

**Фізика – наука, що
вивчає загальні
властивості і закони
руху речовини і поля.**

А.Ф. Іоффе



Викладачі:

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри фізики

Бурдейна Наталія Борисівна,

асистент кафедри фізики

Петруньок Тетяна Броніславівна

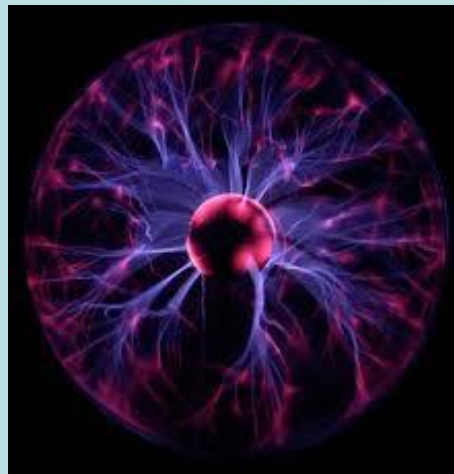
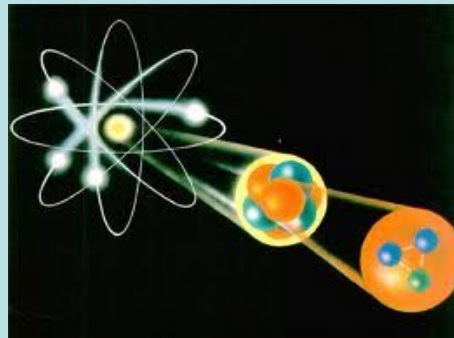
Лекція №1. Основи механіки

1. Предмет механіки
2. Кінематика поступального та обертального руху
3. Динаміка поступального руху. Імпульс. Закон збереження імпульсу
4. Динаміка обертального руху. Закон збереження моменту імпульсу
5. Основи статички. Умови рівноваги твердого тіла
6. Енергія, робота та потужність. Закон збереження енергії

Фізика (від грец. *φύσις* природа) – наука, що вивчає найпростіші і разом з тим найбільш загальні закономірності явищ природи, властивості і будову матерії та закони її руху.

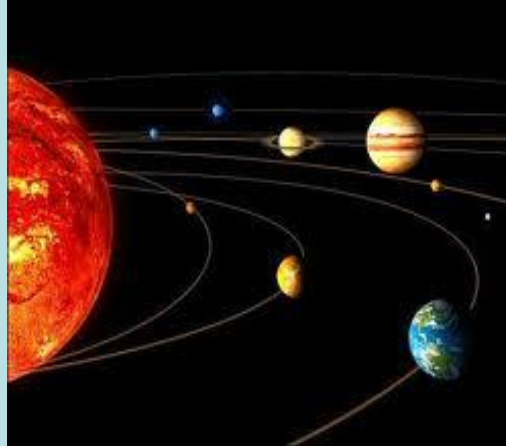


Матерія – це фундаментальне фізичне поняття, пов'язане з усіма об'єктами, що існують у природі та сприймаються людиною через відчуття, проявляється у вигляді речовини і поля.



Невід'ємною властивістю і формою існування матерії є рух.

Рух – це різноманітні форми зміни матерії (від простого переміщення до складних процесів мислення).



1. Предмет механіки.

Механіка – це розділ фізики, який вивчає найбільш просту і найбільш загальну форму руху матерії – механічний рух.

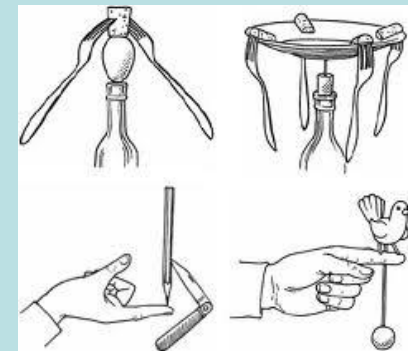
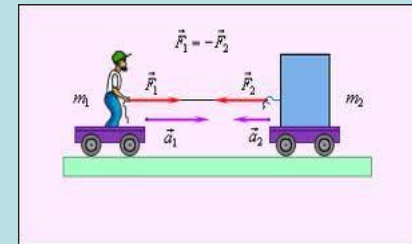
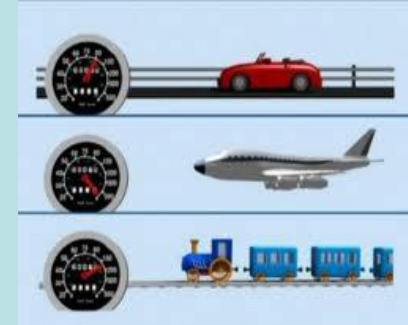


Під механічним рухом тіла розуміють зміну положення тіла (або його частин) в просторі і часі по відношенню до інших тіл (або інших частин тіла).



Механіку поділяють на три частини, це:

- **кінематика** – вивчає рух тіл без виявлення причин, що його зумовили;
- **динаміка** – вивчає закони руху тіл і причини, що зумовили цей рух;
- **статика** – вивчає закони рівноваги тіл або системи тіл (більш детально вивчається у курсі теоретичної механіки).



2. Кінематика поступального та обертального руху

Положення тіла визначають відносно якого-небудь іншого, довільно вибраного тіла – *тіла відліку*.

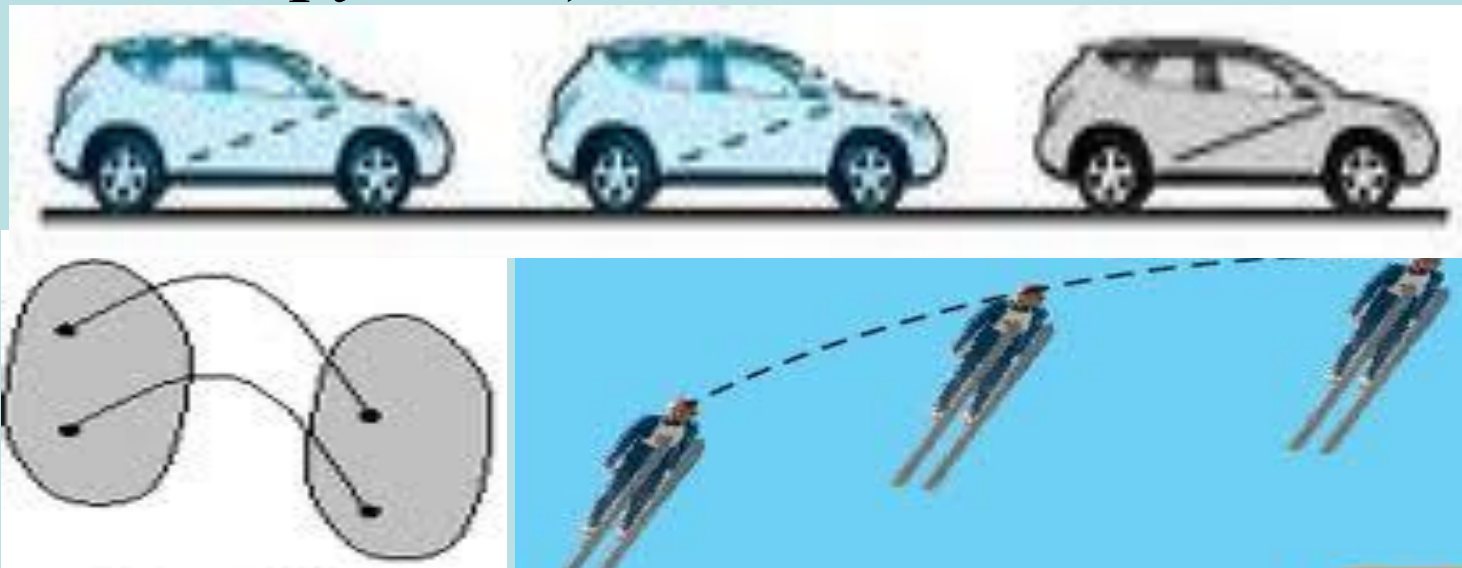
Сукупність просторової системи координат і годинника, пов'язаних з тілом відліку, називають *системою відліку*.

