогену N_7^{14} й Гідрогену H_1^1. Визначте хімічну формулу цього газу.

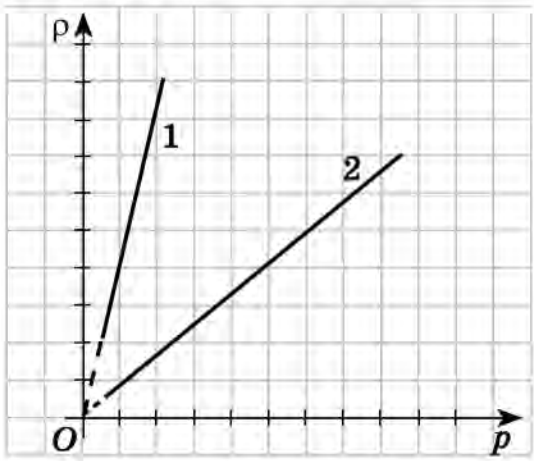
3-й рівень складності

30.99. У циліндрі під поршнем стискають газ. Графік залежності густини газу від його тиску подано на рисунку. Чи можна стверджувати, що газ стискають ізотермічно? Яка із позначених на рисунку точок відповідає більшому об'єму газу? Відповідь обґрунтуйте.

30.100. На рисунку подано графіки залежності густини деякої маси ідеального газу від його тиску за постійної температури. Який із графіків 1 і 2 відповідає більшій температурі газу? Відповідь обґрунтуйте.



До задачі 30.99



До задачі 30.100

30.101. Циліндр із повітрям, щільно закоркований з обох кінців, розділений на частини рухомим поршнем. Відстань від поршня до одного краю циліндра дорівнює 10 см, до іншого — 5 см. До меншої частини підключають вакуумний насос і повільно зменшують тиск на 25 кПа, при цьому поршень пересувається на 0,5 см. Визначте початковий тиск повітря в циліндрі. На яку величину необхідно зменшити тиск у більшій частині циліндра, щоб поршень повернувся на місце?

30.102. Циліндр із повітрям, щільно закоркований з обох кінців, розподілений на дві рівні частини рухомим поршнем. Після розкоркування циліндра з одного з його країв поршень перемістився на 2 см. Визначте початковий тиск повітря в циліндрі, якщо загальна довжина циліндра 13 см, а ширина поршня 1 см. Вважайте, що температура повітря не змінюється, а тиск повітря в навколишньому середовищі дорівнює 0,1 МПа. Розгляньте обидва можливих варіанти.

30.103. Закоркований з обох кінців циліндр розподілений на дві рівні частини рухомим поршнем. Тиск в обох частинах циліндра 0,75 МПа. Поршень повільно перемістили так, що об'єм однієї із частин зменшився в 2 рази. Знайдіть різницю тисків у частинах циліндра.

30.104. Вертикальна відкрита зверху циліндрична посудина розподілена поршнем, що ковзає без тертя. Поршень розташований на висоті 15 см від дна посудини. Після того як зверху на поршень поклали вантаж, він перемістився вниз на 3 см. Визначте масу вантажу, якщо маса поршня 7 кг, площа поперечного перерізу циліндра 100 $см^2$. Який додатковий зсув отримає поршень, якщо масу вантажу збільшити удвічі? Зміною температури знехтувати.

30.105. Вертикальну закриту циліндричну посудину завдовжки 42 см розділено на дві рівні частини поршнем, що ковзає без тертя. Застопоривши поршень, обидві половини посудини заповнили газом, причому тиск газу під поршнем 600 кПа, а над поршнем — 0,1 МПа. Коли стопор зняли, то поршень зсунувся на 7 см вгору. Визначте масу поршня, якщо площа його поперечного перерізу 5 $см^2$. За якої маси поршня, при якій він не змінив би свого розташування після зняття стопора? Зміною температури знехтувати.

30.106. У вертикальній відкритій зверху посудині під поршнем міститься повітря. Щоб ізотермічно зменшити об'єм повітря утричі, на поршень поклали вантаж масою 500 г. Визначте масу вантажу, який слід додати, щоб ізотермічно зменшити об'єм газу ще удвічі.

30.107. Аквалангісти користуються глибиноміром — невеликою циліндричною скляною трубкою, запаяною з одного кінця й заповненою повітрям. Яка частина трубки буде заповнена водою на глибині 10, 20, 30, 40 м? Температуру води вважайте постійною.

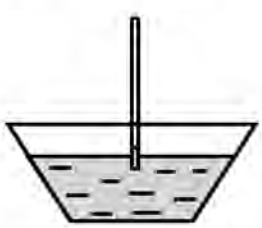
30.108. У посудині об'ємом 24 л міститься ідеальний газ за нормальних умов. Об'єм газу ізотермічно зменшили на 2 л. На скільки збільшилася концентрація газу в посудині?

30.109. За тиску 200 кПа ідеальний газ займає об'єм 5 л. Під час ізотермічного розширення його об'єм збільшився на 1 л, а концентрація молекул стала дорівнювати $3{,}62 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. За якої температури відбувався цей процес?

30.110. Відкриту з обох сторін скляну трубку завдовжки 50 см занурили в посудину із ртуттю на глибину 30 см, а потім, закривши верхній кінець трубки, витягли. Визначте висоту стовпчика ртуті в трубці. Атмосферний тиск 760 мм рт. ст.

30.111. У запаяній з одного кінця скляній трубці міститься повітря, замкнене стовпчиком ртуті. Спочатку трубку поставили вертикально відкритим кінцем вгору, при цьому ртуть розмістилася на висоті 32 см від дна трубки. Потім трубку акуратно перевернули запаяним кінцем вгору й довжина стовпчика замкненого повітря збільшилася на 1,6 см. Користуючись цими даними, визначте атмосферний тиск. Висота стовпчика ртуті 18,5 см.

30.112. Скляна трубка, запаяна з одного кінця, вставлена у відкриту посудину із ртуттю (див. рисунок). За атмосферного тиску 99 кПа рівень ртуті в трубці розташовувався на 5 см вище від рівня ртуті в посудині. Висота стовпа повітря 71 см. За якого атмосферному тиску рівень ртуті в трубці підвищиться на 1 см; понизиться на 1 см? Діаметр посудини вважайте набагато більшим за діаметр трубки.

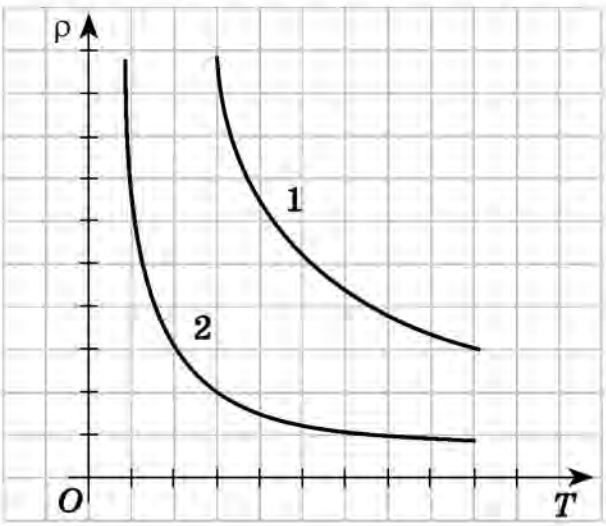


30.113. Газ у трубі плавильної печі охолоджується від 1150 °С до 200 °С. У скільки разів при цьому збільшується густина газу? Тиск газу не змінюється.

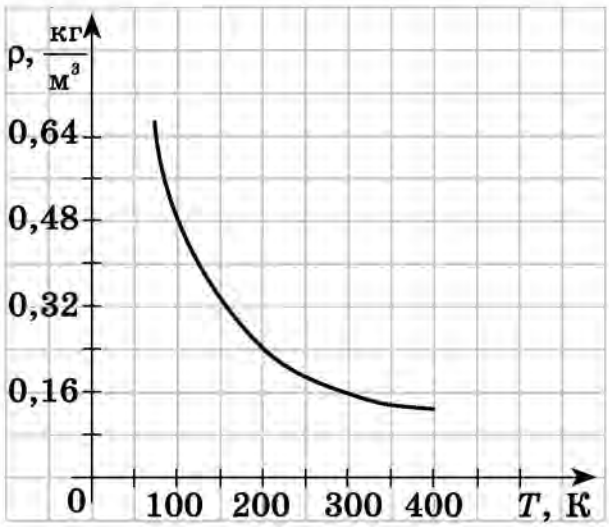
30.114. До якої температури необхідно нагріти повітря, що міститься у відкритій колбі за температури 15 °С, щоб його густина зменшилася втричі?

30.115. На рисунку подано графіки залежності густини газу від абсолютної температури в ізобарному процесі. Який із графіків відповідає більшому тиску?

30.116. На рисунку подано графік залежності густини деякої маси гелію від абсолютної температури за нормального тиску. Побудуйте на цьому ж графіку залежності густини гелію (1) й водню (2) за тиску 0,3 МПа.



До задачі 30.115



До задачі 30.116

30.117. Ідеальний газ за температури 22 °С займає об'єм 5 л і створює тиск 100 кПа. Визначте тиск газу за температури 400 К, якщо коефіцієнт об'ємного розширення дорівнює $1/295\ \text{К}^{-1}$.

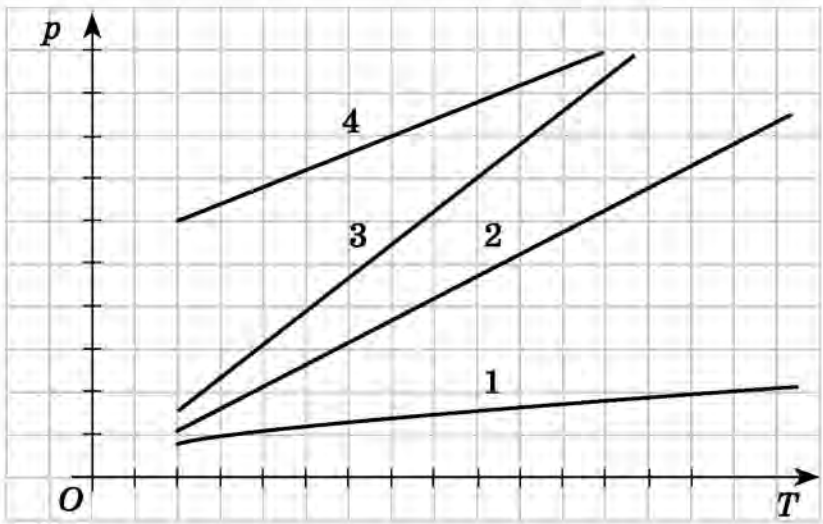
30.118. У скляній трубці, запаяній з одного кінця, міститься повітря, замкнене стовпчиком ртуті. За температури 20 °С висота замкненого повітряного стовпа дорівнювала 180 мм. Коли трубку занурили в посудину з гарячою водою, що має температуру 80 °С, то висота повітряного стовпа збільшилася до 217 мм. Знайдіть коефіцієнт об'ємного розширення повітря.

30.119. У сталевому балоні, оснащеному манометром, міститься стиснений газ. За температури 10 °С манометр показує тиск 0,26 МПа, а за температури 32 °С — тиск 0,28 МПа. Знайдіть за цими даними температурний коефіцієнт тиску.

30.120. Пляшка наповнена газом і щільно закоркована. Площа перерізу корка $2{,}5\ \text{см}^2$. До якої температури треба нагріти газ, щоб корок вилетів із пляшки? Сила тертя, що його утримує, 12 Н. Початковий тиск газу в пляшці та зовнішній тиск однакові й дорівнюють 100 кПа, а початкова температура газу −3 °С.

30.121. Балон, наповнений повітрям за нормальних умов, закритий клапаном. Площа клапана 10 см^2, а вага 20 Н. До якої температури треба нагріти повітря в балоні, щоб під його тиском клапан відкрився?

30.122. На рисунку подано графіки 1–4 залежності тиску газу в балонах від температури. Визначте, у яких балонах є витік газу. Відповідь обґрунтуйте.



30.123. Яка залежність числа молекул ідеального газу в одиниці об'єму від абсолютної температури при ізохорному процесі; при ізобарному процесі? Побудуйте графіки цієї залежності.

30.124. Внаслідок зменшення об'єму деякої кількості газу на 10 % й збільшення його тиску на 20 % температура газу зросла на 16 К. Визначте початкову температуру газу.

30.125. У вертикальному відкритому зверху циліндрі під невагомим рухомим поршнем міститься кисень за нормальних умов. Як зміниться об'єм кисню, якщо до вечора температура збільшиться на 15 °С, а тиск підвищиться на 5 %?

30.126. У посудині під поршнем міститься 1 г азоту. Площа поршня 10 см^2, його маса 1 кг. Азот нагрівають на 10 К. На яку висоту переміститься поршень? Тиск повітря над поршнем 100 кПа. Тертям у системі знехтувати.

30.127. У вертикальному закритому теплоізольованому циліндрі з поршнем масою 2 кг і діаметром 10 см міститься 1 моль гелію за температури 300 К. На поршень поставили вантаж масою 3 кг, після чого поршень переміститься на 5 см. Визначте температуру газу, яка встановилася, якщо тиск повітря над поршнем дорівнює атмосферному.

30.128. У колбі об'ємом 20 л змішали по 1 г водню й азоту. Визначте тиск суміші газів, якщо її температура дорівнює 0 °С. Вважайте, що гази хімічно не взаємодіють.

30.129. Під час згоряння 1 $м^3$ природного газу, що перебуває за нормальних умов, виділяється кількість теплоти, яка дорівнює 36 МДж. Яка кількість теплоти виділиться під час згоряння 10 $м^3$ газу, що перебуває під тиском 110 кПа й за температури 7 °С?

30.130. Аеростат об'ємом 300 $м^3$ наповнюється молекулярним воднем за температури 300 К й атмосферного тиску. Скільки знадобиться часу на наповнення оболонки аеростата, якщо з балона щосекунди переходить в аеростат 25 г водню? До наповнення газом оболонка аеростата водню не містила. Газ вважати ідеальним.

30.131. У балон об'ємом 150 л за допомогою компресора нагнітають кисень. Яку максимальну масу кисню вдасться закачати в балон, якщо температура кисню в процесі стискання становить приблизно 70 °С, а тиск, який витримує балон, 15 МПа? Визначте тиск у балоні за кімнатної температури 27 °С.

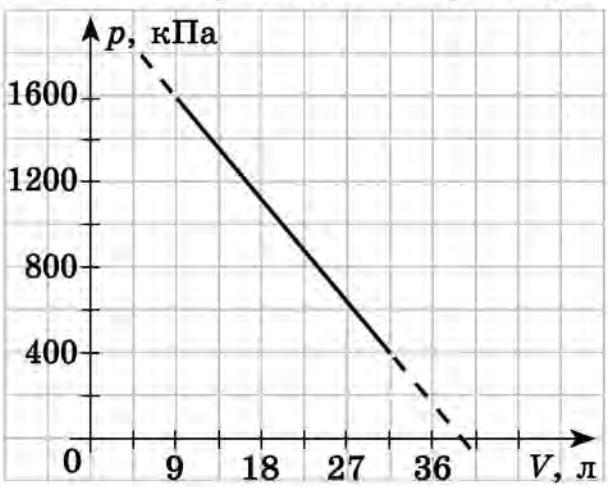
30.132. Закрита посудина об'ємом 10 мл має тріщину, через яку щосекунди входить 10^6 молекул газу. Який час знадобиться для заповнення посудини до нормального тиску, якщо швидкість проникнення молекул у посудину залишається постійною й початковий тиск у посудині 0 Па? Температура посудини з газом незмінна й дорівнює 273 К.

30.133. Горизонтальна циліндрична посудина завдовжки 75 см розділена на дві частини рухомим поршнем. Визначте розташування поршня, якщо в його лівій частині міститься кисень, а в другій — водень такої самої маси. Температури газів однакові.

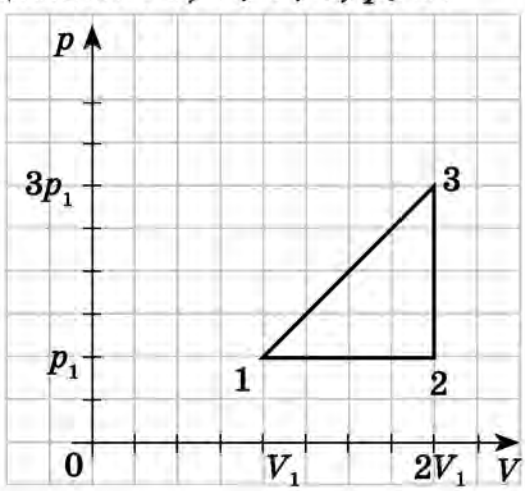
30.134. Гелій масою 20 г нескінченно повільно переводять зі стану, у якому газ займає об'єм 32 л за тиску 410 кПа, у стан з термодинамічними параметрами 9 л і 1,55 МПа (див. рисунок). До якої найбільшої температури нагріється газ у ході процесу? За якого тиску це відбудеться?

30.135. Два однакових балони з'єднані трубкою із клапаном, що пропускає газ, якщо різниця тисків є більшою від 1,1 атм або їй дорівнює. Спочатку в одному з балонів був вакуум, а в іншому — ідеальний газ за температури 19 °С під тиском 1 атм. Потім обидва балона нагріли до температури 109 °С. Знайдіть тиск газу в балоні, де був вакуум.

30.136. На рисунку подано графік процесу, що відбувається з ідеальним газом, в координатах p, V. Побудуйте графіки цього процесу в координатах: а) V, T; б) p, T.

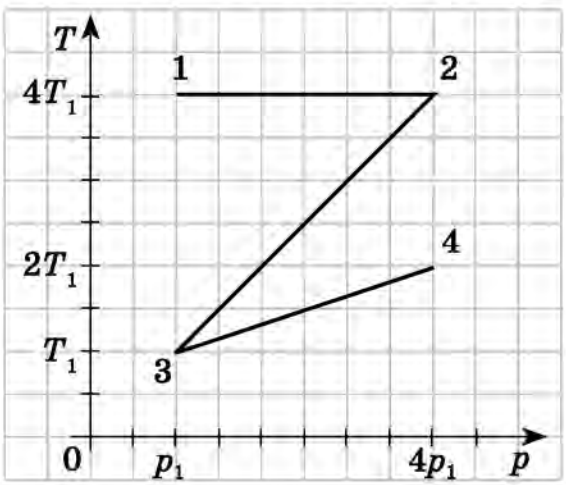


До задачі 30.134



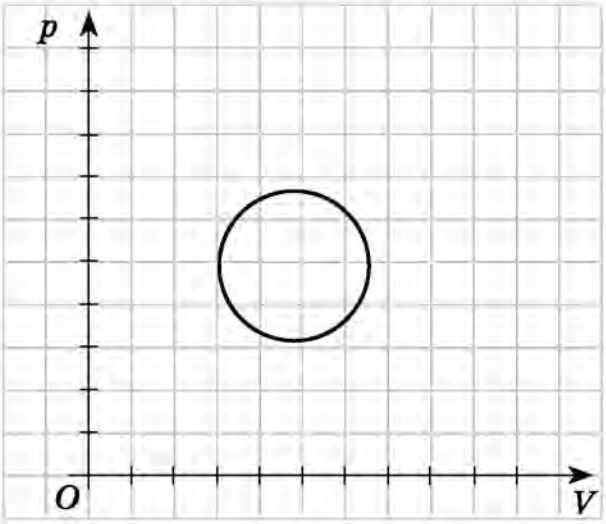
До задачі 30.136

30.137. На рисунку подано графік процесу, що відбувся з 1 моль ідеального газу, в координатах p, T. Побудуйте графіки цього процесу в координатах: а) p, V; б) V, T.

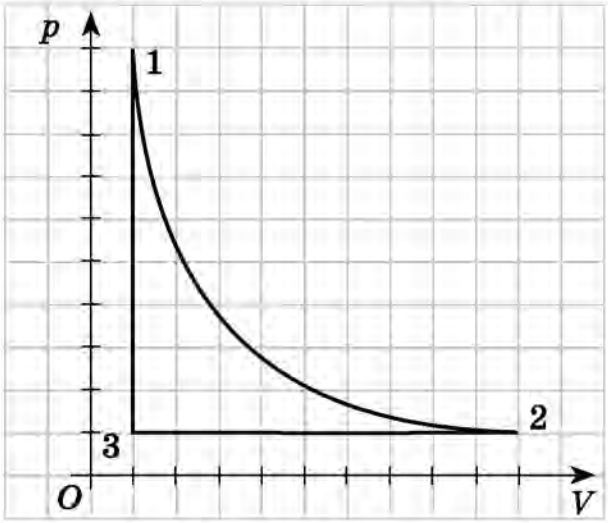


30.138. Як змінюється температура в ході процесу, графік якого подано у координатах p, V (див. рисунок)?

30.139. Замкнений цикл 1–2–3–1 задано у координатах p, V (див. рисунок). Задайте цей цикл у координатах ρ, T. При цьому ρ — густина газу, а ділянка 1–2 ізотерма.



До задачі 30.138



До задачі 30.139

31. ВЛАСТИВОСТІ ПАРИ, РІДИН І ТВЕРДИХ ТІЛ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Що легше: $1\ м^3$ сухого чи $1\ м^3$ вологого повітря, взяті за однакових температури й тиску?

Дано:

$V_{сух} = 1\ м^3$

$V_{вол} = 1\ м^3$

$T_{сух} = T_{вол}$

$p_{сух} = p_{вол}$

$M_{пов} = 28 \cdot 10^{-3}\ \frac{кг}{моль}$

$M_{H_2O} = 18 \cdot 10^{-3}\ \frac{кг}{моль}$

$\frac{m_{вол}}{m_{сух}}$ — ?

Розв'язання

Тиск сухого повітря визначається за формулою

$$p_{сух} = \frac{m_{сух}}{M_{пов}} \cdot \frac{RT_{сух}}{V_{сух}}, \qquad (1)$$

а тиск вологого повітря, згідно із законом Дальтона,— за формулою

$$p_{вол} = p_{пов} + p_{пари} = \frac{m_{пов}}{M_{пов}} \cdot \frac{RT_{вол}}{V_{вол}} + \frac{m_{пари}}{M_{H_2O}} \cdot \frac{RT_{вол}}{V_{вол}}. \qquad (2)$$

У формулах (1) і (2) $M_{\text{пов}}$ і M_{H_2O} — молярні маси повітря й води відповідно, а $p_{\text{пов}}$ і $p_{\text{пари}}$ — парціальні тиски повітря й пари у випадку вологого повітря відповідно.

Оскільки маса вологого повітря — це сума мас повітря й пари, що міститься в ньому ($m_{\text{вол}} = m_{\text{пов}} + m_{\text{пари}}$), то запишемо співвідношення

$$m_{\text{пов}} = m_{\text{вол}} - m_{\text{пари}}. \qquad (3)$$

Підставивши співвідношення (3) у формулу (2), отримаємо:

$$p_{\text{вол}} = \left(\frac{m_{\text{вол}}}{M_{\text{пов}}} + m_{\text{пари}} \cdot \frac{M_{\text{пов}} - M_{H_2O}}{M_{\text{пов}} M_{H_2O}} \right) \cdot \frac{RT_{\text{вол}}}{V_{\text{вол}}}. \qquad (4)$$

За умовою задачі тиски вологого й сухого повітря рівні, тоді дорівняємо праві частини формул (1) і (4) та, враховуючи, що $T_{\text{сух}} = T_{\text{вол}}$ і $V_{\text{сух}} = V_{\text{вол}}$, отримаємо:

$$\frac{m_{\text{сух}}}{M_{\text{пов}}} = \frac{m_{\text{вол}}}{M_{\text{пов}}} + m_{\text{пари}} \frac{M_{\text{пов}} - M_{H_2O}}{M_{\text{пов}} M_{H_2O}},$$

або

$$m_{\text{сух}} - m_{\text{вол}} = m_{\text{пари}} \frac{M_{\text{пов}} - M_{H_2O}}{M_{H_2O}}. \qquad (5)$$

Оскільки молярна маса повітря більша від молярної маси води ($M_{\text{пов}} > M_{H_2O}$), то з формули (5) отримаємо: $m_{\text{сух}} - m_{\text{вол}} > 0$, тобто сухе повітря важче за вологе.

Відповідь: вологе повітря легше.

Задача 2. У циліндрі під поршнем міститься 0,4 г водяної пари за температури 290 К. Ця пара займає об'єм 40 л. Як зробити пару насиченою, якщо: а) не змінювати об'єм пари; б) не змінювати температуру пари; в) одночасно змінювати об'єм і температуру пари?

Дано:	*СІ*	*Розв'язання*
$V = 40$ л	$V = 0{,}04$ м^3	Пара стане насиченою за умови $p = p_{\text{нас}}$, де $p_{\text{нас}}$ — тиск насиченої пари за температури 290 К. Оскільки температура 290 К відповідає температурі 17 °С, то з таблиці залежності тиску насиченої пари від температури (див. додаток) знаходимо $p_{\text{нас}} = 1{,}93$ кПа.
$m = 0{,}4$ г	$m = 4 \cdot 10^{-4}$ кг	
$T = 290$ К	$T = 290$ К	
$M_{H_2O} = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	$M_{H_2O} = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	

Вважаючи, що ненасичена пара підлягає рівнянню стану ідеального газу, скористаємося рівнянням стану ідеального газу постійної маси й запишемо співвідношення

$$\frac{pV}{T}=\frac{p_{\text{нас}}V_1}{T_1}.$$

Із цього співвідношення випливає, що пара стане насиченою за умови $\frac{V_1}{T_1}=\frac{mR}{M_{H_2O}p_{\text{нас}}}$ або після обчислення $\frac{V_1}{T_1}=\frac{4\cdot10^{-4}\cdot8{,}31}{18\cdot10^{-3}\cdot1930}=$ $=9{,}57\cdot10^{-5}\ \frac{\text{м}^3}{\text{К}}$. Враховуючи, що $\frac{V}{T}=1{,}38\cdot10^{-4}\ \frac{\text{м}^3}{\text{К}}$, $\frac{V_1}{T_1}=1{,}44\cdot\frac{V}{T}$. У випадку, якщо температура не змінюється $T_1=T=290$ К, об'єм пари $V_1=27{,}8$ л. Якщо ж пара охолоджується за постійного об'єму $V_1=V=0{,}04$ м, то за температури $T_1=201{,}4$ К вона стане насиченою.

Відповідь: пару можна зробити насиченою: а) шляхом ізохорного охолодження до температури 201,4 К; б) ізотермічним стисканням до об'єму 27,8 л; в) одночасною зміною температури й об'єму пари так, щоб відношення об'єму до температури пари збільшилося в 1,44 разу.

Задача 3. З одного боку від соломинки завдовжки 8 см, що плаває на поверхні води, наливають мильний розчин, і вона починає рухатися. У який бік рухається соломинка? Під дією якої сили? Температура води 20 °С.

Дано:	*СІ*
$l=8$ см	$l=0{,}08$ м
$\sigma_{\text{води}}=73\ \frac{\text{мН}}{\text{м}}$	$\sigma_{\text{води}}=0{,}073\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
$\sigma_{\text{мил. р}}=40\ \frac{\text{мН}}{\text{м}}$	$\sigma_{\text{мил. р}}=0{,}04\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
F — ?	

Розв'язання

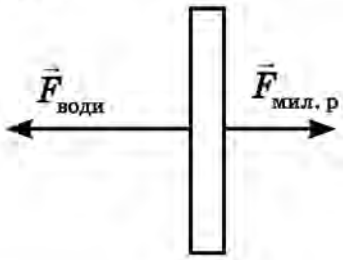
Мильний розчин утворює тонку плівку на поверхні води з одного боку від соломинки. Оскільки поверхневий натяг мильного розчину менший, ніж води, то на різні сторони соломинки починають діяти різні сили поверхневого натягу.

Ці сили дорівнюють добутку довжини контуру, по якому стикаються із соломинкою мильний розчин і вода (тобто довжині соломинки), на відповідний поверхневий натяг:

$$F_{\text{мил. р}}=\sigma_{\text{мил. р}}l \text{ і } F_{\text{води}}=\sigma_{\text{води}}l.$$

Напрямок сил поверхневого натягу визначається умовою скорочення площі вільної поверхні мильного розчину й води відповідно,

тобто вони напрямлені у протилежні сторони перпендикулярно до соломинки (див. рисунок).



Рівнодійна цих сил напрямлена перпендикулярно до соломинки у напрямку води й визначається за формулою

$$F = \left(\sigma_{\text{води}} - \sigma_{\text{мил. р}}\right) l .$$

Перевіримо одиниці й визначимо числове значення шуканої величини:

$$[F] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н} ; \quad \{F\} = (0{,}073 - 0{,}040) \cdot 0{,}08 = 2{,}64 \cdot 10^{-3} ;$$

$F = 2{,}64$ мН.

Відповідь: соломинка рухається у бік води під дією сили $F = 2{,}64$ мН.

1-й рівень складності

31.1. Під час випаровування й кипіння рідин відбувається їхнє перетворення на пару. Поясніть, у чому відмінність цих процесів.

31.2. Якщо у відкритій банці залишити небагато води, то вона вся висохне. Чому цього не відбувається у щільно закритій банці?

31.3. Чому за однаково високої температури волога погода переноситься гірше, ніж суха?

31.4. Чому в прогумованому одязі важко переноситься спека?

31.5. Чому, якщо подихати собі на руку, виникне відчуття тепла, а якщо подмухати — холоду?

31.6. Питома теплота пароутворення ефіру значно менша за питому теплоту пароутворення води. Чому ж при змочуванні руки ефіром відчувається більш сильне охолодження, ніж при змочуванні водою?

31.7. Для зниження високої температури тіло хворого можна обернути розчином оцту. Поясніть, чому це допомагає.

? **31.8.** Чому за абсолютною вологістю повітря не можна визначити, сухе це повітря чи вологе?

? **31.9.** Коли абсолютна вологість повітря більша: взимку чи влітку? Відповідь обґрунтуйте.

? **31.10.** За якої умови відносна вологість повітря може зменшуватися, незважаючи на збільшення абсолютної вологості?

? **31.11.** Чому вода в чайнику перестає кипіти, якщо вимкнути конфорку?

? **31.12.** Чи кипітиме вода у склянці, яку розташовано в каструлі з окропом? Чи кипітиме спирт?

? **31.13.** Від чого залежить температура кипіння води?

? **31.14.** Яким співвідношенням пов'язані тиск насиченої пари за температури кипіння рідини та тиск над поверхнею води?

? **31.15.** Чи можна «змусити» кипіти воду за кімнатної температури, не підігріваючи її? Відповідь обґрунтуйте.

? **31.16.** Поясніть, навіщо у сучасних скороварках підтримується високий тиск — до 2 атм.

? **31.17.** Після того як у каструлю з водою, практично доведеною до кипіння, всипали жменю солі, спостерігається бурхливе закипання води, тобто по всьому об'єму води утворюється велика кількість повітряних бульбашок. Поясніть явище, що спостерігається.

? **31.18.** Як за зовнішнім виглядом відрізнити в бані трубу з холодною проточною водою від труби з гарячою водою?

? **31.19.** Чим пояснюється поява взимку паморозі на шибках? З якого боку скла вона з'являється?

? **31.20.** Чому запотівають окуляри, коли людина з морозу входить до приміщення?

? **31.21.** Чому в морозні дні над ополонкою в річці утворюється туман?

? **31.22.** Взимку в кімнаті, де достатньо тепло й волого, при відкриванні кватирки утворюються клуби туману, які в кімнаті опускаються, а на вулиці піднімаються. Поясніть явище, що спостерігається.

? **31.23.** Як пояснити утворення хмарного сліду за реактивним літаком, що летить на великій висоті?

? **31.24.** Що треба зробити для підвищення тиску насиченої пари?

? **31.25.** Під час випаровування з поверхні рідини вилітають найшвидші молекули. Можна припустити, що температура пари має бути вищою за температуру рідини. Чому це не так?

? **31.26.** Вода, що має таку саму температуру, що й навколишнє середовище, випаровується. Звідки береться теплота випаровування?

31.27. У кімнаті при 0 °С відносна вологість повітря становить 80 %. Якою буде відносна вологість за температури 20 °С?

31.28. Чому дорівнює точка роси повітря, відносна вологість якого за температури 20 °С становить 28 %?

31.29. Чому дорівнює парціальний тиск водяної пари при відносній вологості повітря 60 %, якщо його температура становить 30 °С?

31.30. За якої температури водяна пара за тиску 1,23 кПа є насиченою?

31.31. Увечері за температури повітря 2 °С відносна вологість становить 60 %. Чи випаде вночі паморозь, якщо температура знизиться: а) до −3 °С; б) до −5 °С?

31.32. У повітрі з відносною вологістю 40 % тиск парів води становить 1040 Па. Визначте тиск насиченої пари за тієї самої температури.

31.33. Температура повітря 20 °С, а його точка роси — 10 °С. Яка абсолютна й відносна вологість цього повітря?

31.34. За температури 60 °С абсолютна вологість повітря 11,5 г/м^3. Визначте абсолютну вологість повітря після зниження температури до 20 °С; 10 °С.

31.35. У повітрі об'ємом 6 м^3 міститься 51,3 г водяної пари за температури 22 °С. Визначте абсолютну й відносну вологість повітря.

31.36. У повітрі об'ємом 5 м^3 міститься 80 г водяної пари. Визначте абсолютну вологість повітря.

31.37. За температури повітря 30 °С відносна вологість становить 60 %. Яка абсолютна вологість повітря?

31.38. Повітря міститься в балоні ємністю 10 л. Для його осушування в балон ввели шматок хлористого кальцію, який поглинув 0,13 г води. Яка була відносна вологість повітря в балоні, якщо його температура постійна й дорівнює 20 °С?

31.39. Через трубку з поглинаючою вологу речовиною пропустили 10 л повітря. При цьому маса трубки збільшилася на 300 мг. Визначте абсолютну вологість повітря.

31.40. Пара за температури 27 °С й тиску 1330 Па займає об'єм 2 л. Яка це пара? Якою вона стане, якщо об'єм зменшиться до 0,5 л і температура знизиться до 7 °С?

31.41. За температури 17 °С насичену водяну пару було відділено від рідини, після чого нагріто при незмінному об'ємі до 27 °С. Яким став її тиск? Якою стала пара?

31.42. Водяна пара, що міститься в закритій посудині об'ємом 5,76 л за температури 15 °С, чинить тиск 1280 Па. Яким буде його тиск, якщо об'єм посудини збільшиться до 8 л, а температура до 27 °С?

31.43. Під ковпаком вакуумного насоса перебуває склянка води, температура якої становить 20 °С. Після того як насос увімкнули, тиск повітря під ковпаком став швидко знижуватися. За якого тиску вода в склянці почне кипіти?

31.44. Тиск у камері автоклава становить 0,2 МПа. До якої максимальної температури можна нагріти воду в автоклаві?

31.45. Чи закипить вода у склянці під дзвоном повітряного насоса, якщо температура води 20 °С, а насос може створити розрідження до 6000 Па?

31.46. За температури 20 °С густина насиченої пари ртуті $20\ г/м^3$. Знайдіть тиск насиченої пари ртуті за цієї температури.

31.47. Тиск насиченої водяної пари за температури 287 К становить 1,6 кПа. Обчисліть густину насиченої пари за цієї температури.

31.48. За густиною насиченої водяної пари за температури 3 °С, взятою з таблиці, обчисліть тиск пари.

31.49. Яка густина насиченої пари за температури 100 °С?

31.50. Знайдіть абсолютну вологість повітря, знаючи, що парціальний тиск водяної пари, яка міститься в ньому, 14 кПа, а температура повітря 60 °С.

? **31.51.** Чому водоплавні птахи виходять сухими з води?

? **31.52.** Чому маленькі краплі роси на листі деяких рослин мають форму кульок, тоді як листя інших рослин роса покриває тонким шаром?

? **31.53.** Чим пояснити, що солом'яна покрівля на даху, що складається з окремих стебел, між якими є безліч порожнин, надійно захищає від дощу?

? **31.54.** Навіщо перед фарбуванням поверхонь їх рекомендують знежирювати?

? **31.55.** Перш ніж припаяти будь-яку деталь до плати її спочатку покривають каніфоллю. Навіщо?

? **31.56.** Чому крапля води або рослинної олії розтікається по поверхні дошки, а крапля ртуті не розтікається?

? **31.57.** Який вигляд матиме крапля ртуті, поміщена на чисту горизонтальну поверхню скла? Відповідь обґрунтуйте.

? **31.58.** Від яких величин залежить висота капілярного піднятя рідини?

? **31.59.** Як зміниться висота рівня води в капілярі, якщо за інших однакових умов взяти капіляр удвічі меншого радіуса? якщо перенести досвід на Місяць?

? **31.60.** Коли висота капілярного підняття води в ґрунті більша: навесні чи влітку? Чому?

? **31.61.** У посудину з гарячою водою помістили капілярну трубку. Як змінюватиметься рівень води в трубці під час охолодження води? Відповідь обґрунтуйте.

? **31.62.** Визначте поверхневий натяг рідини, якщо в капілярі радіусом 3 мм на неї діє сила в 10^{-3} Н.

? **31.63.** Капіляр радіусом 5 мм помістили у воду. Знайдіть силу поверхневого натягу води, що виникла всередині капіляра.

? **31.64.** Дротову рамку з рухомою перемичкою AB завдовжки 5 см занурюють у мильний розчин і акуратно витягають, у наслідок чого на рамці утворюється мильна плівка (див. рисунок). Яку силу необхідно прикласти до перемички AB, щоб утримувати її на місці?

? **31.65.** Аморфні тверді тіла іноді називають рідинами з надвисокою в'язкістю. Чому?

? **31.66.** У старому віконному склі нижня частина зазвичай товща, ніж верхня. Чим це можна пояснити?

? **31.67.** Чому в таблиці температур плавлення різних речовин відсутня температура плавлення скла?

2-й рівень складності

? **31.68.** У циліндрі під поршнем міститься насичена водяна пара без повітря. Побудуйте графік залежності тиску такої пари від об'єму.

? **31.69.** Що відбувається в ході ізотермічного зменшення об'єму насиченої пари? під час збільшення? Відповідь обґрунтуйте.

? **31.70.** Згідно з показами манометра тиск водяної пари у котлі менший за атмосферний. Незважаючи на це, температура такої пари вища за 100 °С. Чому?

31.71. У порожню посудину об'ємом 1 м^3 налили 10 г води за температури 20 °С і щільно закрили. Чи буде в посудині пара насиченою? При якій мінімальній масі води пара в посудині буде насиченою?

31.72. У порожній закритій посудині об'ємом 1 м^3 міститься 20 г води за температури 21 °С. Скільки води залишиться в посудині через деякий час? До якої мінімальної температури треба нагріти воду, щоб вона вся перейшла в пару?

