

Розв'яжемо систему методом додавання:

$$F - (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a \Rightarrow a = \frac{F}{m_1 + m_2} - g.$$

Силу натягу нитки знайдемо з другого рівняння системи:
 $T = m_2(a + g)$. Визначимо значення шуканих величин:

$$[a] = \frac{\text{Н}}{\text{кг} + \text{кг}} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2}{\text{кг}} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}, \quad \{a\} = \frac{45}{1+2} - 10 = 5, \quad a = 5 \text{ м/с}^2;$$

$$[T] = \text{кг} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}, \quad \{T\} = 2(5 + 10) = 30, \quad T = 30 \text{ Н}.$$

Відповідь: тіла рухаються з прискоренням $a = 5 \text{ м/с}^2$, сила натягу нитки $T = 30 \text{ Н}$.



Замість підсумків

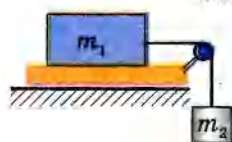
Ви познайомились із розв'язуванням деяких типових задач із динаміки. Звичайно, розглянути в рамках підручника всі типи задач неможливо, та й не потрібно. Головне — у вас є алгоритм розв'язування й приклади роботи з цим алгоритмом. Решта — за вами.

Отже, розв'язуючи будь-яку задачу з динаміки, спочатку ви знайдіть пояснювальний рисунок, укажіть сили, запишіть рівняння другого закону Ньютона, виберіть СВ, знайдіть проекції. Звичайно, слід знати, як напрямлені сили, коли вони виникають і за якими формулами визначаються. А далі, навіть якщо ви відразу не бачите всього ходу розв'язання задачі, — не страшно. Ви обов'язково знайдете якусь величину, знання якої допоможе вам побачити подальший хід розв'язування. Можна навіть сказати так: «Якщо не знаєш, як розв'язувати задачу, то почни її розв'язувати». Не потрібно боятися зробити хибний крок. Той не перемагає, хто не вміє програвати. Навчитися розв'язувати задачі з фізики може кожен, потрібно тільки їх розв'язувати!



Вправа № 24

- Собача упряжка починає тягти з постійною силою 150 Н санки масою 100 кг, що стоять на снігу. За який проміжок часу санки проїдуть перші 200 м шляху? Вважайте, що коефіцієнт тертя ковзання полозів об сніг дорівнює 0,05.
- Тіло масою $m_1 = 1 \text{ кг}$ ковзає по горизонтальній поверхні під дією тягаря масою $m_2 = 250 \text{ г}$ (див. рисунок). Дана система тіл рухається з прискоренням $1,5 \text{ м/с}^2$. Визначте коефіцієнт тертя між тілом і поверхнею.
- Санчата скочуються з гори завдовжки 10 м за 2 с. Знайдіть кут нахилу гори, якщо коефіцієнт тертя ковзання полозів об сніг 0,02.
- Автомобіль масою 3 т рухається на гору, розвиваючи силу тяги 3000 Н. З яким прискоренням рухається автомобіль, якщо коефіцієнт опору руху дорівнює 0,04, а ухил — 0,03?
- Робітник штовхає вагонетку із силою, напрямленою вниз під кутом 45° до горизонту. Яку найменшу силу має прикласти робітник, щоб зрушити вагонетку з місця, якщо її маса 300 кг, а коефіцієнт опору 0,01? Вагонетка стоїть горизонтально.
- Кулька, підвішена на нитці завдовжки 50 см, обертається в горизонтальній площині. З якою швидкістю рухається кулька, якщо кут відхилення нитки від вертикалі становить 60° ?



§ 29. РІВНОВАГА ТІЛ. МОМЕНТ СИЛИ. УМОВА РІВНОВАГИ ТІЛ, ЯКІ МАЮТЬ ВІСЬ ОБЕРТАННЯ

? Уявіть, що вам потрібно дотягтися до книжки на верхній полиці. Ви підставляєте стілець, стаєте навшпиньки, нахилиєтесь і... не втримуєте рівноваги. Про те, що таке рівновага з погляду фізики і за яких умов реальне тіло (а не його модель — матеріальна точка) перебуває в рівновазі, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1 Що таке рівновага

Рівновага тіла — це збереження стану руху або спокою тіла з плином часу.

Що означає збереження стану руху?

Якщо тіло рухається тільки поступально, то збереження стану його руху означає, що швидкість поступального руху тіла залишається незмінною. Крім поступального руху реальне тіло може здійснювати також обертальний рух відносно деякої осі обертання. Якщо покласти однорідну кульку на похилий жолоб, то вона скочуватиметься, здійснюючи водночас поступальний і обертальний рухи (рис. 29.1). Кулька зберігатиме стан руху — перебуватиме в рівновазі, якщо швидкості її поступального та обертального рухів будуть залишатися незмінними.

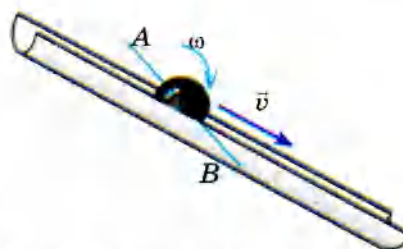


Рис. 29.1. Рух кульки, яка скочується по похилому жолобу, є складним. Його можна розкласти на два прості рухи: обертальний відносно осі AB з деякою кутовою швидкістю ω і поступальний — зі швидкістю \vec{v} , що дорівнює швидкості руху точок кульки, які лежать на осі AB

2 Умова рівноваги тіла в разі відсутності обертання

Розглянемо ситуацію, коли тіло з якихось причин не може обертатись. У такому випадку тіло рухається тільки поступально. Відповідно до закону інерції тіло, що рухається поступально, зберігає швидкість свого руху постійною, якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю. Цю умову рівноваги тіла можна записати у векторному вигляді:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

Наприклад, невелике тіло перебуває у спокої на похилій площині (рис. 29.2). На нього діють три сили: сила тяжіння $m\vec{g}$, сила \vec{N} нормальної реакції опори та сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$. Очевидно: якщо збільшувати кут нахилу, то сила тертя спокою збільшуватиметься і нарешті сягне максимального значення (у цей момент $F_{\text{тертя сп}} = \mu N$). У цьому випадку тіло перебуватиме у стані рівноваги