Система відліку



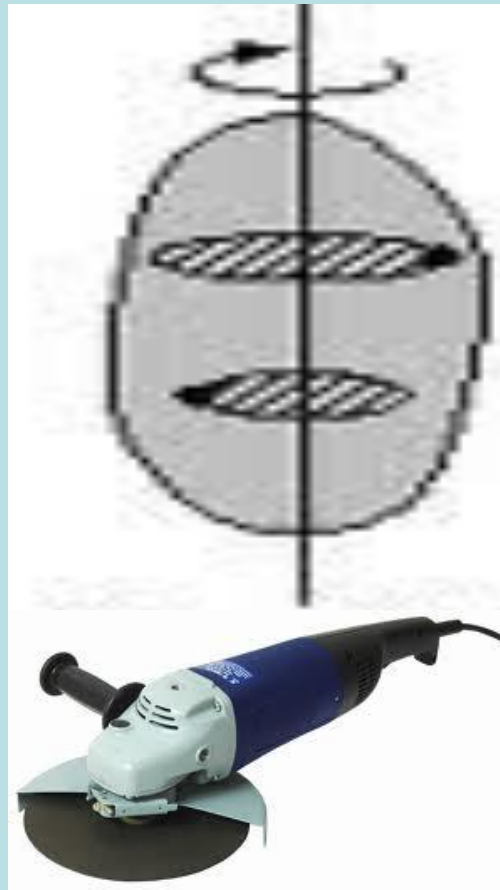
Будь-який складний механічний рух абсолютно твердого тіла являє собою сукупність двох рухів – поступального та обертального.

Поступальний рух – рух абсолютно твердого тіла (АТТ), при якому пряма лінія, що сполучає дві довільні точки тіла, залишається паралельною самої собі, тобто всі точки тіла описують паралельні траєкторії та мають однакові швидкості і прискорення в даний момент часу (рух АТТ можна розглядати як рух МТ).



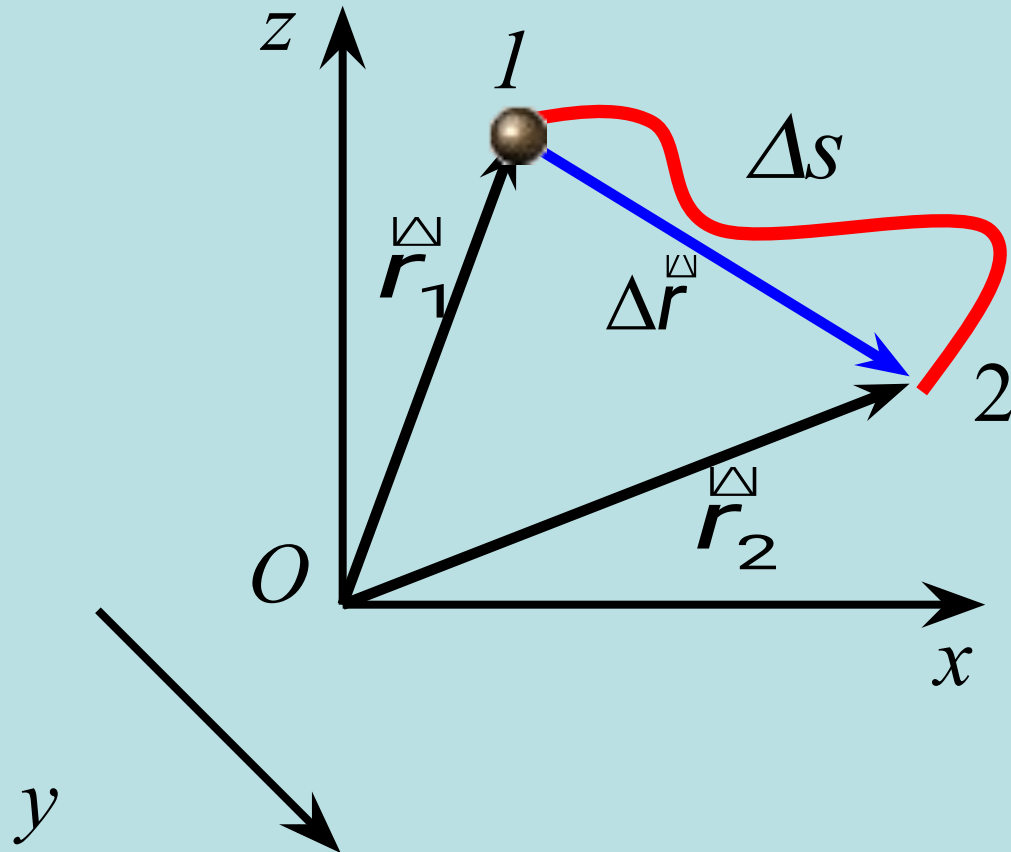
Обертальний рух – рух абсолютно твердого тіла (АТТ), при якому всі точки тіла описують траєкторії у вигляді концентричних кіл, центри яких лежать на одній прямій, яку називають *віссю обертання*.

Площини, в яких знаходяться кола, є паралельними між собою та перпендикулярними до осі обертання.





При вивченні руху тіл, найбільш часто використовують декартову прямокутну систему координат. Положення точки у просторі в декартовій системі координат визначають трьома координатами x , y , z або радіус-вектором \vec{r} , проведеним з початку координат у дану точку (на рисунку, наприклад, \vec{r}_1 – радіус-вектор точки 1).



Рух точки в просторі описують рівнянням руху, характеризують переміщенням, швидкістю і прискоренням.

Рівняння руху – математичний вираз, який чітко дозволяє визначити місцеположення тіла у просторі в даний момент часу:

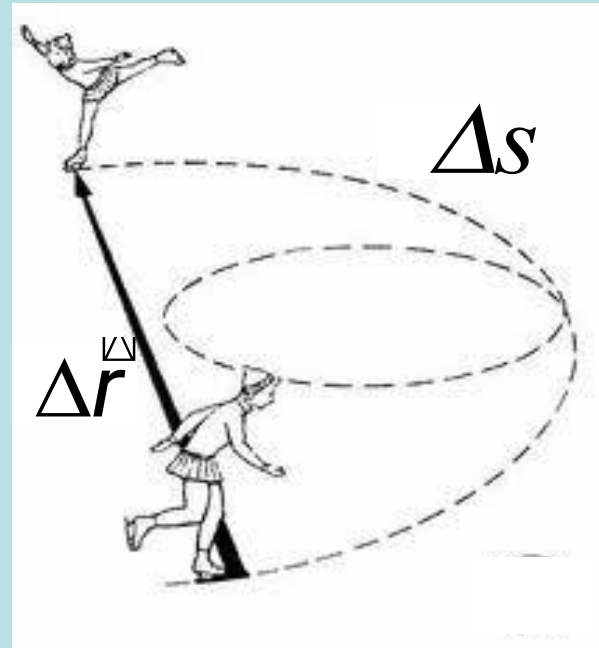
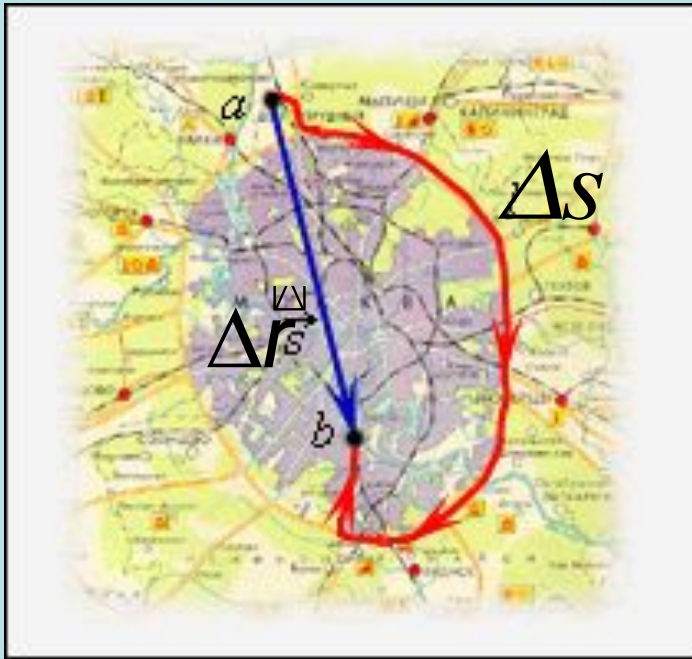
$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\}, \quad \text{або} \quad \underline{r} = \underline{r}(t).$$

Рівняння поступального руху:

$$\underline{r}(t) = \underline{r}_0 + \underline{v}_0 t + \frac{\underline{a}_0 t^2}{2}.$$

Переміщення $\Delta \vec{r}$ – це векторна фізична величина, що являє собою радіус-вектор, проведений із точки початку руху тіла (точка 1) у точку кінця руху (точка 2),

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}, \quad [r] = \text{м}$$



Лінію, вздовж якої тіло рухається, називають *траєкторією*.

Шлях – скалярна фізична величина, що дорівнює довжині лінії траєкторії руху тіла, $[S]=м$.





Для характеристики інтенсивності зміни тілом свого положення у просторі з часом вводять поняття швидкості.

Швидкістю називають векторну фізичну величину, що чисельно дорівнює зміні переміщення з часом:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad [v] = \frac{m}{c}.$$



Для характеристики інтенсивності зміни швидкості тіла з часом вводять поняття прискорення.