31.73. У порожній посудині 500 л залишилося 20 г води, температура якої становить 17 °С. Скільки води й пари буде в посудині через деякий час?

31.74. У приміщенні об'ємом 22 м^3 за температури 23 °С відносна вологість повітря становить 60 %. Визначте тиск насиченої водяної пари за цієї температури, якщо маса води, яка випарувалася в приміщенні, дорівнює 270 г.

31.75. Яка маса водяної пари повітря об'ємом 18 л за температури 27 °С та відносній вологості 70 %?

31.76. У цех необхідно подати 1000 м^3 повітря за температури 20 °С та відносній вологості 50 %. Вологість повітря на вулиці за температури 10 °С становить 70 %. Яку масу води необхідно додатково випарувати у повітря, що подається?

31.77. У кімнаті розміром 4,0×8,0×3,0 м вологість повітря становить 70 %. Скільки ще води може випаруватися з відкритого бака за температури 20 °С?

31.78. Температура і вологість повітря в кімнаті відповідно дорівнюють 25 °С і 80 %. Яку кількість води необхідно сконденсувати з цього повітря, щоб знизити його вологість до 60 %? Об'єм кімнати 48 м^3.

31.79. За температури 25 °С вологість повітря становить 70 %. Скільки води конденсується з кожного кубометра повітря у разі зниження температури до 16 °С?

31.80. У кімнаті об'ємом 60 м^3 температура повітря підвищилася від 17 °С до 21 °С, вологість повітря збільшилася з 40 % до 60 %. Яка маса води випарувалася в повітря?

31.81. На деякій висоті над поверхнею Землі перебуває шар повітря об'ємом 10^6 м^3 за температури 20 °С і відносної вологості 70 %. Повітря охолодилося до 10 °С. Знайдіть масу дощу, що випав.

31.82. У посудині об'ємом 100 л за температури 30 °С міститься повітря з відносною вологістю 30 %. Якою буде відносна вологість повітря, якщо в посудину додати 1 г води?

? 31.83. Куди напрямлена сила поверхневого натягу мильної плівки, яка має форму кола?

? 31.84. Одна колба наполовину заповнена водою, а інша — ртуттю. Яку форму матимуть ці рідини в стані невагомості?

? 31.85. Чи можна змазувати тертьові поверхні машин рідкими мастилами, які не змочують ці поверхні? Чому?

? 31.86. Чи можна відливати метал у форми, які змочуються цим металом? Чому?

? 31.87. Чому зорі мають кулясту форму?

? 31.88. Чому гострі краї скла в ході нагрівання до температури плавлення стають закругленими?

? 31.89. Чому волейбольна сітка сильно натягається після дощу?

? 31.90. Як відомо, піщані замки й «пасочки» можна будувати тільки з мокрого піску. Сухі піщинки й піщинки, що цілком занурені у воду, не прилипають одна до одної. Поясніть, чому.

? 31.91. Волоски пензлика розходяться у воді, але відразу злипаються, якщо пензлик вийняти з води. Поясніть це явище.

? 31.92. Людині необхідно прийняти певну кількість крапель ліків. Як слід змінити їх число, якщо краплі відміряють у дуже натопленому приміщенні?

? 31.93. Мильний розчин має таку саму густину, як і вода. Чому в посудині він завжди розміщується поверх води?

? 31.94. Поверхнево-активні речовини (ПАР) знижують силу поверхневого натягу води. Поясніть, як це відбувається. Врахуйте, що молекули ПАР взаємодіють із молекулами води слабше, ніж молекули води між собою.

? 31.95. Холодна вода не відмиває засмальцьовані поверхні. Чому ж це можна зробити за допомогою мильного розчину й гарячої води?

? 31.96. Якщо покласти шматок сухої крейди на мокру губку, то крейда намокне. Якщо покласти суху губку на мокру крейду, то губка залишиться сухою. Чому?

? 31.97. Для видалення жирних плям тканину пропрасовують гарячою праскою, підклавши під неї аркуш паперу. Чому жир при цьому всмоктується в папір, а не розтікається по тканині?

? **31.98.** Для того щоб змащувальний крем краще всмоктувався у лижні черевики, їх нагрівають. Як треба нагрівати черевики: зовні чи зсередини?

? **31.99.** На сонці сушиться поліно. На кінці цього поліна, який звернений у тінь, виступають крапельки води. Чому?

31.100. За допомогою капілярної трубки, діаметр каналу якої 0,15 мм, вимірюють поверхневий натяг спирту. У ході експерименту спирт піднявся на 7,6 см. Який поверхневий натяг спирту було отримано за результатами експерименту? Густина спирту 800 кг/м^3.

31.101. У техніці для змащування підшипників ковзання іноді використовують «ґнотове» змащування. При цьому один край «ґнота» (тобто шматка гігроскопічного матеріалу) занурюють у машинне мастило, а по другому краю мастило піднімається на поверхню, що змащується. На яку висоту мастило може піднятися по ґноту, зробленому з тканини, діаметр капілярів якої в середньому становить 0,2 мм? Густина масла 870 кг/м^3, а поверхневий натяг $26 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

31.102. У скляній капілярній трубці, розташованій на Землі, вода піднімається на 1 см. На яку висоту підніметься вода по цій самій трубці на Місяці, де прискорення вільного падіння становить 1,6 м/см^2?

31.103. По ґноту вода піднімається на 80 мм. На яку висоту по тому самому ґноту підніметься спирт? Густина спирту 790 кг/м^3.

31.104. По ґноту спирт піднімається на 10 см. Який характерний діаметр капілярів тканини, з якої виготовлено ґніт? Густина спирту 800 кг/м^3.

31.105. Визначте довжину стовпа води в капілярній трубці із внутрішнім діаметром 0,6 мм, якщо трубку занурили у воду перпендикулярно до поверхні; під кутом 13° до поверхні.

31.106. У капілярній трубці радіусом 0,5 мм рідина піднялася на 11 мм. Знайдіть густину цієї рідини, якщо її поверхневий натяг 0,022 Н/м.

31.107. Знайдіть масу води, що піднялася в капілярній трубці діаметром 0,5 мм.

31.108. Для вимірювання поверхневого натягу рідин часто використовують метод «відриву кільця». Метод полягає у вимірюванні сили, необхідної для відривання від поверхні рідини тонкого кільця, розташованого паралельно їй, що виготовлене з матеріалу, який повністю змочується. Яке зусилля буде необхідне для того, щоб відірвати тонке металеве кільце від мильного розчину? Діаметр кільця 15,6 см, а його маса 7 г. Кільце дотикається до розчину по колу.

31.109. Для визначення поверхневого натягу мильного розчину скористались динамометром і шкіряним кільцем діаметром 20 см. У момент відривання кільця від поверхні рідини динамометр показав силу 0,194 Н. Маса кільця 15 г. Яке значення поверхневого натягу отримають внаслідок експерименту?

31.110. З вертикальної скляної трубки діаметром 1 мм випливає крапля води. Знайдіть масу цієї краплі, якщо температура води 20 °С.

31.111. За допомогою скляної трубки діаметром 2 мм відміряли 100 крапель спирту для визначення його поверхневого натягу. Визначте значення поверхневого натягу спирту, якщо маса відміряного спирту становить 1,3 г.

31.112. Дротяна рамка затягнута мильною плівкою. Яку роботу необхідно виконати, щоб розтягти цю плівку так, щоб площа її поверхні збільшилася на 6 $см^2$ з кожного боку?

31.113. Дротяна рамка затягнута мильною плівкою (див. рисунок до задачі 31.64). Довжина перемички 4 см. Як зміниться потенціальна енергія плівки, якщо перемичку змістити: а) вниз на 5 см; б) вгору на 1 см?

? 31.114. З монокристала вирізали деталь кубічної форми й нагріли. При цьому змінився не тільки обсяг деталі, а й її форма. Поясніть це явище.

? 31.115. Пластинка, вирізана з турмаліну, може бути використана як поляризатор — пристрій, який пропускає світло тільки в певному напрямку вектора електричної напруженості. Якою властивістю кристалічних ґраток турмаліна пояснюється цей ефект?

? 31.116. Шматок слюди легко розшаровується в напрямку волокон, а в напрямку, що до них перпендикулярний, може витримати досить велике навантаження. Проявом яких властивостей кристалічних твердих тіл це можна пояснити?

3-й рівень складності

? 31.117. Як пов'язані між собою густина насиченої пари й густина рідини за умови критичної температури? Чому при цьому дорівнює теплота пароутворення?

? 31.118. У якому стані — газоподібному чи рідкому — перебуває ефір за критичної температури 467 К? Критичний тиск ефіру 35,5 атм.

? 31.119. Газ і пар — речовини, що перебувають у газоподібному стані. У чому їхня принципова різниця?

? 31.120. Чи можна, стискаючи газ за температури, вищій за критичну для конкретної речовини, отримати рідину?

? 31.121. Критична температура вуглекислого газу 304 К. Чи можна, створивши відповідний тиск, перевести його в рідкий стан за температури 300 К? за температури 310 К?

31.122. У посудині об'ємом 2 л міститься повітря за температури 20 °С і відносної вологості 60 %. Яка маса роси випаде під час ізотермічного зменшення об'єму води в 4 рази?

31.123. У циліндрі під поршнем ізотермічно стискають 0,9 г ненасиченої пари за температури 29 °С. Яким буде об'єм пари у разі його конденсації?

31.124. Циліндричну посудину об'ємом 10 л поміщено у термостат за температури −57 °С. Під поршнем, що закриває цю посудину, міститься 1,9 г газоподібного аміаку (молярна маса $17 \cdot 10^{-3}$ кг/моль). Газ стискають поршнем до об'єму, що у 2 рази менший за початковий. Скільки аміаку сконденсується в посудині? Тиск насиченої пари аміаку за температури −57 °С становить 200 мм рт. ст.

31.125. У запаяній трубці об'ємом 0,4 л міститься водяна пара за температури 150 °С й тиску 60 мм рт. ст. Яка кількість роси випадає на стінках трубки під час її охолодження до 22 °С?

31.126. Тиск насиченої водяної пари за температури 36 °С дорівнює 44,6 мм рт. ст. Скільки важить за цієї температури 1 $м^3$ вологого повітря, якщо його відносна вологість становить 80 %, а тиск 1 атм?

31.127. Знайдіть об'єм повітря, яке має масу 1 г за температури 27 °С, тиску 90 кПа та відносної вологості 40 %.

31.128. Під дзвоном насоса перебуває склянка, що містить 20 г води. Швидкість відкачки насоса 50 л/хв. Скільки буде потрібно часу для випаровування всієї води, якщо температура води встановилася на рівні 5 °С?

31.129. У скляному балоні, приєднаному до вакуумного насоса, містяться крапельки ртуті загальною масою 0,87 г. Балон помістили в піч, у якій підтримується температура 120 °С. Продуктивність насоса 7 л/хв. Визначте тиск насичених парів ртуті за температури 120 °С, якщо тиск у балоні після 20 хв роботи насоса різко впав.

31.130. Пористе тіло було поміщено під дзвін вакуумного насоса для просушки. Тиск під дзвоном утримувався на рівні 6,5 мм рт. ст. протягом години, після чого різко впав. Продуктивність насоса 60 л/хв. Під дзвоном установилася температура, що дорівнює 5 °С. Яку кількість води містило зазначене тіло?

31.131. Зі щільно закоркованої посудини відкачали повітря, після чого частково заповнили водою й нагріли до температури 100 °С. При цьому в посудині установився тиск 98 кПа. Визначте відношення об'єму води, налитої в посудину, до об'єму посудини.

31.132. У посудині містяться повітря й насичена водяна пара за температури 100 °С й тиску 3 атм. Яким буде тиск у посудині у разі зниження температури до 10 °С?

31.133. У закриту посудину об'ємом 25 л, заповнену сухим повітрям за температури −23 °С й тиску 10^5 Па, поклали шматочок льоду масою 9 г. Потім посудину нагріли до температури 127 °С. Визначте тиск вологого повітря в посудині. Тиск насиченої водяної пари за температури 127 °С дорівнює 250 кПа.

31.134. У циліндрі під поршнем міститься сильно розріджене вологе повітря за температури 30 °С. Тиск у циліндрі становить 10^4 Па, відносна вологість — 60 %. Який тиск установиться у циліндрі, якщо переміщенням поршня його об'єм зменшити в 3 рази, зберігаючи при цьому температуру постійною? Об'ємом води, що з'явилася в результаті конденсації, знехтувати.

31.135. У циліндрі об'ємом 10 л під поршнем міститься вологе повітря за температури 20 °С й відносній вологості 70 %. Визначте тиск у циліндрі, якщо його об'єм за тієї самої температури зменшити в 10 разів? Початковий тиск повітря дорівнює 100 мм рт. ст. Тиск насиченої пари за температури 20 °С дорівнює 18 мм рт. ст.

31.136. У циліндрі під поршнем у просторі об'ємом 1,5 л містяться повітря й насичена водяна пара за температури 5 °С. Визначте відносну вологість повітря в циліндрі, якщо його об'єм зменшити до 0,1 л, а температуру підвищити до 100 °С.

31.137. У циліндрі під поршнем міститься повітря за температури 100 °С та відносної вологості 40 %. Об'єм повітря 100 $см^3$. Циліндр охолодили до 15 °С. Яким має бути об'єм повітря в циліндрі, щоб роса на стінках не випала?

31.138. Визначте відносну вологість повітря під поршнем за температури 20 °С й тиску 1 атм, якщо конденсація води із цього повітря при 100 °С почалася за тиску 60 атм. Тиск насиченого пару води за температури 20 °С дорівнює 17,5 мм рт. ст.

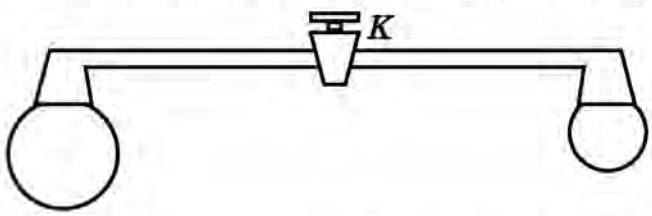
31.139. Змішали взяті за однакової температури 1 $м^3$ повітря з вологістю 20 % та 2 $м^3$ повітря з вологістю 30 % і отримали суміш об'ємом 3 $м^3$. Визначте відносну вологість цієї суміші. Температура повітря не змінювалася.

31.140. Змішали узяті за однакової температури 2 $м^3$ повітря з вологістю 35 % та 1,5 $м^3$ з вологістю 60 %. Визначте об'єм отриманої суміші, якщо її вологість становить 40 %. Температура повітря не змінювалася.

31.141. Пробірка завдовжки 40 см, заповнена повітрям і насиченою водяною парою, торкається відкритим кінцем поверхні води. Пробірку занурили у воду наполовину, при цьому поверхня води в пробірці опинилася на глибині 19 см. Знайдіть тиск насиченої водяної пари. Атмосферний тиск 100 кПа, густина води 1000 кг/м^3. Температура в ході експерименту не змінювалася.

31.142. Пробірка завдовжки 56 см, заповнена повітрям і насиченою водяною парою, торкається відкритим кінцем поверхні води. Пробірку занурили у воду наполовину. Визначте, на яку висоту підніметься вода у пробірці. Атмосферний тиск 100 кПа, густина води 1000 кг/м^3. Температура в ході експерименту постійна й дорівнює 24 °С.

? 31.143. Дві мильні бульбашки — велику і малу — видуто на різних кінцях тієї самої трубки (див. рисунок). Яка бульбашка збільшуватиметься після відкриття крана *K* і яка — зменшуватиметься? Відповідь обґрунтуйте.



31.144. У двох капілярних трубках різного діаметра, занурених у воду, встановилася різниця рівнів, що дорівнює 2,6 см. У цих самих трубках, занурених у певну рідину, різниця рівнів виявилася рівною 1 см. Знайдіть поверхневий натяг цієї рідини, якщо її маса 1 м^3 дорівнює 790 кг.

31.145. У двох капілярних скляних трубках різного діаметра, занурених у воду, установилася різниця рівнів, що дорівнює 4,9 см. Яка буде різниця рівнів ртуті в капілярах, якщо їх занурити у ртуть? У якій із трубок рівень ртуті буде нижчим?

? 31.146. Поверхневий натяг рідини не залежить від її об'єму й геометричних розмірів посудини. Чому ж його існування найбільш чітко виявляється тільки у вузьких трубках і маленьких краплях?

? 31.147. Чому в земних умовах тільки дуже маленькі краплі можуть набувати сферичної форми?

? 31.148. Сила поверхневого натягу рідини в капілярі пропорційна довжині межі розподілу рідини й твердого тіла, тобто збільшується зі збільшенням діаметра капіляра. Чи означає це, що висота капілярного підняття рідини зростає зі збільшенням діаметра капіляра? Чому?

? 31.149. Сполучені капілярні трубки різного діаметра заповнені водою. Як зміниться різниця рівнів води в трубках в ході нагрівання води? Відповідь обґрунтуйте.

31.150. На яку висоту підніметься вода між паралельними пластинками, що розташовані на відстані 0,2 мм одна від одної?

31.151. Атмосферний тиск вимірюють за допомогою ртутного барометра, діаметр трубки якого 5 мм. Яку поправку слід вносити у вимірювання, щоб дізнатися правильне значення тиску? Яка відносна похибка вимірювання, якщо барометр показав тиск 97,5 кПа?

31.152. У ртутному барометрі з діаметром трубки 2 мм висота ртутного стовпчика дорівнює 760 мм. Яким є атмосферний тиск? Внесіть виправлення на капілярність трубки.

31.153. Визначте енергію, яка виділиться під час зливання маленьких крапель води радіусом $2 \cdot 10^{-3}$ мм в одну краплю радіусом 2 мм.

31.154. Яка енергія виділиться під час зливання 125 крапель води діаметром 0,5 мм в одну велику краплю?

31.155. Вертикальний запаяний зверху скляний капіляр завдовжки 33 см привели у зіткнення з водою відкритим кінцем. Визначте поверхневий натяг води, якщо її рівень у капілярі піднявся на 1 см. Діаметр капіляра дорівнює 0,1 мм, атмосферний тиск 100 кПа.

31.156. Вертикальний запаяний зверху скляний капіляр завдовжки 15 см і діаметром 1 мм привели у зіткнення зі спиртом відкритим кінцем. На яку висоту в капілярі підніметься спирт? У скільки разів ця висота менша за висоту капілярного підняття спирту в такому самому, але відкритому з двох боків капілярі? Атмосферний тиск 100 кПа.

31.157. Знайдіть тиск у бульбашці повітря діаметром 4 мкм, яка перебуває у воді на глибині 5 м. Атмосферний тиск 100 кПа.

31.158. Визначте різницю атмосферного тиску й тиску повітря всередині мильної бульбашки. Діаметр бульбашки 10 мм.

31.159. У дні чайника є круглий отвір діаметром 0,1 мм. До якої висоти можна налити в чайник воду, щоб вона не виливалася через отвір? Чи збережеться ця умова, якщо воду в чайнику нагрівати?

? 31.160. Якщо монокристал розколоти на частини, утворяться шматки, схожі за формою з початковим кристалом. При цьому у цих шматків сформуються ідеальні рівні грані. Чому це відбувається?

? 31.161. Яка властивість притаманна молекулам усіх рідких кристалів?

32. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. У циліндрі під поршнем міститься ідеальний газ. Об'єм газу ізотермічно збільшується в 4 рази, потім його тиск ізохорно збільшується вдвічі. Надалі газ стискають до початкового об'єму за постійного тиску й ізохорно нагрівають до початкової температури. Побудуйте графік залежності тиску від об'єму та, користуючись ним, установіть, що більше: робота газу чи робота зовнішніх сил над газом.

Дано:

$T_1 = T_2$

$V_2 = 4V_1$

$V_2 = V_3$

$p_3 = 2p_2$

$p_4 = p_3$

$V_4 = V_1$

$p_4 = p_1$

A — ?

Розв'язання

Побудуємо в координатах p, V графік процесу, описаного в умові задачі. Встановимо зв'язок між параметрами газу в станах 2–4 і стані 1. Для цього скористаємось рівнянням стану газу постійної маси

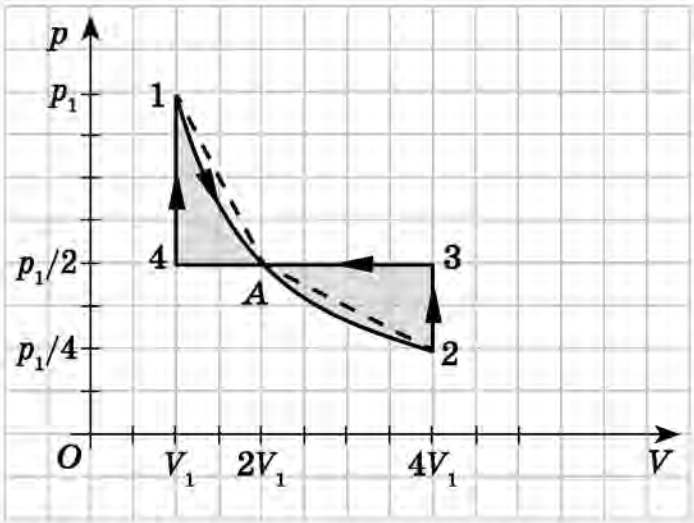
$$\frac{pV}{T} = \text{const}. \qquad (1)$$

Для стану 2 за умовою задачі маємо: $V_2 = 4V_1$ і $T_2 = T_1$, а з рівняння (1) отримаємо: $p_2 = \frac{p_1}{4}$.

Для стану 3 за умовою задачі маємо: $V_3 = V_2 = 4V_1$ і $p_3 = 2p_2 = \frac{p_1}{2}$, а з рівняння (1) отримаємо: $T_3 = 2T_1$.

Для стану 4 за умовою задачі маємо: $V_4 = V_1$ і $p_4 = p_3 = \frac{p_1}{2}$, а з рівняння (1) отримаємо: $T_3 = \frac{T_1}{2}$.

Користуючись встановленими співвідношеннями, побудуємо графік процесу 1–2–3–4 (див. рисунок). Процеси 4–1 і 2–3 — ізохорні, відрізки, що відповідають їм, на графіку паралельні осі p, процес 3–4 ізобарний, відрізок, що відповідає йому, паралельний осі V.



Газ виконує роботу під час ізотермічного розширення, а зовнішні сили виконують роботу над газом під час ізобарного стискання. Робота, виконана в ході кожного процесу, відповідає площі під графіком зазначеного процесу, побудованого в координатах p, V. Таким чином, робота, яку виконує газ в ході процесу, дорівнює площі криволінійної трапеції, обмеженої ізотермою 1–2, віссю V і прямими, що паралельні осі p і проходять через точки 1 і 2. Робота, що виконується над газом, дорівнює площі прямокутника, утвореного відрізком 4–3, віссю V і прямими, що паралельні осі p і проходять через точки 3 і 4. Різниця роботи, яку виконує газ, і роботи, виконаної над ним, дорівнює різниці площі криволінійного трикутника $A41$ і криволінійного трикутника $A32$ відповідно (заштриховані ділянки на рисунку). Проведемо відрізки $1–A$ і $2–A$. Тоді площі прямокутних трикутників $A41$ і $A23$ визначаються співвідношеннями

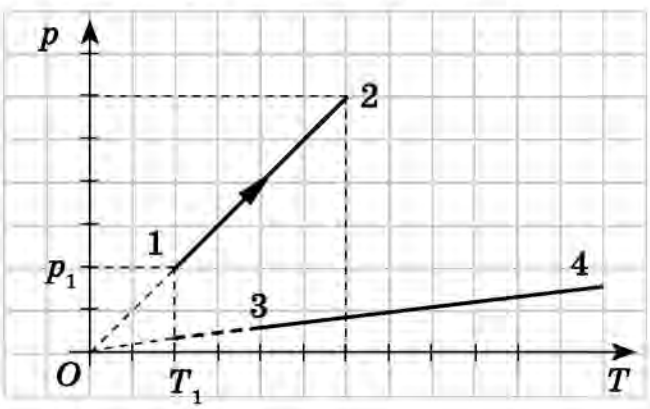
$$S_{A41} = \frac{(p_1 - p_4)}{2}(V_A - V_4) = \frac{p_1}{4}(V_A - V_1); \qquad (2)$$

$$S_{A23} = \frac{(p_3 - p_2)}{2}(V_3 - V_A) = \frac{p_1}{8}(4V_1 - V_A). \qquad (3)$$

Тут ми врахували раніше отримані співвідношення між об'ємом і тиском газу в різних станах. З рисунку видно, що у стані A об'єм газу $V_A = 2V_1$. Щоб перевірити цей факт, знайдемо точку перетину ізотерми 1–2 з ізобарою 3–4. Для ізотерми 1–2 виконується співвідношення $p_1V_1 = p_AV_A$, а для ізобари 3–4 — співвідношення $p_3 = p_A$. Оскільки точка A належить обом кривим, то справедливим є співвідношення $p_1V_1 = p_3V_A$ або $V_A = \frac{p_1}{p_3}V_1 = \frac{p_1}{\frac{p_1}{2}}V_1 = 2V_1$. Підставивши значення для об'єму газу в стані A до формул (2) і (3), отримаємо: $S_{A41} = \frac{p_1V_1}{4}$ і $S_{A23} = \frac{p_1V_1}{4}$, або $S_{A41} = S_{A23}$. А оскільки площа криволінійного трикутника $A41$ менша за площу прямокутного трикутника $A41$ (див. рисунок), а площа криволінійного трикутника $A23$ більша за площу прямокутного трикутника $A23$, то робота, яку виконує газ під час процесу 1–2–3–4–1, від'ємна $(A < 0)$.

Відповідь: робота, що виконується над газом, більша за роботу, яку виконує газ.

Задача 2. На рисунку подано графіки залежностей тиску від температури того самого одноатомного ідеального газу для процесів 1–2 і 3–4. В ході якого із цих процесів газ отримав більшу кількість теплоти? Відповідь обґрунтуйте.



Розв'язання

Процеси 1–2 і 3–4 є ізохорними, оскільки тиск лінійно залежить від абсолютної температури й прямі 1–2 і 3–4 проходять через початок координат. Під час ізохорних процесів газ не виконує роботи, а вся підведена до газу теплота йде на збільшення його внутрішньої енергії, тобто $Q_{1-2} = \Delta U_{1-2}$ і $Q_{3-4} = \Delta U_{3-4}$. Таким чином,

$$Q_{1-2} - Q_{3-4} = \Delta U_{1-2} - \Delta U_{3-4}. \qquad (1)$$

З іншого боку, внутрішня енергія одноатомного ідеального газу обчислюється за формулою $U = \frac{3\nu RT}{2}$. Тоді отримаємо:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2}\nu R\left(T_2 - T_1\right); \qquad (2)$$

$$\Delta U_{3-4} = \frac{3}{2}\nu R\left(T_4 - T_3\right). \qquad (3)$$

Скориставшись умовою задачі (див. рисунок) і рівняннями (2) і (3), отримаємо:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3\nu R\left(3T_1 - T_1\right)}{2} = 3\nu RT_1 \text{ і } \Delta U_{3-4} = \frac{3\nu R\left(6T_1 - 2T_1\right)}{2} = 6\nu RT_1.$$

Підставивши знайдені значення змін внутрішньої енергії до формули (1), отримаємо:

$$Q_{1-2} - Q_{3-4} = 3\nu RT_1 - 6\nu RT_1 = -3\nu RT_1 < 0 \text{ або } Q_{1-2} < Q_{3-4}.$$

Відповідь: газ отримав більшу кількість теплоти в ході процесу 3–4.

1-й рівень складності

? **32.1.** Як відомо, борошно з-під жорнів виходить гарячим, хліб з печі виймають теж гарячим. Яка причина підвищення температури?

? **32.2.** Чи може збільшитися температура тіла без теплопередачі? Якщо так, то в який спосіб?

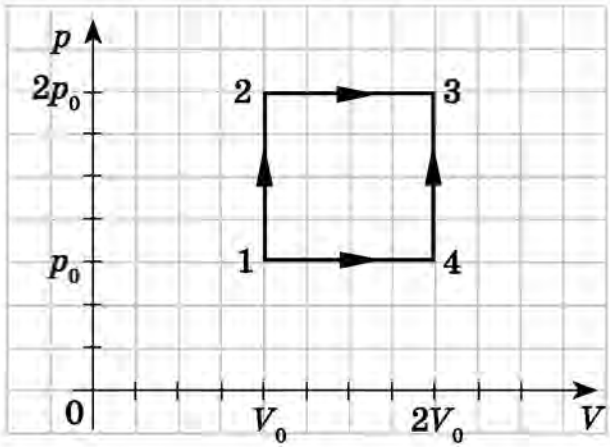
? **32.3.** Дріт може нагрітися в полум'ї спиртівки або внаслідок багаторазового згинання. Чи правильним є твердження, що в обох випадках дріт отримав деяку кількість теплоти?

? **32.4.** Порівняйте внутрішню енергію ідеального і реального газів, взятих за однакових температур й кількості молекул. Відповідь обґрунтуйте.

? **32.5.** Порівняйте внутрішню енергію 1 моль гелію й 1 моль кисню, взятих за однакових температур. Яке значення більше й чому?

? **32.6.** Як змінюється внутрішня енергія ідеального газу внаслідок: а) ізобаричного нагрівання; б) ізохоричного охолодження; в) ізотермічного стискання?

? **32.7.** Чи залежить зміна внутрішньої енергії газу від способу переведення цього газу зі стану 1 у стан 3 (див. рисунок)? Відповідь обґрунтуйте.



32.8. Знайдіть внутрішню енергію 2 кмоль ідеального одноатомного газу, взятих за температури 300 К.

32.9. Знайдіть температуру ідеального одноатомного газу, якщо внутрішня енергія 5 моль цього газу дорівнює 20 кДж.

32.10. Закоркована посудина, у якій міститься 80 г гелію за температури 400 К, нагрівають до 450 К. На скільки збільшилася внутрішня енергія гелію?

32.11. На скільки градусів слід збільшити температуру 100 г аргону, щоб його внутрішня енергія збільшилася на 3,3 кДж?

32.12. Знайдіть внутрішню енергію ідеального одноатомного газу, що перебуває під тиском 100 кПа в посудині об'ємом 40 $м^3$.

32.13. Який об'єм займає аргон за тиску 0,2 МПа, якщо його внутрішня енергія дорівнює 6 кДж?

32.14. Порівняйте внутрішню енергію 1 кг льоду за температур $-4\,°C$ і $0\,°C$. Яке значення більше й на скільки?

32.15. Шматок свинцю масою 0,5 кг нагріли від $25\,°C$ до $250\,°C$, при цьому його внутрішня енергія збільшилася на 14,5 кДж. Знайдіть теплоємність свинцю.

? **32.16.** Чи виконується робота в ході: а) ізохорного нагрівання газу; б) ізобарного нагрівання газу; в) ізотермічного стискання газу?

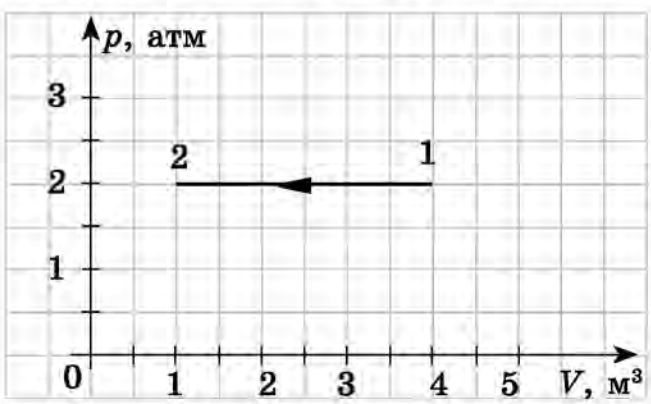
? **32.17.** Чи виконується робота, якщо: а) гумовий м'яч надувають насосом; б) м'яч роздувається при нагріванні; в) воду нагрівають у відкритій посудині; г) воду нагрівають у закритій посудині?

32.18. Яку роботу виконує газ, розширюючись ізобарно за тиску 200 кПа від 5,6 л до 7,5 л?

32.19. Газ в ході ізобарного розширення від $3\ м^3$ до $3{,}25\ м^3$ виконав роботу 25 кДж. Знайдіть тиск цього газу.

32.20. Для ізобарного стискання газу до об'єму $150\ дм^3$ виконано роботу 100 Дж. Знайдіть початковий об'єм газу, якщо його тиск 100 кПа.

32.21. Газ переходить зі стану 1 у стан 2 (див. рисунок). Знайдіть роботу, виконану над газом зовнішніми силами.



32.22. Криптон масою 840 г ізобарно нагріли на 20 К. Знайдіть роботу, яку виконав криптон.

32.23. Яку роботу виконує 1 кмоль ідеального одноатомного газу в ході ізобарного підвищення температури на 1 °С?

32.24. Під час нагрівання газу його внутрішня енергія збільшилася на 600 Дж, при цьому він виконав роботу 200 Дж. Яку кількість тепла передали газу?

32.25. Над ідеальним газом виконано роботу 200 Дж, при цьому його внутрішня енергія збільшилася на 500 Дж. Знайдіть кількість теплоти, підведену до газу, у ході цього процесу.

32.26. Газу передали кількість теплоти 12,5 кДж, після чого він виконав роботу 5 кДж. Як змінилася внутрішня енергія газу?

32.27. Ідеальний одноатомний газ переводять з одного стану в інший так, що температура залишається постійною. Визначте зміну внутрішньої енергії газу й роботу, виконану внаслідок цього переходу, якщо газу було передано кількість теплоти 10 кДж.

32.28. Газу передають кількість теплоти 7 кДж, 60 % якої пішло на збільшення внутрішньої енергії газу. Знайдіть роботу, виконану газом.

32.29. Газу передають кількість теплоти 0,5 МДж. Скільки відсотків кількості теплоти пішло на збільшення внутрішньої енергії газу, якщо в ході розширення газ виконав роботу $2 \cdot 10^5$ Дж?

32.30. Знайдіть роботу, яку виконують 5 моль ідеального одноатомного газу при його адіабатичному охолодженні на 10 К.

32.31. 1 моль ідеального одноатомного газу при адіабатичному розширенні виконав роботу 249 Дж. Як змінилася: а) внутрішня енергія газу; б) температура газу?

32.32. Знайдіть роботу адіабатичного розширення гелію масою 4 г, якщо його температура внаслідок розширення знизилася на 27 К.

32.33. В ході адіабатичного стискання 1 кг аргону виконано роботу 0,1 МДж. Визначте кінцеву температуру газу, якщо його початкова температура 27 °С.

32.34. Кількість теплоти, віддана за цикл тепловим двигуном холодильнику, 1,5 кДж, ККД двигуна 20 %. Визначте кількість теплоти, отриману за цикл від нагрівача.

32.35. Тепловий двигун виконує роботу 200 кДж. Визначте кількість теплоти, яку віддано холодильнику. ККД двигуна 12 %.

32.36. Ідеальний тепловий двигун за 0,5 год отримує від нагрівача кількість теплоти 150 кДж, а холодильнику віддає 100 кДж. Визначте корисну потужність цього двигуна.

32.37. Корисна потужність теплового двигуна 2 кВт. Яку кількість теплоти отримує двигун за 1 год, якщо його ККД становить 12 %?

32.38. Знайдіть максимальний ККД теплової машини, якщо температура нагрівача 227 °С, а температура холодильника 27 °С.

32.39. Визначте температуру холодильника ідеальної теплової машини, якщо її ККД становить 25 %, а температура нагрівача дорівнює 374 К.

32.40. Температура холодильника теплової машини, що працює за циклом Карно, 0 °С. За якої мінімальної температури нагрівача ККД теплової машини перевищуватиме 70 %?

32.41. Температура нагрівача ідеальної теплової машини 117 °С, а температура холодильника –27 °С. За 1 с машина отримує від нагрівача кількість теплоти 60 кДж. Обчисліть: а) ККД машини; б) кількість теплоти, відданої холодильнику за 1 с; в) корисну потужність машини.

32.42. В ідеальній тепловій машині за рахунок 1 кДж енергії, отриманої від нагрівача, виконується робота 300 Дж. Температура холодильника 280 К. Визначте: а) ККД машини; б) температуру нагрівача.

32.43. Теплова машина передає холодильнику 3/4 теплоти, отриманої від нагрівача. Вважаючи, що теплова машина працює за циклом Карно, знайдіть температуру холодильника. Температура нагрівача 600 К.

32.44. Ідеальна теплова машина працювала протягом 1 год за температури нагрівача 100 °С, холодильника — 0 °С. Корисна потужність машини 73,5 кВт. Визначте енергію: а) отриману машиною від нагрівача; б) віддану холодильнику.

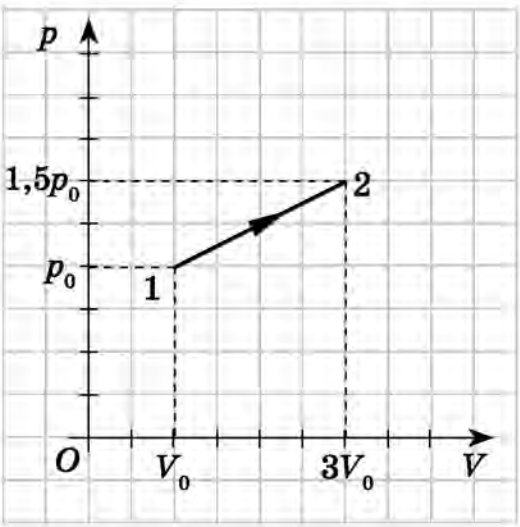
2-й рівень складності

32.45. Знайдіть внутрішню енергію суміші, що складається з гелію масою 20 г і неону масою 10 г, за температури 27 °С.

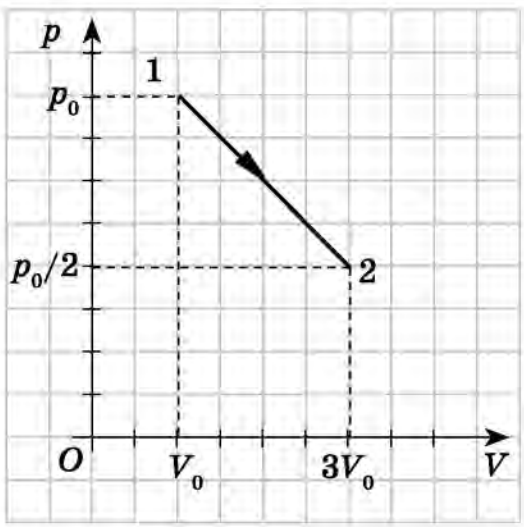
32.46. Маса суміші криптону й аргону дорівнює 62 г. Визначте масу аргону в цій суміші, якщо її внутрішня енергія за температури 27 °С становить 3,74 кДж.

32.47. Визначте зміну внутрішньої енергії ідеального одноатомного газу в ході процесу, графік якого зображено на рисунку, якщо тиск газу в стані 1 становить 2 МПа, а об'єм у стані 2 дорівнює $9\ м^3$.