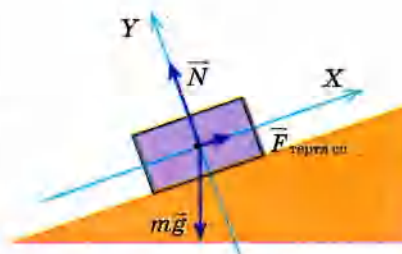


Рис. 29.2. Розташоване на похилій площині тіло перебуває у стані рівноваги (спокою), оскільки сили, що діють на нього, скомпенсовані

(залишатиметься у спокої) доти, доки сили, що діють на нього, будуть скомпенсовані: $\vec{F}_{\text{тертя сп}} + m\vec{g} + \vec{N} = 0$. У разі подальшого збільшення кута нахилу рівнодійна сил, прикладених до тіла, стане відмінною від нуля і тіло почне рівноприскорений рух — стан його рівноваги порушиться.

3 Момент сил. Правило моментів

Тепер розглянемо тверде тіло, яке не може рухатися поступально, а може тільки обертатися відносно нерухомої осі (рис. 29.3). Якщо причиною зміни швидкості поступального руху тіла є наявність прикладеної до нього сили, то *причина зміни швидкості обертального руху — наявність моменту сил.*

Момент сили M — це фізична величина, що дорівнює добутку модуля сили F , яка діє на тіло, на плече l цієї сили:

$$M = Fl$$

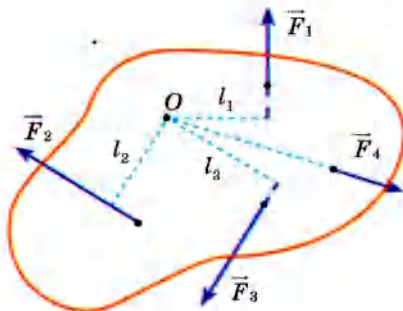


Рис. 29.3. Тіло може обертатися відносно нерухомої осі, що проходить через точку O і напрямлена перпендикулярно до площини рисунка. На тіло діють чотири сили: \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 , \vec{F}_4 . Плече сили F_1 — відрізок l_1 ; F_2 — відрізок l_2 ; F_3 — відрізок l_3 ; плече сили F_4 дорівнює нулю

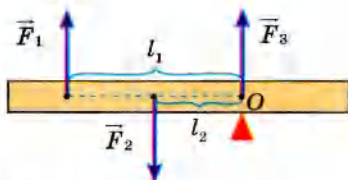


Рис. 29.4. Важіль перебуває у стані рівноваги, якщо сума моментів сил, що діють на нього, дорівнює нулю: $M_1 + M_2 + M_3 = 0$, де $M_1 = -F_1 l_1$; $M_2 = F_2 l_2$; $M_3 = 0$

Одиниця моменту сили в СІ — **ньютон-метр** (Н · м).

Нагадаємо, що *плече сили l* — це *найменша відстань від осі обертання до лінії дії сили* (див. рис. 29.3).

Сила F_1 повертає тіло *проти ходу годинникової стрілки* — значення моментів таких сил прийнято вважати *додатним*. Сили F_2 і F_3 повертають тіло *за годинниковою стрілкою* — значення моментів таких сил прийнято вважати *від'ємними*. Момент сили F_4 дорівнює нулю, і він не може змінити швидкість обертального руху тіла. У загальному випадку, якщо сумарний момент сил, які діють на тіло, дорівнює нулю, то тіло не змінює швидкості свого обертання й у разі закріпленої осі обертання перебуватиме в рівновазі. Отже, **правило моментів:**

Тіло, яке має нерухому вісь обертання, перебуває в рівновазі, якщо алгебраїчна сума моментів усіх сил, що діють на тіло, відносно осі обертання дорівнює нулю:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0$$

Наприклад, на тонкий невагомий стрижень (важіль) діють три сили: \vec{F}_1 , \vec{F}_2 і \vec{F}_3 (рис. 29.4). Важіль перебуватиме в рівновазі,

якщо $M_1 + M_2 + M_3 = 0$. При цьому $M_1 = -F_1 l_1$ (тому що сила \vec{F}_1 повертає важіль за ходом годинникової стрілки), $M_2 = F_2 l_2$ (тому що сила \vec{F}_2 повертає важіль проти ходу годинникової стрілки), $M_3 = 0$ (тому що $l_3 = 0$).

4 Рівновага тіла в загальному випадку

На практиці часто буває, що тіло *може* одночасно здійснювати поступальний і обертальний рухи (пригадайте вищенаведений приклад руху кульки по похилому жолобу). Насправді таких прикладів безліч: автомобіль, що виконує поворот, драбина, прихилена до стіни, і т. д.

Якщо тіло може рухатися поступально, а також здійснювати обертальний рух навколо деякої осі, то це тіло перебуватиме в рівновазі, якщо дотримані обидві умови рівноваги:

1) рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0;$$

2) алгебраїчна сума моментів усіх сил, що діють на тіло, відносно осі обертання дорівнює нулю:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0.$$

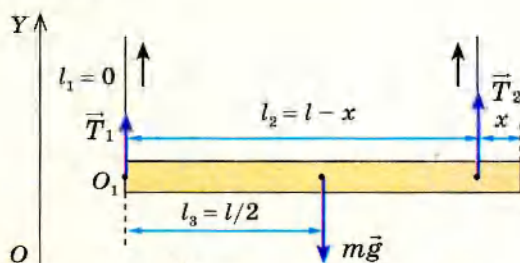
5 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Однорідну рейку завдовжки 10 м і масою 900 кг піднімають на двох паралельних тросах. Обчисліть сили натягу тросів, якщо один із них закріплений на кінці рейки, а другий — на відстані 1 м від іншого кінця рейки.

Дано:
 $l = 10$ м
 $m = 900$ кг
 $x = 1$ м
 $g \approx 10$ м/с²

Аналіз фізичної проблеми. Виконаємо пояснювальний рисунок, на якому позначимо сили, що діють на рейку (силу тяжіння $m\vec{g}$ та сили \vec{T}_1 і \vec{T}_2 натягу тросів), плечі цих сил (l_1 , l_2 , l_3) і вісь OY , яку спрямуємо вертикально вгору.

