

Урок 23 Сила пружності. Вага тіла

Мета уроку:

Навчальна. Поглибити знання про деформацію, природу сил пружності; формувати знання про вагу тіла, невагомість і перенавантаження.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Що відбудеться якщо:

- на пружинний амортизатор подіяти з певною силою? (під дією сили пружина стиснеться (розтягнеться) – її довжина зменшиться (збільшиться))
- пом'яти в руці шматочок пластиліну? (зміниться його форма)
- натягти тятиву лука? (одночасно зміняться її розміри та форма)

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Деформація. Види деформації

Деформація – це зміна форми та (або) розмірів тіла.

Проблемне питання

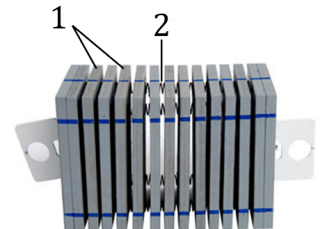
- Яка причина виникнення деформації?

Причина виникнення деформації полягає в тому, що під дією сил, прикладених до тіла, його різні частини рухаються по-різному й у результаті частини тіла зміщуються одна відносно одної.

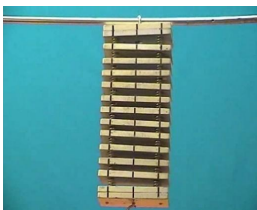
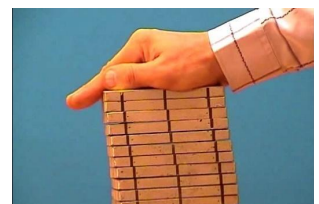
За характером зміщення частин тіла одна відносно одної розрізняють деформації *стиснення*, *розтягнення*, *зсуву*, *вигину*, *кручення*.

Для описання різних видів деформацій скористаємося *механічною моделлю твердого тіла*:

- 1 – паралельні пластини, що імітують шари молекул у твердому тілі;
- 2 – пружини, що з'єднують пластини й імітують взаємодію між молекулами.



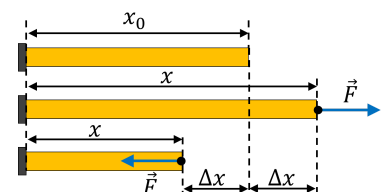
Деформація стиснення. При стисканні твердого тіла зміщуються в напрямку дії сили шари його молекул, у результаті чого розміри тіла зменшуються. Її зазнають *стовпи, ніжки столів і стільців, фундаменти будинків*.



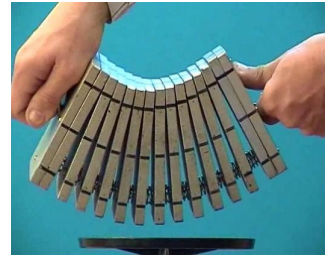
Деформація розтягнення. Якщо ж тіло розтягувати, то під дією руки відстань між шарами молекул збільшиться і тіло знову змінить свої розміри. Її зазнають *троси, канати, ланцюги в піднімальних пристроях, стяжки між вагонами*.

Видовження Δx – це фізична величина, яка дорівнює зміні довжини тіла при деформації розтягнення або стиснення:

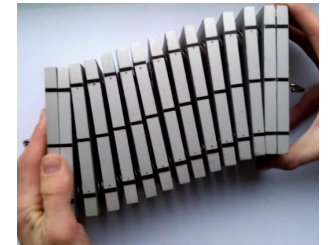
$$\Delta x = x - x_0$$



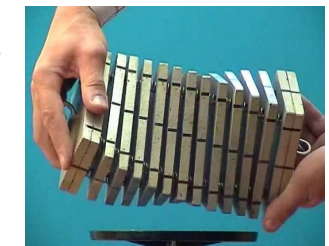
Деформація вигину (водночас деформація розтягнення та стиснення). На опуклому боці тіла відстань між шарами молекул збільшується, тобто ця частина тіла зазнає деформації розтягнення. На ввігнутому боці тіла відстань між шарами молекул зменшується – ця частина тіла зазнає деформації стиснення. Середні шари не зазнають ані розтягнення, ані стиснення, а отже, не впливають на міцність конструкції. Саме тому зазвичай їх видаляють, замінюючи *стрижні порожніми трубами* (рама велосипеда, трубчасті кінцівки кісток, трубчасті стебла злаків).