32.48. На рисунку подано графік процесу, що відбувається з ідеальним одноатомним газом, внаслідок якого внутрішня енергія газу збільшилася на 900 Дж. Визначте тиск газу в стані 1, якщо його об'єм у цьому стані дорівнює 6 л.



До задачі 32.47



До задачі 32.48

32.49. Газ об'ємом $6\ м^3$, що перебуває за температури 27 °С і тиску 190 кПа, нагрівають до температури 360 К, підтримуючи його тиск постійним. Знайдіть роботу, виконану газом в ході нагрівання.

32.50. У циліндрі міститься $0{,}5\ м^3$ повітря за тиску 2 атм. Внаслідок ізобарного нагрівання на 10 К повітря виконало роботу 4 кДж. Визначте початкову температуру повітря.

32.51. Газ займає об'єм 200 л за температури 310 К і тиску 50 кПа. В ході ізобарного розширення газ виконав роботу 1 кДж. Визначте кінцеву температуру газу.

32.52. Повітря в циліндрі під поршнем займає об'єм $5\ м^3$ за температури 300 К. Внаслідок ізобарного нагрівання на 100 К повітря виконало роботу 5 МДж. Знайдіть тиск у циліндрі.

32.53. У вертикальній відкритій зверху посудині під невагомим поршнем міститься 50 л ідеального одноатомного газу. Внаслідок нагрівання об'єм газу збільшився до 70 л. Знайдіть зміну внутрішньої енергії газу. Атмосферний тиск 100 кПа. Тертям у системі знехтувати.

32.54. Під час ізобарного розширення гелію від $5\ м^3$ до $6\ м^3$ його внутрішня енергія збільшилася на 150 кДж. Знайдіть тиск гелію.

32.55. У закритій посудині об'ємом 5 л міститься ідеальний одноатомний газ за тиску 100 кПа. Після охолодження газу тиск зменшився до 70 кПа. На скільки зменшилася внутрішня енергія газу?

32.56. Ідеальний одноатомний газ ізохорно нагрівається так, що його внутрішня енергія зростає на 3 кДж. Визначте тиск газу після нагрівання, якщо об'єм газу 4 л, а початковий тиск 300 кПа.

32.57. Водень масою 6,5 г ізобарно розширився до вдвічі більшого об'єму, ніж початковий. Знайдіть роботу, виконану газом, якщо його початкова температура $27\ °C$.

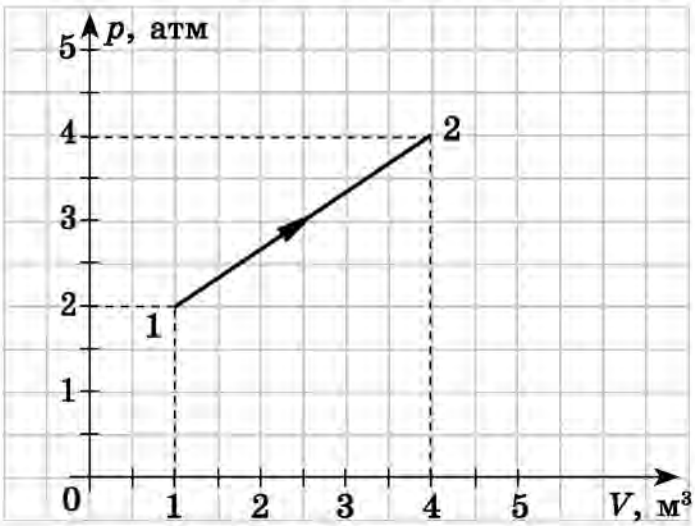
32.58. В ході ізобарного зменшення в 3 рази об'єму, який займає кисень масою 20 г, зовнішня сила виконала роботу 1 кДж. Знайдіть початкову температуру кисню.

32.59. Розширюючись за постійного тиску, 1 кмоль ідеального газу виконав роботу 831 кДж. Початкові об'єм і температура газу становили $5\ м^3$ і 350 К відповідно. Знайдіть температуру, тиск і об'єм газу в кінцевому стані.

32.60. Внаслідок ізобарного розширення до об'єму 5 л 1 моль ідеального газу виконав роботу 83,1 Дж. Початкова температура газу 270 К. Знайдіть: а) температуру газу в кінцевому стані; б) тиск газу в кінцевому стані; в) початковий об'єм газу.

32.61. Деякий газ розширюється від 2 л до 8 л, при цьому тиск змінюється за законом $p = aV$, де $a = 40\ МПа/м^3$. Побудуйте графік залежності тиску від об'єму газу й визначте роботу, виконану газом.

32.62. Газ переходить зі стану 1 у стан 2 (див. рисунок). Знайдіть роботу, яку виконує газ в ході процесу.



32.63. Деяка маса газу, що займає об'єм 11 л, перебуває під тиском 10^5 Па за температури 300 К. Газ нагрівають за постійного об'єму до температури 330 К, а потім за постійного тиску до температури 360 К. Побудуйте графік процесу в координатах p, V. Знайдіть роботу, яку виконав газ в ході процесу.

32.64. У вертикально розташованому циліндрі під поршнем масою 5 кг, що ковзає без тертя, міститься повітря. Площа поперечного перерізу циліндра 1 $дм^2$. Внаслідок ізобарного нагрівання повітря поршень піднявся на 30 см. Яку роботу виконало повітря, якщо атмосферний тиск 100 кПа?

32.65. Тиск повітря у відбійному молотку становить 4 атм. Площа поршня 15 $см^2$, хід поршня 30 мм. Визначте потужність відбійного молотка, якщо він робить 1200 уд/хв. Тертям знехтувати.

32.66. Потужність парової машини 100 л. с. при 180 об/хв. Визначте хід поршня парової машини, якщо середній тиск у котлі становить 10 атм, а площа поршня 200 $см^2$.

32.67. Об'єм газу збільшився у 2 рази: а) ізотермічно; б) ізобарично. У якому із цих випадків газ виконав більшу роботу?

? 32.68. Чому пальне, що подається наприкінці такту стискання в циліндр дизеля, запалюється?

? 32.69. Чому вентиль балона, в якому міститься стиснений газ, при випусканні газу покривається інеєм?

32.70. У результаті теплопередачі ідеальний газ отримує кількість теплоти, що дорівнює 100 кДж, і виконує роботу 5000 Дж. Знайдіть початкове значення внутрішньої енергії газу, якщо в ході процесу його температура зросла в 6 разів.

32.71. Ідеальному газу передали кількість теплоти 100 кДж, при цьому його температура підвищилася в 3 рази. Визначте роботу, виконану зовнішніми силами над газом, якщо його внутрішня енергія в початковому стані становила 50 кДж.

32.72. У закритій посудині міститься 3 моль гелію за температури 27 °С. На скільки відсотків збільшився тиск у посудині, якщо гелію передали кількість теплоти 2,7 кДж?

32.73. Внаслідок теплопередачі тиск одноатомного ідеального газу збільшився на 0,2 МПа. Яку кількість теплоти було передано газу, якщо його об'єм дорівнює 2 $м^3$ і в ході процесу залишається постійним?

32.74. ККД теплової машини, що працює за циклом Карно, становить 0,25. У скільки разів необхідно збільшити температуру нагрівника за незмінної температури холодильника, щоб збільшити ККД в 2 рази?

32.75. В якому випадку ККД теплової машини, що працює за циклом Карно, збільшиться більше: в разі збільшення температури нагрівника на деяку величину чи зменшення температури холодильника на ту саму величину?

32.76. На швидкості 90 км/год автомобіль розвиває потужність 30 кВт, при цьому витрата палива становить 8 л бензину на 100 км шляху. Температура газу в циліндрі двигуна дорівнює 1250 К, а температура відпрацьованого газу — 450 К. Визначте, на скільки реальний ККД двигуна автомобіля менший за ККД ідеальної теплової машини.

32.77. Визначте потужність двигуна автомобіля, якщо витрата бензину становить 8 л на 100 км шляху при середній швидкості руху 100 км/год. ККД двигуна становить 35 %.

32.78. Який ККД тракторного двигуна, якщо витрата дизельного пального становить 216 г/год на 1 кВт?

32.79. Потужність двигуна автомобіля 74 кВт. Визначте витрату бензину за 1 год, якщо ККД двигуна 30 %.

32.80. У тепловій машині, що працює за циклом Карно, нагрівником є вода, взята за температури кипіння, а холодильником — лід, що тане. Потужність теплової машини 1,0 кВт. Якою є маса льоду, що тане в ході роботи машини протягом 1 хв? Питома теплота плавлення льоду 330 кДж/кг.

32.81. Холодильник, що працює за зворотним циклом Карно, відвів від охолоджуваного тіла 140 Дж теплоти й передав її нагрівнику, який має температуру 27 °С. Температура охолоджуваного тіла 7 °С. Визначте коефіцієнт ефективності холодильної машини. Яку роботу виконав холодильник для реалізації цього процесу?

32.82. Для приготування кубиків льоду побутовий холодильник має відвести 210 Дж теплоти від морозильної камери з температурою 260 К. Температура в кімнаті 300 К. Знайдіть мінімальну роботу, яку необхідно виконати холодильнику в ході процесу.

32.83. Визначте швидкість свинцевої кулі в момент удару об перешкоду, внаслідок чого вона розплавилася. Вважайте, що температура кулі в момент удару дорівнює 300 °С.

32.84. Визначте мінімальну висоту, з якої повинна впасти крапля, щоб від удару об землю випаруватися. Температура води в краплі 20 °С. Тертям об повітря знехтувати.

32.85. Шматок заліза масою 1,5 кг нагрівають у вогні до температури 360 °С й потім занурюють у скляну банку з водою. Скільки разів слід повторити цю операцію, щоб підігріти воду об'ємом 3 л від 20 °С до 80 °С? Втратами енергії знехтувати.

3-й рівень складності

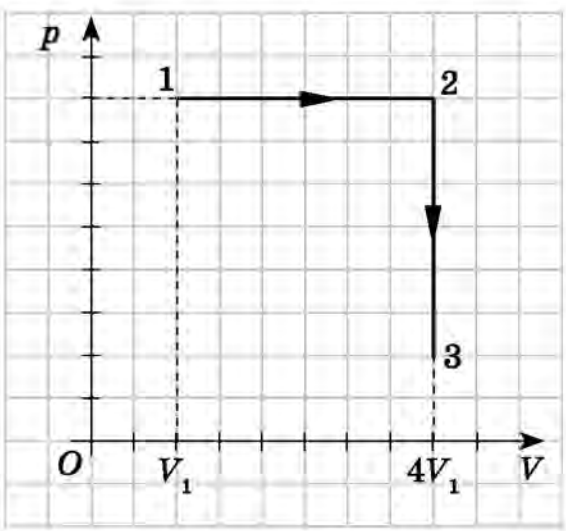
32.86. В ході процесу з ідеальним одноатомним газом його тиск змінюється пропорційно квадрату абсолютної температури. Під час збільшення об'єму газу від 2 л до 6 л його внутрішня енергія зменшилася на 300 Дж. Визначте початковий тиск газу.

32.87. У посудині під поршнем міститься ідеальний одноатомний газ об'ємом 5 л. Поршень масою 1 кг, який замикає газ за атмосферного тиску й температури 27 °С, приводять у рух зі швидкістю 20 м/с. Знайдіть температуру газу в разі максимального стискання. Система теплоізольована. Теплоємностями поршня й посудини знехтувати.

32.88. У двох циліндрах під рухомими поршнями містяться водень і кисень. Порівняти роботи, які виконують ці гази в ході ізобарного нагрівання, якщо їх маси, а також початкові й кінцеві температури рівні.

32.89. Внаслідок ізохоричного охолодження 1 кмоль ідеального газу тиск знизився у 3 рази. Потім газ розширився за постійного тиску. Побудуйте графік процесу, що відбувається, в координатах p, V. Знайдіть роботу, виконану газом, якщо в кінцевому й початковому станах його температура не змінювалася й дорівнює 300 К.

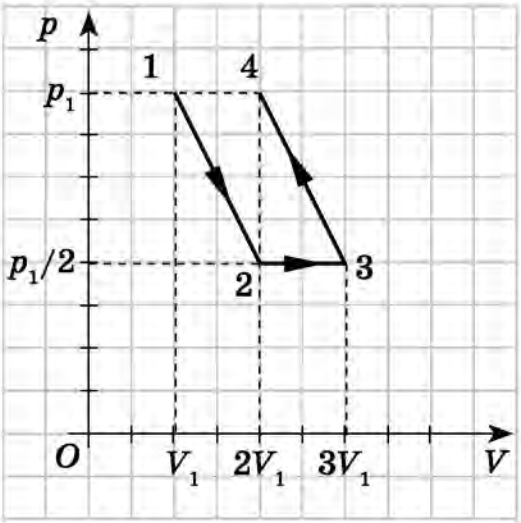
32.90. На рисунку наведено графік процесу, що відбувається з 1 моль ідеального газу. Температури газу в станах 1 і 3 збігаються. Знайдіть цю температуру, якщо в результаті процесу газ виконав роботу 10,5 кДж.



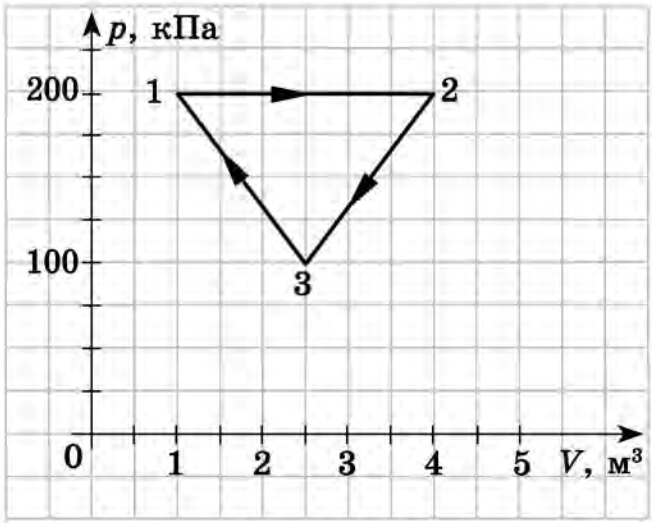
32.91. Газ, що займає об'єм 1 л за тиску 100 кПа, ізотермічно розширився до 2 л. Потім за постійного об'єму тиск газу зменшився вдвічі. Надалі газ розширився за постійного тиску до об'єму 4 л. Побудуйте графік залежності тиску від об'єму і, користуючись ним, встановіть, у якому із процесів газ виконав найбільшу роботу.

32.92. Деякий газ переводиться з початкового стану в кінцевий (див. рисунок). Яку роботу виконує газ під час процесу, якщо в початковому стані він займав об'єм $4\ м^3$ за тиску 10^5 Па?

32.93. Користуючись графіком, який наведено на рисунку, знайдіть роботу, яку виконує газ під час процесу.

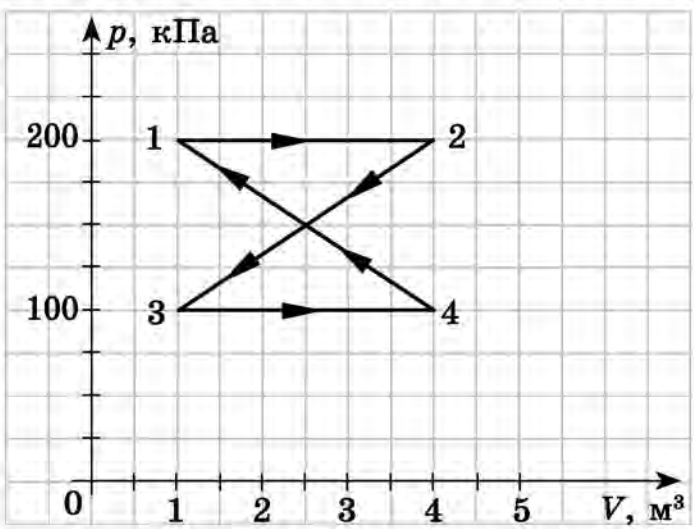


До задачі 32.92



До задачі 32.93

32.94. Користуючись графіком, який наведено на рисунку, знайдіть роботу, яку виконує газ у ході процесу.



32.95. Гелій об'ємом $1\ м^3$ при $0\ °C$ міститься в циліндричній посудині, закритий зверху ковзним поршнем масою 1 т. Площа перерізу поршня $0{,}5\ м^3$. Атмосферний тиск 97,3 кПа. Визначте кількість теплоти, потрібної для нагрівання гелію до температури $300\ °C$. Якою є зміна його внутрішньої енергії? Тертям знехтувати.

32.96. Під час ізобарного нагрівання ідеального одноатомного газу йому було передано кількість теплоти 9,4 МДж. Визначте роботу газу і зміну його внутрішньої енергії.

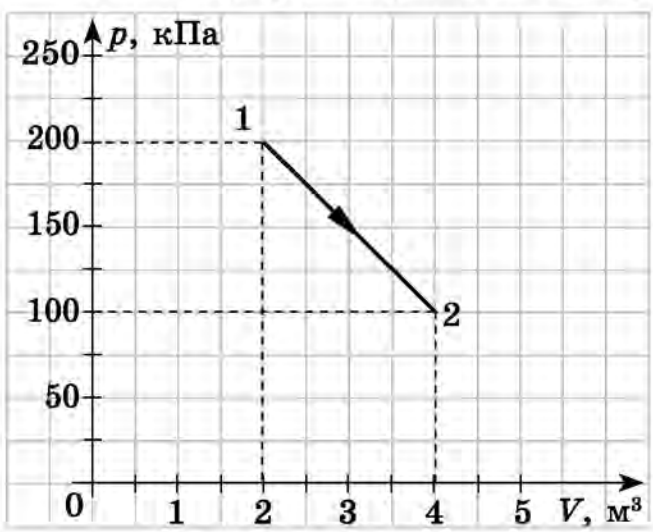
32.97. Деяку кількість повітря, взятого за температури 15 °С і тиску $2 \cdot 10^5$ Па, нагрівають до 65 °С. Для нагрівання повітря за постійного тиску необхідна була кількість теплоти 5 кДж, а за постійного об'єму — 3,5 кДж. Визначте об'єм, який займало повітря до нагрівання.

32.98. Ідеальний одноатомний газ, який займає об'єм 1 $м^3$ і перебуває під тиском 200 кПа, нагрівають спочатку за постійного тиску так, що його об'єм збільшується удвічі, а потім за постійного об'єму так, що його тиск збільшується до 0,5 МПа. Визначте кількість теплоти, отриманої газом.

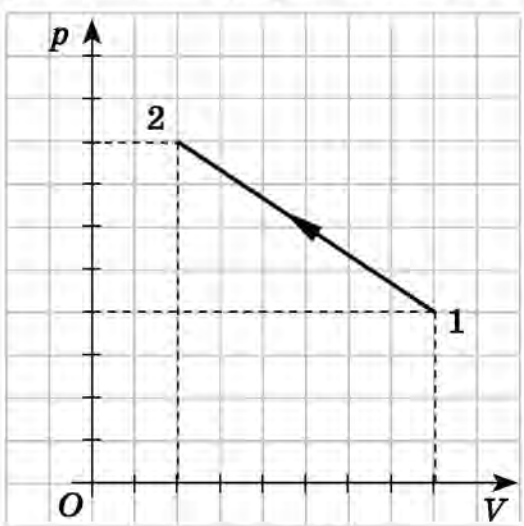
32.99. Ідеальний газ із початкового стану з тиском 400 кПа й об'ємом 3 $м^3$ переводять у стан із тиском 200 кПа й об'ємом 1 $м^3$ у два способи. Один раз газ ізобарно стисли, а потім ізохорно охолодили, а другий — ізохорно охолодили, а потім ізобарно стисли. У якому випадку виділилося більше тепла? Визначте різницю в тепловиділенні.

32.100. Користуючись графіком процесу розширення ідеального одноатомного газу (див. рисунок), знайдіть кількість теплоти, передану газу.

32.101. Відрізок 1–2 відображає залежність тиску 4 моль гелію від об'єму під час стискання (див. рисунок). Визначте, яку кількість теплоти було підведено до газу під час процесу, якщо його температура в стані 2 дорівнює 20 °С.



До задачі 32.100



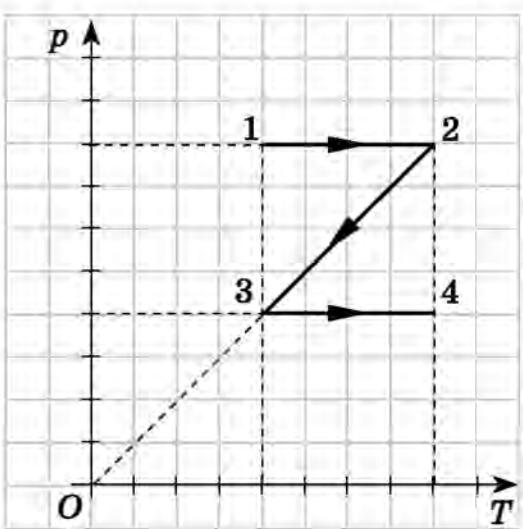
До задачі 32.101

32.102. Один моль ідеального одноатомного газу виконує процес, при якому тиск зростає пропорційно об'єму за законом $p = \alpha V$. Газу передали кількість теплоти 33,2 Дж. На скільки при цьому змінилася температура газу?

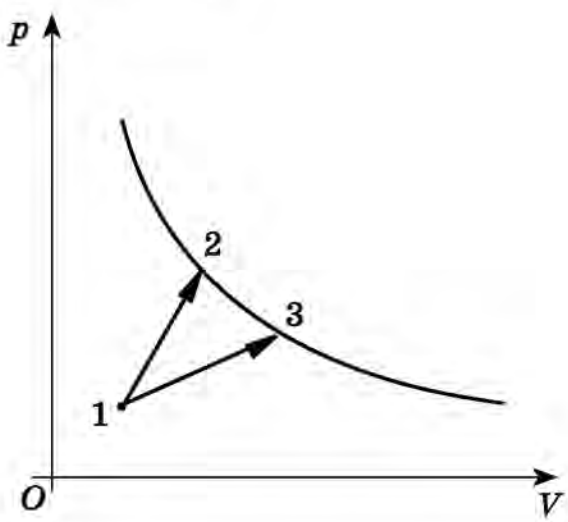
32.103. Один моль ідеального газу, який перебуває в стані 1, спочатку ізохорно нагрівається до стану 2, потім ізотермічно розширюється до стану 3, після чого повертається в стан 1, охолоджуючись за постійного тиску. Побудуйте графік зазначеного процесу в координатах p, V. Визначте кількість теплоти, відданої газом у ході охолодження. Тиск і об'єм газу в стані 1 дорівнюють 1 МПа і 2 м^3 відповідно, а тиск у стані 2 дорівнює 3 МПа.

32.104. Неон масою 200 г переводиться зі стану 1 у стан 4 (див. рисунок). Визначте підведену кількість теплоти в цьому процесі, якщо різниця температур газу в станах 1 і 4 становить 100 К. Побудуйте графік процесу, що відбувається, в координатах p, V (див. рисунок).

32.105. З ідеальним газом, що перебуває у стані 1, відбуваються два теплових процеси, графіки яких подано на рисунку. У якому із процесів — 1–2 чи 1–3 — газу передають більшу кількість теплоти? Точки 2 і 3 лежать на одній ізотермі. Відповідь обґрунтуйте.

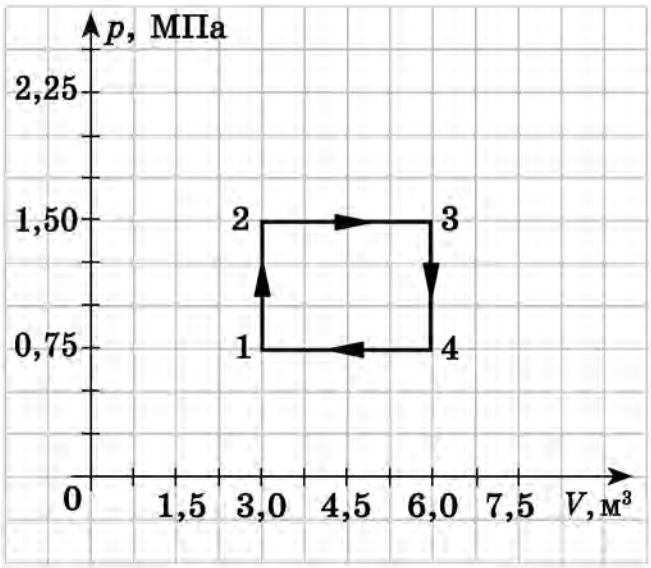


До задачі 32.104



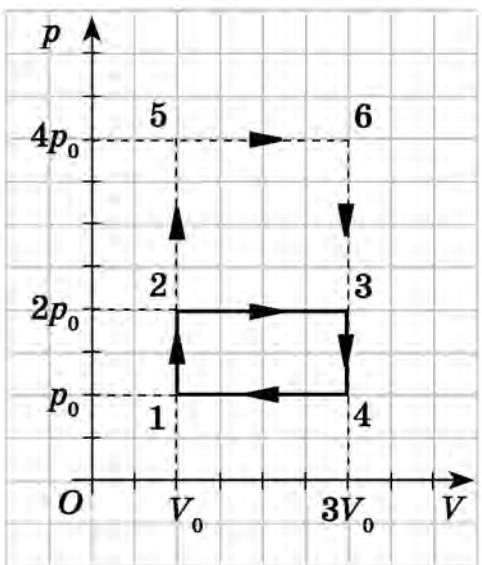
До задачі 32.105

32.106. На рисунку подано графік циклічного процесу, який виконує 1 кмоль ідеального одноатомного газу. Визначте ККД цього циклу.

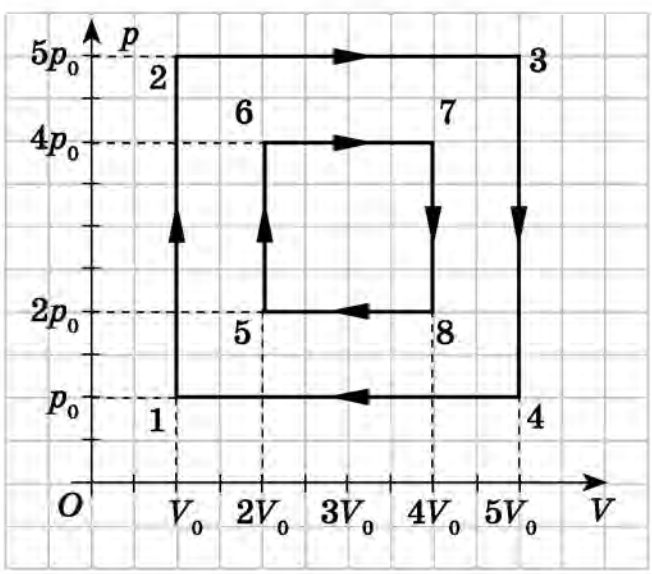


32.107. На рисунку в координатах p, V подано графіки двох замкнених циклів, що відбулися з ідеальним одноатомним газом: 1–2––3–4–1 та 1–5–6–4–1. Визначте відношення ККД цих циклів.

32.108. Визначте відношення ККД замкнених циклів 1–2–3––4–1 та 5–6–7–8–5, графіки яких подано на рисунку. Робоче тіло — ідеальний одноатомний газ.



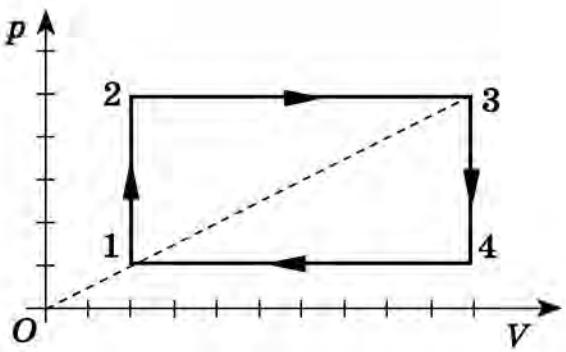
До задачі 32.107



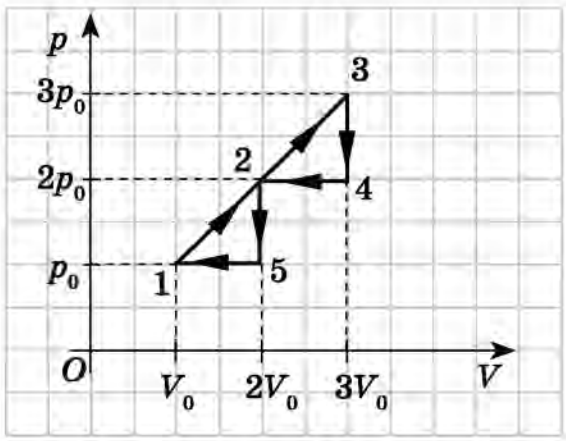
До задачі 32.108

32.109. Знайдіть ККД замкненого циклу, графік якого подано на рисунку, якщо мінімальна й максимальна температура в циклі відрізняються в 4 рази. Робоче тіло — ідеальний одноатомний газ.

32.110. Ідеальний одноатомний газ виконує замкнені цикли 1–2–4–1 та 2–3–5–2, графіки яких наведено на рисунку. ККД якого циклу більший та у скільки разів?

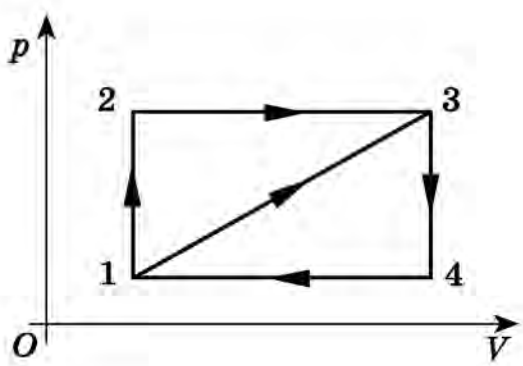


До задачі 32.109



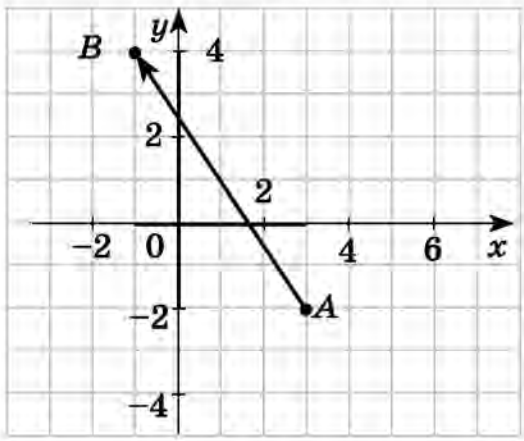
До задачі 32.110

32.111. Ідеальний одноатомний газ може виконувати кожен із замкнених циклів, графіки яких подано на рисунку. Визначте ККД циклів 1–2–3–1 та 1–3–4–1, якщо ККД циклу 1–2–3–4–1 становить 30 %.



ВІДПОВІДІ

1. Вступ



До задачі 1.1

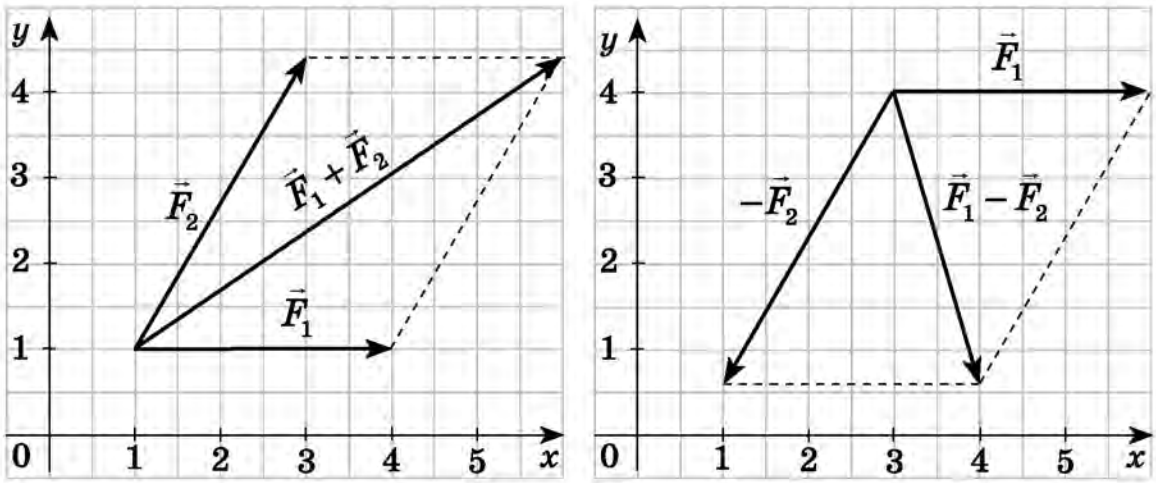
1.1. Див. рисунок; $(-4;6)$. **1.2.** $F_x=7$; $F_y=30\,000$; $s_x=35$; $s_y=-0{,}06$. **1.3.** 0. **1.4.** Модулю вектора зі знаком «плюс», якщо вектор напрямлений так само, як і вісь; модулю вектора зі знаком «мінус», якщо вектор напрямлений проти напрямку координатної осі. **1.6.** а) Так; б) так; в) ні. **1.7.** N, A, F, ρ. **1.8.** У першої. **1.9.** $\Delta x_{\text{вип}}=0{,}018$ м; $\Delta x=0{,}02$ м; $x=(1{,}50\pm0{,}02)$ м; $\varepsilon_x=1{,}3\,\%$. **1.10.** $m=(149{,}2\pm0{,}2)$ г; $\varepsilon_m=0{,}14\,\%$. **1.11.** Ні. **1.12.** $\vec{v}=(-3;0)$; $\vec{E}=(4;-3)$; $\vec{s}=(0;5)$; $\vec{F}=\left(2;2\sqrt{3}\right)$; $\vec{B}=\left(-3\sqrt{2};3\sqrt{2}\right)$. **1.13.** Див. рисунок; $\approx6{,}1$; $\approx3{,}6$. **1.14.** Змінити відповідним чином напрямок вектора. **1.15.** Див. табл. 1. **1.16.** Див. табл. 2. **1.17.** Див. рисунок. **1.18.** Див. рисунок. **1.19.** $16\cdot10^{-3}$ кг/моль. **1.20.** 382 470 км. **1.22.** Див. рисунок; 6,4; 8. **1.23.** $\approx10°$. **1.24.** а) 2,8 с; б) 1 с. **1.25.** Збільшиться приблизно в 1,4 разу. **1.26.** $R=(50\pm10)$ Ом. Відносна похибка $\varepsilon_R=\dfrac{\Delta R}{R}=\dfrac{\Delta U}{U}+\dfrac{\Delta I}{I}\approx0{,}21$; $\varepsilon_R=21\,\%$. Абсолютна похибка $\Delta R=\varepsilon_R\cdot R=0{,}21\cdot50\approx10$ Ом. **1.27.** $V=(0{,}014\pm0{,}001)$ м^3; $\varepsilon_V\approx10\,\%$. **1.28.** У межах похибок вимірювань закон Архімеда у кожного учня виконується. Точність експерименту недостатня, щоб говорити про лінійну залежність виштовхувальної сили від об'єму зануреного у воду тіла.

Таблиця 1

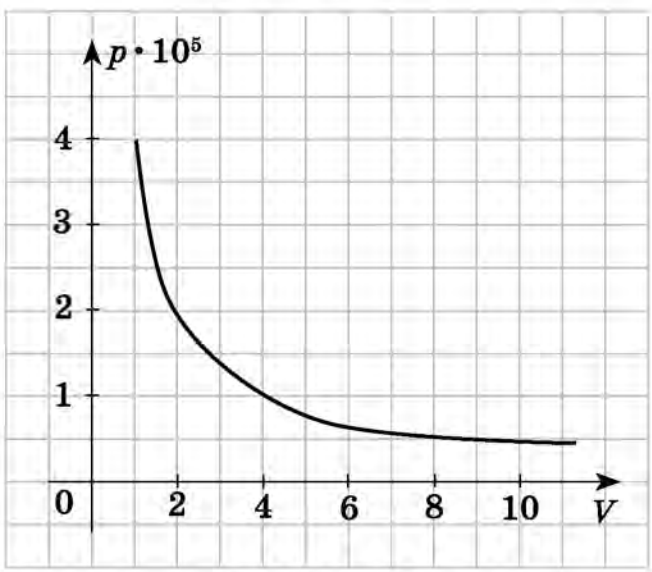
α, град	0	30	45	60	90	120	180
F_x, Н	1	$\sqrt{3}$	$2\sqrt{2}$	3	0	−5	−12
F_y, Н	0	1	$2\sqrt{2}$	$3\sqrt{3}$	8	$5\sqrt{3}$	0

Таблиця 2

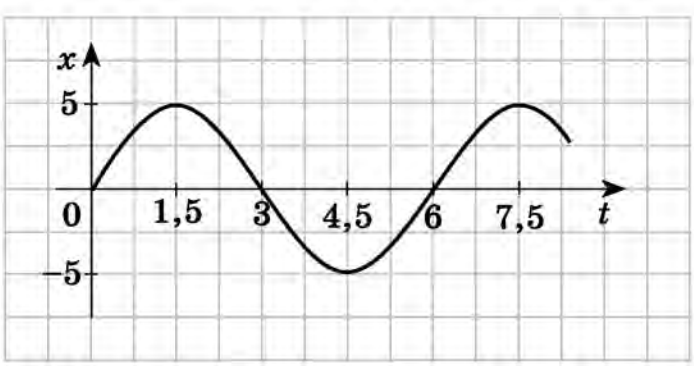
$\lvert\vec{v}\rvert$	$\sqrt{13}$	5	$\sqrt{41}$	$5\sqrt{2}$	$\sqrt{41}$	5	$4\sqrt{5}$	$5\sqrt{10}$
α, град (до OX)	≈ 56	≈ 53	≈ 51	45	≈ 39	≈ 37	≈ 27	≈ 18



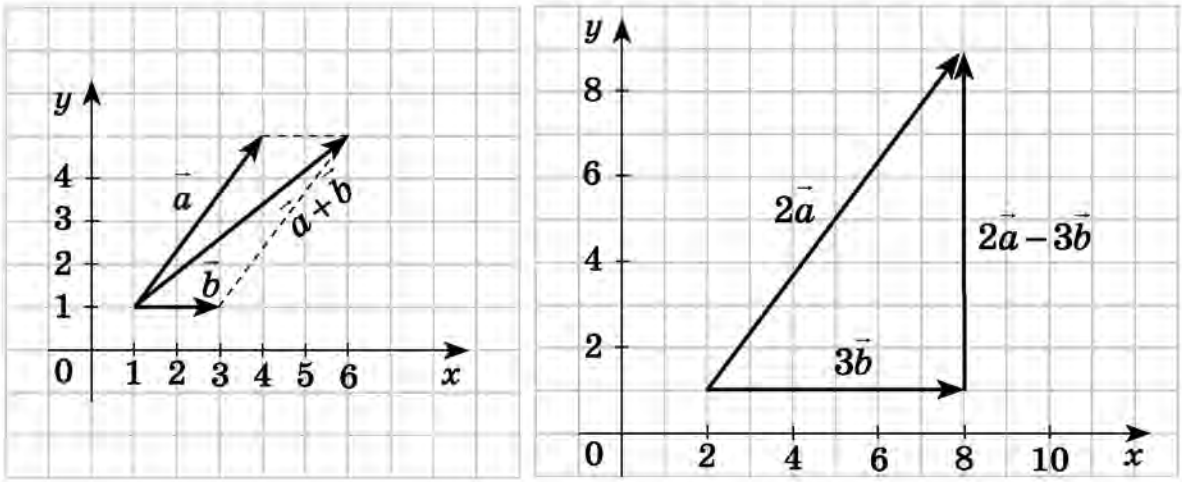
До задачі 1.13



До задачі 1.17



До задачі 1.18



До задачі 1.22

КІНЕМАТИКА

2. Рух і спокій

2.1. Так, може, оскільки стан тіла (спокою чи руху) залежить від вибору системи відліку. **2.2.** Відносно один одного та корпусу автомобіля приятелі перебувають у стані спокою, а відносно дороги, дерев на узбіччі, коліс автомобіля — рухаються. **2.3.** Відносно потяга книжка перебуває у стані спокою, а відносно землі рухається зі швидкістю 100 км/год. **2.4.** а) Відносно землі повітряна куля рухається; б) відносно повітря — ні. **2.5.** а) Відносно води корабель рухається; б) відносно ескадри — ні. **2.6.** а) У системі відліку «земля» вантажівка рухається зі швидкістю руху комбайна; б) в системі відліку «комбайн» вантажівка перебуває у стані спокою. **2.7.** а) У системі відліку «земля» автоплатформа рухається зі швидкістю руху автобуса 120 км/год; б) в системі відліку «автобус» вона перебуває у стані спокою, швидкість дорівнює 0 км/год. **2.8.** Так.