$T_1 = ?$
 $T_2 = ?$



За вісь обертання рейки оберемо вісь, яка проходить через точку O_1 і напрямлена перпендикулярно до площини рисунка (цю точку можна обирати довільно, керуючись міркуваннями зручності).

Пошук математичної моделі, розв'язання. Запишемо дві умови рівноваги тіла:
$$\begin{cases} \bar{T}_1 + \bar{T}_2 + m\bar{g} = 0, \\ M_1 + M_2 + M_3 = 0. \end{cases}$$

Тут $M_1 = 0$ (оскільки $l_1 = 0$), $M_2 = T_2(l-x)$ (сила \bar{T}_2 повертає важіль проти ходу годинникової стрілки); $M_3 = -mg \frac{l}{2}$ (сила $m\bar{g}$ повертає важіль за ходом годинникової стрілки).

Спроектувавши перше рівняння на вісь OY і підставивши вирази для моментів сил у правило моментів, отримаємо систему

$$\text{лінійних рівнянь: } \begin{cases} T_1 + T_2 - mg = 0, \\ T_2(l-x) - mg \frac{l}{2} = 0. \end{cases}$$

Із другого рівняння системи знайдемо T_2 :

$$T_2(l-x) = mg \frac{l}{2} \Rightarrow T_2 = \frac{mgl}{2(l-x)}.$$

Із першого рівняння системи знайдемо T_1 : $T_1 = mg - T_2$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[T_1] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \text{Н} = \text{Н}, \quad \{T_1\} = 900 \cdot 10 - 5000 = 4000, \quad T_1 = 4000 \text{ Н} = 4 \text{ кН};$$

$$[T_2] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} = \text{Н}, \quad \{T_2\} = \frac{900 \cdot 10 \cdot 10}{2 \cdot 9} = 5000, \quad T_2 = 5000 \text{ Н} = 5 \text{ кН}.$$

Аналіз результату. Перший трос діє на рейку з меншою силою, оскільки ця сила прикладена далі від центра тяжіння тіла. Результат є реальним.

Відповідь: сили натягу тросів дорівнюють: $T_1 = 4$ кН; $T_2 = 5$ кН.



Підбиваємо підсумки

Рівновага тіла — це збереження стану руху або спокою тіла з плином часу. Тіло перебуває в рівновазі, якщо швидкості його поступального та обертального рухів залишаються незмінними.

Момент сили M — це фізична величина, що дорівнює добутку модуля сили F , яка діє на тіло, на плече l цієї сили: $M = Fl$.

Якщо сила обертає або намагається обертати тіло проти ходу годинникової стрілки, то момент сили має додатне значення, а якщо за ходом годинникової стрілки — від'ємне значення.

Тіло, яке рухається поступально, перебуває в рівновазі, якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю: $\bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots + \bar{F}_n = 0$.

Тіло, яке має нерухому вісь обертання, перебуває в рівновазі, якщо алгебраїчна сума моментів усіх сил, що діють на тіло, відносно осі обертання дорівнює нулю: $M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0$.

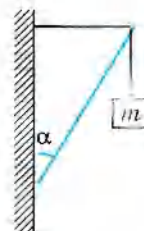
Якщо тіло може рухатися поступально, а також здійснювати обертальний рух навколо деякої осі, то воно перебуватиме в рівновазі, якщо дотримані обидві умови рівноваги.

Контрольні запитання

1. Що називають рівновагою тіл? 2. За яких умов тіло, що не спроможне обертатися, перебуватиме в рівновазі? 3. Що називають плечем сили? 4. Дайте визначення моменту сили. Яка одиниця моменту сили в СІ? 5. Сформулюйте правило моментів. 6. За яких умов тіло, що може рухатися як обертально, так і поступально, перебуватиме в рівновазі?

Вправа № 25

- Дошка масою 10 кг підперта на відстані $\frac{1}{4}$ її довжини. Яку силу перпендикулярно до дошки потрібно прикласти до її короткого кінця, щоб утримати дошку в рівновазі?
- До кінців стрижня масою 10 кг і завдовжки 40 см підвішено тягарі масами 40 і 10 кг. Де треба підперти стрижень, щоб він перебував у рівновазі?
- Невагомий стрижні шарнірно з'єднані між собою і стіною (див. рисунок). Знайдіть сили пружності, що виникають у стрижнях, якщо маса підвішеного тягаря 4 кг, $\alpha = 30^\circ$.
- Драбина спирається на гладеньку вертикальну стіну. Коефіцієнт тертя між ніжками драбини і підлогою дорівнює 0,4. Який найбільший кут може утворювати драбина зі стіною? Центр тяжіння драбини розташований на половині її довжини.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5**

Тема. Дослідження рівноваги тіла під дією кількох сил.

Мета: з'ясувати, за яких умов тіло із закріпленою віссю обертання перебуває в рівновазі.

Обладнання: важіль, штатив із муфтою та лапкою, набір тягарців масами по 100 г, динамометр, учнівська лінійка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ**Підготовка до експерименту**

- Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
 - Що називають плечем сили?
 - Як визначити момент сили? Яка його одиниця в СІ?
 - За яких умов тіло перебуває в рівновазі?
- Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
- Закріпіть важіль на лапці штатива та зрівноважте його за допомогою регулювальних гайок.

Експеримент

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці. Вважайте, що вага одного тягарця дорівнює 1 Н.

- Підвісьте з одного боку від осі обертання важеля один тягарець, з другого боку — два тягарці. Пересуваючи тягарці, зрівноважте важіль (рис. 1).



Рис. 1

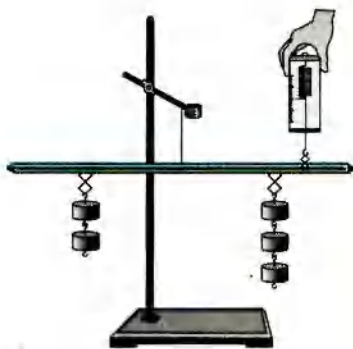


Рис. 2

2. Виміряйте плечі l_1 і l_2 відповідних сил F_1 і F_2 . Зніміть тягарці з важеля.
3. Підвісьте ліворуч від осі обертання важеля на деякій відстані один від одного два тягарці. Визначте за допомогою динамометра, яку силу F_3 потрібно прикласти до будь-якої вибраної вами точки, розташованої праворуч від осі обертання важеля, щоб важіль перебував у рівновазі. Виміряйте плечі l_1 , l_2 , l_3 сил, що діють на важіль.
4. Підвісьте праворуч від осі обертання три тягарці, а ліворуч — два тягарці. Виміряйте динамометром силу F_3 , яку потрібно прикласти до точки, розташованої праворуч від осі обертання, щоб важіль перебував у рівновазі (рис. 2). Виміряйте плечі l_1 , l_2 , l_3 сил, що діють на важіль.

