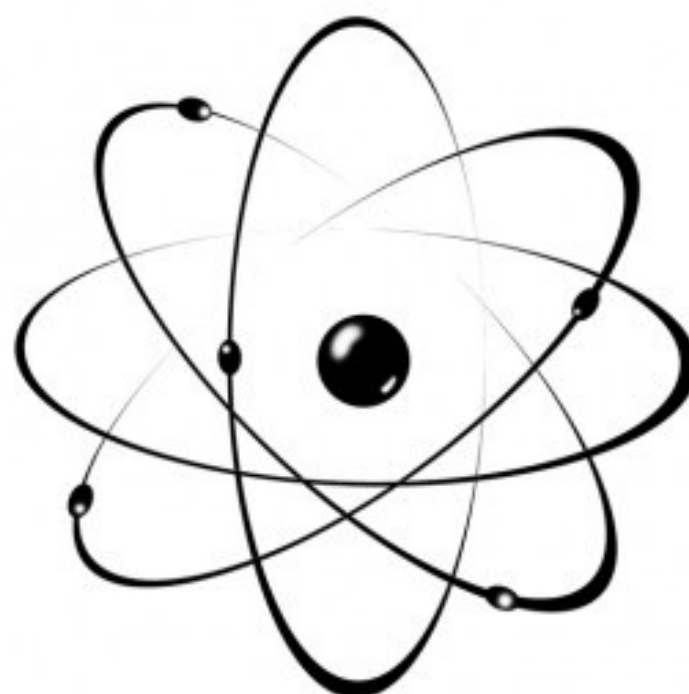


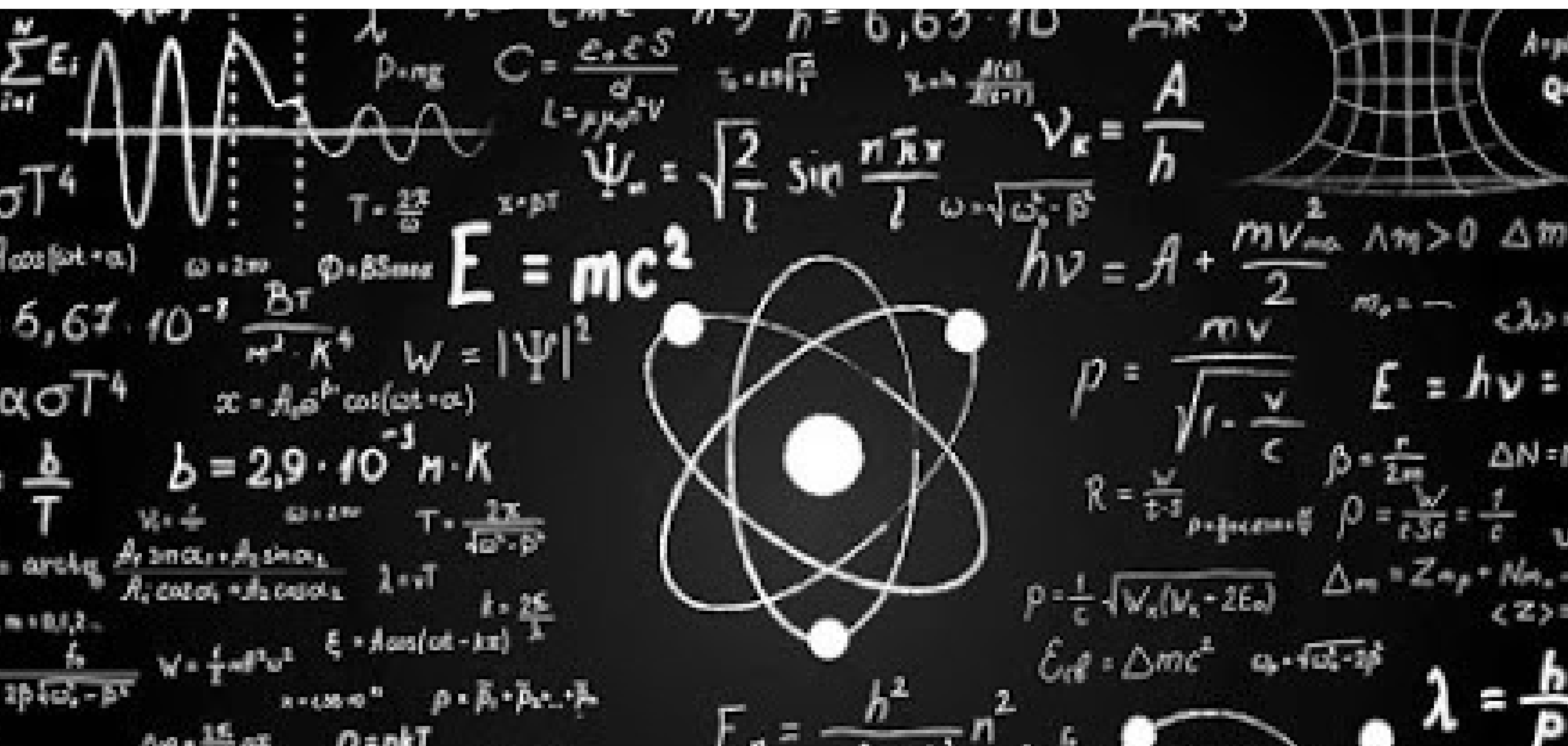
ДІНА СТОРОЖИНСЬКА

*Я фізик і маю право на збереження енергії.
(Хуго Штейнхаус)*

Механіка



Фізика – найдивовижніша
річ: вона цікава, навіть
якщо в ній нічого не
розумієш.



ПОСІБНИК ДЛЯ СТУДЕНТІВ ПЕДАГОГІЧНИХ ЗАКЛАДІВ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ

Автор - упорядник Сторожинська Д.В.

Коростишівський педагогічний фаховий коледж, - 2020, - 42 с.

Науковий посібник розроблено відповідно до програми інтегрований курс "Природничі науки" фізико-астрономічний модуль - Коростишівського педагогічного фахового коледжу, основі програми ПРИРОДНИЧІ НАУКИ 10-11 клас(Інтегрований курс).

Рекомендовано студентам перших курсів.

Рецензенти:

Сушицька О.Л., заступник директора з навчальної роботи Коростишівського педагогічного фахового коледжу, викладач вищої кваліфікаційної категорії, викладач - методист.

Самійлик А.С., голова циклової комісії викладачів фізико-математичних дисциплін, викладач математики, теоретичних основ і методики навчання початкового курсу математики, спеціаліст вищої кваліфікаційної категорії.

Розроблено на засіданні методичної ради коледжу
Протокол № 1 від 01.09. 2020 р.

Сторожинська Д.В., 2020 р.

*/ Коростишівський педагогічний фаховий коледж імені І.Я.Франка
Житомирської обласної ради/*

Зміст

Вступ	4
Кінематика	
1. Основні поняття	5
2. Рівномірний рух	7
3. Криволінійний рух	13
4. Порівняльна характеристика поступального і обертального рухів	17
Динаміка	
1. Основні закони динаміки	18
2. Перший закон Ньютона - закон інерції	19
3. Принцип відносності в класичній механіці (Принцип відносності Галілея)	20
4. Маса. Центр маси	20
5. Другий Закон Ньютона в класичній і релятивістській механіці	22
6. Третій Закон Ньютона	24
7. Сила тертя. В'язке тертя	25
8. Сила пружності. Закон Гука. Механічна напруга	29
9. Гравітаційні сили	35
10. Вага тіла. Вага тіла, яке рухається з прискоренням.Перевантаження	36
11. Рух тіла, кинутого горизонтально	38
12. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту	39
13. Перша космічна швидкість	40
14. Орбітальна швидкість	41
Література	43

Вступ

Навчально-практичний довідник складено відповідно до чинної програми з фізики.

Посібник можна використати як під час вивчення поточного навчального матеріалу, так і для повторення вже засвоєного й систематизації знань. Посібник значно полегшить підготовку до поточного й підсумкового контролю, зовнішнього незалежного оцінювання; сприятиме формуванню й закріпленню навичок самостійної роботи з довідковою літературою.

Посібник чітко структурований, ілюстрований численними схемами, рисунками, таблицями, відеоматеріалами, GIF- файлами, наведено відомості про основні фізичні поняття і явища; ним можна користуватися у комплекті з будь-яким чинним підручником з фізики. Наявність докладного змісту й предметного покажчика максимально полегшать пошук потрібної інформації.

Сподіваємося, що посібник буде корисним і молодим учителям, і досвідченим педагогам.

КІНЕМАТИКА

Основні поняття

Кінематика — це розділ механіки, що вивчає механічний рух тіл, не розглядаючи причин, які цей рух зумовлюють.

Механічний рух — це зміна з часом положення тіла в просторі відносно інших тіл.



[https://www.youtube.com/watch?v=B-](https://www.youtube.com/watch?v=B-Syrds2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

[Syrds2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE](https://www.youtube.com/watch?v=B-Syrds2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

Основне завдання механіки — визначити координати тіла і його швидкість у будь-який момент часу.

Шляхи спрощення основного завдання механіки:

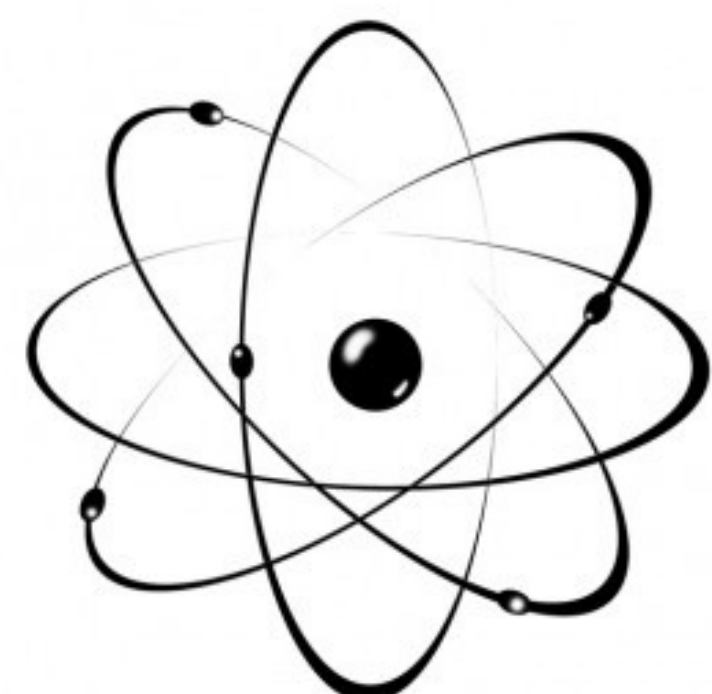
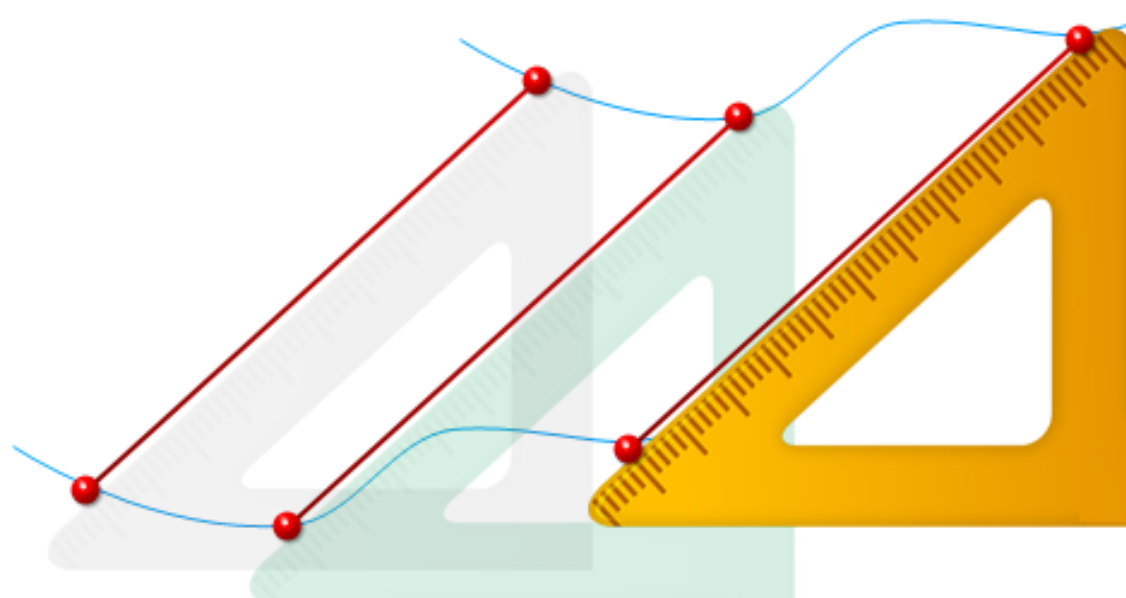
- розглядати тіло як матеріальну точку;
- розглядати поступальний рух тіла.

Матеріальною точкою називають тіло, розмірами якого можна знехтувати в умовах даної задачі.

Матеріальна точка є фізичною моделлю.

Поступальним називають такий рух тіла, при якому будь-яка пряма, що пов'язана з тілом, переміщується паралельно собі.

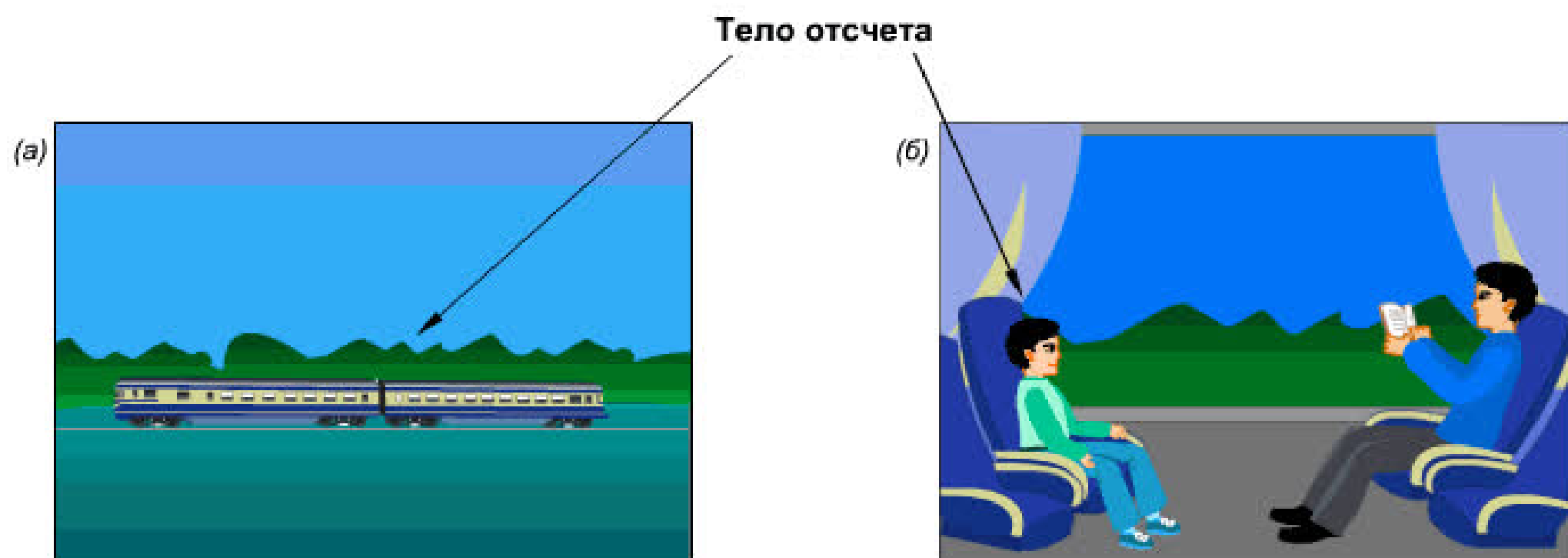
Оскільки всі точки тіла рухаються однаково, його можна розглядати як матеріальну точку .



Абсолютно тверде тіло (фізична модель) — тіло, яке за жодних умов не може деформуватися, і за всіх умов відстань між двома точками тіла залишається сталою.

Будь-який процес може описуватися лише в певній системі відліку.

Система відліку (СВ) — це тіло відліку, пов'язана з ним система координат і засіб вимірювання часу (годинник).



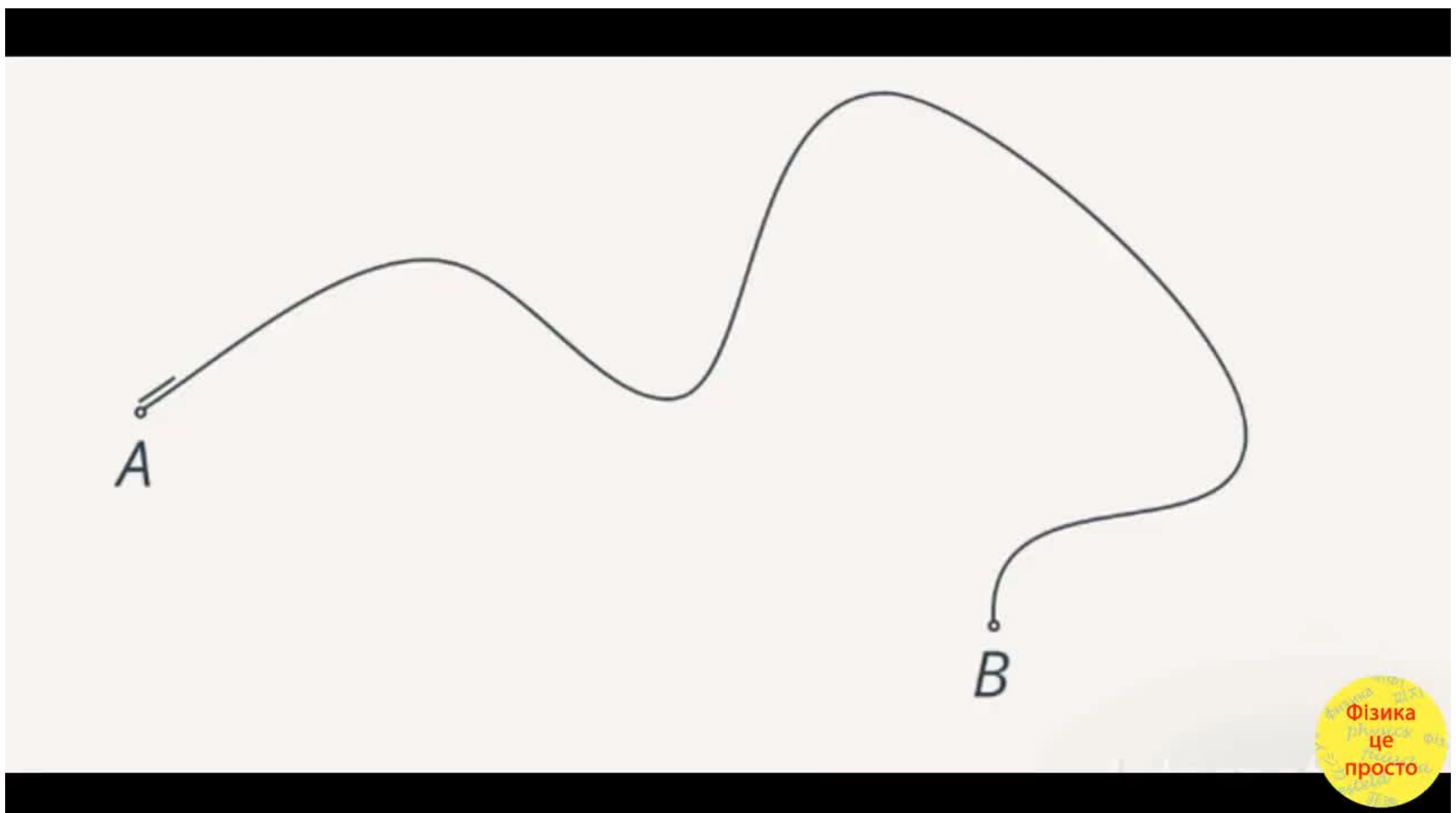
Траєкторія — лінія, уздовж якої рухається тіло. Траєкторія буває **прямолінійною** і **криволінійною**.

