



ФІЗИКА

Лекції


Частина I. Механіка

лектор

доцент кафедри фізики

Савченко Алла Олександрівна

Введення в курс фізики

 Фізика (Від грецького «*physis*» - природа) - наука, що вивчає

- ✓ загальні закономірності природи,
- ✓ властивості, будову матерії і
- ✓ закономірності її руху.

➤ фізика – точна наука; вона вивчає кількісно закономірності явищ.

➤ **Фізика - експериментальна наука і її закони базуються на фактах, встановлених дослідним шляхом.**

➤ **Закони фізики лежать в основі всього природознавства, являють собою кількісні співвідношення і формулюються на математичній мові.**

розрізняють

- **експериментальну фізику** -
досліди, проведені для
виявлення нових фактів і
перевірки відомих фізичних
законів, і
- **теоретичну фізику**, мета якої
полягає в формулюванні законів
природи, а також в прогнозі
нових явищ.

Розділи курсу фізики

- 1 . Фізичні основи механіки**
- 2 . Основи молекулярної фізики і термодинаміки.**
- 3 .Електромагнетизм.**
- 4 . Фізика коливань і хвиль.**
- 5 . Оптика.**
- 6 . Атомна і ядерна фізика**

Схема методу наукового пізнання

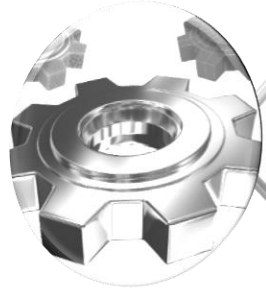
- ✓ **Спостереження**
- ✓ **Узагальнення**
- ✓ **Гіпотези**
- ✓ **Досліди**
- ✓ **Теорія, закон**

Гіпотеза, яка успішно пройшла експериментальну перевірку і увійшла в систему знань, перетворюється в ЗАКОН або теорію.



Фізична теорія - це сукупність основних ідей, узагальнюючих досвідчені дані і відображають об'єктивні закономірності природи.

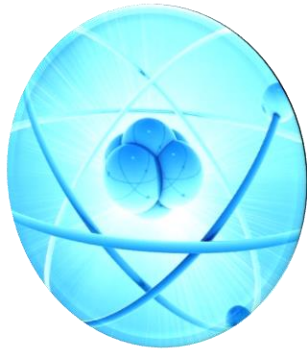
Етапи в історії фізики



**Класична фізика (1600
р.- кінець 19 ст.)**



**Нова
(до 20-х років 20 ст.)**



Сучасна фізика

Основні етапи в історії фізики



Елементи теорії розмірності фізичних величин.

Одиниці фізичних величин СІ відповідно до ДСТУ України.

Для встановлення кількісних співвідношень між фізичними величинами їх необхідно **вимірювати**.



Вимірювання - процес порівняння фізичної величини з відповідним їй еталоном, який називається одиницею виміру цієї фізичної величини.

- **Для цього вводиться система одиниць, яка постулює основні одиниці фіз. величині**
- **на їх базі визначає одиниці інших фіз.велічін, які називаються похідними одиницями.**

Похідні одиниці встановлюються на основі фізичних законів, що зв'язують їх з основними одиницями.

Міжнародна система одиниць, СІ

(фр. *LeSystème International d'Unités, SI*)

фізична величина	розмірність	Найменування одиниці	позначення	
			Укр.	Міжнародна
довжина	<i>L</i>	Метр	<i>м</i>	<i>m</i>
маса	<i>M</i>	Кілограм	<i>кг</i>	<i>kg</i>
час	<i>T</i>	Секунда	<i>с</i>	<i>s</i>
сила електричного струму	<i>I</i>	Ампер	<i>A</i>	<i>A</i>
термодинамічна температура	<i>Q</i>	Кельвін	<i>K</i>	<i>K</i>
кількість речовини	<i>N</i>	Моль	<i>моль</i>	<i>mol</i>
сила світла	<i>J</i>	Кандела	<i>кд</i>	<i>cd</i>


приставки СІ


для утворення десяткових кратних і часткових одиниць

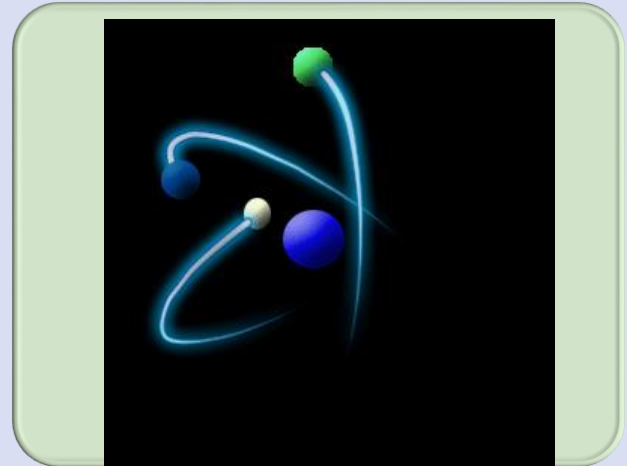
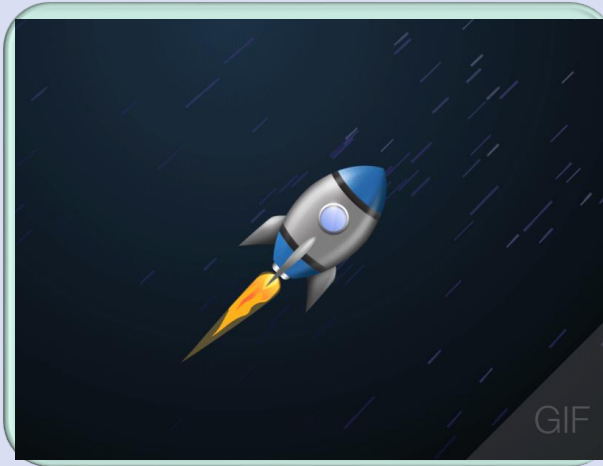
десятковий множник	префікс	позначення
10^{-12}	піко	<i>p</i>
10^{-9}	нано	<i>n</i>
10^{-6}	мікро	<i>μк</i>
10^{-3}	мілі	<i>м</i>
10^{-2}	санти	<i>с</i>
10^{-1}	деци	<i>д</i>
10^1	дека	<i>да</i>
10^2	гекто	<i>г</i>
10^3	кіло	<i>к</i>
10^6	Мега	<i>М</i>
10^9	Гіга	<i>Г</i>
10^{12}	Тера	<i>Т</i>
10^{15}	Пета	<i>П</i>

Розділ 1.

Фізичні основи механіки

 Механіка - це частина фізики, яка вивчає закономірності механічного руху і причини, що викликають або змінюють цей рух.

 Механічний рух - це зміна взаємного розташування тіл або їх частин в просторі з плином часу.



Класична
механіка
(механіка
Ньютона)

Тіла – макро-
скопичні,

$$V \ll c$$

$$(c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с})$$

Релятивістс
ька механіка
 $V \approx c$

(Швидкості,
можна
порівняти зі
швидкістю
світла у
вакуумі).

Квантова
механіка
вивчає
закони руху
атомів і
елементарни
х частинок.

Розділи механіки

Кінематика

- вивчає рух тіл, не розглядаючи причини, які це рух обумовлюють.

Динаміка

- вивчає закони руху тіл і причини, які викликають або змінюють цей рух.

Статика

- вивчає закони рівноваги системи тел.


Механіка умовно поділяється на

- механіку матеріальної точки (частки)**
- механіку твердого (що не деформується) тіла**
- механіку пружних тіл, яка включає в себе**
 - теорію пружності,**
 - механіку рідин і газів**


Фізичні моделі

Механіка для опису руху тіл в залежності від умов конкретних завдань використовує різні спрощені фізичні моделі.

 Модель - абстрактна система, що є спрощеною копією реальної системи.

 Матеріальна точка (МТ) - тіло, розмірами якого можна знехтувати в умовах даної задачі, а всю масу тіла вважати сконцентрованою в його центрі мас.

фізичні моделі

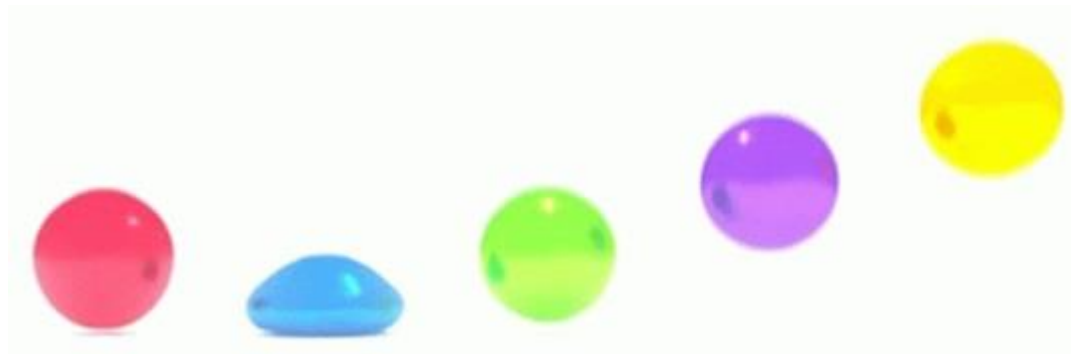
 Абсолютно тверде тіло - тіло, деформацією якого в умовах даної задачі можна знехтувати, і відстань між будь-якими двома точками цього тіла залишається постійним (система МТ, жорстко пов'язаних між собою).




фізичні моделі



Абсолютно пружне тіло - тіло, деформація якого підкоряється закону Гука, а після припинення зовнішнього силового впливу таке тіло повністю відновлює свої початкові розміри і форму.



фізичні моделі

 Абсолютно непружне тіло - тіло, яке повністю зберігатиме деформований стан після припинення дії зовнішніх сил.

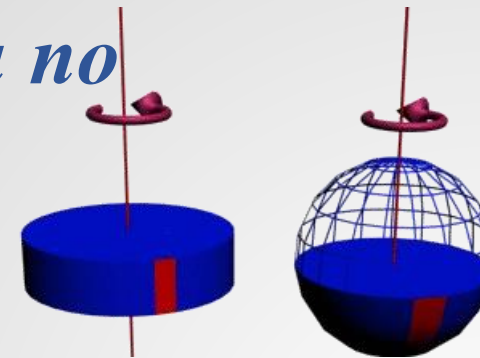


- Будь-який рух твердого тіла можна уявити як комбінацію
 - ✓ поступального і
 - ✓ обертального рухів.

Поступальний рух - це рух, при якому будь-яка пряма, жорстко пов'язана з тілом, залишається паралельною своєму початковому стану.



Обертальний рух - це рух, при якому всі точки тіла рухаються по колах, центри яких лежать на одній і тій же прямій, так званій віссі обертання.



1.1 Елементи кінематики частинок

Простір і час

Простір і час - категорії, що позначають основні форми існування і взаємодії об'єктів.

 Простір висловлює порядок існування об'єктів.


 Час - порядок зміни подій. Воно служить мірою тривалості процесу.

- Простір і час - основні поняття всіх розділів фізики. Вони грають важливу роль на емпіричному рівні фізичного пізнання.

- Безпосереднє зміст результатів спостережень та експериментів полягає в *фіксації просторово-часових збігів*.
- Немає сенсу говорити про стан і механічний рух будь-якого тіла в просторі безвідносно до інших тіл.
- Завжди говорять про **положенні і рух тіла по відношенню до якогось іншого конкретно заданого тіла**.

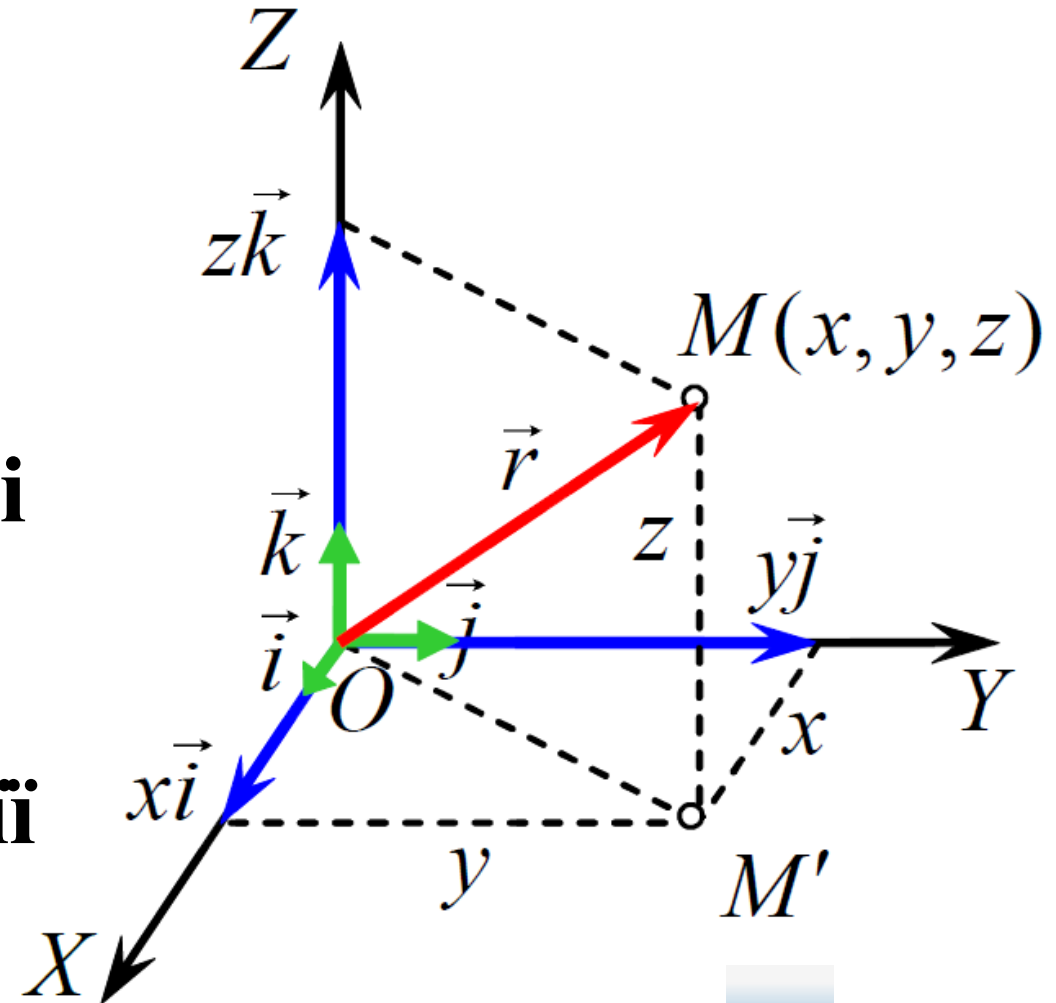
Система відліку

 Тіло відліку - довільно вибране тіло, щодо якого визначається положення інших тіл.

 Система відліку - система координат, забезпечена годинами і жорстко пов'язана з абсолютно твердим тілом, по відношенню до якого визначається положення інших тіл в задані моменти часу.

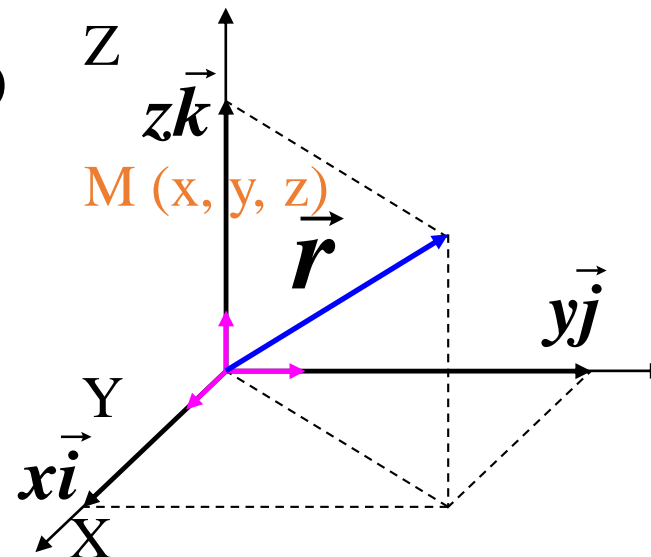
Просторово-часові системи відліку

Найбільш часто користуються *правою прямокутною декартовою системою координат*. Де $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - одиничні по модулю і взаємно перпендикулярні вектори-орти системи координат, що утворюють її ортонормованій базис.



Положення точки M щодо цієї системи координат можна задати двома способами: або вказавши значення всіх координат x, y, z точки M , або вказавши значення її **радіус-вектора** \vec{r} - вектора, проведеного в точку M з початку координат O . З правила додавання векторів випливає, що радіус-вектор точки M можна розкласти по базису $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$



Кінематичні рівняння руху


При русі точки M її координати і радіус-вектор змінюються з плином часу. Тому для завдання закону руху точки потрібно вказати вид *функціональних залежностей від часу* або всіх трьох її координат:

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t), (1)$$

або радіус-вектора. $\vec{r} = \vec{r}(t)$

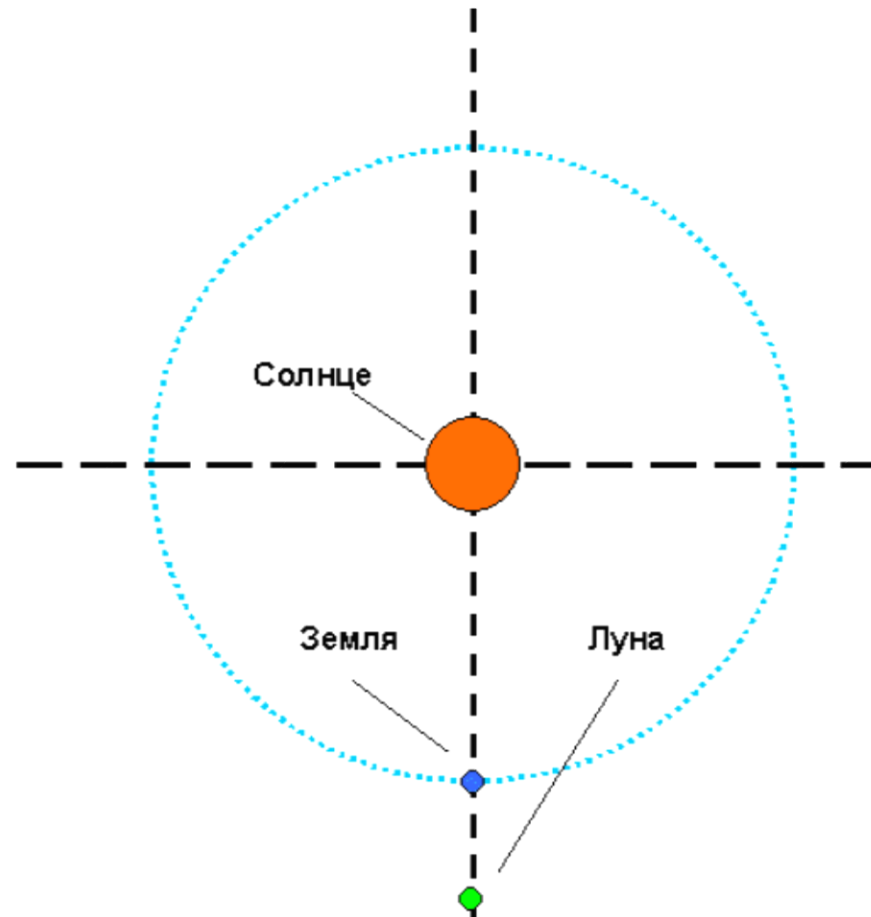
Ці рівняння називаються **кінематичними рівняннями** руху точки.

Траєкторія

 Траєкторія MT - лінія, описується точкою при її русі щодо обраної системи відліку (слід тіла в просторі).

➤ кінематичні рівняння руху точки задають траєкторію в параметричній формі.

➤ параметром служить час t .

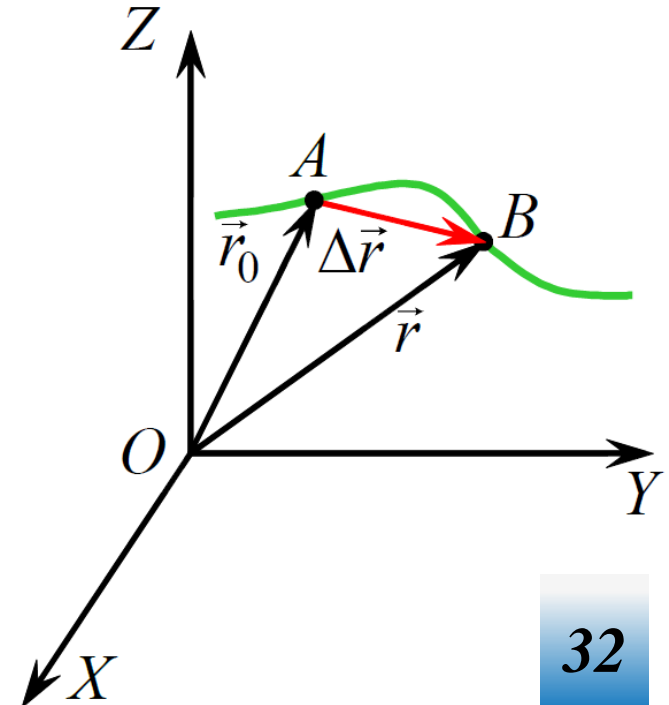


Шлях, переміщення


➔ Довжиною шляху точки називається сума довжин всіх ділянок траєкторії, пройдених цією точкою за розглянутий проміжок часу. Довжина шляху скалярна функція часу.

➔ Вектор переміщення - вектор, проведений з початкового положення точки в положення її в даний момент часу (Приріст радіуса-вектора точки):

$$\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{r}(t) - \vec{r}(t_0)$$




Швидкість

 Швидкість векторна величина, яка визначає як значення швидкості руху, так і його напрямок в даний момент часу. Розмірність [м / с].

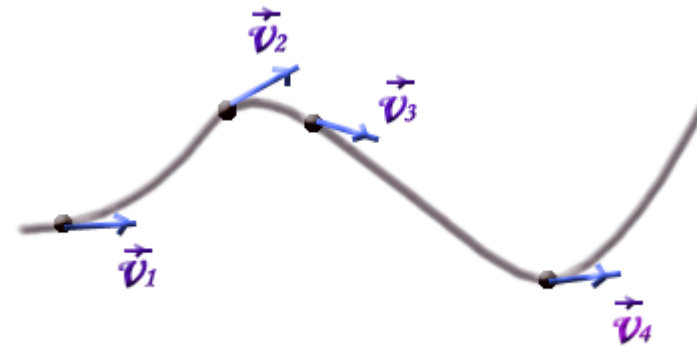
 Вектором середньої швидкості (від лат. velocitas) за інтервал часу Δt називається

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

відношення збільшення радіуса-вектора точки за проміжку часу Δt . Напрямок вектора середньої швидкості збігається з напрямком

 Миттєва швидкість - векторна величина, що дорівнює першій похідній за часом від радіуса-вектора точки:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}.$$



Вектор миттєвої швидкості направлений по дотичній до траєкторії в сторону руху.

