РОЗВ’ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ НА РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ

Василь РЖЕПЕЦЬКИЙ, Обласний ліцей-інтернат для сільської молоді;
Микола СЛЮСАРЕНКО, Криворізький державний педагогічний університет;
Людмила БАЛАБАЄВА, Обласний ліцей-інтернат для сільської молоді, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.

Якщо в кінематиці описується рух тіл без розгляду причин, які його обумовлюють, то в динаміці вивчаються причини цього руху під дією прикладених до тіла сил, характер їх взаємодії.

Пряма задача динаміки вимагає встановлення закону руху тіла, за заданим силам, що діють на тіло. Обернена задача динаміки полягає в знаходженні невідомої сили, що діє на тіло, за відомим законом його руху.

При розв’язуванні задач з кінематики ми починали з запису кінематичних рівнянь руху [5]. Задачі з динаміки починаються записом динамічного рівняння руху – рівняння другого закону Ньютона. В більшості задач мається на увазі рух матеріальної точки, тому сили, які діють на тіло, можна вважати прикладеними до однієї точки. Векторному рівнянню руху в декартовій системі координат на площині *Oxy* відповідають два скалярних рівняння, що зв’язують проекції сил та прискорень на відповідні осі. До одержаної системи рівнянь в разі необхідності додають вирази для сили тертя, сили пружності, сили всесвітнього тяжіння, доцентрового прискорення тощо.

В багатьох задачах динаміки на тіло діє не одна, а декілька сил, результат дії яких можна замінити однією силою, яку називають рівнодійною. Рівнодійна дорівнює геометричній сумі всіх сил, що діють на тіло:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N$$

При розв’язуванні задач динаміки можна запропонувати учням скористатись загальним алгоритмом дій:

1. Уважно прочитати зміст задачі та записати умову задачі в скороченому вигляді.

2. Перевести одиниці вимірювання фізичних величин в одну систему (як правило, *СІ*).

3. Виконати рисунок, на якому вказати сили, що діють на тіло, і прискорення, з яким воно рухається.

4. Записати рівняння другого закону Ньютона у векторній формі.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N = m\vec{a}$$

5. Вибрати систему відліку, систему координат при цьому зручно обрати так, щоб одна з осей була напрямлена вздовж напряму прискорення тіла.

6. Перейти до скалярної форми рівняння другого закону Ньютона, спроектувавши всі векторні величини на осі обраної системи координат.

$$\begin{cases} F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{Nx} = ma_x \\ F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{Ny} = ma_y \end{cases}$$

7. При необхідності до одержаної системи рівнянь додати рівняння, що встановлюють зв'язки між величинами, які входять в рівняння другого закону Ньютона (кінематичні рівняння, вирази для сили тертя, сили пружності, сили тяжіння тощо).

8. Розв'язати одержану систему рівнянь.

9. Якщо в русі приймають участь декілька тіл, то аналіз сил і запис рівнянь здійснюється для кожного тіла окремо.

10. Провести аналіз отриманого розв'язання, перевірити розмірність.

Ми розглядатимемо задачі, в яких на тіла діють різні сили – сили тяжіння, сили тертя, сили натягу, сили реакції опори, виштовхувальна сила тощо. Традиційно такі задачі підрозділяються на типи:

1. Рух у горизонтальному та вертикальному напрямі.
2. Рух по похилій площині.
3. Рух по колу.
4. Рух зв'язаних тіл.

1. Рух у горизонтальному та вертикальному напрямі

1.1. [7]. Електровоз рухається рівномірно по горизонтальній прямолінійній ділянці залізниці й тягне вагони загальною масою $2 \cdot 10^6$ кг із силою 500 кН. З яким прискоренням рухатиметься потяг, якщо сила, з якою електровоз тягне вагони, збільшиться до 600 кН?

Відповідь запишіть у метрах за секунду у квадраті (м/с$^2$).

На потяг діють чотири сили: сила тяги $\vec{F}$ , сила тяжіння $m\vec{g}$, сила опору $\vec{F}_{\text{оп}}$ і сила реакції опори $\vec{N}$ (див. рис. 1.1).