Прямолінійний рух - рух під час якого матеріальна точка рухається вздовж прямої (траєкторія – пряма лінія).

Криволінійний рух - рух під час якого матеріальна точка рухається по кривій (траєкторія – крива лінія).

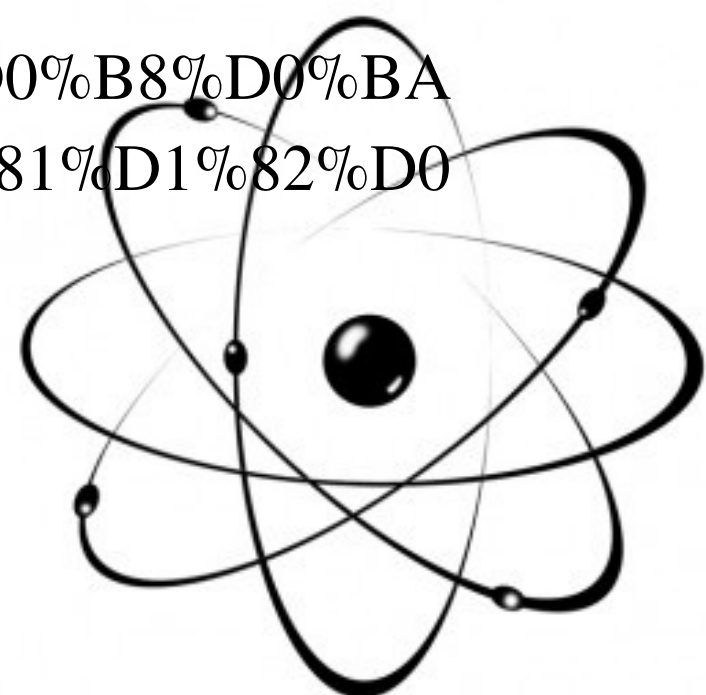
Пройдений шлях (l) — довжина ділянки траєкторії.

Переміщенням тіла (S) називають напрямлений відрізок прямої, який з'єднує початкове і кінцеве положення тіла.



[https://www.youtube.com/watch?v=B-](https://www.youtube.com/watch?v=B-Synds2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

[Synds2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE](https://www.youtube.com/watch?v=B-Synds2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

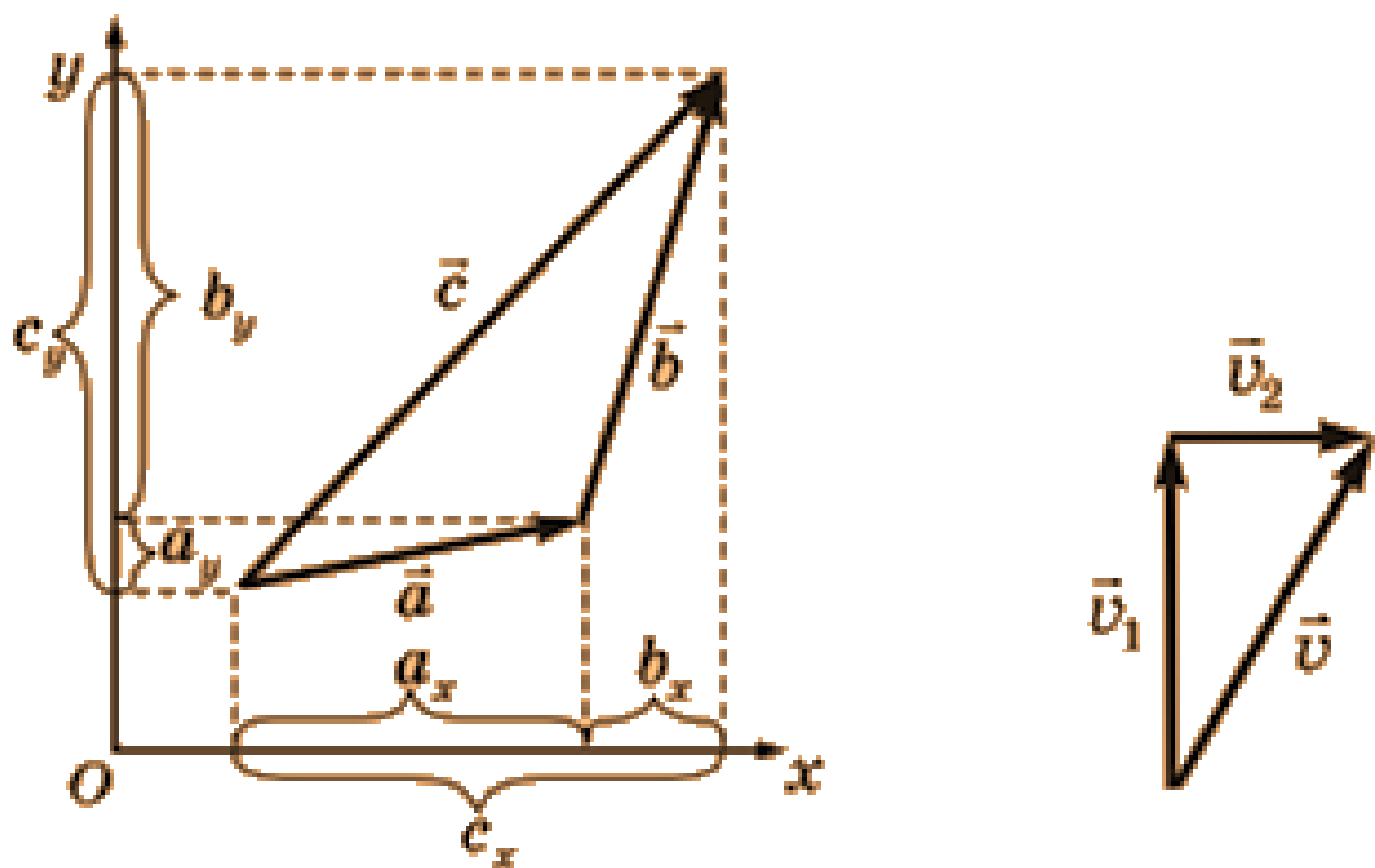


Відносність механічного руху

полягає в тому, що вид траєкторії, шлях і переміщення залежать від вибору системи відліку.

Класичний закон додавання швид костей: швидкість тіла відносно системи, яку вважають нерухомою, дорівнює геометричній сумі швидкості тіла в рухомій системі відліку й швидкості власне рухомої системи відліку.

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 .$$



Рівномірний рух

Прямолінійним рівномірним рухом називають рух, при якому тіло (матеріальна точка) за будь-які рівні проміжки часу здійснює однакове переміщення, або рух зі сталою швидкістю вздовж прямої:

$$v = \text{const} \ (a = 0).$$

Рівняння рівномірного прямолінійного руху тіла $x = x(t)$:

$$x = x_0 + v \cdot t .$$

Рівняння руху в скалярному вигляді:

$$x = x_0 \pm v \cdot t .$$

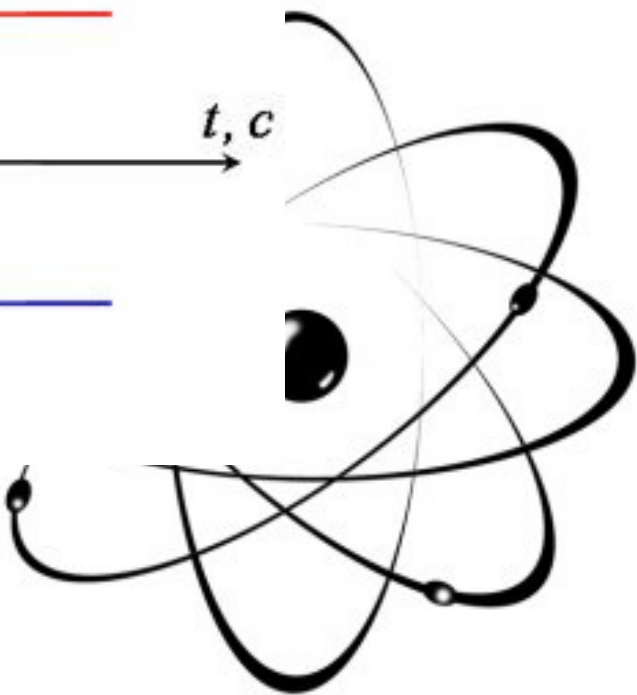
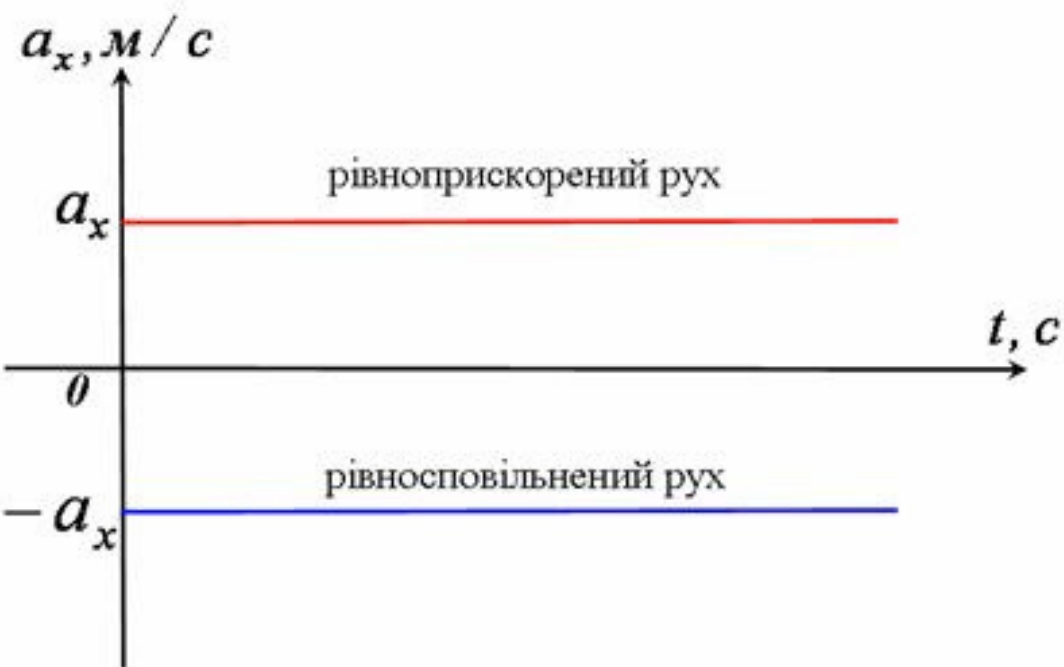
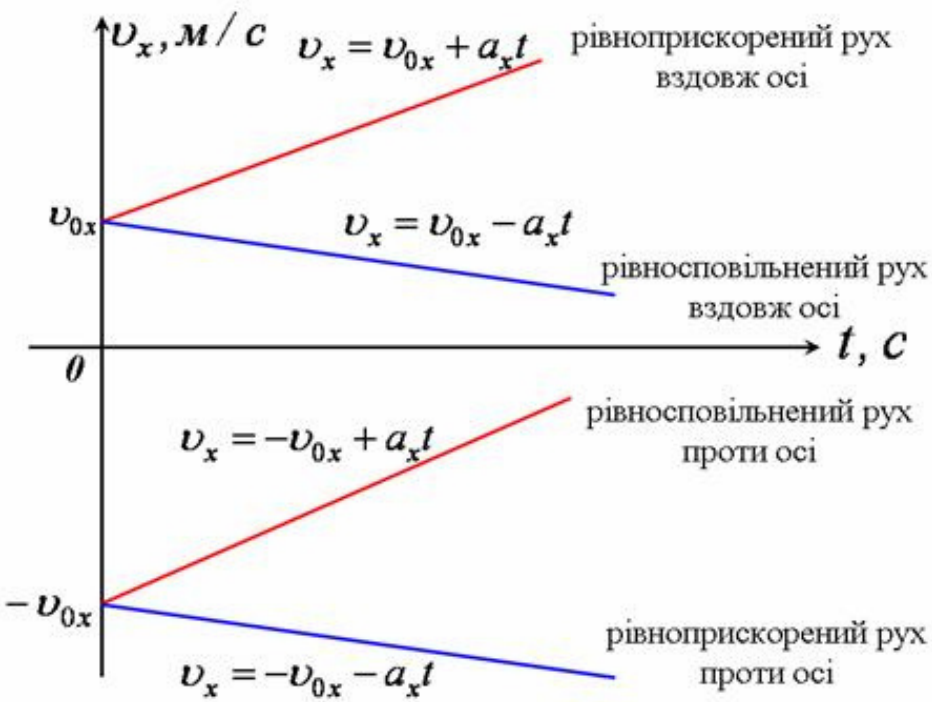
Якщо тіло рухається вздовж осі Ox , то $v_x = v$, якщо проти, то $v_x = -v$.

Проекція переміщення при рівномірному прямолінійному русі:

$$S_x = v \cdot t = x - x_0 .$$

Графік проекції переміщення при рівномірному прямолінійному русі зображений на рис.а.

Графік проекції швидкості рівномірного прямолінійного руху ($v_x = \text{const}$) зображений на рис. б.



Геометричне тлумачення переміщення

За графіком швидкості можна визначити проекцію переміщення, яке чисельно дорівнює площі фігури, обмеженої графіком швидкості, віссю часу та двома ординатами, що відповідають початковому і кінцевому значенням часу. Це твердження є справедливим і для рівноприскореного прямолінійного руху.

Графік рівномірного прямолінійного руху ($x = x_0 + v_x t$).

Миттєва швидкість тіла — швидкість тіла в даний момент часу в даній точці траєкторії.

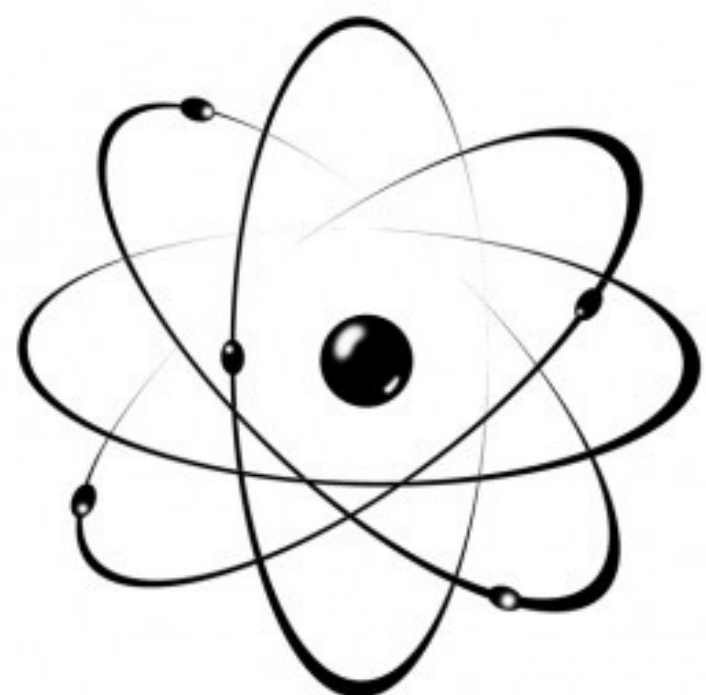
Середня швидкість — це величина, яка дорівнює відношенню переміщення до часу, протягом якого воно відбулося:

$$\vec{V} = \frac{\vec{s}}{t}$$



[https://www.youtube.com/watch?v=B-](https://www.youtube.com/watch?v=B-SyrdS2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

[SyrdS2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE](https://www.youtube.com/watch?v=B-SyrdS2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)



Середня шляхова швидкість — величина, яка дорівнює відношенню шляху до часу, за який він пройдений:

$$v = \frac{l}{t}$$

При **прямолінійному однонаправленому русі** середня шляхова швидкість дорівнює модулю середньої швидкості: $v_{\text{сер. шлях}} = v_{\text{сер}}$

При **рівноприскореному прямолінійному русі** модуль середньої швидкості визначається за формулою:

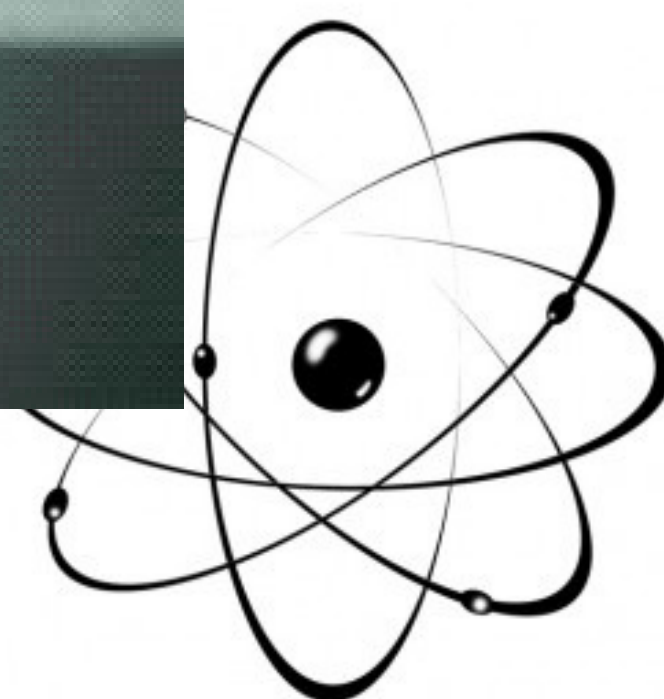
$$V_{\text{сер.}} = \frac{V_0 + V}{2}$$

Одиниця швидкості — метр за секунду (1 м/с): $[v] = 1 \text{ м/с}$.

Метр за секунду дорівнює швидкості прямолінійного рівномірного руху точки, при якому точка переміщується за 1 с на 1 м.

Рівноприскореним прямолінійним рухом тіла називають такий рух, при якому його швидкість за будь-які однакові інтервали часу змінюється на однакові величини, або рух, який відбувається зі сталим прискоренням уздовж прямої.

Прискорення тіла при рівноприскореному русі показує, як швидко змінюється швидкість.