**Модуль миттєвої швидкості (скалярна величина)
дорівнює першій похідній шляху по часу:**

$$v = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}.$$


При нерівномірному русі модуль миттєвої швидкості з плином часу змінюється. Тому можна ввести скалярну величину *середню швидкість нерівномірного руху* (інша назва - середня шляхова швидкість).

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Довжина шляху s , що пройшла точка за проміжок часу від t_1 до t_2 , задається інтегралом:

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$$

При прямолінійному русі точки напрямок вектора швидкості зберігається незмінним.

 *Рух точки називається рівномірним, якщо модуль її швидкості не змінюється з плином часу ($v = \text{const}$), для нього:*

$$s = v \cdot \Delta t$$

Прискорення

Якщо модуль швидкості збільшується з плином часу, то рух називається *прискореним*, якщо ж він зменшується - *уповільненим*.

Прискорення (від лат. acceleratio) - це векторна величина, що характеризує швидкість зміни швидкості по модулю і напрямку.

Середнє прискорення в інтервалі часу векторна величина, що дорівнює відношенню зміни швидкості $\Delta \vec{v}$ до інтервалу часу Δt :

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$



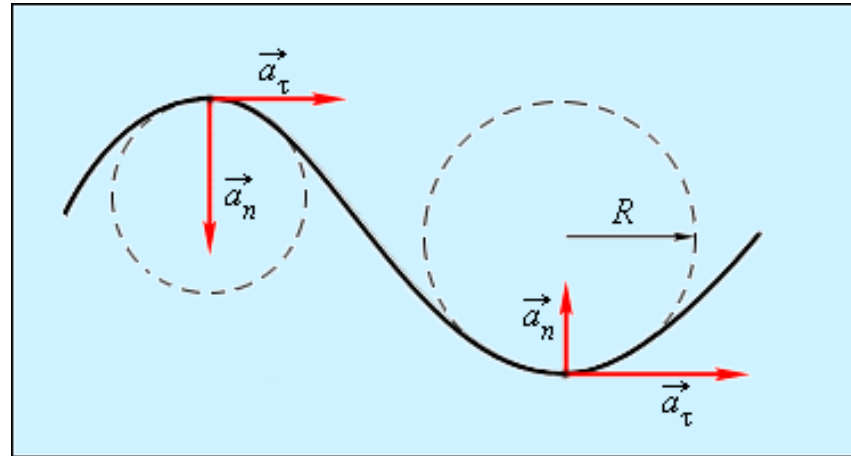
Миттєве прискорення MT - векторна величина, що дорівнює першій похідній за часом швидкості даної точки (другий виробводний за часом від радіуса-вектора).

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$$

одиниця прискорення [м / с²].

Якщо траєкторія точки цілком лежить в одній площині, то **рух** точки називають **плоским**.
У загальному випадку плоского криволінійного руху вектор прискорення зручно представити у вигляді суми двох проєкцій.

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$



Величина повного прискорення (модуль):

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$$

Модуль доцентрового прискорення

Трикутник з векторів \vec{v}_0 , \vec{v} і $\Delta\vec{v}$ рівнобедрений, тому що $|\vec{v}| = |\vec{v}_0|$

Трикутник OAB теж рівнобедрений (OA і OB радіуси окружності).

Трикутники подібні як рівнобедрений з рівними кутами при вершинах. З подоби трикутників слід пропорційність подібних сторін.

МОДУЛЬ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{AB} = \frac{|\vec{v}|}{r}$$

МОДУЛЬ ШВИДКОСТІ

Довжина дуги (= хорди) AB - шлях, пройдений тілом зі швидкістю тоді $AB = |\vec{v}| \cdot t$

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{|\vec{v}| \cdot t} = \frac{|\vec{v}|}{r}$$

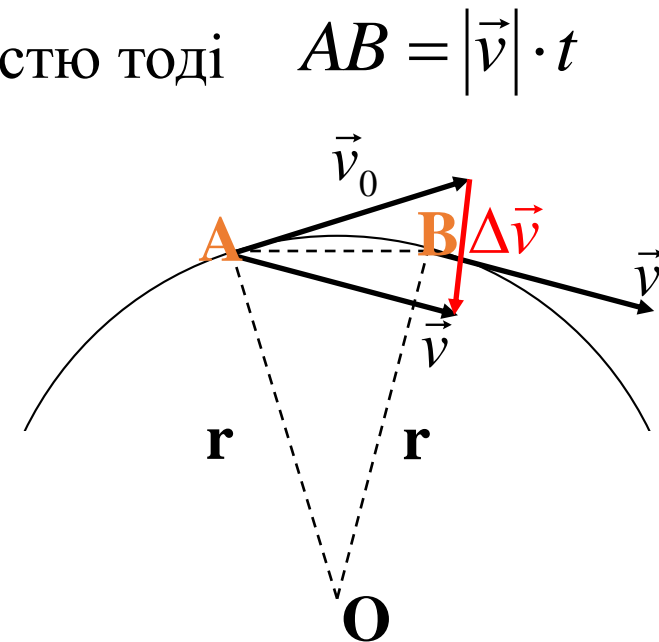
або

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{t} = \frac{|\vec{v}|^2}{r}$$

З огляду на $|\vec{a}| = \frac{|\vec{v} - \vec{v}_0|}{t}$

отримуємо

$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{v}|^2}{r}$$





Тангенціальне прискорення характеризує швидкість зміни швидкості по модулю:

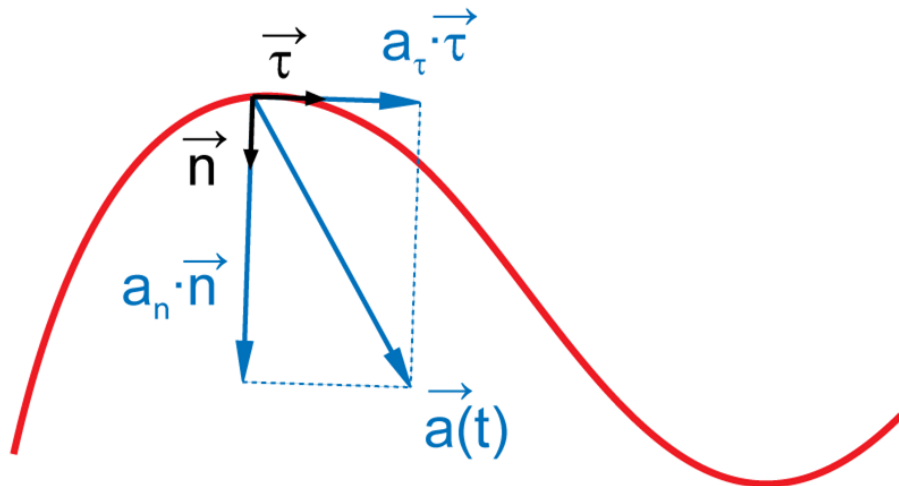


Нормальне (доцентрове) прискорення a_n , направлено по нормалі до траєкторії до центру її кривизни й характеризує швидкість зміни напрямку вектора швидкості точки:

Тангенціальне прискорення характеризує швидкість зміни швидкості по модулю:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt}$$

Нормальне (доцентрове) прискорення a_n , направлено по нормалі до траєкторії до центру її кривизни й характеризує швидкість зміни напрямку вектора швидкості точки:



$$a_n = \frac{dv_n}{dt} = \frac{v^2}{R}$$

ВИДИ руху:

якщо $\vec{a}_\tau = a = const$, $\vec{a}_n = 0$ **прямолінійний, рівнопеременне (рівноускоренне) рух.**

якщо $t_0 = 0$, то

$$a_\tau = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t}$$

тоді

$$v = v_0 + at$$

шлях:

$$s = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Рівноприскорений прямолінійний рух

Залежність координати (1) і швидкості (2) від часу при рівноприскореному русі

$$x(t) = x_0 + V_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1)$$

$$V(t) = V_0 + at \quad (2)$$

Види руху:

$$1) \vec{a}_\tau = 0$$
$$\vec{a}_n = 0$$

- Прямолінійний рівномірний рух

$$2) \vec{a}_\tau = \text{const},$$
$$\vec{a}_n = 0$$

- Прямолінійний рівнозмінний рух

ЯКЩО $t_0 = 0$, то: $v = v_0 + at$,

$$s = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

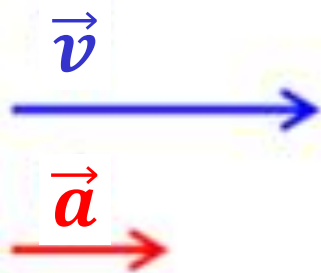
$$3) \vec{a}_\tau = 0,$$
$$\vec{a}_n = \text{const} = \frac{v^2}{R}$$

- рівномірний рух по колу

$$4) \vec{a}_\tau \neq 0,$$
$$\vec{a}_n \neq 0$$

- криволінійний рівнозмінний рух.

а)

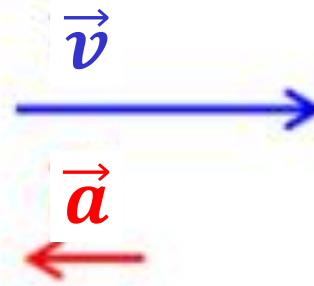


$$\varphi = 0^\circ$$



розгін по прямолінійній ділянці

б)



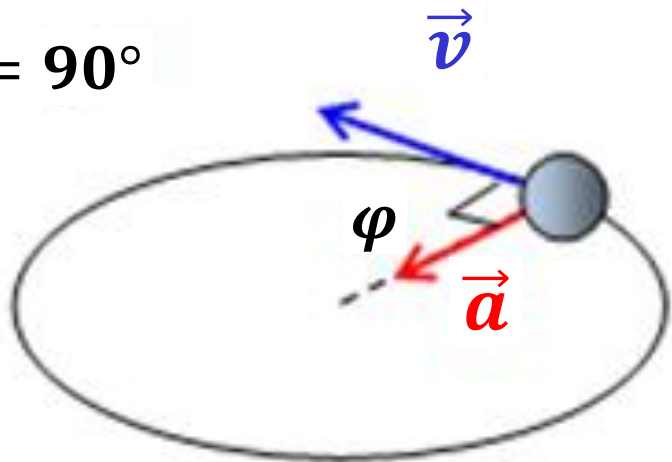
$$\varphi = 180^\circ$$



гальмування на прямолінійній ділянці

в)

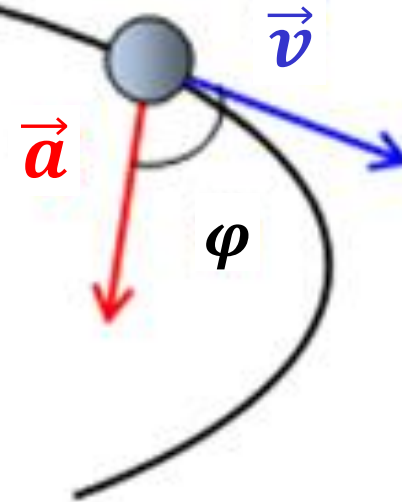
$$\varphi = 90^\circ$$



рівномірний русі по колу

г)

$$0^\circ < \varphi < 180^\circ$$



загальний випадок - складний маневр

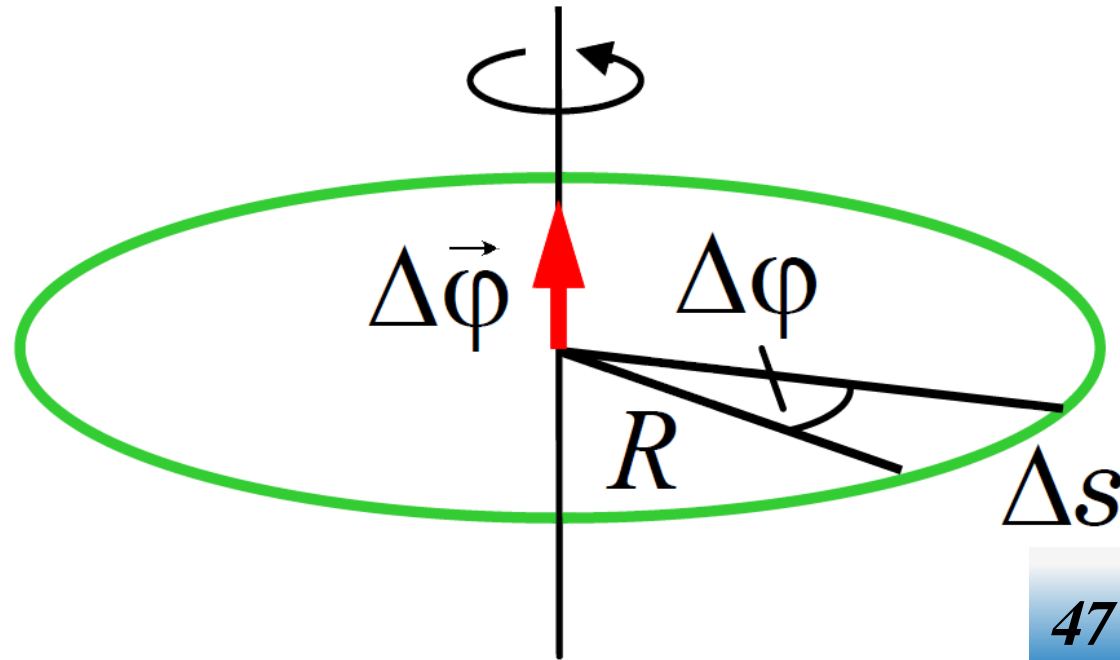
Кінематика обертального руху

При описі обертального руху зручно користуватися полярними координатами R і φ , де R - радіус - відстань від центру обертання до МТ, φ - полярний кут (кут повороту).

Кутова швидкість:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \dot{\vec{\varphi}}$$

Розмірність [рад/с].



Кутове прискорення:
розмірність [рад / с²].

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \dot{\vec{\omega}} = \ddot{\vec{\varphi}}$$

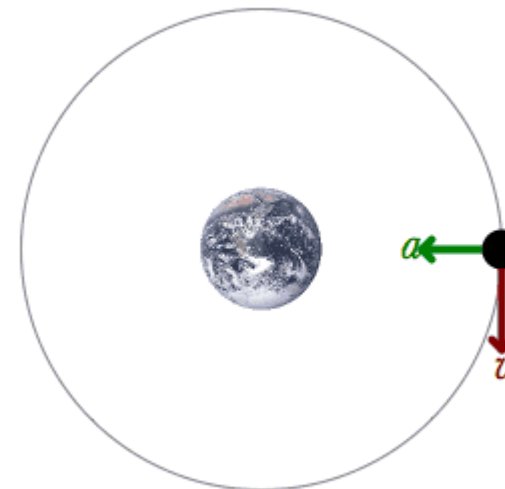
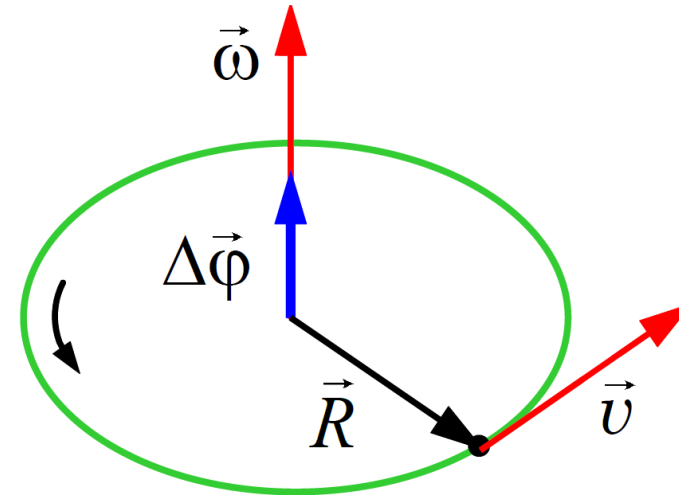
лінійна швидкість точки
пов'язана з кутовою
швидкістю і радіусом
траєкторії співвідношенням:

$$v = \omega R$$

За рівномірного обертання

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \text{const}$$

ТОЖ $\varphi = \omega t$





Рівномірне *обертання* *можна*
охарактеризувати *періодом обертання T* *- часом,*
за яке *крапка* *здійснює* *один повний оборот.*

кут при одному повному обороті $\varphi = 2\pi$, тоді
кутова швидкість:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2\pi}{T}$$



Частота обертів *- число повних обертів, що*
здійснюються тілом при рівномірному його русі
по колу, в одиницю часу.

Розмірність $[\frac{1}{c} = \text{Гц}]$.

$$\nu = \frac{1}{T}$$



$$\omega = 2\pi\nu$$

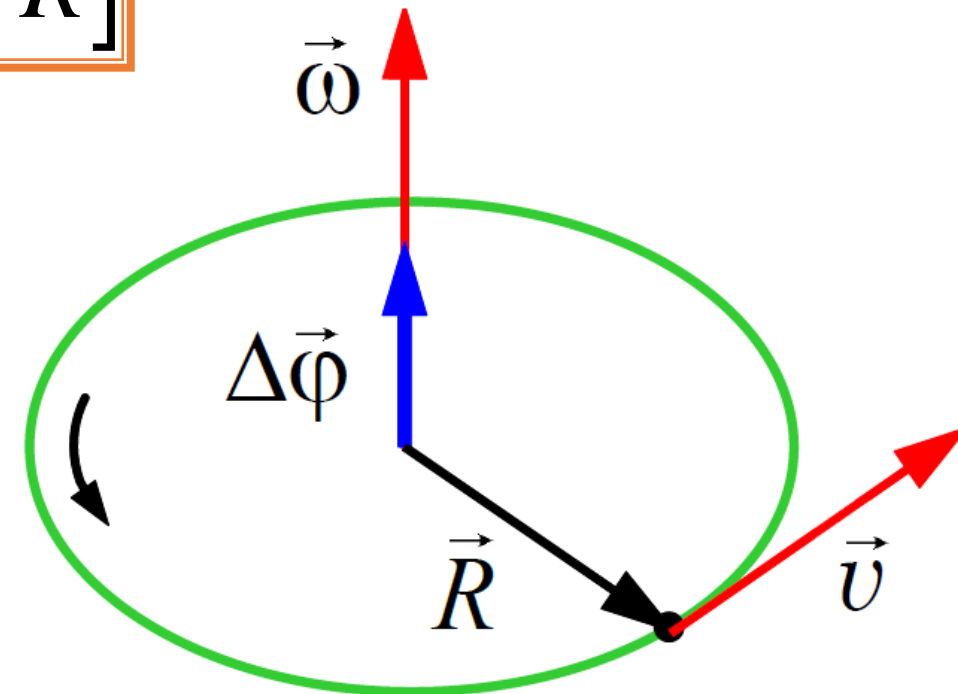
Лінійна швидкість точки пов'язана з кутовою швидкістю і радіусом траєкторії співвідношенням:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R \cdot \Delta \varphi}{\Delta t} = R \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \omega R .$$

У векторному вигляді формулу для лінійної швидкості можна написати як **векторний добуток**:

$$\vec{v} = [\vec{\omega}, \vec{R}]$$

його модуль дорівнює $v = \omega R \sin \alpha$,
де α - кут між векторами ω і R , а
напрямок збігається з напрямком
поступального руху правого гвинта при
його обертанні від $\vec{\omega}$ до \vec{R} .



При рівноприскореному обертальному русі: $\varepsilon = \text{const}$

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t; \quad \varphi = \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}; \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R;$$

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R \varepsilon; \quad s = \int_{t_1}^{t_2} v dt = \int_{t_1}^{t_2} \omega R dt = R \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\varphi}{dt} dt = R\varphi.$$

При рівноприскореному обертальному русі: $\varepsilon = \text{const}$, тоді

$$s = R\varphi$$

• Шлях

$$v = R\omega$$

• Лінійна швидкість

$$a_{\tau} = R\varepsilon$$

• Тангенційне прискорення

$$a_n = R\omega^2$$


• Нормальне прискорення

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \varepsilon t$$

1.2 Динаміка матеріальної ТОЧКИ

Перший закон Ньютона

 *Матеріальна точка (тіло) зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху до тих пір, поки вплив з боку інших тіл не змусить її змінити цей стан.*

- Прагнення тіла зберігати стан спокою або рівномірного прямолінійного руху називається *інертністю*.
- Тому перший закон Ньютона називають також *законом інерції*.


- перший закон Ньютона постулює існування *інерційних систем відліку* - таких, щодо яких, мат. точка, не схильна до впливу інших тіл, рухається рівномірно і прямолінійно.
- щоб описувати *впливи*, що згадуються в першому законі Ньютона, вводять поняття *сили*.
- для опису *інерційних властивостей* тел вводиться поняття *маси*.




Сила - векторна величина, що є мірою механічної дії на тіло з боку інших тіл або полів, в результаті якого тіло набуває прискорення або змінює форму і розміри.


- Сила F повністю задана, якщо вказані її модуль, напрямок в просторі і точка прикладання.
- Одночасна дія на МТ декількох сил еквівалентна дії однієї сили, званої результуючої, або рівнодіюча силою, і дорівнює їх геометричній сумі.
- Одиниця сили - **Ньютон (Н):1 Н** - сила, яка масі в 1 кг дає прискорення $1 \text{ м} / \text{с}^2$ в напрямку дії сили.


Механічні системи


 Механічною системою називається сукупність матеріальних точок (тіл), що розглядаються як єдине ціле.

 **Зовнішніми силами** називаються сили, що діють на систему з боку зовнішніх тіл (що не входять до складу системи).

 **Внутрішніми силами** називаються сили взаємодії між частинами даної системи.

 Механічна система називається замкнутою, або ізольованою, системою, якщо вона не взаємодіє з зовнішніми тілами (на неї не діють зовнішні сили).

 Маса (m)- фізична величина, одна з основних характеристик матерії, яка визначає її інерційні і гравітаційні властивості.
розмірність: кілограм [кг].

 Щільністю тіла (ρ) в даній його точці M називається відношення маси dm малого елемента тіла, що включає точку M , до величини dV обсягу цього елемента.
розмірність: [кг/ м³]

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

Другий закон Ньютона

II закон Ньютона - *основний закон динаміки поступального руху* - відповідає на питання, як змінюється механічний рух МТ (тіла) під дією прикладених до неї сил.


Прискорення, що купується МТ (тілом), що викликає пропорційно його силі, збігається з нею за напрямком і обернено пропорційно масі МТ (тіла):

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

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

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Імпульс

 Імпульс векторна величина дорівнює добутку маси m матеріальної точки на її швидкість, що має напрямок швидкості, називається імпульсом, або кількістю руху, цієї матеріальної точки.

$$p = mv$$

Розмірність: $[\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}]$.

Другий закон Ньютона

- ✓ **Більш загальне формулювання другого закону Ньютона:**
швидкість зміни імпульсу мат. точки дорівнює діючій на неї силі.
- ✓ векторна величина $\vec{F} dt$ називається **елементарним імпульсом сили F за малий час dt** її дії. Імпульс сили за проміжок часу визначається інтегралом: $\int_0^{t_1} \vec{F} dt$

Згідно з другим законом Ньютона зміна імпульсу матеріальної точки дорівнює імпульсу діючої на неї сили:

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

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

Закон збереження імпульсу

 *Імпульс замкнутої системи не змінюється з плином часу (зберігається):*

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$$

- Закон збереження імпульсу є наслідком *однорідності простору*: при паралельному перенесенні в просторі замкнутої системи тіл як цілого її фізичні властивості не змінюються (не залежить від вибору положення початку координат інерціальної системи відліку).