3. Відносність траєкторії

3.1. а) Прямолінійно; б) криволінійно; в) криволінійно; г) прямолінійно. **3.2.** Відносно землі локомотив і вагони рухаються прямолінійно, а точки коліс, рухомих частин двигуна — криволінійно. **3.3.** Якщо переміщення тіла дорівнює нулю, то траєкторією його руху є замкнена лінія. **3.4.** Якщо пройдений шлях і модуль переміщення тіла однакові, то траєкторією його руху є пряма лінія. **3.5.** а) Відносно землі траєкторією руху вантажу є похила

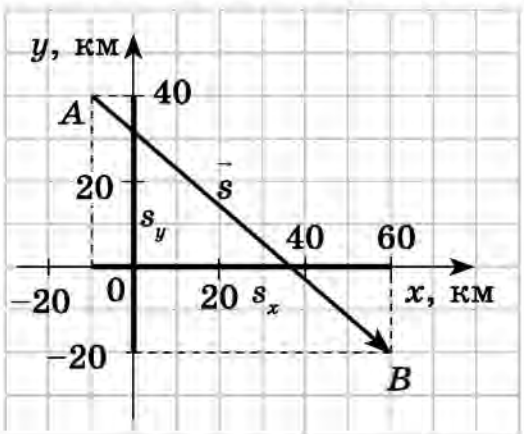
до поверхні землі пряма; б) відносно кранівника — вертикальна пряма. **3.6.** а) Відносно льотчика траєкторія являтиме коло; б) відносно злітної смуги — гвинтову лінію. **3.7.** Гвинтова лінія навколо траєкторії Землі під час її руху навколо Сонця. **3.8.** а) Відносно диска — це пряма лінія; б) відносно Землі — спіраль.

4. Матеріальна точка, поступальний рух

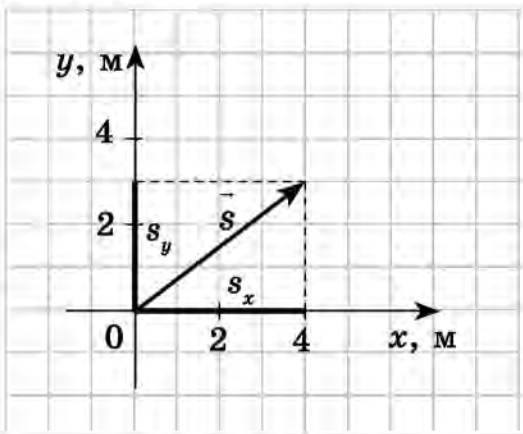
4.1. а) Так; б) ні; в) так. **4.2.** Місяць по відношенню до ракети можна вважати матеріальною точкою, коли ракета стартує з поверхні Землі. **4.3.** а) Так; б) так; в) ні. **4.4.** Ні. **4.5.** Так. **4.6.** Так.

5. Шлях і переміщення

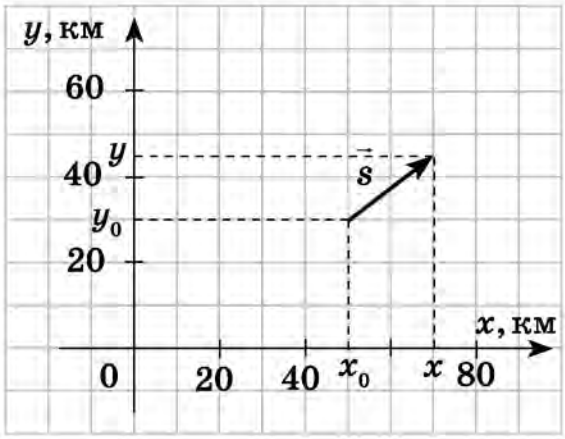
5.1. Виміряти довжину траєкторії. **5.2.** Пройдений шлях. **5.3.** а) Ні; б) ні. **5.4.** Пройдені тілами шляхи будуть однаковими тільки у випадку, якщо вони рухались, не змінюючи напрямку руху. **5.5.** а) Відносно платформи метро переміщення і пройдені шляхи однакові; б) відносно ескалатора — також. **5.6.** а) Так; б) так. **5.7.** а) Так; б) так. **5.8.** Переміщення човна дорівнюватиме нулю, пройдений шлях становитиме 80 км. **5.9.** Пройдений шлях становить 1300 м, модуль переміщення — 100 м. **5.10.** Пройдений шлях становить 32 м, переміщення дорівнює нулю. **5.11.** Пройдений шлях — 17 м, модуль переміщення дорівнює 5 м. **5.12.** 100 м. **5.13.** 78,5 м. **5.14.** а) ≈ 44 м; 0 м; б) ≈ 22 м; 14 м; в) ≈ 66 м; 14 м; г) ≈ 11 м; ≈ 10 м. **5.15.** $\approx 5{,}6$ м. **5.16.** Пройдений шлях — 70 м, модуль переміщення — 50 м. **5.17.** $s \approx 114$ м; $s_x = 90$ м; $s_y = 70$ м. **5.18.** Див. рисунок; $s \approx 92$ км; $s_x = 70$ км; $s_y = -60$ км. **5.19.** Див. рисунок; 5 м. **5.20.** Див. рис. а і б. **5.21.** Див. рисунок; 1 км; $\approx 53°$ до горизонту. **5.22.** Див. рисунок; 35 км; 25 км; 53° до меридіану. **5.23.** Див. рисунок; $l = 22$ см; $|\vec{s}| \approx 16$ см. **5.24.** Див. рисунок; $|\vec{s}| \approx 0{,}71$ м; $s_x = 0{,}5$ м; $s_y = -0{,}5$ м.



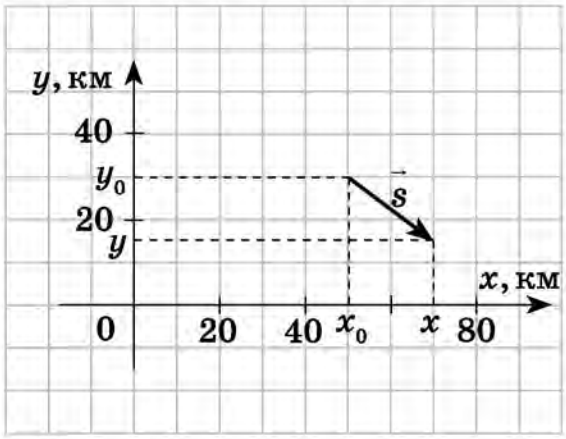
До задачі 5.18



До задачі 5.19

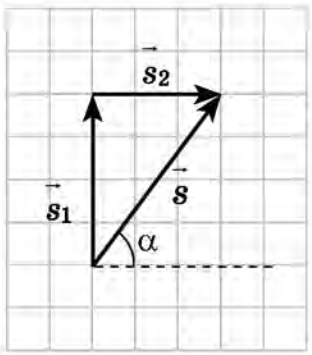


а

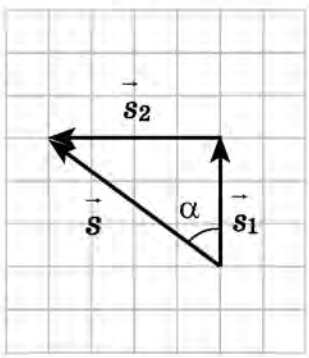


б

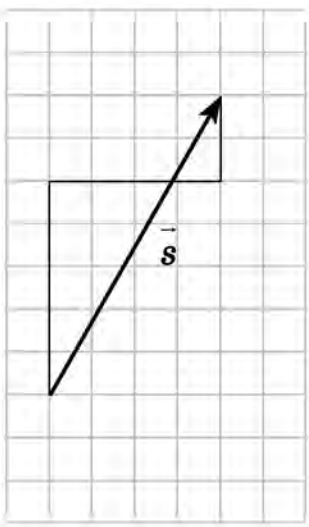
До задачі 5.20



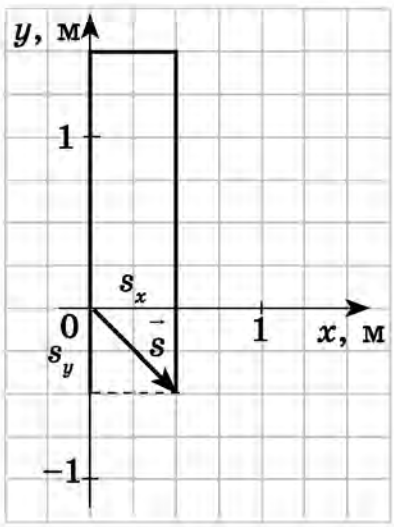
До задачі 5.21



До задачі 5.22



До задачі 5.23

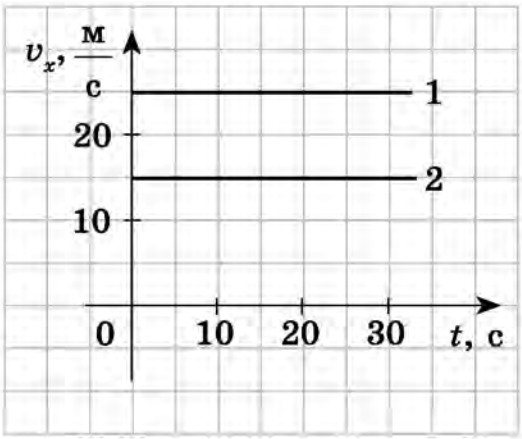


До задачі 5.24

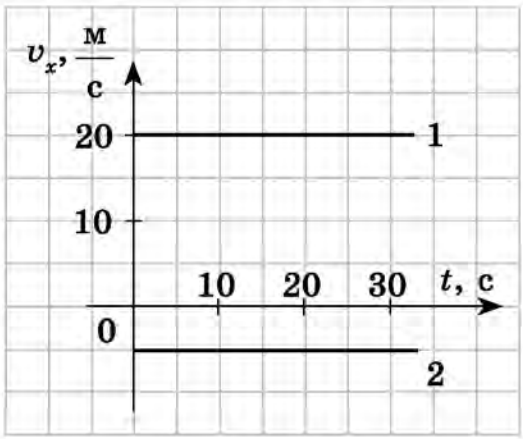
6. Рівномірний прямолінійний рух

6.1. Ні, однозначної відповіді дати не можна. **6.2.** На ділянці, де затрачено менший час, швидкість більша. **6.3.** На ділянці, де швидкість більша, час руху менший. **6.4.** Довжина ділянки, на подолання якої затрачено більший час, більша. **6.5.** Див. рисунок. **6.6.** Див. рисунок. **6.7.** Спільним є те, що обидва автобуси починають рух з однієї точки і рухаються з однаковими швидкостями в одному напрямку. Різниця в тому, що перший виїхав раніше. **6.8.** Туристи рухаються з однаковою за модулем швидкістю, але назустріч один одному. **6.9.** Перше тіло; $\upsilon_{1x} = 10$ м/с; $\upsilon_{2x} = 5$ м/с. **6.10.** Перше тіло; $\upsilon_{1x} = -7{,}5$ м/с; $\upsilon_{2x} = -2{,}5$ м/с. **6.11.** Див. рисунок; $x_0 = 15$ м; $\upsilon_x = -3$ м/с; тіло рухається рівномірно прямолінійно проти координатної осі, оскільки $\upsilon_x < 0$. **6.12.** Див. рисунок; $x_0 = -500$ м; $\upsilon_x = 20$ м/с; автомобіль рухається рівномірно прямолінійно у напрямку координатної осі, оскільки $\upsilon_x > 0$. **6.13.** Див. рисунок; $x_0 = 250$ км; $\upsilon_x = 100$ км/год; потяг рухається рівномірно прямолінійно у напрямку координатної осі, оскільки $\upsilon_x > 0$. **6.14.** Не завжди: під час рівномірного руху по колу напрямок руху змінюється. **6.15.** Телеглядачі почують співака раніше на $\Delta t \approx 145$ мс. **6.16.** 1500 км. **6.17.** а) $x_1 = 25t$; б) $x_2 = -200 + 25t$. **6.18.** а) $x = -20t$; б) $x = 2000 - 20t$. **6.19.** Рух лижника задано лінійним рівнянням, отже, він рухався рівномірно прямолінійно з точки з координатою $x_0 = -10$ м зі швидкістю $\upsilon_x = 5$ м/с у напрямку координатної осі (див. рисунок), оскільки $\upsilon_x > 0$. а) $x = 10$ м; б) $x = -20$ м; в) $t = 6$ с. **6.20.** Див. рисунок. а) 1000 м, 50 с; б) 500 м, 850 м; в) 40 с, 60 с. **6.21.** а) 736 м від місця «старту» собаки; 64 с; б) 115 м; 790 м; в) 48 с. **6.22.** Мотоцикліст і велосипедист зустрінуться на відстані 144 км від пункту A через 2 год після початку руху. **6.23.** Через 2,4 год від початку руху експреса; 237,6 км. **6.24.** Див. рисунок; 4 км; 3 хв 20 с. **6.25.** Див. рисунки. **6.26.** Див. рисунки. **6.27.** Див. рисунки. **6.28.** Див. рисунки. **6.29.** $l = 30$ км; $s_x = -10$ км. **6.30.** $l = 18$ м; $s_x = -9$ м. **6.31.** а) Трамвай рухається рівномірно прямолінійно проти координатної осі, оскільки (згідно з графіком) його координата лінійно зменшується; б) $x_0 = 100$ м; в) $x = 40$ м; г) $l = 80$ м; д) $\upsilon_x = -10$ м/с; е) $x = 100 - 10t$. **6.32.** а) Автобус рухається рівномірно прямолінійно у напрямку координатної осі, оскільки (згідно з графіком) його координата лінійно зростає; б) $x_0 = 50$ км; в) $t = 1$ год; г) $x = 200$ км; д) $\upsilon_x = 50$ км/год; е) $s_x = 100$ км; є) $x = (50 + 50t)$ км. **6.33.** а) $\upsilon_{1x} = 25$ м/с; $\upsilon_{2x} = 10$ м/с; б) 45 м; в) 4 с; г) $x_1 = 25t$; $x_2 = 10t$. **6.34.** а) $x_{\text{зустр}} = 60$ м; $t_{\text{зустр}} = 4$ хв; б) $s = 50$ м; в) $x_1 = 50$ м; $x_2 = 75$ м; г) $x_1 = 100 - 0{,}17t$; $x_2 = 0{,}25t$. **6.35.** 0,5 м/с. **6.36.** 450 л/с. **6.37.** 5 км/год. **6.38.** 100 км/год.

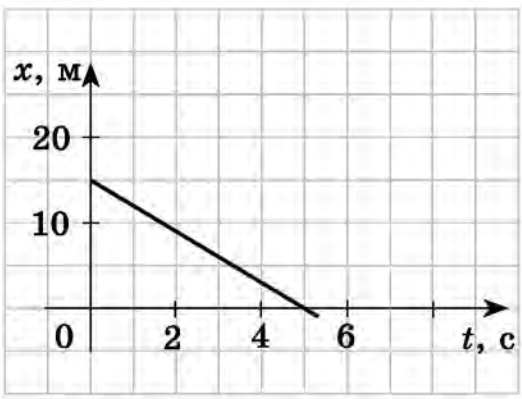
6.39. 50 хв. **6.40.** Ні, однозначно стверджувати цього не можна, оскільки, за очевидної відсутності руху по осі OX, тіло може рухатися по осі OY. **6.41.** $y=13-2x$. **6.42.** Див. рисунок; $y=8-0{,}4x$. **6.43.** $t_{\text{зустр}}=5$ с; $x_{\text{зустр}}=50$ м. **6.44.** 475 м; 15 с.



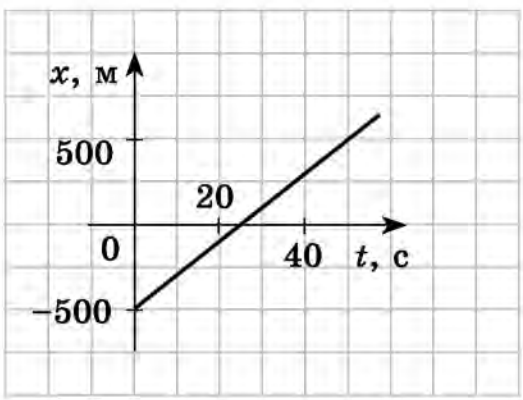
До задачі 6.5



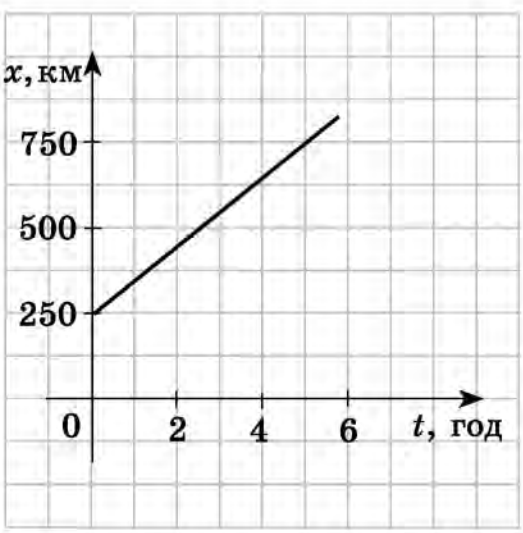
До задачі 6.6



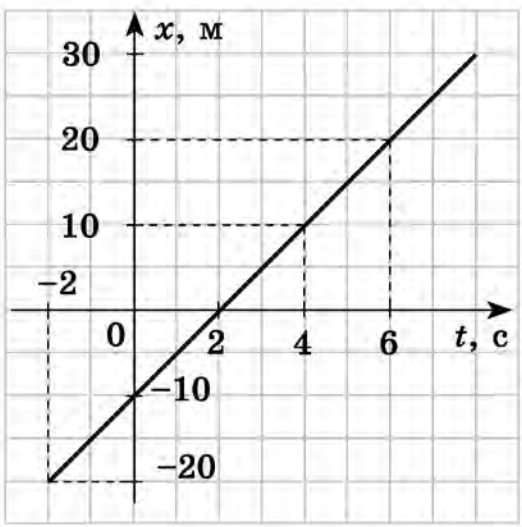
До задачі 6.11



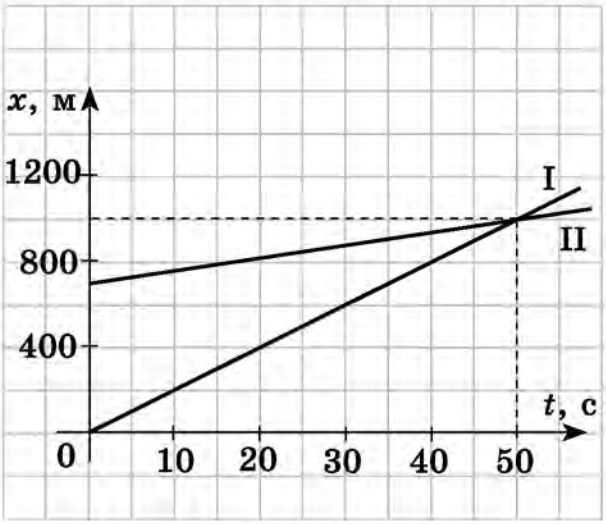
До задачі 6.12



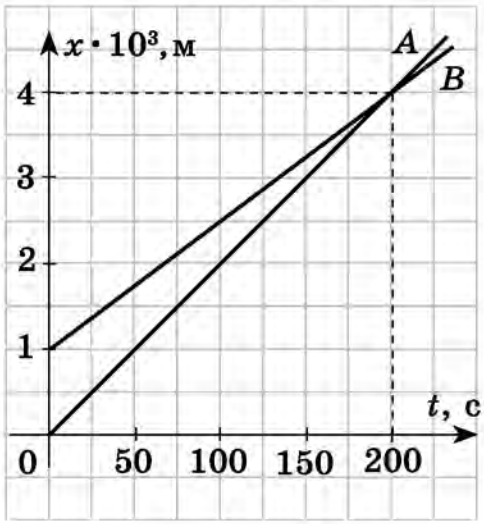
До задачі 6.13



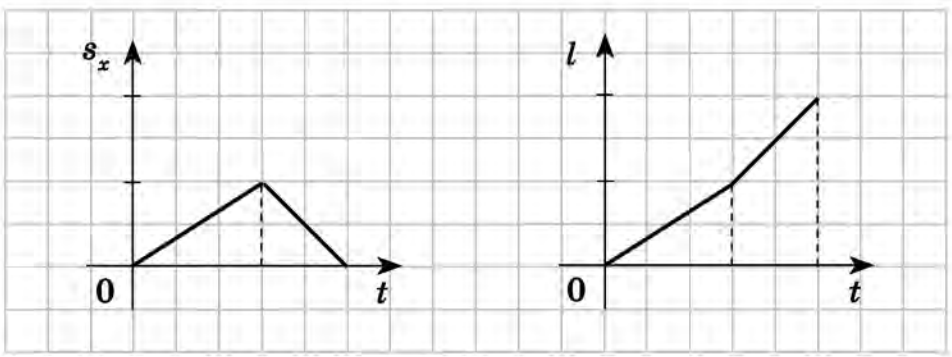
До задачі 6.19



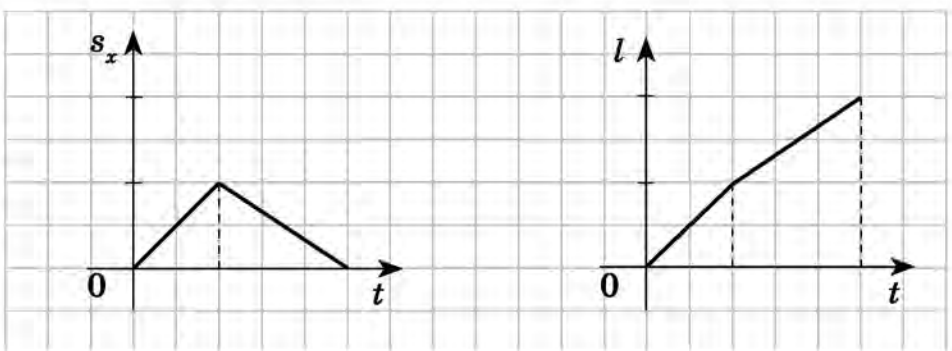
До задачі 6.20



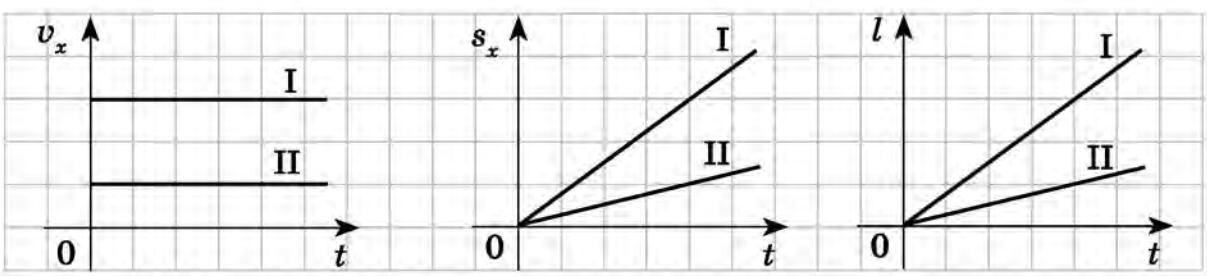
До задачі 6.24



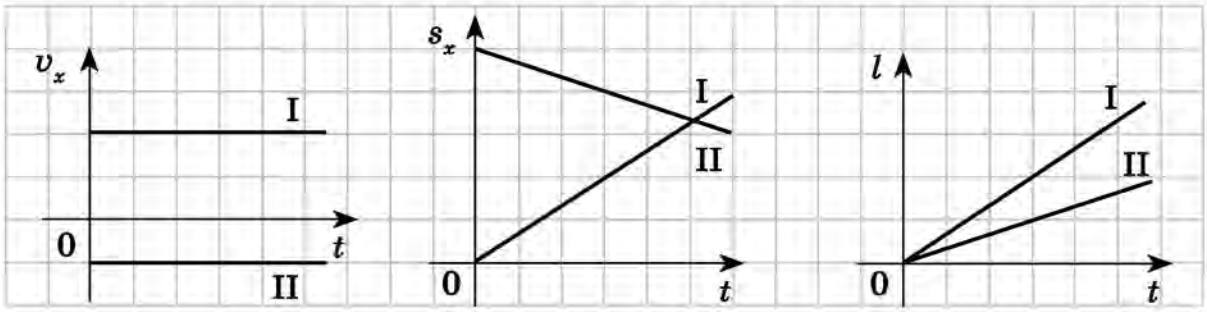
До задачі 6.25



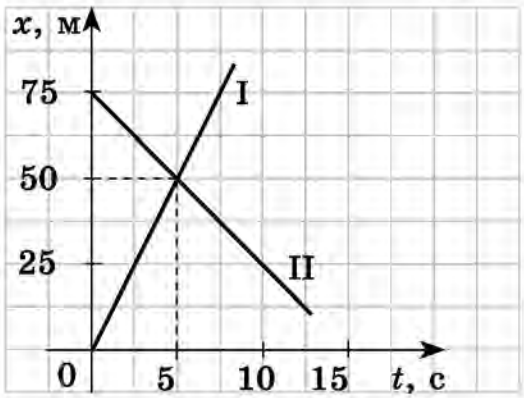
До задачі 6.26



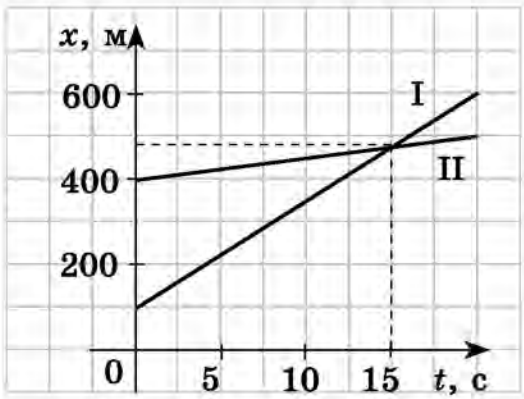
До задачі 6.27



До задачі 6.28



До задачі 6.43



До задачі 6.44

7. Відносність руху

7.1. Ні. **7.2.** Людина. **7.3.** На південь. **7.4.** У тому ж напрямку, що й автобус, з такою самою швидкістю. **7.5.** 4 м/с; 1,2 км. **7.6.** 7 м/с; 7 с. **7.7.** $v = 2{,}5$ м/с; 100 м; 125 м. **7.8.** 3,9 м. **7.9.** $v_т = 7{,}5$ км/год; $v_к = 17{,}5$ км/год. **7.10.** 48 год. **7.11.** 3 год, якщо зворотній рух — проти течії; 1 год, якщо зворотній рух — за течією. **7.12.** 50 с. **7.13.** 75 с. **7.14.** 56,25 с. **7.15.** 1 хв 20 с. **7.16.** 20 с. **7.17.** 54 км/год. **7.18.** У системі відліку «Земля» автомобіль почав рухатись на південь зі швидкістю за модулем більшою, ніж швидкість вітру. **7.19.** 15 хв, оскільки в системі відліку «вода» пліт і вода нерухомі відносно одне одного, тому відносно води час руху човна проти течії і за течією у цій системі відліку буде однаковий. **7.20.** а) 1,6 м/с; 0 м; 32 м; б) 2,4 м/с під час руху за течією; 0,8 м/с під час руху проти течії; 16 м; 32 м. **7.21.** а) 1,5 м/с; 0 м; 24 м; б) $\approx 2{,}1$ м/с; 24 м; $\approx 33{,}6$ м. **7.22.** 80 м. **7.23.** $s = 250$ м; $l = 1$ км.

8. Середня швидкість нерівномірного руху

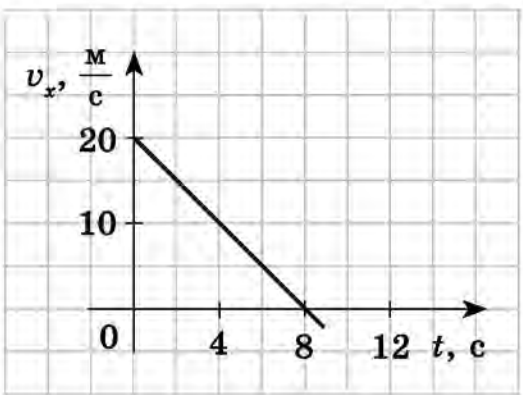
8.1. Так, під час прямолінійного руху, якщо напрям руху не змінювався. **8.2.** 4,8 м/с. **8.3.** $\approx 4{,}3$ м/с. **8.4.** 50 км/год; 0 км/год; 37,5 км/год; $v_{сер} = 35$ км/год. **8.5.** 2 м/с. **8.6.** 500 км/год. **8.7.** 72 км/год. **8.8.** 14,4 км/год. **8.9.** $\approx 1{,}3$ м/с. **8.10.** ≈ 27 км/год. **8.11.** 13,5 км/год.

8.12. ≈115 км/год. **8.13.** 4,3 км/год. **8.14.** 60 км/год. **8.15.** 16,25 км/год. **8.16.** У першому випадку середня шляхова швидкість в 1,04 рази більша.

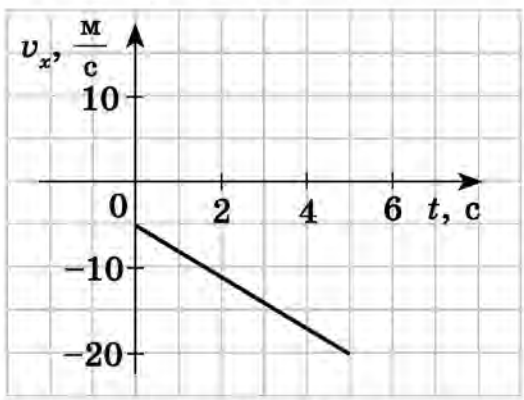
9. Рівноприскорений рух

9.1. 20 с. **9.2.** 10 с. **9.3.** 10 м/с. **9.4.** 112,5 м. **9.5.** 20 м. **9.6.** 1,25 м/с²; 10 м. **9.7.** 5 м/с²; 910 м. **9.8.** Тіло рухається у напрямку координатної осі OX $(\upsilon_{0x} > 0)$ рівноприскорено ($\upsilon_{0x} > 0$; $a_x > 0$) з початковою швидкістю $\upsilon_{0x} = 2$ м/с і прискоренням $a_x = 1{,}5$ м/с². **9.9.** Тіло рухається у напрямку координатної осі OX $(\upsilon_{0x} > 0)$ рівноприскорено ($\upsilon_{0x} > 0$; $a_x < 0$, швидкість руху зменшується) з початковою швидкістю $\upsilon_{0x} = 50$ м/с і прискоренням $a_x = -4$ м/с². **9.10.** Тіло рухається у напрямку координатної осі OX $(\upsilon_{0x} > 0)$ рівноприскорено ($\upsilon_{0x} > 0$; $a_x > 0$) з початку координат ($x_0 = 0$ м) з початковою швидкістю $\upsilon_{0x} = 4$ м/с та прискоренням $a_x = 3$ м/с²; $\upsilon_x = 4 + 3t$. **9.11.** Тіло рухається рівноприскорено ($\upsilon_{0x} < 0$; $a_x > 0$; швидкість руху зменшується) з точки з координатою $x_0 = 8$ м проти напрямку координатної осі OX з початковою швидкістю $\upsilon_{0x} = -5$ м/с та прискоренням $a_x = 10$ м/с²; $\upsilon_x = -5 + 10t$. **9.12.** I, II — рухається рівноприскорено у напрямку осі OX; III — рухається рівноприскорено (швидкість руху тіла зменшується) у напрямку осі OX і зупиняється через 5 с. **9.13.** Тіло рухається у напрямку координатної осі $(\upsilon_x > 0)$ рівноприскорено (υ_x лінійно зростає) із стану спокою; $\upsilon_{0x} = 0$ м/с; $a_x = 0{,}5$ м/с²; $\upsilon_x = 0{,}5t$. **9.14.** Тіло рухається у напрямку координатної осі $(\upsilon_x > 0)$ рівноприскорено (υ_x лінійно зменшується); $\upsilon_{0x} = 120$ м/с; $a_x = -4$ м/с²; $\upsilon_x = 120 - 4t$. **9.15.** 302,5 м/с². **9.16.** 297 км/год. **9.17.** 0,5 м/с². **9.18.** 100 мкс; 7,5 см. **9.19.** 12 с; 12 м/с. **9.20.** 0,2 м/с²; 19 м/с. **9.21.** 7,1 м/с. **9.22.** Швидкість руху кульки посередині гірки в 1,4 рази більша за середню швидкість її руху. **9.23.** У 2 рази. **9.24.** Див. рисунок; автомобіль рухається рівноприскорено ($a_x < 0$; $\upsilon_{0x} > 0$; швидкість руху зменшується) у напрямку координатної осі; $\upsilon_{0x} = 20$ м/с; $a_x = -2{,}5$ м/с². **9.25.** Див. рисунок; велосипедист рухається рівноприскорено ($a_x < 0$; $\upsilon_{0x} < 0$) проти координатної осі; $\upsilon_{0x} = -5$ м/с; $a_x = -3$ м/с². **9.26.** Тіла рухаються у напрямку координатної осі ($\upsilon_{0x} > 0$), перше — рівноприскорено, а друге — гальмує з постійним прискоренням, тобто теж рівноприскорено. **9.27.** Див. рисунок; 1 м/с²; $\upsilon_x = 10 + t$. **9.28.** Див. рисунок; −1,25 м/с²; $\upsilon_x = 30 - 1{,}25t$. **9.29.** OA — тіло рухалось рівномірно прямолінійно у напрямку координатної осі; AB — рухалось прискорено у напрямку координатної осі; BC — рухалось рівноприскорено у напрямку координатної осі; CD — рухалось прискорено у напрямку координатної осі; DE — рухалось

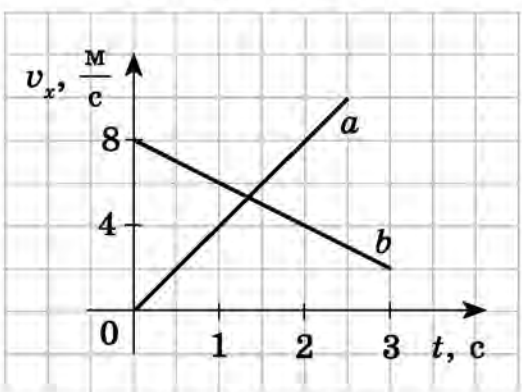
рівномірно прямолінійно у напрямку координатної осі. **9.30.** *OA* — тіло перебувало у стані спокою; *AB* — рухалось рівноприскорено у напрямку координатної осі; *BC* — рухалось рівномірно прямолінійно; *CD* — рухалось рівноприскорено (швидкість руху тіла зменшувалась) у напрямку координатної осі; *DE* — тіло перебувало у стані спокою. **9.31.** Тіло рухається у напрямку координатної осі $(v_{0x} > 0)$ рівноприскорено (v_x лінійно збільшується); $v_{0x} = 4$ м/с; $a_x = 1$ м/с^2; $v_x = 4 + t$; $s_x = 32{,}5$ м. **9.32.** Характер руху однаковий; $s_x = 7$ м. **9.33.** Див. рисунок. Тіло рухається прямолінійно рівноприскорено з точки з координатою $x_0 = 5$ м у напрямку осі *OX* з $v_{0x} = 1$ м/с і $a_x = 2$ м/с^2; $v_x = 1 + 2t$. **9.34.** Див. рисунок. Тіло рухається рівноприскорено з точки з координатою 100 м проти напрямку осі *OX* з $v_{0x} = -15$ м/с і $a_x = 4$ м/с^2. Через 3,75 с воно зупиняється і починає рухатись рівноприскорено прямолінійно у зворотному напрямку, тобто у напрямку осі *OX*. **9.35.** а) 52 м; 4 с; б) 30 м. **9.36.** 96 м; 8 с. Відстань між тілами через 4 с після початку руху становитиме 24 м. **9.37.** 21 м. **9.38.** 4 м/с^2; 32 м. **9.39.** 2 м/с^2. **9.40.** 6,5 м. **9.41.** 8 м/с^2; 24 м/с. **9.42.** 0,4 м/с^2; 1 м/с. **9.43.** 1 м/с. **9.44.** 10 с; 65 м. **9.45.** 25,2 с; 887,5 м. Примітка: спершу з'ясуйте, через який проміжок часу зупиниться другий поїзд. **9.46.** 40 с. **9.47.** Див. рисунки. **9.48.** Див. рисунки. **9.49.** $x = -2 + 4t - t^2$; $v_x = 4 - 2t$; $a_x = -2$. **9.50.** $x = 8 - 16t + 4t^2$; $v_x = -16 + 8t$; $a_x = 8$.