Рівноприскорений рух

Прискорення рівноприскореного прямолінійного руху — це векторна фізична величина, що дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$



[https://www.youtube.com/watch?v=B-](https://www.youtube.com/watch?v=B-SyrdS2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

[SyrdS2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE](https://www.youtube.com/watch?v=B-SyrdS2AOg&t=62s&ab_channel=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE)

Одиниця прискорення:

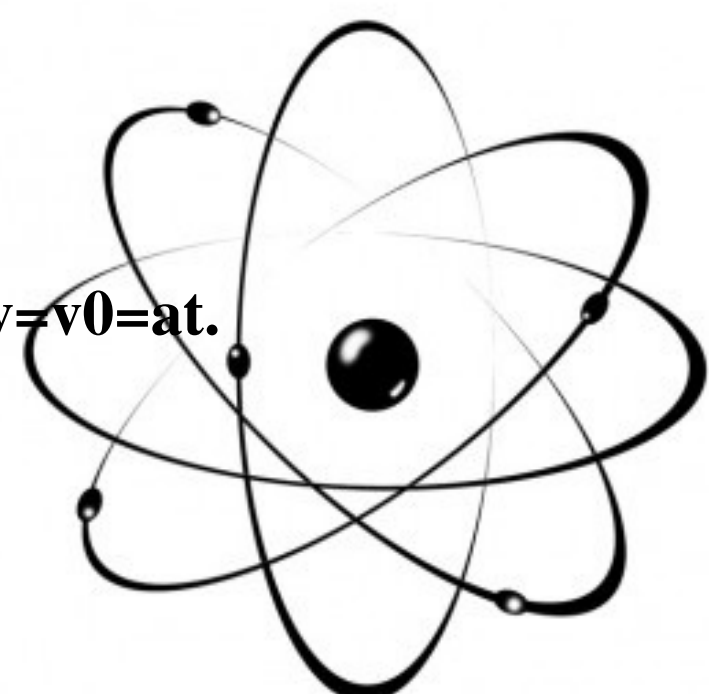
$$[a] = \frac{1 \text{ м/с}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

1м/с² дорівнює прискоренню такого рівноприскореного руху тіла, при якому за 1 с швидкість тіла змінюється на 1 м/с.

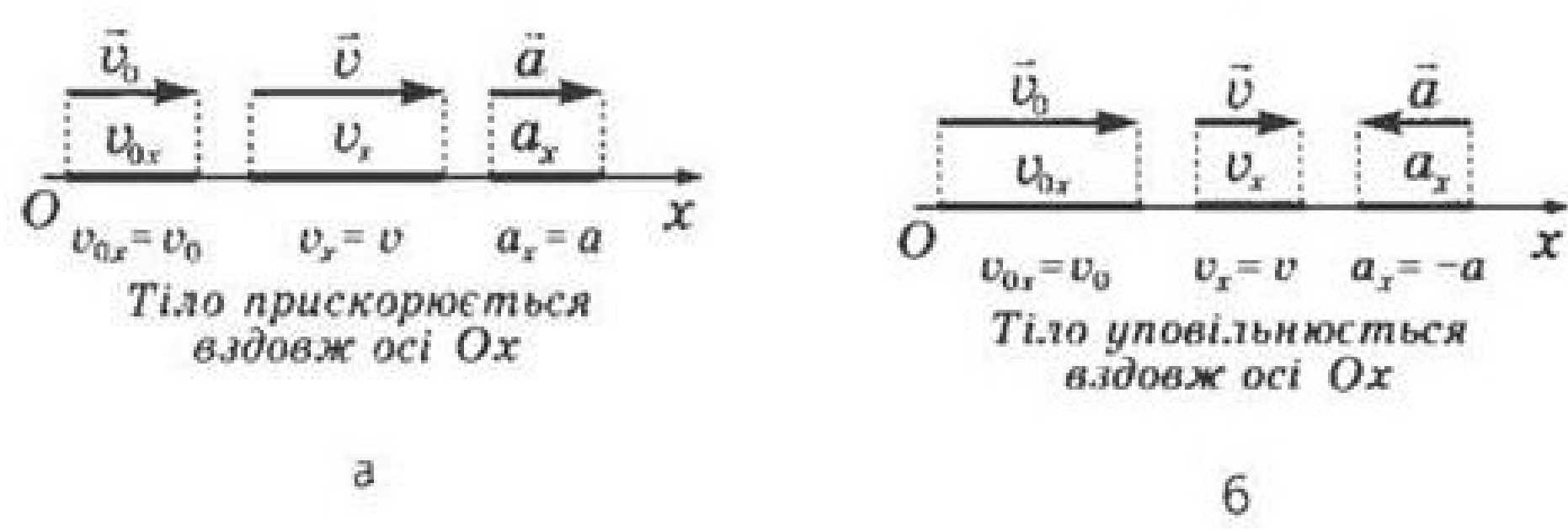
Проекція кінцевої миттєвої швидкості на вісь Ох при рівноприскореному прямолінійному русі:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

Рівняння миттєвої швидкості в скалярному вигляді: $v = v_0 = at$.



У рівнянні $ax = a$ (рис.а), якщо тіло прискорюється; $ax = -a$ (рис. б), якщо тіло уповільнюється.



Проекція переміщення при рівноприскореному прямолінійному русі має вигляд:

$$s_x = \frac{(v_x + v_{0x})}{2} t, \quad s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2},$$

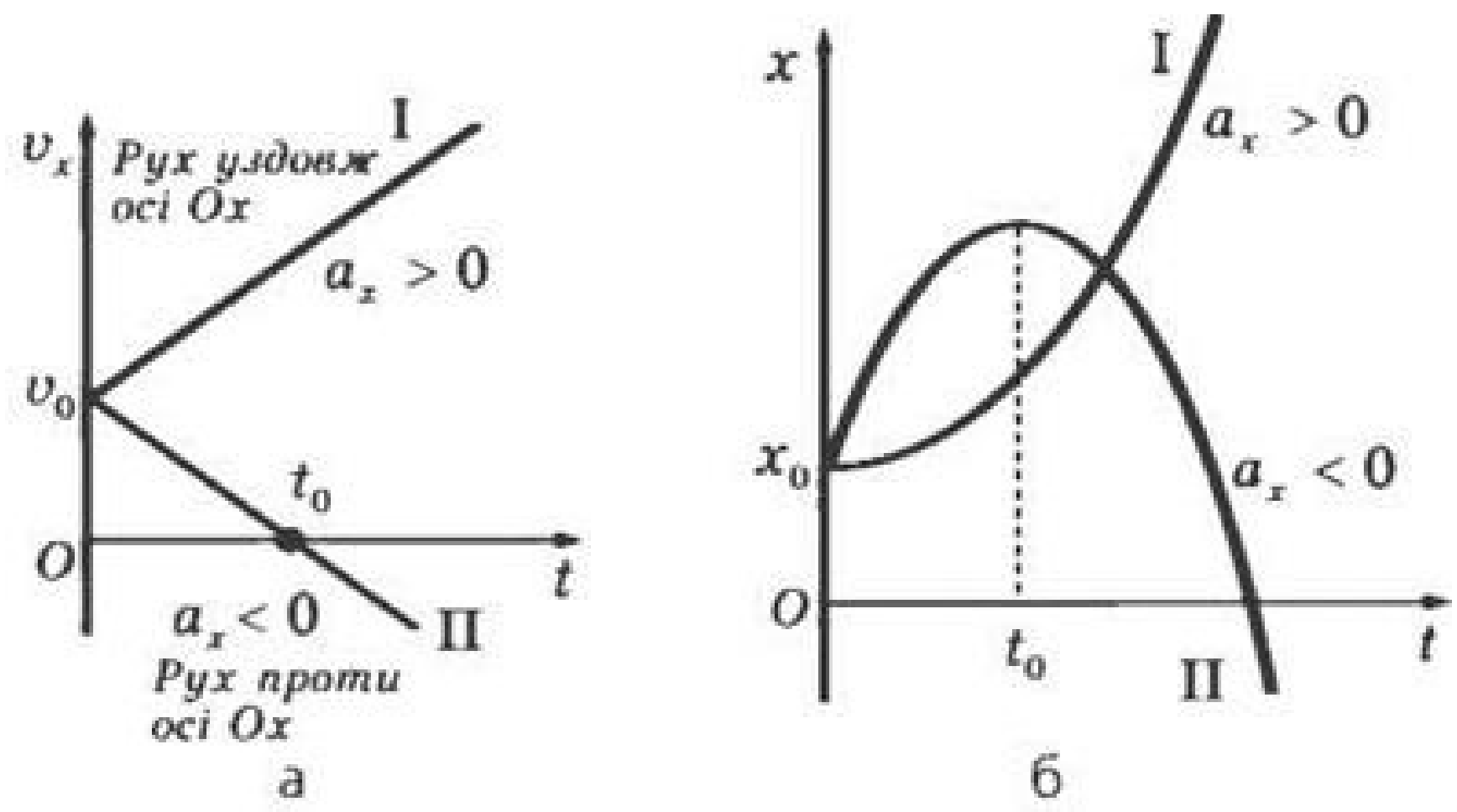
$$s_x = \frac{v^2 - v_{0x}^2}{2a_x}.$$

Рівняння миттєвої швидкості в скалярному вигляді:

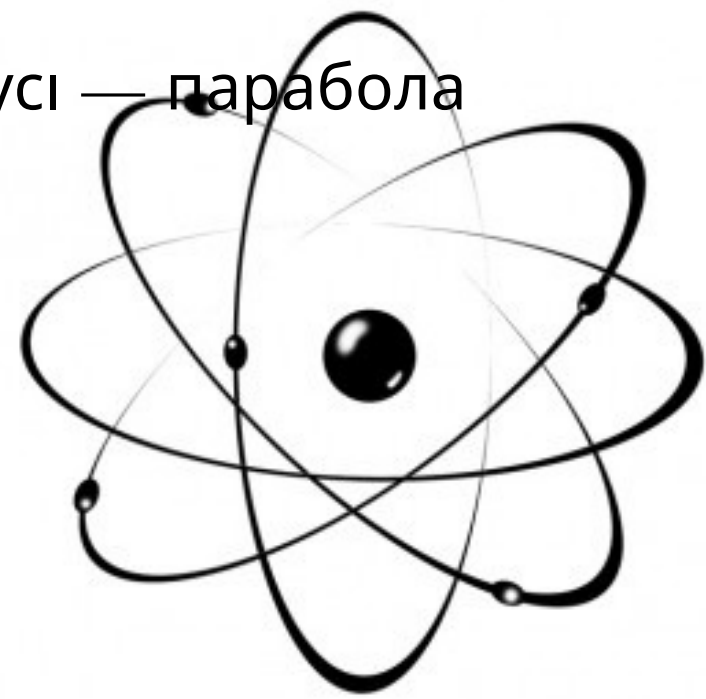
$$v = v_0 \pm at; \quad v^2 = v_0^2 + 2as;$$

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}; \quad s = \frac{(v + v_0)}{2} t.$$

Графік швидкості рівноприскореного прямолінійного руху: тіло I прискорює свій рух уздовж осі Ox, тіло II — уповільнює; у момент часу t0 воно зупиняється і рухається прискорено в напрямку, протилежному осі Ox (рис. а).



Графік руху при рівноприскореному прямо лінійному русі — парабола (рис. б).

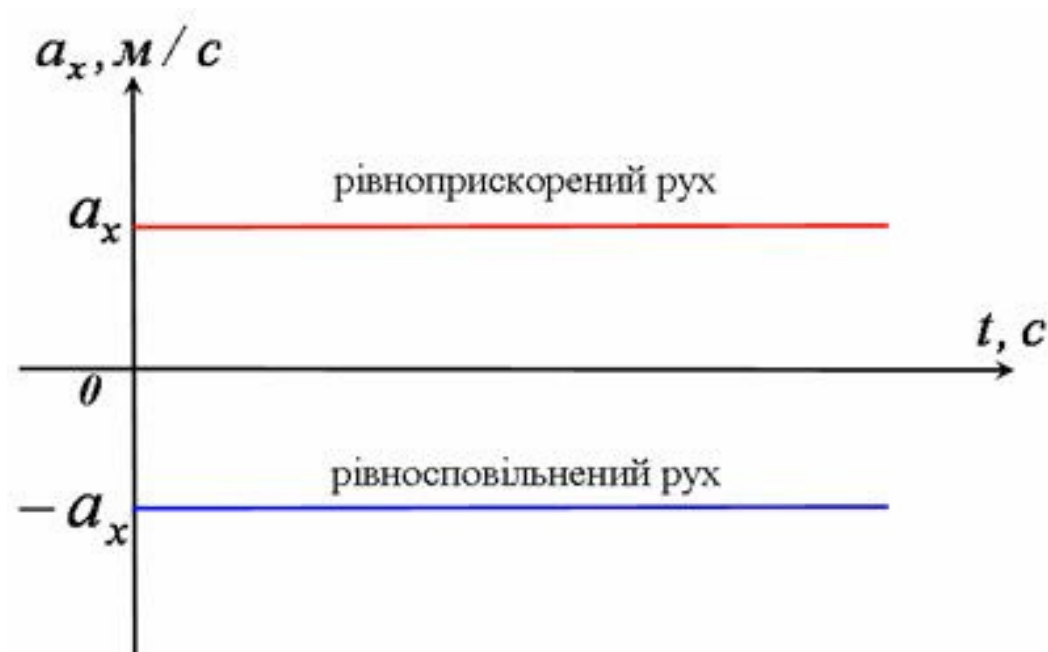


Рівняння руху при рівноприскореному прямолінійному русі:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Тут t_0 — момент часу, що відповідає зупинці тіла, є вершиною параболи Π .

Графік прискорення рівноприскореного прямолінійного руху зображений на рис.



Шляхи, які пройшло тіло зі стану спокою ($v_0 = 0$) за однакові послідовні проміжки часу, відносяться як ряд послідовних непарних чисел: $S_1 : S_2 : S_3 = 1 : 3 : 5$.

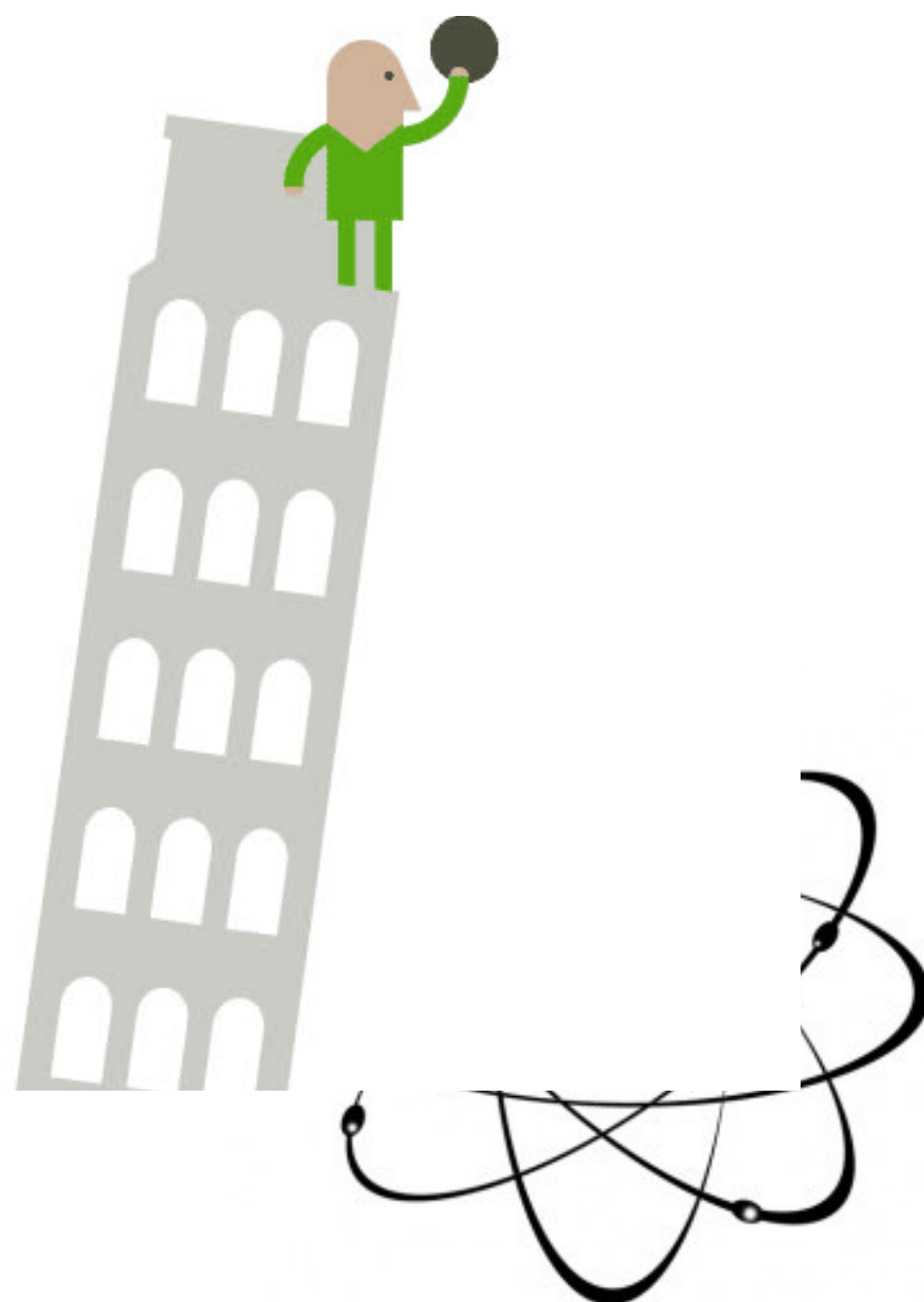
Шлях, який пройшло тіло в останню секунду руху зі стану спокою ($v_0 = 0$) :

$$S_n = (2n - 1) \frac{a}{2}$$

де n — число секунд.

Вільним падінням називають рух тіла під дією лише сили тяжіння. Воно є рівноприскореним рухом із прискоренням, яке не залежить від маси.

Біля поверхні Землі **прискорення вільного падіння** приблизно дорівнює $9,81 \text{ м/с}^2$.



Рівняння вільного падіння:

$v_0 \neq 0$	$v_0 = 0$
$v = v_0 + gt$	$v = gt$
$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$	$h = \frac{gt^2}{2}$
$h = \frac{(v + v_0)}{2} t$	$h = \frac{v}{2} t$
$v = \sqrt{2gh + v_0^2}$	$v = \sqrt{2gh}$
$x = x_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}$	$x = x_0 + \frac{gt^2}{2}$

Криволінійний рух

Тангенціальне прискорення a_t визначає зміну швидкості за величиною.

Нормальне прискорення a_n визначає зміну швидкості за напрямом.