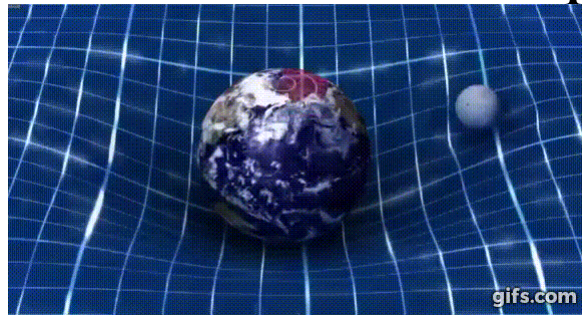
Третій закон Ньютона

- *Будь-яке дію МТ (тел) один на одного має характер взаємодії;*
- *сили з якими діють один на одного МТ, завжди рівні по модулю, протилежно спрямовані і діють вздовж прямої, що з'єднує ці точки.*

Ці сили *прикладені до різних МТ (тіл), завжди діють парами і є силами однієї природи.* Третій закон Ньютона дозволяє перейти від динаміки окремої МТ до динаміки довільної системи МТ, оскільки дозволяє звести будь-яку взаємодію до сил парної взаємодії між МТ.

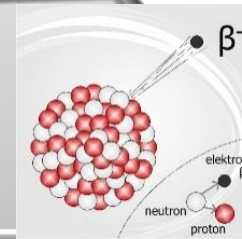
Фундаментальні взаємодії

Фундаментальні взаємодії - якісно розрізняються типи взаємодії елементарних частинок і складених з них тел.



Гравітаційне

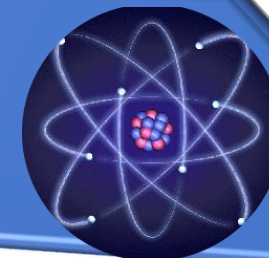
Слабке



Електромагнітне



Сильне

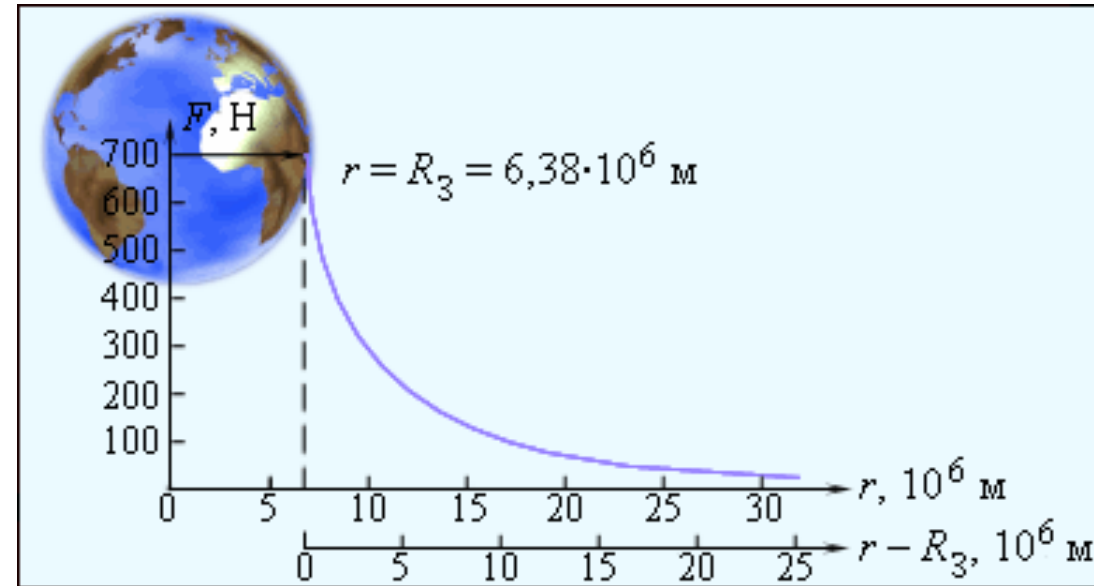
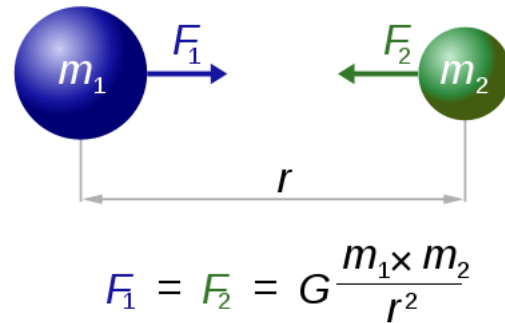


Сили в механіці

1. Сили тяжіння (гравітаційні сили)

Гравітаційна взаємодія - найслабша з чотирьох фундаментальних взаємодій. Згідно закону всесвітнього тяжіння Ньютона сила гравітаційного взаємодії F двох точкових мас m_1 і m_2 дорівнює

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$



$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ - гравітаційна постійна,
 R - відстань між взаємодіючими масами m_1 і m_2 .

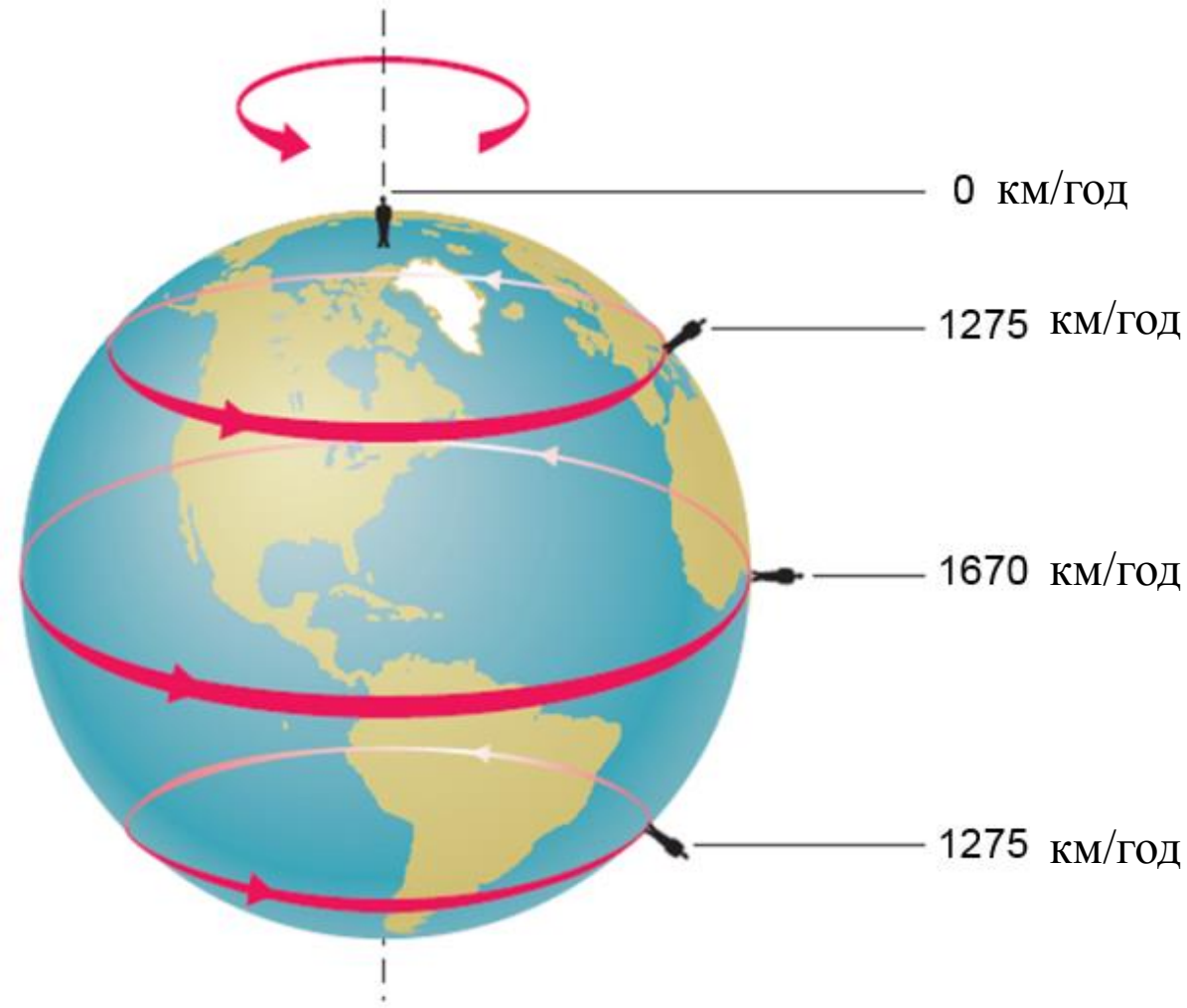
g залежить від широти місцевості :

$$P = mg = F_g + F_{цб},$$

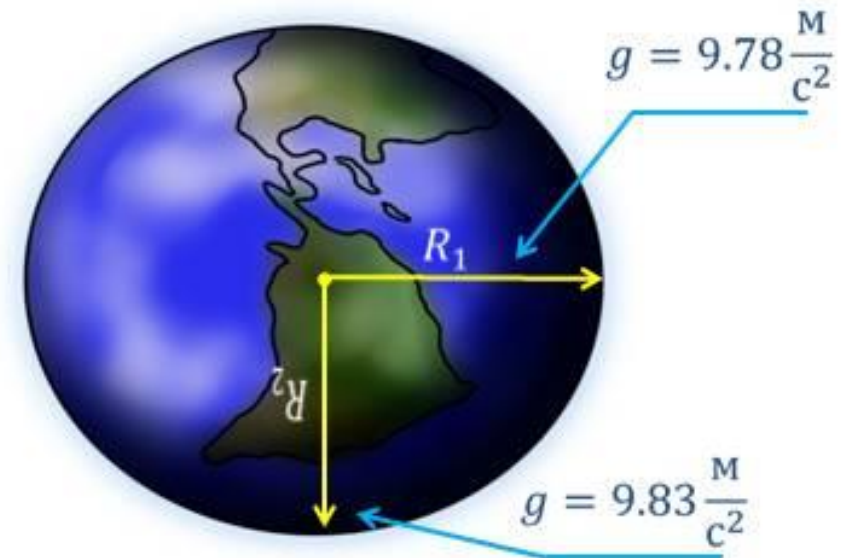
де $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння тіла.

Направлено g точно до центру тільки на полюсі і на екваторі.

$$R_1 > R_2$$



➤ На екваторі вага тіла $P = m(g - \omega^2 R_3)$ на 0,3 % менше, ніж на полюсах, в результаті обертання Землі.

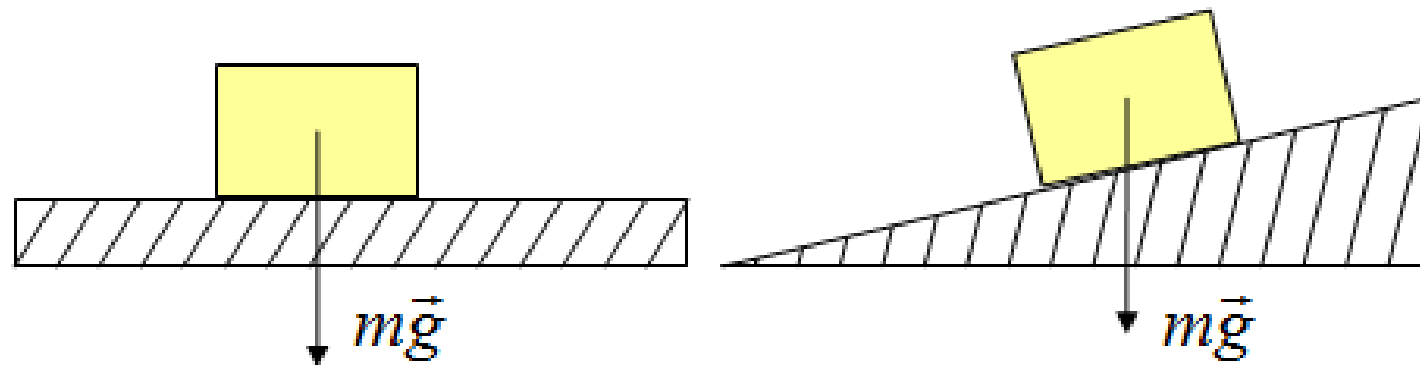


В системі відліку, пов'язаній із Землею, на всяке тіло масою m діє сила:

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

звана силою тяжіння - сила, з якою тіло притягується Землею.

- Під дією сили тяжіння до Землі всі тіла падають з однаковим прискоренням $g = 9,81 \text{ м / с}^2$, Званим *прискоренням вільного падіння*.



$$P = mg \qquad F = G \frac{m_1 M_{nl}}{R_{nl}^2}$$

$$mg = G \frac{m M_{nl}}{R_{nl}^2}$$



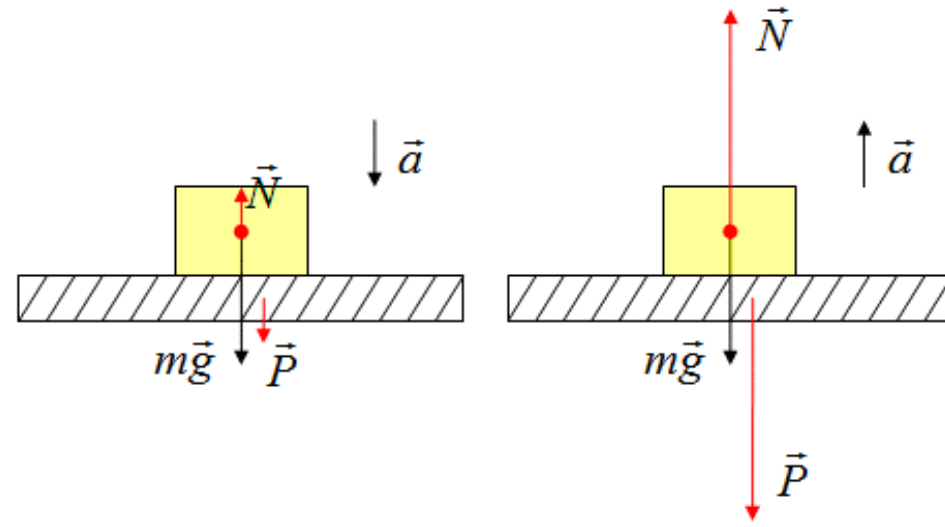
$$g = G \frac{M_{nl}}{R_{nl}^2}$$

$M_3 = 6 \cdot 10^{24}$ кг - масса Земли

$R_3 = 6,4 \cdot 10^6$ м - радиус Земли

Сила тяжіння дорівнює вазі тіла тільки в тому випадку, коли прискорення тіла щодо землі дорівнює нулю.

В іншому випадку $P = m (g - \bar{a})$, де \bar{a} - прискорення тіла з опорою щодо Землі.



Якщо тіло вільно рухається в поле сили тяжіння, то $a = g$, і вага дорівнює нулю, тобто тіло буде невагомим.

Невагомість - це стан тіла, при якому воно рухається тільки під дією сили тяжіння.

- ✓ Іноді в якості синонома назви цього явища використовується термін мікрогравітація, що невірно.
- ✓ Про дійсну мікрогравітацію можна говорити лише в застосуванні до польотів в міжпланетному і міжзоряному просторі.
- ✓ Далеко від великого небесного тіла дію сил тяжіння віддалених зірок і планет буде настільки слабким, що виникне ефект невагомості.

2. Сили пружності

Сили пружності виникають в результаті взаємодії тіл, що супроводжується їх деформацією. Пружна сила пропорційна зсуву частки з положення рівноваги і спрямована до положення рівноваги:

$$\vec{F} = -k\vec{r},$$

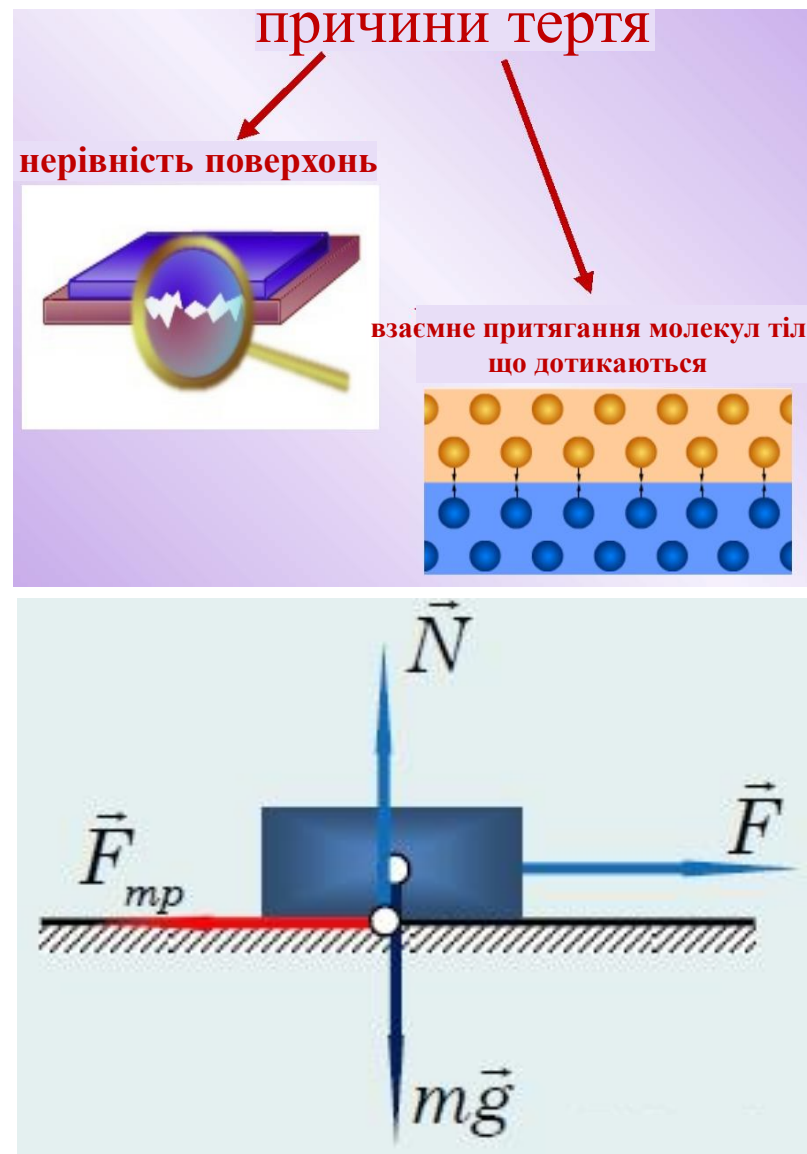
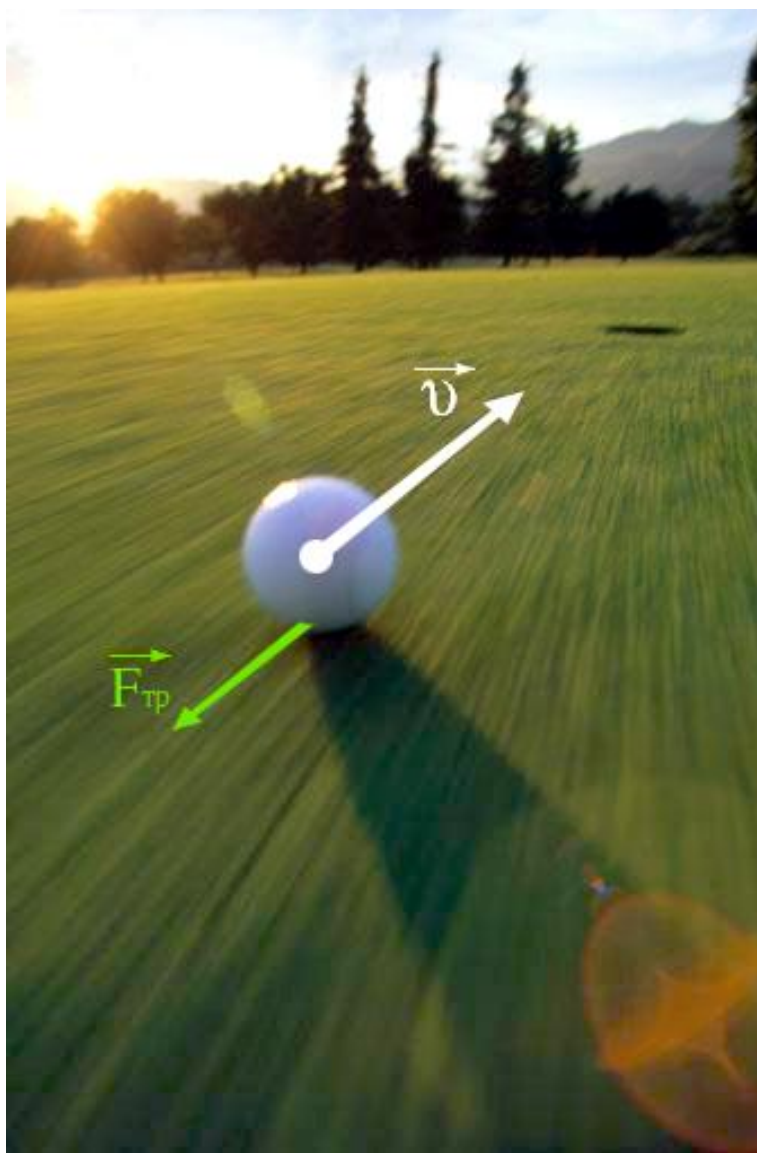
де r - радіус-вектор, що характеризує зміщення частинки з положення рівноваги,
 k -пружність.

3. Сила тертя ковзання

Сила тертя ковзання виникає при ковзанні даного тіла по поверхні іншого:

$$\vec{F}_{тр} = \mu \vec{N},$$

де μ - коефіцієнт тертя ковзання, що залежить від природи і стану дотичних поверхонь; N - сила нормального тиску, Притискає тертьові поверхні один до одного. Сила тертя спрямована по дотичній до поверхонь, що труться в сторону, протилежну руху даного тіла відносно іншого.




Використання сили тертя величезне, наприклад в побуті зводиться до того, що ми можемо їздити і ходити, що предмети не вислизають з рук і т. д.

1.3 Дінаміка твёрдого тіла

Закон руху центра мас

У механіці Ньютона через незалежності маси від швидкості імпульс системи може бути виражений через швидкість її центру мас.

 Центром мас (або центром інерції) системи мат. точок називається уявна точка C , положення якої характеризує розподіл маси цієї системи.