Рівняння другого закону Ньютона для першого випадку ($a_1 = 0$) має вид:

$$\vec{F}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{оп}} + \vec{N} = 0 \qquad (1)$$

Для другого:

$$\vec{F}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{оп}} + \vec{N} = m\vec{a}_2 \qquad (2)$$

Виберемо осі системи координат так, як вказано на рис. 1.1. Рівняння (1) і (2) напишемо в проекціях на вісь *Ox*:

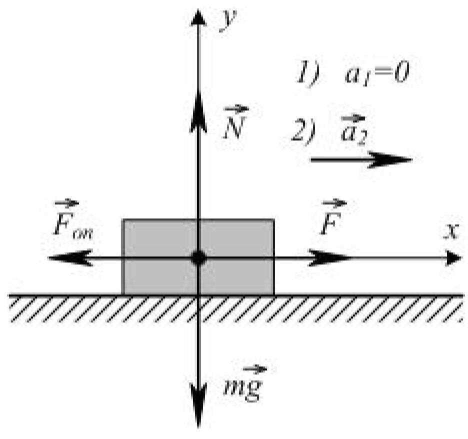



Рис. 1.1

$$F_1 - F_{\text{оп}} = 0 \qquad (3)$$

$$F_2 - F_{\text{оп}} = ma_2 \qquad (4)$$

З рівняння (3) отримуємо $F_{\text{оп}} = F_1$, підставивши в (4), знаходимо $a_2$:

$$a_2 = \frac{F_2 - F_1}{m} \qquad (5)$$

Обчислення дають: $a_2 = 0{,}05\ \text{м}/\text{с}^2$.

1.2. [6]. Аеростат масою 250 кг почав опускатися з прискоренням 0,2 м/с$^2$. Визначте масу баласту, який потрібно скинути за борт, щоб аеростат почав рухатися вгору з таким самим прискоренням. Опір повітря не враховуйте. Уважайте, що прискорення вільного падіння дорівнює 9,8 м/с$^2$.

Відповідь запишіть у кілограмах (кг).

Рівняння другого закону Ньютона для випадків руху аеростата вниз і вгору мають вид (див. рис. 1.2):

$$\vec{F}_A + m_1\vec{g} = m_1\vec{a}_1 \qquad (1)$$

$$\vec{F}_A + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}_2 \qquad (2)$$

В проекціях на вісь $Oy$ :

$$F_\text{А} - m_1 g = -\, m_1 a \qquad (3)$$

$$F_\text{А} - m_2 g = m_2 a \qquad (4)$$

Оскільки модулі прискорень однакові $(a_1 = a_2)$, то індекс можна опустити.

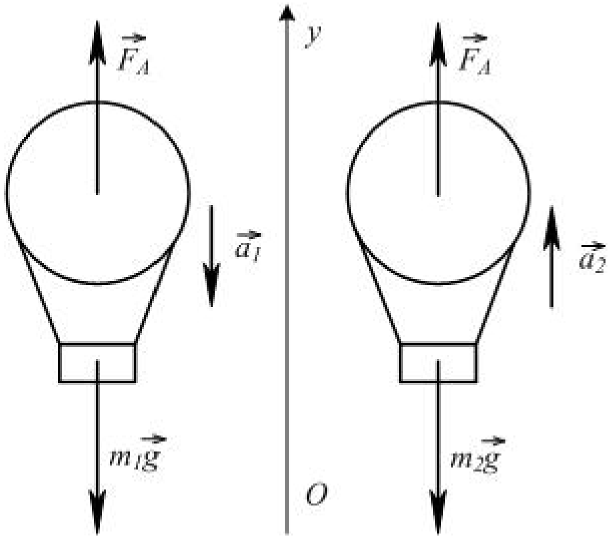



Рис. 1.2

Наступні перетворення мають вид:

$$F_A = m_1(g - a)$$

$$F_A = m_2(g + a)$$

$$m_2 = \frac{F_A}{g + a} = \frac{m_1(g - a)}{g + a}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = m_1 - m_1\frac{g - a}{g + a} = m_1\left(1 - \frac{g - a}{g + a}\right) = m_1\frac{2a}{g + a}$$

Обчислення дають: $\Delta m = 10$ кг.

1.3. [3]. Тіло масою 2 кг рухається по горизонтальній площині з прискоренням 3 м/с$^2$ під дією двох послідовно з'єднаних пружин з коефіцієнтами жорсткості відповідно 1 кН/м і 2 кН/м. Визначити сумарне видовження цих пружин, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,2.