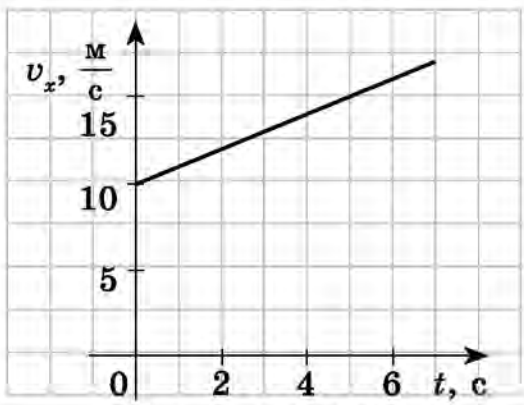
До задачі 9.24



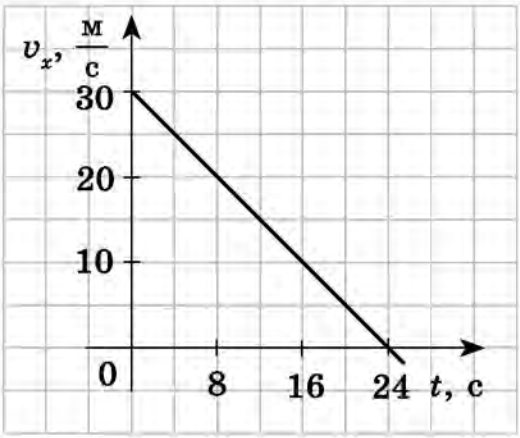
До задачі 9.25



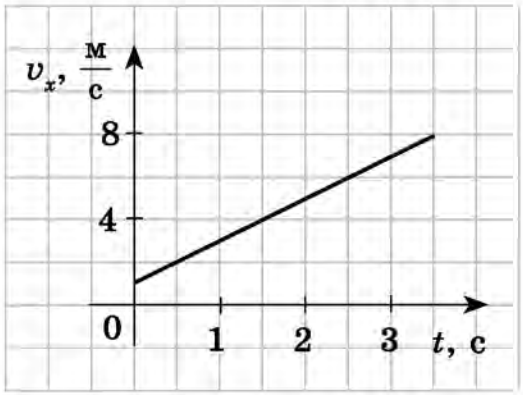
До задачі 9.26



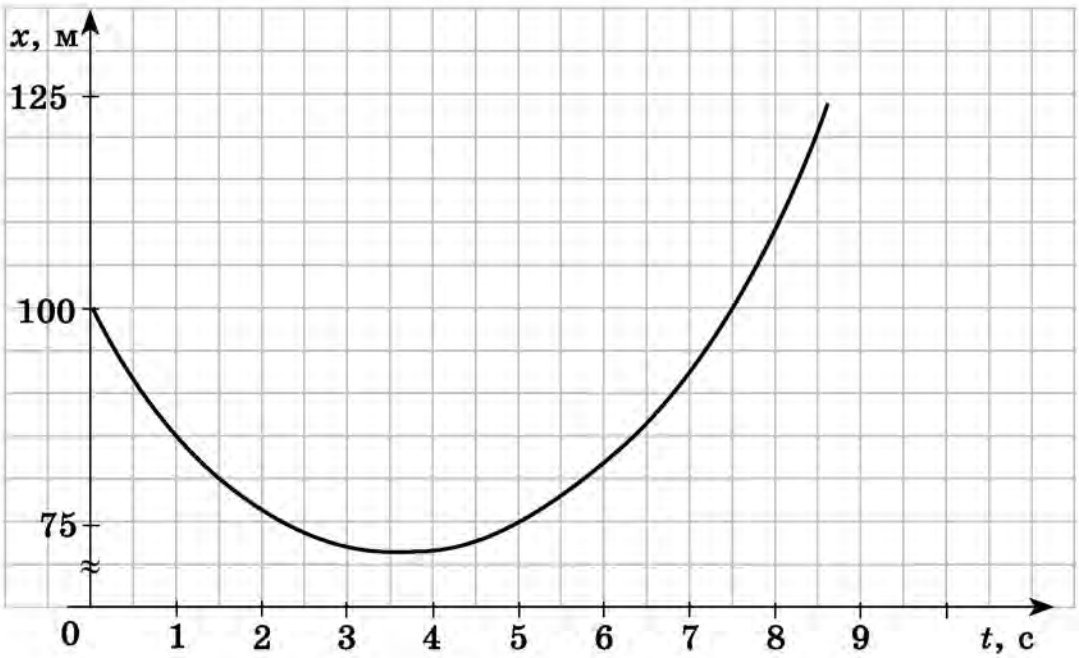
До задачі 9.27



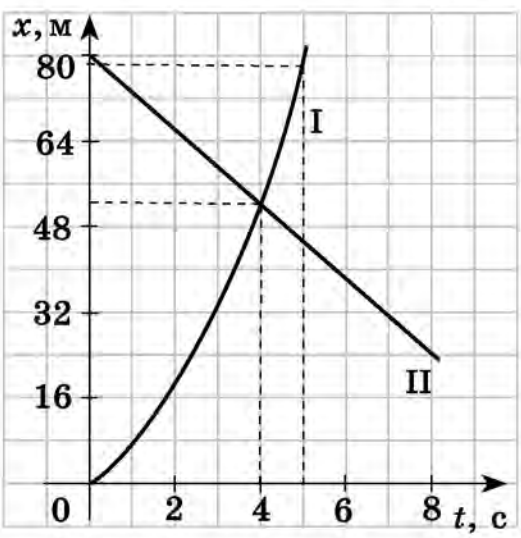
До задачі 9.28



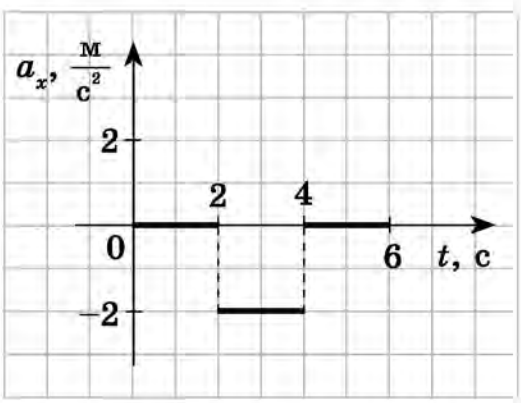
До задачі 9.33



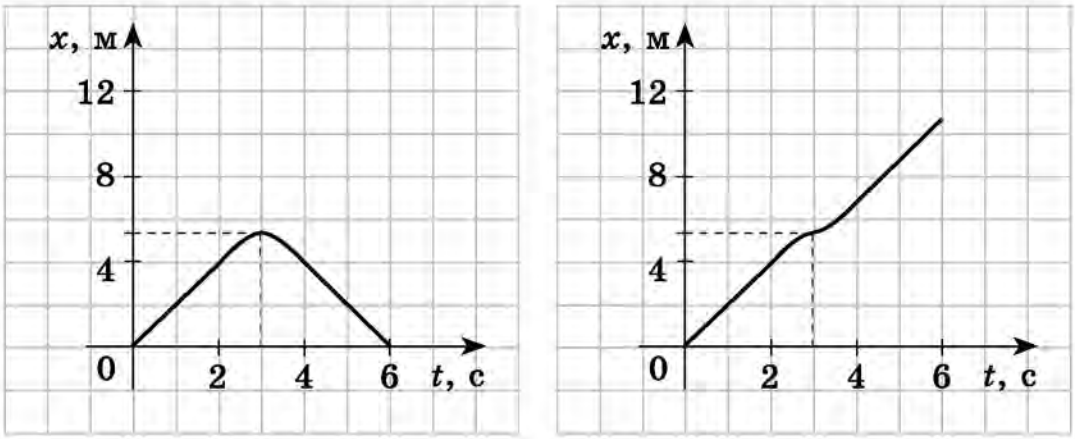
До задачі 9.34



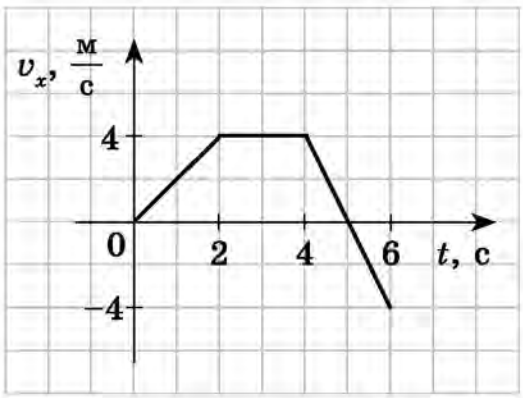
До задачі 9.35



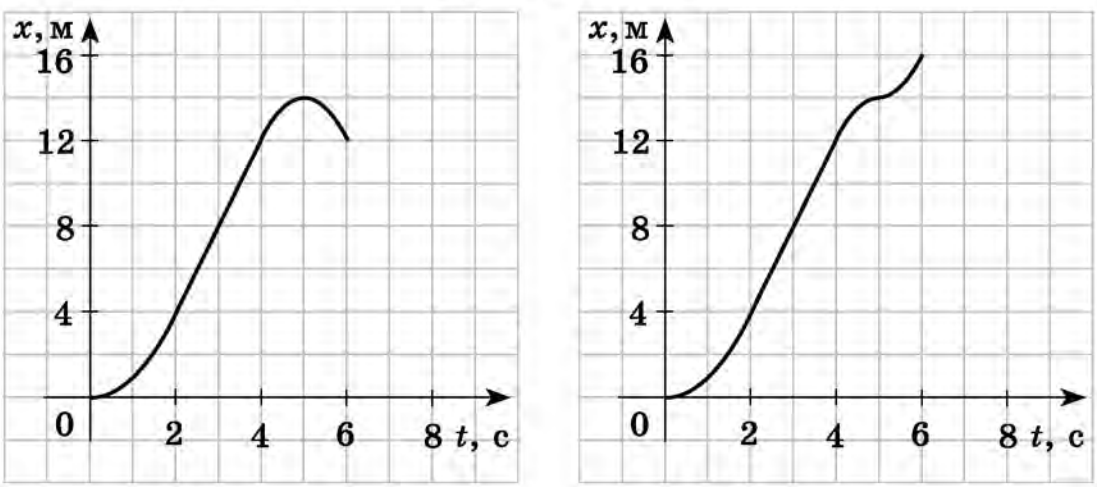
До задачі 9.47



До задачі 9.47



До задачі 9.48



До задачі 9.48

10. Вільне падіння

10.1. 7 с. **10.2.** 1,6 м/с^2. **10.3.** 49 м/с; 122,5 м. **10.4.** 31,25 м. **10.5.** 18 м/с. **10.6.** 368 м. **10.7.** $\approx$7 с. **10.8.** 5,5 м/с. **10.9.** $\approx$7 м/с. **10.10.** 35 м. **10.11.** 69 м. **10.12.** 147 м. **10.13.** $\approx$0,03 с. **10.14.** $\approx$1,6 с. **10.15.** 15 м/с; 11,25 м. **10.16.** 44 м. **10.17.** 20 м; 4 с. **10.18.** 60 м/с. **10.19.** 3320 м; 810 м/с. **10.20.** $t_1 = 1$ с; $t_2 = 4$ с. **10.21.** $\Delta t \approx 6$ с.

10.22. $\approx 3{,}4$ с. **10.23.** 4 с. **10.24.** 1 с. **10.25.** $\approx 6{,}1$ с, якщо тіло кинули вертикально вниз; $\approx 6{,}5$ с, якщо тіло кинули вертикально вгору. **10.26.** 151,25 м. **10.27.** $\approx 3{,}2$ с. **10.28.** 2,5 с; 68,75 м.

11. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

11.1. $h = 5$ м; $l \approx 35$ м. **11.2.** 5,5 м. **11.3.** $h > 2200$ м. **11.4.** $\alpha = 60°$. **11.5.** $h \approx 22$ м; $l \approx 42$ м. **11.6.** $t = 3{,}7$ с; $l \approx 48$ м. **11.7.** $\alpha \approx 76°$. **11.8.** $\alpha = 45°$. **11.9.** Вантаж потрапив у місце призначення. $t = 10$ с. **11.10.** 2 км. **11.11.** 45 м. **11.12.** $v_{02} = 3v_{01}$. **11.13.** $h_2 = 4h_1$. **11.14.** $t = 2$ с; $v = 25$ м/с; $\alpha \approx 53°$ до поверхні води. **11.15.** $v \approx 41{,}5$ м/с; $\alpha \approx 69°$ до поверхні води. **11.16.** 20 м.

12. Криволінійний рух. Рівномірний рух по колу

12.1. 0,25 с; 4 об/с. **12.2.** 2 хв. **12.3.** 0,2 с. **12.4.** $\approx 0{,}1$ рад/с. **12.5.** 4π рад/с. **12.6.** 5 об/с. **12.7.** 8 м/с^2. **12.8.** 25 м/с^2. **12.9.** 5 м/с. **12.10.** 4,5 м/с^2. **12.11.** 10 рад/с. **12.12.** а) $l = 1{,}256$ м; $s = 0$ м; б) $l = 0{,}628$ м; $s = 0{,}4$ м; в) $l = 0{,}314$ м; $s = 0{,}28$ м. **12.13.** а) $l = 235{,}5$ м; $s \approx 210$ м; б) $l = 471$ м; $s = 300$ м. **12.14.** $N = 45$. **12.15.** 60 с. **12.16.** $v = 6{,}28$ м/с; $\omega = 5\pi$ рад/с. **12.17.** ≈ 28 м/с. **12.18.** а) Так; б) ні. **12.19.** $\approx 100{,}5$ м. **12.20.** 95. **12.21.** ≈ 1674 км/год. **12.22.** ≈ 1077 км/год. **12.23.** $v_2 = \frac{v_1}{2}$. **12.24.** $v_с = 30v_{хв}$. **12.25.** $\omega_с = 3600\omega_{год}$. **12.26.** $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$. **12.27.** $v_1 = v_2 = v_3$. **12.28.** $v = 1{,}4$ м/с; $T \approx 0{,}44$ с. **12.29.** 0,03 м/с^2. **12.30.** $\approx 0{,}6$ см/с^2. **12.31.** 20 м/с^2. **12.32.** $R = 0{,}3$ м; $\omega = 20$ рад/с. **12.33.** 16 см. **12.34.** 0,5 м/с. **12.35.** 7,6 об/хв. **12.36.** $N = 100$; $v = 157$ м/с; $a_{доц} \approx 4900$ м/с^2. **12.37.** 40 обертів. **12.38.** $g \approx 9{,}81$ м/с^2. **12.39.** $\approx 11{,}6$ м.

ДИНАМІКА

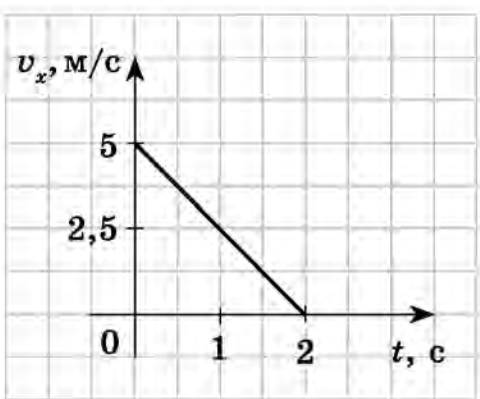
13. Перший закон Ньютона

13.1. Компенсуються дії парашута, Землі і повітря. **13.2.** Компенсуються дії Землі і підлоги. **13.3.** Компенсуються дії Землі і води. **13.4.** Так, оскільки дії всіх сил скомпенсовані. **13.5.** Так, оскільки дії всіх тіл скомпенсовані. **13.6.** Тіло рухається рівномірно прямолінійно, якщо на нього не діють інші тіла або у

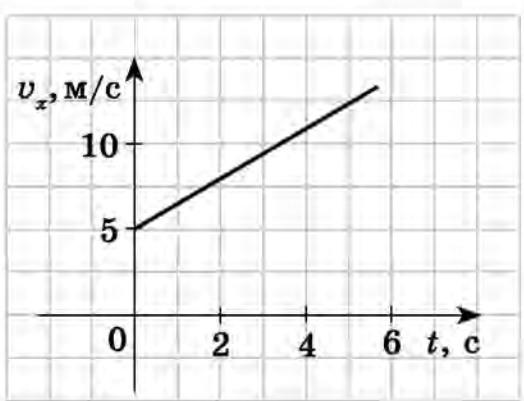
випадку, коли рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю. **13.7.** Тому що на автомобіль діє нескомпенсована сила тертя. **13.8.** Тому що дії сил тяжіння Землі і опору повітря є нескомпенсованими. **13.9.** а) Ні; б) так; в) ні. **13.10.** а) Так; б) ні; в) ні. **13.11.** Ні. Швидкість велосипедиста змінюється за напрямком, оскільки велосипедист має доцентрове прискорення. **13.12.** Ні, бо потяг рухається рівноприскорено. **13.13.** Такого тіла немає. **13.14.** а) Рівномірно прямолінійно; б) потяг повертає вбік; в) сповільнено прямолінійно; г) прискорено прямолінійно. **13.15.** Бо тіло людини продовжує рухатися за інерцією. **13.16.** Термометр зупиняється, а ртуть продовжує рухатися за інерцією. **13.17.** Така поведінка пояснюється інерцією тіла. **13.18.** Через наявність інерції. **13.19.** а; г. **13.20.** а; б; в; д. **13.21.** Час дії кулі на двері дуже малий порівняно з дією пальця. За цей час деформація, спричинена дією кулі, не встигає розповсюдитись на значну відстань, тому куля пробиває у дверях отвір, а двері завдяки явищу інерції залишаються на місці.

14. Другий закон Ньютона

14.1. Підказка: рівнодійна і прискорення напрямлені однаково. **14.2.** а) Праворуч; б) вгору; в) 1 — праворуч вниз; 2 — вертикально вгору; 3 — вліво вниз. **14.5.** 25 см/с^2. **14.6.** 0,5 Н. **14.7.** 500 г. **14.8.** $R \approx 23$ Н; $R_x \approx 17$ Н; $R_y = 15$ Н. **14.9.** а) Так; б) ні; в) так. **14.10.** а) Так; б) ні; в) ні; г) так. **14.11.** 15 Н. **14.12.** 6 кН. **14.13.** Див. рисунок. **14.14.** Див. рисунок. **14.15.** *AB*. **14.16.** 0,3 м/с^2. **14.17.** 1440 кг. **14.18.** 24 кг. **14.19.** Прискорення меншої кульки буде у 27 разів більшим. Ні. **14.20.** У чотири рази. **14.21.** 20 т. **14.22.** 500 Н. **14.23.** $v_x = 2 + 3t$. **14.24.** $x = 16 + 8t - 0{,}3t^2$. **14.25.** 1,2 МН. **14.26.** 3 хв 20 с. **14.27.** 20 с; 400 м. **14.28.** 1 кН. **14.29.** 25 кН. **14.30.** 0,5 Н.



До задачі 14.13



До задачі 14.14

15. Третій закон Ньютона

15.1. Однакові. **15.2.** Не можна шукати рівнодійну сил, прикладених до різних тіл. **15.4.** Ракетка і м'яч діють одне на одного з однаковою силою. **15.5.** Згідно з третім законом Ньютона сили, з якими вагони діятимуть один на одного під час зіткнення, будуть однаковими незалежно від швидкості руху та від маси вагонів у момент зіткнення. **15.6.** Немає. Сили однакові, а прискорення тіл різної маси і, відповідно, результат дії — різні. **15.7.** Маса корабля набагато більша за масу човна, через це та сама за величиною сила надає йому прискорення, близьке до нуля. **15.8.** Одночасно. **15.9.** Якщо маси човнів з людьми однакові, то й наближатимуться вони однаково. Якщо ж їхні маси різні, то прискорення, які вони отримають унаслідок взаємодії, будуть обернено пропорційні масам. **15.10.** а) 150 Н; б) 0 Н. **15.11.** а) Так; б) ні. **15.12.** Чаша терезів, де стоїть посудина, переважить, оскільки не тільки вода виштовхує кульку, а й кулька за третім законом Ньютона діє на воду з такою самою силою вертикально вниз.

16. Сила пружності

16.4. 10 Н/м. **16.5.** Жорсткість латунної у два рази більша; $k_1 = 1\frac{\text{кН}}{\text{м}}$; $k_2 = 500\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. **16.6.** 75 Н; 75 Н. **16.7.** 2500 Н/м. **16.8.** 6 мм. **16.9.** Коефіцієнти жорсткості однакові і дорівнюють 40 кН/м. **16.10.** 3 см; 5 см. **16.11.** 4 мм. **16.12.** 2 кН/м. **16.13.** 125 кПа. **16.14.** 27 см^2. **16.15.** 400 кН. **16.16.** 600 МПа. **16.17.** $|\varepsilon| = 3 \cdot 10^{-3}$. **16.18.** Ні. **16.19.** Під час удару кульки об камінь виникає пружна деформація, і сила пружності каменя відкидає кульку. Деформація ж асфальту є пластичною, отже, й сила пружності, яка виникає, набагато менша, ніж у першому випадку. **16.20.** Якщо жорсткості буферних пружин однакові, то й стиснуться вони під час зіткнення вагонів однаково, оскільки сили, з якими вагони діють один на одного під час зіткнення, однакові. Якщо ж їхні жорсткості різні, то більше стиснеться та пружина, жорсткість якої менша,— це випливає із закону Гука. **16.21.** Ні. **16.22.** У другому випадку коефіцієнт жорсткості у 3 рази більший. **16.23.** Збільшиться у 9 разів. **16.24.** 0,5 м/с^2. **16.25** 0,75 мм. **16.26.** $\approx$97,5 МПа. **16.27.** 62,8 Н. **16.28.** $\approx$5 мм. **16.29.** 210 ГПа. **16.30.** $\approx$0,043%. **16.31.** 27. **16.32.** $\approx$1,6 мм. **16.33.** 23 кН. **16.34.** 2 м. **16.35.** $\approx$0,6 мм. **16.36.** Запас міцності становить 2; $\approx$0,85 мм; $\approx 1{,}7 \cdot 10^{-3}$. **16.37.** 1300 Н. **16.38.** 96 Н/м. **16.39.** $\approx 2{,}7 \cdot 10^{-5}$ м. **16.40.** 10,4 см. **16.41.** 8 см. **16.42.** $\approx$5 км. **16.43.** $\approx$195 ГПа. **16.44.** $\approx$7 мм. **16.45.** $\approx$4 мм. **16.46.** 16,6 м/с. **16.47.** 946,5 МПа. **16.48.** 25. **16.49.** $\approx$520 МПа.

17. Сила всесвітнього тяжіння

17.1. ≈ 43 мкН. **17.2.** 80 000 т. **17.3.** $\approx 3{,}76$ м/с^2. **17.4.** $\approx 6{,}4 \cdot 10^{23}$ кг. **17.5.** а) Зменшилась приблизно в 1,1 рази; б) у 4 рази. **17.6.** На висоті, що дорівнює двом земним радіусам. **17.7.** 38 400 км від Місяця. **17.8.** $0{,}14\,R_{Ю}$ від Ганімеда. **17.9.** $\approx 0{,}6$ м/с^2. **17.10.** $h \approx 0{,}4\,R_З$. **17.11.** На 8,7 м/с^2. **17.12.** $\approx 7{,}4$ км/с. **17.13.** Зменшиться приблизно в 1,02 рази. **17.14.** Збільшилась на 350 км. **17.15.** 25,8 м/с^2. **17.16.** ≈ 270 м/с^2. **17.17.** $6{,}3 \cdot 10^{23}$ кг. **17.18.** $\approx 1{,}5$ год.

18. Сила тяжіння. Вага. Невагомість

18.1. Відстань від центру Землі до поверхні на екваторі більша, ніж на полюсах. **18.2.** Ні, показання динамометра на полюсі будуть більшими. **18.3.** 780,8 кН. **18.4.** На 70 мН. **18.5.** Сила натягу тросу, яка за третім законом Ньютона дорівнює вазі ліфта, на початку руху зростає, потім дорівнює силі тяжіння, а наприкінці руху зменшується. **18.6.** В обох випадках прискорення напрямлене вгору, отже, і на старті, і перед посадкою вага космонавта збільшується. **18.7.** 2,3 кН. **18.8.** $\approx 6{,}7$ м/с^2. **18.9.** 400 кг. **18.10.** 72 Н. **18.11.** 2,5 м/с^2. **18.12.** Тільки у верхній точці польоту. **18.13.** 17,8 кН. **18.14.** 15 дм^3. **18.15.** Збільшується на 100 Н. **18.16.** 5 м/с. **18.17.** 108 км/год. **18.18.** 3 т. **18.19.** 4125 Н. **18.20.** ≈ 694 м. **18.21.** Будь-яке тіло можна вважати «опорою» для Землі, на яку вона діє. У цьому сенсі Земля має вагу. **18.22.** Земля рухається навколо Сонця тільки під дією сили всесвітнього тяжіння, отже вона перебуває у стані невагомості. **18.23.** Ні, стан невагомості порушується, коли вмикають двигуни. **18.24.** Так, протягом того часу, поки двигуни корабля були вимкнені. **18.25.** Так, якщо двигуни будуть вимкнені, оскільки у цей час корабель рухатиметься тільки під дією гравітації. **18.26.** 2,45 кг. **18.27.** 3 м/с^2.

19. Сила тертя. Сила опору середовища

19.1. Ні. **19.2.** Ні, якщо рейки горизонтальні. **19.3.** Сила тертя спокою. **19.4.** Ні, оскільки максимальна сила тертя спокою візка більша за прикладену силу; 80 Н. **19.5.** а) Ні; б) так. **19.6.** Щоб збільшити силу тертя. **19.7.** Ні. **19.8.** а) Проти руху; б) у напрямку руху. **19.9.** Сила тертя ковзання більша за силу тертя кочення. **19.10.** Важче зрушити вагон з місця. **19.11.** Сила тертя ковзання менша, ніж сила тертя спокою. **19.12.** Сила тертя залежить від відносної швидкості тіл, між якими виникає сила тертя.

19.13. Доки сила тяжіння не буде врівноважена силою опору повітря. **19.14.** а) Не рухатиметься; б) рухатиметься рівномірно прямолінійно; в) рухатиметься рівноприскорено. **19.15.** 1,5 кН. **19.16.** 0,015. **19.17.** 2 кН. **19.18.** 400 т. **19.19.** 5 с. **19.20.** 20 м/с. **19.21.** За рахунок більшої площі опори роликові підшипники витримують більші навантаження. **19.22.** За рахунок вихорів, які утворюються позаду лідера, тиск позаду нього менший, ніж перед ним, а у тих, хто позаду лідера, тиски майже однакові, отже, опір повітря лідерові більший, ніж тому, хто біжить за ним. **19.23.** 0,25. **19.24.** ≈ 84 км/год. **19.25.** ≈ 80 км/год; 66°. **19.26.** $\approx 7°$.

20. Рух тіла під дією кількох сил

I. Рух по горизонталі і вертикалі

20.1. 0,031 м/с^2. **20.2.** 2,3 кН. **20.3.** 5 Н. **20.4.** 120 мН. **20.5.** $\approx 9{,}5$ м/с^2. **20.6.** 1,15 м/с^2. **20.7.** 0,19. **20.8.** 700 м; 40 с. **20.9.** $\approx 0{,}02$. **20.10.** 3,1 Н. **20.11.** 24 м/с. **20.12.** а) 275 Н; б) 325 Н. **20.13.** $\approx 1{,}6$ м/с^2. **20.14.** 0,2. **20.15.** ≈ 130 кг. **20.16.** 0,4.

II. Рух по похилій площині

20.17. ≈ 2050 Н. **20.18.** 2,4 м/с^2. **20.19.** 44 Н. **20.20.** $\approx 1{,}7$ м/с^2. **20.21.** 0,675 м/с^2; $\mu \geqslant 0{,}58$. **20.22.** $\approx 0{,}48$. **20.23.** ≈ 220 Н. **20.24.** 0,2. **20.25.** $\approx 6{,}4$ кН. **20.26.** 7,7 кН. **20.27.** 3 с; 13 м/с. **20.28.** 5 м. **20.29.** 20 м/с. **20.30.** 2,5 м/с^2. **20.31.** $\approx$ 97 кг. **20.32.** 0,19. **20.33.** $\approx 136{,}5$ м; $\approx 16{,}5$ с.

III. Рух по колу

20.34. 5 кН. **20.35.** а) 186,2 кН; б) 185,7 кН. **20.36.** ≈ 100 м. **20.37.** $\approx 4{,}2$ см. **20.38.** 45°. **20.39.** ≈ 53 км/год. **20.40.** 40 м. **20.41.** 72 км/год. **20.42.** $\approx 57{,}6$ км/год. **20.43.** ≈ 41 об/хв. **20.44.** 5 рад/с. **20.45.** ≈ 38 об/хв. **20.46.** 14,5 Н. **20.47.** $\approx 1{,}3$ м. **20.48.** $\approx 5{,}3$ рад/с; $\approx 2{,}3$ Н. **20.49.** 5,88 Н; 2,4 м/с. **20.50.** 8,55 Н. **20.51.** Обертова частота має бути меншою, ніж 103 об/хв. **20.52.** На нерухомій поверхні втримається, на рухомій — ні.

IV. Рух системи зв'язаних тіл

20.53. 77 Н. **20.54.** 0,24 м/с^2; 20 Н. **20.55.** $\approx 9{,}82$ м/с^2. **20.56.** 17 Н. **20.57.** 4 м/с; 9,6 Н. **20.58.** 102,4 г. **20.59.** 4 м/с^2; 1,2 Н.

20.60. 4 м/с²; 0,8 Н. **20.61.** $F \leqslant 12$ Н; $F \leqslant 24$ Н. **20.62.** 36 Н. **20.63.** 0,76 Н; 0,8 м/с². **20.64.** 1 м/с²; 3 Н. **20.65.** $\approx 0{,}37$. **20.66.** $\approx 1{,}67$ м/с; $\approx 0{,}83$ Н — між тілами m і m_1; $\approx 0{,}50$ Н — між тілами m_2 і m_1. **20.67.** 0,5 м/с²; 0,95 Н — між тілами m і m_1; 0,57 Н — між тілами m_2 і m_1. **20.68.** 0,48 м/с²; 2,1 Н; 4,2 Н. **20.69.** 4 г. **20.70.** $a = \frac{g}{3} \approx 3{,}3$ м/с²; 2 Н — між першим і другим тілами m ті m_1; 4 Н — між другим і третім тілами. **20.71.** $a_{\text{відн}} = -2{,}7$ м/с². **20.72.** ≈ 1 м/с². **20.73.** 0,07. **20.74.** ≈ 36 Н. **20.75.** 1,67 м/с². **20.76.** $\approx 1{,}8$ м/с². **20.77.** Система тіл не рухатиметься.

21. Статика

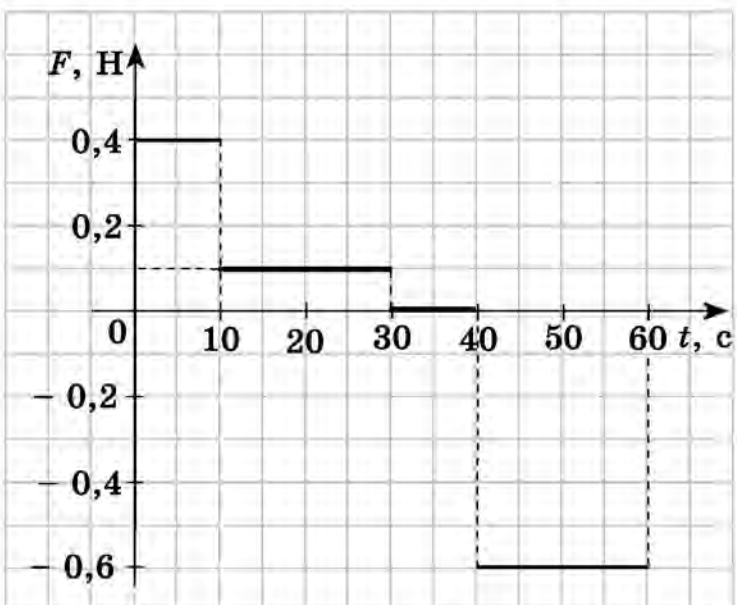
21.1. $20\text{ Н} < R < 100\text{ Н}$. **21.2.** а) Ні; б) так; в) ні. **21.3.** Сили мають діяти вздовж однієї прямої: F_1 і F_2 в один бік, а F_3 — у протилежний. **21.4.** Проекція сили, прикладеної до мотузки, на напрямок руху. **21.5.** 1 — рівноваги немає; 2 — стійка рівновага; 3 — нестійка рівновага; 4 — байдужа рівновага. **21.6.** У нестійкій рівновазі. **21.7.** $M_1 = 11$ Н·м; $M_2 = -11$ Н·м; $M_N = 0$. Тіло буде у рівновазі. **21.8.** Ні, рівновага порушиться, ліве плече важеля опуститься, оскільки $M_1 > M_2$. **21.9.** а) Ні; б) так. **21.10.** 90 Н. **21.11.** 500 Н. **21.12.** 36 см. **21.13.** 20 см. **21.14.** 22,5 кг. **21.15.** 72 Н. **21.16.** $|\vec{F}| = 21$ Н. **21.17.** Вертикально вгору 8000 Н. **21.18.** Ні, бо в цьому випадку сила тяжіння і сила натягу мотузки діють перпендикулярно одна одній і не можуть бути врівноважені. **21.19.** Чим більше плече сили, тим більший момент цієї сили. **21.21.** Момент сили, необхідний, щоб зрушити трактор, значно більший. **21.22.** Зменшується плече сили, за рахунок чого можна збільшити вагу вантажу, який необхідно підняти. **21.23.** Ні, оскільки момент сили тяжіння не врівноважений. **21.24.** У тієї, яка везе дрова, оскільки її центр тяжіння розташований вище. **21.25.** Легковий: його центр тяжіння нижче, завдяки чому рівновага стійкіша. **21.26.** Для збереження стійкої рівноваги. **21.27.** Центр тяжіння сосни міститься значно вище, а рівновага, відповідно, менш стійка. **21.28.** $|\vec{R}| = 0$ Н; $R_x = 0$ Н; $R_y = 0$ Н. **21.29.** $|\vec{R}| \approx 73$ Н; $R_x \approx 36{,}6$ Н; $R_y \approx -63$ Н. **21.30.** $\approx 2{,}5$ Н. **21.31.** ≈ 531 Н; ≈ 960 Н. **21.32.** 500 Н; ≈ 700 Н. **21.33.** ≈ 15 кг; 56°15'. **21.34.** На відстані 62,5 см у бік важчого вантажу. **21.35.** 96 см. **21.36.** 14 кг. **21.37.** 4 кг. **21.38.** 240 Н. **21.39.** 10 Н. **21.40.** 3,1 м. **21.41.** На відстані 15 см від кінця, де закріплено більш масивний вантаж. **21.42.** На відстані 1,75 см від центру стрижня у бік

більшої кулі. **21.43.** 17 Н; 32 Н. **21.44.** 200 Н; 800 Н. **21.45.** 70 Н; 130 Н. **21.46.** $F_A = 45$ Н напрямлена вгору; $F_B = 425$ Н — вниз. **21.47.** На відстані $\frac{2}{3}R$ від центру важчої кулі. **21.48.** На відстані $0{,}55R$ від центру цинкової кулі. **21.49.** На відстані $\frac{R}{7}$ від центру більшої кулі. R — радіус меншої кулі. **21.50.** Через різкі рухи ніг ковзаняра з'являються моменти сил, які намагаються повернути його корпус навколо вертикальної осі. Махи ковзаняра руками створюють моменти сил, які протидіють моментам сил, зумовленим рухами його ніг. **21.51.** Під час гальмування передніми колесами виникає момент сил, який може перекинути машину. **21.52.** Не перекидаються завдяки стійкій рівновазі, зумовленій тим, що центр тяжіння міститься значно нижче від точки підвісу. **21.53.** Стійка рівновага, оскільки при виведенні лінійки з рівноваги її центр тяжіння піднімається. **21.54.** 150 Н; 200 Н. **21.55.** 1 см. **21.56.** $T \approx 21$ Н; $Q \approx 25$ Н під кутом 27° до стійки AB. **21.57.** $\approx 42°$. **21.58.** $h = \dfrac{2\mu_2(m+M)(\cos\alpha + \mu_1 \sin\alpha) - m\sin\alpha(1+\mu_1\mu_2)}{2M\operatorname{tg}\alpha(1+\mu_1\mu_2)} l$; $h \approx 3{,}3$ м. **21.59.** На відстані 186 мм від лівого краю пластинки на лінії, що є продовженням медіани її трикутної частини. **21.60.** $x = \frac{R}{6}$. **21.61.** $x = \dfrac{\pi l\sqrt{2}}{4(16-\pi)}$.

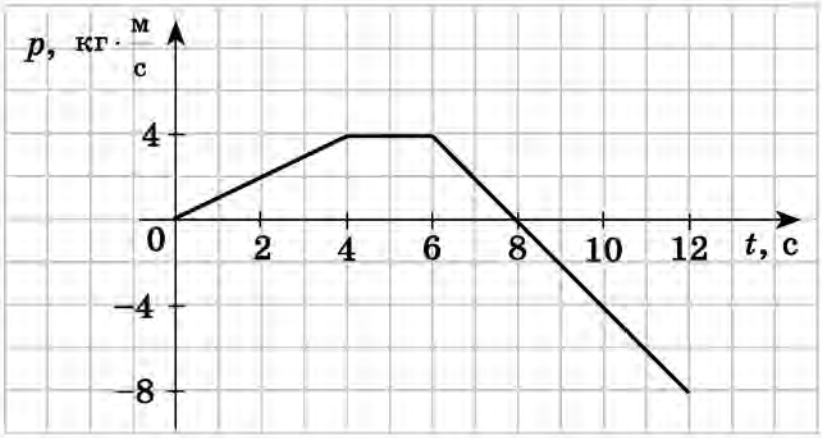
22. Імпульс. Закон збереження імпульсу

22.1. Так, якщо зміниться напрямок швидкості. **22.2.** Так, якщо кине від себе якийсь предмет. **22.4.** 12 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.5.** 0,6 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.6.** 0,7 кг. **22.7.** 333 м/с. **22.8.** 324 км/год. **22.9.** 4050 кг. **22.10.** $p_1 = 0{,}3\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; $p_2 = 0{,}2\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.11.** На 11 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.12.** 250 м/с. **22.13.** Зменшився на 0,3 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.14.** Збільшується на 0,6 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.15.** 3 кН. **22.16.** 800 Н. **22.17** 37,5 мс. **22.18.** 10 с. **22.19.** 0,2 м/с. **22.20.** 1 м/с. **22.21.** Так. **22.22.** 30 м/с. **22.23.** 3,16 т. **22.24.** а) 1 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, 10 Н; б) 0,5 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, 5 Н; в) вздовж осі OX імпульс куль змінився на 0,5 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$, а вздовж осі OY — не змінився; 5 Н.