Прискорення – це векторна фізична величина, що характеризує зміну швидкості з часом:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad [a] = \frac{m}{c^2}.$$

Знаючи кінематичне рівняння руху, шляхом диференціювання за часом можна знайти швидкість і прискорення в будь-який момент часу (*пряма задача кінематики*).

Навпаки, знаючи прискорення точки, а також початкові умови (положення \vec{r}_0 і швидкість \vec{v}_0 в початковий момент часу $t_0=0$), можна знайти переміщення і траєкторію руху точки у момент часу t (*обернена задача кінематики*).

Положення в просторі абсолютно твердого тіла, що здійснює обертальний рух, визначають *кутовим переміщенням* $\Delta\varphi$ – значенням кута повороту навколо осі обертання із деякого умовно вибраного початкового положення цього тіла.

Обертання навколо нерухомої осі здійснюють ротори турбін, електричних генераторів і двигунів, колісні вали двигунів внутрішнього згоряння і т. д.



Кінематичною характеристикою напрямку і швидкості обертання тіла є кутова швидкість.

Кутовою швидкістю називають векторну величину, що чисельно дорівнює зміні кутового переміщення з часом:

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}, \quad [\vec{\omega}] = \frac{\text{рад}}{c}.$$

Кутовим прискоренням називають векторну величину, що чисельно дорівнює зміні кутової швидкості з часом:

$$\vec{\beta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \quad [\vec{\beta}] = \frac{\text{рад}}{c^2}.$$

Величини, що описують лінійні і кутові характеристики руху пов'язані між собою формулами зв'язку:

$$r = R \cdot \varphi,$$

$$v = R \cdot \omega,$$

$$a_{\tau} = R \cdot \beta,$$

$$a_n = R \cdot \omega^2.$$

Періодом обертання називають час, протягом якого тіло здійснює один повний оберт

$$T = \frac{t}{N}.$$

Оскільки тіло, що рівномірно обертається з кутовою швидкістю ω , за час T повертається на кут $\phi = 2\pi$, то

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad [T] = c.$$

Частотою обертання називають кількість обертів, що робить тіло за одиницю часу:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = 2\pi\nu, \quad [\nu] = \text{Гц}.$$

1. Динаміка поступального руху. Імпульс. Закон збереження імпульсу

Динаміка – розділ механіки, у якому розглядають закони руху тіл та причини, що його зумовили.

Закони динаміки широко використовуються фахівцями будівельної галузі при розрахунках динамічних навантажень, які виникають в процесі експлуатації будівельних споруд та враховуються при конструюванні будівельних механізмів та машин.



В основі динаміки лежать закони Ньютона, сформульовані на основі спостережень природних явищ і процесів. Вони визначають умови руху та взаємодії тіл.

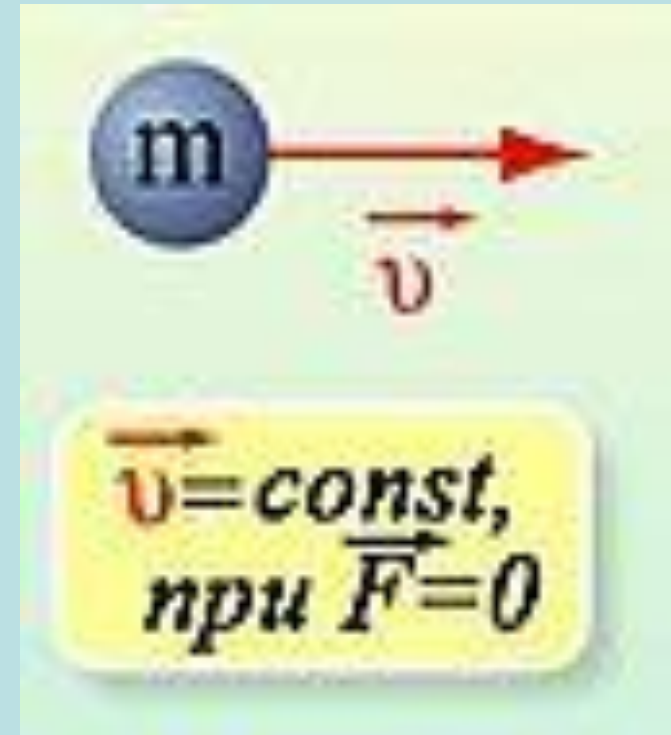


Ісаак Ньютон

Перший закон Ньютона (закон інерції):

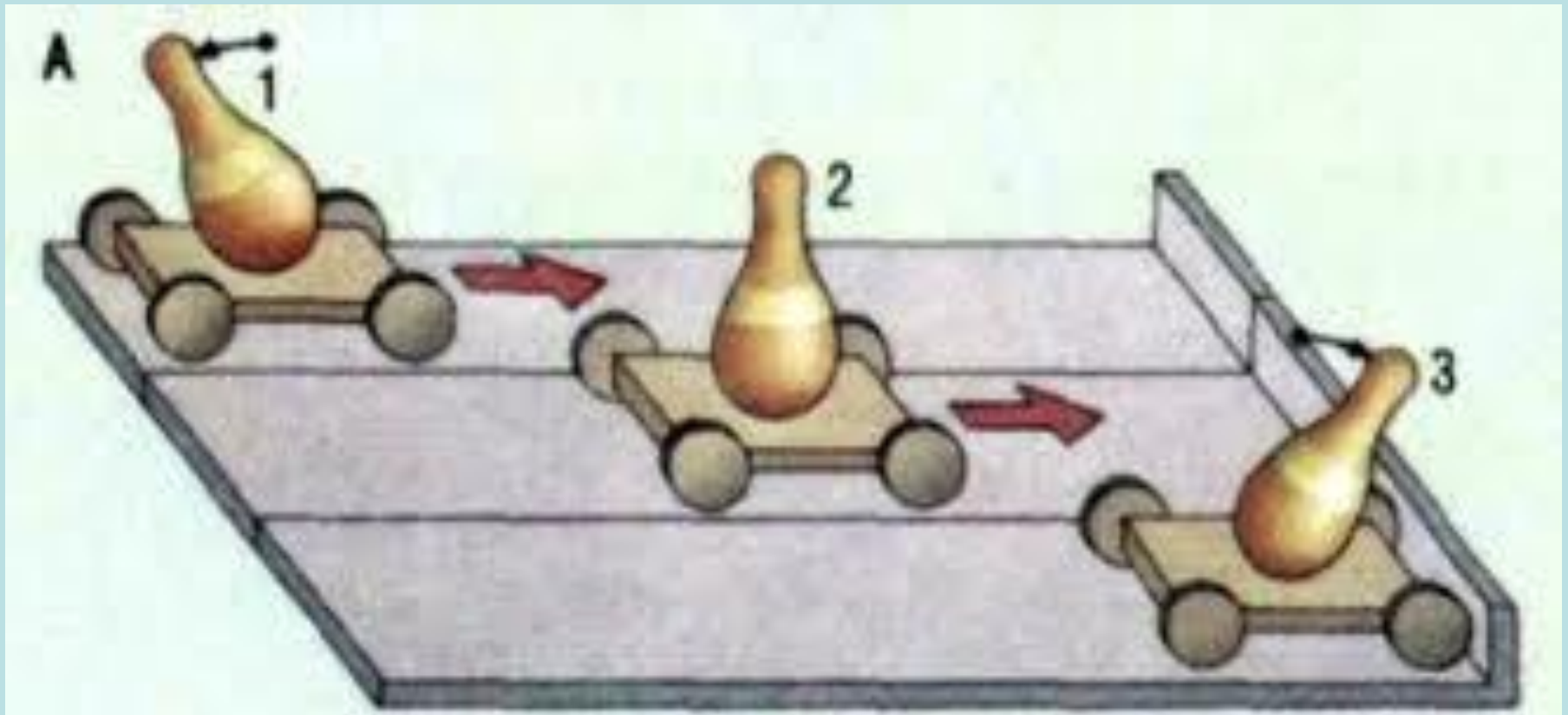
існують такі системи відліку в яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють інші тіла або дія зовнішніх тіл скомпенсована:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \vec{v} = 0 \\ \vec{v} = \text{const} \end{cases}$$