Рівняння другого закону Ньютона для руху тіла має вид (див. рис. 1.3):

$$\vec{F}_{\text{тер}} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{пр}} + m\vec{g} = m\vec{a} \tag{1}$$

В проекціях на осі *Ox* та *Oy* матимемо:

$$-F_{\text{тер}} + F_{\text{пр}} = ma \tag{2}$$

$$N - mg = 0 \tag{3}$$

Для сили тертя маємо вираз:

$$F_{\text{тер}} = \mu \cdot N \tag{4}$$

З рівняння (3) отримаємо $N = mg$, тому $F_{\text{тер}} = \mu \cdot mg$. Підставимо цей вираз в (2):

$$-\mu \cdot mg + F_{\text{пр}} = ma, \quad \text{звідки} \quad F_{\text{пр}} = \mu \cdot mg + ma. \tag{5}$$

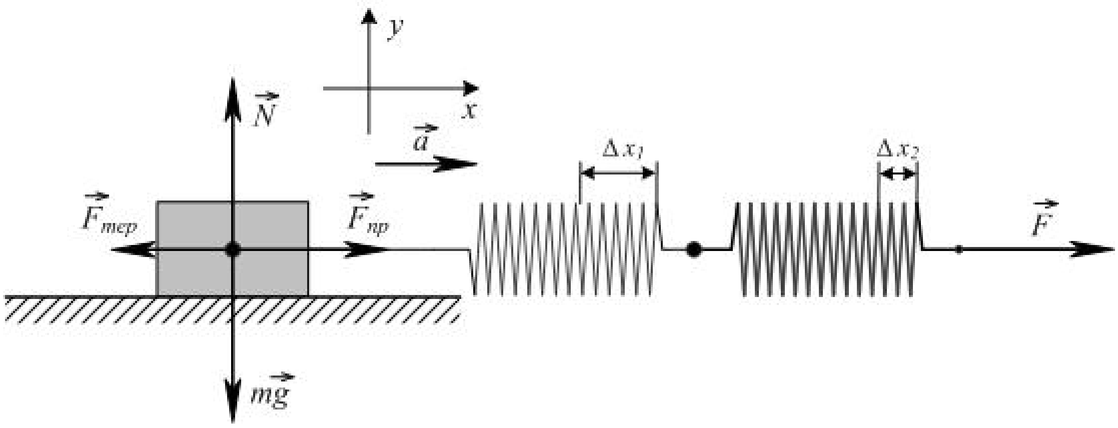



Рис. 1.3

При послідовному з'єднанні двох пружин в кожній з пружин виникає однакова сила пружності $\vec{F}_{\text{пр}}$, а загальне видовження дорівнює $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$. Враховуючи, що:

$$\Delta x = \frac{F_{\text{пр}}}{k}, \;\; \Delta x_1 = \frac{F_{\text{пр}}}{k_1}, \;\; \Delta x_2 = \frac{F_{\text{пр}}}{k_2},$$

одержимо:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \;\; \text{або} \;\; k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} \tag{6}$$

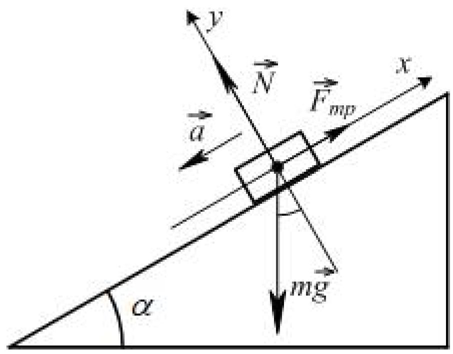
Використавши вирази (5) і (6) для сумарного видовження одержимо:

$$\Delta x = \frac{F_{\text{пр}}}{k} = \frac{(\mu \cdot mg + ma) \cdot (k_1 + k_2)}{k_1 \cdot k_2}$$

Обчислення дають: $\Delta x = 1{,}5 \cdot 10^{-2}$м $= 1{,}5$ см.

2. Рух по похилій площині

Під час розв'язування задач на рух тіл по похилій площині осі системи координат слід направляти паралельно похилій і перпендикулярно їй. В цьому випадку рівняння руху в проекціях на осі будуть мати простіший вид.




2.1. [4]. З яким прискоренням рухається брусок по похилій площині з кутом нахилу α=30°, якщо коефіцієнт тертя μ=0,2?