22.25. $-5{,}1\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. **22.26.** 3 км/с. **22.27.** 301 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 280 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 56 Н. **22.28.** 40 $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$; 20 Н. **22.29.** $x=0{,}5t^2$. **22.30.** Див. рисунок. **22.31.** Див. рисунок. **22.32.** 40 м. **22.33.** 19,2 м. **22.34.** 1,26 Н. **22.35.** ≈ 48 с. **22.36.** Віддачу брали на себе вихідні гази. **22.37.** 2,75 м/с. **22.38.** а) 2,2 м/с у початковому напрямку руху платформи; б) 0,8 м/с у напрямку, протилежному початковому напрямку руху платформи. **22.39.** а) 0,2 м/с; б) 1,3 м/с. **22.40.** 1 кг. **22.41.** 125 кг. **22.42.** Приблизно на 5,65 м/с. **22.43.** $\approx 4{,}7$ см/с. **22.44.** 12,45 т. **22.45.** На 4 м проти руху хлопчика. **22.46.** 2,1 м. **22.47.** 0,28 м/с. **22.48.** 44 м; 11 м. **22.49.** Згідно із законом збереження імпульсу це неможливо. **22.50.** Ракета може зупинитись і потім почати рух у зворотному напрямку. **22.51.** В усіх випадках — так, оскільки на ракету діє нескомпенсована сила. **22.52.** 500 м. **22.53.** ≈ 300 м. **22.54.** 217 м/с. **22.55.** Імпульс диска дорівнює нулю. **22.56.** Нулю. **22.58.** 0,93 м/с; $\approx 11°$ до початкового напрямку руху. **22.59.** 12,5 м/с; у напрямку, протилежному до руху більшого осколку. **22.60.** ≈ 58 м/с; під кутом 15° до горизонту. **22.61.** $m_3 \approx 0{,}8$ кг; $\alpha = 122°$ до напрямку руху першого осколка. **22.62.** 3,75 м. **22.63.** 0,09 м/с; 40 с. **22.64.** 4,5 м. **22.65.** 8 м/с. **22.66.** 20 т. **22.67.** Ні, прискорення ракети зростає, оскільки її маса і прискорення вільного падіння зменшуються. **22.68.** ≈ 25 кг/с.



До задачі 22.30



До задачі 22.31

23. Механічна робота. Потужність. ККД

23.1. 255 Дж. **23.2.** ≈52 кДж; −52 кДж. **23.3.** 72 Дж. **23.4.** 500 Н. **23.5.** 6,2 МДж. **23.6.** 100 м. **23.7.** 3 Н. **23.8.** 75 кг. **23.9.** 1200 Дж. **23.10.** 41,04 Дж. **23.11.** 2,5 м/с². **23.12.** 12,25 Дж; −0,5 Дж. **23.13.** 9,45 м/с². **23.14.** 125 Вт. **23.15.** 80 с. **23.16.** 50 кВт. **23.17.** 4 м/с. **23.18.** 1 МВт. **23.19.** 27 м. **23.20.** 2,5 т. **23.21.** 12,5 Вт. **23.22.** ≈2 год 10 хв. **23.23.** 3,8 кВт. **23.24.** 50 с. **23.25.** 21,6 т. **23.26.** 6 кВт. **23.27.** ≈100 км/год. **23.28.** 80 %. **23.29.** 4,7 кДж. **23.30.** 80 %. **23.31.** ≈1 кН. **23.32.** 90 %. **23.33.** 390 Н. **23.34.** 9,6 Дж. **23.35.** 300 кг. **23.36.** ≈10,55 кДж. **23.37.** 777 Дж. **23.38.** 420 кДж. **23.39.** ≈1,5 м/с². **23.40.** 44 кДж. **23.41.** 3,24 МДж. **23.42.** 960 Дж; −960 Дж. **23.43.** ≈3,7 м³. **23.44.** ≈44 Дж. **23.45.** 768 Дж. **23.46.** 240 мДж. **23.47.** 77 Дж. **23.48.** ≈247,5 Дж. **23.49.** 750 кВт. **23.50.** 3 м³/с. **23.51.** 150 МДж; ≈1,3 МВт. **23.52.** 42 кВт. **23.53.** 0,3 МВт. **23.54.** 1,25м/с². **23.55.** 30 кН. **23.56.** 7 кН. **23.57.** 60 %. **23.58.** 6,3 м. **23.59.** ≈380 т. **23.60.** ≈6,8 м. **23.61.** 3750 кг. **23.62.** 625 м³/с. **23.63.** 374 кВт. **23.64.** ≈56,5 %. **23.65.** ≈73,5 %. **23.66.** 82,5 %; 27,5 Н. **23.67.** ≈97 %. **23.68.** 540 кг. **23.69.** 116 кДж. **23.70.** ≈76,2 Дж. **23.71.** ≈400 Н. **23.72.** ≈25 см. **23.73.** 72 км/год. **23.74.** ≈9 км/год. **23.75.** 3 кВт. **23.76.** ≈2,9 кВт. **23.77.** 1274 кДж; ≈77 %. **23.78.** 3,75 кВт. **23.79.** 240 Н; 1,2 кВт.

24. Механічна енергія. Закон збереження механічної енергії

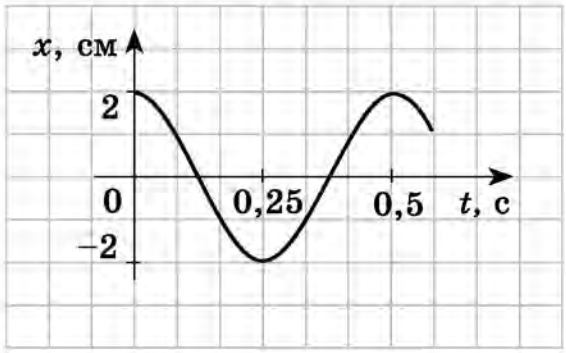
24.1. 27 Дж; 9 Дж. **24.2.** 960 Дж. **24.3.** 4 м. **24.4.** 20 кг. **24.5.** Зменшилась на 3 Дж. **24.6.** 24 Дж. **24.7.** 8 см. **24.8.** 51,2 МН/м.

24.9. 9 Дж. **24.10.** 50 кг. **24.11.** $\approx 15{,}5$ м/с. **24.12.** 225 кДж. **24.13.** Ні. **24.14.** 3040 т. **24.15.** $\approx 68{,}41$ ГДж. **24.16.** Повна механічна енергія на певній орбіті визначається масою супутника $E = mgh + \frac{mv^2}{2}$. **24.17.** Ні, частина механічної енергії перетворюється на внутрішню. **24.18.** Ні. **24.19.** 40,8 м. **24.20.** $\approx 3{,}25$ м/с. **24.21.** 3 м/с. **24.22.** 4 Дж; 5 Дж. **24.23.** 1,2 Дж; 4,8 Дж. **24.24.** 80 см. **24.25.** 400 Н/м. **24.26.** 20 м/с; 20 м. **24.27.** 100 Дж. **24.28.** 1,8 кДж. **24.29.** $\frac{4}{3}\pi\rho g R^4$. **24.30.** Під час запуску вздовж екватора, оскільки швидкість добового обертання Землі додається до швидкості, наданої двигуном ракетиносія. **24.31.** 10 Дж; 1,25 Дж. **24.32.** ≈ 14 м/с. **24.33.** $\approx 2{,}3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; -1 Дж. **24.34.** 10 м/с. **24.35.** 6,5 м. **24.36.** 15 м/с. **24.37.** 15 м/с. **24.38.** ≈ 15 м/с; $\approx 64°$. **24.39.** $\approx 1{,}3$ см. **24.40.** Вказівка: Врахуйте, що найбільш стійкому стану рівноваги системи відповідає мінімум її потенціальної енергії. **24.41.** а) Так, оскільки відповідно до закону збереження механічної енергії $mgh = \frac{mv^2}{2}$; б) так, оскільки змінюється відстань між тілами. **24.42.** $H = 2{,}5R = 7{,}5$ м. **24.43.** $H = \frac{5}{3}R$. **24.44.** $h = \frac{2}{3}R$. **24.45.** 1 м/с; 5 м/с. **24.46.** Зменшилася в 1,7 разів. **24.47.** а) $\approx 0{,}33$ м/с; -125 мДж; б) $\approx 2{,}3$ м/с; -5 мДж. **24.48.** Половина. **24.49.** 300 Н. **24.50.** 66°. **24.51.** 1,25 м. **24.52.** ≈ 550 м/с. **24.53.** 6,4 см.

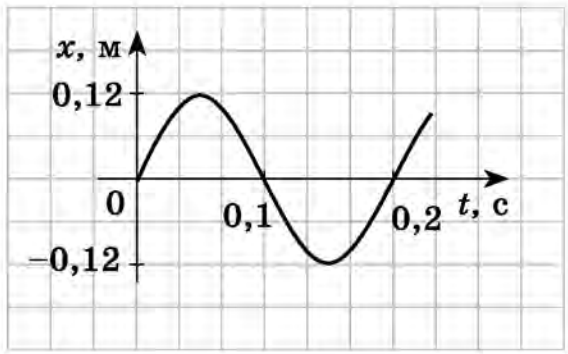
25. Механічні коливання

25.1. Та, що міститься на дні півсфери. **25.2.** б, г, д. **25.3.** 2,5 с; 0,4 Гц. **25.4.** 0,5 с; 2 Гц; 4π с^{-1}. **25.5.** 25 Гц; 0,04 с. **25.6.** 1,5. **25.7.** $x_m = 5$ см; $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$ рад; $\omega = 0{,}01\pi$ с^{-1}; $T = 200$ с. **25.8.** $x_m = 2$ см; $\varphi_0 = 0$ рад; $\omega = 4\pi$ с^{-1}; $\nu = 2$ Гц; $T = 0{,}5$ с. **25.9.** $x = 0{,}06\cos\left(8\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$. **25.10.** $x = 0{,}12\sin 10\pi t$. **25.11.** 8 см. **25.12.** $\approx 19{,}5°$. **25.13.** а) Зменшиться; б) збільшиться; в) не зміниться. **25.14.** 62,8 мс. **25.15.** 9,55 Гц. **25.16.** а) Збільшиться; б) не зміниться. **25.17.** $\approx 4{,}5$ с. **25.18.** $\approx 19{,}9$ с. **25.19.** 750 мДж. **25.20.** 3,2 Дж; 4 кН/м. **25.21.** 0,5 кг. **25.23.** Тіло здійснює гармонічні коливання за законом синуса; $x_m = 23$ см;

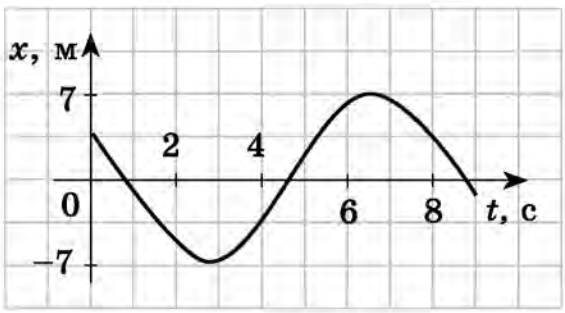
$\varphi_0 = 0$ рад; $T = 25$ мс; $\nu = 40$ Гц; $x = 0{,}23\sin 80\pi t$. **25.24.** Тіло здійснює гармонічні коливання за законом косинуса; $x_m = 9$ см; $\varphi_0 = 0$ рад; $T = 8$ с; $\nu = 0{,}125$ Гц; $x = 0{,}09\cos\frac{\pi t}{4}$. **25.25.** $T = 8$ с; $x \approx -6$ см. **25.26.** $x = 0{,}45\sin\left(\frac{2\pi t}{3} + \frac{\pi}{6}\right)$. **25.27.** Див. рисунок. $x = 0{,}05\sin\frac{5\pi t}{6}$; $\approx 3{,}5$ см. **25.28.** Див. рисунок. $x = 0{,}25\cos\left(\frac{\pi t}{6} + \frac{\pi}{2}\right)$; $-12{,}5$ см. **25.29.** Див. рисунки. **25.30.** ≈ 4 кг. **25.31.** 16,4 Н/м. **25.32.** 75,36 с. **25.33.** Зменшиться в 1,7 рази. **25.34.** $\approx 0{,}8$ с; $x = 0{,}08\cos\frac{5\pi t}{2}$. **25.35.** $\approx 3{,}5$ Гц. **25.36.** ≈ 6 см. **25.37.** 0,5 м. **25.38.** Хід годинника сповільниться. **25.39.** Хід годинника сповільниться. **25.40.** Пересунути тягарець вгору. **25.41.** Не зміниться. **25.42.** Частота коливань збільшиться. **25.43.** 3,14 с; 9,8 м/с^2. **25.44.** 99,4 см. **25.45.** 9,75 м/с^2. **25.46.** $\approx 24{,}9$ см; $\approx 25{,}4$ см. **25.47.** $\approx 3{,}2$ с. **25.48.** $x = 0{,}11\cos 2{,}5t$. **25.49.** $\approx 99{,}4$ см. **25.50.** Перший маятник довший за інший у 2,25 разів. **25.51.** Частота коливань коротшого маятника у два рази більша за частоту довшого. **25.52.** 98 см; 128 см. **25.53.** 1,08 кг. **25.54.** 3,2 Дж; $\approx 6{,}4$ Гц; 640 Н/м. **25.56.** Внаслідок резонансу. Змінити, наприклад, темп ходи. **25.57.** 72 км/год. **25.58.** 60 см. **25.59.** 3 см. **25.60.** 1,6 Н. **25.61.** $t = \frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{\omega \cdot x}{v}\right)}{\omega} \approx 0{,}22$ с. **25.62.** 5 с. **25.63.** $\approx 7{,}1$ с. **25.64.** $\approx 3{,}5$ с. **25.65.** Через $\frac{T}{8}$. **25.66.** $\approx 1{,}6$ с. **25.67.** Період коливань зменшиться в 1,07 разу. **25.68.** $\approx 99{,}4$ см. **25.69.** а) Збільшиться; б) зменшиться. **25.70.** Ні. **25.71.** Годинник поспішатиме щодоби на 3 хв 40 с. **25.72.** Ліфт рухався вгору з прискоренням $a \approx 1{,}7$ м/с^2. **25.73.** $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2 + a^2}}} \approx 2{,}75$ с. **25.74.** Збільшити довжину маятника на 4 см. **25.75.** Зменшити довжину маятника на ≈ 6 мм. **25.76.** Так, період коливань хлопчика зменшиться. **25.77.** ≈ 32 Дж; ≈ 24 Дж; ≈ 8 Дж. **25.78.** $\approx 3{,}1$ мДж; $\approx 0{,}25$ м/с. **25.79.** ≈ 22 см.



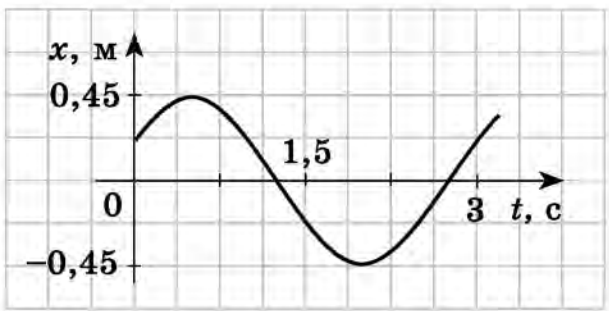
До задачі 25.8



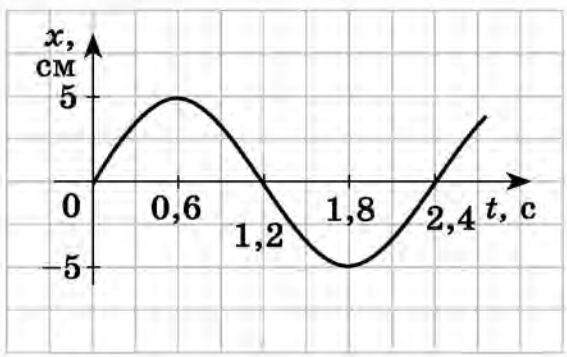
До задачі 25.10



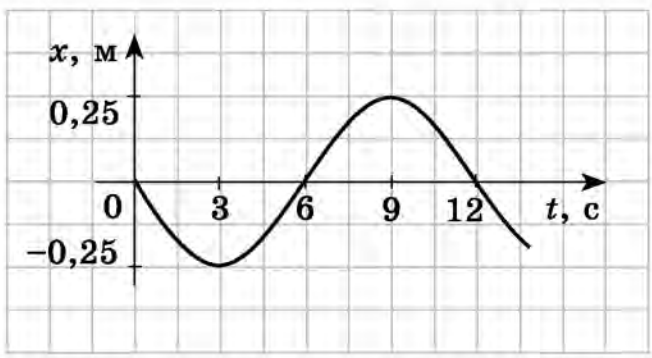
До задачі 25.25



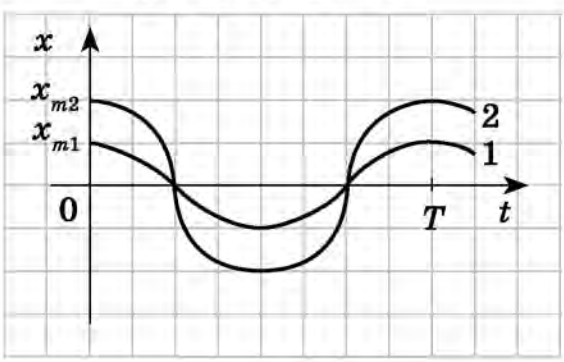
До задачі 25.26



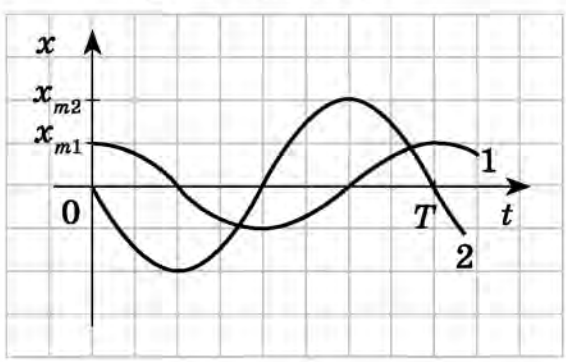
До задачі 25.27



До задачі 25.28

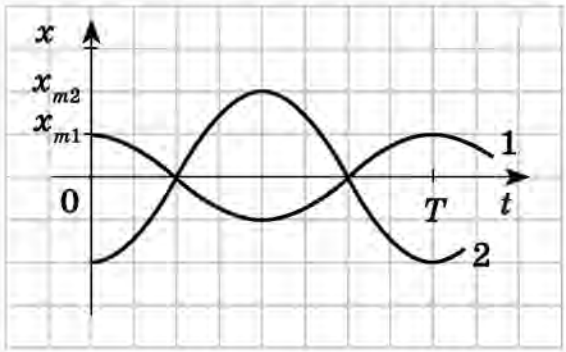


а



б

До задачі 25.29



в

До задачі 25.29

26. Механічні хвилі

26.1. У струні — поперечні, у повітрі — поздовжні. **26.2.** Тільки у випадку а). **26.3.** 6 м. **26.4.** 4 кГц. **26.5.** 1400 м/с. **26.6.** $\approx 3{,}5$ м. **26.7.** 45 м. **26.8.** 20 с. **26.9.** Частота. **26.10.** У вакуумі. **26.12.** 4,25 м; $\approx 0{,}26$ м. **26.13.** 21,25 м. **26.14.** Змахуючи крилами, комахи створюють звукову хвилю. **26.15.** Бджола (див. задачу 26.12). **26.16.** Так. Коли дриль висвердлює отвір, тон звуку стає нижчим. **26.17.** 5100 м/с. **26.18.** 4 мм. **26.19.** 1400 м/с. **26.20.** 2,04 км. **26.21.** Відбиванням. **26.22.** Завдяки багатократній луні. **26.23.** 510 м. **26.24.** 26 см; 52 см. **26.25.** Ні. **26.26.** Звук частково відбивається від зачинених дверей. **26.27.** 6 м/с. **26.28.** 100 м. **26.29.** У протифазах; 180°. **26.30.** $\frac{\pi}{2}$ рад. **26.31.** 3000 м/с. **26.32.** 18 км/год. **26.33.** ≈ 276 м. **26.34.** Першу — ні. **26.35.** 75 м. **26.36.** Це зумовлено різницею швидкості розповсюдження звуку у металі та повітрі. **26.38.** ≈ 3600 м/с. **26.39.** ≈ 747 м. **26.40.** Тон звуку визначається частотою, яка залежить тільки від частоти коливань джерела звуку. **26.41.** 68 см. **26.42.** 4,6 см. **26.43.** 18 м; $\frac{5\pi}{3}$ рад; $-1{,}73$ см. **26.44.** Підказка: $W \sim \nu^4$. **26.45.** Ні, не можна. **26.46.** 122,4 м; $\approx 49{,}5$ м/с. **26.47.** 342,5 м/с. **26.48.** 4,86 м. **26.49.** Пароплав наближається до берега зі швидкістю 16 км/год. **26.50.** 197 Гц.

27. Релятивістська механіка

27.1. У випадках а, б можна застосувати закони класичної фізики; у випадках в, г — тільки закони релятивістської механіки. **27.2.** Швидкість світла. **27.3.** Зі швидкістю світла. **27.4.** З однаковою, оскільки швидкість поширення світла не залежить від швидкості джерела світла. **27.5.** Тільки маса. **27.6.** $18 \cdot 10^{16}$ Дж; так, вона збільшиться, оскільки енергія спокою визначається тільки масою тіла. **27.7.** 4,5 кг. **27.8.** Для того, який має таку ж швидкість відносно вказаної системи відліку. **27.9.** За релятивістською формулою $2{,}7 \cdot 10^8$ м/с. За класичною — $3{,}6 \cdot 10^8$ м/с; це значення відносної швидкості перевищує швидкість поширення світла у вакуумі, що неможливо згідно постулатам Ейнштейна. **27.10.** $\approx 2{,}07 \cdot 10^8$ м/с. **27.11.** 12 м. **27.12.** а) Зменшиться у 2,3 рази; б) не зміниться. **27.13.** $\approx 7{,}35$ год. **27.14.** У 1,25 рази. **27.15.** $2{,}25 \cdot 10^{16}$ Дж. **27.16.** $\approx 3 \cdot 10^{21}$ Дж. **27.17.** $1{,}0 \cdot 10^{-10}$ Дж. **27.18.** $\approx 2{,}6 \cdot 10^8$ м/с. **27.19.** Тільки імпульси тіл. **27.20.** Так. **27.22.** На 264 Мт; за $9{,}3 \cdot 10^{12}$ років. **27.23.** ≈ 630 МВ. **27.24.** а) $4m_0c^2$; б) $m_0c^2(n-1)$. **27.25.** а) $\approx 10^5$ років; б) ≈ 5 хв. **27.26.** Так.

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА ТЕРМОДИНАМІКА

28. Основні положення МКТ будови речовини. Маса й розмір атомів і молекул. Кількість речовини

28.2. а) Так; б) так; в) ні; г) так; д) ні. **28.3.** Ні, не вдасться зблизити молекули на відстані, порівнянні з міжатомними відстанями у пластмасі. **28.4.** Так, рухаючись у повітрі, молекула постійно стикається з молекулами повітря; у вакуумі вона рухатиметься прямолінійно рівномірно. **28.5.** На явищі дифузії; швидкість дифузії зростає зі збільшенням температури. **28.6.** Між молекулами речовини крім сил відштовхування діють сили притягання; рівнодійна цих сил й зумовлює властивості речовини. **28.7.** Ні. **28.8.** а) 44 а. о. м; б) 16 а. о. м.; в) 18 а. о. м.; г) 60 а. о. м.; д) 2 а. о. м. **28.9.** а) 1 а. о. м.; б) 4 а. о. м.; в) 12 а. о. м.; г) 32 а. о. м.; д) 56 а. о. м. **28.10.** а) 2 а. о. м.; б) 32 а. о. м.; в) 28 а. о. м. **28.11.** В 4000 разів. **28.12.** 2 нм. **28.13.** Ні. **28.14.** Ні. **28.15.** Імпульс важких частинок під час зіткнення з молекулами слабо змінюється. **28.16.** Число

молекул однакове. **28.17.** Не зміниться. **28.18.** 0,025 моль. **28.19.** $2{,}1\cdot10^{25}$. **28.20.** $342\cdot10^{-3}$ кг/моль; $5{,}68\cdot10^{-25}$ кг. **28.21.** 2 а. о. м.; водень. **28.22.** $5{,}3\cdot10^{-26}$ кг. **28.23.** $5{,}68\cdot10^{-25}$ кг; 0,342 кг/моль. **28.24.** $\approx 5{,}64\cdot10^{24}$. **28.25.** 15,3 кг. **28.26.** $\approx 9\cdot10^{24}$. **28.27.** 8,8 кг. **28.28.** $5\cdot10^{-5}$ моль. **28.29.** $9{,}41\cdot10^{25}$ м$^{-3}$. **28.30.** 16,6 г; 8,31 моль. **28.31.** 0,96 кг. **28.32.** В 3,5 разу. **28.33.** 4 доби 20 год. **28.34.** $2{,}44\cdot10^{19}$. **28.35.** $1{,}37\cdot10^{24}$; $7{,}3\cdot10^{-26}$ кг; $2{,}65\cdot10^{25}$ м$^{-3}$. **28.36.** 0,1 кг/м^3. **28.37.** 596 см^3. **28.38.** $2{,}5\cdot10^{28}$ м$^{-3}$. **28.39.** 2 г/моль; водень. **28.40.** 1/22. **28.41.** $\approx 1{,}9\cdot10^{19}$. **28.42.** 2,2 мг. **28.43.** 1021 молекула. **28.44.** Молекул ртуті більше в 1,22 разу. **28.45.** 29,3 г/моль; $5{,}4\cdot10^{25}$ м$^{-3}$. **28.46.** 15,7 г. **28.47.** 32,7 г/моль; 50 % кисню, 16,7 % вуглекислого газу й 33,3 % азоту. **28.48.** $2{,}1\cdot10^{25}$. **28.49.** $a = 2{,}275\cdot10^{-10}$ м, що менше, ніж діаметр окремого атома Ферума. **28.50.** $\approx 1{,}9\cdot10^3$ кг/м^3; ні, густина води майже в 2 рази менша. **28.51.** 4,2 мм. **28.52.** 502 м/с. **28.53.** 360°; так, у разі обертання циліндрів срібло осідатиме на всій поверхні зовнішнього циліндра.

29. Модель ідеального газу. Тиск і температура газу. Основне рівняння МКТ газів

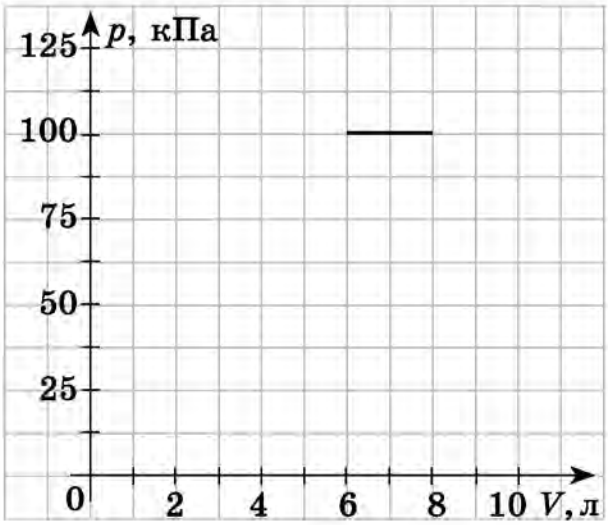
29.1. Ні, молекули газу стикаються. **29.2.** Скалярна. **29.3.** Вагою повітря. **29.4.** а) Збільшиться; б) збільшиться; в) зменшиться. **29.5.** а) Збільшенню швидкості теплового руху; б) зменшенню середньої відстані між молекулами газу. **29.6.** Необхідний час для встановлення теплової рівноваги. **29.7.** Теплопередача відбувається до встановлення теплової рівноваги. **29.8.** Влітку. **29.9.** а) Так; б) ні. **29.10.** Ні, температура тіла 38 °С. **29.11.** 323 К. **29.12.** В 49 разів. **29.13.** 148 кПа. **29.14.** а) Ні; б) так. **29.15.** Тиск газу в кабіні обумовлений рухом молекул, а не силою ваги. **29.16.** Так. **29.17.** $2{,}66\cdot10^{-23}$ кг · м/с; $6{,}64\cdot10^{-21}$ Дж. **29.18.** 1480 м/с. **29.19.** а) $2{,}8\cdot10^{-23}$ кг · м/с; б) $5{,}6\cdot10^{-23}$ кг · м/с. **29.20.** Збільшиться в 1,5 разу. **29.21.** 966 К. **29.22.** а) 0 Дж; б) $2{,}6\cdot10^{-20}$ Дж. **29.23.** Зменшилася на 67 °С. **29.24.** $1{,}6\cdot10^{21}$. **29.25.** $6{,}6\cdot10^{-11}$ Дж. **29.26.** 33,4 кДж. **29.27.** 324 м/с; 354 К. **29.28.** 436 м/с. **29.29.** 1092 °С. **29.30.** 6,1 км/с. **29.31.** 0,5 %. **29.32.** Збільшиться на 183 К. **29.33.** Знизити температуру гелію на 240 К; підвищити температуру неону на 1200 К. **29.34.** 174 м/с. **29.35.** 4 МПа. **29.36.** $2{,}3\cdot10^{25}$ м$^{-3}$. **29.37.** Збільшилася в 4 рази.

29.38. Тиск кисню в 16 разів більший. **29.39.** Залишиться постійним. **29.40.** $4{,}9 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$. **29.41.** $6 \cdot 10^{-21}$ Дж. **29.42.** Збільшиться в 6 разів. **29.43.** Тиски однакові, а сили тиску ні; рівнодійна сил тиску, що діють на оболонку, дорівнює нулю. **29.44.** 1 км/с. **29.45.** 112,5 кПа. **29.46.** 89 м/с. **29.47.** 1900 м/с; 8,3 кг/м^3. **29.48.** 307 кПа. **29.49.** $2 \cdot 10^{21}$. **29.50.** $2{,}01 \cdot 10^{23}$. **29.51.** 218 г. **29.52.** 5,9 кг/м^3; 1,85 л. **29.53.** 3 Дж. **29.54.** 510 м/с. **29.55.** 600 м/с. **29.56.** $5{,}4 \cdot 10^{25}$. **29.57.** $3{,}3 \cdot 10^{-9}$ м. **29.58.** 12,4 МПа. **29.59.** 14,6 м^3. **29.60.** 2,7 м. **29.61.** 553 К. **29.62.** $9 \cdot 10^5$ Па. **29.63.** 210 кПа. **29.64.** 2 атм. **29.65.** $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К. **29.66.** Зменшилося на 25 %. **29.67.** 1:2.

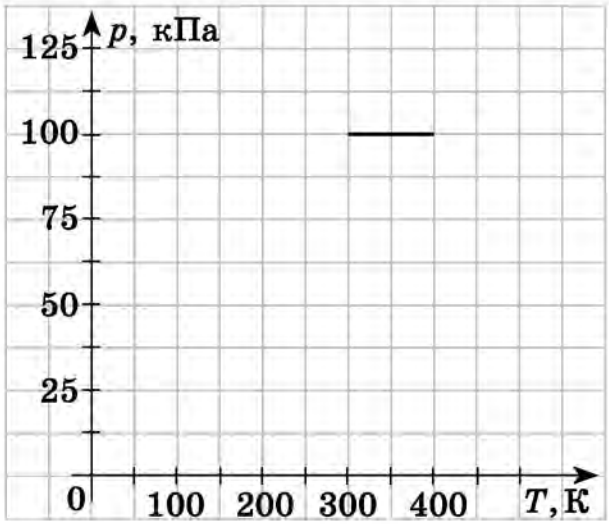
30. Ізопроцеси. Рівняння стану ідеального газу. Рівняння Менделєєва — Клапейрона

30.1. Ні. **30.2.** Ні. **30.3.** В міру витікання рідини тиск повітря в баку знижуватиметься доти, доки різниця тисків повітря в баку і за ним не компенсує тиск стовпа рідини в баку; після цього витікання рідини припиниться. Зробити отвір у кришці бака. **30.4.** У міру витікання води із пляшки тиск повітря усередині неї знижується. Різниця тиску повітря усередині й за пляшкою призводить до її деформації. **30.5.** 5,2 л. **30.6.** 900 мм рт. ст. **30.7.** 800 кПа. **30.8.** 6 л. **30.9.** 1,25 МПа. **30.10.** 8,45 л. **30.11.** 5 м^3. **30.12.** Збільшується в 1,2 разу. **30.13.** 0 °С. **30.14.** Див. рисунок. **30.15.** Див. рисунок. **30.16.** В ході нагрівання тиск газу в банках зростатиме, що може призвести до вибуху. **30.17.** Для компенсації зниження тиску в шинах при їх охолодженні на вулиці. **30.18.** Повітря у пляшці охолоджується і його тиск падає. Різниця тисків повітря всередині пляшки й зовні призводить до її деформації. При відкриванні кришки тиски вирівнюються. **30.19.** Тиск повітря всередині склянки менший, ніж зовні. **30.20.** 15 МПа. **30.21.** 252 °С. **30.22.** Температура, тиск і об'єм. **30.23.** а) $T_1 < T_2$, $p_1 = p_2$, $V_1 < V_2$; б) $T_1 < T_2$, $p_1 < p_2$, $V_1 = V_2$; в) $T_1 < T_2$, $p_1 = p_2$, $V_1 < V_2$; г) $T_1 = T_2$, $p_1 > p_2$, $V_1 < V_2$. **30.24.** 9,3 л. **30.25.** 1,2 МПа. **30.26.** 819 °С. **30.27.** 81 кПа. **30.28.** Збільшився в 2,3 разу. **30.29.** 930 К. **30.30.** $1{,}75 \cdot 10^{23}$. **30.31.** $6{,}6 \cdot 10^{22}$. **30.32.** Зменшується в 2 рази. **30.33.** 17,7 м^3. **30.34.** 10 моль. **30.35.** 25 °С. **30.36.** 0,2 кг. **30.37.** 2,1 МПа. **30.38.** 76 °С. **30.39.** $4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. **30.40.** 10,2 л.

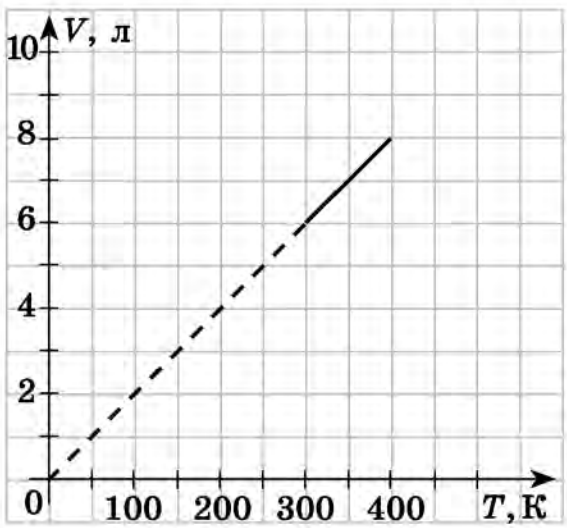
30.41. 80 кПа. **30.42.** Див. рисунок. **30.43.** Див. рисунок; 27 °С. **30.44.** Збільшиться в 1,33 разу. **30.45.** 13,5 с. **30.46.** 25. **30.47.** Збільшиться в 2 разу. **30.48.** 56. **30.49.** 200,5 мм рт. ст. **30.50.** 322 кПа. **30.51.** 2 ходи. **30.52.** 115 г. **30.53.** 67 мл. **30.54.** а) Ізотерма 1; б) ізотерма 2. **30.55.** Див. рисунок. **30.56.** –23 °С. **30.57.** Збільшилася на 1980 К. **30.58.** 4 л. **30.59.** 300 К. **30.60.** 1 см. **30.61.** 25,4 °С. **30.62.** На 10 %. **30.63.** Майже вдвічі. **30.64.** 250 К. **30.65.** На 15,3 °С. **30.66.** Графіки 2 і 4; графік 4. **30.67.** $p_1 < p_2 < p_3$. **30.68.** Посудина 2. **30.69.** Графіки 1 і 4; графік 4. **30.70.** Див. рисунок. **30.71.** $V_1 = 3V_2$. **30.72.** 4 кг. **30.73.** а) $p_2 < p_1 < p_3$; б) $T_3 > T_2 > T_1$; в) $V_2 = V_3 > V_1$. **30.74.** а) У стані 1; б) у стані 2; в) в обох станах однаково. **30.75.** 765 К. **30.76.** 0,4 МПа. **30.77.** а) 450 К, 3 л, 1 МПа; б) 300 К, 2 л, 1 МПа; в) 570 К, 2 л, 1,9 МПа; див. рисунки. **30.78.** Стан 1 — 546 К, 200 кПа, 4 л; стан 3 — 546 К, 100 кПа, 8 л. **30.79.** Див. рисунок. **30.80.** Див. рисунок. **30.81.** Див. рисунок. **30.82.** Див. рисунки; $4T_0$. **30.83.** Див. рисунок. **30.84.** 0,55 кг. **30.85.** 31 л. **30.86.** 4,15 кг. **30.87.** 101 $м^3$. **30.88.** 17 %. **30.89.** 336 К. **30.90.** 6 МПа; 11,5 МПа. **30.91.** 0,49 $кг/м^3$; 10^{25} $м^{-3}$. **30.92.** $2{,}65 \cdot 10^{25}$ $м^{-3}$. **30.93.** 44 г/моль. **30.94.** 138,5 МПа. **30.95.** 2900 К. **30.97.** CH_4. **30.98.** NH_3. **30.99.** Так; точка А. **30.100.** Графік 2. **30.101.** 525 кПа; 50 кПа. **30.102.** 133 кПа; 67 кПа. **30.103.** 1 МПа. **30.104.** 26,75 кг; 2 см. **30.105.** 15 кг; 25 кг. **30.106.** 750 г. **30.107.** 0,5; 0,66; 0,75; 0,8. **30.108.** На $2{,}41 \cdot 10^{24}$ $м^{-3}$. **30.109.** 334 К. **30.110.** 21,9 см. **30.111.** 100 880 Па. **30.112.** 101,7 кПа; 99 кПа. **30.113.** В 3 рази. **30.114.** 591 °С. **30.115.** Графік 1. **30.116.** Див. рисунок; графік 1 — гелій, графік 2 — водень. **30.117.** 100 кПа. **30.118.** $1/292$ $К^{-1}$. **30.119.** $1/286$ $К^{-1}$. **30.120.** 400 К. **30.121.** 328 К. **30.122.** У балонах 1 і 4. **30.123.** Див. рисунок; графік 1 відповідає ізохорному процесу, графік 2 — ізобарному. **30.124.** 200 К. **30.125.** Збільшиться на 0,47 %. **30.126.** 2,7 см. **30.127.** 306 К. **30.128.** 61 кПа. **30.129.** 386,1 Мдж. **30.130.** 16 хв. **30.131.** 25,26 кг; 13,1 МПа. **30.132.** $2{,}65 \cdot 10^{14}$ с або $8{,}42 \cdot 10^6$ років. **30.133.** Кисень заповнить ділянку циліндра завдовжки 4,4 см, а водень — 70,6 см. **30.134.** 488 К; 1040 кПа. **30.135.** 0,1 атм. **30.136.** Див. рисунок. **30.137.** Див. рисунок. **30.138.** При русі у напрямі годинникової стрілки від точки 1 до точки 2 (див. рисунок) температура зростає, а від точки 2 до 1 — зменшується. **30.139.** Див. рисунок.