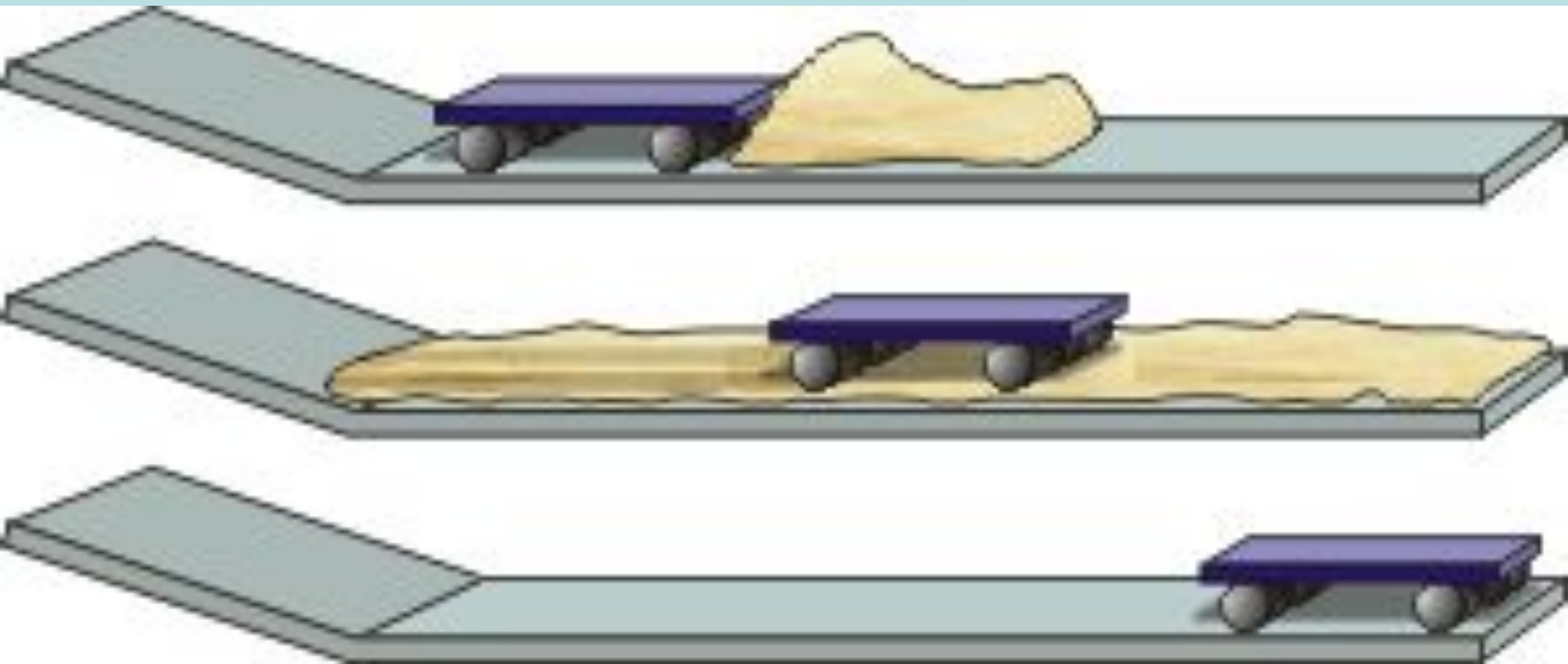


Систему відліку, в якій справджується перший закон Ньютона, називають *інерціальною*.

Властивість матеріальних тіл зберігати стан спокою чи рівномірного й прямолінійного руху називають *інерцією*.



Властивість матеріальних тіл чинити опір при спробах привести його у рух чи змінити величину або напрям його швидкості називають *інертністю*.





The diagram consists of three vertical panels. Each panel shows a brown rectangular support at the top. A black ring is attached to the bottom of the support, connected to a vertical black string. A red spherical weight is attached to the top of the string. In the first panel, the string is straight and extends to the bottom. In the second panel, a hand with a green sleeve is pulling the bottom of the string upwards. The string is straight, and the weight is slightly higher. In the third panel, the hand is pulling the string upwards more rapidly. The string is now wavy and curved, and the weight is significantly higher. The text 'тягнути повільно' is centered below the second panel, and 'тягнути різко' is centered below the third panel.

тягнути повільно

тягнути різко

Мірою інертності тіла є його *маса*.

Маса – фізична величина, яка є однією з основних характеристик матерії, що визначає її інерціальні, енергетичні та гравітаційні властивості.

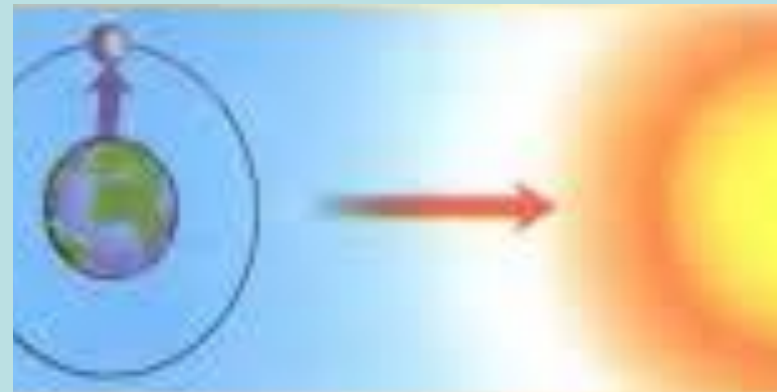
$$[m] = \text{кг}.$$

Щоб виміряти масу тіла, необхідно порівняти її з еталоном одиниці маси.



Сила – векторна фізична величина, що є кількісною мірою взаємодії двох тіл або тіла з полем, результатом чого є зміна швидкості тіла або зміна його форми та розмірів.

$$[F] = N \text{ (ньютон)}.$$

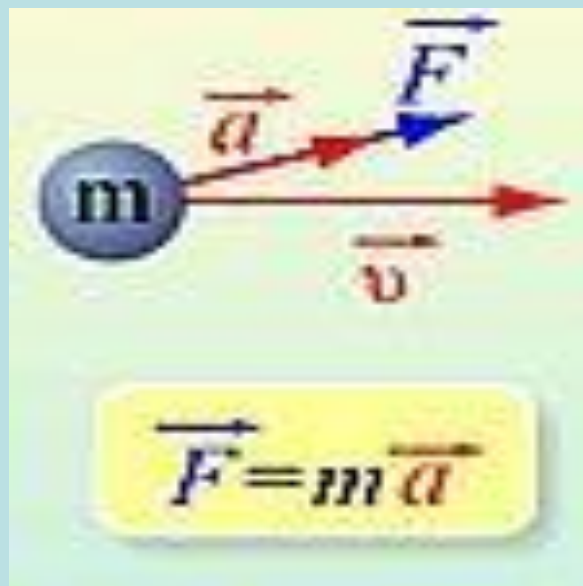


Динамометри



II закон Ньютона (умова рівноприскореного руху): прискорення, з яким рухається тіло, прямо пропорційне сумі сил, що діють на тіло і обернено пропорційне масі тіла; за напрямком вектор прискорення збігається із напрямком рівнодійної сили:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m} \quad \text{– основний закон динаміки поступального руху.}$$



Якщо маса тіла є величиною сталою, то

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$$

Добуток $\vec{p} = m\vec{v}$ називають імпульсом тіла.

Імпульсом або кількістю руху тіла називають

векторну фізичну величину, чисельно рівну добутку маси тіла на його швидкість, напрямок вектора імпульсу тіла співпадає з напрямком вектора його лінійної швидкості:

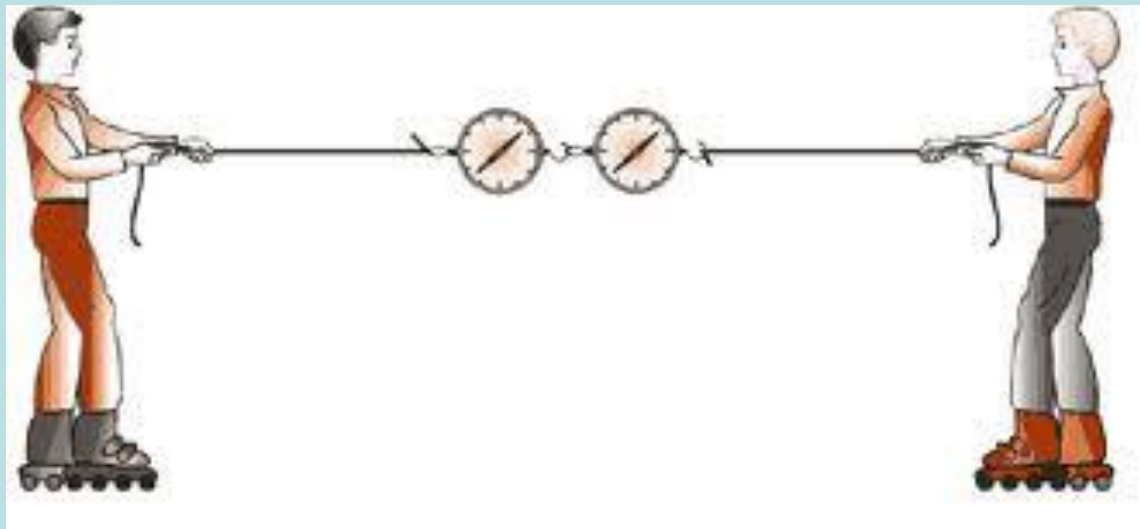
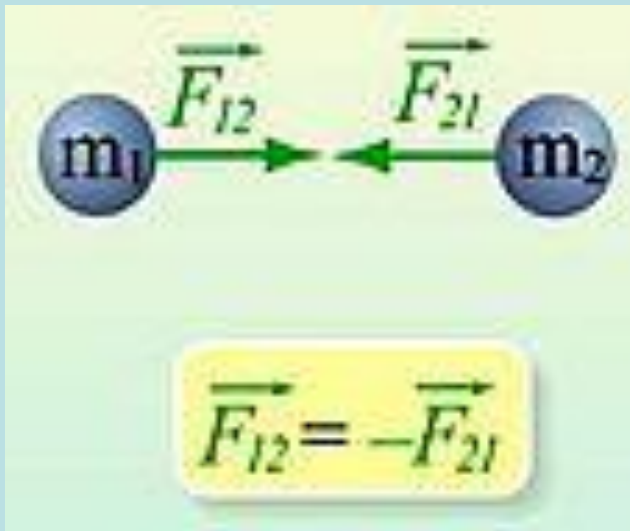
$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Тоді *II закон Ньютона (у диференціальній формі)*: в інерціальних системах відліку зміна імпульсу тіла дорівнює векторній сумі сил, що діють на дане тіло:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