На тіло, яке ковзає вниз по похилій площині діють сили тяжіння, тертя і реакції опори (рис. 2.1).Рівняння другого закону Ньютона має вид:

$$\vec{N} + \vec{F}_{\text{тер}} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

Виберемо осі системи координат так, як вказано на рис. 2.1. Запишемо рівняння в проекціях на осі:

$$Ox\text{:}\quad F_{\text{тр}} - mg \cdot sin\alpha = -ma$$

$$Oy\text{:}\quad N - mg \cdot cos\alpha = 0$$

Рис. 2.1

До цих рівнянь додамо вираз для сили тертя ковзання: $F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$.

Розв'яжемо одержану систему рівнянь:

$$N = mg \cdot cos\alpha\,; \qquad F_{\text{тр}} = \mu \cdot mg \cdot cos\alpha$$

$$\mu \cdot mg \cdot cos\alpha - mg \cdot sin\alpha = -ma$$

$$a = g(sin\alpha - \mu \cdot cos\alpha)$$

Обчислення дають: $a = 3{,}3$ м/с$^2$.

2.2. [2]. По похилій площині, що утворює з горизонтом кут $\alpha$ = 30°, кидають знизу вгору тіло. Воно протягом $t_1$ = 2 с проходить вілстань $l$ = 16 м, після чого починає зісковзувати вниз. За який час тіло зісковзне донизу? Який коефіцієнт тертя між тілом і поверхнею площини?

Для спрощення розв'язку дану задачу розділимо на ряд простіших задач і виконаємо проміжні обчислення. Розрахункові формули в цій задачі досить складні і вони не спрощують, а ускладнюють розв'язок.

Оскільки шлях, який проходить тіло, відомий, то для знаходження часу треба знати прискорення $a_2$, з яким тіло зісковзує вниз. Щоб знайти прискорення, треба знати коефіцієнт тертя між поверхнею площии і тілом (див. ровязок задачі 2.1 вище).

На рис. 2.2 зображені сили, які діють на тіло, що ковзає вгору по похилій площині. За другим законом Ньютона:

$$\vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_1 \tag{1}$$

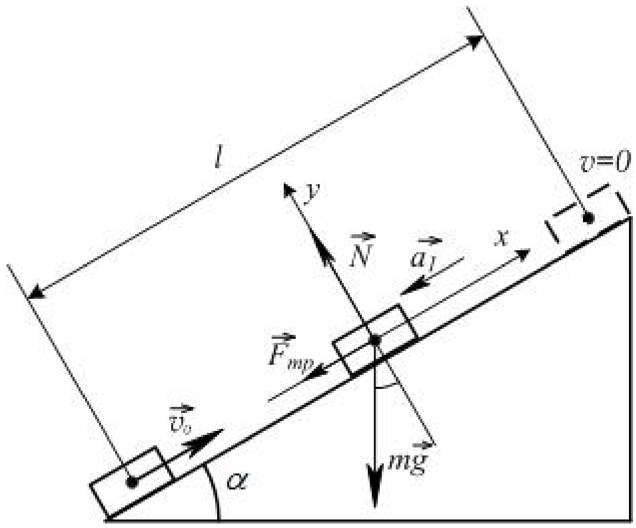



Рис. 2.2

В проекціях на осі:

$$Ox:\ -F_{\text{тр}} - mg \cdot sin\alpha = -ma_1 \tag{2}$$

$$Oy:\ N - mg \cdot cos\alpha = 0 \tag{3}$$

Врахуємо також, що $F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$; після перетворень одержимо:

$$\mu \cdot mg \cdot cos\alpha + mg \cdot sin\alpha = ma_1, \tag{4}$$

звідки:

$$\mu = \frac{a_1 - g \cdot sin\alpha}{g \cdot cos\alpha} \tag{5}$$

Прискорення $a_1$ знайдемо з кінематичних співвідношень. Для рівноприскореного руху:

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t\,.$$

В проекціях на вісь *Ox* :

$$s = v_0 t - \frac{a_1 t^2}{2}\ ,\ \ v_x = v_0 - a_1 t\,.$$

При $t = t_1$ швидкість $v_x = 0,\ s = l$, тому: $v_0 = a_1 t_1$,

$$l = v_0 t_1 - \frac{a_1 t_1^2}{2} = a_1 t_1^2 - \frac{a_1 t_1^2}{2} = \frac{a_1 t_1^2}{2} \tag{6}$$

Прискорення $a_1$ дорівнює:

$$a_1 = \frac{2l}{t_1^2}\ ; \quad a_1 = \frac{2 \cdot 16\text{м}}{4\text{с}^2} = 8\ \text{м/с}^2.$$