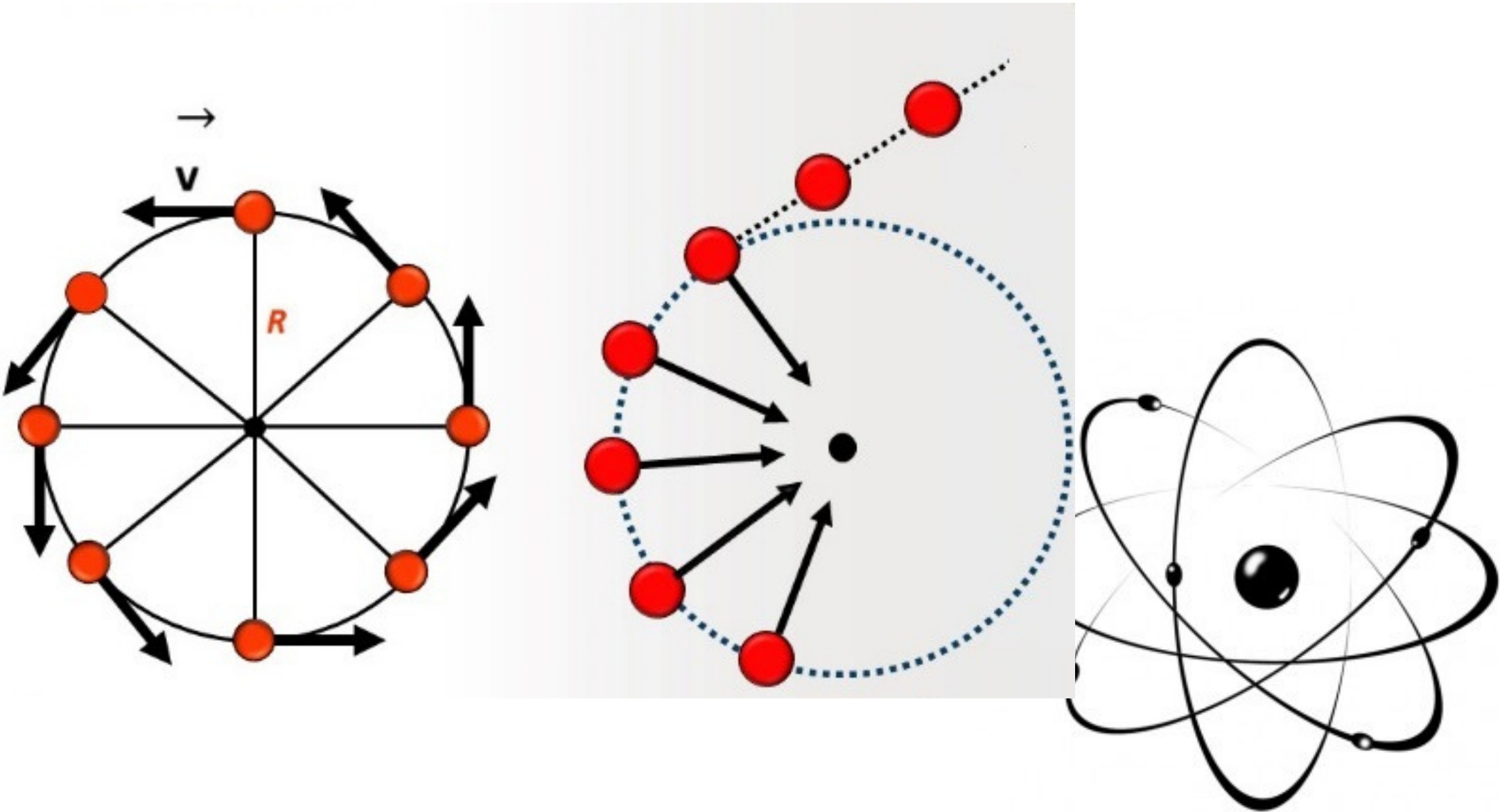
Рух по колу є прикладом криволінійного руху.

Рівномірний рух по колу характеризується кутовою швидкістю ω , лінійною швидкістю v , періодом T , частотою n .

Миттєва швидкість v напрямлена дотично до кола.

Лінійна швидкість дорівнює модулю миттєвої швидкості.

Під час руху матеріальної точки по колу модуль її миттєвої швидкості з часом не змінюється: $v = \text{const}$ ($v_A = v_B$).



Лінійна швидкість дорівнює довжині дуги l , пройденої точкою за одиницю часу t :

$$v = \frac{l}{t}$$

Тангенціальне прискорення при рівномірному русі точки по колу дорівнює нулю: $a = 0$.

У кожній точці траєкторії **доцентрове прискорення** напрямлене вздовж радіуса до центра кола, а його модуль дорівнює :

$$a_{\text{доц}} = \frac{v^2}{R}$$

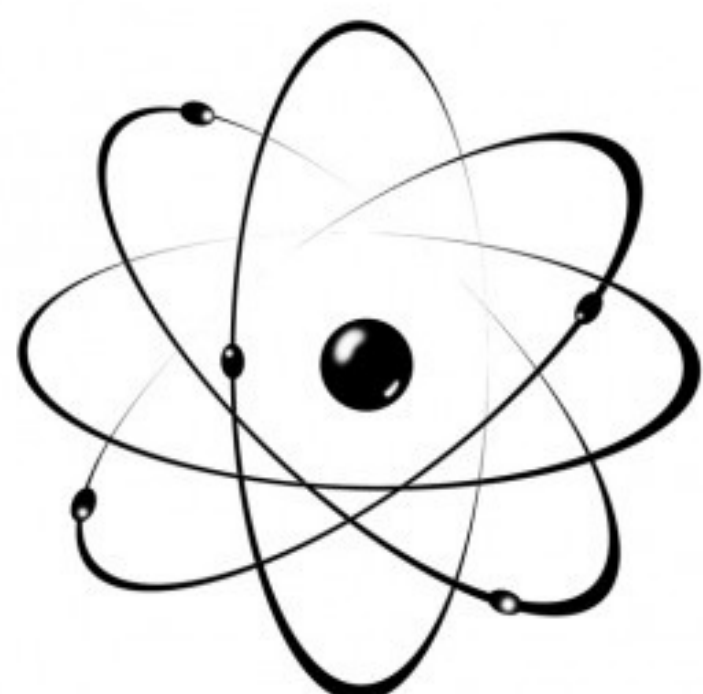
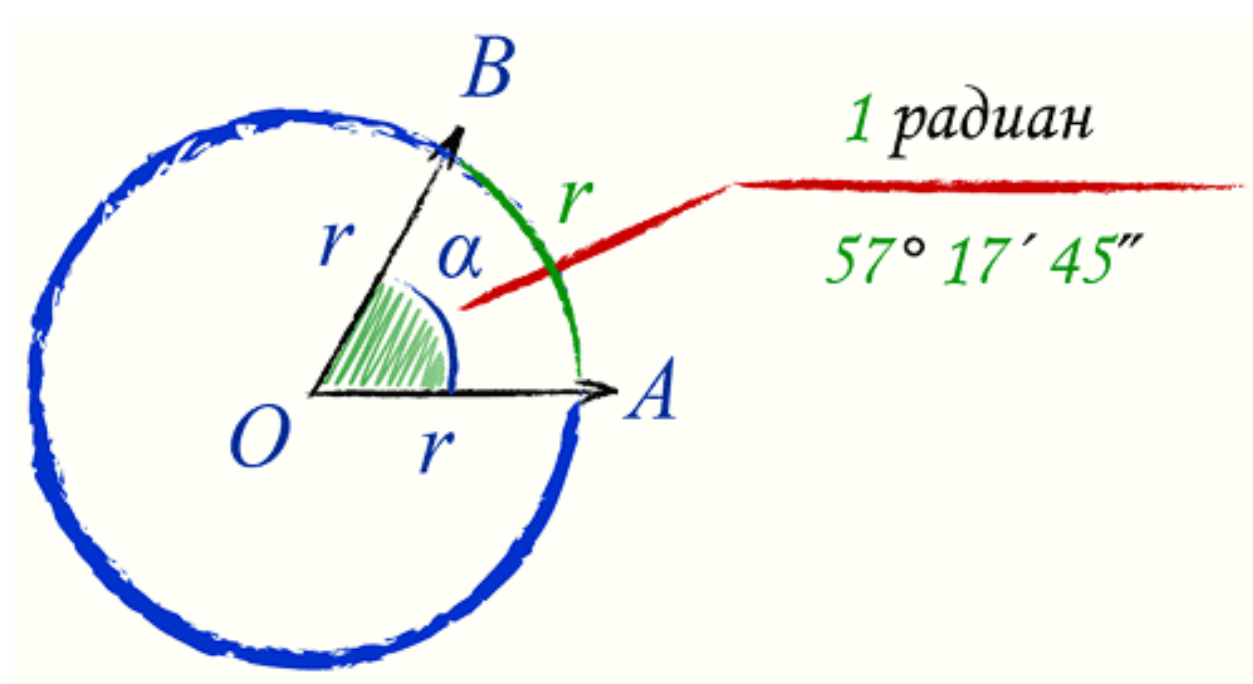
$$a_{\text{доц}} = 4\pi^2 R \nu^2 = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

$$a_{\text{доц}} = \omega^2 R$$

Кутова швидкість ω рівномірного руху по колу дорівнює куту повороту $\Delta\phi$ радіуса R за одиницю часу:

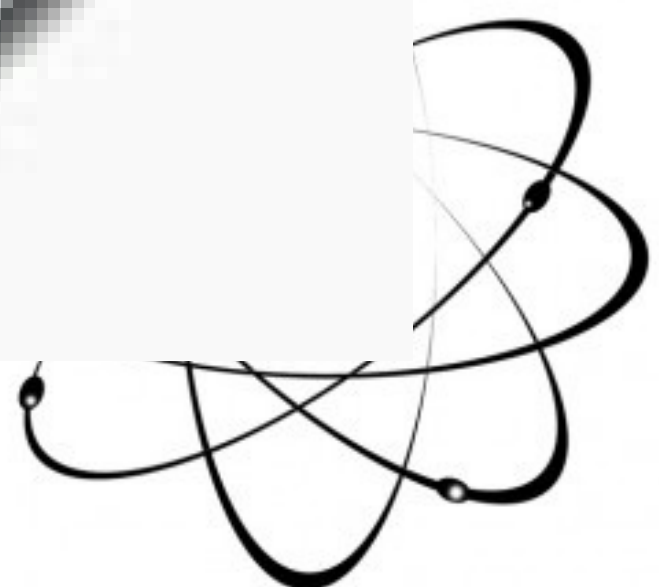
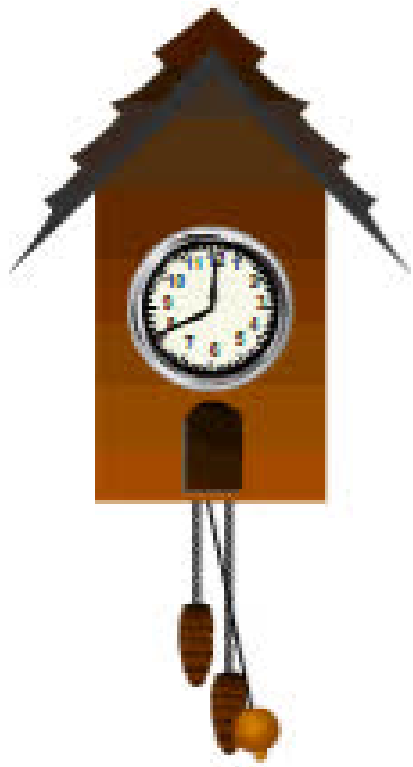
$$\omega = \frac{\phi}{t}$$

1 радіан дорівнює центральному куту, який опирається на дугу, довжина якої дорівнює радіусу.



Період обертання T — це час, за який точка здійснює один повний оберт по колу.

Частота обертання n — кількість повних обертів, здійснюваних точкою при рівномірному русі по колу за одиницю часу.



Зв'язок між періодом і частотою — зворотний:

$$T = \frac{t}{N} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Секунда мінус першого ступеня (с⁻¹) — це частота обертання, при якій за одну секунду здійснюється один оберт.

Лінійна швидкість визначається так:

$$V = \frac{2\pi R}{T}$$

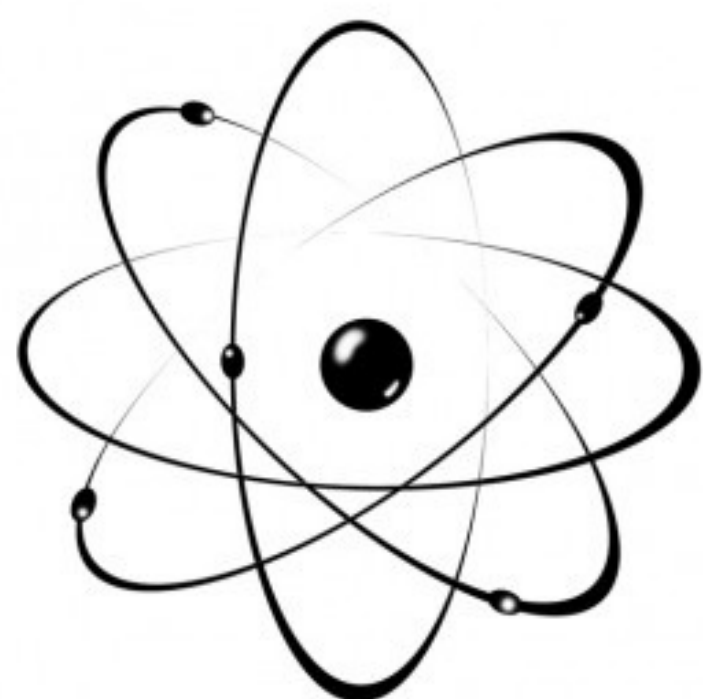
Кутова швидкість ω визначається так:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega = 2\pi\nu$$

Зв'язок між лінійною та кутовою швидкостями: $\nu = \omega R$.

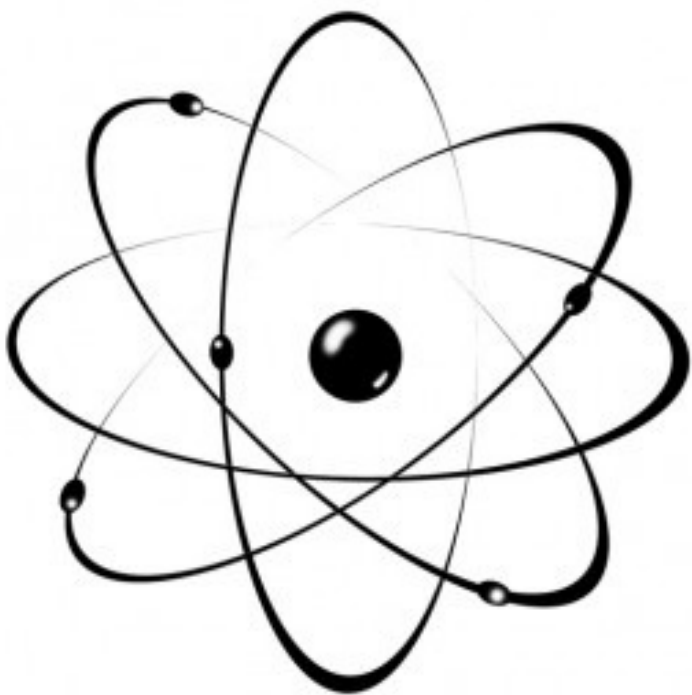
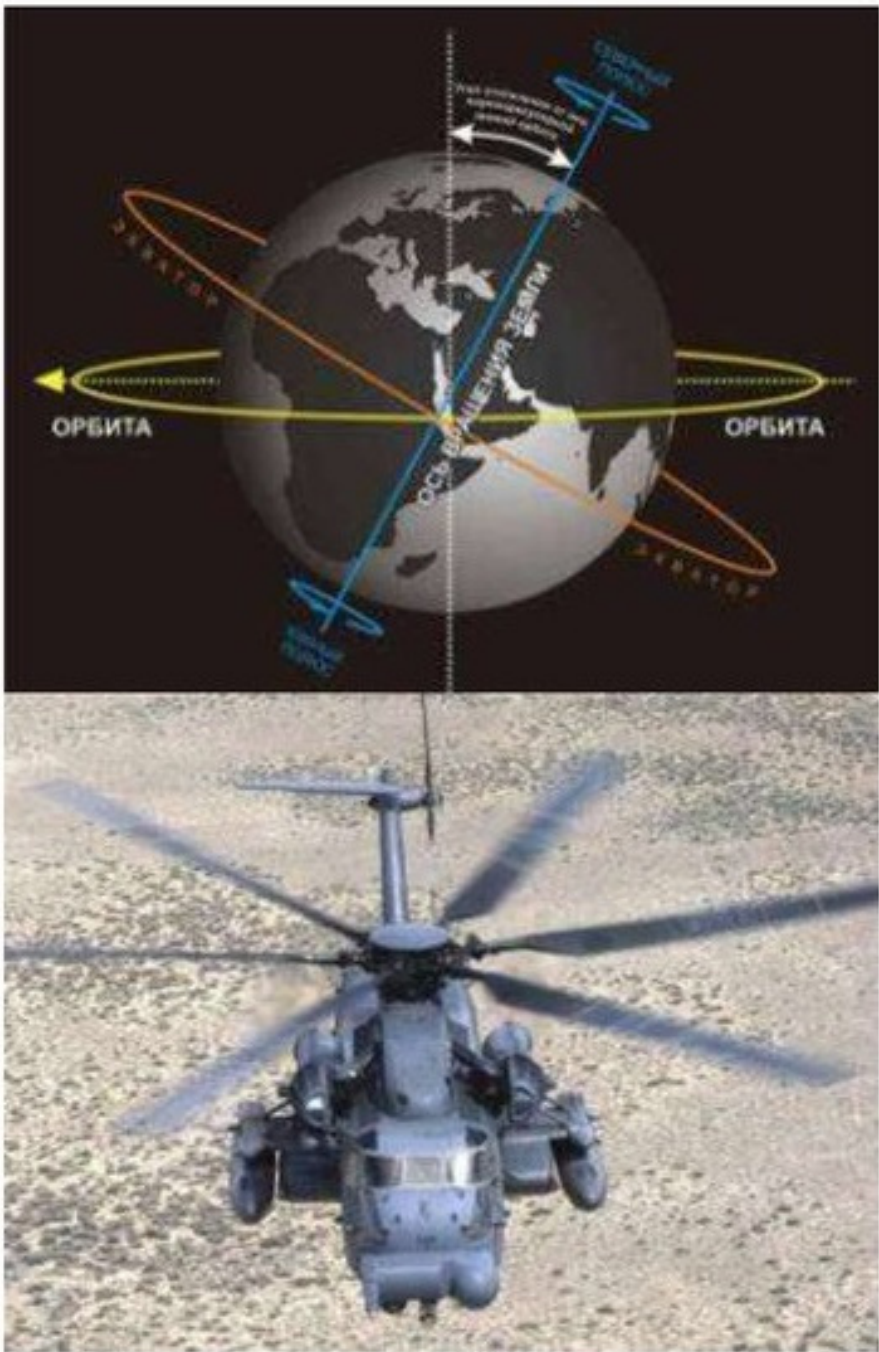
Кутове прискорення ε визначається відношенням зміни кутової швидкості за проміжок часу до тривалості цього проміжку:

$$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}.$$



Порівняльна характеристика поступального і обертального рухів:

Поступальний	Обертальний
Рівномірний	
$a = 0$	$\varepsilon = 0$
$v = \text{const}$	$\omega = \text{const}$
$s = vt$	$\varphi = \omega t$
Рівноприскорений	
$a = \frac{v - v_0}{t} = \text{const}$	$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t} = \text{const}$
$v = v_0 + a_{\tau}t$	$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$
$s = v_0t + \frac{a_{\tau}t^2}{2}$	$\varphi = \omega_0t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$
$v^2 - v_0^2 = 2a_{\tau}s$	$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon\varphi$
Нерівномірний	
$s = f(t)$	$\varphi = f(t)$
$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} = s'(t)$	$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \varphi'(t)$
$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = v'(t)$	$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \omega'(t)$



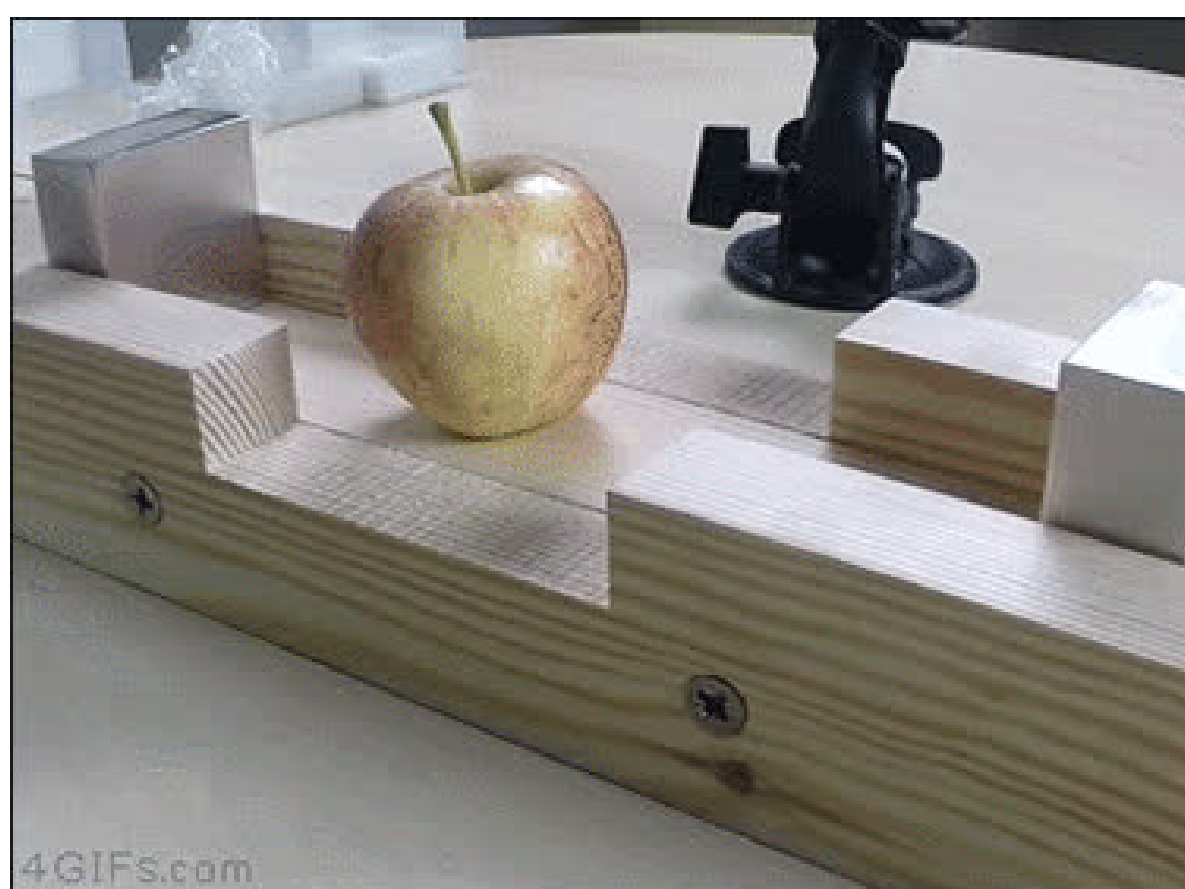
ДИНАМІКА

Основні закони динаміки

Динаміка — це розділ механіки, який вивчає причини зміни швидкості руху тіл під впливом інших тіл.