Деформація зсуву. Шари молекул зсунуться один відносно одного, а саме тіло змінює свою форму. Її зазнають *цвяхи та болти, які скріплюють частини різних конструкцій; тканина, яку розрізають ножицями*.



Деформація кручення. Зсув шарів молекул відбуватиметься неоднаково – кожний шар буде повертатися на певний кут відносно іншого шару. Її зазнають *вали всіх машин, гвинти, ключі, викрутки*.



Пружні деформації – це деформації, які повністю зникають після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

Пластичні деформації – це деформації, які зберігаються після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

2. Сила пружності. Закон Гука

Сила пружності $\vec{F}_{\text{пруж}}$ – це сила, яка виникає під час деформації тіла і намагається повернути тіло в недеформований стан.

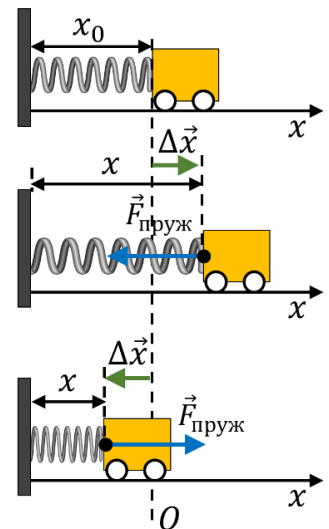
Закон Гука:

У разі малих пружних деформацій розтягнення або стиснення сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла:

$$\vec{F}_{\text{пруж}} = -k\Delta\vec{x}$$

k – жорсткість тіла (пружины)

Знак « $\rightarrow$ » показує, що сила пружності завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку зміщення ($\vec{F}_{\text{пруж}} \uparrow \Delta\vec{x}$).



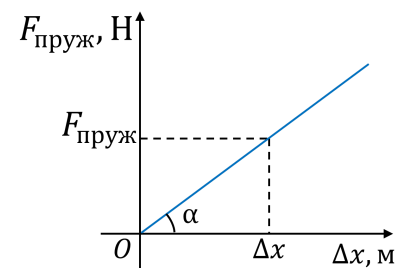
Наслідки із закону Гука:

1. Графік залежності проекції сили пружності від модуля видовження тіла – пряма, тангенс кута нахилу якої до осі абсцис дорівнює жорсткості тіла ($\alpha = \frac{F_{\text{пруж}}}{\Delta x} = k$)

2. Одиниця жорсткості в СІ – **ньютон на метр** ($\frac{\text{Н}}{\text{м}}$)

3. Жорсткість – це характеристика тіла, тому вона не залежить ані від сили пружності, ані від видовження тіла.

4. Жорсткість залежить: від пружних властивостей матеріалу, з якого виготовлене тіло; від форми тіла та його розмірів.



3. Природа сил пружності

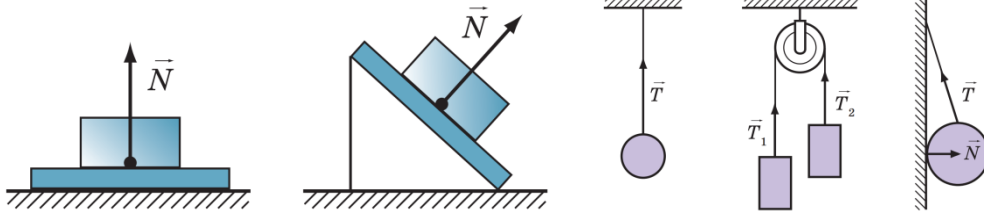
Всі тіла складаються з атомів (молекул, йонів), а ті, у свою чергу, – з ядра, яке має позитивний заряд, і електронної хмари, заряд якої негативний. Між зарядженими складниками частинок речовини існують сили електромагнітного притягання та відштовхування.

Якщо тіло не деформоване, сили притягання дорівнюють силам відштовхування. Під час деформації взаємне розташування частинок у тілі змінюється. Якщо відстань між частинками збільшується, то електромагнітні сили притягання стають більшими, ніж сили відштовхування, і частинки починають притягуватися одна до одної. Якщо відстань між частинками зменшується, то більшими стають сили відштовхування. Інакше кажучи, частинки речовини «прагнуть» повернутися до стану рівноваги. Таким чином, сила пружності – результат електромагнітної взаємодії частинок речовини.