Знаючи прискорення $a_1$, обчислимо коефіцєнт тертя $\mu$ (вважатимемо $g = 9{,}8\ \text{м/с}^2$):

$$\mu = \frac{8\ \text{м/с}^2 - 9{,}8\ \text{м/с}^2 \cdot sin30°}{9{,}8\ \text{м/с}^2 \cdot cos30°} = 0{,}365.$$

Прискорення $a_2$ знайдемо, скориставшись розв'язком задачі 2.1:

$$a_2 = g(sin\alpha - \mu \cdot cos\alpha)$$

$$a_2 = 9{,}8\ \text{м/с}^2(sin30° - 0{,}365 \cdot cos30°) = 1{,}8\ \text{м/с}^2$$

Співвідношення між $a_2$, $l$ і $t_2$ аналогічні (6), тому:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2l}{a_2}}\ ;\ t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 16\text{м}}{1{,}8\ \text{м/с}^2}} = 4{,}2\ \text{с}.$$

3. Рух по колу

3.1. [4]. Горизонтально розташований диск програвача обертається з частотою 78 об/хв. На нього поклали невеликий предмет. Найбільша відстань від осі обертання до предмета, при якій предмет утримуватиметься на диску, дорівнює 7 см. Який коефіцієнт тертя між предметом та диском?

Сила тертя ковзання виникає під час руху одного тіла по поверхні іншого. Ця сила прямо пропорційна силі нормального тиску (або силі реакції опори):

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N, \tag{1}$$

де μ називається коефіцієнтом тертя ковзання.

Якщо на диск, що обертається, покласти предмет, то при невеликій відстані $R$ від осі обертання він буде обертатись разом з диском, залишаючись відносно нього нерухомим (див. рис.3.1). Предмет рухається по колу, отже, з доцентровим прискоренням:

$$a_{\text{ц}} = \omega^2 R\ , \tag{2}$$

де $\omega = 2\pi\upsilon$, $\upsilon$ – частота обертання диска.

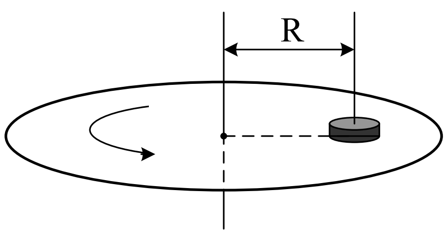



Рис. 3.1

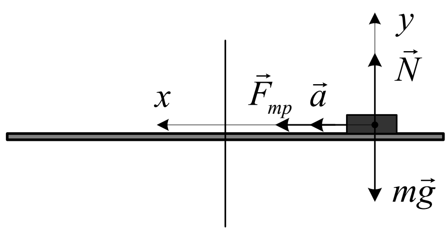



Рис. 3.2

Це прискорення йому надає сила тертя спокою (рис. 3.2). При збільшенні відстані *R* збільшиться доцентрове прискорення, отже, збільшиться і сила тертя спокою. При певній відстані $R_{max}$ сила тертя спокою досягне свого максимального значення і при подальшому збільшенні $R$ тіло вже не втримається на диску. Наближено можна вважати, що максимальне значення сили тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання:

$$F_{\text{тр спок}}^{max} = F_{\text{тр}} = \mu \cdot N \qquad (3)$$

За другим законом Ньютона:

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}_{\text{ц}} \qquad (4)$$

Спроектуємо це рівняння на осі *Ox* і *Oy*:

$$\begin{cases} F_{\text{тр}} = ma_{\text{ц}} \\ N - mg = 0 \end{cases}$$ Врахуємо (2) і (3):

$$\begin{cases} \mu \cdot N = m\omega^2 R \\ N = mg \end{cases}$$, звідки: $\mu mg = m\omega^2 R.$

Одержимо:

$$\mu = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{4\pi^2 \nu^2 R}{g} \qquad (5)$$

Обчислення дають: $\mu$ = 0,48.

3.2. [8]. Унаслідок ожеледиці коефіцієнт тертя між шинами та поверхнею шосе зменшився від 0,72 до 0,18. Визначте, у скільки разів зменшилася максимально можлива швидкість руху на поворотах. Поверхню шосе вважайте горизонтальною.