а

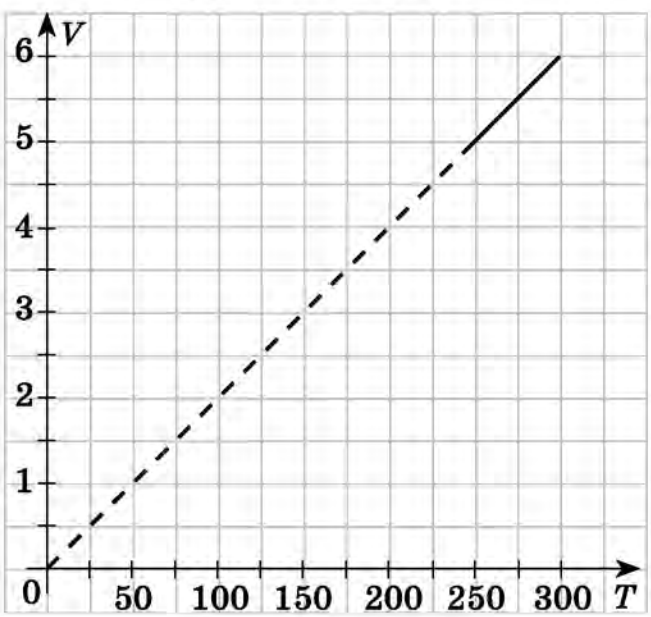


б

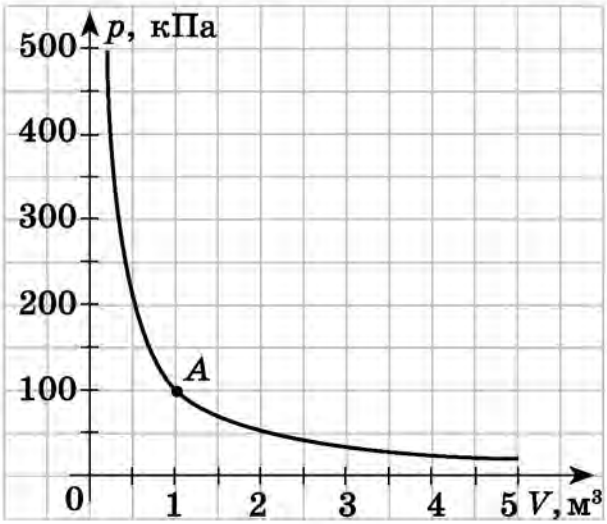


в

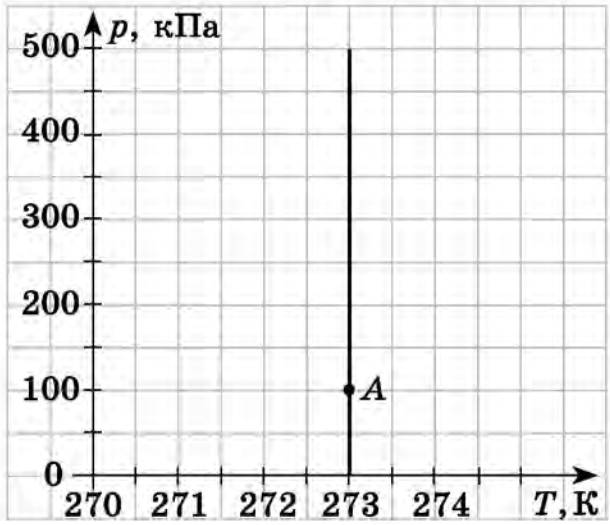
До задачі 30.14



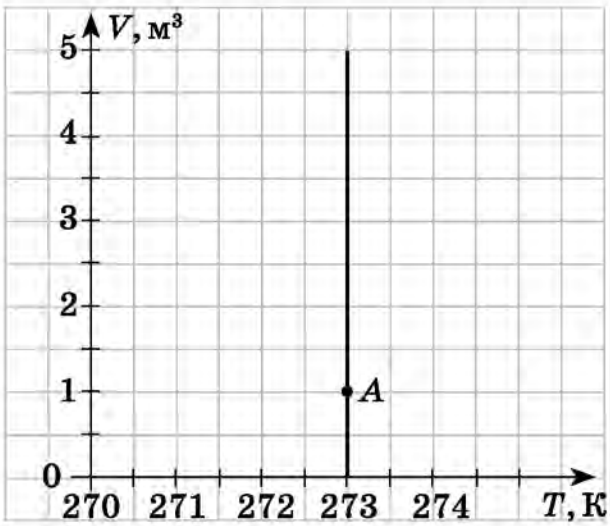
До задачі 30.15



а

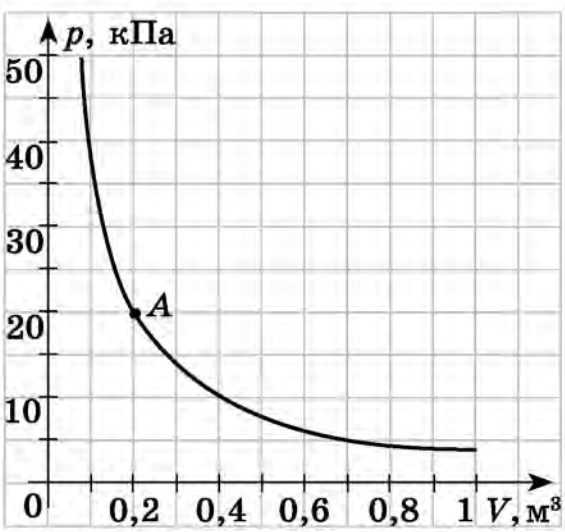


б

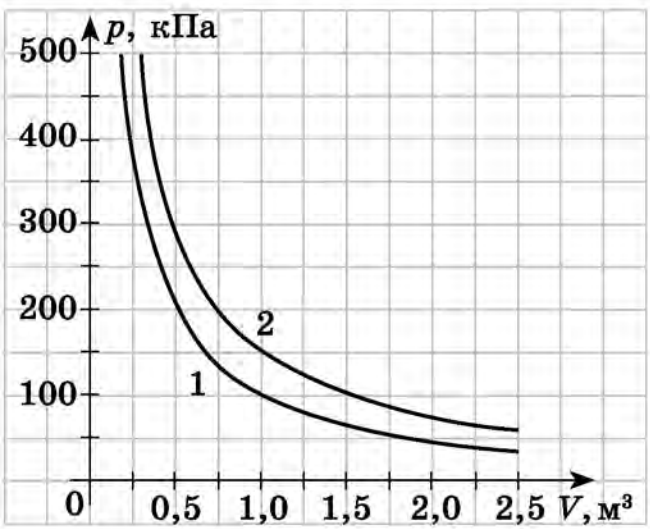


в

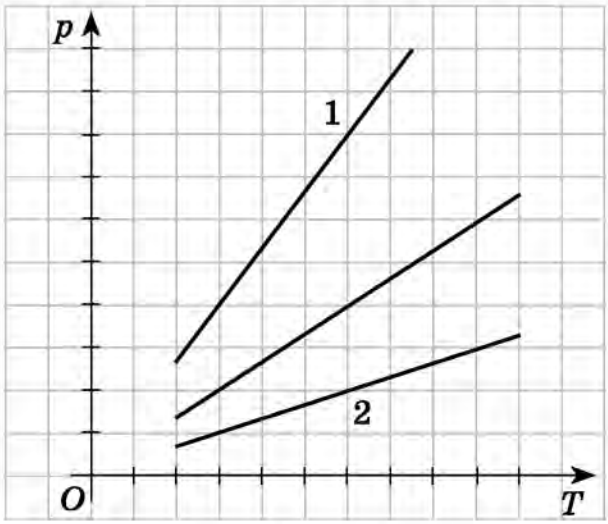
До задачі 30.42



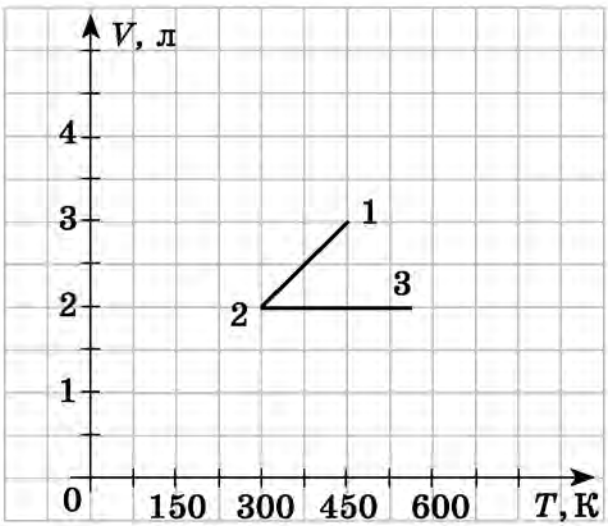
До задачі 30.43



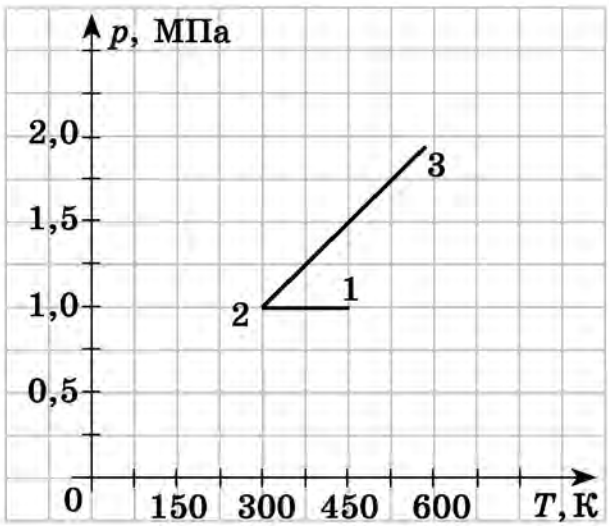
До задачі 30.55



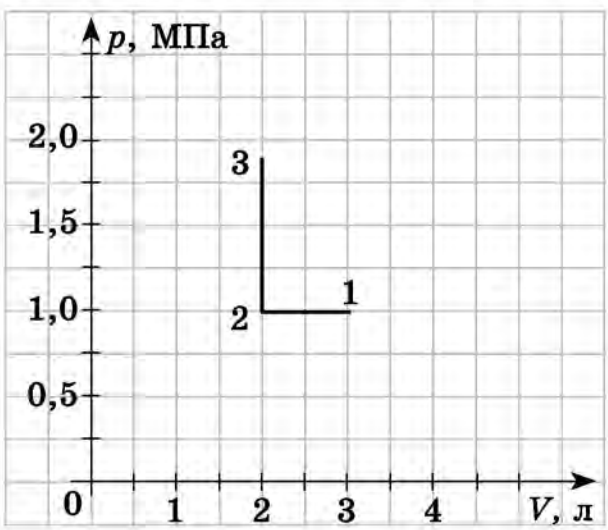
До задачі 30.70



а

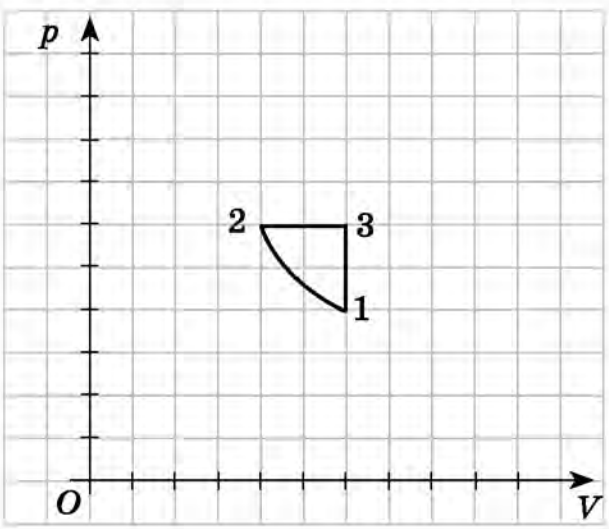


б

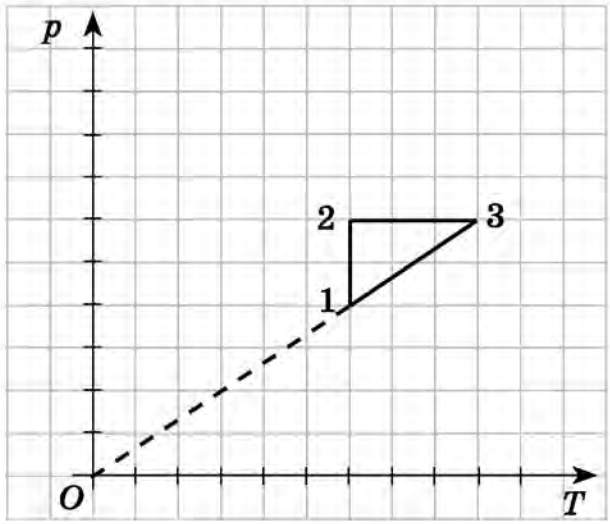


в

До задачі 30.77

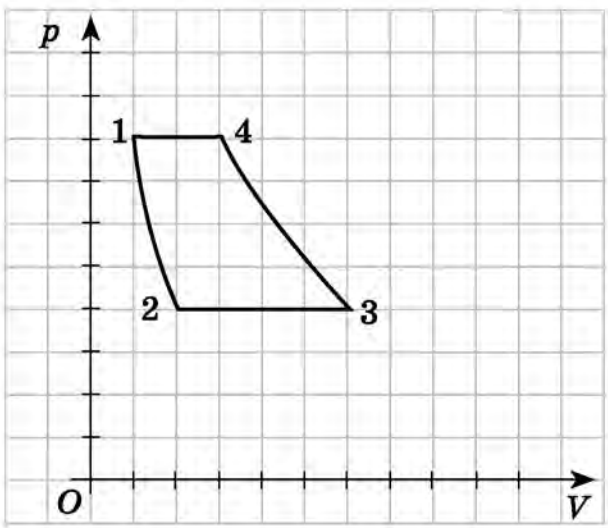


а

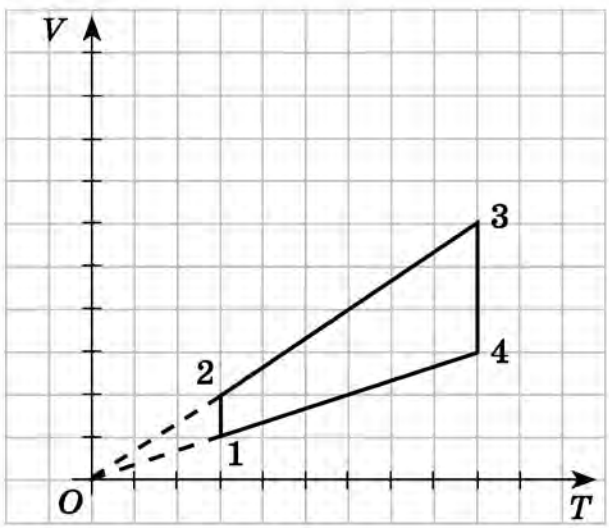


б

До задачі 30.79

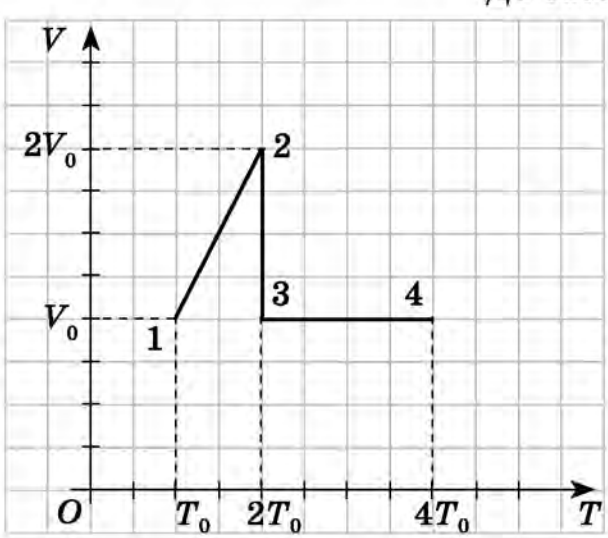


а

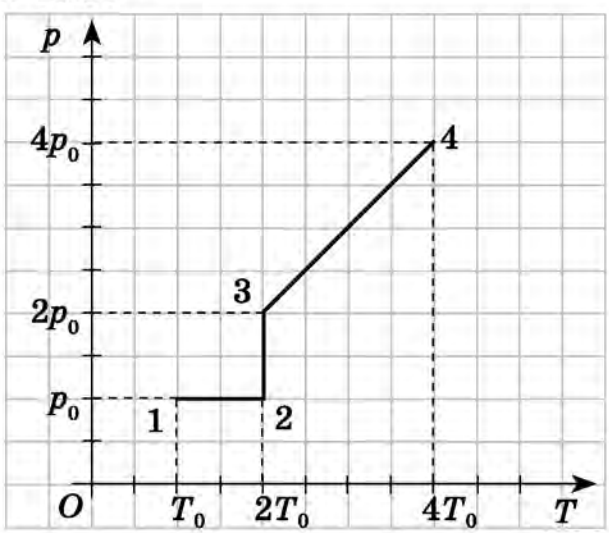


б

До задачі 30.80

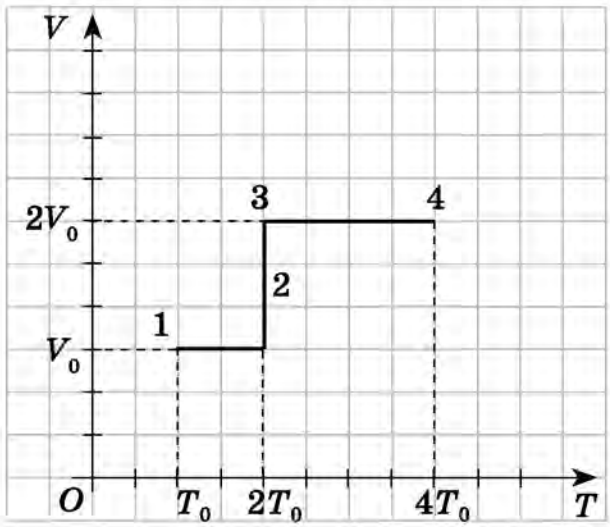


а

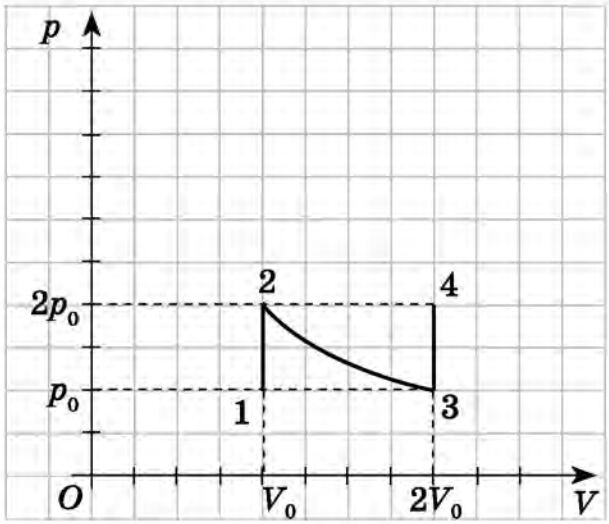


б

До задачі 30.81

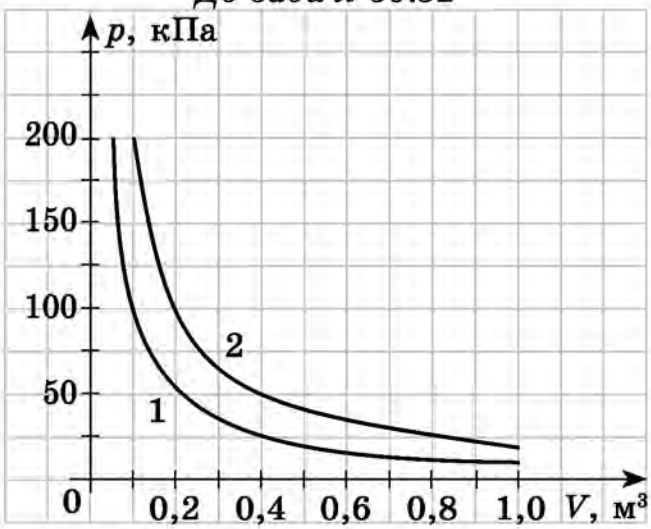


а

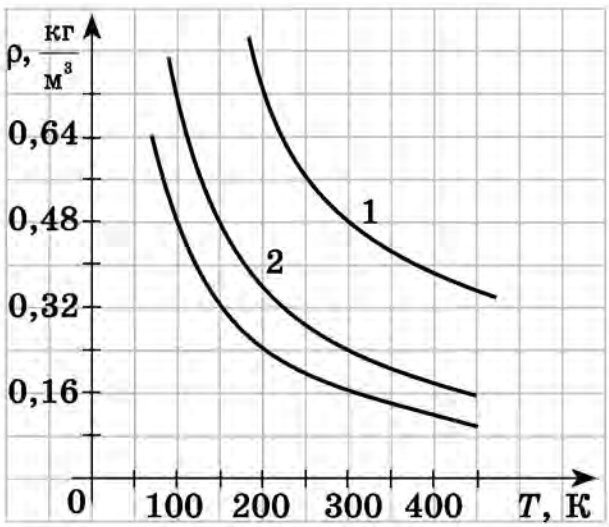


б

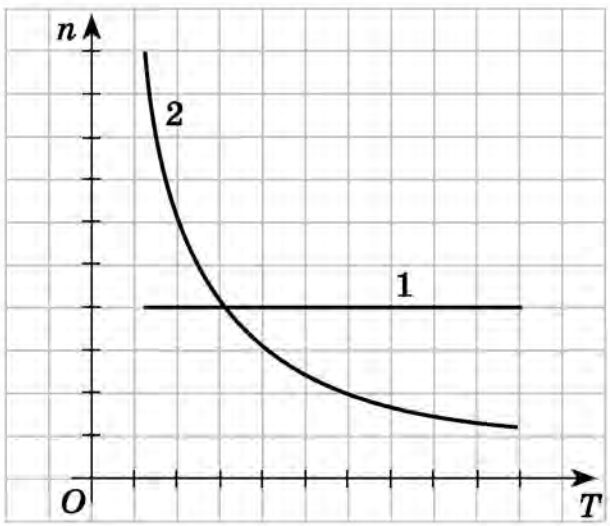
До задачі 30.82



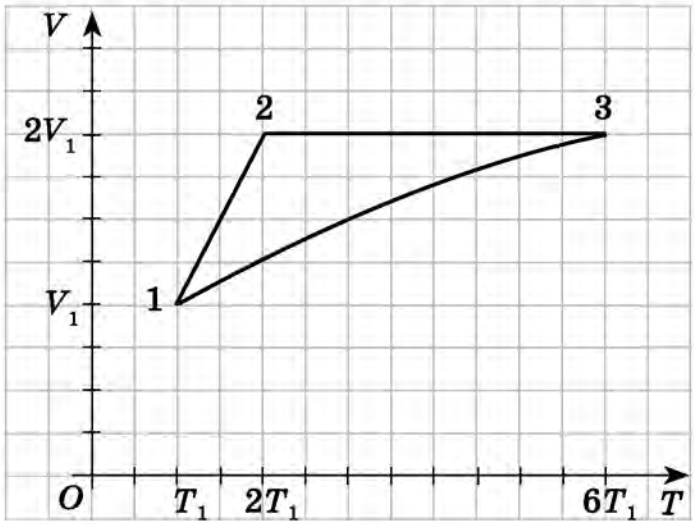
До задачі 30.83



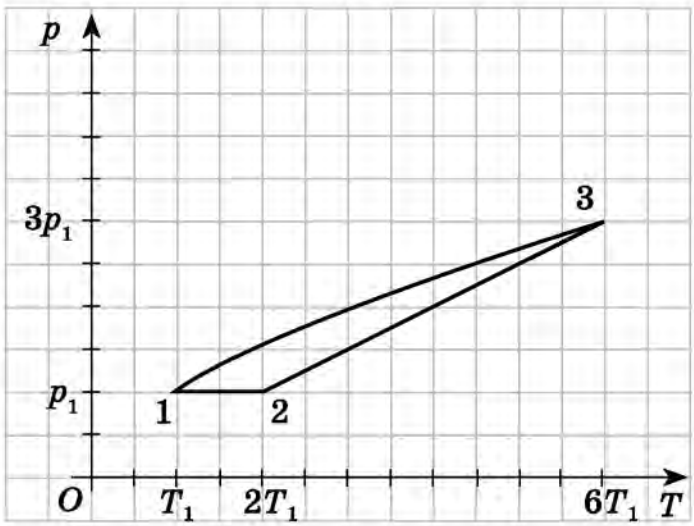
До задачі 30.116



До задачі 30.123

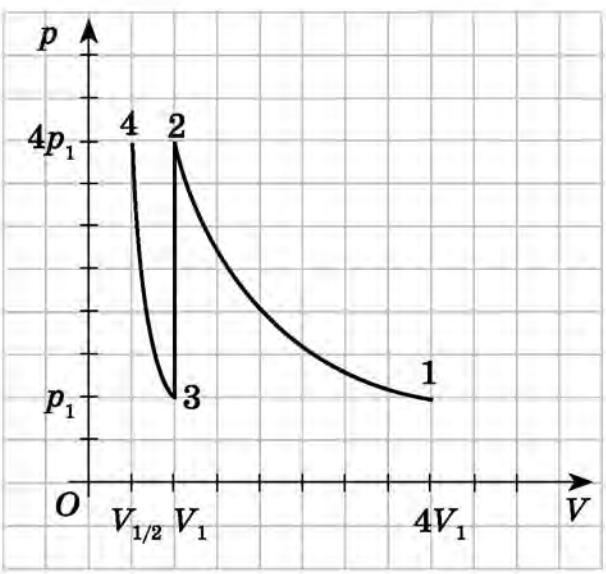


а

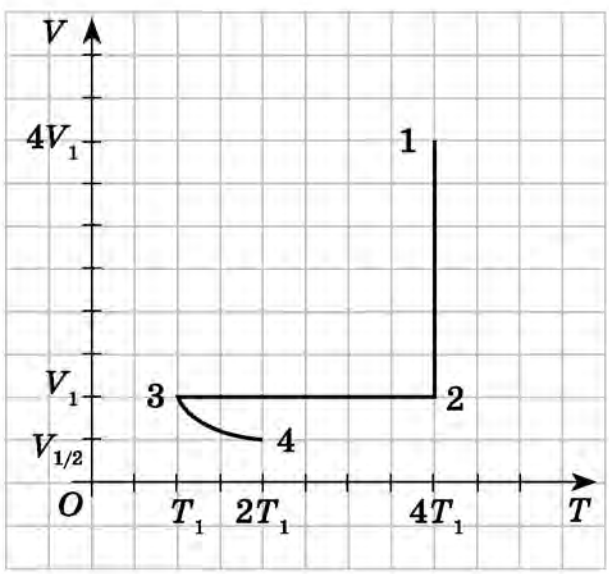


б

До задачі 30.136

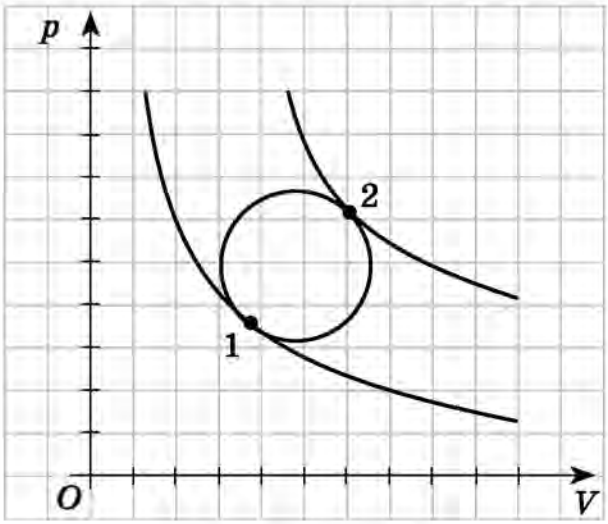


а

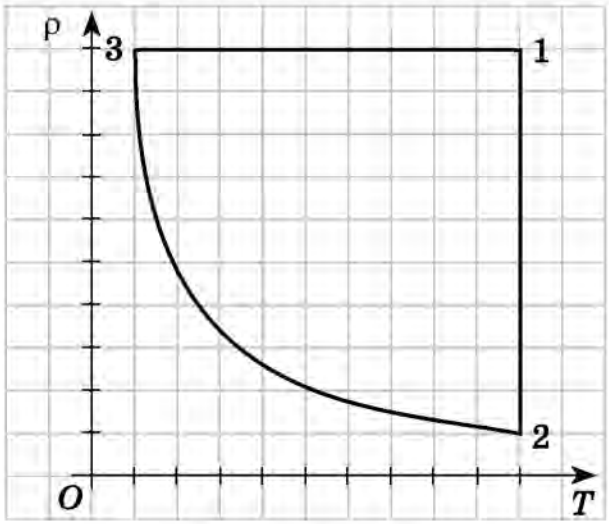


б

До задачі 30.137



До задачі 30.138



До задачі 30.139

31. Властивості пари, рідин і твердих тіл

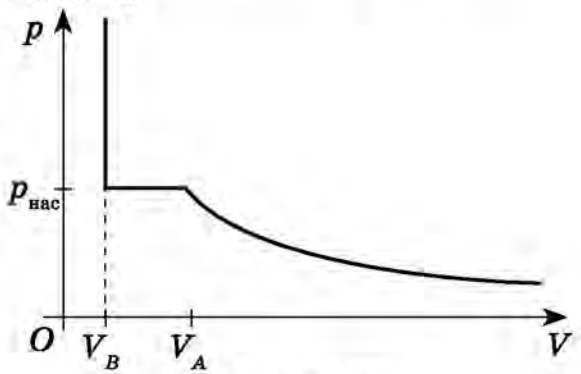
31.1. Випаровування — пароутворення з вільної поверхні рідини, кипіння — пароутворення по всьому об'єму рідини. **31.2.** У закритій банці встановиться динамічна рівновага між насиченою парою і рідиною й подальше зменшення кількості рідини не відбуватиметься. **31.3.** У спекотну вологу погоду випаровування вологи з тіла людини ускладнене, що призводить до перегріву організму. **31.4.** Прогумований одяг ускладнює випаровування вологи зі шкіри людини, що призводить до перегріву. **31.5.** У першому випадку відбувається конденсація пари на руці, що супроводжується виділенням тепла, а в другому — прискорюється процес випаровування, що супроводжується тепловіддачею. **31.6.** Швидкість випаровування ефіру значно перевищує швидкість випаровування води. **31.7.** Для випаровування рідини необхідне підведення тепла, це тепло забезпечує організм людини, і, як результат, температура швидко знижується. **31.8.** За різних температур та сама абсолютна вологість відповідає різній відносній вологості. **31.9.** Влітку. **31.10.** У ході підвищення температури повітря. **31.11.** На пароутворення під час кипіння води в чайнику витрачається велика кількість тепла, що забезпечує джерело тепла. **31.12.** Вода не буде кипіти, а спирт буде. **31.13.** Від тиску на поверхні води, кількості й властивості домішок у воді. **31.14.** 1:1. **31.15.** Так. **31.16.** Температура кипіння води при цьому збільшується, а отже, час варіння скорочується. **31.17.** Домішки (у цьому випадку сіль) є центрами для пароутворення, при збільшенні їх кількості зростає інтенсивність кипіння. Крім того, процес розчинення солі супроводжується виділенням додаткової енергії. **31.18.** Поверхня труби з холодною водою покрита краплинами

води. **31.19.** Паморозь з'являється на внутрішній стороні скла, її поява і пов'язана з конденсацією вологи з кімнатного повітря на холодному склі. **31.20.** Волога з повітря конденсується на холодному склі окулярів. **31.21.** Повітря над ополонкою має більш високу температуру, ніж навколишнє, через теплообмін з водою. Тепле повітря легше за холодне й піднімається вгору, де й охолоджується до точки роси, тобто з'являється туман. **31.22.** Туман з'являється в обох випадках унаслідок конденсації надлишків води під час охолодження повітря в кімнаті. На вулиці тепле повітря з кімнати піднімається вгору, оскільки воно легше за холодне, а в кімнаті холодне повітря з вулиці опускається вниз. **31.23.** Відбувається конденсація води з перенасиченого повітря на частинках незгорілого палива. **31.24.** Підвищити температуру рідини, над якою утворюється пара. **31.25.** Надлишкова кінетична енергія молекул, що вилітають із рідини й утворюють пар, витрачається на подолання сил міжмолекулярної взаємодії (теплота пароутворення), як наслідок, температура пари збігається з температурою рідини за умови фазової рівноваги. **31.26.** Під час випаровування температура води знижується й відбувається теплопередача від теплого навколишнього повітря воді. **31.27.** 21 %. **31.28.** 1 °С. **31.29.** 2,55 кПа. **31.30.** 10 °С. **31.31.** а) Ні; б) так. **31.32.** 2,6 кПа. **31.33.** 54 %; 9,4 г/м^3. **31.34.** 11,5 г/м^3; 9,4 г/м^3. **31.35.** 8,55 г/м^3; 44 %. **31.36.** 16 г/м^3. **31.37.** 18,2 г/м^3. **31.38.** 75 %. **31.39.** 30 г/м^3. **31.40.** Ненасичена; насиченою. **31.41.** 2 кПа; ненасичена. **31.42.** 960 Па. **31.43.** 2,33 кПа. **31.44.** 120 °С. **31.45.** Ні. **31.46.** 242 Па. **31.47.** 12,1 г/м^3. **31.48.** 765 Па. **31.49.** 588 г/м^3. **31.50.** 91 г/м^3. **31.51.** Пір'я покрите жиром, що перешкоджає його змочуванню водою. **31.52.** У першому випадку листя не змочується водою, а в другому змочується. **31.53.** Солома не змочується водою, тому краплі дощу скачуються вниз по зовнішніх і внутрішніх соломинках. **31.54.** Для забезпечення змочування фарбою поверхні. **31.55.** Каніфоль забезпечує змочування ділянки контакту деталі й плати припоєм. **31.56.** Взаємодія між молекулами води менша, ніж між молекулами води й дерева; у випадку ртуті навпаки. **31.57.** Крапля набуде форми кулі; ртуть не змочує скло. **31.58.** Від густини рідини, діаметра капіляра, поверхневого натягу, прискорення вільного падіння. **31.59.** Збільшиться; збільшиться. **31.60.** Навесні; зі зростанням температури поверхневий натяг води зменшується. **31.61.** Підвищуватиметься, оскільки поверхневий натяг збільшується зі зниженням температури. **31.62.** 53 мН/м. **31.63.** 2,29 мН. **31.64.** 4 мН.