III закон Ньютона (умова взаємодії тіл): усяка дія тіл одне на одне має характер взаємодії; сили, з якими тіла взаємодіють, рівні за модулем, але протилежні за напрямом і діють вздовж прямої, що з'єднує центри цих тіл:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$



Сукупність матеріальних точок (тіл), які розглядаються як єдине ціле, називають *механічною системою*.

Механічна система, в якій тіла взаємодіють між собою і на яку не діють зовнішні сили, називають *замкненою*.

Якщо система замкнена

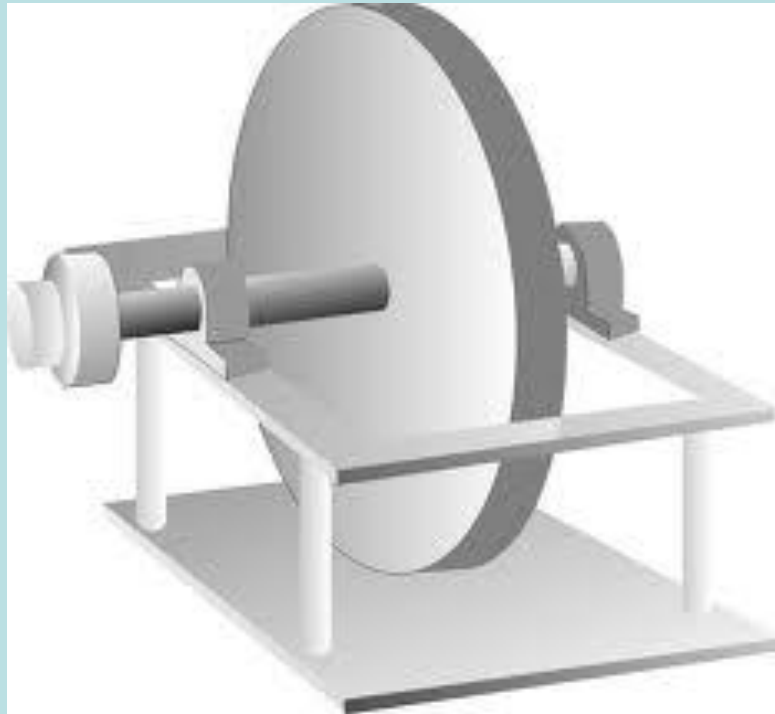
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{d}{dt}(m_i \vec{v}_i) = 0, \quad \text{то} \quad \vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const.}$$

Цей вираз називають *законом збереження імпульсу*: імпульс замкненої системи є величиною сталою, тобто не змінюється з часом.

4. Динаміка обертального руху.

Закон збереження моменту імпульсу

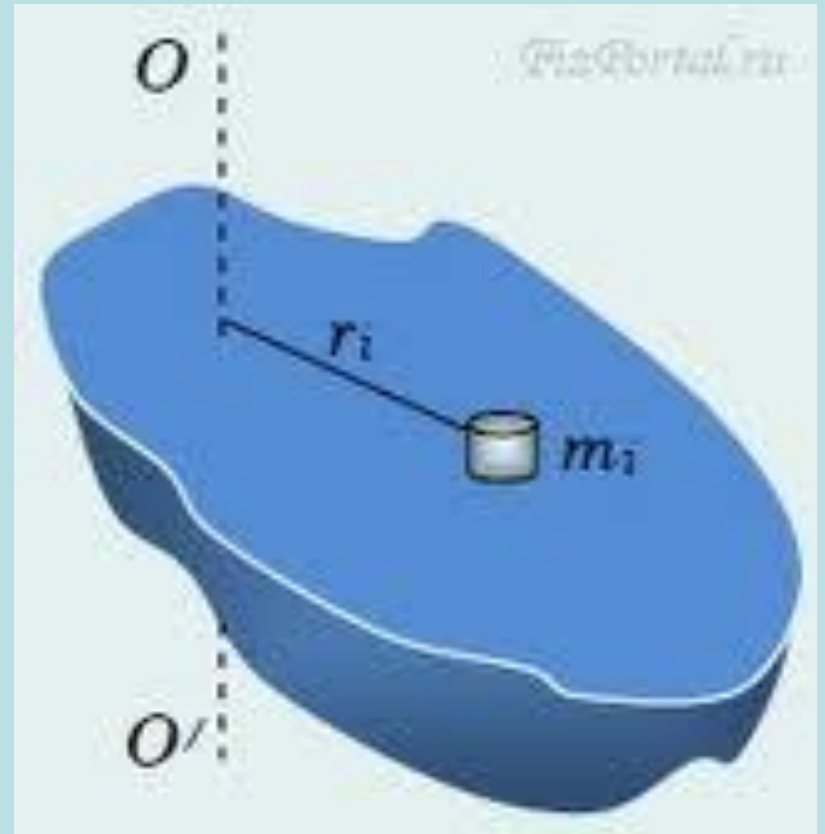
Момент інерції – скалярна фізична величина, що є мірою інерції обертального руху тіл (аналогічно масі при поступальному русі тіла).



Момент інерції точки дорівнює

$$I = mr^2.$$

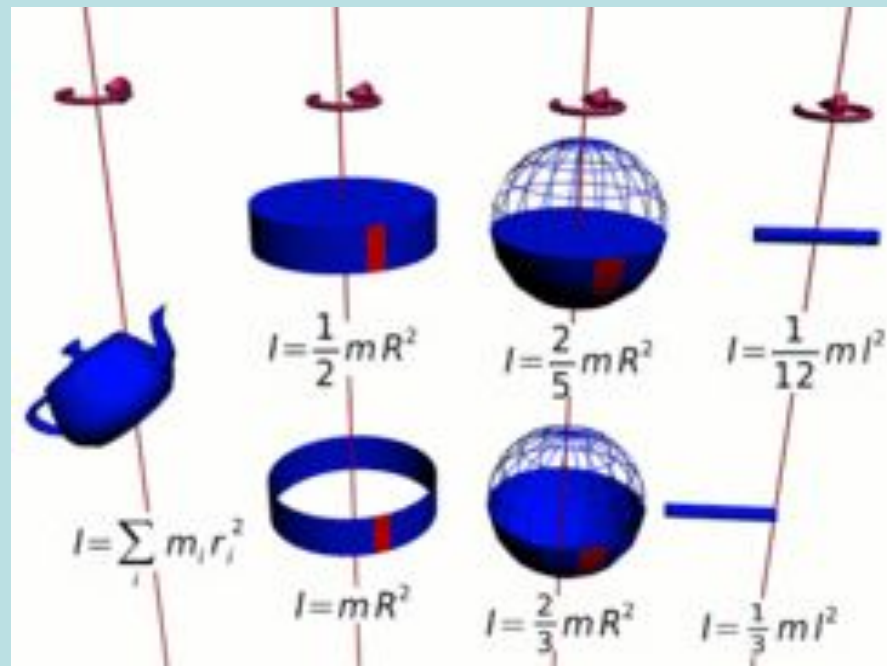
Тверде тіло, що обертається навколо певної осі можна розглядати як систему з нескінченної кількості матеріальних точок, кожна з масою m_i , відстані від кожної точки до осі обертання дорівнюють r_i .