Під час проходження горизонтально розташованого повороту силою, яка забезпечує доцентрове прискорення, є сила тертя спокою між колесами автомобіля і дорогою. Максимальне значення сили тертя спокою приблизно рівне силі тертя ковзання:

$$F_{\text{тр спок}}^{max} = F_{\text{тр}} = \mu \cdot N \,, \qquad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя ковзання (рис. 3.3а). Покажемо на виді ззаду всі сили, що діють на автомобіль при повороті: $\vec{F}_{\text{тр}}$, $\vec{N}$, $m\vec{g}$ (рис 3.3б).

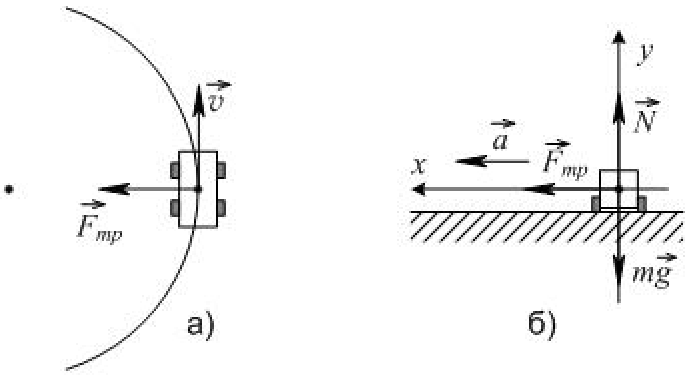



Рис. 3.3

Згідно з другим законом Ньютона:

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}_{\text{ц}}\,, \tag{2}$$

$$\text{де} \;\; a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}. \tag{3}$$

$a_{\text{ц}}$ – доцентрове прискорення, $R$ – радіус повороту. Спроектуємо (2) на осі системи координат Ох і Оу:

$$Ox\text{:}\;\; F_{\text{тр}} = ma_{\text{ц}}$$
$$Oy\text{:}\;\; N - mg = 0$$

Врахувавши вирази (1) і (3), після перетворень одержимо:

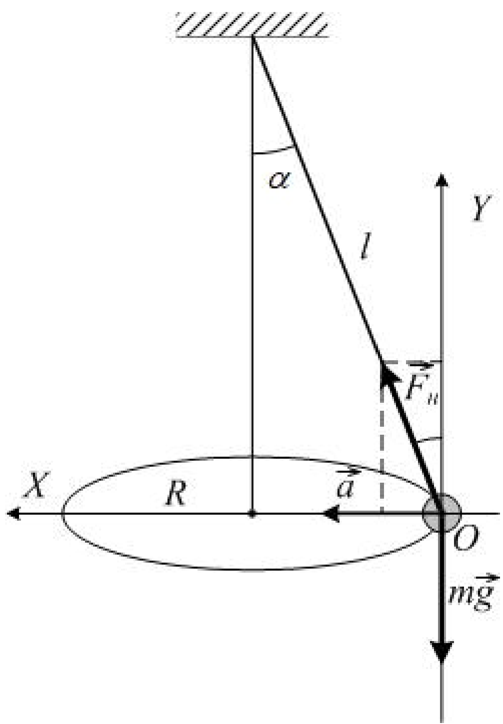
$$F_{\text{тр}} = \frac{mv^2}{R};\;\; F_{\text{тр}} = \mu mg;\;\; \mu mg = \frac{mv^2}{R};\; v^2 = \mu Rg.$$

Для першого випадку $v_1 = \sqrt{\mu_1 Rg}$, для другого $v_2 = \sqrt{\mu_2 Rg}$.

Відношення швидкостей дорівнює:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\mu_1 Rg}{\mu_2 Rg}} = \sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}} = \sqrt{\frac{0{,}72}{0{,}18}} = 2.$$

3.3. [4]. Вантаж, підвішений на нитці завдовжки 60 см, рухаючись рівномірно, описує в горизонтальній площині коло. З якою швидкістю рухається вантаж, якщо під час його руху нитка утворює з вертикаллю сталий кут, рівний 30°? За який час кулька здійснює один оберт?