31.65. Аморфні тіла за своєю будовою подібні до рідин і зберігають властивість плинності. **31.66.** Аморфні тіла (наприклад, скло) зберігають властивість плинності, притаманну рідинам. **31.67.** Скло аморфне тіло, тому переходить у рідкий стан поступово в міру нагрівання. **31.68.** Див. рисунок. Пара підлягає закону Бойля — Маріотта за умови $V > V_A$. На відрізку $V \in [V_B, V_A]$ пара конденсується, й тиск залишається постійним. Після конденсації пари ($V < V_B$) тиск різко зростає, бо вода практично нестислива. **31.69.** Під час ізотермічного зменшення об'єму пара конденсується в рідину, при цьому тиск залишається постійним доти, доки вся пара не конденсується, подальше стискання рідини супроводжується різким зростанням тиску; під час збільшення об'єму тиск пари буде обернено пропорційним його об'єму. **31.70.** Пара ненасичена. **31.71.** Ні; 17,3 г. **31.72.** 1,6 г; 23 °С. **31.73.** 7,25 г пари; 12,75 г води. **31.74.** 2,83 кПа. **31.75.** 325 мг. **31.76.** 2,07 кг. **31.77.** 0,5 кг. **31.78.** 222 г. **31.79.** 2,6 г. **31.80.** 314 г. **31.81.** 2,71 т. **31.82.** 63 %. **31.83.** До центру кола. **31.84.** Вода буде притиснута до стінок колби, а ртуть набуде форми кулі в центрі колби. **31.85.** Не можна; мастильні матеріали мають утворювати на поверхні тертьових поверхонь тонку плівку. **31.86.** Не можна; метал після вистигання буде невіддільний від форми. **31.87.** Куляста форма має мінімальну площу вільної поверхні, а отже, мінімум потенційної енергії поверхневого шару. **31.88.** Під дією сили поверхневого натягу розплавлене скло набуває форми з мінімальною площею вільної поверхні. **31.89.** Молекули води, що розташовані між волокнами тканини, будуть створювати додаткову силу поверхневого натягу, яка буде напрямлена на зменшення вільної поверхні рідини, тобто на зменшення довжини сітки. **31.90.** Вода, що міститься між піщинами, намагається зменшити площу вільної поверхні, тому мокрий пісок злипається. Цього не відбувається, коли пісок повністю занурений у воду, оскільки в цьому випадку відсутня вільна поверхня. **31.91.** Вода, що покриває волоски пензлика, намагається зменшити площу вільної поверхні, тому волоски пензлика, вийнятого з води, злипаються. **31.92.** Розміри краплі визначаються силою поверхневого натягу піпетки, яка виникає на краю краплі й утримує від падіння. З підвищенням температури маса краплі зменшується, тобто кількість крапель слід збільшити. **31.93.** Поверхневий натяг мильного розчину менший, ніж води. **31.94.** Молекули ПАР виштовхуються на поверхню рідини, де утворюють плівку з набагато меншим поверхневим натягом. **31.95.** У першому випадку зниження поверхневого натягу відбувається за рахунок мильного розчину, а в другому — за

підвищення температури. **31.96.** У більш тонкі капіляри крейди вода втягується сильніше, ніж у великі капіляри губки. **31.97.** Під час нагрівання жир стає рідким і втягується в капіляри тим сильніше, чим менший їх діаметр. Діаметр капілярів у папері менший, ніж у тканині. **31.98.** Нагрівання рідини зменшує поверхневий натяг, тому рідина втягується у більш холодну ділянку, у якій поверхневий натяг більше. Отже, нагрівати черевики требазовні. **31.99.** Нагрівання рідини зменшує поверхневий натяг, тому рідина втягується у більш холодну ділянку. **31.100;** 22,8 мН/м. **31.101.** 6 см. **31.102.** 6,25 см. **31.103.** 30,5 мм. **31.104.** 0,11 мм. **31.105.** 4,9 см; 21,6 см. **31.106.** 800 $кг/м^3$. **31.107.** 11,5 мг. **31.108.** 0,109 Н. **31.109.** 35 мН/м. **31.110.** 22,9 мг. **31.111.** 20,7 мН/м. **31.112.** 48 мкДж. **31.113.** а) Збільшиться на 160 мкДж; б) зменшиться на 32 мкДж. **31.114.** Через анізотропію властивостей, притаманних кристалічним тілам, теплове розширення зразка в різних напрямках має різне значення. **31.115.** Анізотропією оптичних властивостей кристала. **31.116.** Це прояв анізотропії механічних властивостей кристалічних тіл. **31.117.** Густини рівні, а теплота пароутворення дорівнює нулю. **31.118.** За тиску, нижчому за критичний — газоподібному, вище — рідкому. **31.119.** Газ — речовина в газоподібному стані за температури, вищої за критичну. На відміну від пари газ за будь-якого тиску не можна перевести у рідкий стан. **31.120.** Ні. **31.121.** Так; ні. **31.122.** 12 мг. **31.123.** 31 л. **31.124.** 0,655 г. **31.125.** 8,24 мг. **31.126.** 1,1 кг. **31.127.** 960 мл. **31.128.** 59 хв. **31.129.** 101,5 Па. **31.130.** 24,3 г. **31.131.** $5{,}7 \cdot 10^{-4}$. **31.132.** 153 кПа. **31.133.** 226,5 кПа. **31.134.** 26,6 кПа. **31.135.** 892 мм рт. ст. **31.136.** 18 %. **31.137.** 1,87 л. **31.138.** 72,4 %. **31.139.** 26,6 %. **31.140.** 4 $м^3$. **31.141.** 25,9 кПа. **31.142.** 1,5 см. **31.143.** Велика бульбашка; додатковий тиск у мильній бульбашці обернено пропорційний її діаметру а, отже, тиск у малій бульбашці більший, ніж у великій. **31.144.** 22,2 мН/м. **31.145.** 2,4 см; у тоншій. **31.146.** Сили поверхневого натягу проявляються тільки у випадку, якщо сили ваги, що діють на рідину, порівнянні з ними за величиною. У земних умовах таке співвідношення досягається у вузьких трубках і маленьких краплях, тобто тільки для малих мас рідини. **31.147.** Сили поверхневого натягу, які забезпечують сферичну форму краплі, зменшують пропорційно квадрату радіуса краплі (площі її поверхні), а сила ваги пропорційна кубу радіуса (об'єму краплі). Тому за умови дуже маленьких розмірів краплі її форма майже повністю визначатиметься силою поверхневого натягу, яка в цьому випадку перевищує силу ваги. **31.148.** Ні, оскільки

сила ваги води, що піднімається по капіляру, пропорційна площі поперечного перерізу капіляра, тобто збільшується пропорційно квадрату радіуса капіляра. **31.149.** Зменшується. Зі зростанням температури зменшується поверхневий натяг води. **31.150.** 73 мм. **31.151.** Збільшувати тиск на 2,9 мм рт. ст.; 0,4 %. **31.152.** 767 мм рт. ст. **31.153.** 3,66 мДж. **31.154.** 5,7 мкДж. **31.155.** 80,6 мН/м. **31.156.** 0,13 мм; у 68 разів. **31.157.** 223 кПа. **31.158.** На −16 Па. **31.159.** 29 см; ні. **31.160.** Молекули в кристалах мають віддалений порядок, що зумовлює подібність форм монокристала і його частин. **31.161.** Молекули рідких кристалів мають асиметричну форму.

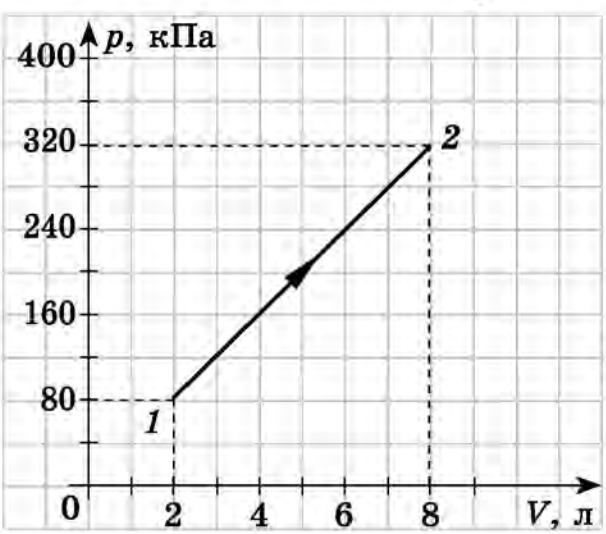


До задачі 31.68

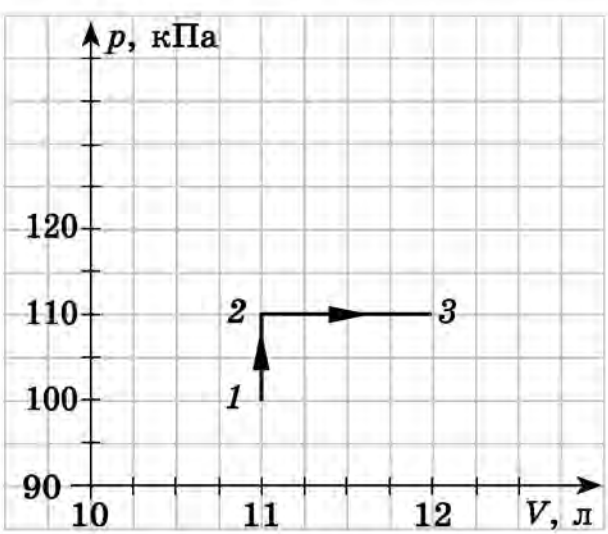
32. Основи термодинаміки

32.1. Над борошном виконується робота, у печі відбувається теплопередача. **32.2.** Так; за рахунок роботи зовнішніх сил. **32.3.** Ні. **32.4.** Енергія реального газу більше, оскільки молекули реального газу взаємодіють одна з одною. **32.5.** Внутрішня енергія кисню більша, оскільки його молекули двоатомні й атоми взаємодіють один з одним. **32.6.** а) Збільшується; б) зменшується; в) залишається постійною. **32.7.** Ні, внутрішня енергія однозначна функція стану газу. **32.8.** 7,5 Мдж. **32.9.** 321 К. **32.10.** На 12,5 кДж. **32.11.** На 106 К. **32.12.** 6 МДж. **32.13.** 20 л. **32.14.** При 0 °С; на 8,4 кДж. **32.15.** 129 Дж/кг·°С. **32.16.** а) Ні; б) так; в) так. **32.17.** а) Так; б) так; в) так; г) ні. **32.18.** 380 Дж. **32.19.** 100 кПа. **32.20.** 151 $дм^3$. **32.21.** 600 кДж. **32.22.** 1,66 кДж. **32.23.** 8,31 кДж. **32.24.** 800 Дж. **32.25.** 300 Дж. **32.26.** Збільшилася на 7,5 кДж. **32.27.** 0 Дж; 10 кДж. **32.28.** 2,8 кДж. **32.29.** 60 %. **32.30.** 623 Дж. **32.31.** а) Зменшилася на 249 Дж; б) зменшилася на 20 К. **32.32.** 337 Дж. **32.33.** 621 К. **32.34.** 1875 Дж. **32.35.** 1467 кДж. **32.36.** 27,8 Вт. **32.37.** 60 МДж. **32.38.** 40 %. **32.39.** 280,5 К. **32.40.** 910 К. **32.41.** а) 25 %; б) 45 кДж; в) 15 кВт. **32.42.** а) 30 %; б) 400 К. **32.43.** 25 %, 450 К. **32.44.** а) 36,6 %; 723 МДж;

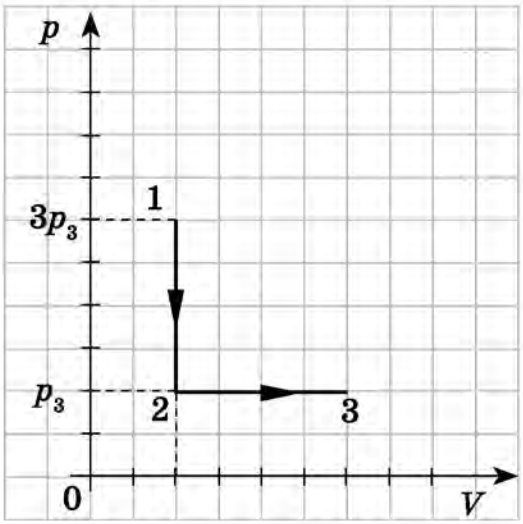
б) 458 МДж. **32.45.** 20,6 кДж. **32.46.** 20 г. **32.47.** 31,5 МДж. **32.48.** 200 кПа. **32.49.** 228 кДж. **32.50.** 250 К. **32.51.** 341 К. **32.52.** 3 МПа. **32.53.** 3 кДж. **32.54.** 100 кПа. **32.55.** На 225 Дж. **32.56.** 800 кПа. **32.57.** 8,1 кДж. **32.58.** 289 К. **32.59.** 450 К; 582 кПа; 6,4 $м^3$. **32.60.** а) 280 К; б) 465 кПа; в) 4,8 л. **32.61.** Див. рисунок; 1200 Дж. **32.62.** 0,9 МДж. **32.63.** Див. рисунок; 110 Дж. **32.64.** 315 Дж. **32.65.** 360 Вт. **32.66.** 1,23 м. **32.67.** У випадку б). **32.68.** Внаслідок адіабатичного стискання повітря температура в циліндрі збільшується до величини запалення палива. **32.69.** Внаслідок адіабатичного розширення температура газу різко знижується, що приводить до конденсації вологи з повітря та її замерзання. **32.70.** 19 кДж. **32.71.** 0. **32.72.** 24 %. **32.73.** 0,6 МДж. **32.74.** В 1,5 разу. **32.75.** При зменшенні температури холодильника. **32.76.** На 17 %. **32.77.** 25,4 кВт. **32.78.** 39,7 %. **32.79.** 19,3 кг. **32.80.** 678 г. **32.81.** 14; 10 Дж. **32.82.** 32,3 Дж. **32.83.** 239 м/с. **32.84.** 264 км. **32.85.** 4 рази. **32.86.** 150 кПа. **32.87.** 380 К. **32.88.** Робота, що виконується киснем, в 16 разів менша за роботу водню. **32.89.** Див. рисунок; 1,66 МДж. **32.90.** 421 К. **32.91.** Див. рисунок. При ізотермічному розширенні 1–2. **32.92.** 0,2 МДж. **32.93.** 150 кДж. **32.94.** Газ не виконує роботу. **32.95.** 322 кДж; 193 кДж. **32.96.** 3,76 МДж; 5,64 МДж. **32.97.** 43,2 л. **32.98.** 1,4 МДж. **32.99.** У першому випадку. 0,2 МДж. **32.100.** 300 кДж. **32.101.** 7,3 кДж. **32.102.** 4 К. **32.103.** Див. рисунок; 10 МДж. **32.104.** Див. рисунок; 4,155 кДж. **32.105.** Робота, виконана газом у процесі 1–3, більша, ніж у процесі 1–2. **32.106.** 15,4 %. **32.107.** 0,71. **32.108.** $\frac{13}{7}$. **32.109.** 15,4 %. **32.110.** $\frac{5}{3}$. **32.111.** 15 %, 17,6 %.



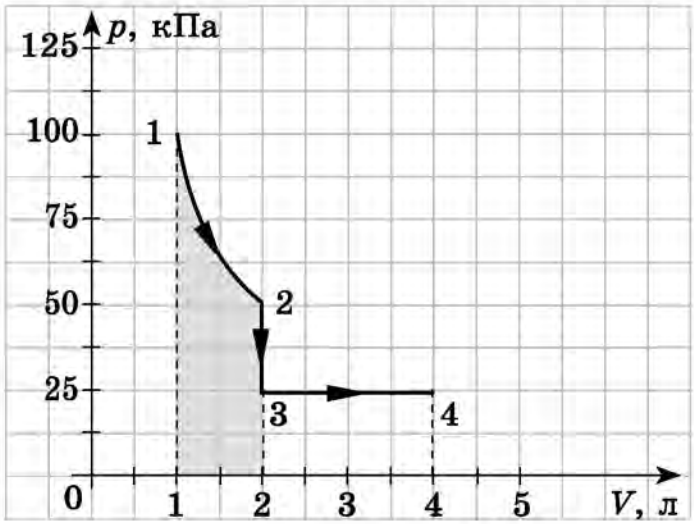
До задачі 32.61



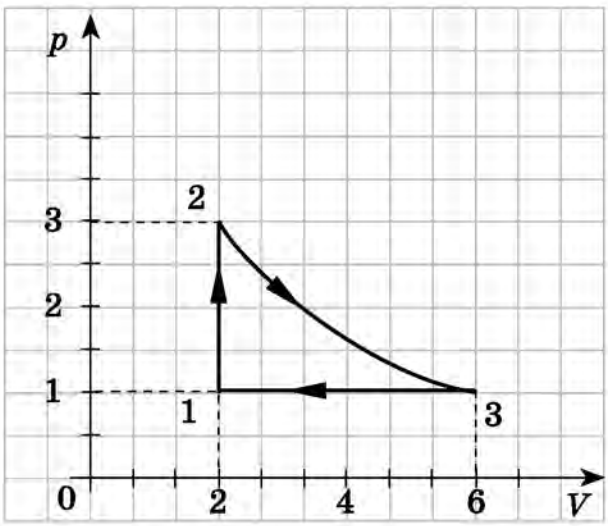
До задачі 32.63



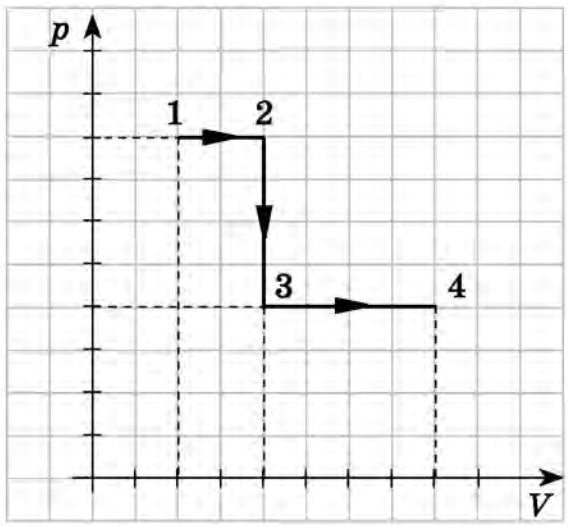
До задачі 32.89



До задачі 32.91



До задачі 32.103



До задачі 32.104

ДОДАТОК

1. ОСНОВНІ КОНСТАНТИ

Гравітаційна стала	$6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Маса електрона	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг
Маса протона	$1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ кг
Маса нейтрона	$1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ кг
Елементарний заряд	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Швидкість світла у вакуумі	$2{,}9979 \cdot 10^{8}$ м/с

2. ВІДОМОСТІ ПРО СОНЦЕ, ЗЕМЛЮ ТА МІСЯЦЬ

Радіус Сонця	$6{,}96 \cdot 10^{8}$ м
Маса Сонця	$1{,}99 \cdot 10^{30}$ кг
Середній радіус Землі	$6{,}371 \cdot 10^{6}$ м
Маса Землі	$5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг
Прискорення вільного падіння на поверхні Землі	9,806 м/с^2
Середня відстань від Землі до Сонця	$1{,}496 \cdot 10^{11}$ м
Радіус Місяця	$1{,}74 \cdot 10^{6}$ м
Маса Місяця	$7{,}35 \cdot 10^{22}$ кг
Прискорення вільного падіння на поверхні Місяця	1,623 м/с^2
Середня відстань від Землі до Місяця	$3{,}844 \cdot 10^{8}$ м
Період обертання Місяця навколо Землі	27 діб 7 год 43 хв

3. ГУСТИНА РЕЧОВИН

Тверді тіла, $\cdot 10^3$ кг/м^3

Алюміній	2,7	Олово	7,3
Бетон	2,3	Оргскло	1,2
Граніт	2,6	Скло	2,5

Продовження таблиці

Дуб (сухий)	0,7	Сосна (суха)	0,4
Корок	0,24	Свинець	11,3
Латунь	8,5	Сталь, залізо	7,8
Лід	0,9	Цегла	1,8
Мармур	2,7	Цинк	7,1
Мідь	8,9	Чавун	7,0

Рідини, $\cdot 10^3$ кг/м^3

Бензин	0,7	Масло	0,9
Вода прісна	1,0	Нафта	0,8
Вода морська	1,03	Ртуть	13,6
Гас	0,8	Спирт	0,8

Гази, кг/м^3 (за нормальних умов)

Азот	1,25	Кисень	1,43
Водень	0,09	Повітря	1,29
Вуглекислий газ	1,98	Природний газ	0,8

4. МЕЖА МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ ($\sigma_м$) ТА МОДУЛЬ ПРУЖНОСТІ (E)

Речовина	$\sigma_м$, МПа	*E*, ГПа
Алюміній	100	70
Латунь	50	100
Мідь	400	120
Олово	20	50
Свинець	15	15
Срібло	140	80
Сталь	500	200

5. ПРЕФІКСИ ДО ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ

Найменування	Позначення	Множник	Найменування	Позначення	Множник
тера	Т	10^{12}	деци	д	10^{-1}
гіга	Г	10^{9}	санти	с	10^{-2}
мега	М	10^{6}	мілі	м	10^{-3}
кіло	к	10^{3}	мікро	мк	10^{-6}
гекто	Г	10^{2}	нано	н	10^{-9}
дека	да	10^{1}	піко	п	10^{-12}

6. ПСИХРОМЕТРИЧНА ТАБЛИЦЯ

Покази сухого термометра, °С	Різниця показів сухого й 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	4
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	45	40
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

7. ЗАЛЕЖНІСТЬ ТИСКУ $p_{нас}$ І ГУСТИНИ $\rho_{нас}$ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ t

t, °C	$p_{нас}$, кПа	$\rho_{нас}$, г/м³	t, °C	$p_{нас}$, кПа	$\rho_{нас}$, г/м³
−5	0,40	3,2	20	2,33	17,3
−4	0,44	3,5	21	2,49	18,4
−3	0,48	3,9	22	2,64	19,4
−2	0,52	4,2	23	2,81	20,6
−1	0,56	4,5	24	2,98	21,8
0	0,61	4,8	25	3,17	23,1
1	0,65	5,2	26	3,36	24,4
2	0,71	5,6	27	3,57	25,8
3	0,76	6,0	28	3,78	27,2
4	0,81	6,4	29	4,0	28,7
5	0,88	6,8	30	4,25	30,3
6	0,93	7,3	35	5,63	39,6
7	1,0	7,8	40	7,38	51,2
8	1,06	8,3	45	9,59	65,3
9	1,14	8,8	50	12,34	83,0
10	1,23	9,4	60	19,93	130
11	1,33	10,0	70	31,18	198
12	1,40	10,7	80	47,37	293
13	1,49	11,4	90	70,12	424
14	1,60	12,1	100	101,32	598
15	1,71	12,8	120	200	1102
16	1,81	13,6	140	361	1894
17	1,93	14,5	160	618	3092
18	2,07	15,4	180	1002	4792
19	2,20	16,3	200	1555	7121

8. ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ РІДИН, мН/м (ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 20 °C)

Вода	73	Ртуть	490
Мильний розчин	40	Спирт	22

9. ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕЯКИХ РЕЧОВИН

Тверді тіла

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Температура плавлення, °С	Питома теплота плавлення, кДж/кг
Алюміній	0,88	660	380
Лід	2,1	0	330
Мідь	0,38	1083	180
Олово	0,23	232	59
Свинець	0,13	327	25
Залізо	0,45	1539	247
Сталь	0,46	1400	82

Рідини

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Температура кипіння за нормального тиску, °С	Питома теплота паротворення за нормального тиску, МДж/кг
Вода	4,2	100	2,3
Гас	2,1	–	–
Нафта	–	–	–
Ртуть	0,12	357	0,29
Спирт	2,4	78	0,85

Гази

Речовина	Питома теплоємність за постійного тиску, кДж/(кг·К)	Температура конденсації, °С
Азот	1,0	– 196
Водень	14	– 253
Повітря	1,0	–
Кисень	0,92	– 183

10. ПИТОМА ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА, МДж/кг

Умовне паливо	29	Гас	46
Бензин	46	Кам'яне вугілля	29
Дизельне паливо	42	Дерево	10
Спирт	29	Порох	3

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ

Групи → / Періоди ↓	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б
1	1 **H** 1,0079 $1s^1$ 1 — Гідроген *Водень*				
2	3 **Li** 6,941 $2s^1$ 1 2 — Літій	4 **Be** 9,012 $2s^2$ 2 2 — Берилій	5 **B** 10,81 $2s^22p^1$ 3 2 — Бор	6 **C** 12,011 $2s^22p^2$ 4 2 — Карбон *Вуглець*	7 **N** 14,0067 $2s^22p^3$ 5 2 — Нітроген *Азот*
3	11 **Na** 22,990 $3s^1$ 1 8 2 — Натрій	12 **Mg** 24,305 $3s^2$ 2 8 2 — Магній	13 **Al** 26,981 $3s^23p^1$ 3 8 2 — Алюміній	14 **Si** 28,086 $3s^23p^2$ 4 8 2 — Силіцій	15 **P** 30,973 $3s^23p^3$ 5 8 2 — Фосфор
4	19 **K** 39,098 $4s^1$ 1 8 8 2 — Калій	20 **Ca** 40,08 $4s^2$ 2 8 8 2 — Кальцій	21 44,956 $3d^14s^2$ **Sc** 2 9 8 2 — Скандій	22 47,90 $3d^24s^2$ **Ti** 2 10 8 2 — Титан	23 50,941 $3d^34s^2$ **V** 2 11 8 2 — Ванадій
	29 63,546 $3d^{10}4s^1$ **Cu** 1 18 8 2 — Купрум *Мідь*	30 65,38 $3d^{10}4s^2$ **Zn** 2 18 8 2 — Цинк	31 **Ga** 69,72 $4s^24p^1$ 3 18 8 2 — Галій	32 **Ge** 72,59 $4s^24p^2$ 4 18 8 2 — Германій	33 **As** 74,921 $4s^24p^3$ 5 18 8 2 — Арсен
5	37 **Rb** 85,468 $5s^1$ 1 8 18 8 2 — Рубідій	38 **Sr** 87,62 $5s^2$ 2 8 18 8 2 — Стронцій	39 88,906 $4d^15s^2$ **Y** 2 9 18 8 2 — Ітрій	40 91,22 $4d^25s^2$ **Zr** 2 10 18 8 2 — Цирконій	41 92,906 $4d^45s^1$ **Nb** 1 12 18 8 2 — Ніобій
	47 107,868 $4d^{10}5s^1$ **Ag** 1 18 18 8 2 — Аргентум *Срібло*	48 112,40 $4d^{10}5s^2$ **Cd** 2 18 18 8 2 — Кадмій	49 **In** 114,82 $5s^25p^1$ 3 18 18 8 2 — Індій	50 **Sn** 118,69 $5s^25p^2$ 4 18 18 8 2 — Станум *Олово, цина*	51 **Sb** 121,75 $5s^25p^3$ 5 18 18 8 2 — Стибій *Сурьма*
6	55 **Cs** 132,905 $6s^1$ 1 8 18 18 8 2 — Цезій	56 **Ba** 137,34 $6s^2$ 2 8 18 18 8 2 — Барій	57 138,905 $5d^16s^2$ *** **La** 2 9 18 18 8 2 — Лантан	72 178,49 $5d^26s^2$ **Hf** 2 10 32 18 8 2 — Гафній	73 180,948 $5d^36s^2$ **Ta** 2 11 32 18 8 2 — Тантал
	79 196,967 $5d^{10}6s^1$ **Au** 1 18 32 18 8 2 — Аурум *Золото*	80 200,59 $5d^{10}6s^2$ **Hg** 2 18 32 18 8 2 — Меркурій *Ртуть*	81 **Tl** 204,37 $6s^26p^1$ 3 18 32 18 8 2 — Талій	82 **Pb** 207,2 $6s^26p^2$ 4 18 32 18 8 2 — Плюмбум *Свинец, оливо*	83 **Bi** 208,980 $6s^26p^3$ 5 18 32 18 8 2 — Бісмут
7	87 **Fr** [223] $7s^1$ 1 8 18 32 18 8 2 — Францій	88 **Ra** 226,025 $7s^2$ 2 8 18 32 18 8 2 — Радій	89 [227] $6d^17s^2$ **** **Ac** 2 9 18 32 18 8 2 — Актиній	104 [261] $6d^27s^2$ **Rf** 2 10 32 32 18 8 2 — Резерфордій	105 [262] $6d^37s^2$ **Db** 2 11 32 32 18 8 2 — Дубній
	111 [272] **Rg** — Рентгеній	112 **Cn** — Коперникум	113 **Uut** — Унунтритій	114 **Uuq** — Унунквадрій	115 **Uup** — Унунпентій

***Лантаноїди**

58 140,12 $4f^15d^16s^2$ **Ce** 2 9 19 18 8 2 — Церій	59 140,908 $4f^36s^2$ **Pr** 2 8 21 18 8 2 — Празеодим	60 144,24 $4f^46s^2$ **Nd** 2 8 22 18 8 2 — Неодим	61 [145] $4f^56s^2$ **Pm** 2 8 23 18 8 2 — Прометій	62 150,4 $4f^66s^2$ **Sm** 2 8 24 18 8 2 — Самарій	63 151,96 $4f^76s^2$ **Eu** 2 8 25 18 8 2 — Європій	64 157,25 $4f^75d^16s^2$ **Gd** 2 9 25 18 8 2 — Гадоліній

****Актиноїди**

90 232,038 $6d^27s^2$ **Th** 2 10 18 32 18 8 2 — Торій	91 [231] $5f^26d^17s^2$ **Pa** 2 9 20 32 18 8 2 — Протактиній	92 238,029 $5f^36d^17s^2$ **U** 2 9 21 32 18 8 2 — Уран	93 [237] $5f^46d^17s^2$ **Np** 2 9 22 32 18 8 2 — Нептуній	94 [244] $5f^67s^2$ **Pu** 2 8 24 32 18 8 2 — Плутоній	95 [243] $5f^77s^2$ **Am** 2 8 25 32 18 8 2 — Америцій	96 [247] $5f^76d^17s^2$ **Cm** 2 9 25 32 18 8 2 — Кюрій

Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА

а VI б	а VII б	а VIII б		
	(H)	**He** 4,0026 $1s^2$ 2 — Гелій		
O 15,999 $2s^2 2p^4$ 8 — Оксиген / *Кисень* (6, 2)	**F** 18,998 $2s^2 2p^5$ 9 — Флуор / *Фтор* (7, 2)	**Ne** 20,179 $2s^2 2p^6$ 10 — Неон (8, 2)		
S 32,06 $3s^2 3p^4$ 16 — Сульфур / *Сірка* (6, 8, 2)	**Cl** 35,453 $3s^2 3p^5$ 17 — Хлор (7, 8, 2)	**Ar** 39,948 $3s^2 3p^6$ 18 — Аргон (8, 8, 2)		
24 51,996 $3d^5 4s^1$ **Cr** — Хром (1, 13, 8, 2)	**25** 54,938 $3d^5 4s^2$ **Mn** — Манган (2, 13, 8, 2)		**26** 55,847 $3d^6 4s^2$ **Fe** — Ферум / Залізо (2, 14, 8, 2)	**27** 58,933 $3d^7 4s^2$ **Co** — Кобальт (2, 15, 8, 2)	**28** 58,70 $3d^8 4s^2$ **Ni** — Нікол / Нікель (2, 16, 8, 2)
Se 78,96 $4s^2 4p^4$ 34 — Селен (6, 18, 8, 2)	**Br** 79,904 $4s^2 4p^5$ 35 — Бром (7, 18, 8, 2)	**Kr** 83,80 $4s^2 4p^6$ 36 — Криптон (8, 18, 8, 2)		
42 95,94 $4d^5 5s^1$ **Mo** — Молібден (1, 13, 18, 8, 2)	**43** 98,906 $4d^5 5s^2$ **Tc** — Технецій (1, 13, 18, 8, 2)		**44** 101,07 $4d^7 5s^1$ **Ru** — Рутеній (1, 15, 18, 8, 2)	**45** 102,905 $4d^8 5s^1$ **Rh** — Родій (1, 16, 18, 8, 2)	**46** 106,4 $4d^{10}$ **Pd** — Паладій (18, 18, 8, 2)
Te 127,60 $5s^2 5p^4$ 52 — Телур (6, 18, 18, 8, 2)	**I** 126,904 $5s^2 5p^5$ 53 — Йод (7, 18, 18, 8, 2)	**Xe** 131,30 $5s^2 5p^6$ 54 — Ксенон (8, 18, 18, 8, 2)		
74 183,85 $5d^4 6s^2$ **W** — Вольфрам (2, 12, 32, 18, 8, 2)	**75** 186,207 $5d^5 6s^2$ **Re** — Реній (2, 13, 32, 18, 8, 2)		**76** 190,2 $5d^6 6s^2$ **Os** — Осмій (2, 14, 32, 18, 8, 2)	**77** 192,22 $5d^7 6s^2$ **Ir** — Іридій (2, 15, 32, 18, 8, 2)	**78** 195,09 $5d^9 6s^1$ **Pt** — Платина (1, 17, 32, 18, 8, 2)
Po [209] $6s^2 6p^4$ 84 — Полоній (6, 18, 32, 18, 8, 2)	**At** [210] $6s^2 6p^5$ 85 — Астат (7, 18, 32, 18, 8, 2)	**Rn** [222] $6s^2 6p^6$ 86 — Радон (8, 18, 32, 18, 8, 2)		
106 [263] $6d^4 7s^2$ **Sg** — Сиборгій (2, 12, 32, 32, 18, 8, 2)	**107** [262] $6d^5 7s^2$ **Bh** — Борій (2, 13, 32, 32, 18, 8, 2)		**108** [265] $6d^6 7s^2$ **Hn** — Гасій (2, 14, 32, 32, 18, 8, 2)	**109** [266] $6d^7 7s^2$ **Mt** — Мейтнерій (2, 15, 32, 32, 18, 8, 2)	**110** [272] $6d^9 7s^1$ **Ds** — Дармштадтій (1, 17, 32, 32, 18, 8, 2)
116 **Uuh** — Унунгексій	**117** **Uus** — Унунсептій			**118** **Uuo** — Унуноктій	

65 158,925 $4f^9 6s^2$ **Tb** — Тербій (2, 8, 27, 18, 8, 2)	**66** 162,50 $4f^{10} 6s^2$ **Dy** — Диспрозій (2, 8, 28, 18, 8, 2)	**67** 164,93 $4f^{11} 6s^2$ **Ho** — Гольмій (2, 8, 29, 18, 8, 2)	**68** 167,26 $4f^{12} 6s^2$ **Er** — Ербій (2, 8, 30, 18, 8, 2)	**69** 168,93 $4f^{13} 6s^2$ **Tm** — Тулій (2, 8, 31, 18, 8, 2)	**70** 173,04 $4f^{14} 6s^2$ **Yb** — Ітербій (2, 8, 32, 18, 8, 2)	**71** 174,97 $4f^{14} 5d^1 6s^2$ **Lu** — Лютецій (2, 9, 32, 18, 8, 2)

97 [247] $5f^8 6d^1 7s^2$ **Bk** — Берклій (2, 9, 26, 32, 18, 8, 2)	**98** [251] $5f^{10} 7s^2$ **Cf** — Каліфорній (2, 9, 27, 32, 18, 8, 2)	**99** [254] $5f^{11} 7s^2$ **Es** — Ейнштейній (2, 9, 28, 32, 18, 8, 2)	**100** [257] $5f^{12} 7s^2$ **Fm** — Фермій (2, 9, 29, 32, 18, 8, 2)	**101** [258] $5f^{13} 7s^2$ **Md** — Менделевій (2, 9, 30, 32, 18, 8, 2)	**102** [259] $5f^{14} 7s^2$ **No** — Нобелій (2, 9, 31, 32, 18, 8, 2)	**103** [262] $5f^{14} 6d^1 7s^2$ **Lr** — Лоуренсій (2, 9, 32, 32, 18, 8, 2)

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10–11 класи. Академічний рівень. — К., 2010.
2. Гончаренко С. У. Олімпіади з фізики. — Х.: Видавнича група «Основа», 2008.
3. Гончаренко С.У., Коршак Є. В. Фізика: Олімпіадні задачі. 9–11 кл. — Тернопіль: Навчальна книга — Богдан, 1999.
4. Гончаренко С. У., Коршак Є. В., Коршак Н. М. Методика розв'язування задач з фізики. — К.: Вища школа, 1976.
5. Ненашев І. Ю. Фізика. 9 клас: Збірник задач. — Харків: Видавництво «Ранок», 2009.
6. Гельфгат И. М., Генденштейн Л. Э., Кирик Л. А. 1001 задача по физике с решениями. — Харьков – Москва, «Развивающее обучение», 1996.
7. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник — К.: Наукова думка, 1994.
8. Коршак Є. В., Ляшенко А. І., Савченко В. Ф. Фізика. 9 клас: Підруч. для серед. загальноосвіт. школи. — К., Ірпінь: ВТФ «Перун», 2000.
9. Коміренко М. М., Коміренко Н. І., Коміренко С. М. Матеріали для перевірки знань учнів з фізики. — К.: Рад. шк., 1989.
10. Ненашев І. Ю. Фізика. 8 клас: Збірник задач. — Х.: Видавництво «Ранок», 2008.
11. Новак О. Ф. Збірник теоретичних задач і вправ з фізики.— К.: Рад. шк., 1989.
12. Савченко М. О. Фізика: Розвязування задач. — Тернопіль: Навчальна книга — Богдан, 2004.
13. Соколович Ю. А., Богданова А. С. Физика: Справочник с примерами решения задач. — Харьков: Издательство «Ранок», 2007.
14. Ильченко В. Р. Перекрестки физики, химии и биологии. — М.: Просвещение, 1986.

ЗМІСТ

Передмова 3

Кінематика

1. Вступ 4
2. Рух і спокій 11
3. Відносність траєкторії 12
4. Матеріальна точка, поступальний рух 13
5. Шлях і переміщення 14
6. Рівномірний прямолінійний рух 18
7. Відносність руху 27
8. Середня швидкість нерівномірного руху 32
9. Рівноприскорений рух 36
10. Вільне падіння 45
11. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту 50
12. Криволінійний рух. Рівномірний рух по колу 53

Динаміка

13. Перший закон Ньютона 59
14. Другий закон Ньютона 61
15. Третій закон Ньютона 66
16. Сила пружності 67
17. Сила всесвітнього тяжіння 73
18. Сила тяжіння. Вага. Невагомість 76
19. Сила тертя. Сила опору середовища 79
20. Рух тіла під дією кількох сил 83
    - I. Рух по горизонталі та вертикалі 83
    - II. Рух по похилій площині 85
    - III. Рух по колу 89
    - IV. Рух системи зв'язаних тіл 93
21. Статика 99

Закони збереження в механіці

22. Імпульс. Закон збереження імпульсу 110
23. Механічна робота. Потужність. ККД 120
24. Механічна енергія. Закон збереження механічної енергії 129

Механічні коливання та хвилі

25. Механічні коливання 137
26. Механічні хвилі 146
27. Релятивістська механіка 152

Молекулярна фізика і термодинаміка

28. Основні положення МКТ будови речовини. Маса й розмір атомів і молекул. Кількість речовини 157
29. Модель ідеального газу. Тиск і температура газу. Основне рівняння МКТ газів 164
30. Ізопроцеси. Рівняння стану ідеального газу. Рівняння Менделєєва — Клапейрона 172
31. Властивості пари, рідин і твердих тіл 199
32. Основи термодинаміки 217

Відповіді 236
Додаток 279
Список використаних джерел 286

Навчальне видання

КАРПУХІНА Олена Олександрівна
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
ХАРДІКОВ В'ячеслав Володимирович

ФІЗИКА. 10 КЛАС. Академічний рівень
Збірник задач
2-ге видання, перероблене і доповнене

Редактор *О. С. Кузнєцов*. Технічний редактор *О. В. Сміян*

Код Т15043У. Підписано до друку 28.06.2011. Формат 60×90/16. Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 11.

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 3322 від 26.11.2008.
61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Адреса редакції: 61145 Харків, вул. Космічна, 21а.
Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.
Для листів: 61045 Харків, а/с 3355. E-mail: office@ranok.kharkov.ua

З питань реалізації звертатися за тел.: у Харкові – (057) 712-91-44, 712-90-87;
Києві – (044) 599-14-53, 377-73-23; Білій Церкві – (04563) 6-90-92;
Вінниці – (0432) 55-61-10,27-70-08; Дніпропетровську – (056) 785-01-74;
Донецьку – (062) 261-73-17; Житомирі – (0412) 41-27-95, 44-81-82;
Івано-Франківську – (0342) 72-41-54; Кривому Розі – (056) 401-27-11;
Луганську – (0642) 53-34-51; Львові – (032) 244-14-36 ; Миколаєві – (0512) 37-85-87;
Одесі – (048)737-46-54; Сімферополі – (0652) 54-21-38 ; Тернополі – (0352) 51-28-27 ;
Хмельницькому – (0382)70-63-16 ; Черкасах – (0472) 51-22-51, 36-72-14;
Чернігові – (0462) 62-27-43

E-mail: commerce@ranok.com.ua.
«Книга поштою»: 61045 Харків, а/с 3355. Тел. (057) 717-74-55, (067) 546-53-73.
E-mail: pochta@ranok.com.ua
www.ranok.com.ua

Збірник задач містить:

- різні типи фізичних задач: якісні, розрахункові, графічні
- приклади розв'язування задач
- відповіді до всіх задач
- довідкові таблиці

Всі задачі в посібнику:

- диференційовано за рівнем навчальних досягнень
- згруповано за тематичними блоками
- супроводжено рисунками

ВИДАВНИЦТВО РАНОК
ISBN 978-611-540-760-6
9 786115 407606 >

ВИДАВНИЦТВО РАНОК www.ranok.com.ua
Навчально-методична література видавництва «РАНОК»
УСІ КНИГИ ТУТ!
КУПИТИ: WWW.RANOK.COM.UA
ЗАВАНТАЖИТИ: WWW.E-RANOK.COM.UA
ЗАМОВИТИ: pochta@ranok.com.ua
безкоштовний каталог видань: (057) 717-74-55