4. Деякі види сил пружності

Сили пружності, які для позначення мають інші символи:

- сила нормальної реакції опори $\vec{N}$
- сила натягу підвісу $\vec{T}$



5. Вага тіла

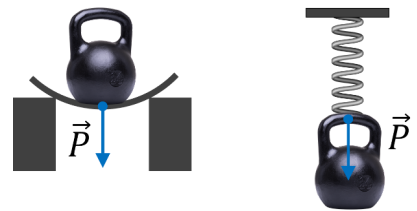
Вага тіла $\vec{P}$ – це сила пружності, з якою внаслідок притягання до Землі тіло діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс.

Вага прикладена до опори або підвісу.

У СІ одиниця ваги – **ньютон** (Н)

Якщо тіло перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, то його вага за значенням дорівнює силі тяжіння й збігається з нею за напрямком.

$$\vec{P} = m\vec{g}$$



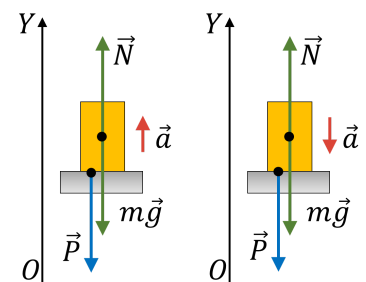
Вага тіла, що рухається з прискоренням:

1) Прискорення направлене вертикально вгору.

$$m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$$

$$OY: -mg + N = ma$$

$$N = m(g + a)$$



Відповідно до III закону Ньютона: $P = N$

$$P = m(g + a) > mg$$

2) Прискорення направлене вертикально вниз: $P = m(g - a) < mg$

Проблемне питання

• Поясніть слова зі спогадів Ю. О. Гагаріна: «Я відчув, що якась нездоланна сила дедалі більше втискає мене в крісло. І хоч воно було розташоване так, щоб максимально зменшити вплив велетенської ваги, яка навалилася на моє тіло, було важко ворухнути рукою й ногою».

Перевантаження – це збільшення ваги тіла.

Коефіцієнт перевантаження:

$$n = \frac{a}{g}$$

Проблемне питання

- Чи може вага дорівнювати нулю?

Стан невагомості – це стан тіла, за якого вага тіла дорівнює нулю.

У стані невагомості не тільки тіло не тисне на опору, але й окремі частини тіла не тиснуть одна на одну. Космонавт на орбіті (пригадайте: на орбіті космічний корабель рухається тільки під дією сили тяжіння) не відчуває своєї ваги, предмет, випущений з його рук, нікуди не падає. Причина цих явищ у тому, що сила тяжіння надає тілу, яке вільно падає, будь-якій його частині та усім предметам навколо однакового прискорення.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. До пружини, що має жорсткість 15 кН/м, підвісили тягарець масою 6 кг. На скільки видовжилася пружина?

Дано:

$$k = 15 \frac{\text{кН}}{\text{м}} = 15 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$m = 6 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta x = ?$$

Розв'язання

За третім законом Ньютона, тіла діють з однаковими за модулем силами:

$$F_{\text{пруж}} = F_{\text{тяж}} \quad k\Delta x = mg$$

$$\Delta x = \frac{mg}{k} \quad [\Delta x] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}}}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м}$$

$$\Delta x = \frac{6 \cdot 10}{15 \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Відповідь: $\Delta x = 4 \text{ мм}$.

2. Визначте вагу кулі масою 12 кг, коли вона вертикально падає з прискоренням 4 м/с².

Дано:

$$m = 12 \text{ кг}$$

$$a = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$P = ?$$

Розв'язання

Прискорення направлене вертикально вниз: $P = m(g - a)$

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

$$P = 12 \cdot (10 - 4) = 72 \text{ (Н)}$$

Відповідь: $P = 72 \text{ Н}$.

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

Дано:

$$m = 75 \text{ кг}$$

$$v = 540 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 150 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$r = 500 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Розв'язання

За II законом Ньютона: $m\vec{a}_{\text{дц}} = \vec{N} + m\vec{g}$

$$OY: m a_{\text{дц}} = N - mg$$

$$N = m(g + a_{\text{дц}}) = m\left(g + \frac{v^2}{r}\right)$$

За III законом Ньютона:

$P = ?$

$$P = N = m \left(g + \frac{v^2}{r} \right)$$

$$P = 75 \cdot \left(10 + \frac{150^2}{500} \right) = 4125 \text{ (H)}$$

Відповідь: $P = 4125 \text{ Н.}$

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Що таке деформація? У чому причина її виникнення?
2. Які види деформацій ви знаєте?
3. Які деформації називають пружними? пластичними? Наведіть приклади.
4. Дайте визначення сили пружності. Як напрямлена ця сила?
5. Сформулюйте закон Гука. Які межі його застосування?
6. Від чого залежить жорсткість тіла? Яка її одиниця в СІ?
7. Яку силу називають силою нормальної реакції опори? силою натягу підвісу? Як напрямлені ці сили?
8. Що таке вага? Чим вага тіла відрізняється від сили тяжіння?
9. Що таке перевантаження? Що таке невагомість?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 12, Вправа № 12 (1, 4)

Додаткові задачі

1. Дві пружини мають жорсткість 800 Н/м та 500 Н/м. Яку жорсткість матиме така система, якщо пружини з'єднані: а) паралельно; б) послідовно?

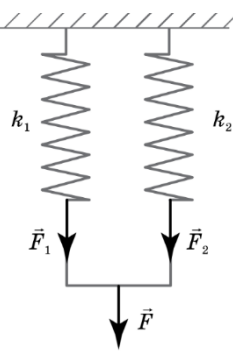
Дано:

$$k_1 = 800 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$k_2 = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$k = ?$$

Розв'язання



а) Паралельне з'єднання

$$F = F_{\text{пруж}} = k\Delta x$$

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x$$

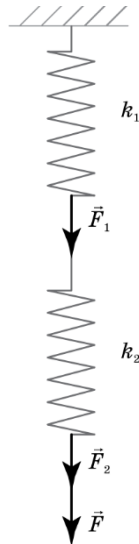
$$F = F_1 + F_2$$

$$k\Delta x = k_1\Delta x + k_2\Delta x$$

$$k = k_1 + k_2$$

$$k = 800 \frac{\text{Н}}{\text{м}} + 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 1300 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Відповідь: $k = 1300 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.



б) Послідовне з'єднання

$$F = F_{\text{пруж}} = k\Delta x$$

$$F_1 = F_2 = F$$

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

$$\frac{F}{k} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2} \Rightarrow \frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} \quad [k] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}} + \frac{\text{Н}}{\text{м}}} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$k = \frac{800 \cdot 500}{800 + 500} \approx 30,8 \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}} \right)$$

Відповідь: $k = 1300 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

2. 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?

Дано:

$$x_1 = 8 \text{ см}$$

$$= 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$F_1 = 12 \text{ Н}$$

$$x_2 = 14 \text{ см}$$

$$= 14 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Розв'язання

$$F = F_{\text{пруж}} = k\Delta x$$

$$F_1 = k(x_0 - x_1)$$

$$F_2 = k(x_2 - x_0)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_0}$$

$$F_1 x_2 - F_1 x_0 = F_2 x_0 - F_2 x_1$$

$$F_2 = 18 \text{ Н}$$

$$x_0 = ?$$

$$F_1 x_0 + F_2 x_0 = F_1 x_2 + F_2 x_1$$

$$x_0 = \frac{F_1 x_2 + F_2 x_1}{F_1 + F_2}$$

$$[x_0] = \frac{H \cdot m + H \cdot m}{H + H} = m$$

$$x_0 = \frac{12 \cdot 14 \cdot 10^{-2} + 18 \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{12 + 18} = 10,4 \cdot 10^{-2} (\text{м})$$

Відповідь: $x_0 = 10,4 \text{ см.}$

3. 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.

Дано:

$$m = 50 \text{ г}$$

$$= 5 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$r = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$$

$$n = 3 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

$$k = 620 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\Delta x = ?$$

Розв'язання

За II законом Ньютона:

$$F = ma_{\text{дц}} \quad a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r^2 n^2}{r} = 4\pi^2 n^2 r$$

За III законом Ньютона:

$$F = F_{\text{пруж}} = k\Delta x$$

$$4\pi^2 n^2 m r = k\Delta x$$

$$\Delta x = \frac{4\pi^2 n^2 m r}{k}$$

$$[\Delta x] = \frac{\frac{1}{\text{с}^2} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{Н} \cdot \text{с}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{с}^2} = \text{м}$$

$$\Delta x = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,25}{620} \approx 0,007 (\text{м})$$

Відповідь: $\Delta x \approx 7 \text{ мм.}$

4. 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.