Сила (у фізиці) є мірою взаємодії тіл, частинок або частинок і поля.

Сила (в механіці) є причиною прискорення тіл або частинок тіла.



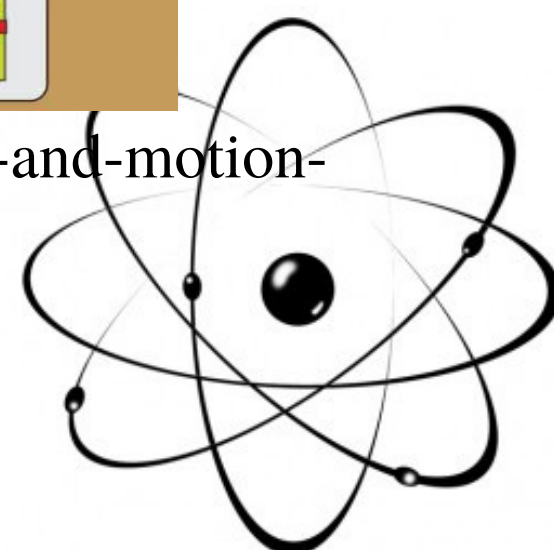
Сила F — векторна величина.

Якщо до матеріальної точки прикладено декілька сил $F_1, F_2, \dots, F_n$ (рис. 20), то їх дію можна замінити дією однієї сили, яка називається **рівнодієюною силою** $F(p)$:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$



https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_uk.html

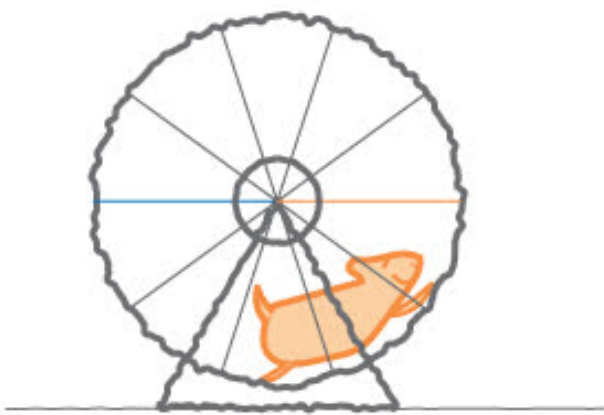


Перший закон Ньютона - закон інерції

Існують такі системи відліку, відносно яких поступально рухоме тіло зберігає свою швидкість сталою, якщо на нього не діють інші тіла (або вплив інших тіл компенсується).

Такі системи відліку називаються **інерціальними**.

Inertia Example #3: What happens when a hamster stops running?



Inertia Example #1: Why you need to wear a seatbelt (especially if you are a giraffe)



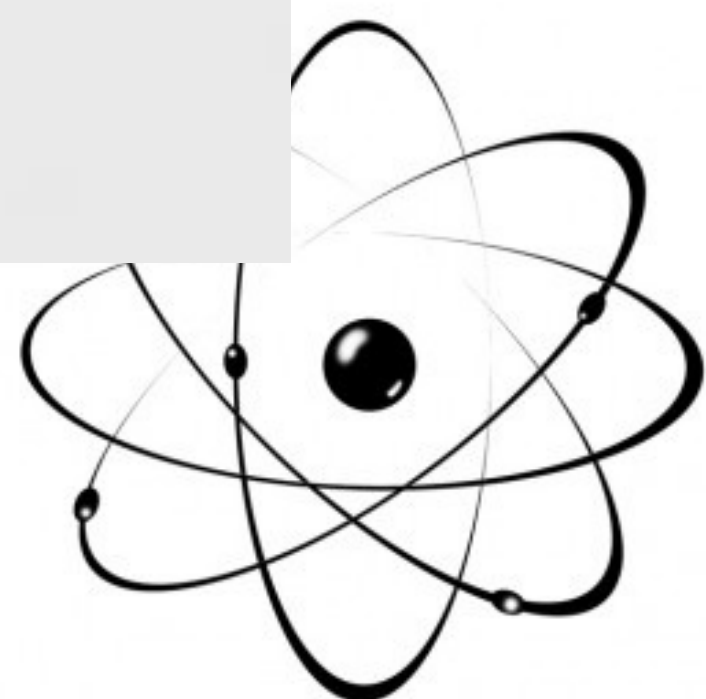
Інерціальна система відліку зв'язана з далекими зорями. Будь-яка система, що рухається відносно зір рівномірно і прямолінійно, також інерціальна. У зв'язку з тим, що Земля, рухаючись відносно зір (Сонця), мало змінює швидкість, система «Земля» практично інерціальна. Отже, інерціальною буде також СВ, яка рухається відносно Землі рівномірно і прямолінійно.

Явище збереження сталої швидкості (зокрема швидкості, що дорівнює нулю) називають **інерцією**.

Тому і СВ, відносно яких тіла рухаються зі сталою швидкістю за умови компенсації зовнішніх впливів, називаються **інерціальними**, а перший закон Ньютона називають **законом інерції**.



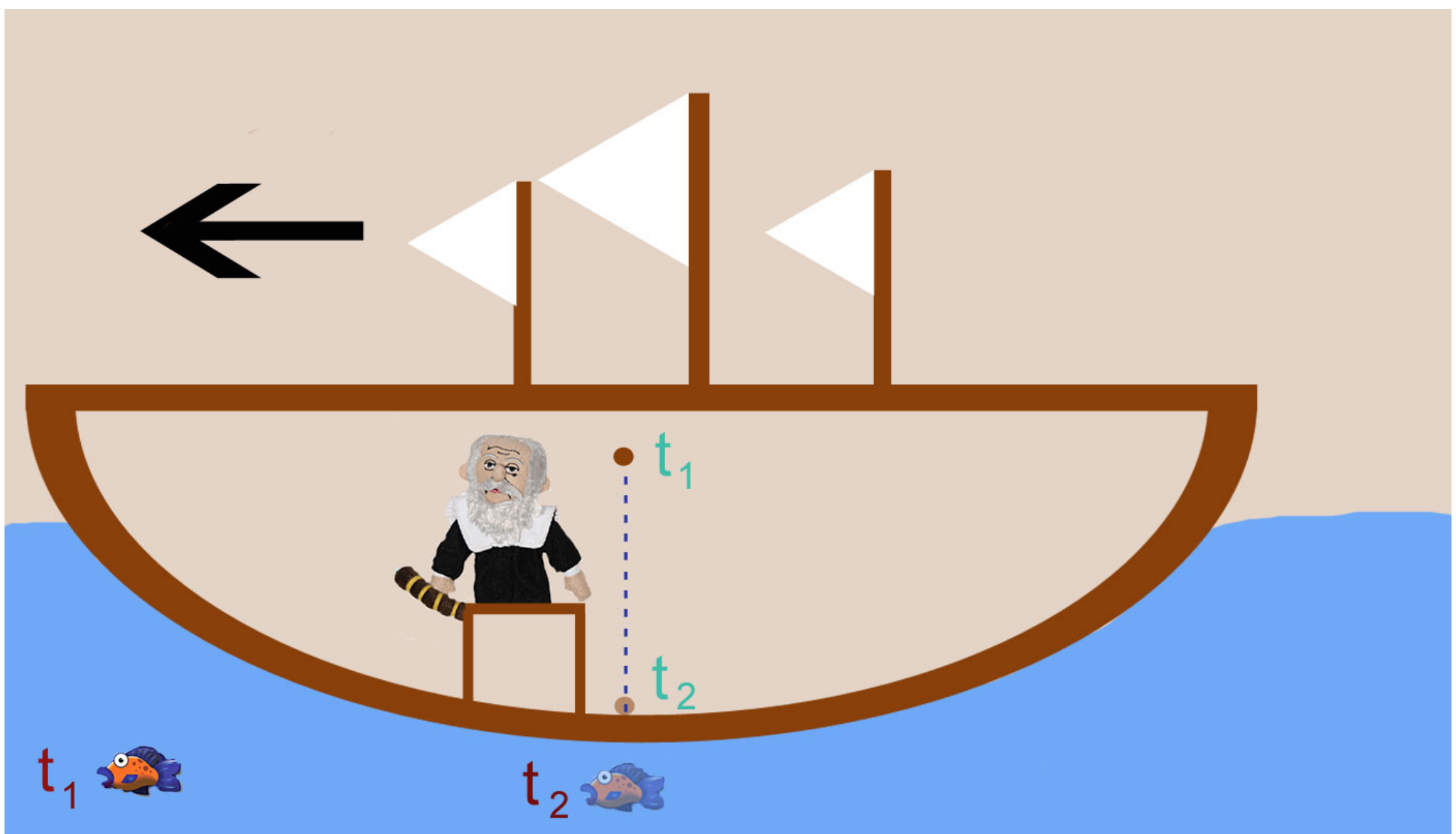
https://www.youtube.com/watch?v=zgXZcpiHZyY&t=132s&ab_channel=InCorCadit



Принцип відносності в класичній механіці (Принцип відносності Галілея)

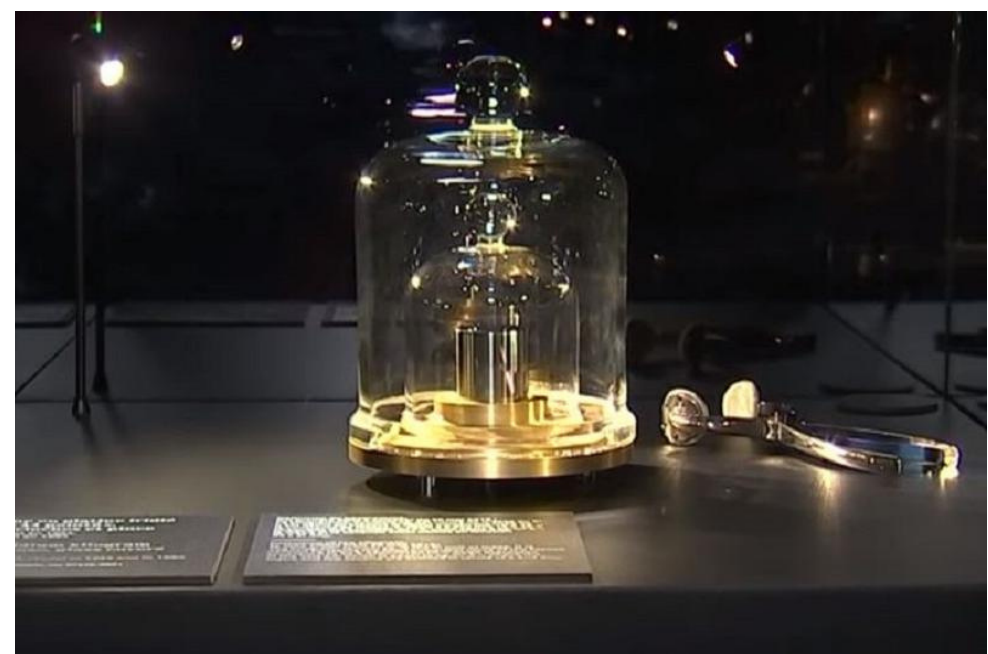
Принцип відносності в класичній механіці: для будь-яких механічних явищ усі інерціальні СВ є рівноправними.

Це зумовлено тим, що маса m , довжина l , проміжок часу Δt в усіх інерціальних СВ мають однакове значення (інваріантні).



Маса. Центр маси.

Маса — фізична величина, яка кількісно характеризує інертні властивості тіла.



Інертність полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла даною силою потрібен деякий час. Чим більшим є цей час, тим інертнішим є тіло.

Одиницею маси в СІ є 1 кг. Еталон маси, виготовлений зі сплаву іридію та платини, зберігається в м. Севрі поблизу Парижа.



Масу можна визначити:

1. За взаємодією тіла масою m_T з еталоном (тілом відомої маси):

$$\frac{m_T}{m_{\text{ет}}} = \frac{a_{\text{ет}}}{a_T}.$$

Маса як міра інертності тіла визначається відношенням модуля прискорення еталона до модуля прискорення тіла при його взаємодії з еталоном:

$$m_T = \frac{a_{\text{ет}}}{a_T} m_{\text{ет}}.$$

2. Зважуванням на важільних терезах, де порівнюється взаємодія тіла і важків із Землею.

3. Розрахунком її за відомою густиною речовини й об'ємом тіла:

$$m = \rho V.$$

4. Вираженням її через масу однієї молекули m_0 та кількість молекул N

$$m = m_0 N.$$

У механіці Ньютона вважається, що:

- маса тіла не залежить від швидкості його руху;
- для тіла виконується закон збереження маси.

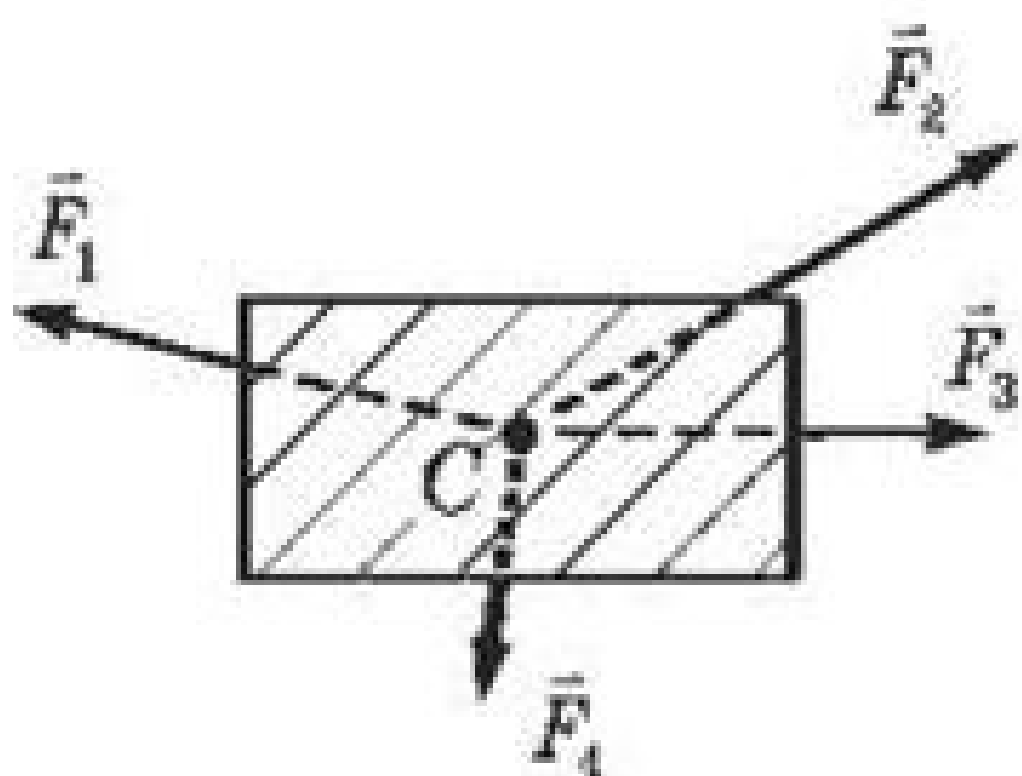
У релятивістській механіці (механіці великих швидкостей $V = c$) маса тіла залежить від швидкості його руху:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

де m_0 — маса спокою тіла; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.



Центр маси — точка, через яку повинна проходити лінія дії сили, щоб тіло рухалось поступально. На рис. точка С — центр маси тіла.



Центр маси системи рухається як матеріальна точка, у якій зосереджена маса всієї системи і на яку діє сила, що дорівнює геометричній сумі всіх зовнішніх сил, що діють на тіло.

Другий Закон Ньютона в класичній і релятивістській механіці

Сила, яка діє на тіло, дорівнює добутку маси тіла на прискорення, яке надається даною силою:

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

Ця сила тільки надає тілу прискорення і не залежить від дії інших сил на це тіло.