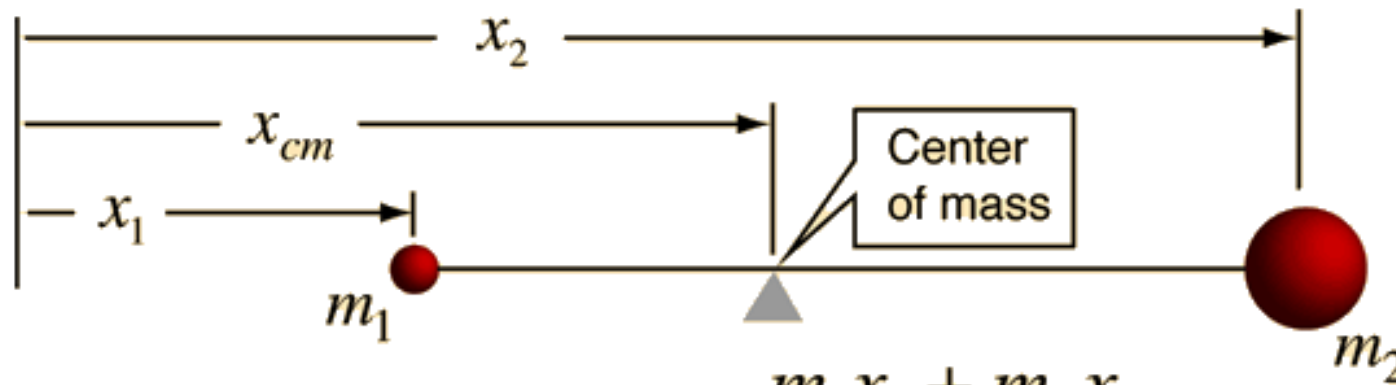


Радіус-вектор точки С дорівнює:

$$\vec{r}_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{m}$$


де m_i і r_i відповідно маса і радіус вектор i -ї матеріальної точки;
 n - число МТ в системі; m - маса системи.

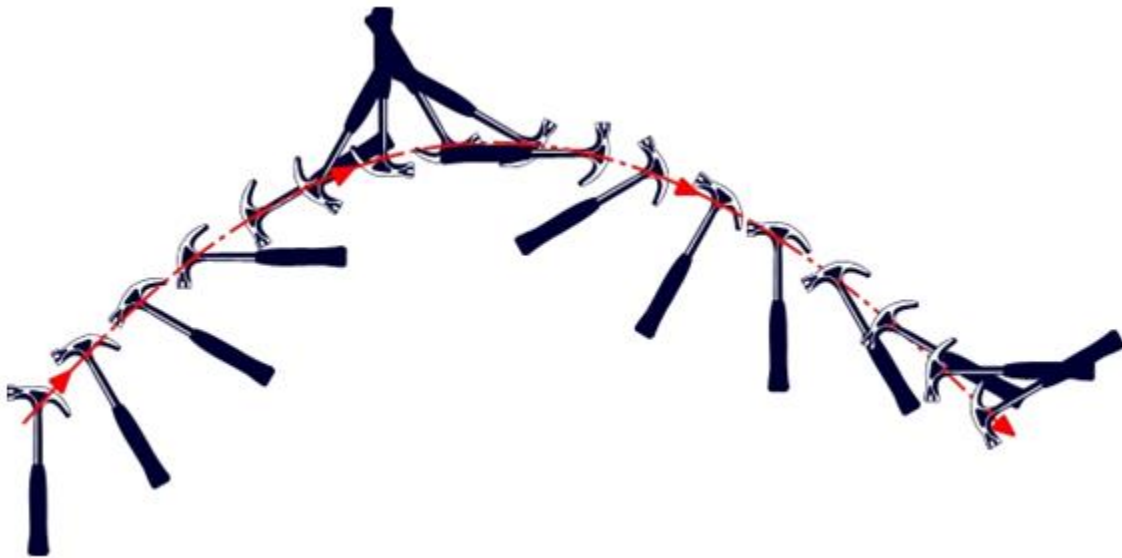
$$m = \sum_{i=1}^n m_i$$



For two masses:
$$x_{cm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

Закон руху центру мас:

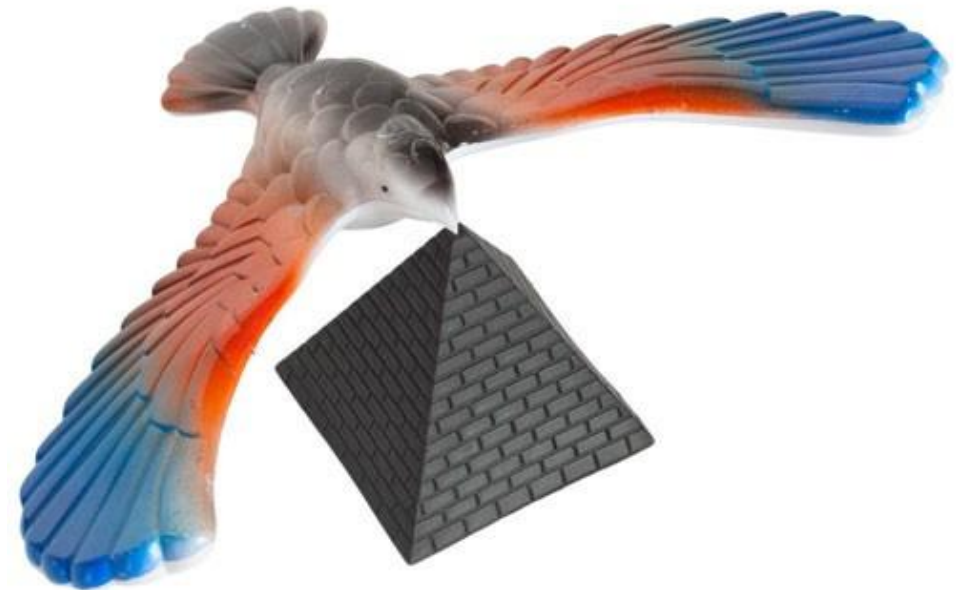
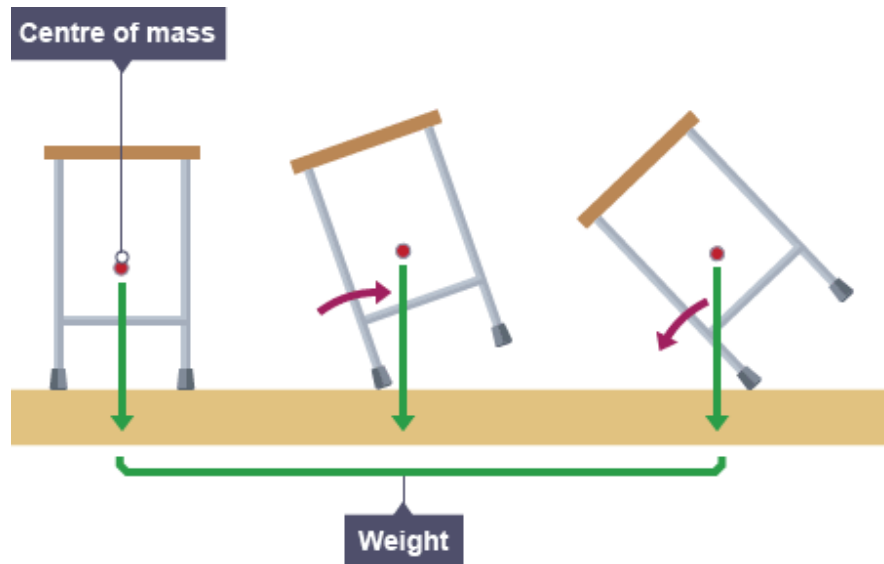
 Центр мас системи рухається як МТ, в якій зосереджена маса всієї системи і на яку діє сила, рівна геометричній сумі всіх зовнішніх сил, що діють на систему.



$$m \frac{d\vec{v}_c}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$


Із закону збереження імпульсу випливає, що центр мас замкнутої системи або рухається прямолінійно і рівномірно, або залишається нерухомим.

Приклад балансу




Центр мас пtiці знаходиться в дзьобі

Момент інерції

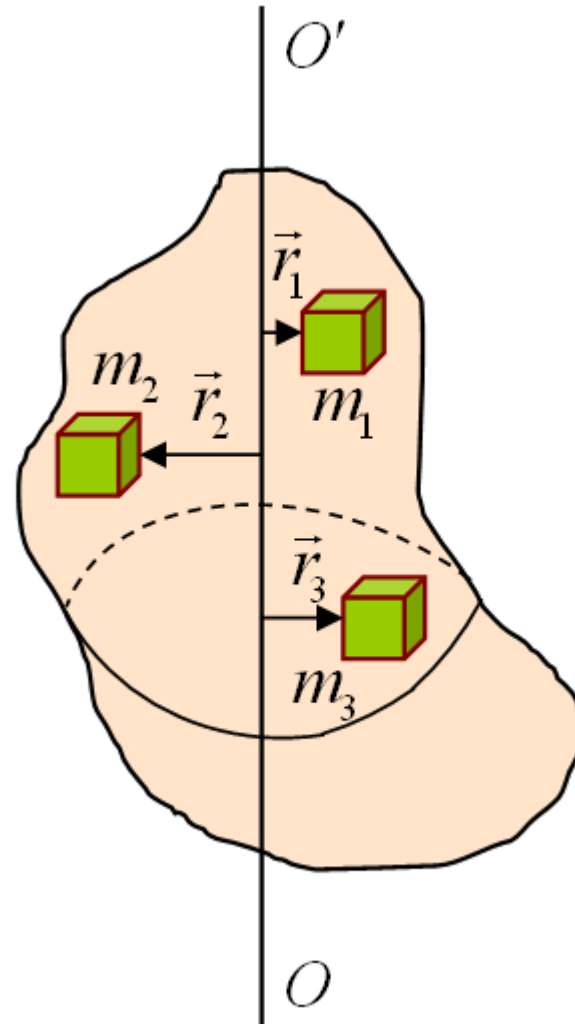
 Моментом інерції $MТ$ щодо осі обертання називається добуток маси цієї точки на квадрат відстані від осі.

$$J_i = m_i r_i^2$$

 Моментом інерції системи (тіла) щодо осі обертання називається фіз. величина, яка дорівнює сумі добутків мас $MТ$ системи на квадрати їх відстаней до даної осі.

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

Розбиття твердого тіла на окремі
елементарні частини для знаходження
моменту інерції.



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

У разі безперервного розподілу мас ця сума зводиться до інтеграла,

$$J = \int_0^m r^2 dm = \int_0^V \rho r^2 dV$$

де інтегрування проводиться за об'ємом тіла.



Головний момент інерції - момент інерції відносно головної осі обертання проходить через центр мас.

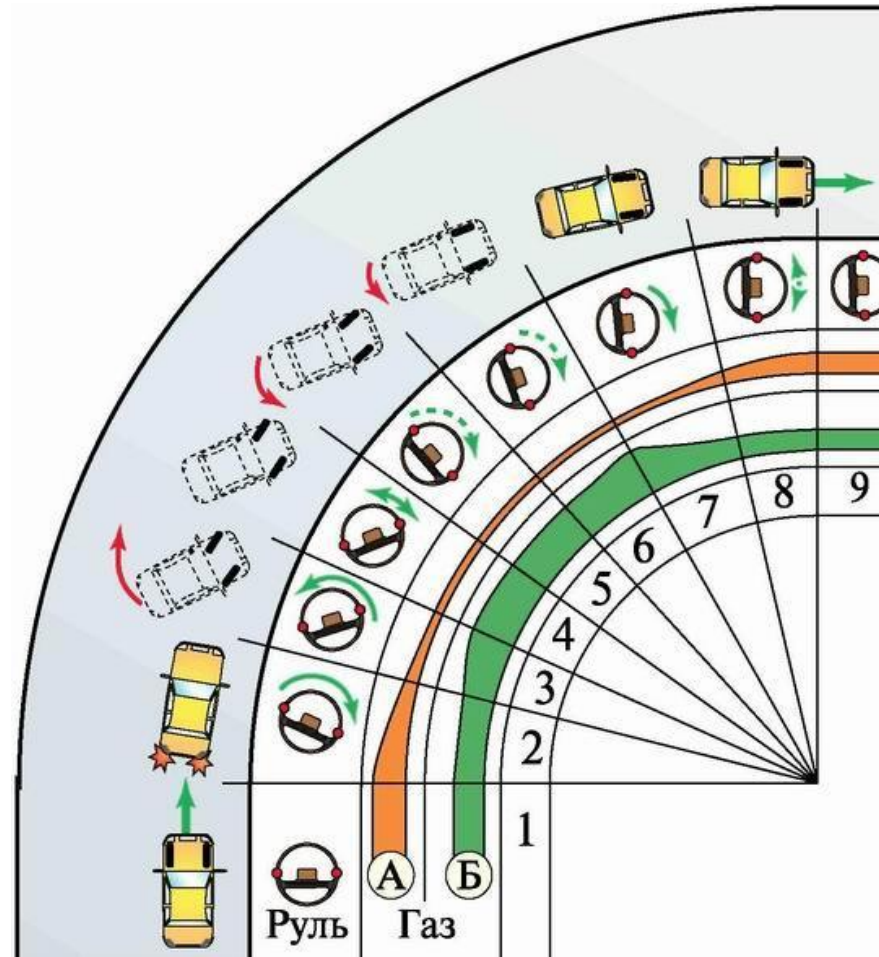
- Момент інерції тіла залежить від того, щодо якої осі воно обертається і як розподілена маса за об'ємом.

Моменти інерції (J) деяких тел

тіло	положення осі обертання	момент інерції	
порожній тонкостінний циліндр радіуса R	ось симетрії	mR^2	
суцільний циліндр або диск радіуса R	ось симетрії	$\frac{1}{2} mR^2$	
прямий тонкий стрижень довжиною l	Ось \perp стрижня і проходить через його <u>середину</u>	$\frac{1}{12} ml^2$	
прямий тонкий стрижень довжиною l	Ось \perp стрижня і проходить через його <u>край</u>	$\frac{1}{3} ml^2$	
суцільний куля радіусом R	Ось проходить через центр кулі	$\frac{2}{5} mR^2$	
порожня тонкостінна сфера радіусом R	Ось проходить через центр сфери	$\frac{2}{3} mR^2$	

➤ фізичний зміст моменту інерції:


момент інерції представляє собою міру інерції тіла у обертальному русі.



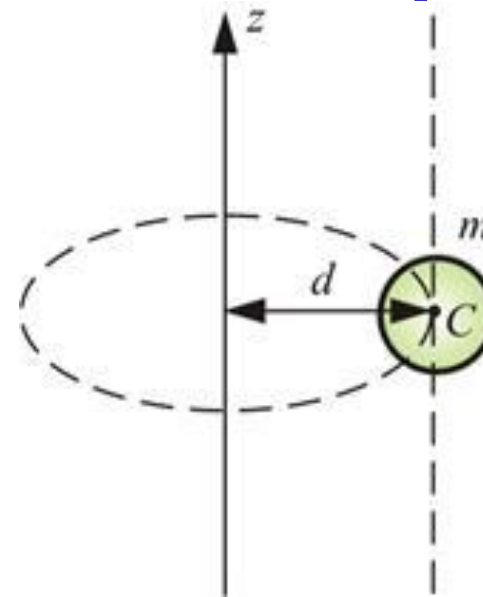
Приклад керованого заносу автомобіля

Теорема Штейнера

Якщо відомий момент інерції тіла відносно осі, що проходить через його центр мас, то момент інерції щодо будь-якої іншої паралельної осі визначається теоремою Штейнера:

 *момент інерції тіла J щодо довільної осі z дорівнює сумі моменту його інерції J_C щодо паралельної осі, що проходить через центр мас C тіла, і добутку маси m тіла на квадрат відстані d між осями.*

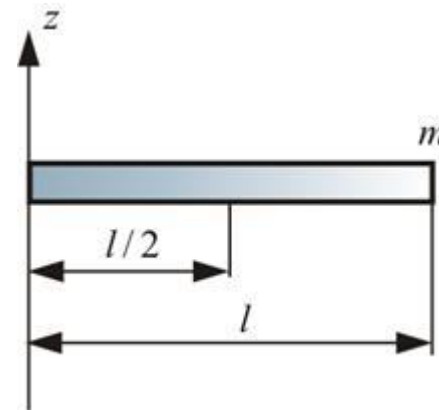
$$J = J_C + md^2$$




Наприклад, момент інерції прямого тонкого стрижня довжиною l щодо осі, яка перпендикулярна стрижню і проходить через його кінець (ця вісь відстоїть на $l/2$ від осі, що проходить через центр стрижня):

$$J = J_c + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 = \frac{1}{12} ml^2 + \frac{1}{4} ml^2 = \frac{1}{3} ml^2$$

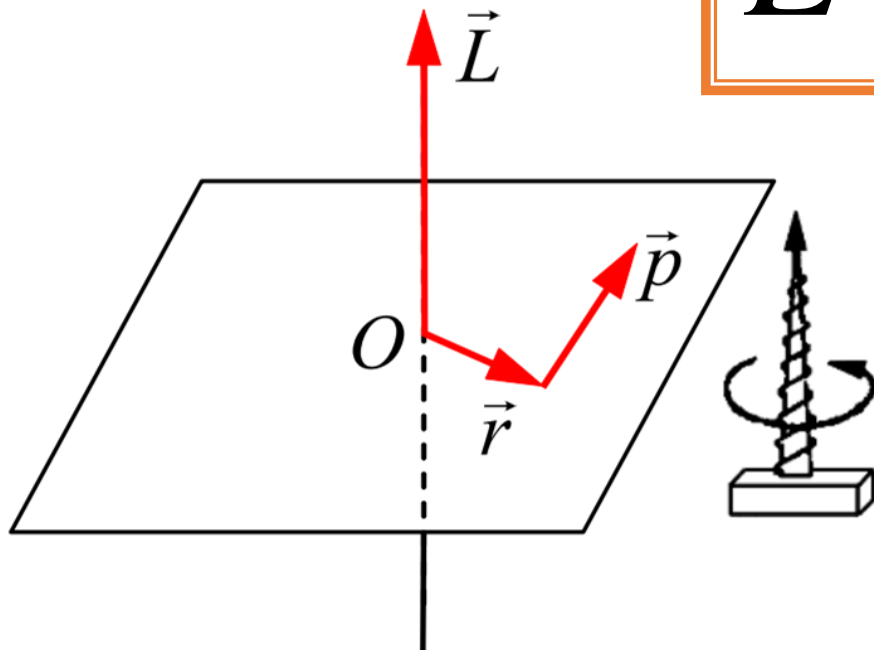
Т.ч., величина моменту інерції залежить від вибору осі обертання.



Момент імпульсу і закон його збереження

 Моментом імпульсу L (кількості руху) МТ відносно нерухомої точки O називається фіз. величина, яка визначається векторним добутком:

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] = [\vec{r}, m\vec{v}]$$



При обертанні абсолютно твердого тіла (ТТ) навколо нерухомої осі кожна точка тіла рухається окружності по постійного радіуса r ; зі швидкістю v перпендикулярної радіусу.

Момент імпульсу окремої частки дорівнює

$$L_i = m_i v_i r_i$$

і спрямований по осі в сторону, яка визначається правилом правого гвинта (збігається напрямком вектора кутової швидкості).

Момент імпульсу твердого тіла



Момент імпульсу ТТ щодо осі є сума моментів імпульсу окремих частинок:

$$L = \sum_{i=1}^n m_i v_i r_i = \sum_{i=1}^n m_i \omega r_i^2 = J \omega$$

ВИЗНАЧИМО ПОХІДНУ за часом від моменту імпульсу частинки:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt} [\vec{r} \vec{P}] = \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \vec{P} \right] + \left[\vec{r} \frac{d\vec{P}}{dt} \right]$$

Оскільки $\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$ $\vec{P} = m\vec{v}$ тож $\left[\frac{d\vec{r}}{dt} \vec{P} \right] = m[\vec{v}\vec{v}] = 0$

бо дорівнює нулю векторний добуток будь-якого вектора самого на себе.

ВИСНОВОК:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \dot{\vec{L}} = \left[\vec{F} \vec{r} \right] \text{ -МОМЕНТ СИЛИ}$$

- ще одна форма рівняння динаміки обертального руху твердого тіла.

Момент сили



Моментом сили M щодо нерухомої точки O називається фіз. величина, яка визначається векторним добутком радіуса-вектора r , проведеного з точки O в точку прикладання сили, на F :

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

момент сили - він же: крутний момент, обертальний момент.

Момент імпульсу твердого тіла

У замкнутій системі момент зовнішніх сил $\mathbf{M} = 0$.

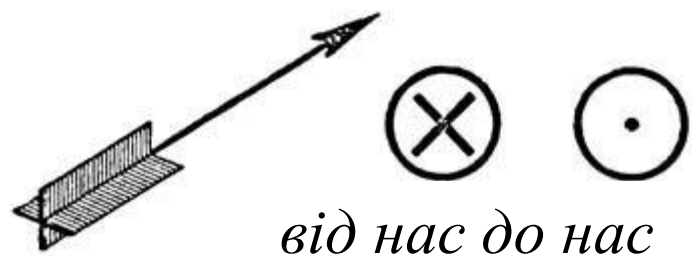
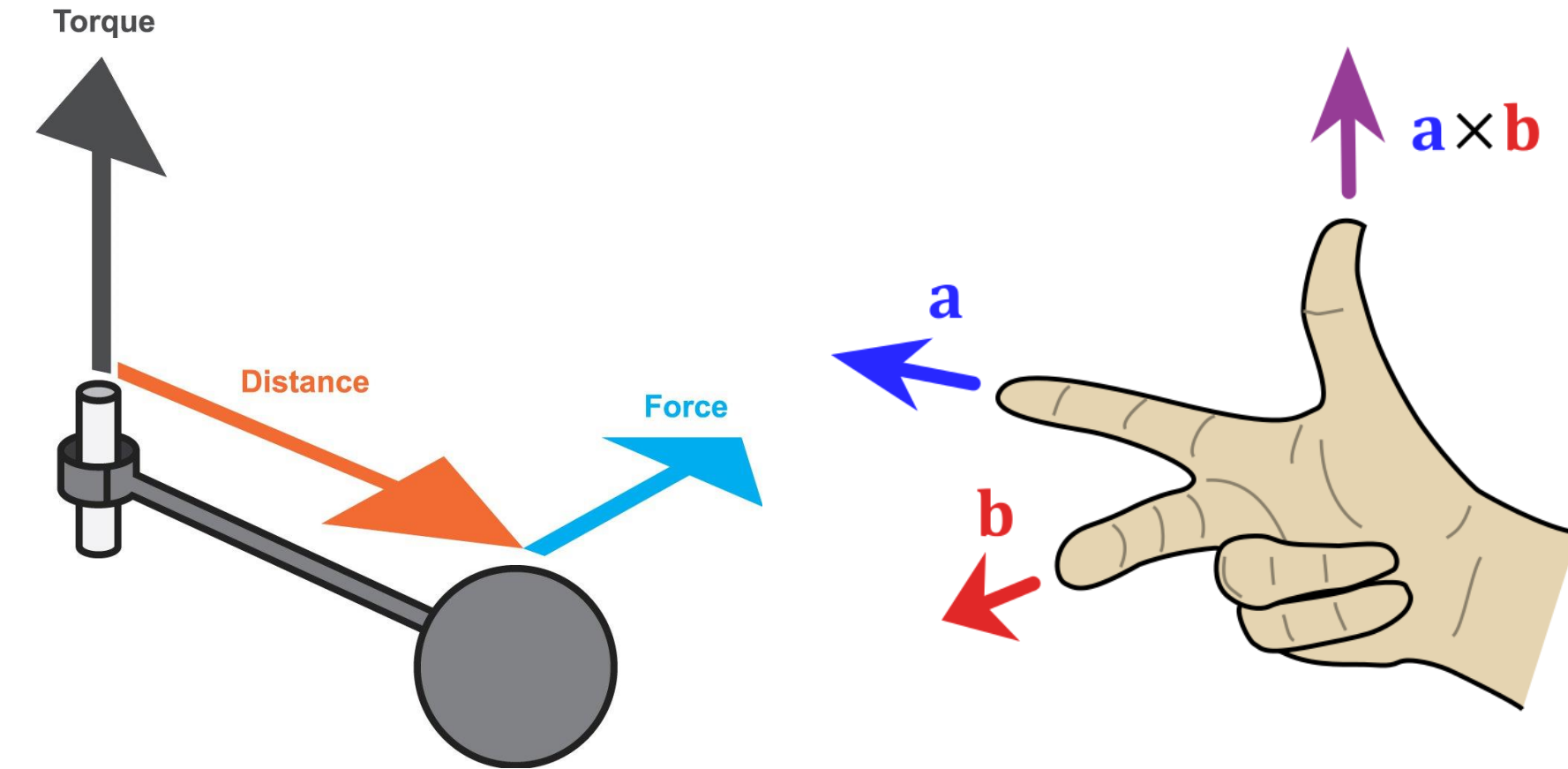


Закон збереження моменту імпульсу: момент імпульсу замкнутої системи зберігається тобто не змінюється плином часу: $\mathbf{L} = \text{const}$.