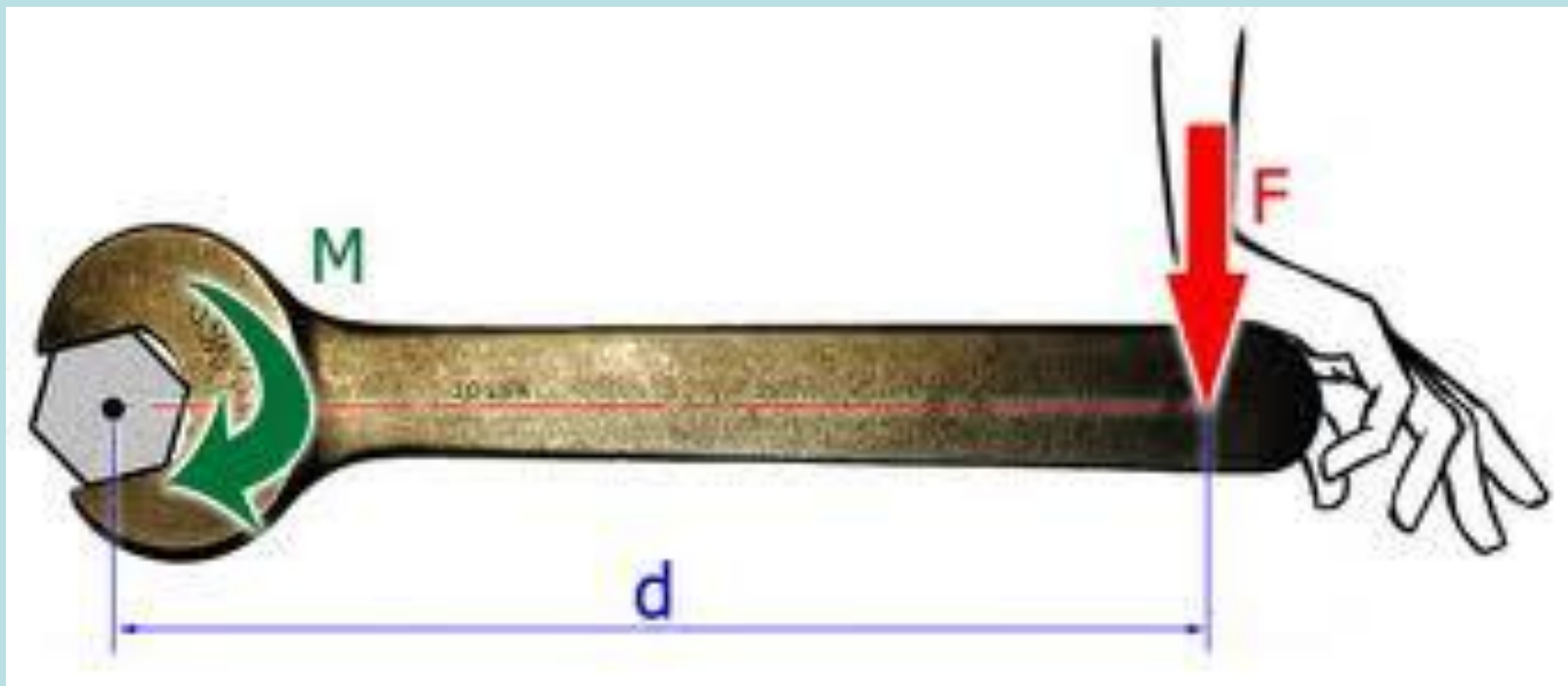
Моментом інерції тіла (системи точок) відносно осі обертання називають скалярну фізичну величину, чисельно рівну сумі добутків мас n матеріальних точок системи на квадрат їх відстаней до осі вибраної

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2.$$

В загальному випадку, значення моменту інерції тіла залежить від його форми та розподілу маси в об'ємі: чим більше маси сконцентровано далі від центру мас тіла, тим більшим є його момент інерції. Також значення моменту інерції тіла залежить від обраної осі обертання.



Для характеристики зовнішньої механічної дії на тіло, під дією якої здійснюється зміна обертального руху тіла, вводять поняття моменту сили і моменту імпульсу.

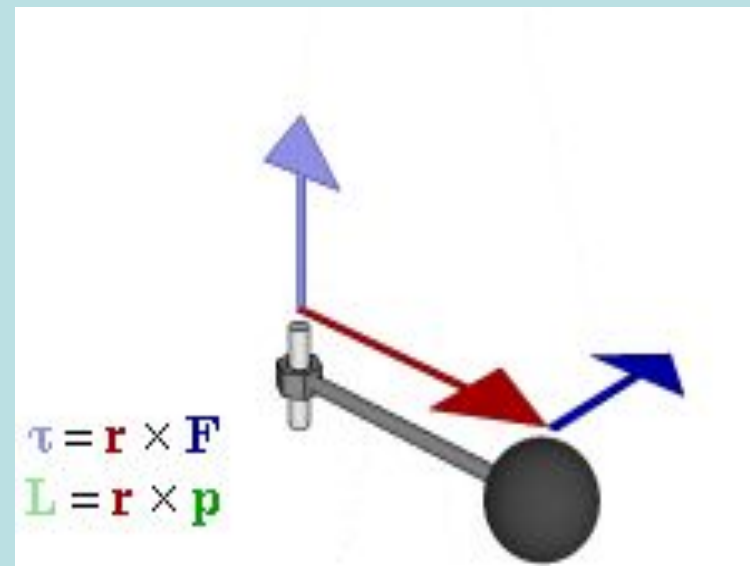


Моментом сили відносно нерухомої точки O є

величина, що характеризує здатність тіла обертатись навколо точки, відносно якої він береться під дією сили, чисельно дорівнює векторному добутку радіус-вектора r_i , проведеного з точки O в точку прикладання сили, на силу F_i :

$$\vec{M}_i = [\vec{r}_i, \vec{F}_i]$$

Вектор \vec{M}_i направлений перпендикулярно до площини в якій розташовані вектори \vec{r}_i і \vec{F}_i .



Основний закон динаміки обертального руху:

результуючий момент зовнішніх сил призводить до зміни стану обертального руху тіла, тобто зумовлює зміну його кутової швидкості.

$$\vec{\beta} = \frac{\sum \vec{M}}{J}.$$

Для характеристики зовнішньої механічної дії на тіло, під дією якої здійснюється зміна обертального руху тіла, вводять поняття моменту сили і моменту імпульсу.



Момент імпульсу – векторна фізична величина, що чисельно дорівнює векторному добутку відстані від тіла масою до вісі обертання на імпульс тіла:

$$\vec{L} = [\vec{r} \times (m \cdot \vec{v})], \quad L = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}.$$

Закон збереження моменту імпульсу: для замкненої системи тіл геометрична сума моментів імпульсу тіл є величиною сталою:

$$\sum \overset{\sphericalangle}{L}_i = \textit{const}$$

або оскільки $v = \omega \cdot r$, маємо $L = m \cdot \omega \cdot r^2$, $m \cdot r^2 = J$,

$$L = J \cdot \omega, \text{ тоді}$$

$$\sum L_i = \sum J_i \omega_i = \textit{const}$$

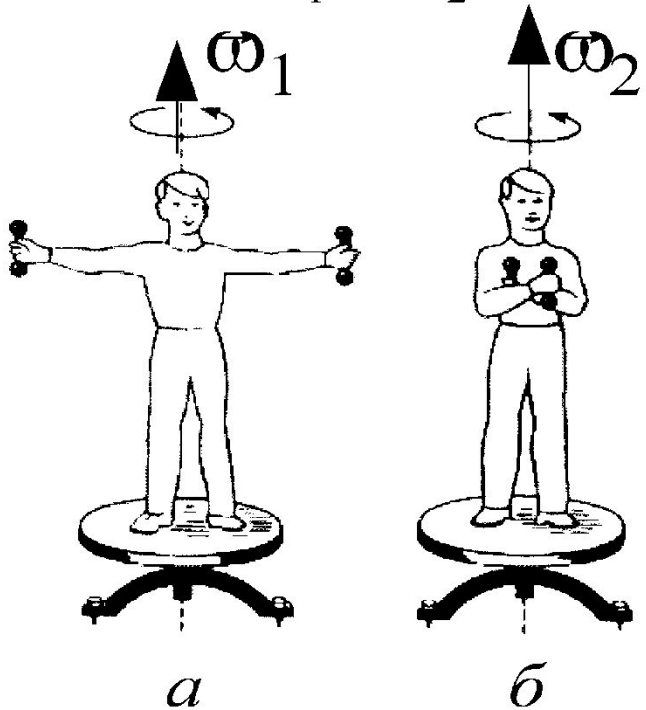
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ

МОМЕНТА ИМПУЛЬСА.