Основне рівняння динаміки. Якщо на тіло діє кілька сил, то геометрична сума всіх зовнішніх сил дорівнює добутку маси тіла на прискорення, з яким рухається тіло під впливом усіх сил:

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

Одиницею сили є 1 Н (ньютон). 1 Н — це постійна сила, яка надає тілу масою 1 кг прискорення 1 м/с²:

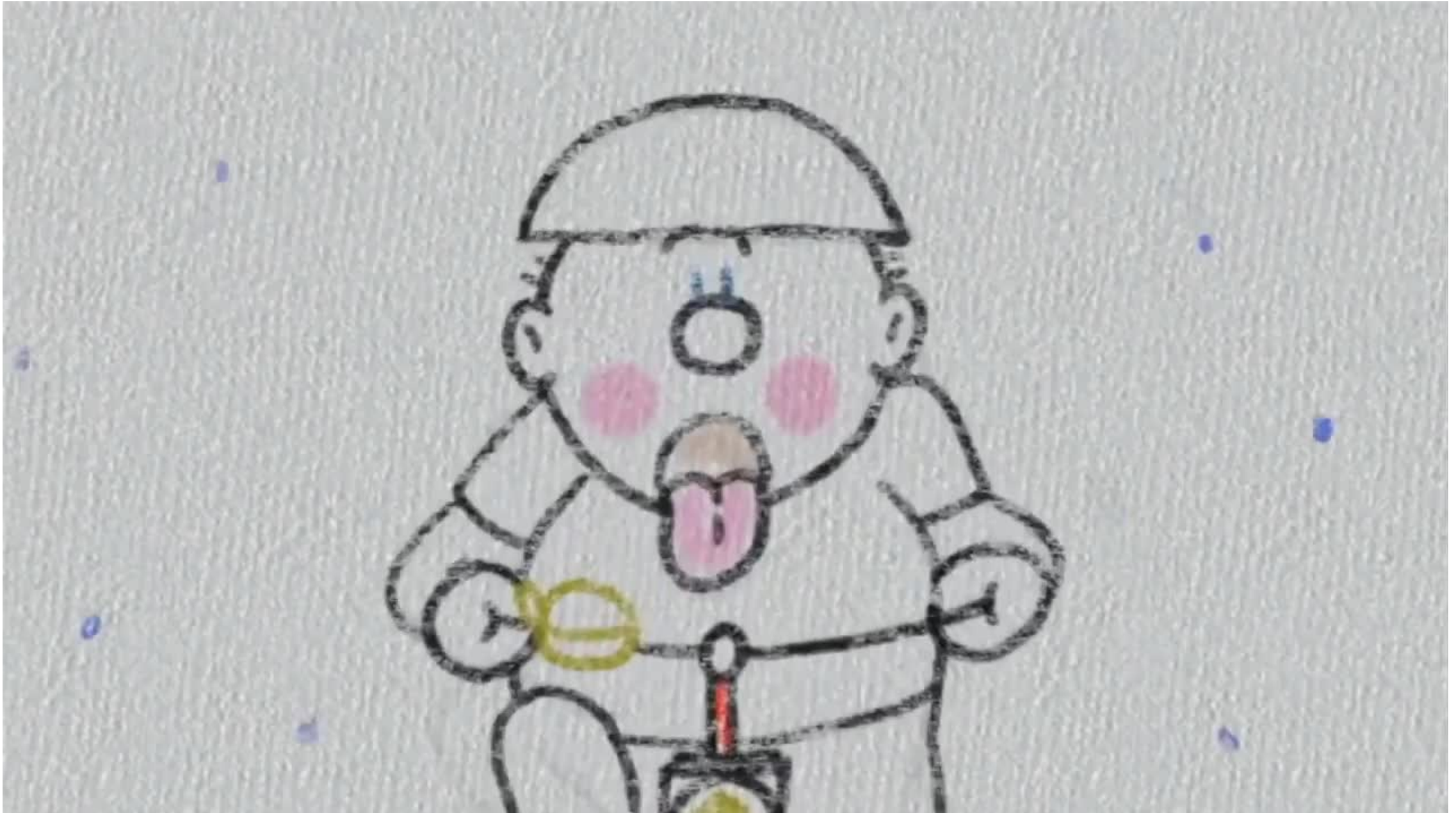
$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Межі застосування другого закону Ньютона



Цей закон застосовується:

- 1) під час розглядання руху тіл зі швидкостями, набагато меншими від швидкості світла ($v \ll c$);
- 2) в інерціальній системі відліку.



https://www.youtube.com/watch?v=zgXZcp1HZyY&t=132s&ab_channel=InCorCadit

Другий закон Ньютона в імпульсній формі застосовується як у класичній механіці (механіці Ньютона), так і в релятивістській (механіці Ейнштейна).

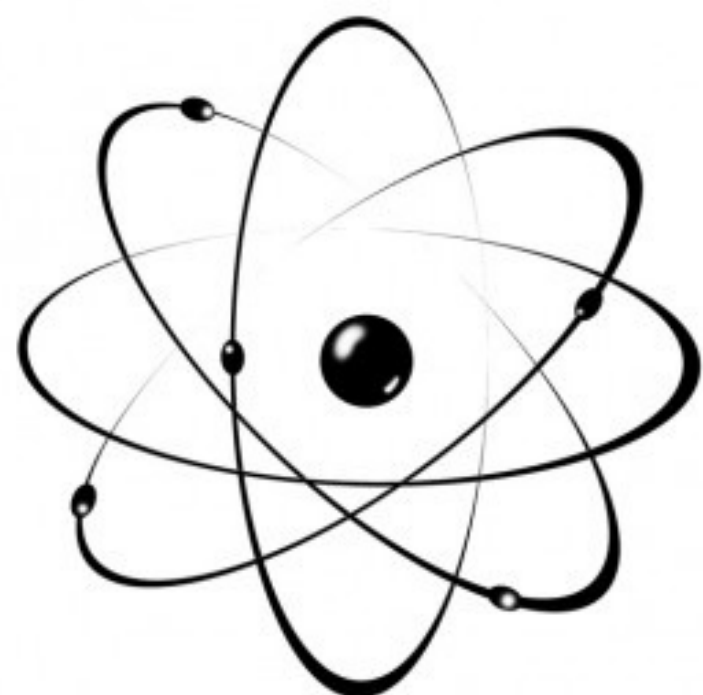
Другий закон Ньютона в імпульсній формі. Імпульс сили, що діє на тіло, дорівнює зміні імпульсу тіла:

$$\vec{F} \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0, \text{ або } \vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p}.$$

Імпульс тіла — це векторна величина, яка дорівнює добутку маси тіла на його швидкість:

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

Одиницею імпульсу є 1 (кг*м)/с .



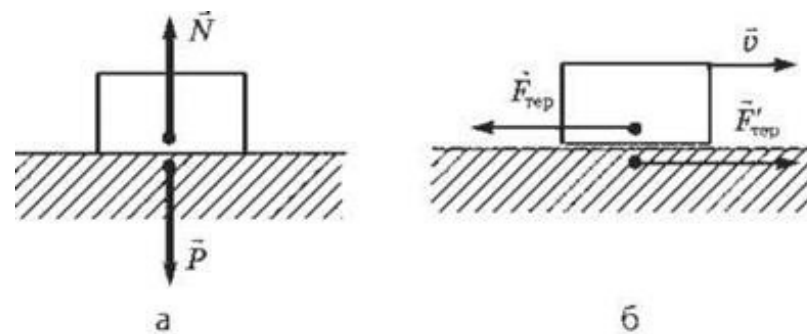
Третій Закон Ньютона

Тіла діють одне на одне із силами, спрямованими вздовж однієї прямої, рівними за модулем і протилежними за напрямом:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2, \quad F_1 = F_2.$$

Сили взаємодії тіл виникають парами і мають однакову природу:

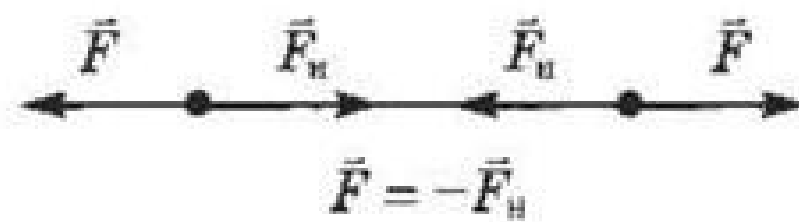
$$\vec{p} = m\vec{v}.$$



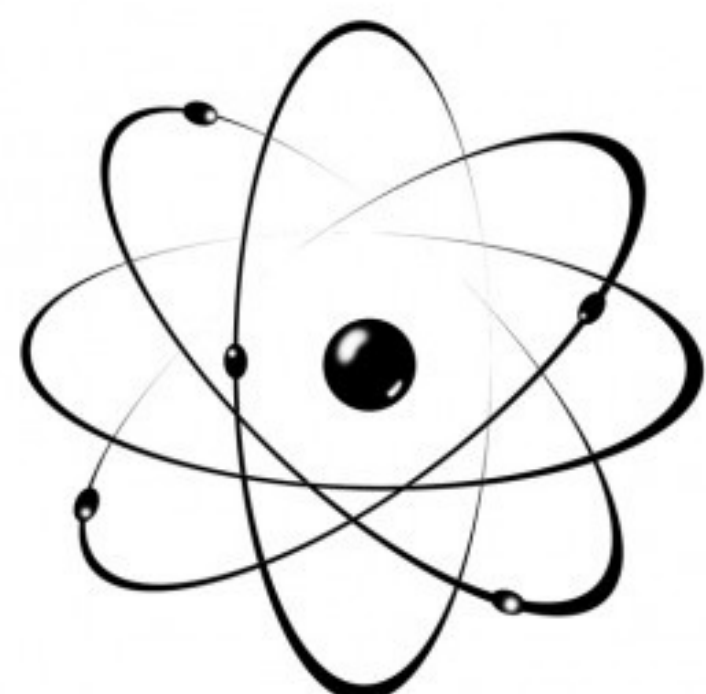
Сили взаємодії тіл прикладені до різних тіл і тому не мають рівнодійної.

Сила натягу нитки (пружины), яка з'єднує тіла, діє кінцями нитки на кожне тіло із силою натягу :

$$\vec{F} = -\vec{F}_n \left(\ddot{T} \right).$$



https://www.youtube.com/watch?v=zgXZcpiHZyY&t=132s&ab_channel=InCorCadit

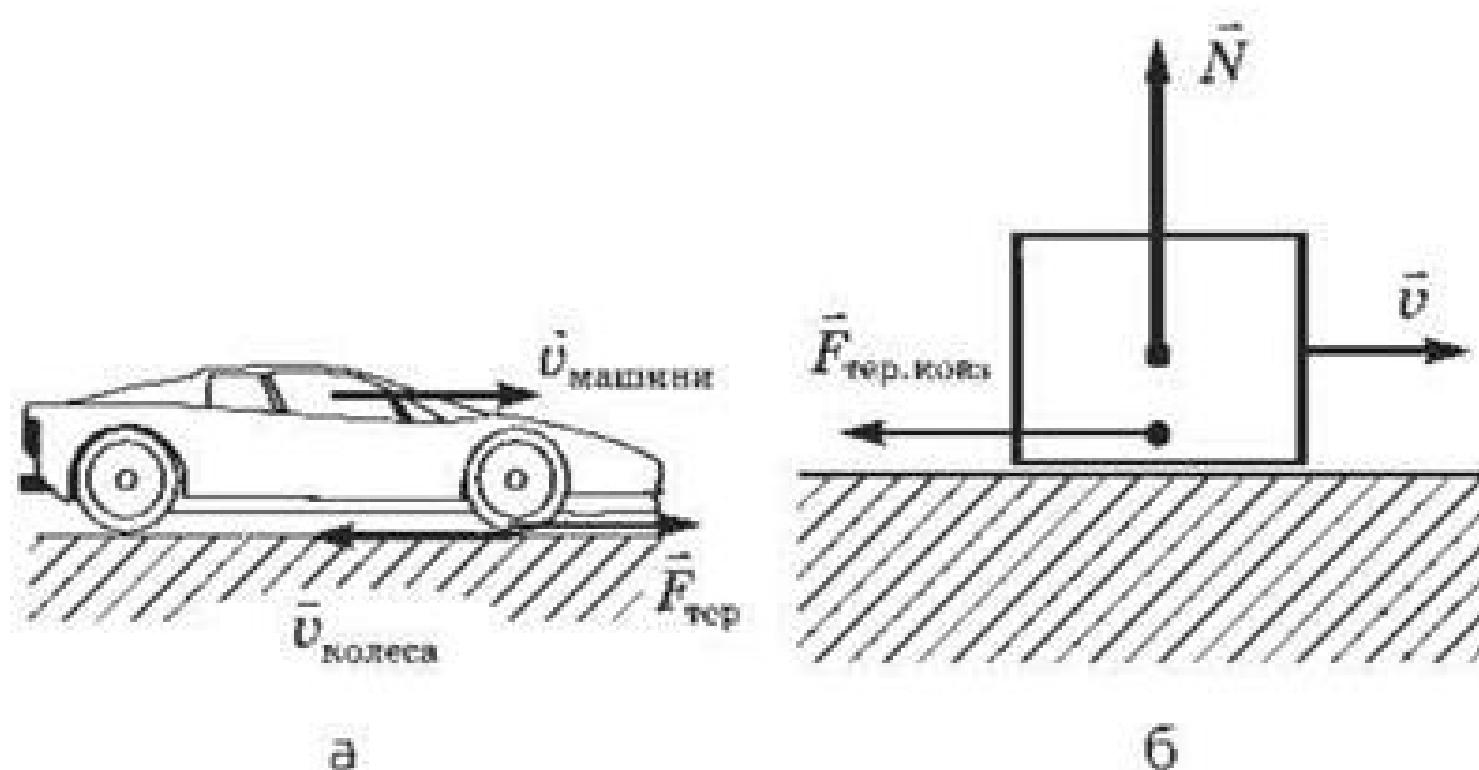


Сила тертя. В'язке тертя

Сила тертя — це сила, яка виникає під час руху одного тіла по поверхні іншого і перешкоджає цьому руху.

Наприклад, двигун автомобіля обертає ведучі колеса. Тертя по землі перешкоджає цьому обертанню, штовхаючи колесо вперед (таким чином, виникає сила тяги автомобіля) (рис. а).

Сила тертя ковзання $F_{\text{тер.ковз.}}$ виникає при ковзанні одного тіла по поверхні іншого. Її напрям протилежний швидкості руху тіла (рис., б)

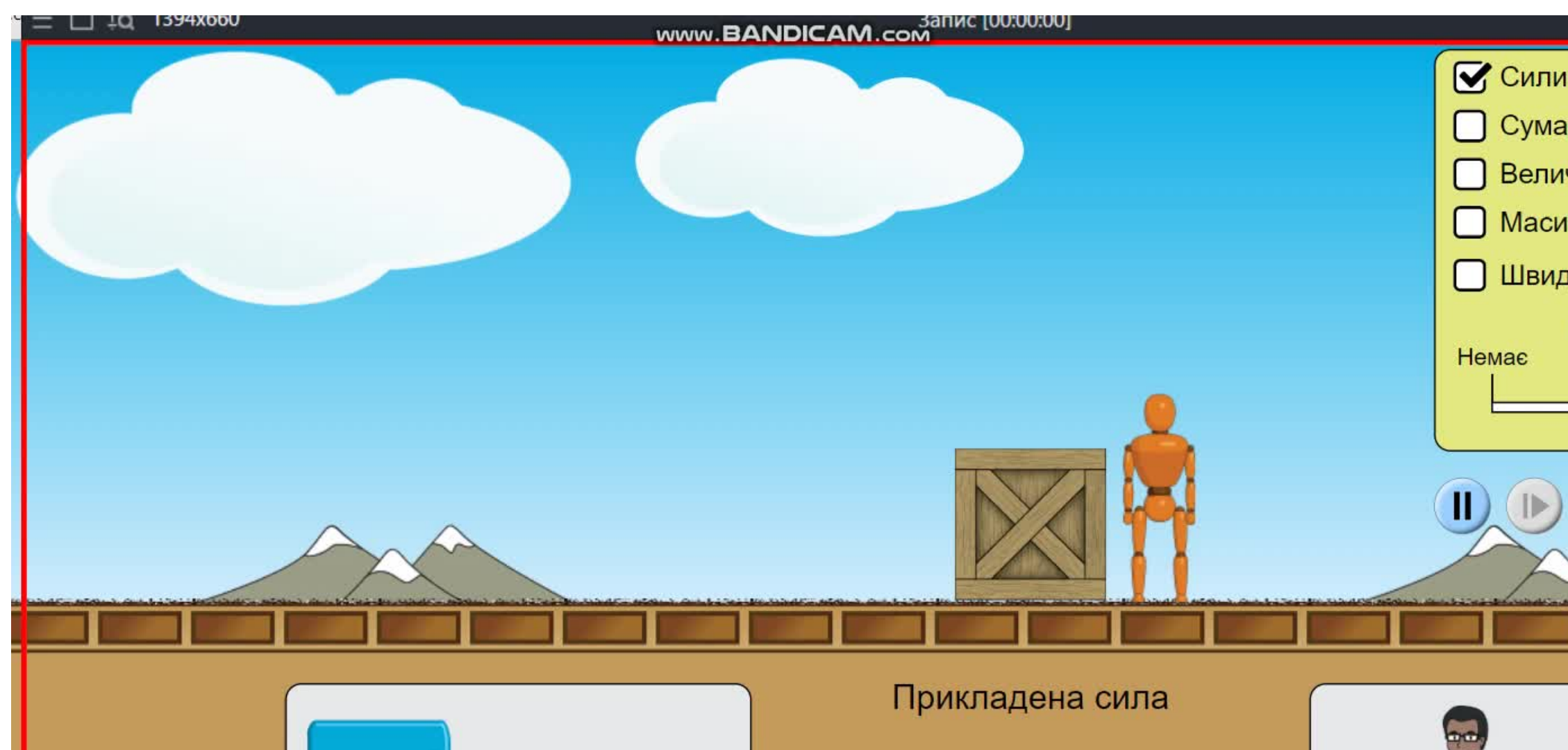


Модуль сили тертя ковзання прямо пропорційний силі нормальної реакції опори N :

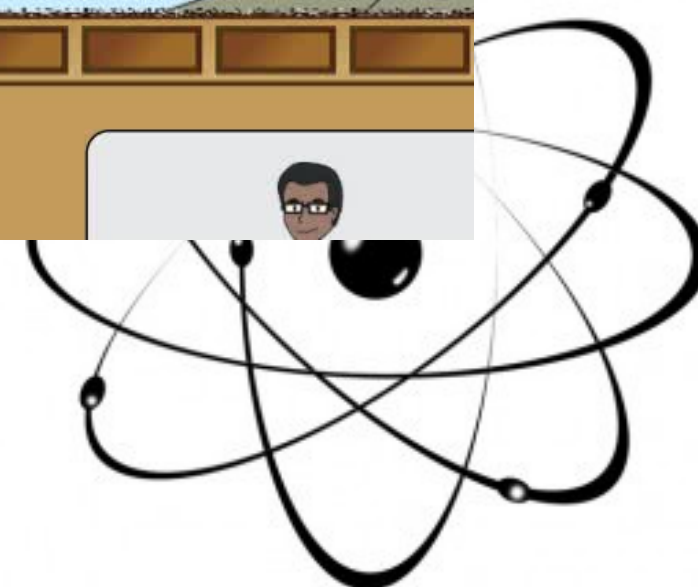
$$F_{\text{тер.ковз.}} = \mu N,$$

де μ — безрозмірна величина.

Коефіцієнт пропорційності μ — коефіцієнт тертя ковзання, який залежить від виду речовин тіл, які стикаються, стану їхніх поверхонь та швидкості ковзання одного тіла відносно іншого.