Це - фундаментальний закон природи.

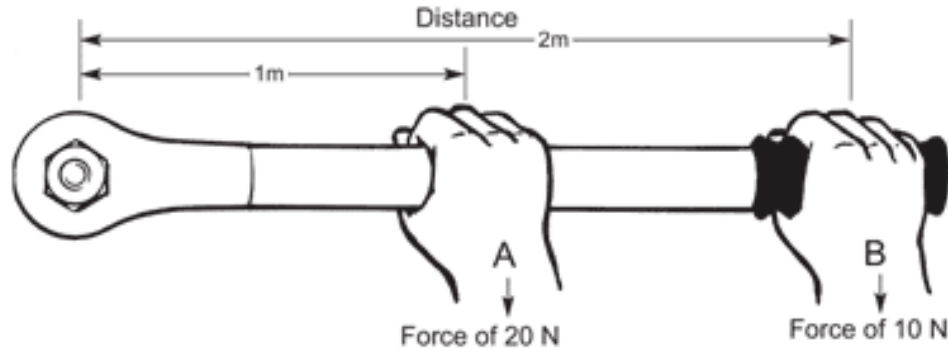
Він є наслідком ізотропності простору: інваріантність фізичних законів щодо вибору напрямку осей координат системи відліку.

Визначення напрямку в просторі результуючого вектора



- умовні позначення

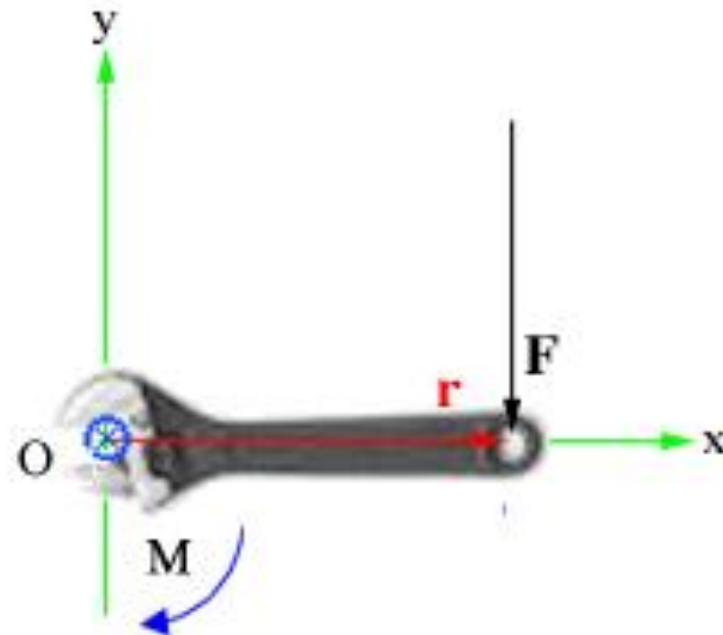
➤ Момент сили, прикладений до гайковий ключ, направлен *від* глядача.




Let: T = Torque
F = Force
L = Length of Lever or Wrench

Then: $T = F \times L$

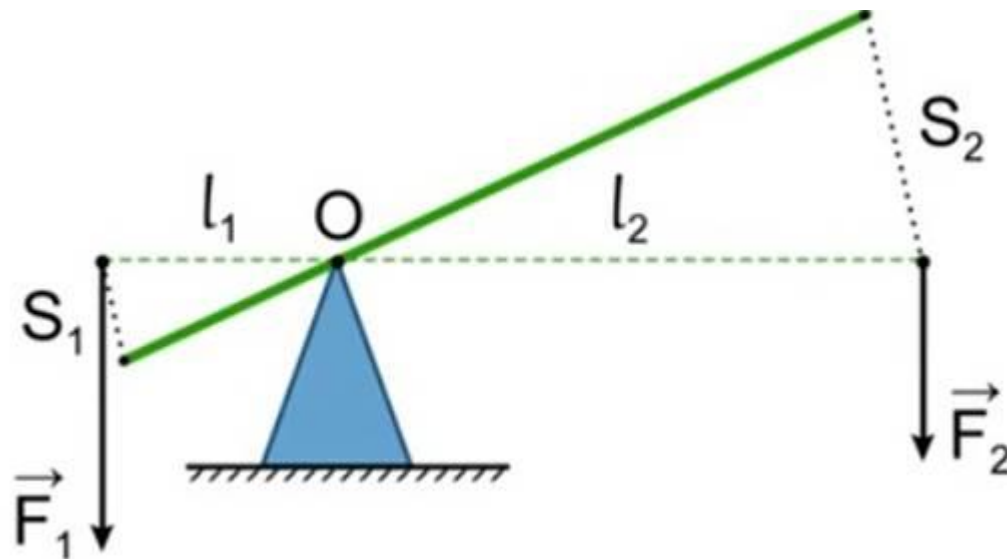
Example A
20 Newtons x 1 metre = 20 N.m (Newton metres)
Example B
10 Newtons x 2 metres = 20 N.m



Золоте правило механіки

 *«Золоте правило» механіки. Діючи на довге плече важеля, ми виграємо в силі, але при цьому в стільки ж разів програємо у відстані.*

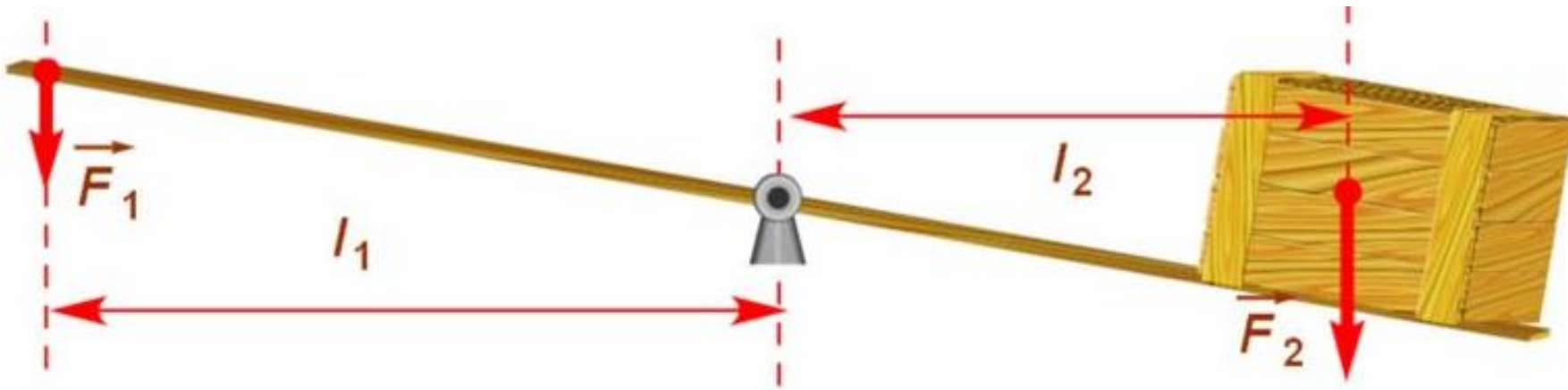
$$F_1 S_1 = F_2 S_2$$



Модуль моменту сили:


$$M = Fr \sin a = Fl,$$

де $l = r \sin a$ - плече сили – найкоротша відстань між лінією дії сили і точкою O;
 a - кут між \mathbf{r} та \mathbf{F}



Щоб знайти плече сили, треба з точки опори провести перпендикуляр на лінію дії сили.

Основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла

 *Момент обертальної сили, прикладеної до тіла, дорівнює добутку моменту інерції тіла на кутове прискорення:*

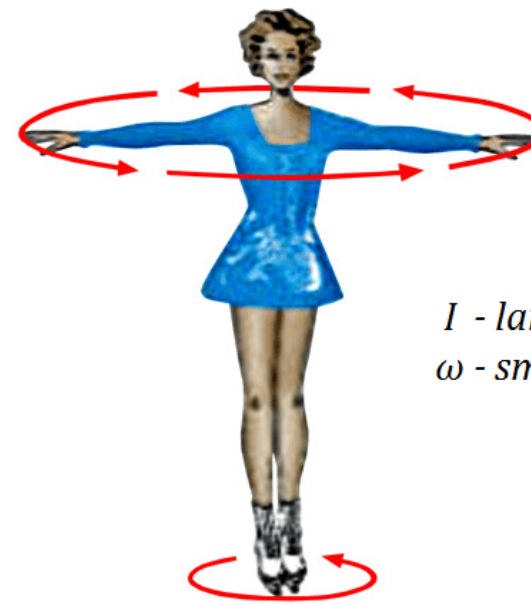
$$M = J\varepsilon$$

При рівномірному ТТ
щодо деякої осі з закон
збереження моменту
імпульсу

$$\vec{L} = \text{const}$$

рівносильний:

$$J\omega = \text{const.}$$



I - large
 ω - small



I - small
 ω - large

Angular Momentum	=	Moment of Inertia	\times	Angular Velocity
L	=	I	\times	ω

1.4 Закони збереження в класичній механіці


Енергія



Енергія - це універсальна міра різних форм руху і взаємодії.

- З різними формами руху матерії пов'язують різні *форми енергії*: механічну, теплову, електромагнітну, ядерну ...
- Зміна механічного руху тіла викликається силами, що діють на нього з боку інших тіл.

Робота

 Робота сили це кількісна характеристика процесу обміну енергією між взаємодіючими тілами.

При прямолінійному русі тіла, яка під дією постійної сили F , що становить певний кут α з напрямком переміщення, робота цієї сили дорівнює:

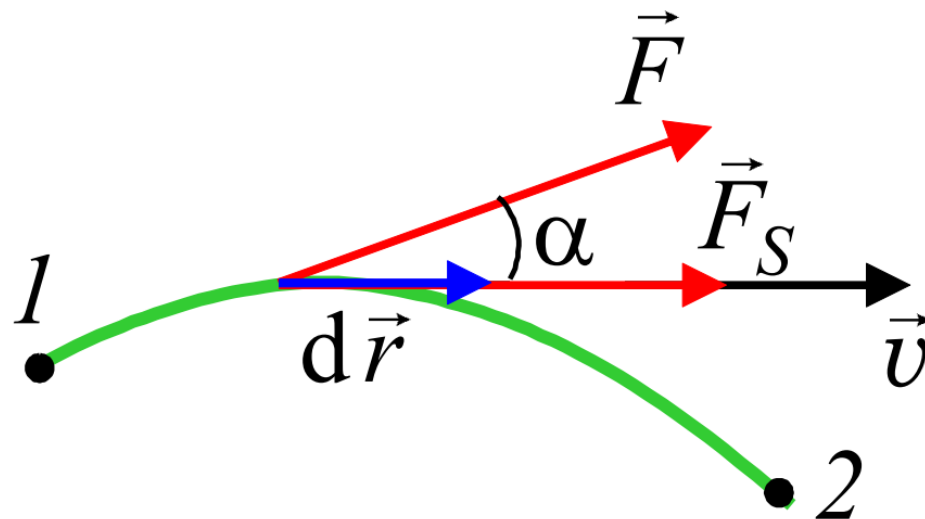
$$A = F \cdot S \cos \alpha$$

Одиниця роботи - джоуль (Дж) - робота здійснюється силою 1 Н на шляху 1 м:
 $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

- У загальному випадку сила може змінюватися як за модулем, так і за напрямком, тому цією формулою користуватися не можна.

Однак на елементарному (нескінченно малому) переміщенні $d\vec{r}$ можна ввести скалярну величину елементарну роботу dA сили

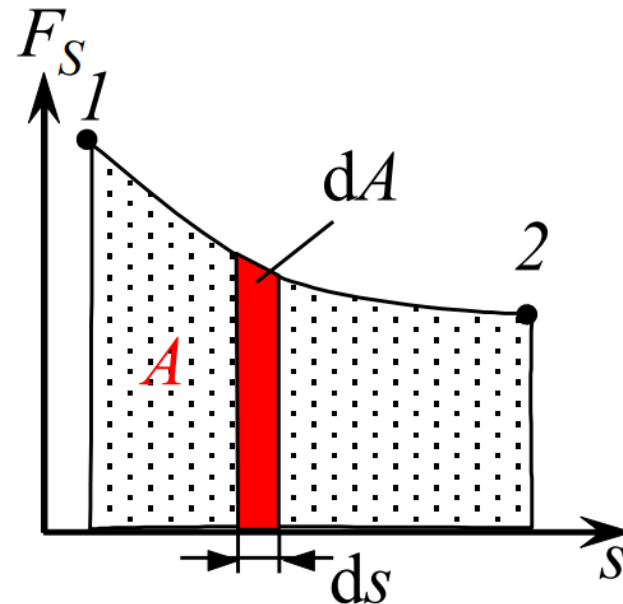
$$dA = \left(\vec{F} \cdot d\vec{r} \right) = F \cos \alpha \cdot dS = F_s dS$$



Тоді робота сили на ділянці траєкторії від точки 1 до точки 2 дорівнює алгебраїчній сумі елементарних робіт на окремих нескінченно малих ділянках шляху:

$$A = \int_1^2 F dS \cos \alpha = F_S dS$$

якщо залежність F_S від S представлена графічно, то робота A визначається площею заштрихованої фігури.





Консервативною (потенціальною)

називають силу, робота якої визначається тільки початковим і кінцевим положеннями тіла і не залежить від форми шляху.

- Консервативними силами є сили тяжіння, пружності. Всі центральні сили консервативні.
- Прикладом *неконсервативних* сил є сили тертя.

Потенційне поле сил



Потенційне поле - поле, в якому робота, що здійснюється силами при *переміщенні тіла з одного положення в інше, не залежить від* того, з якої *траєкторії* це переміщення відбулося, а залежить тільки від початкового і кінцевого положень.

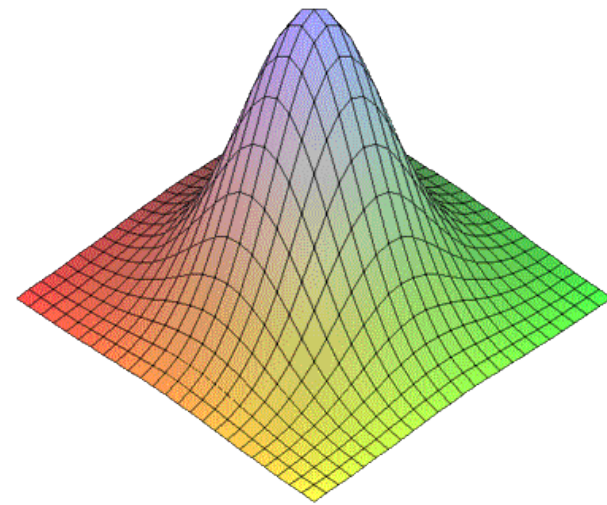
➤ Робота консервативних (потенційних) сил при елементарному зміні конфігурації системи дорівнює приросту потенційної енергії, взятому зі знаком мінус, так як *робота здійснюється за рахунок убутку потенційної енергії:*

$$dA = -dW$$

ОСКІЛЬКИ

$$\vec{F}d\vec{r} = -dW,$$

$$W = -\int \vec{F}d\vec{r} + const,$$

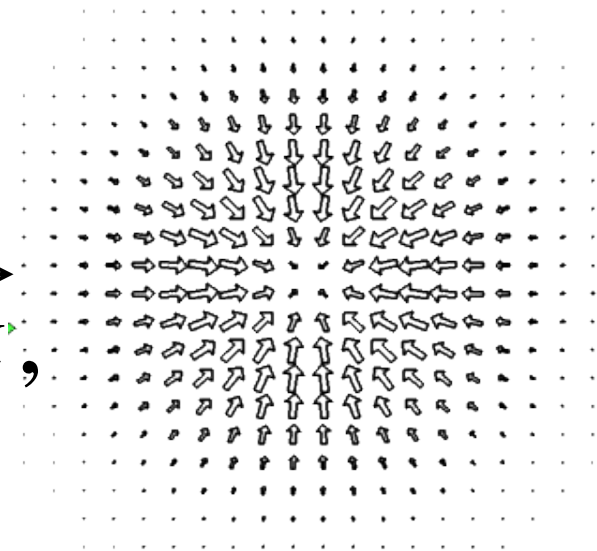


ТОДІ

$$\vec{F} = -gradW = -\nabla W,$$

де вектор

$$gradW = \frac{\partial W}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial W}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial W}{\partial z} \vec{k},$$



називається *градієнтом* скаляра W і позначається $\nabla W \equiv gradW$. Символ ∇ («Набла») позначає символічний вектор, званий оператором Гамільтона або Набла-оператором.

Набла $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$

конкретний вид функції залежить від характеру силового поля.

1) Потенційна енергія тіла маси m на висоті h :

$$W = -\int_0^h \vec{P} d\vec{r} = \int_0^h mg dx = mgh.$$

2) Потенціальна енергія пружньодеформованого тіла:

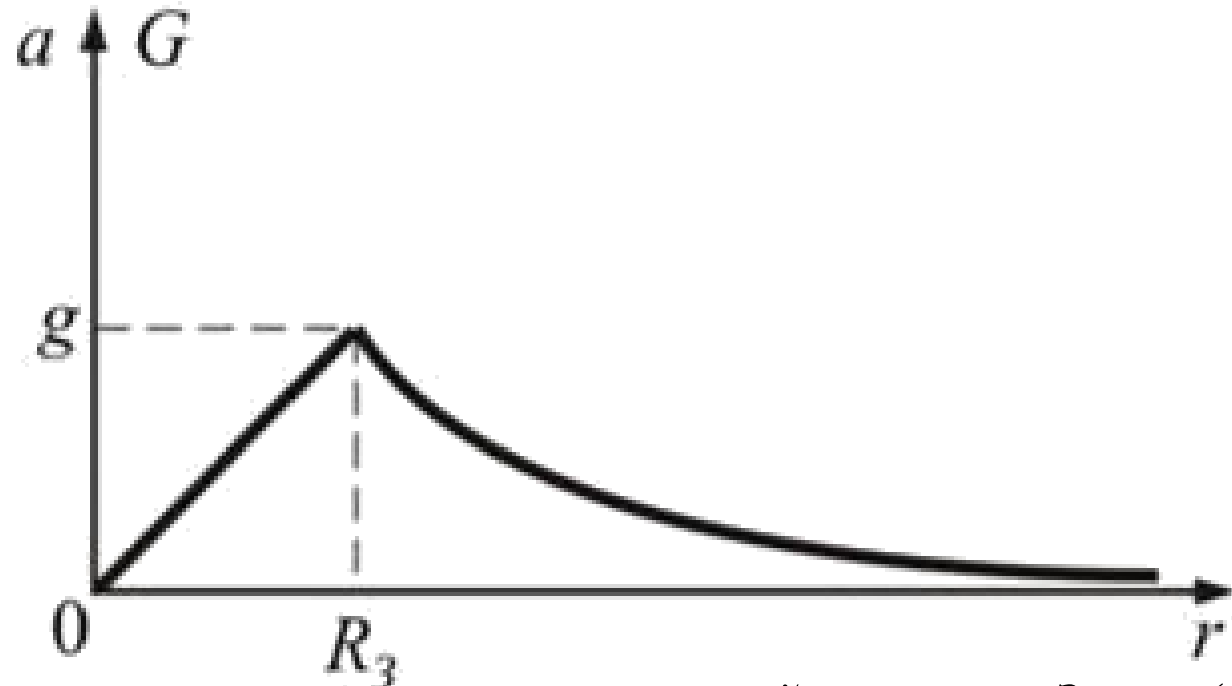
$$W = -\int_0^x F dx = \int_0^h kx dx = \frac{kx^2}{2}.$$

➤ У гравітаційному полі землі $\vec{F} = m\vec{g}$

звідки

$$E = g = \frac{F}{m} = \frac{GM}{R^2} = \frac{GM}{(R_3 + h)^2},$$

де R_3 - радіус землі, маса якої M , h - відстань від центра ваги тіла до поверхні Землі.



Графічна залежність напруженості гравітаційного поля Землі (і прискорення a) від відстані до центру Землі

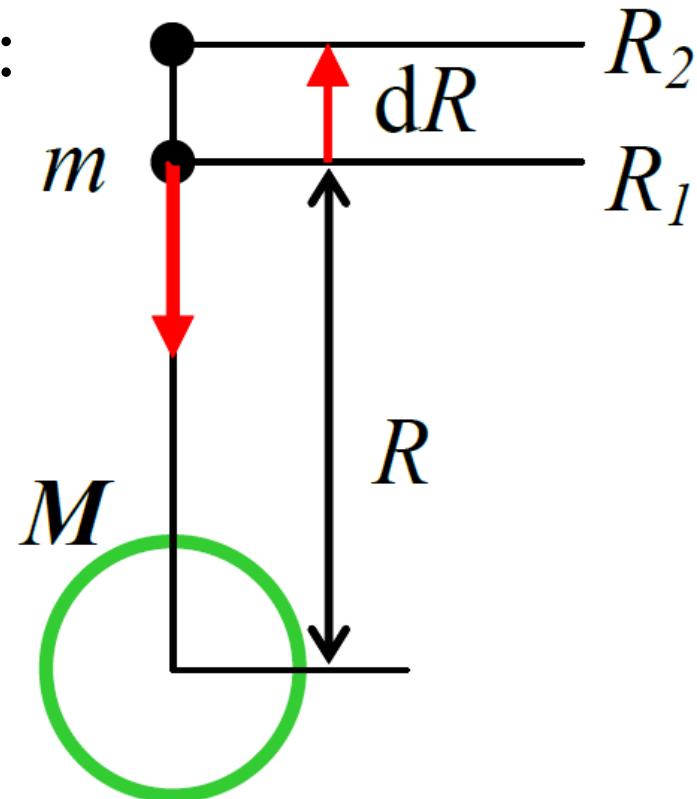
➤ при переміщенні тіла масою m на відстань dR поле тяжіння виконує роботу

$$dA = \vec{F} d\vec{R} = -G \frac{mM}{R^2} dR$$

(Знак мінус тому, що сила і переміщення *протилежно направлені*).