Опрацювання результатів експерименту

Результати обчислень відразу заносьте до таблиці.

Для кожного досліді:

- 1) обчисліть моменти сил, що діють на важіль;
- 2) знайдіть суму моментів сил, що діють на важіль.

Номер досліді	Сила F_1 , Н	Плече l_1 сили F_1 , м	Момент M_1 сили F_1 , Н·м	Сила F_2 , Н	Плече l_2 сили F_2 , м	Момент M_2 сили F_2 , Н·м	Сила F_3 , Н	Плече l_3 сили F_3 , м	Момент M_3 сили F_3 , Н·м	Сума моментів сил $M_1 + M_2 + M_3$, Н·м
---------------	----------------	----------------------------	-------------------------------	----------------	----------------------------	-------------------------------	----------------	----------------------------	-------------------------------	---

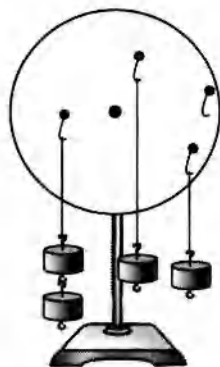


Рис. 3

Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Зробіть висновок, у якому зазначте, яку величину ви вимірювали, за яких умов тіло із закріпленою віссю обертання перебуває в рівновазі, вимірювання якої величини, на ваш погляд, дає найбільшу похибку.

+ Творче завдання

Перевірте умову рівноваги тіла із закріпленою віссю обертання, використовуючи для експерименту диск, який може вільно обертатися на осі, затиснутій в лапці штатива, і тягарці, які в довільному порядку підвішені до диска (рис. 3). Запишіть перелік необхідних вимірвальних приладів і план проведення експерименту. Проведіть експеримент, запишіть його результати, сформулюйте висновок.

§ 30. ЦЕНТР МАС. ВИДИ РІВНОВАГИ ТІЛ

П Напевно, ви мали в дитинстві «фізичні» іграшки. Багато хто й зараз не перестає дивуватися, чому, наприклад, хоч як крути Івана-покивана, він із дивовижним завзяттям повертається у вертикальне положення, чому орел стійко тримається на кінчику дзьоба (рис. 30.1), чому деякі машинки після будь-якої «аварії» знову стають на колеса і т. д. Розгадати секрет таких іграшок ви зможете, вивчивши матеріал цього параграфа.

1 Як визначити центр мас тіла

Центр мас тіла — це точка перетину прямих, уздовж яких напрямлені сили, що викликають тільки поступальний рух тіла (рис. 30.2).

Якщо розміри тіла невеликі порівняно з радіусом Землі, то центр мас цього тіла збігається з точкою прикладення сили тяжіння (центром тяжіння тіла).

Центр мас симетричних фігур перебуває в їхньому геометричному центрі; центр мас трикутника лежить у точці перетину його медіан.

2 Деякі методи визначення положення центра мас плоских фігур

Існує кілька методів визначення положення центра мас. З *експериментальним методом* ви вже знайомі (див. Експериментальне завдання в § 21). Сьогодні зупинимось на *геометричному та аналітичному методах*.

Геометричний метод застосовують тоді, коли фігуру можна розбити двома способами на дві фігури, розташування центрів мас яких легко визначити. Наприклад, щоб визначити положення центра мас плоскої фігури, зображеної на рис. 30.3, розіб'ємо її спочатку на квадрат і трикутник (рис. 30.3, а) і знайдемо їхні центри мас (точки O_1 і O_2). Потім розіб'ємо досліджувану фігуру на два трикутники (рис. 30.3, б) і знайдемо їхні центри мас (точки O_3 і O_4). Центр мас досліджуваної фігури лежить на перетині прямих O_1O_2 і O_3O_4 .

Аналітичний метод найбільш універсальний, але часто потребує складних математичних



Рис. 30.1. У разі незначних відхилень іграшковий орел зберігає рівновагу, спираючись на кінчик дзьоба

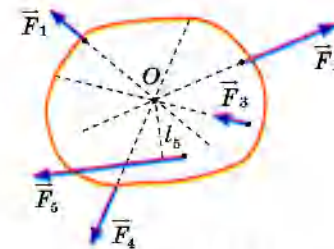


Рис. 30.2. Сили \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 і \vec{F}_4 викликають тільки поступальний рух тіла; лінії дії цих сил перетинаються в центрі мас тіла (точка O); сила \vec{F}_5 крім поступального викликає також обертальний рух тіла

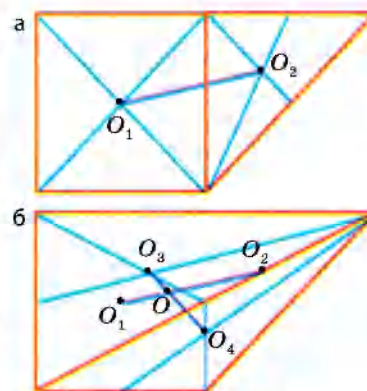


Рис. 30.3. Геометричний метод визначення положення центра мас плоскої фігури

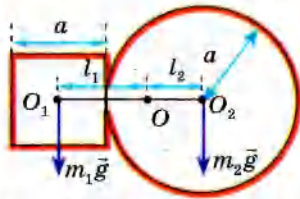


Рис. 30.4. Аналітичний метод визначення положення центра мас плоскої фігури

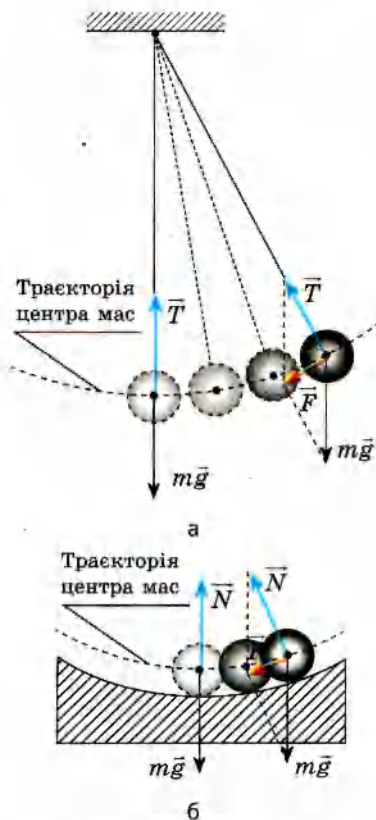


Рис. 30.5. Кулька, підвішена на нитці (а) або поміщена на дно ввігнутої поверхні (б), перебуває у стані стійкої рівноваги