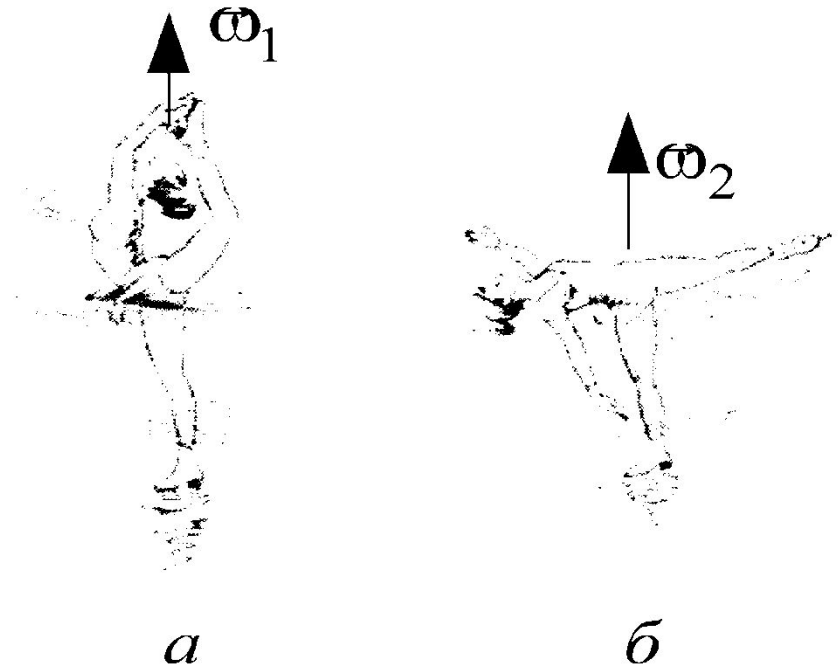
СКАМЬЯ ЖУКОВСКОГО

$$\sum L_i = \sum J_i \omega_i = \sum m_i r_i^2 \omega_i = \text{const}$$

$$\omega_1 < \omega_2$$
$$I_1 > I_2$$



$$\omega_1 > \omega_2$$
$$I_1 < I_2$$



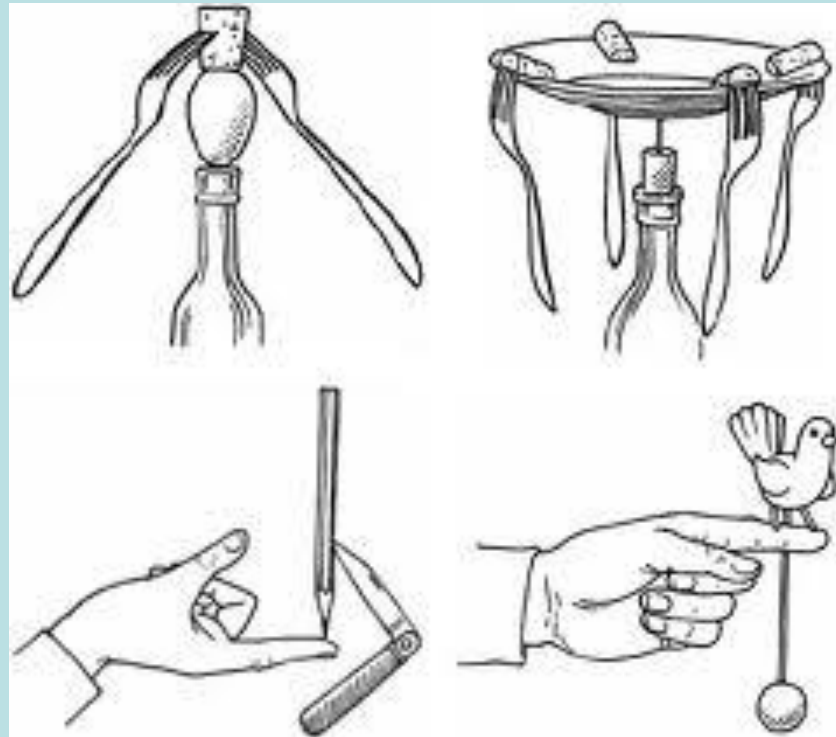
$$\sum L_i = \sum J_i \omega_i = \sum m_i r_i^2 \omega_i = \text{const}$$



5. Основи статички.

Умови рівноваги твёрдого тіла

Умови рівноваги тіл або систем тіл під дією прикладених сил або моментів сил вивчає *статика* (від грец. *στατός* – “нерухомий”).



Більш детально умови рівноваги тіл у будівництві вивчають у курсах “Будівельна механіка” – вивчає стійкість будівельних конструкцій та “Будівельні машини та обладнання” – вивчає стійкість будівельних машин та обладнання під дією навантажень, що створюють моменти сил, здатні перекинути об’єкт



До основних навантажень відносять – піднімання, захвачування або перевезення вантажів, до додаткових – інерційні навантаження, що виникають в момент пуску, прискорення або гальмування механізмів; центробіжні навантаження, що виникають при повороті або нахилі частин механізмів; вітровий тиск або тиск атмосферних опадів тощо).



Тіло буде залишатися в стані спокою, якщо немає причин, що викликають його рух. Згідно основних рівнянь динаміки поступального і обертального рухів це можливо за виконання умов:

1) сума всіх зовнішніх сил, прикладених до тіла, має дорівнювати нулю:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0.$$

2) сума моментів усіх сил, що діють на тіло, відносно будь-якої точки має дорівнювати нулю:

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0.$$

Якщо рівновага стійка, центр тяжіння кулі займає найнижче положення відносно опори. Якщо рівновага нестійка, центр тяжіння кулі займає найвище положення відносно опори. Тому положення стійкої рівноваги характеризується *мінімальною потенціальною енергією*.

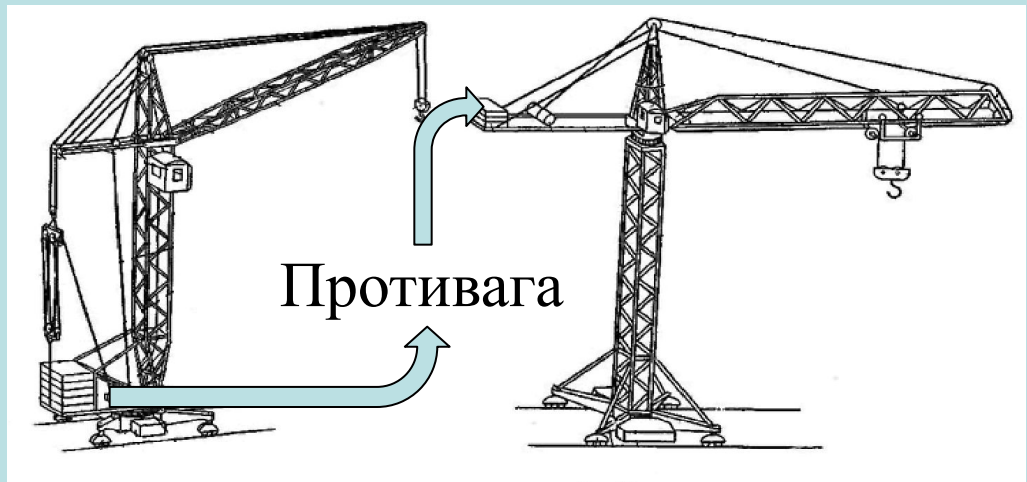


Особливим випадком є рівновага тіла на опорі. У цьому випадку сила реакції опори прикладена не до однієї точки, а розподілена по площі основи тіла. Тіло знаходиться в рівновазі, якщо вертикальна лінія, проведена через центр мас тіла, проходить через площу опори, тобто всередині контуру, утвореного лініями, що з'єднують точки опори. Якщо ж ця лінія не перетинає площу опори, то тіло перекидається.



З умови рівноваги тіла, яке опирається на декілька точок, стає зрозумілим, чому підйомні крани завжди обладнуються важкою противагою для підвищення їхньої стійкості проти перекидання.

Дякуючи противазі спільний центр тяжіння, крана, вантажу та противаги не виступає за прямокутник, обмежений точками опори коліс, навіть тоді, коли кран піднімає важкий вантаж. На кранах з поворотною баштою (рис. а) противагу підвішують на поворотній платформі, на кранах з неповоротною баштою (рис. б) – на противажній консолі.