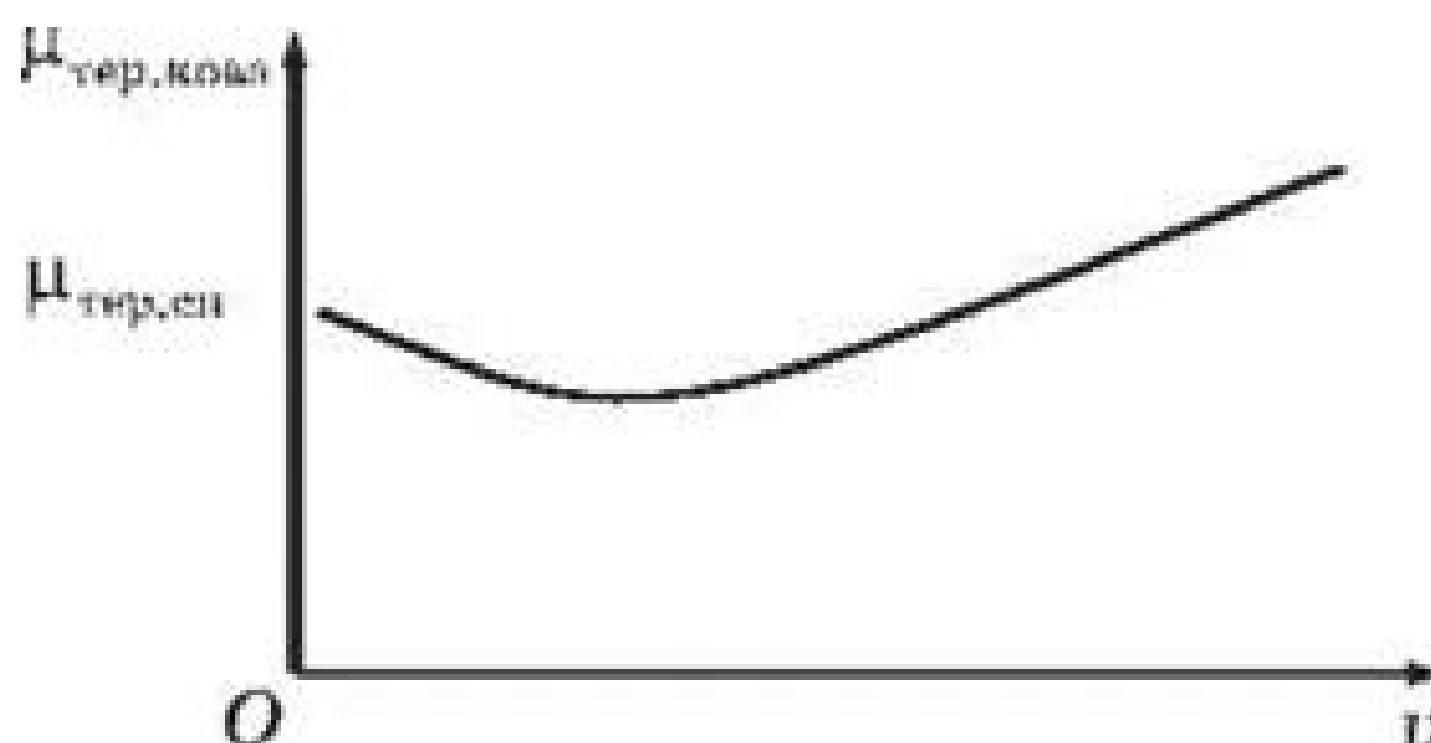


https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_uk.html



При розв'язанні багатьох задач можна користуватися деяким середнім значенням коефіцієнта тертя ковзання. При малих швидкостях можна вважати, що він дорівнює коефіцієнту тертя спокою

$$\mu_{\text{тер. ковз}} = \mu_{\text{тер. сп}}$$



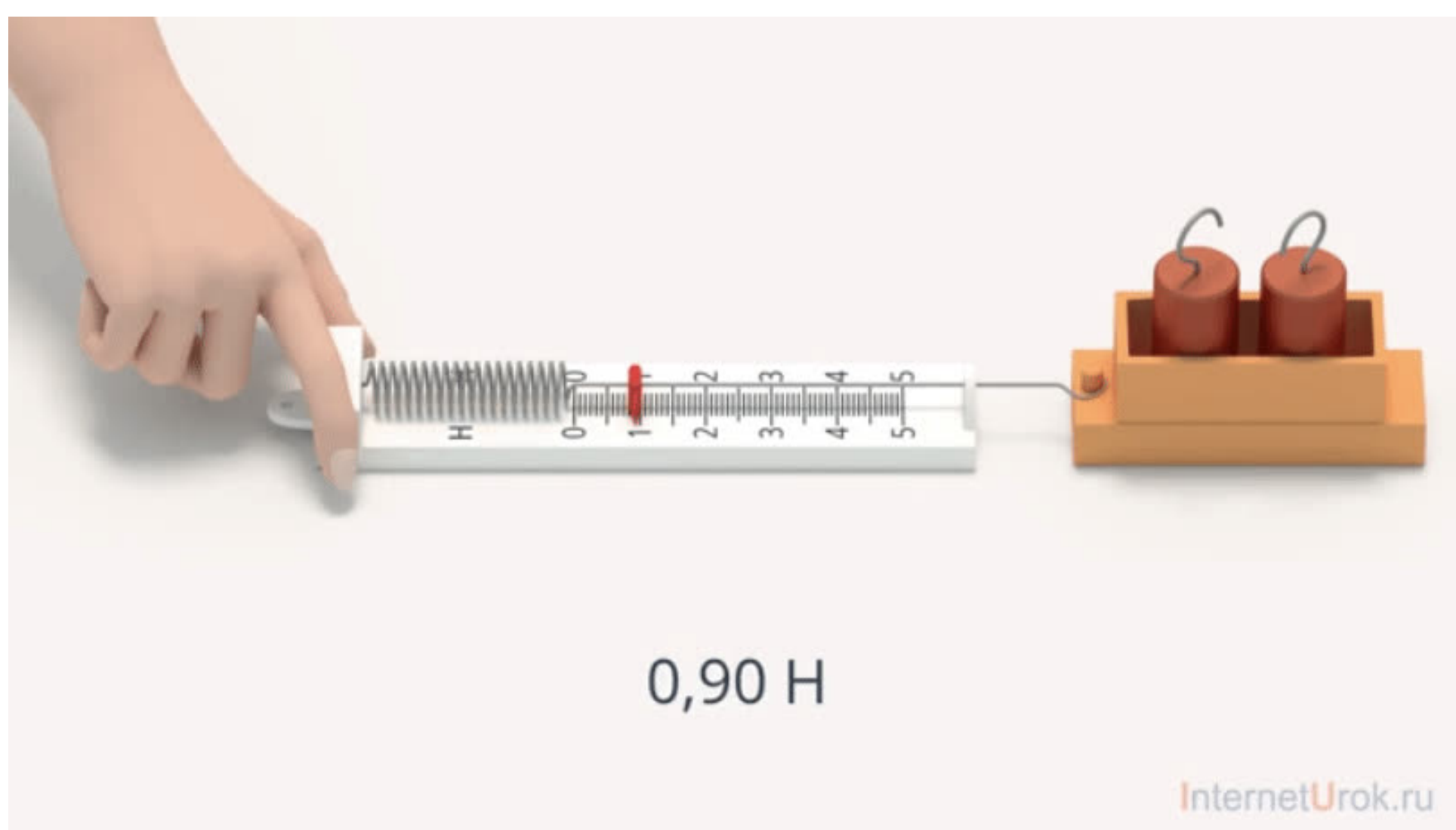
Модуль сили тертя ковзання під час руху по горизонтальній поверхні:

$$F_{\text{тер. ковз}} = \mu mg, \text{ оскільки } N = mg.$$

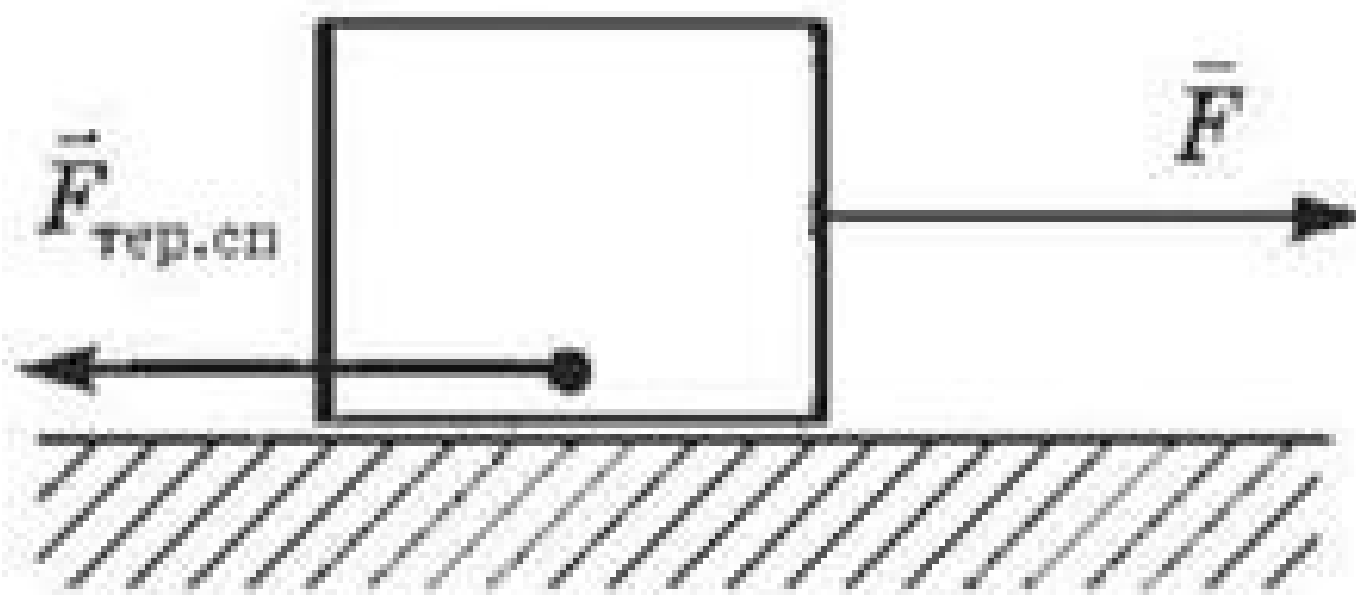
Модуль сили тертя ковзання під час руху по поверхні, яка утворює з горизонтом кут α : оскільки

$$F_{\text{тер. ковз}} = \mu mg \cos \alpha,$$

$$N = mg \cos \alpha.$$



Сила тертя спокою $F_{\text{сп}}$ сп однакова за модулем і спрямована протилежно тій зовнішній силі F , яка спричиняє ковзання одного тіла по іншому.



Максимальне значення модуля сили тертя спокою:

$$F_{\text{сп.макс}} = \mu_{\text{сп}} \cdot N$$

Тертя кочення виникає при коченні одного тіла по поверхні іншого.

Модуль сили тертя кочення дорівнює відношенню добутку коефіцієнта тертя кочення k , модуля сили нормальної реакції опори N до радіуса R тіла, що котиться:

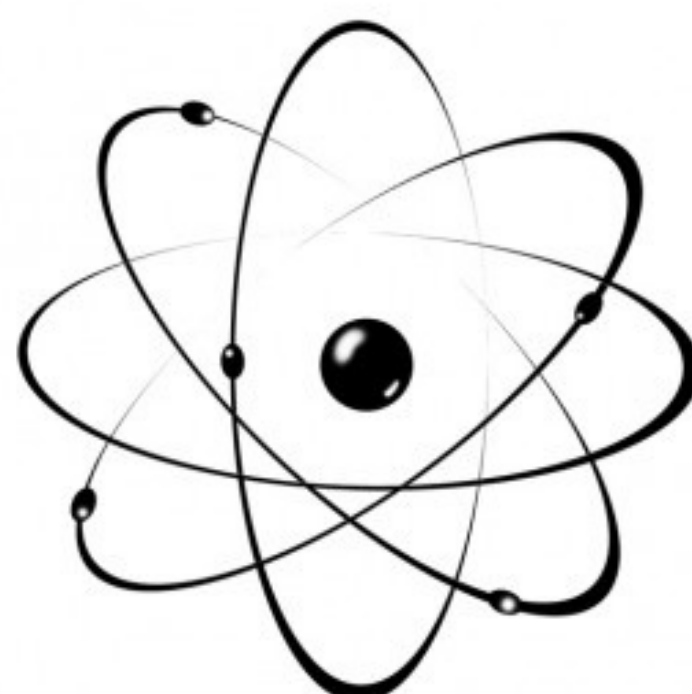
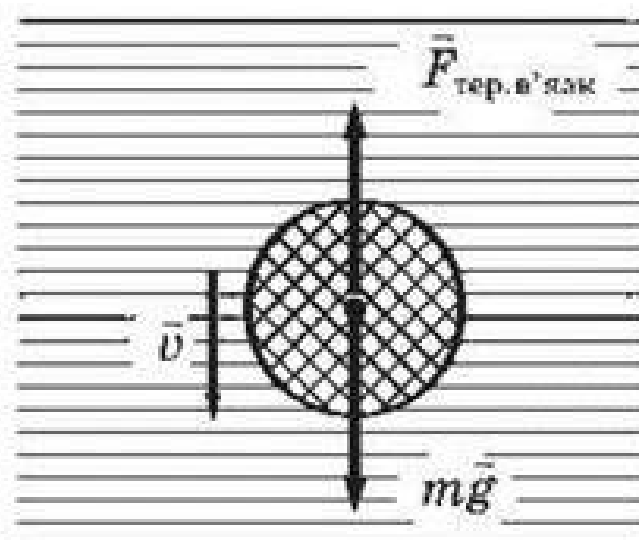
$$F_{\text{коч.}} = k_{\text{коч.}} \cdot \frac{N}{R}$$

Для більшості поверхонь сила тертя кочення менша за силу тертя ковзання. Тому широко практикується заміна тертя ковзання тертям кочення (кулькові та роликові підшипники):

$$F_{\text{тер. коч}} \ll F_{\text{тер. ковз}}$$

При дуже великих швидкостях сухе тертя переходить у в'язке, оскільки між поверхнями утворюється прошарок повітря.

В'язке тертя виникає при русі твердого тіла у рідині або газі. Сила в'язкого тертя $F_{\text{тер.в'язк}}$ спрямована проти швидкості руху тіла.



Особливості в'язкого тертя

1. Сила тертя спокою відсутня:

$$F_{\text{тер. сп.}} = 0$$

2. Модуль сили в'язкого тертя залежить від швидкості руху тіла:
при малих швидкостях:

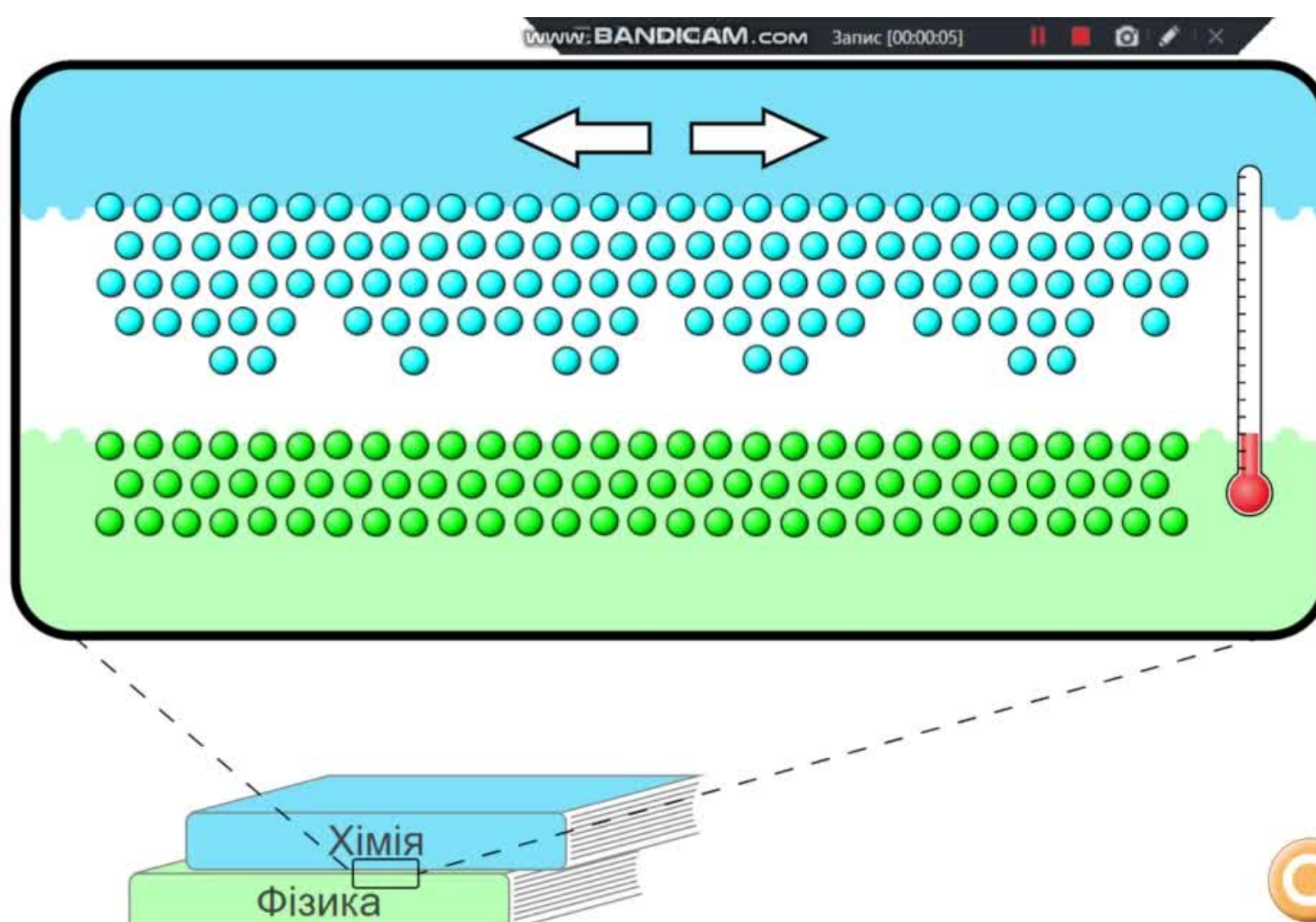
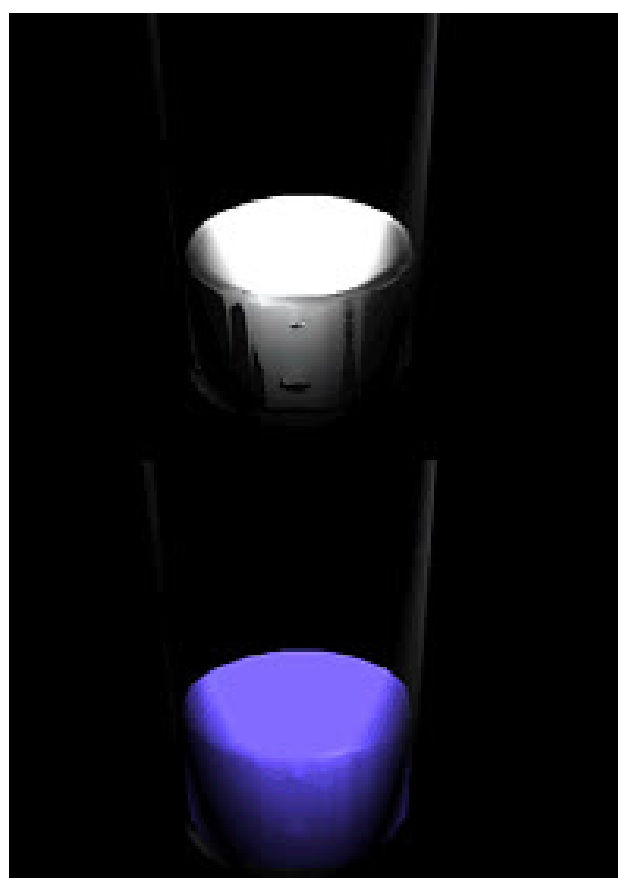
$$F_{\text{тер. в'язк}} = \beta_1 v$$

при великих швидкостях:

$$F_{\text{тер. в'язк}} = \beta_2 v^2$$

де β_1 , β_2 — коефіцієнти пропорційності між модулем сили в'язкого тертя та швидкістю руху тіла.