розрахунків*. Із цим методом ознайомимося на прикладі знаходження центра мас однорідної пластинки (рис. 30.4).

Дану пластинку можна розбити на дві симетричні фігури (квадрат і круг), центри мас яких відомі (точки O_1 і O_2). Центр мас пластинки буде розташований на прямій O_1O_2 , у певній точці O . Якщо уявно підвісити пластинку в цій точці, то пластинка не буде обертатись, оскільки і лінія дії сили натягу нитки, і лінія дії сили тяжіння проходять через центр мас пластинки.

Зобразимо сили тяжіння $m_1\vec{g}$ та $m_2\vec{g}$, які діють на частини пластинки, і плечі l_1 і l_2 цих сил. Пластинка не повертається, тому сума моментів цих сил відносно точки O дорівнює нулю: $m_1gl_1 - m_2gl_2 = 0 \Rightarrow m_1l_1 = m_2l_2$. При цьому $m_1 = \rho V_1 = \rho S_1d = \rho a^2d$, а $m_2 = \rho V_2 = \rho S_2d = \rho \pi a^2d$, де ρ — густина матеріалу, з якого виготовлена пластинка, d — її товщина; $S_1 = a^2$ — площа квадрата; $S_2 = \pi a^2$ — площа круга.

Таким чином, вираз $m_1l_1 = m_2l_2$ можна записати у вигляді: $\rho a^2dl_1 = \rho \pi a^2dl_2$; після скорочення на ρa^2d маємо: $l_1 = \pi l_2$. Однак з рисунка видно, що $l_1 + l_2 = \frac{a}{2} + a = 1,5a$. Отже, $\pi l_2 + l_2 = 1,5a \Rightarrow l_2 = \frac{1,5a}{(\pi+1)} \approx 0,36a$. Таким чином, центр мас пластинки — точка O — розміщений на відстані $\approx 0,36a$ від центра кола.

3 Які існують види рівноваги

Розрізняють *стійку*, *нестійку*, *байдужу* рівноваги.

Рівновагу тіла називають *стійкою*, якщо в разі будь-яких малих відхилень від положення рівноваги тіло, надане самому собі, знову повертається в початкове положення.

У стані стійкої рівноваги перебуває, наприклад, кулька, підвішена на нитці (рис. 30.5, а), або кулька, поміщена на дно ввігнутої поверхні (рис. 30.5, б). Зверніть увагу:

* Аналітичний метод застосовують для визначення положення центра мас усіляких технічних і будівельних конструкцій. У цих випадках даний метод вимагає знання вищої математики (методів диференціального й інтегрального числення).

у положенні стійкої рівноваги *центр мас тіла займає найнижче із можливих найближчих положень*, а в разі відхилення тіла виникає *рівнодійна сила \vec{F}* , яка повертає тіло у вихідне положення.

Іван-покиван, розташований на поверхні столу, теж перебуває у стані стійкої рівноваги (рис. 30.6). У разі його відхилення рівнодійна залишається рівною нулю, однак момент сили тяжіння буде відмінним від нуля, — у результаті Іван-покиван гоїднеться й повернеться у початкове положення. При цьому його центр мас займе найнижче з можливих найближчих положень.

У загальному випадку тіло перебуває у стані стійкої рівноваги, якщо в разі будь-яких незначних відхилень тіла від цього положення рівнодійна сил, які діють на тіло, або моменти цих сил прагнуть повернути тіло в положення рівноваги.

Рівновагу тіла називають нестійкою, якщо в разі будь-яких малих відхилень від положення рівноваги тіло, надане самому собі, ще більше відхиляється від початкового положення (рис. 30.7).

У стані нестійкої рівноваги в разі будь-яких незначних відхилень тіла від положення рівноваги рівнодійна сил, які діють на тіло, або моменти цих сил прагнуть ще більше відхилити тіло.

Рівновагу тіла називають байдужою, якщо в разі будь-яких малих відхилень тіла від положення рівноваги тіло, надане самому собі, залишається у своєму новому положенні.

При відхиленні тіла, яке перебуває у стані байдужої рівноваги, сили, що діють на тіло, залишаються зрівноваженими, а сума моментів цих сил дорівнює нулю (рис. 30.8).

4 Коли перебуває в рівновазі тіло, яке спирається на горизонтальну площину

На практиці ми часто маємо справу з випадками рівноваги тіл, які спираються на кілька точок або на якусь поверхню: людина ходить по землі, спираючись двома ногами, стіл і стілець

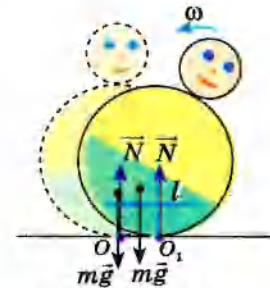


Рис. 30.6. Неоднорідна куля перебуває у стані стійкої рівноваги. У разі відхилення кулі від положення рівноваги момент сили тяжіння повертає її у початкове положення