6. Енергія, робота та потужність. Закон збереження енергії

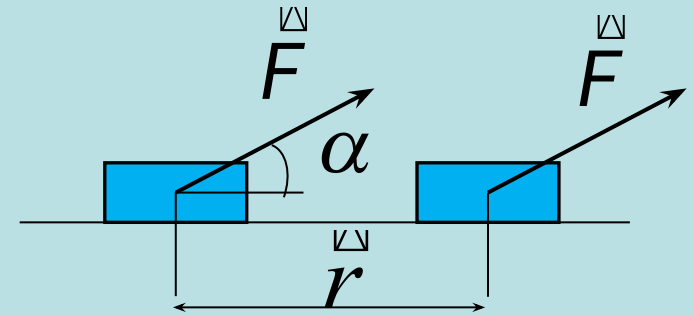
Енергія – це скалярна фізична величина, що є універсальною кількісною мірою руху і взаємодії усіх видів матерії. Тіло, що має енергію спроможне виконати роботу.



$$[E] = \text{Дж}(\text{джоуль}).$$

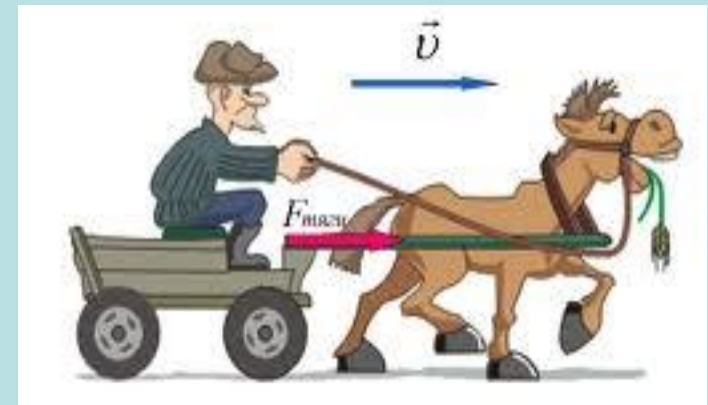
Робота – це скалярна фізична величина, що чисельно дорівнює скалярному добутку сили на переміщення:

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{r}) = F s \cos \alpha, \quad [A] = \text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}.$$



Потужність – це скалярна фізична величина, що характеризує роботу системи, яку вона виконує за одиницю часу:

$$N = \frac{A}{t} \quad \text{або} \quad N = \frac{dA}{dt} = \frac{F ds}{dt} = F v, \quad [N] = \text{Вт} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$



Якщо система мала у першому стані E_1 енергію E_1 і переходить у стан 2 з енергією E_2 , то $A_{12} = E_1 - E_2$, тобто *зміна енергії системи іде на виконання нею роботи.*



Кінетична енергія – скалярна фізична величина, що є універсальною кількісною мірою руху матерії.

Кінетична енергія тіла, що здійснює поступальний рух:

$$E_{\text{к пост}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Кінетичної енергії тіла при обертальному русі:

$$E_{\text{к обер}} = \frac{I\omega^2}{2}.$$

Повна кінетична енергія тіла, що здійснює одночасно і поступальний і обертальний рухи:

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}.$$



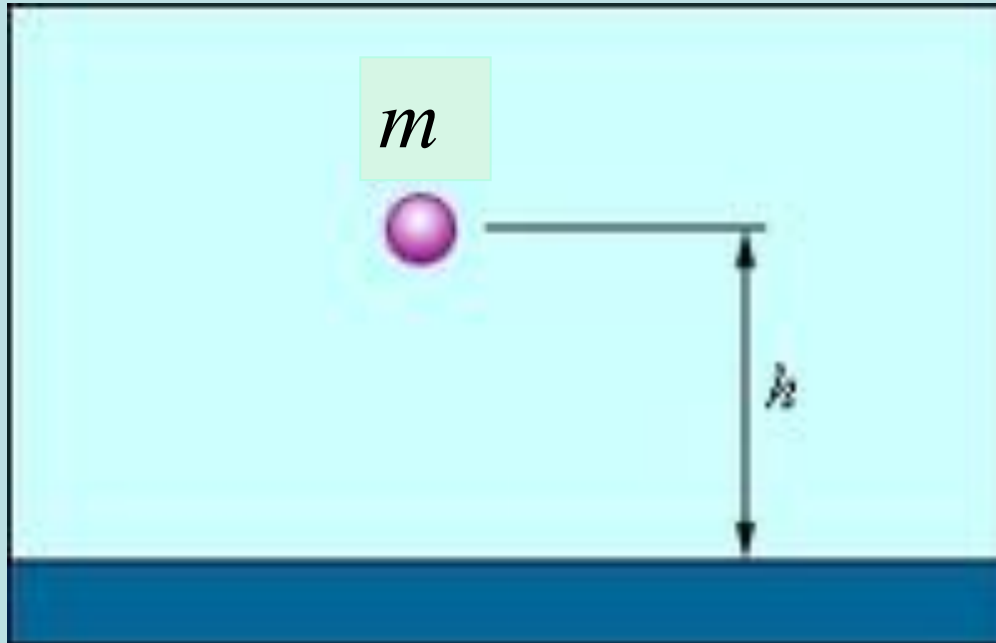
Потенціальна енергія – скалярна фізична величина, що є універсальною кількісною мірою взаємодії усіх видів матерії (тіла з іншим тілом чи полем), визначається взаємним розміщенням тіл або тіла у полі.



Так для системи тіло-земля потенціальна енергія тіла дорівнює:

$$E_n = mgh,$$

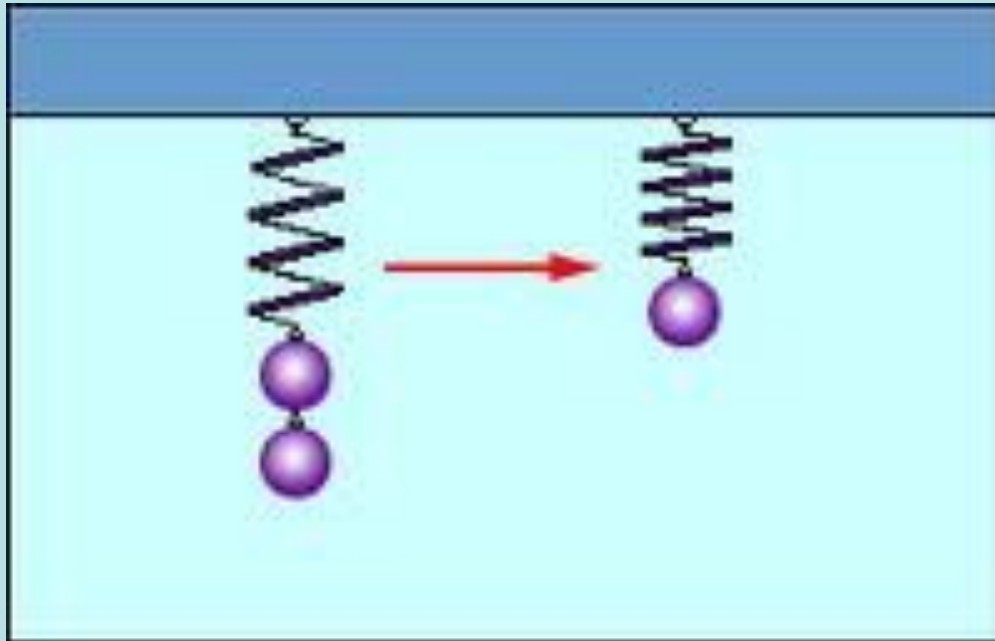
де h – висота, на якій знаходиться тіло над поверхнею землі.



Потенціальну енергію пружно деформованого тіла (наприклад, деформованої пружини) визначають формулою:

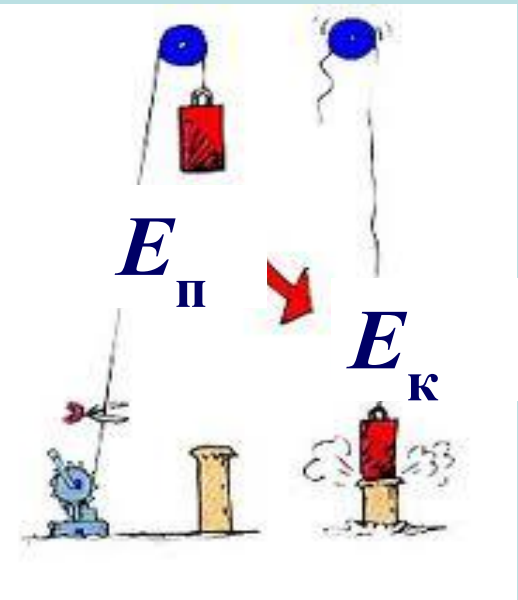
$$E_n = \frac{kx^2}{2},$$

де k – коефіцієнт пружності пружини ($k=F, x=1$),
 x – деформація пружини.



Енергія системи не може самовільно виникнути або безслідно зникнути, вона може лише перерозподілятися між тілами системи чи переходити з одних видів у інші – *закон збереження механічної енергії*.

$$\sum_{i=1}^n E_{ki} + \sum_{i=1}^n E_{ni} = \text{const}$$



Лекція №1. Основи механіки

1. Предмет механіки.
2. Кінематика поступального та обертального руху
3. Динаміка поступального руху. Імпульс. Закон збереження імпульсу.
4. Динаміка обертального руху. Закон збереження моменту імпульсу.
5. Основи статички. Умови рівноваги твердого тіла.
6. Енергія, робота та потужність. Закон збереження енергії.