При переміщенні тіла з відстані R_1 до відстані R_2 :

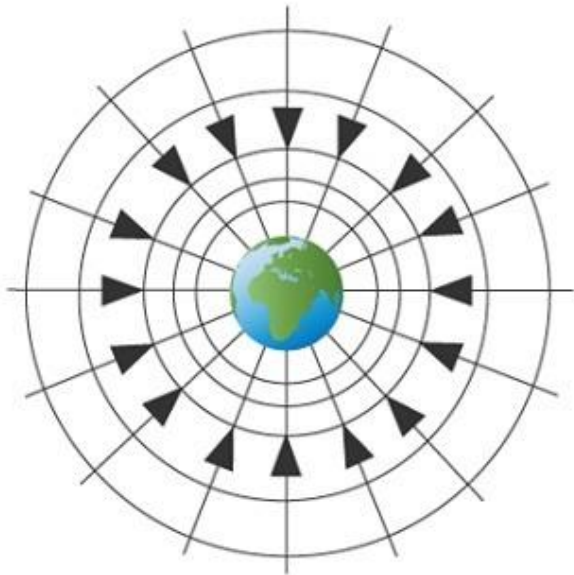
$$A = - \int_{R_1}^{R_2} G \frac{mM}{R^2} dR = -m \left(\frac{GM}{R_2} - \frac{GM}{R_1} \right)$$



- Робота *не* залежить від траєкторії переміщення, а визначається тільки початковим і кінцевим положеннями тіла.
- Отже, сили тяжіння консервативні, а поле тяжіння є потенційним. Робота консервативних сил дорівнює зміні потенційної енергії системи зі зворотним знаком.


$$A = -(E_2 - E_1).$$

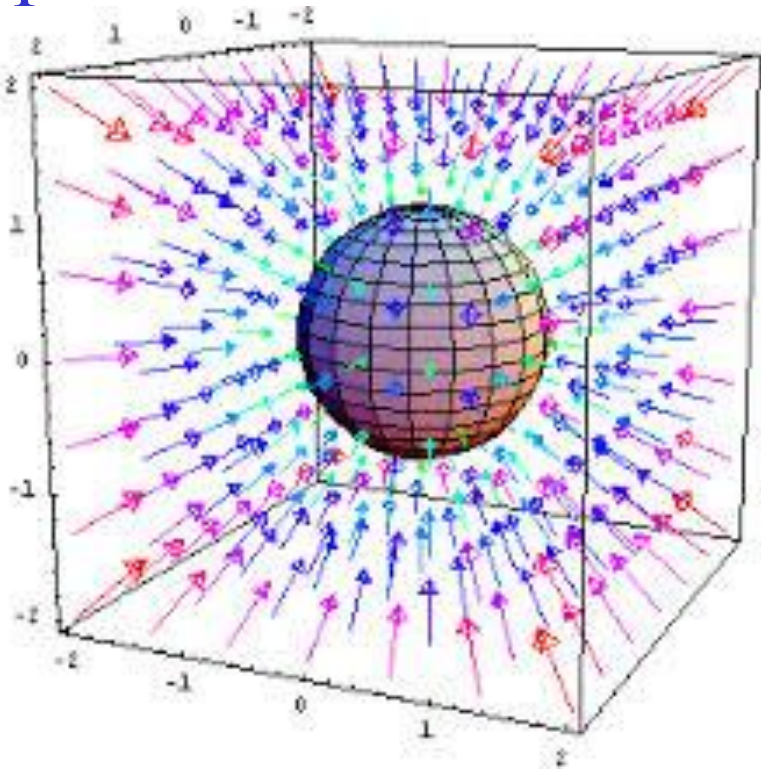
Тому, *потенційна енергія поля сил тяжіння:*



$$E = -G \frac{mM}{R}$$

для будь-якого потенційного поля можна визначити *скалярну енергетичну характеристику поля - потенціал*.

 *Потенціалом поля тяжіння* в даній точці поля називається скалярна величина, що дорівнює відношенню потенційної енергії матеріальної точки, розміщеної в розглянуту точку поля, до маси матеріальної точки:



$$\varphi = \frac{E}{m} = -G \frac{M}{R}$$

Розглянемо зв'язок між потенціалом поля тяжіння і його напруженістю:

$$dA = -md\varphi, \quad dA = Fdr = mgdr \Rightarrow g = -\frac{d\varphi}{dr}$$

чи


$$\vec{g} = -g \operatorname{grad} \varphi = -\nabla \varphi.$$

В загальному випадку для будь-якого потенційного поля між напруженістю і потенціалом існує зв'язок:

$$\vec{E} = -g \operatorname{grad} \varphi = -\nabla \varphi.$$

Потужність

Щоб охарактеризувати швидкість виконання роботи, вводять поняття потужності.

 Потужність P (power) дорівнює скалярному добутку вектора сили на вектор швидкості, з якою рухається точка докладання цієї сили.

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} d\vec{r}}{dt} = (\vec{F}, \vec{v})$$

Одиниця потужності - **ват (Вт)**: 1 Вт - потужність, при якій за час 1с виконується робота 1 Дж: 1 Вт = 1 Дж / с.

Кінетична і потенційна енергія механічної системи



Кінетична енергія механічної системи (E_k) –
це енергія механічного руху цієї системи.

- Сила, діючи на покоїться тіло і викликаючи його рух, здійснює роботу, а енергія рухомого тіла зростає на величину витраченої роботи.

Т.ч., приріст кінетичної енергії частинки на елементарному переміщенні дорівнює елементарній роботі на тому ж переміщенні:

$$dE_K = dA.$$

Тіло масою m , що рухається зі швидкістю \mathbf{v} , має кінетичної енергією:

$$dA = \vec{F} d\vec{r} = m \frac{dv}{dt} d\vec{r} = m \vec{v} d\vec{v} = dE_K$$

$$E_K = \int_0^v m v dv = \frac{mv^2}{2}$$

Кінетична енергія залежить *тільки* від маси і швидкості тіла.

Тому кінетична енергія:

- 1) є функцією стану системи;
- 2) завжди позитивна;
- 3) неоднакова в різних інерційних системах відліку.



Потенціальна енергія ($E_{\text{П}}$)- це механічна енергія системи тіл, що визначається їх взаємним розташуванням і характером сил взаємодії між ними.

- Потенційна енергія системи, подібно до кінетичної енергії, є функцією стану системи.
- Вона залежить тільки від конфігурації системи та її положення по відношенню до зовнішніх тіл.

Приклади потенційної енергії:

1. Потенційна енергія тіла масою m на висоті h :


$$\bullet E_{\text{п}} = mgh$$

2. Потенційна енергія пружини, розтягнутої на довжину x :

$$\bullet E_{\text{пруж}} = \frac{kx^2}{2}$$

Одиниця кінетичної і потенційної енергії - Джоуль (Дж).

Закон збереження енергії

 Повна механічна енергія системи - енергія механічного руху і взаємодії дорівнює сумі кінетичної і потенційної енергій:

$$E_{Mex} = E_{пот} + E_{кін} = const.$$

Закон збереження енергії: в системі тіл, між якими діють лише консервативні сили, повна механічна енергія зберігається, тобто не змінюється з часом.

➤ Це - фундаментальний закон природи. Він є наслідком однорідності часу - інваріантності фізичних законів щодо вибору початку відліку часу.

➤ Механічні системи, на тіла яких діють тільки консервативні сили (внутрішні та зовнішні), називаються консервативними системами.

➤ *У консервативних системах повна механічна енергія залишається постійною.*

➤ Можуть лише відбуватися перетворення кінетичної енергії в потенційну і назад в еквівалентних кількостях, так що повна енергія залишається незмінною.



Дисипативні системи - системи, в яких механічна енергія поступово зменшується за рахунок перетворення в інші (немеханічних) форми енергії.

➤ В системі, в якій діють також неконсервативні сили, наприклад, сили тертя, повна механічна енергія системи не зберігається.

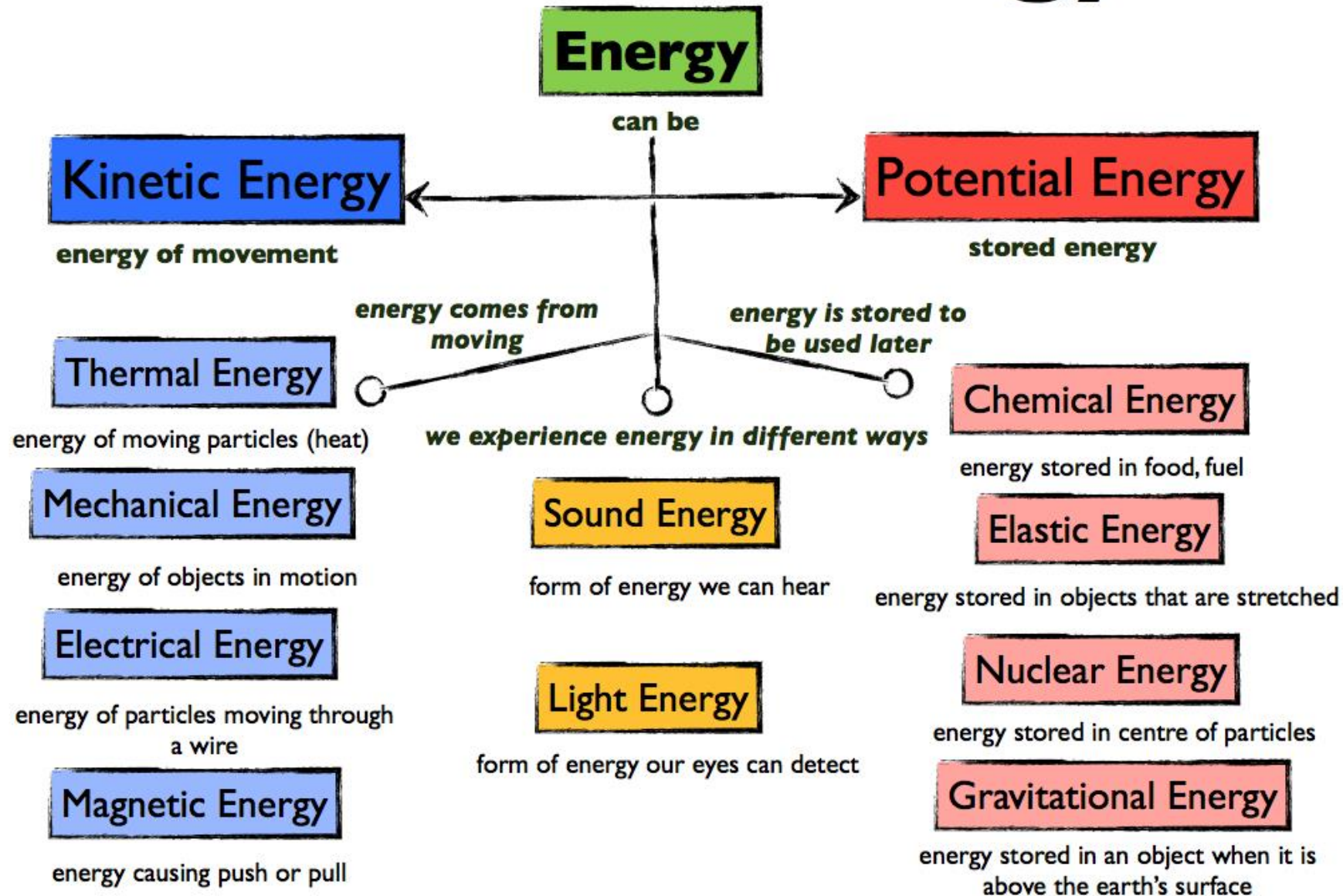
➤ Однак при "зникнення" механічної енергії завжди виникає еквівалентна кількість енергії іншого виду.

*Енергія ніколи не
зникає і не з'являється
знову, вона лише
перетворюється з
одного виду в інший.*

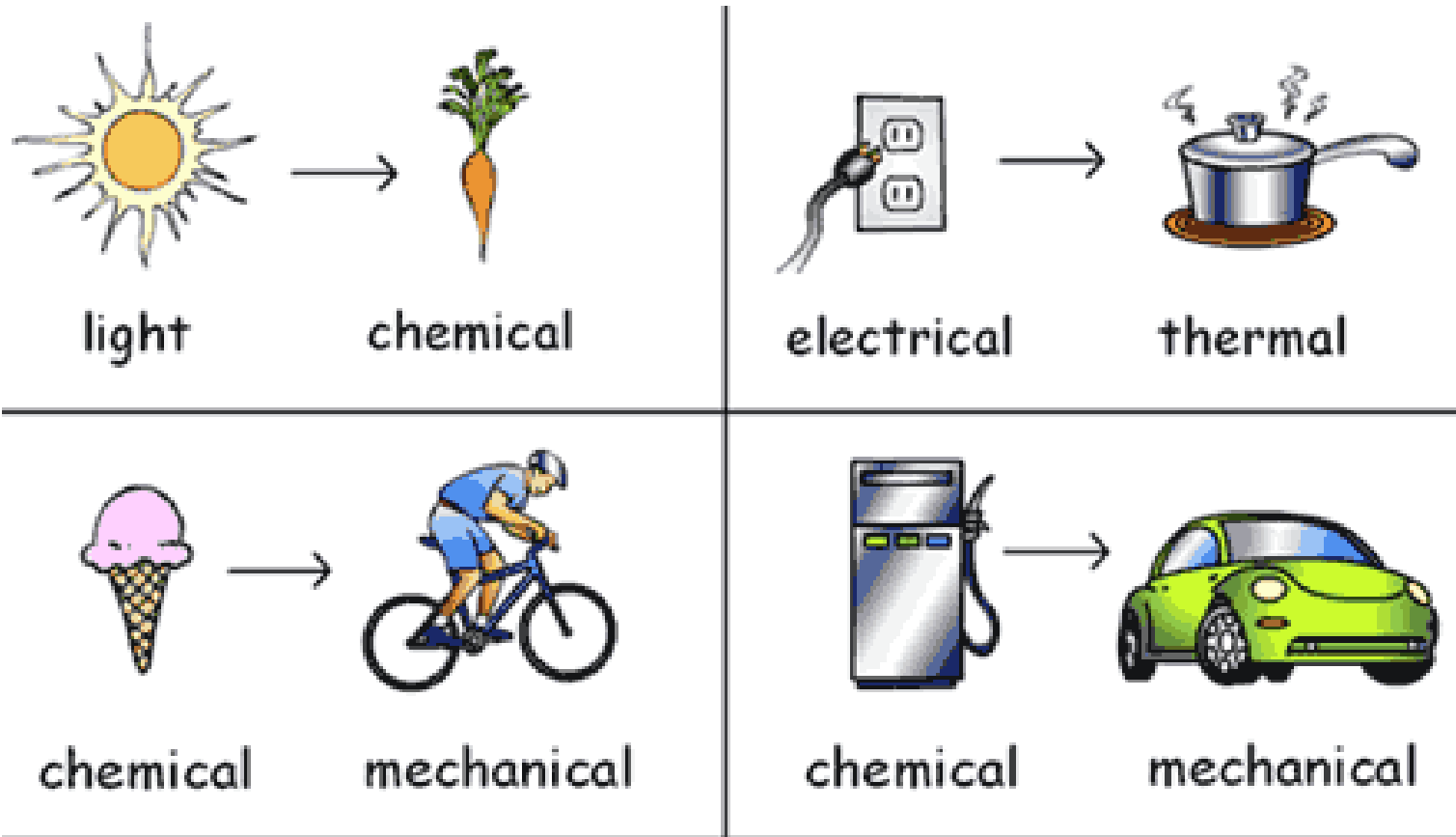


- У цьому полягає фізична сутність закону збереження і перетворення енергії - сутність незнищенності матерії і її руху.

Forms of Energy



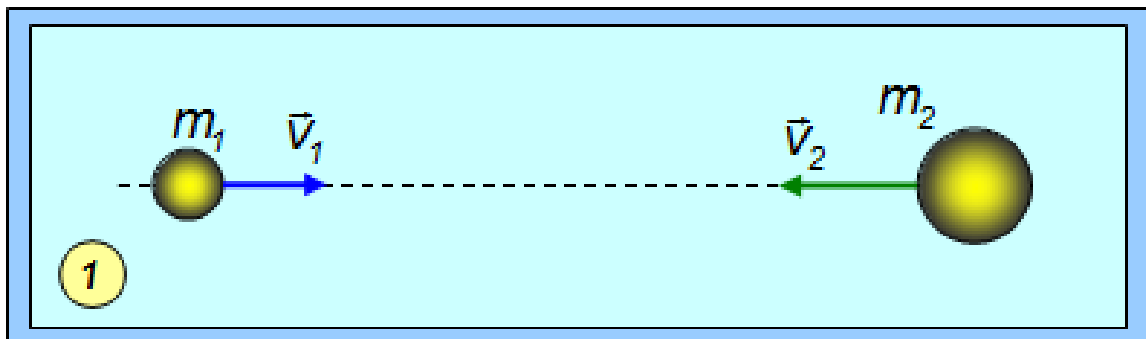
Приклади перетворення енергії



Зіткнення

Удар (зіткнення) - це зіткнення двох або більше тіл, при якому взаємодія триває дуже короткий час.

Центральний удар - це удар, при якому тіла до удару рухаються по прямій, що проходить через їх центри мас.





Абсолютно пружний удар - зіткнення двох тіл, в результаті якого в обох взаємодіючих тілах не залишається ніяких деформацій, і вся кінетична енергія, якою володіли тіла до удару, після удару знову перетворюється в кінетичну енергію.

Виконуються закони збереження імпульсу і збереження механічної енергії.

Позначимо швидкості куль з масами m_1 і m_2 до удару через V_1 і V_2 , після удару - через V'_1 і V'_2
Розглянемо прямий центральний удар. Закони збереження:

імпульсу:
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

енергії:
$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v'^2_1}{2} + \frac{m_2 v'^2_2}{2}$$

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

тоді

$$v'_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$



Абсолютно непружних удар - це зіткнення двох тіл, в результаті якого тіла об'єднуються, рухаючись далі як єдине тіло.

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}$$

$$\vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

Чому не виконується закон збереження механічної енергії:

внаслідок деформації частина кінетичної енергії переходить у внутрішню енергію тіл (розігрів).
Це зменшення дорівнює:

$$\Delta K = \left(\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \right) - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2$$

Якщо вдаряє тіло було спочатку нерухомо ($v_2 = 0$),
то:


$$v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$


$$\Delta K = \frac{m_2}{(m_1 + m_2)} \frac{m_1 v_1^2}{2}$$


якщо $m_1 \gg m_2$, То $v \ll v_1$ і $\Delta K \approx K_1$.

Деформації твердого тіла

Реальні тіла не є абсолютно пружними.

 **Деформація** - це зміна форми і розмірів твердих тіл під дією зовнішніх сил.

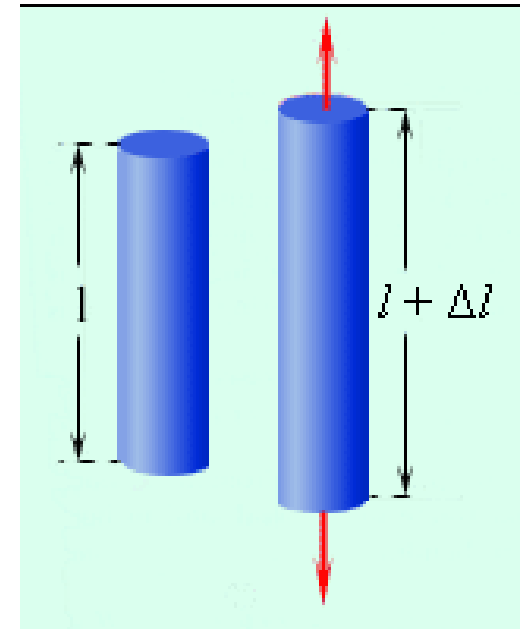
 **Пластична деформація** - це деформація, яка зберігається в тілі після припинення дії зовнішніх сил.

 Деформація називається **пружною**, якщо після припинення дії зовнішніх сил тіло приймає початкові розміри і форму.



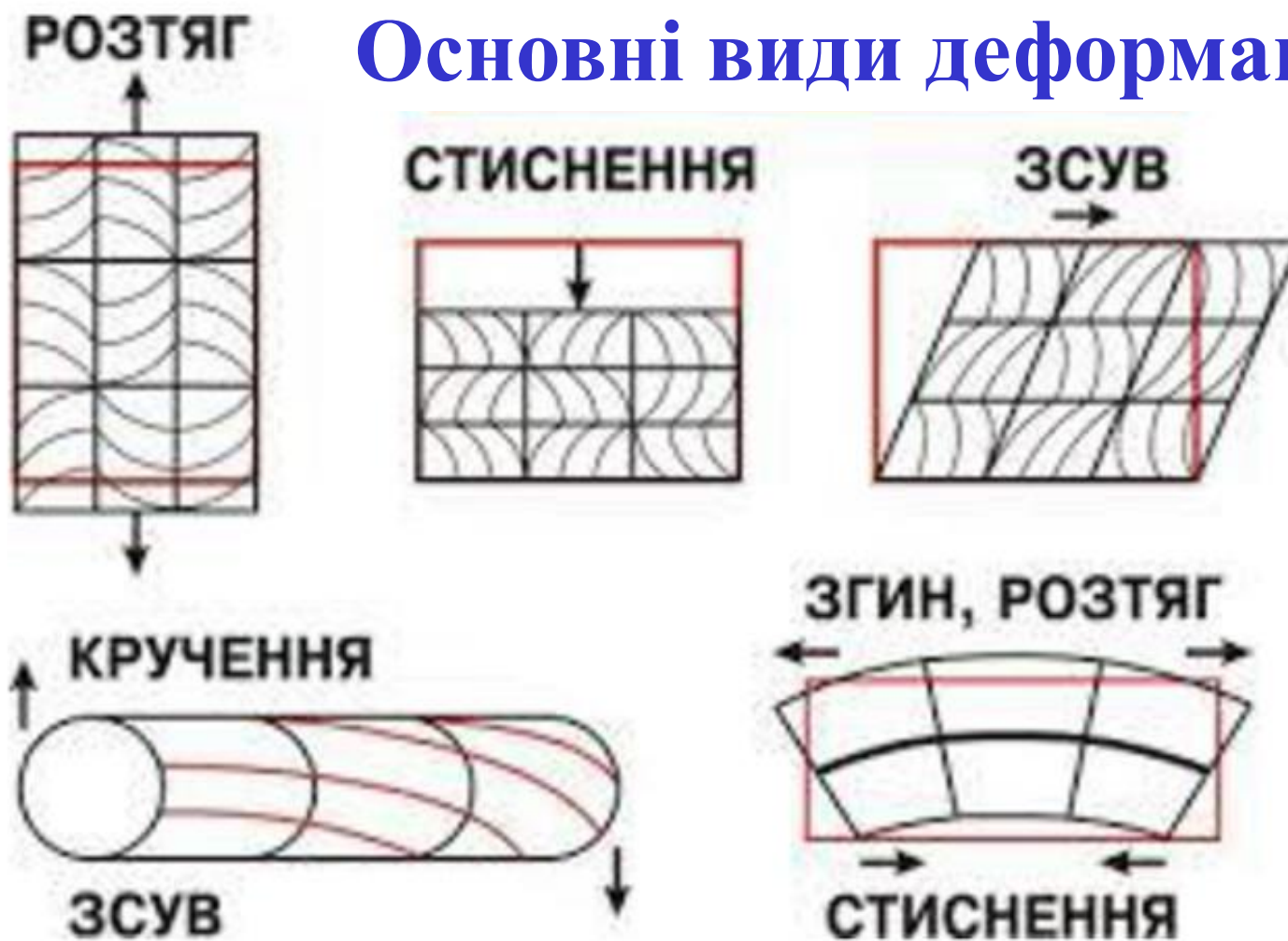
Відносна деформація - кількісна міра, що характеризує ступінь деформації і визначається відношенням абсолютної деформації Δx до первісного значення величини x , що характеризує форму або розміри тіла: Δ/l .