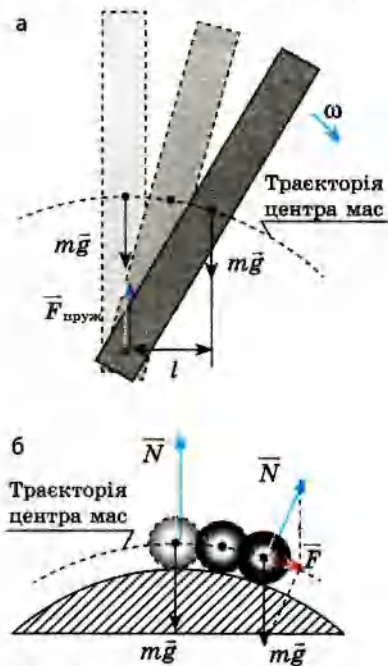


Рис. 30.7. Лінійка та кулька перебувають у стані нестійкої рівноваги. У разі відхилення від положення рівноваги: *а* — момент сили тяжіння $m\vec{g}$ повертає лінійку за ходом годинникової стрілки, дедалі більше відхиляючи її від вихідного положення; *б* — виникає рівнодійна сила \vec{F} , яка відхиляє кульку від вихідного положення. Центр мас займає найвище з усіх можливих найближчих положень

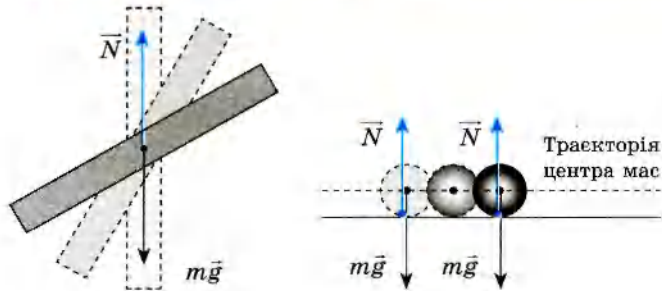


Рис. 30.8. Лінійка та однорідна кулька перебувають у стані байдужої рівноваги. Центр мас у всіх можливих найближчих положеннях розташований на одному горизонтальному рівні

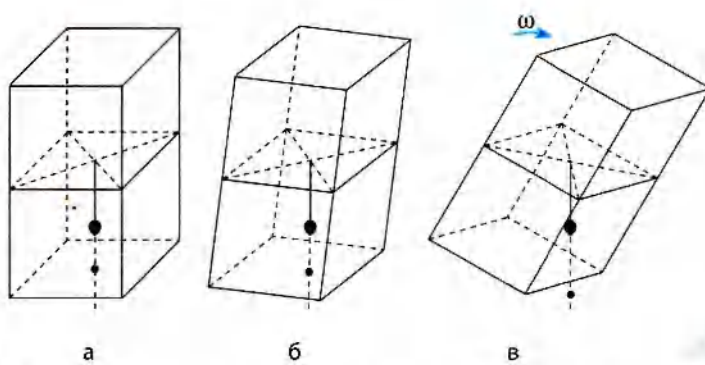


Рис. 30.9. *a, б* — тіло, яке спирається на горизонтальну площину, перебуває у стані стійкої рівноваги; *в* — тіло падає

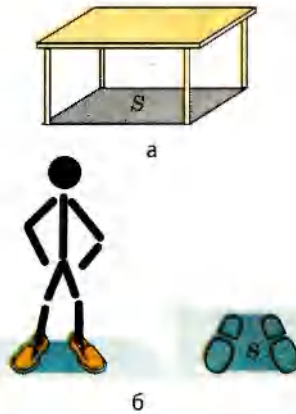


Рис. 30.10. Площа опори: *a* — стола; *б* — людини

спираються на чотири ніжки, автомобіль — на чотири або шість коліс, будинок — на фундамент і т. д.

Тіло, яке спирається на горизонтальну площину, перебуває у стані стійкої рівноваги, якщо вертикальна лінія, проведена через центр мас тіла, проходить у межах площі опори (рис. 30.9, *a, б*). Якщо ця лінія проходить за межами площі опори, рівновага тіла порушується і воно падає (рис. 30.9, *в*).

Є очевидним, що чим нижче розташований центр тяжіння тіла та чим більша площа опори тіла, тим стійкішим буде це тіло. Саме тому фундаменти верстатів роблять широкими та масивними, швидкісні боліди мають дуже низьку посадку, людина і тварина, щоб набути стійкого положення, розставляють і трохи згинають ноги (лапи).

Зверніть увагу: площею опори вважають площу фігури, що охоплює всі точки, на які спирається тіло (рис. 30.10).

! Підбиваємо підсумки

Центром мас тіла називають точку перетину прямих, уздовж яких напрямлені сили, що викликають тільки поступальний рух тіла.

Розрізняють стійку, нестійку, байдужу рівноваги тіл. Незначно відхилене від положення рівноваги тіло в разі стійкої рівноваги повертається у вихідне положення; у разі нестійкої — ще більше відхиляється від вихідного положення; у разі байдужої — залишається у своєму новому положенні.

Тіло, яке спирається на горизонтальну площину, перебуває у стані стійкої рівноваги, якщо вертикальна лінія, проведена через центр мас тіла, проходить у межах площі опори.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення центра мас.
2. Де розташовується центр мас плоских фігур, що мають правильну геометричну форму?
3. Які методи визначення центра мас тіл ви знаєте? Опишіть їх.
4. Яку рівновагу тіл називають стійкою? нестійкою? байдужою? Яке положення займає у кожному випадку центр мас тіла, як на-прявлена рівнодійна?
5. Коли тіло, що спирається на горизонтальну площину, перебуває у стані стійкої рівноваги?

Вправа № 26

1. У положенні якої рівноваги перебувають тіла, зображені на рис. 1–3? Відповідь обґрунтуйте.
2. Якщо людина несе важкий вантаж на спині, то нахилиється вперед, а якщо несе вантаж перед собою, відхиляється назад. Чому?
3. Одна половина металевого бруска мідна, а друга — алюмінієва (рис. 4). Визначте положення центра мас бруска, якщо його довжина 10 см.
4. Визначте положення центра мас плоскої фігури, зображеної на рис. 5, якщо радіус великого круга дорівнює 8 см.

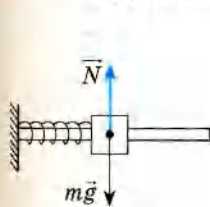


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

Експериментальні завдання

1. Виріжте з цупкого картону плоску фігуру (рис. 6). Визначте центр мас цієї фігури експериментально, геометрично й аналітично. Який із методів дасть, на ваш погляд, найточніший результат?
2. Зчепивши дві виделки, закріпіть їх на одному кінці сірника, а другий кінець сірника розташуйте на вістрі циркуля, як показано на рис. 7. Поясніть спостережуване явище.