Дано:

$$r = 80 \text{ м}$$

$$v = 36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m = 80 \text{ кг}$$

$$\Delta P = ?$$

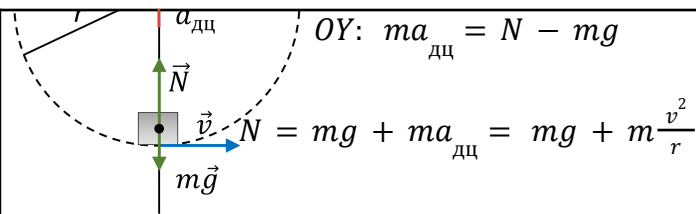
Розв'язання

$$\Delta P = P - P_0$$

$$P_0 = mg$$

За II законом Ньютона:

$$ma_{\text{дц}} = \vec{N} + m\vec{g}$$



$$OY: ma_{\text{дц}} = N - mg$$

$$N = mg + ma_{\text{дц}} = mg + m \frac{v^2}{r}$$

За III законом Ньютона:

$$P = N = mg + m \frac{v^2}{r}$$

$$\Delta P = mg + m \frac{v^2}{r} - mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$[\Delta P] = \text{кг} \cdot \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{м}} = \text{Н} \quad \Delta P = 80 \cdot \frac{10^2}{80} = 100 \text{ (Н)}$$

Відповідь: $\Delta P = 100 \text{ Н}$.

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

Дано:

$$r = 90 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$P = 0$$

$$v = ?$$

Розв'язання

За II законом Ньютона: $m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{дц}}$

$$OY: mg = ma_{\text{дц}}$$

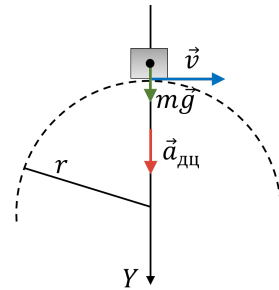
$$g = a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{gr}$$

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

$$v = \sqrt{10 \cdot 90} = 30 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $v = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



6. Два однакові поїзди рухаються по екватору назустріч один одному зі швидкістю 30 м/с. Визначте різницю у вазі цих поїздів, якщо маса кожного з них дорівнює 1000 т.

Дано:

$$v = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m = 1000 \text{ т} = 10^6$$

$$R_3 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$T = 24 \text{ год}$$

$$= 8,64 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$\Delta P = ?$$

Розв'язання

Поїзд, що рухається в сторону руху Землі:

$$v_{\text{за}} = v + v_3 \quad v_3 = \frac{2\pi R_3}{T}$$

$$a_{\text{дц за}} = \frac{v_{\text{за}}^2}{R_3} = \frac{\left(v + \frac{2\pi R_3}{T}\right)^2}{R_3}$$

$$P_{\text{за}} = m(g + a_{\text{дц за}}) = m \left(g + \frac{\left(v + \frac{2\pi R_3}{T}\right)^2}{R_3} \right)$$

Аналогічно, для того, хто проти:

$$v_{\text{пр}} = v - v_3 \quad a_{\text{дц пр}} = \frac{v_{\text{пр}}^2}{R_3} = \frac{\left(v - \frac{2\pi R_3}{T}\right)^2}{R_3}$$

$$P_{\text{пр}} = m(g - a_{\text{дц пр}}) = m\left(g - \frac{\left(v - \frac{2\pi R_3}{T}\right)^2}{R_3}\right)$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{\text{за}} - P_{\text{пр}} = m\left(g + \frac{\left(v + \frac{2\pi R_3}{T}\right)^2}{R_3} - g + \frac{\left(v - \frac{2\pi R_3}{T}\right)^2}{R_3}\right) \\ &= \frac{m}{R_3}\left(v^2 + 4v\frac{\pi R_3}{T} + \left(\frac{2\pi R_3}{T}\right)^2 + v^2 - 4v\frac{\pi R_3}{T} + \left(\frac{2\pi R_3}{T}\right)^2\right) = \\ &= \frac{m}{R_3}\left(2v^2 + 2\left(\frac{2\pi R_3}{T}\right)^2\right) = \frac{2m}{R_3}\left(v^2 + \left(\frac{2\pi R_3}{T}\right)^2\right)\end{aligned}$$

$$[\Delta P] = \frac{\text{кг}}{\text{м}} \cdot \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}\right) = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$$

$$\Delta P = \frac{2 \cdot 10^6}{6,4 \cdot 10^6} \cdot \left(30^2 + \left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,4 \cdot 10^6}{8,64 \cdot 10^4}\right)^2\right) \approx 67900 \text{ (Н)}$$

Відповідь: $\Delta P \approx 67,9 \text{ кН}$.