$\varepsilon = \Delta l / l$ – *відносна поздовжня деформація* (зміна довжини l стрижня)



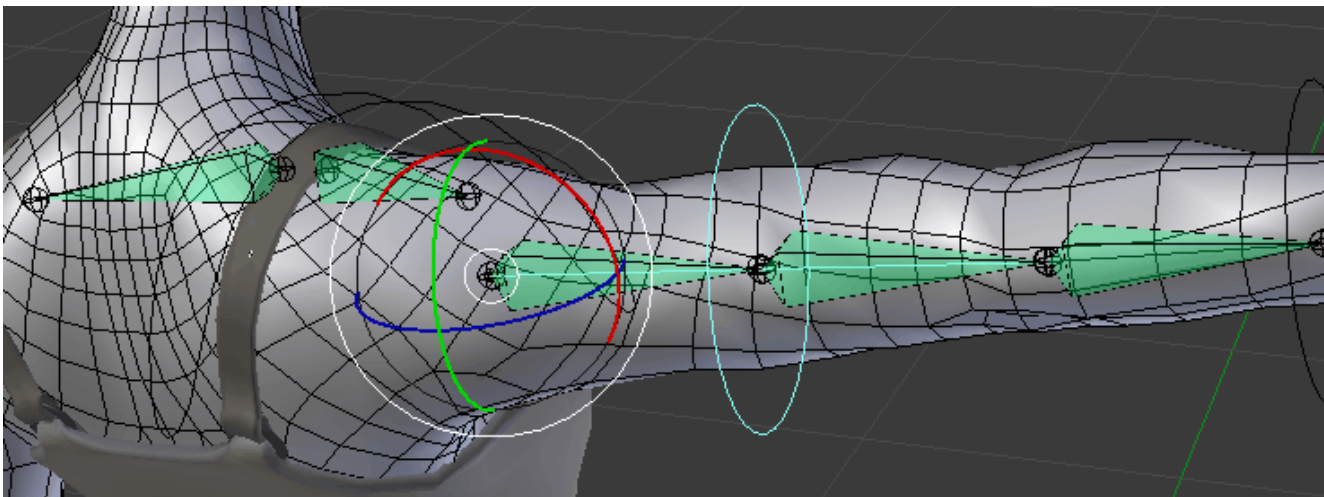
$\varepsilon' = \Delta d / d$ - *відносна поперечна деформація* (розтягнення / стиснення), де d - діаметр стержня.

Основні види деформації

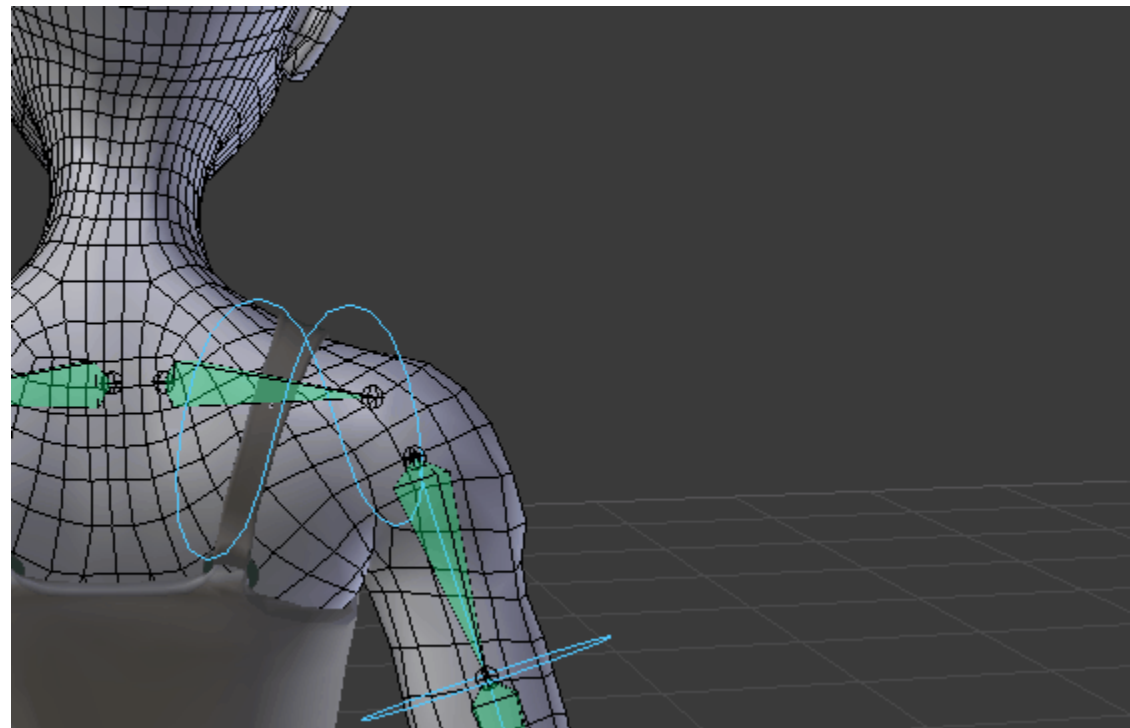


Моделювання рухів людського тіла найчастіше є КОМПЛЕКСНИМ.

1



2



Який вид деформації представлений?

**Елементи механіки рідин.
Тиск в рідині й газі.**

Властивості рідин і газів багато в чому відрізняються.

Газ

рівномірно
заповнюють весь
обсяг судини

середня відстань між
молекулами
змінюється

Рідина


зберігаючи об'єм,
приймає форму
судини

середня відстань між
молекулами *const*

Однак в ряді випадків,

- рідини і гази можна розглядати як суцільну
середу,
- їх поведінка описується однаковими
законами - законами гідроаеромеханіки.

Тому користуються єдиним терміном "рідина".

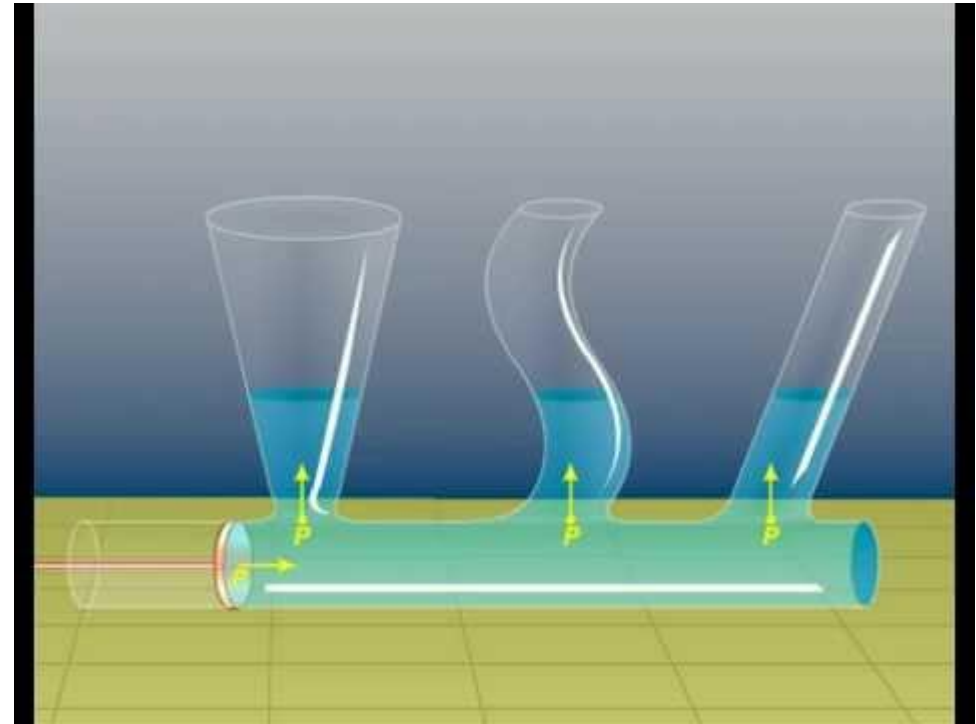
 У фізиці використовується фізична модель нестисливої рідини - рідини, густина якої всюди однакова і не змінюється з часом.

➤ На кожен елемент поверхні ΔS тіла, що поміщено в рідину, з боку молекул рідини діє сила ΔF , спрямована перпендикулярно поверхні.



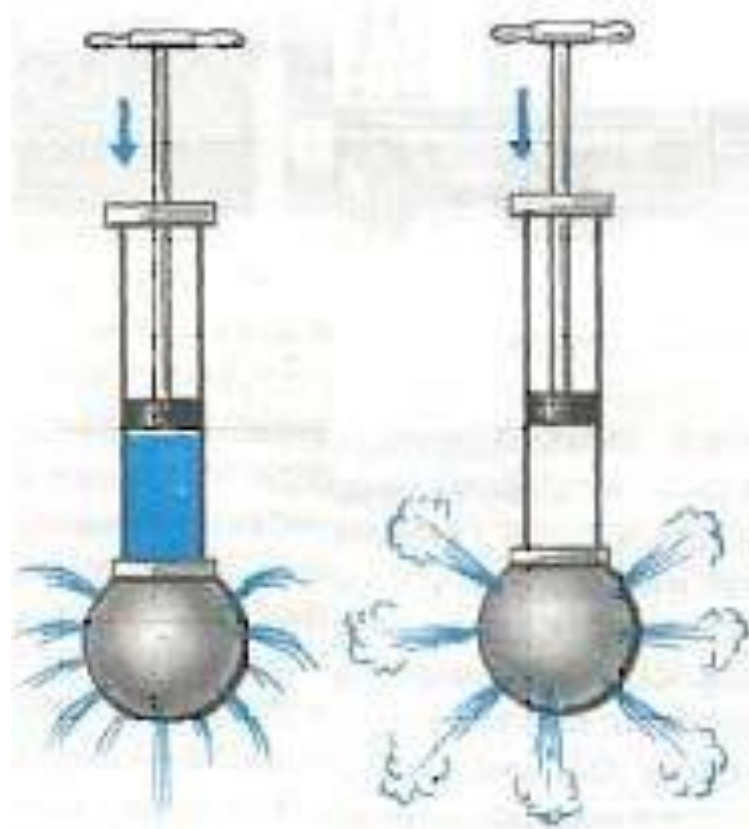
Тиском рідини називається фізична величина, яка визначається нормальною силою, що діє з боку рідини на одиницю площі:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S}$$



При рівновазі рідини тиск по горизонталі завжди однаково, тому *вільна поверхня рідини завжди горизонтальна* вдалині від стінок посудини.

Тиск при рівновазі рідин або газів підпорядковується закону Паскаля: Тиск в будь-якому місці спочиває рідини однаково в усіх напрямках, причому тиск однаково передається по всьому об'єму, зайнятого спочиває рідиною.

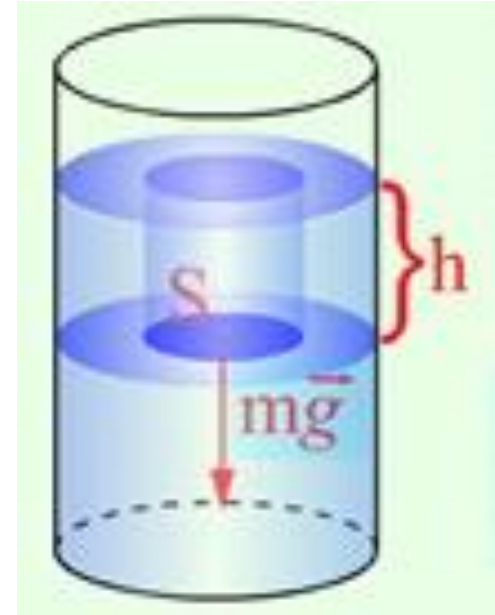




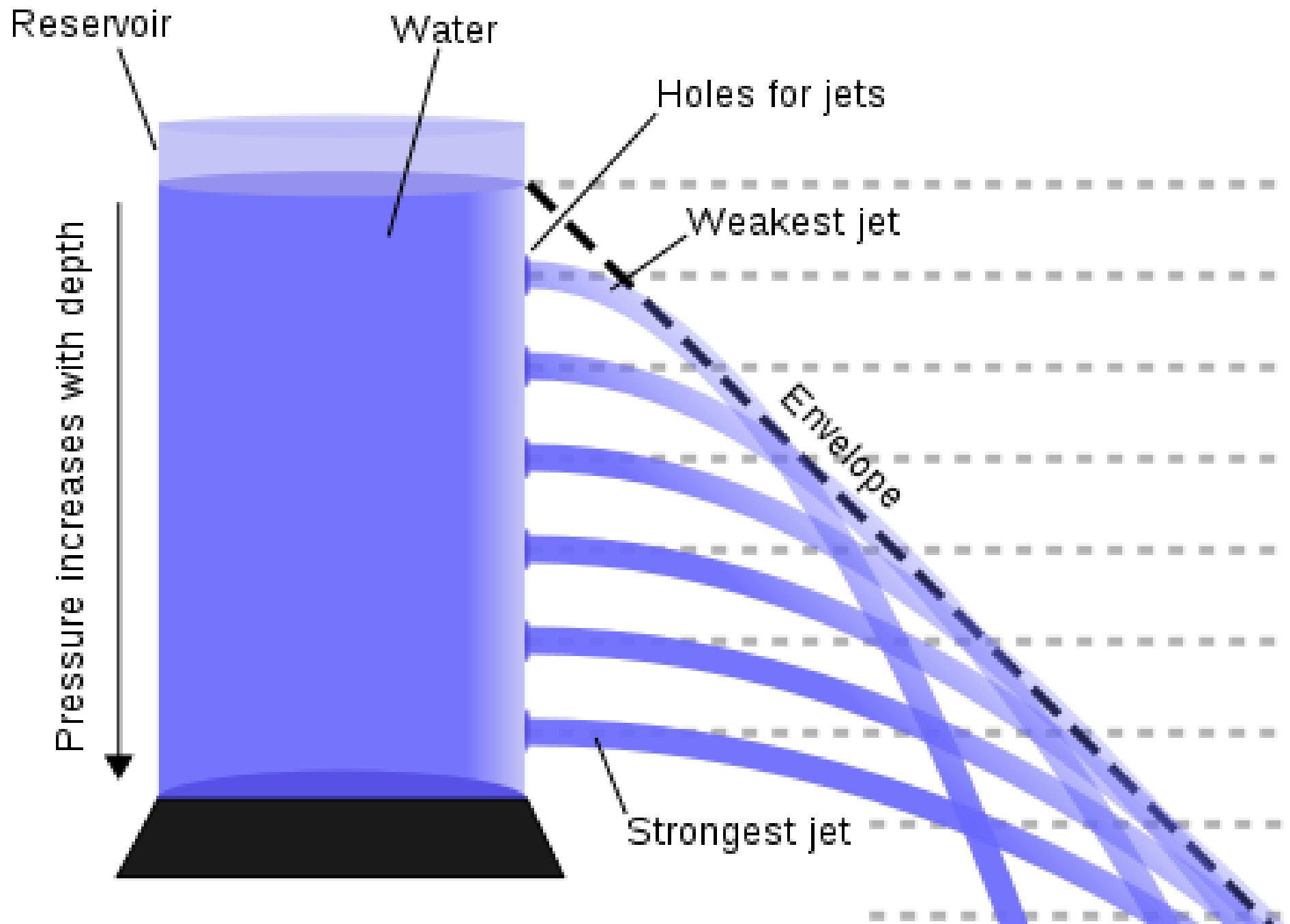
Якщо рідина нестислива, то її щільність не залежить від тиску.

тоді при

- поперечному перерізі S стовпа рідини,
- його висоті h
- і щільності $\rho = M / V$, ($m = \rho V$)
- вага $P = mg = \rho V \cdot g = \rho \cdot Sh \cdot g$,
- а тиск на нижню підставу змінюється лінійно з висотою:



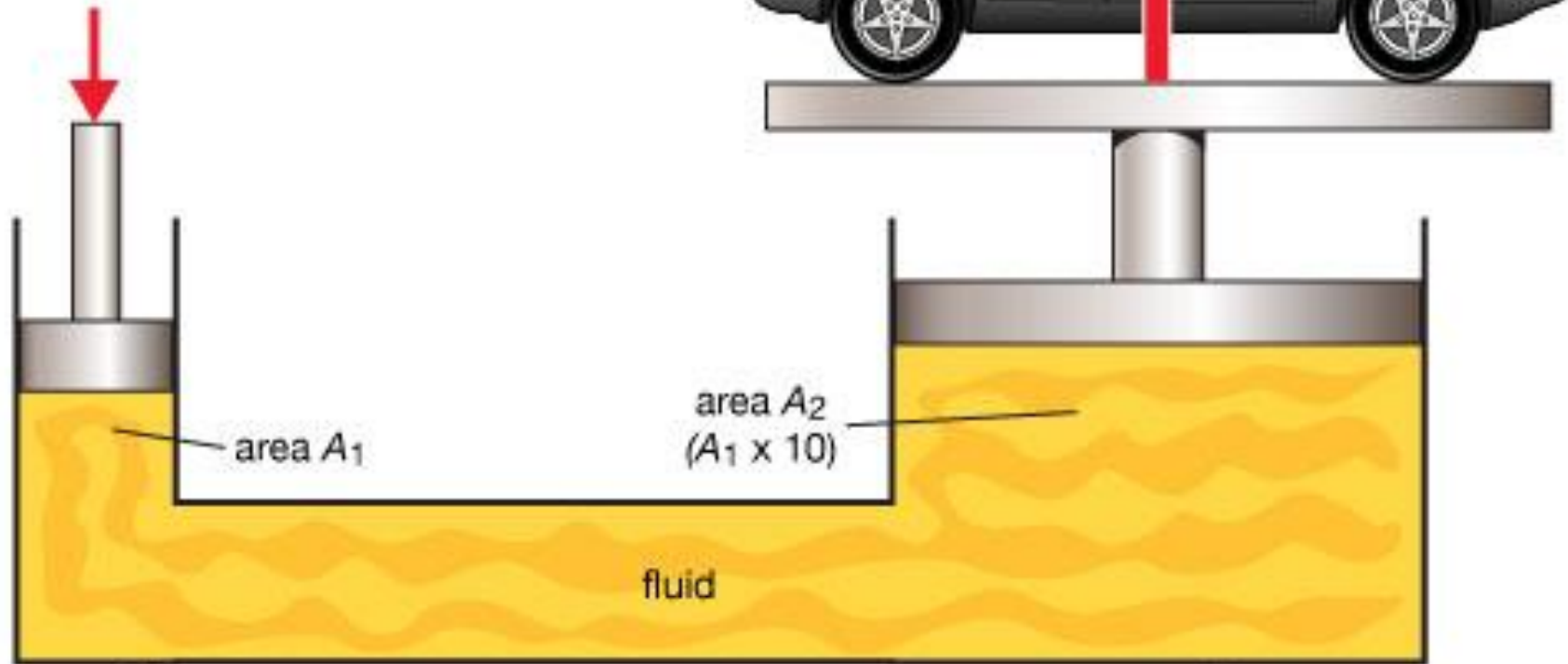
$$p = \frac{P}{S} = \frac{\rho g Sh}{S} = \rho g h$$



second force is 10 times original force

$$F_2 = P_2 A_2 = 10 \times F_1$$

original force
 $F_1 = P_1 A_1$



$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

Pascal's principle
 $P_1 = P_2$

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

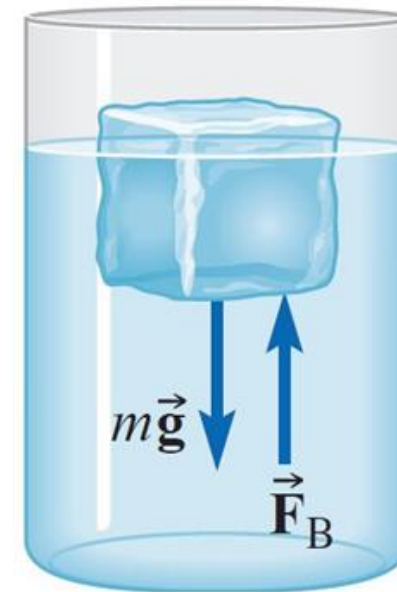
Сила тиску на нижні шари рідини буде більше, ніж на верхні, тому на тіло, занурене в рідину діє сила, яка визначається **законом Архімеда**:



На тіло, занурене в рідину або газ, діє з боку цієї рідини (газу) спрямована вгору виштовхуюча сила, рівна вазі витісненої тілом рідини (газу):

$$F_{Арх} = \rho_{ж} g V_m$$

де ρ - щільність рідини,
 V - об'єм зануреної в рідину тіла.



Елементи гідродинаміки

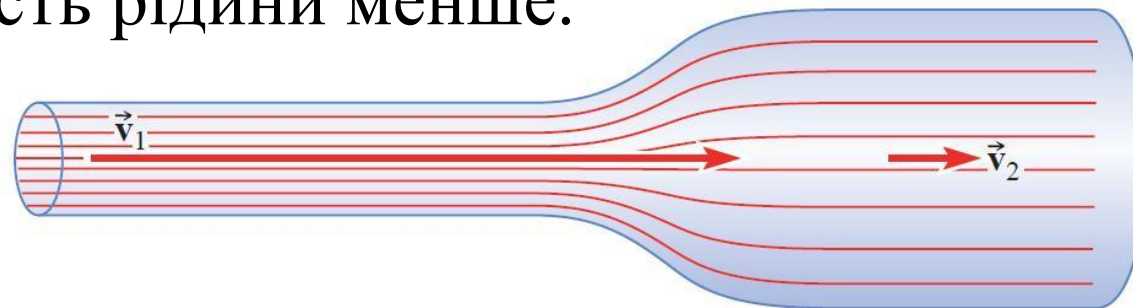


Потік - сукупність часток, що рухається рідини.

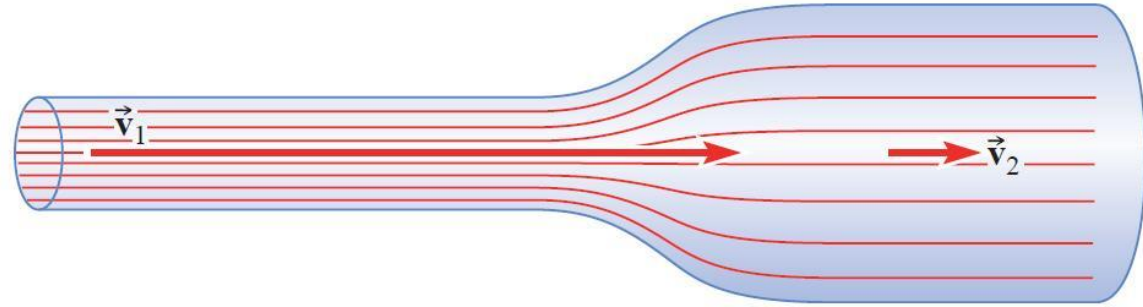
Лінії струму - уявні лінії, що характеризують розподіл швидкостей в потоці рідини, що рухається.