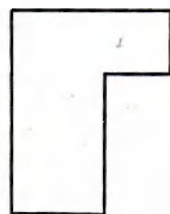


Рис. 6



Рис. 7

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 «ДИНАМІКА»

1. Вивчаючи розділ 2, ви познайомилися з *основними поняттями та законами класичної динаміки*, дізналися про те, що вона вивчає.

Динаміка — це розділ механіки, в основі якого лежить кількісний опис взаємодії тіл, яка визначає характер їхнього руху.

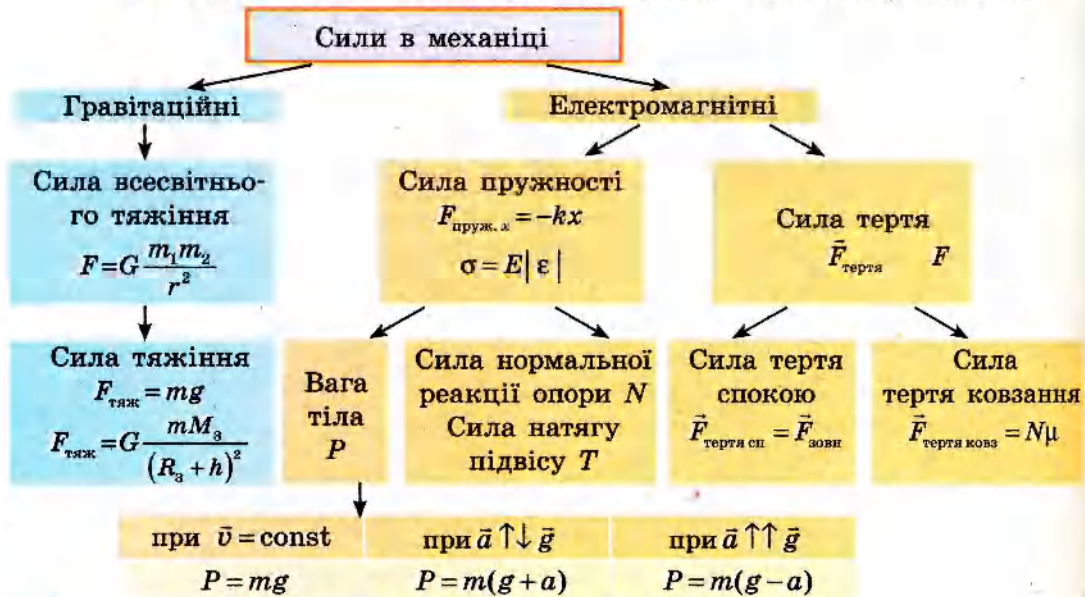
2. Ви усвідомили сутність важливих понять динаміки, серед яких *інерційна система відліку*.

Інерційна система відліку — це така система відліку, відносно якої ізольоване тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху.

3. Ви дізналися про найважливіші закони динаміки — *закони Ньютона*:

Перший закон Ньютона	Другий закон Ньютона	Третій закон Ньютона
Існують такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на це тіло не діють інші тіла або їхня дія скомпенсована	Прискорення, якого набуває тіло, прямо пропорційне силі, прикладеній до цього тіла, і обернено пропорційне його масі: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$	Тіла взаємодіють одне з одним із силами, які напрямлені уздовж однієї прямої, рівні за модулем та протилежні за напрямком: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

4. Ви поглибили свої знання щодо різних *видів сил у механіці*.



5. Ви дослідили рух тіла під дією сили тяжіння.

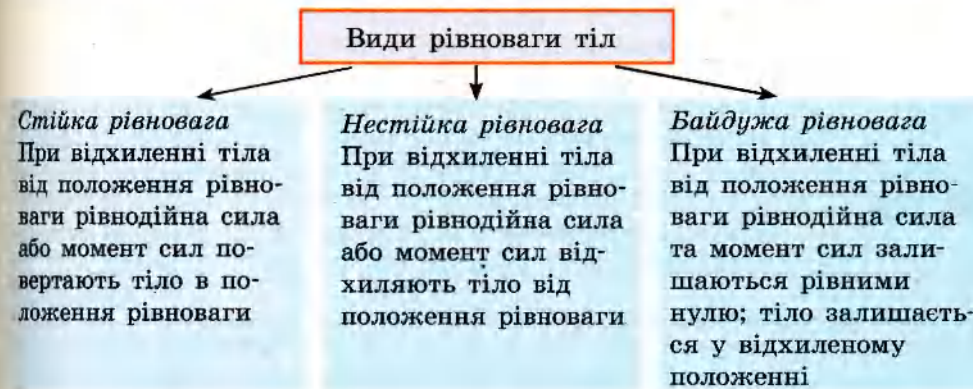
Траекторія руху тіла	Сила, яка діє на тіло	Прискорення руху тіла	Швидкість руху тіла	Координати тіла у деякий момент часу
<p>Парабола</p>	$\vec{F} = m\vec{g}$ $F_{\text{тяж } x} = 0$ $F_{\text{тяж } y} = mg_y$	$\vec{a} = \vec{g}$ $a_x = g_x = 0$	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ $v_x = v_{0x}$ $v_y = v_{0y} + g_y t$	$x = x_0 + v_{0x}t$ $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$

6. За допомогою закону всесвітнього тяжіння ви розраховали першу космічну швидкість для Землі: $v = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3 + h}}$, яка у випадку

$h = 0$ становить: $v = \sqrt{\frac{GM_3}{R_3}} = \sqrt{gR_3} \approx 8 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}} \right)$.

7. Ви дослідили умови рівноваги тіл, познайомилися з видами рівноваги.

Умови рівноваги тіла	
за відсутності обертання	за наявності нерухомої осі обертання
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$	$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$, де $M = Fl$
У загальному випадку для розв'язування задач потрібно застосовувати обидві умови, обираючи будь-яку вісь обертання	



ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 2 «ДИНАМІКА»

Частина 1. Закони Ньютона. Гравітаційні сили

Завдання 1–6 містять тільки одну правильну відповідь.