Виконаємо рисунок, на якому покажемо сили, що діють на вантаж, і прискорення руху вантажу. Виберемо осі системи координат так, як вказано на рисунку 3.4. Напишемо рівняння II закону Ньютона:

$$\vec{F}_н + m\vec{g} = m\vec{a}_ц$$

Спроектуємо це рівняння на осі системи координат:

$$\begin{cases} F_н sin\alpha = ma_ц \\ F_н cos\alpha - mg = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} F_н sin\alpha = ma_ц \\ F_н cos\alpha = mg \end{cases}$$

Поділимо перше рівняння на друге:

$$tg\alpha = \frac{a_ц}{g}$$

Врахуємо, що доцентрове прискорення дорівнює: Рис. 3.4

$$a_ц = \frac{v^2}{R}, \quad \text{де} \quad R = l \cdot sin\alpha.$$

$$tg\alpha = \frac{v^2}{g \cdot l \cdot sin\alpha}, \qquad \text{звідки} \quad v = \sqrt{g \cdot l \cdot sin\alpha \cdot tg\alpha}.$$

Час одного оберту:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi l sin\alpha}{v}.$$

Обчислення дають: $v = 13 \frac{м}{с}$ , $T = 0{,}145\ c$.

4. Рух зв’язаних тіл

В задачах на рух зв’язаних тіл для кожного з тіл слід написати рівняння другого закону Ньютона, обрати осі систем координат (системи можуть бути різними або однаковими) та спроектувати рівняння на осі обраної системи координат. Одержані рівняння можуть бути доповнені виразами, що встановлюють зв’язки між величинами, які входять в рівняння другого закону Ньютона (кінематичні рівняння, вирази для сили тертя, сили пружності, сили тяжіння тощо). Далі розв’язують систему рівнянь.

При розв’язуванні задач блоки вважають невагомими, тертя в блоках відсутнє, нитки, якими зв’язані вантажі, невагомими і нерозтяжними.

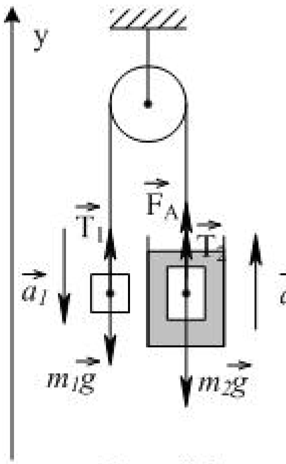


Рис. 4.1

4.1. [3] Блок з алюмінієвими важками масами $m_1$ = 0,6 кг і $m_2$ = 1 кг підвішений над посудиною (див. рис. 4.1). Визначте густину рідини, якщо важки рухаються з прискоренням 0,2 м/с$^2$. Опором рідини можна знехтувати.

З умови задачі невідомо, в яку сторону рухаються важки, тому доведеться розглянути два варіанта. Припустимо спочатку, що перший важок рухається вниз, а другий – угору, як показано на рис. 4.1. На рисунку показуємо сили, що діють на обидва важки, і прискорення, з яким вони рухаються. Рівняння другого закону Ньютона для обох важків мають вид:

$$\begin{cases} \vec{T}_1 + m_1\vec{g} = m_1\vec{a}_1 \\ \vec{T}_2 + \vec{F}_A + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}_2 \end{cases}$$

Спроектуємо ці рівняння на вісь Оу. Врахуємо, що модулі $T_1 = T_2$ (блок невагомий, тертя відсутнє) і $a_1 = a_2$ (нитка нерозтяжна). Додамо до цих рівнянь вираз для сили Архімеда і $m_2$ представимо як добуток густини алюмінію на об’єм важка:

$$\begin{cases} T - m_1 g = -m_1 a \\ T + F_A - m_2 g = m_2 a \\ F_A = \rho_{\text{р}} V g \\ m_2 = \rho_{Al} V \end{cases}$$

Розв’яжемо цю систему рівнянь:

$$\begin{cases} T = m_1(g - a) \\ T + \rho_{\text{р}} V g - m_2 g = m_2 a \\ V = \frac{m_2}{\rho_{Al}} \end{cases} \qquad m_1(g-a) + \rho_{\text{р}} \cdot \frac{m_2}{\rho_{Al}} \cdot g - m_2 g = m_2 a\ .$$

$$\rho_{\text{р}} \cdot \frac{m_2}{\rho_{Al}} \cdot g = m_2 a + m_2 g - m_1(g-a)$$

$$\rho_{\text{р}} = \frac{m_2(g+a) - m_1(g-a)}{m_2 g} \cdot \rho_{Al}$$

$$\rho_{\text{р}} = \frac{1\ \text{кг}\left(9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 0{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) - 0{,}6\ \text{кг}\left(9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} - 0{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)}{1\text{кг} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \cdot 2700\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1168\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\ .$$

Проаналізувавши другу ситуацію, коли важки рухаються в протилежну сторону, бачимо, що змінилося лише напрям прискорення, тобто проекція прискорення в попередніх рівняннях змінить знак:

$$\rho_{\text{р}} = \frac{1\ \text{кг}\left(9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} - 0{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right) - 0{,}6\ \text{кг}\left(9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 0{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)}{1\text{кг} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \cdot 2700\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 992\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\ .$$

Отже, густина рідини може дорівнювати $1168\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ або $992\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

4.2. [4]. Брусок масою 400 г під дією вантажу масою 100 г (рис. 4.2), рухаючись зі стану спокою, проходить за 2 с шлях 80 см. Визначте коефіцієнт тертя.