Лінії струму проводять відповідно до двох правил:

- 1) дотичні до ліній струму збігаються за напрямком з вектором швидкості частинки рідини, що рухається в даній точці простору,
- 2) густота ліній визначає величину швидкості рідини в потоці: там, де лінії розташовані густіше, швидкість рідини більше, і, навпаки, там, де лінії розташовані рідше, швидкість рідини менше.



Трубка струму - частина рідини, обмежена лініями струму.



Стационарним (або сталим) називають такий перебіг рідини, при якому форма і розташування ліній струму, а також значення швидкостей в кожній точці рідини, що рухається з часом не змінюються.

Масова витрата рідини - маса рідини, що проходить через поперечний переріз трубки струму в одиницю часу $[Q_m] = \text{кг} / \text{с}$:

$$Q_m = m/t = \rho S v$$

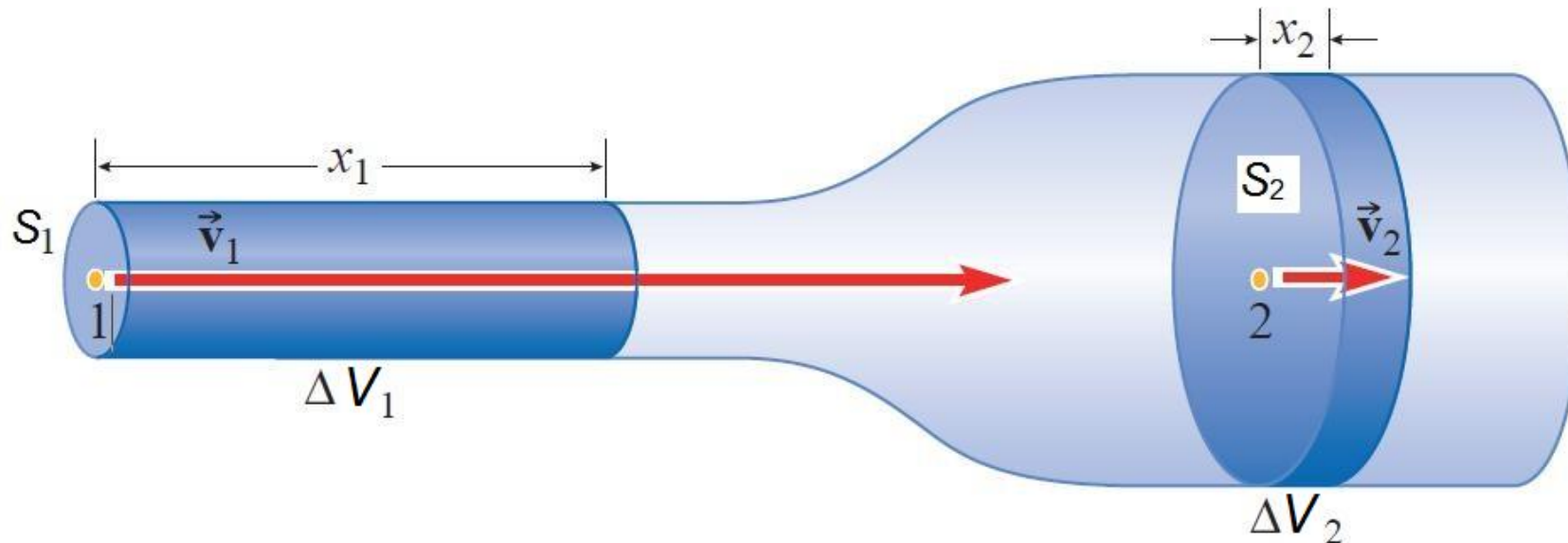
де ρ і v - щільність і швидкість течії рідини в перерізі S .



Нестисливою називається рідина, щільність якої не залежить від температури і тиску.

Об'ємна витрата рідини - обсяг рідини, що проходить через поперечний переріз трубки струму в одиницю часу $[Q_V] = \text{м}^3/\text{с}$:

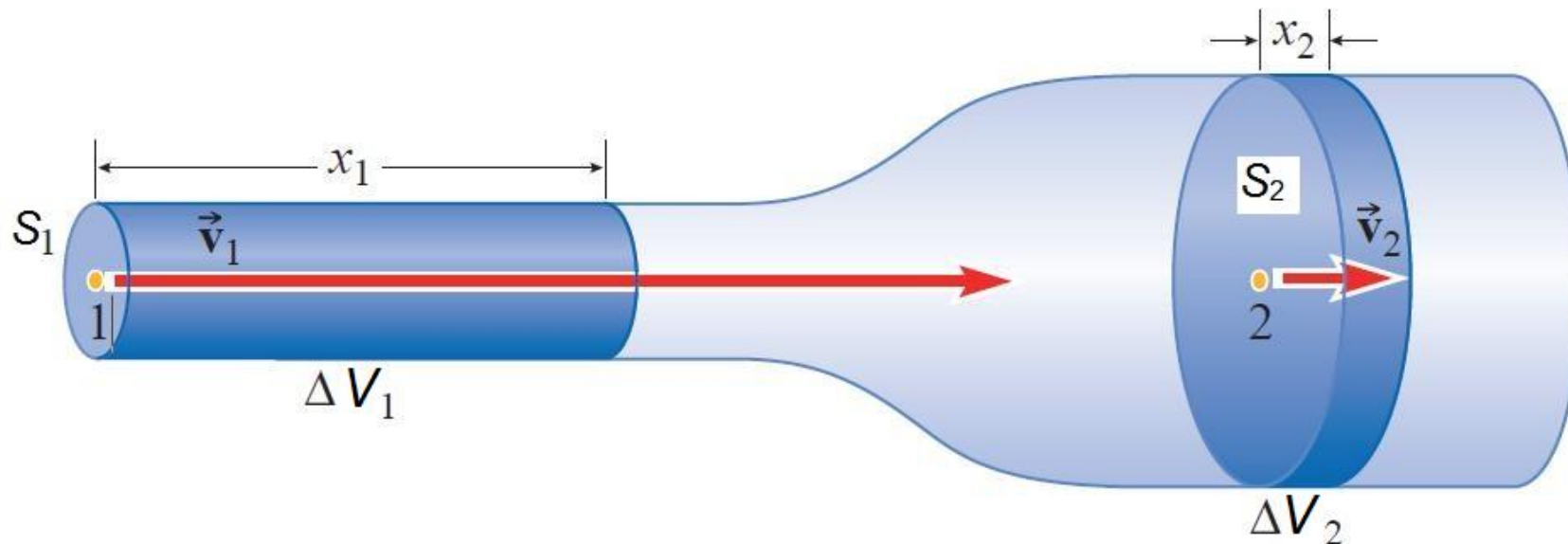
$$Q_V = V/t = Sv$$






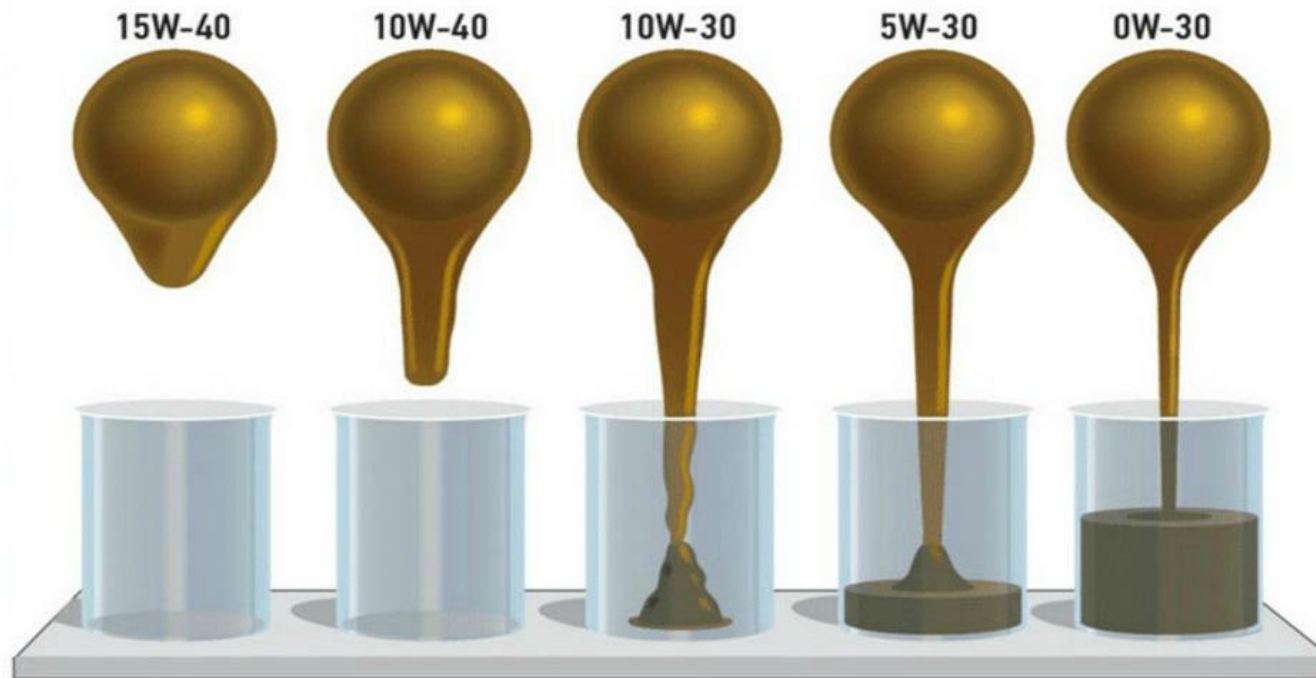
Рівняння нерозривності нестисливої однорідної рідини - математичне співвідношення, відповідно до якого при стаціонарному перебігу несжимаємої однорідної рідини її об'ємна витрата в кожному перетині трубки струму один і той же:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad \text{или} \quad S v = \text{const}$$



 **В'язкість** - властивість газів і рідин чинити опір переміщенню однієї їх частини щодо іншої.

Вязкость различных масел при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$



Фізична модель: ідеальна рідина - уявна нестисливої рідина, в якій відсутні в'язкість і теплопровідність.

VISCOSITY for liquids

This stickiness is caused by stronger or more numerous molecule-to-molecule interactions, which cause the molecules to stick together more when pulled apart. In cooking terms, a more viscous solution can appear "clumpy," and a less viscous solution "runny."
-Kevin Millar

MATERIAL PROPERTY

sticky, **thick**, viscous (stronger bonds)

length of drop

water



(naturally) weaker bond

milk



3. increase distance & movement with heat (energy)

oil



2. distance with weakly bonded water "rubs"

light syrup
(water + a heavy syrup)



1. manually stretch & rearrange

heavy syrup
(honey, molasses, sugar syrup)



chocolate syrup




stronger bond

reducing bond strength

= bond (intermolecular force) between atoms

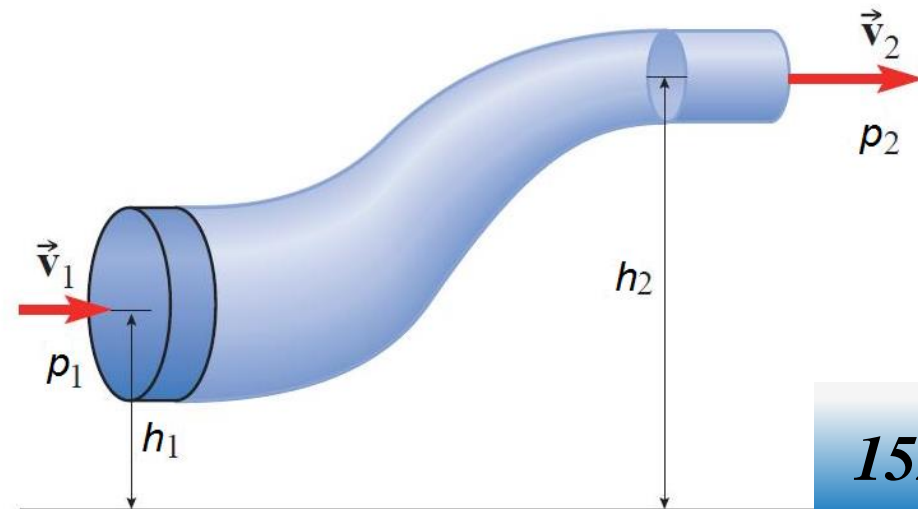


 **Рівняння Бернуллі** - рівняння, що є наслідком закону збереження механічної енергії для стаціонарного потоку ідеальної нестисливої рідини і записане для довільного перерізу трубки струму, що знаходиться в полі сил тяжіння:

$$\frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$$

або

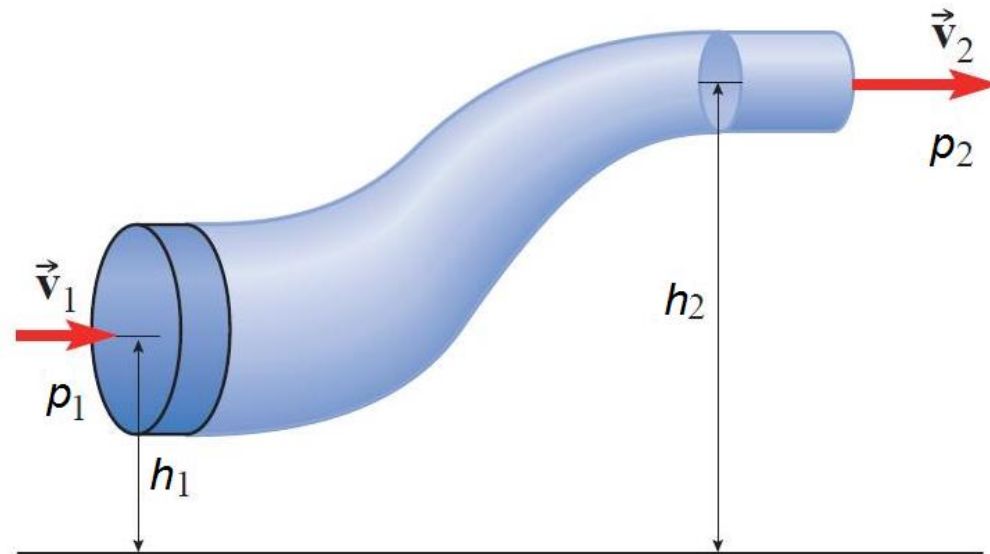
$$\frac{\rho V^2}{2} + \rho g h + p = \text{const}$$





У рівнянні Бернуллі:

- p - статичний тиск (тиск рідини на поверхню обтічного нею тіла);
- $\frac{\rho v^2}{2}$ - динамічний тиск;
- ρgh - гідростатичний тиск.

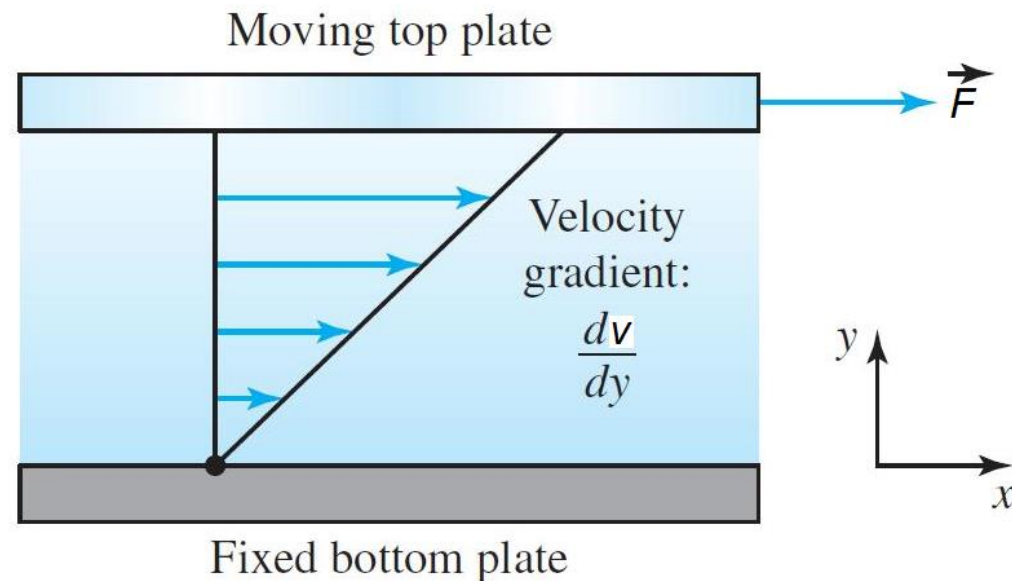
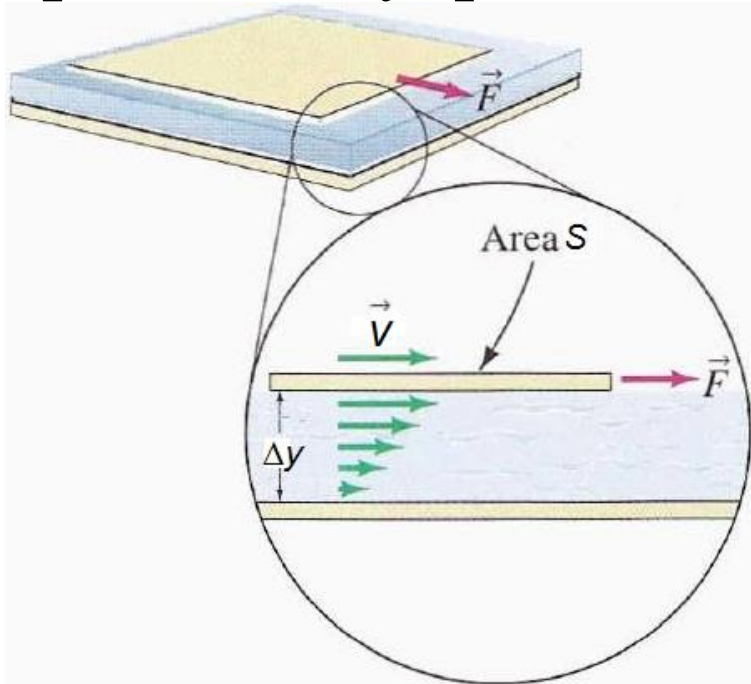


Внутрішнє тертя (в'язкість). Закон Ньютона.


Закон Ньютона: сила внутрішнього тертя, яка припадає на одиницю площі рухомих шарів рідини або газу, прямо пропорційна градієнту швидкості руху шарів:

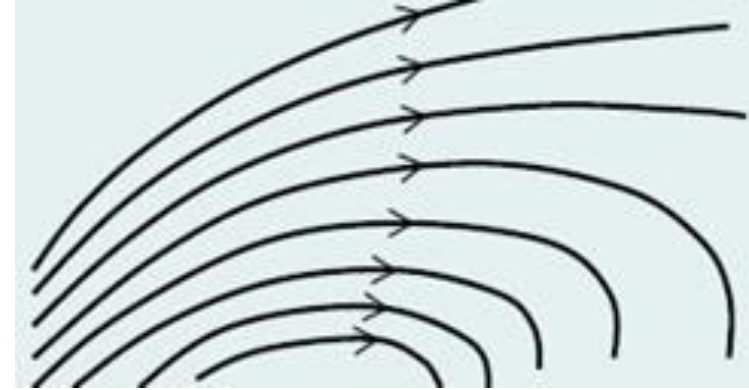
$$\frac{|\vec{F}|}{S} = \eta \frac{dv}{dy}$$


де η - коефіцієнт внутрішнього тертя (динамічна в'язкість), $[\eta] = \text{м}^2/\text{с}$.

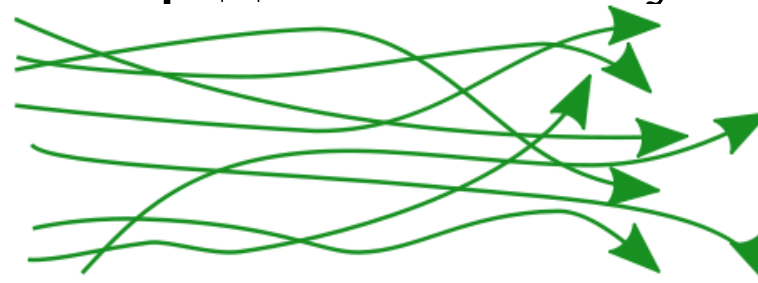


Види течії в'язкої рідини

 Ламінарний плин - форма протягом, при якій рідина або газ переміщається шарами без перемішування і пульсацій (тобто безладних швидких змін швидкості і тиску).



 Турбулентний плин - форма перебігу рідини або газу, при якій їх елементи вдосконалення-шають невідповідно, несталі руху по складних траєкторіях, що призводить до інтенсивному перемішуванню між шарами рухомих рідини або газу.



Число Рейнольдса

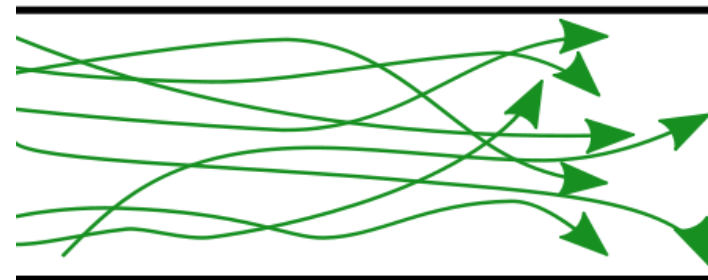
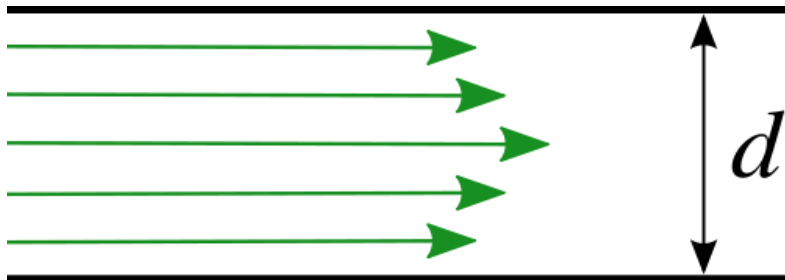


*Критерій переходу ламінарного режиму течії рідини в турбулентний режим заснований на використанні **числа Рейнольдса**.*

У разі руху рідини по трубі число Рейнольдса визначається як

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

- v - середня по перерізу труби швидкість рідини;
- d - діаметр труби;
- ρ і η - щільність і коефіцієнт внутрішнього тертя рідини.



при значеннях

- ✓ **Re < 2000** реалізується ламінарний режим течії рідини по трубі,
- ✓ **2000 < Re < 4000** реалізується проміжний режим (тобто суміш ламінарного і турбулентного потоків),
- ✓ при **Re > 4000** - турбулентний режим.