- (1 бал) З яким тілом ви пов'язали би СВ, щоб вона була неінерціальною? (СВ, пов'язану із Землею, вважайте інерціальною.)
 - автомобіль рухається рівномірно;
 - дівчинка біжить з постійною швидкістю;
 - потяг набирає швидкість;
 - собака сидить на узбіччі дороги.
- (1 бал) Яким символом позначають фізичну величину, що є мірою інертності тіла?
 - a ;
 - F ;
 - v ;
 - m .
- (1 бал) Яка з наведених формул є математичним записом другого закону Ньютона?
 - $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$;
 - $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$;
 - $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$;
 - $\vec{F} = m\vec{g}$.
- (2 бали) Тіло рівномірно рухається по колу (рис. 1). У якому випадку напрямок рівнодійної сил, прикладених до тіла, позначено правильно?
 - \vec{F}_1 ;
 - \vec{F}_2 ;
 - \vec{F}_3 ;
 - \vec{F}_4 .

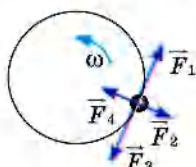


Рис. 1

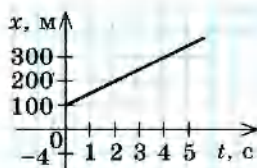


Рис. 2

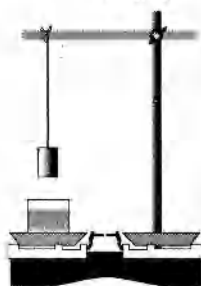


Рис. 3

- (2 бали) Тіло масою 4 кг рухається вздовж осі OX , при цьому його координата змінюється за законом: $x = 0,5 + 2t + 5t^2$. Яким є модуль сили, яка діє на тіло?
 - 2 Н;
 - 8 Н;
 - 20 Н;
 - 40 Н.
- (2 бали) Під дією двох взаємно перпендикулярних сил, модулі яких дорівнюють 6 і 8 Н, тіло рухається з прискоренням 2 м/с^2 . Якою є маса тіла?
 - 1 кг;
 - 5 кг;
 - 7 кг;
 - 20 кг.
- (3 бали) Гаубиця випустила кілька снарядів під кутом до горизонту: перший — під кутом 60° ; другий — під кутом 30° ; третій — під кутом 45° . Як розташуються ці снаряди на горизонтальній прямій? У якого з них висота підняття буде найбільшою?
 - 1 кг;
 - 5 кг;
 - 7 кг;
 - 20 кг.
- (3 бали) Вантаж скинули з літака, що летить горизонтально. На рис. 2 показано залежність $x(t)$. Визначте модуль і напрямки швидкості руху вантажу через 5 с після початку падіння.
- (4 бали) Визначте силу тяжіння, яка діє на тіло масою 20 кг, якщо це тіло підняте над поверхнею Землі на відстань, що дорівнює чверті радіуса Землі. Визначте першу космічну швидкість на цій висоті.
- (5 балів) Чи порушиться рівновага важелів (рис. 3), якщо подовжити нитку так, щоб тягарець був повністю занурений у воду, але не торкався дна? якщо обрізати нитку й покласти тягарець на дно посудини?

Зверте ваші відповіді з наведеними наприкінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

Частина 2. Електромагнітні сили. Рух тіла під дією кількох сил

Завдання 1–6 містять тільки одну правильну відповідь.

- (1 бал) Яким символом позначають відносне видовження тіла?
 а) Δl ; б) ϵ ; в) μ ; г) σ .
- (1 бал) Яка з наведених формул є математичним записом закону Гука?
 а) $a = \frac{F}{m}$; б) $\sigma = E\epsilon$; в) $F = \mu N$; г) $\sigma = \frac{F}{S}$.
- (1 бал) У якому з наведених випадків (рис. 4) тіло перебуває в стані нестійкої рівноваги?



Рис. 4

- (2 бали) Тіло тягнуть угору по похилій площині (рис. 5). У якому випадку напрямки сил, прикладених до тіла, позначено правильно?

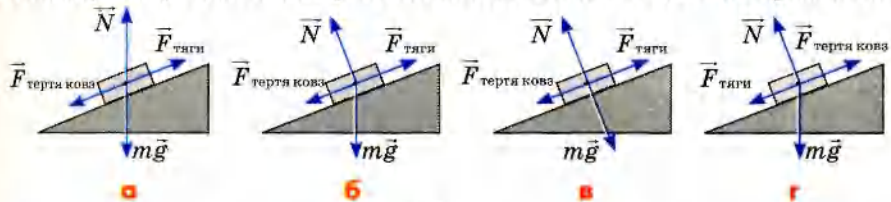


Рис. 5

- (2 бали) На підлозі ліфта стоїть валіза масою 20 кг. Ліфт починає підніматися з прискоренням 2 м/с². Чому дорівнює вага валізи?
 а) 20 Н; б) 160 Н; в) 200 Н; г) 240 Н.
- (2 бали) Унаслідок видовження пружини на 2,0 см виникає сила пружності 3 Н. За якого видовження пружини сила пружності дорівнюватиме 15 Н?
 а) 2,5 см; б) 5 см; в) 10 см; г) 22,5 см.
- (3 бали) Тіло без початкової швидкості зісковзує з похилої площини. Кут нахилу площини до горизонту 30°, довжина похилої площини 2 м. З яким прискоренням рухається тіло, якщо коефіцієнт тертя ковзання 0,3? Скільки часу триває ковзання?
- (3 бали) Брусок масою 500 г під дією підвешеного до нього тягаря масою 150 г пройшов від початку руху шлях 80 см за 2 с (рис. 6). Знайдіть коефіцієнт тертя ковзання.
- (4 бали) Куля масою m і радіусом r висить на мотузці завдовжки l , прикріпленій до гладенької вертикальної стіни (рис. 7). Знайдіть силу, з якою куля тисне на стіну.
- (5 балів) З якою максимальною швидкістю може їхати мотоцикліст на повороті радіусом 40 м, якщо коефіцієнт тертя між колесами і дорогою 0,6? На який кут при цьому відхилиться мотоцикл?

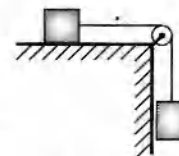


Рис. 6



Рис. 7

Зверте ваші відповіді з наведеними наприкінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.