Вкажемо на рисунку сили, що діють брусок і вантаж (рис. 4.2). З умови задачі випливає, що тіла рухаються з прискоренням; вважатимемо прискорення сталим.

Рівняння другого закону Ньютона мають вид:

$$\vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + \vec{T}_1 + m_1\vec{g} = m_1\vec{a}_1$$

$$\vec{T}_2 + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}_2$$

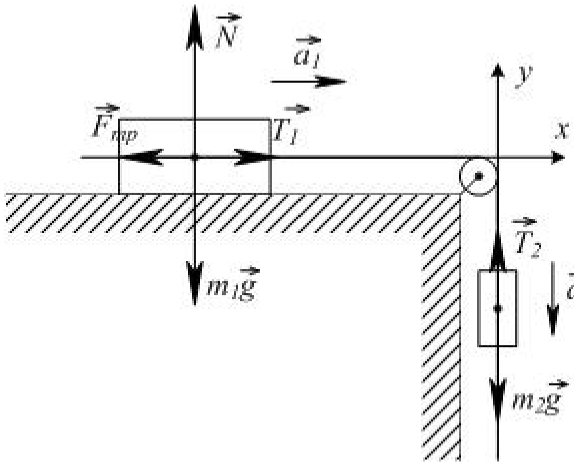



Рис. 4.2

Проектуємо ці рівняння на осі системи координат. Врахуємо також, що модулі сил натягу і прискорень однакові ($T_1 = T_2 = T,\ \ a_1 = a_2 = a$):

$$\begin{cases} -F_{\text{тр}} + T = m_1 a \\ N - m_1 g = 0 \\ T - m_2 g = m_2 a \end{cases}$$

Прискорення знайдемо з виразу для модуля переміщення в рівноприскореному русі:

$$s = \frac{at^2}{2}\ ;\ a = \frac{2s}{t^2}\ .$$

Обчислення дає для прискорення значення $a = 0{,}4\ \text{м/с}^2$.

З виразу для сили тертя одержимо:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N\ ;\ \ \mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}\ .$$

З системи рівнянь знаходимо:

$$F_{\text{тр}} = T - m_1 a\ ;\ \ N = m_1 g\ ;\ \ T = m_2 g + m_2 a = m_2(g + a)\ .$$

Підставимо одержані співвідношення у вираз для коефіцієнта тертя:

$$\mu = \frac{T - m_1 a}{m_1 g} = \frac{m_2(g + a) - m_1 a}{m_1 g}\ .$$

Обчислення дає значення μ (вважаємо $g = 10\text{м/с}^2$ ):

$$\mu = 0{,}22\ .$$

Література

1. Балаш В. А. Задачи по физике и методы их решения : Пособие для учителя. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Просвещение, 1983. – 432 с., ил.
2. Засекіна Т. М. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом В. М. Локтєва) : підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти / Т. М. Засєкіна, Д. О. Засєкін. – К. : УОВЦ «Оріон», 2018. – 304 с. :іл.
3. Збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики / І. М. Гельфгат, В. Я. Колебошин, М. Г. Любченко, В. Л. Манакін, І. Ю. Ненашев, Ю. О. Селезньов, О. В. Хоменко. – Харків : «Гімназія», 2007. – 80 с.
4. Римкевич А. П. Збірник задач з фізики для 9 – 11 класів середньої школи / А. П. Римкевич. – 12-те вид. – Х. : 2006. – 208 с.
5. Ржепецький В. Кінематика руху тіл під дією сили тяжіння / В. Ржепецький, М. Слюсаренко, Л. Балабаева // Фізика в школах України : Науково-методичний журнал. – Харків, Основа, 2019. - № 15-16. – С. 55-59.
6. Fizyka-ZNO_2017-Zoshyt_1.
7. Fizyka-ZNO_2018-Zoshyt_1.
8. Fizyka-ZNO_2019-Zoshyt_1.