Характеризує обтікання поверхні тіла та в'язкість середовища.

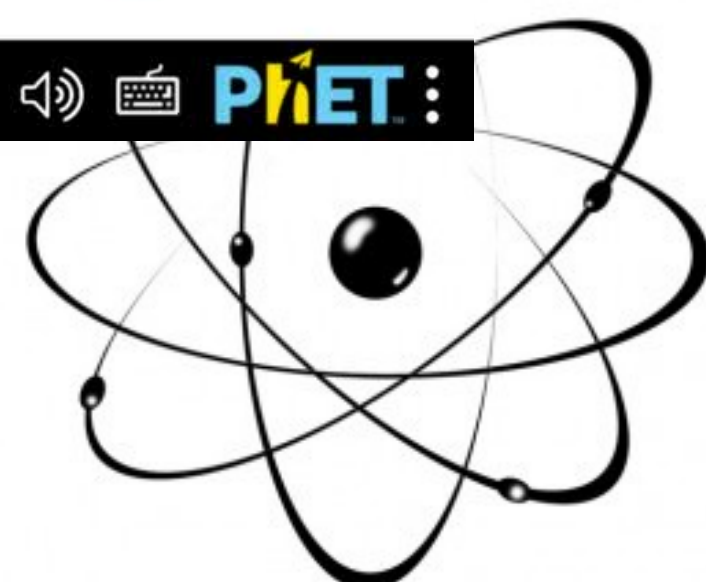


Тертя



PHET

https://phet.colorado.edu/sims/html/friction/latest/friction_uk.html

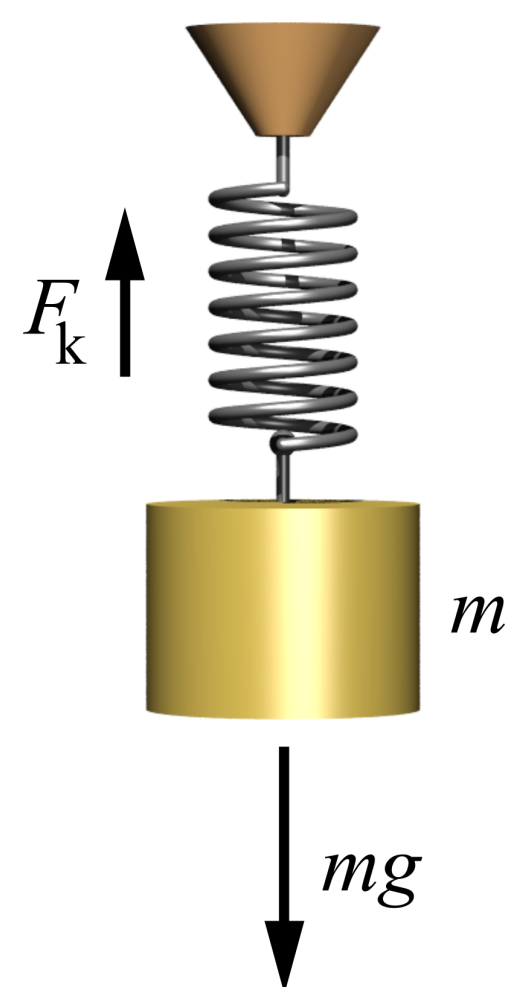
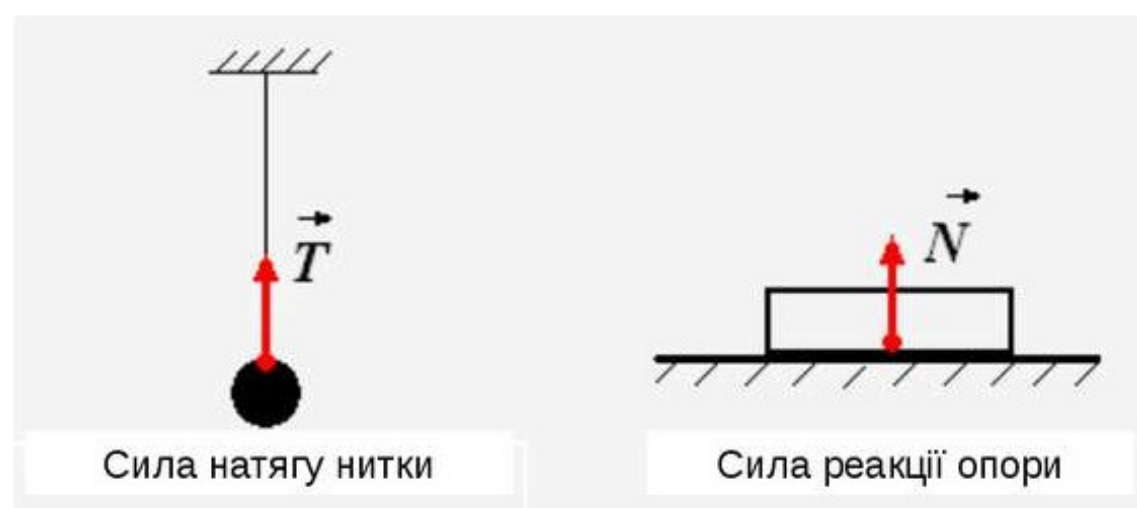


Сила пружності. Закон Гука.

Механічна напруга

Сили пружності — це сили, які виникають при деформації тіла і перешкоджають цій деформації.

Сили пружності спрямовані перпендикулярно до поверхні деформованого тіла (N) — наприклад, нормальна реакція опори (сила пружності підставки), або вздовж нитки (T).

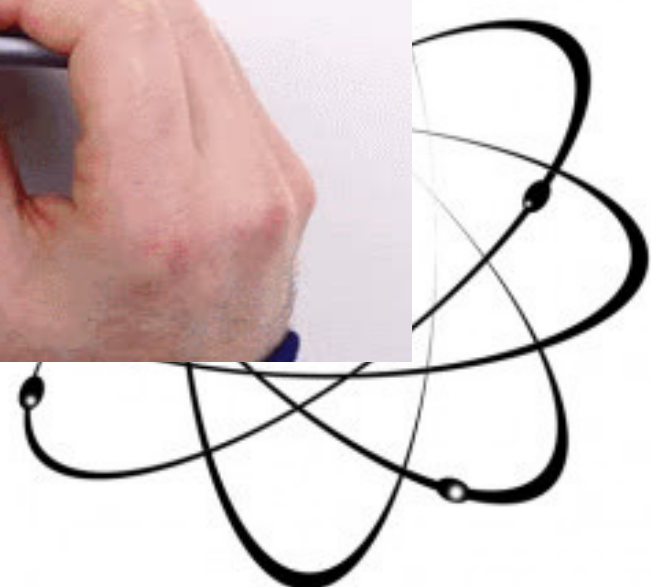
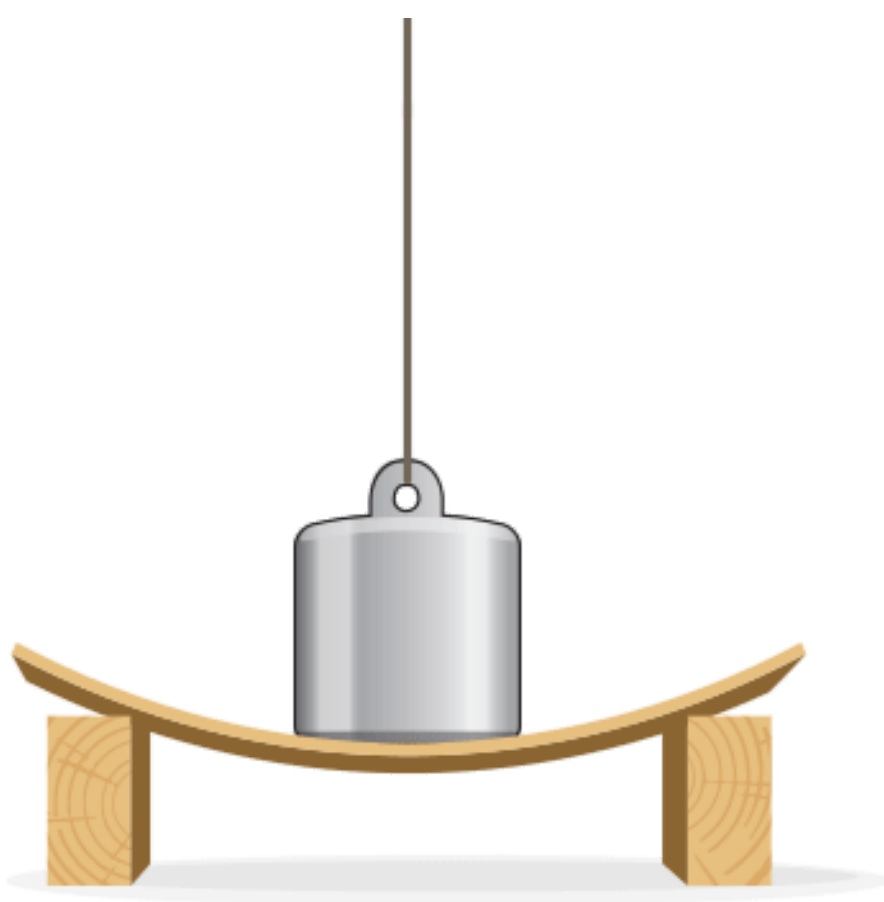


Деформацією твердого тіла називають зміну форми та об'єму тіла під зовнішнім впливом.

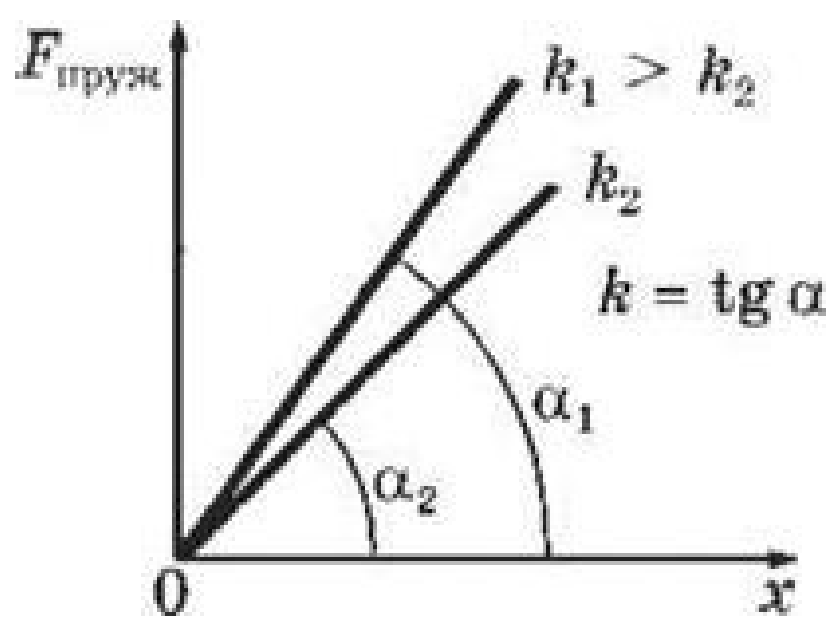
Розрізняють пружну і пластичну деформації.

Пружна деформація повністю зникає після припинення дії зовнішніх сил.

Пластична деформація не зникає після припинення дії зовнішніх сил.



У випадку пружної деформації модуль сили пружності визначається за **законом Гука**: сила пружності при пружній деформації прямо пропорційна абсолютному подовженню тіла і протилежно до нього напрямлена:

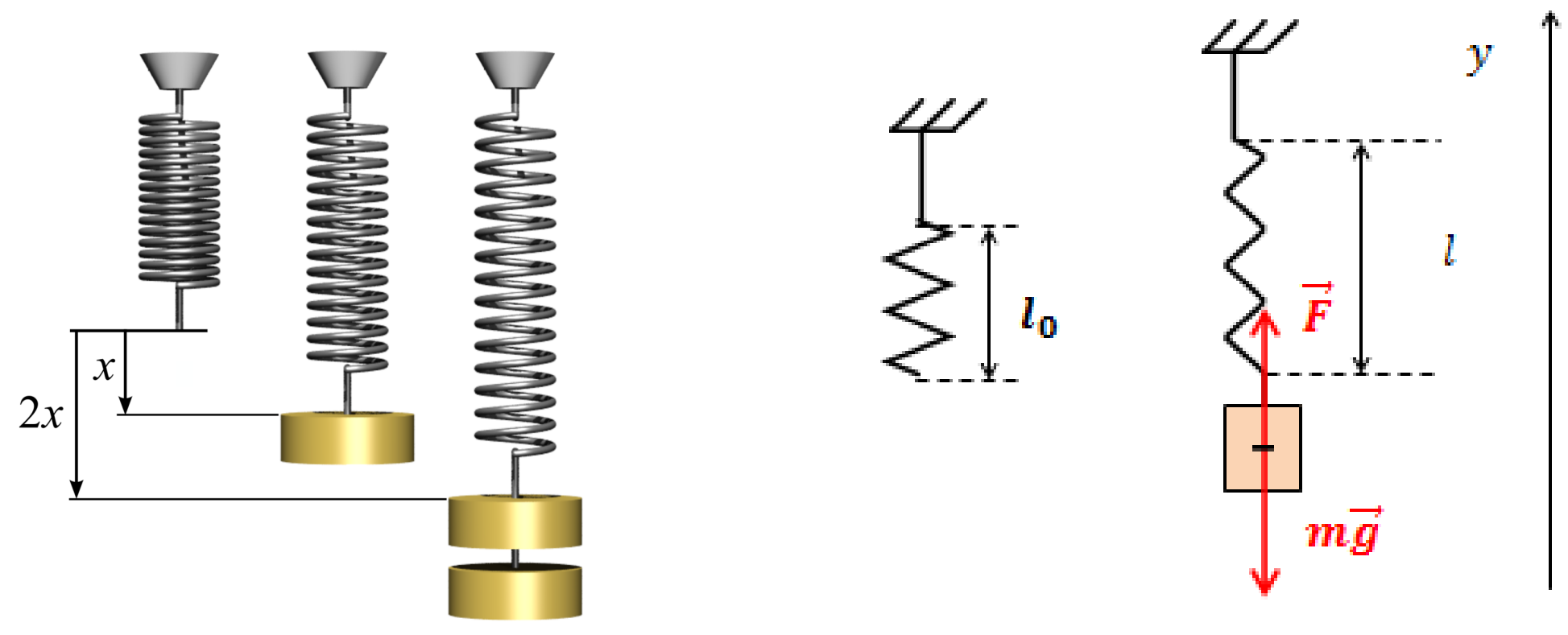


$$F = - k \Delta x$$

$$[x] = \text{м} , [k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Абсолютне подовження тіла (x) визначається різницею кінцевої і початкової довжин тіла:

$$x = |l - l_0| = \Delta l$$

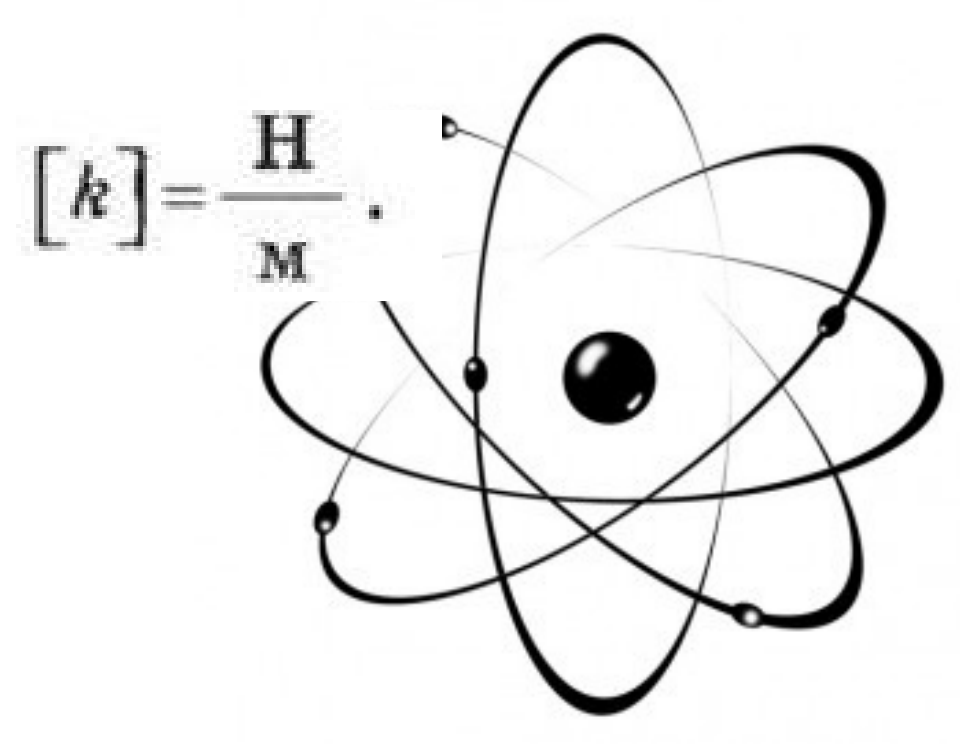


Тут k — коефіцієнт пружності, або жорсткості, залежить від геометричних розмірів тіла (S, l₀) та виду речовини (E) (S — площа поперечного перерізу, l₀ — початкова довжина тіла, E — модуль пружності, або модуль Юнга):

$$k = \frac{SE}{l_0},$$

$$[S] = \text{м}^2 , [l_0] = \text{м} , [E] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па} .$$

Одиниця жорсткості — ньютон на метр:



Модуль Юнга (модуль пружності) чисельно дорівнює механічній напрузі, яка виникає в тілі при подовженні тіла на величину початкової його довжини ($l = 2l_0$).

Модуль Юнга характеризує опірність матеріалу пружної деформації розтягу або стиску.

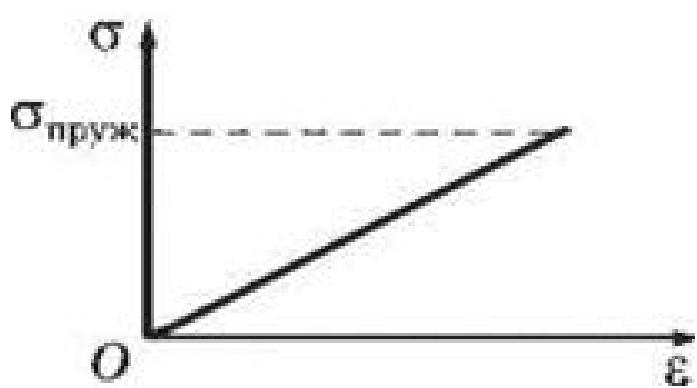


Види пружної деформації

1. Деформація розтягу або стиску.Закон Гука в цьому випадку має вигляд:

механічна напруга (σ) при пружній деформації прямо пропорційна відносному подовженню тіла (ϵ) :

$$[k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}} .$$



Максимальна напруга, за якої ще виконується закон Гука, називається межею пропорційності ($\sigma_{\text{п}}$).

Відносне подовження тіла (ϵ) — це величина, яка дорівнює відношенню абсолютного подовження (Δl) тіла до його початкової довжини (l_0):

$$|\epsilon| = \frac{|\Delta l|}{l_0}$$

Механічна напруга (σ) — це відношення модуля сили пружності ($F_{\text{пр}}$) до площі поперечного перерізу (S) тіла:

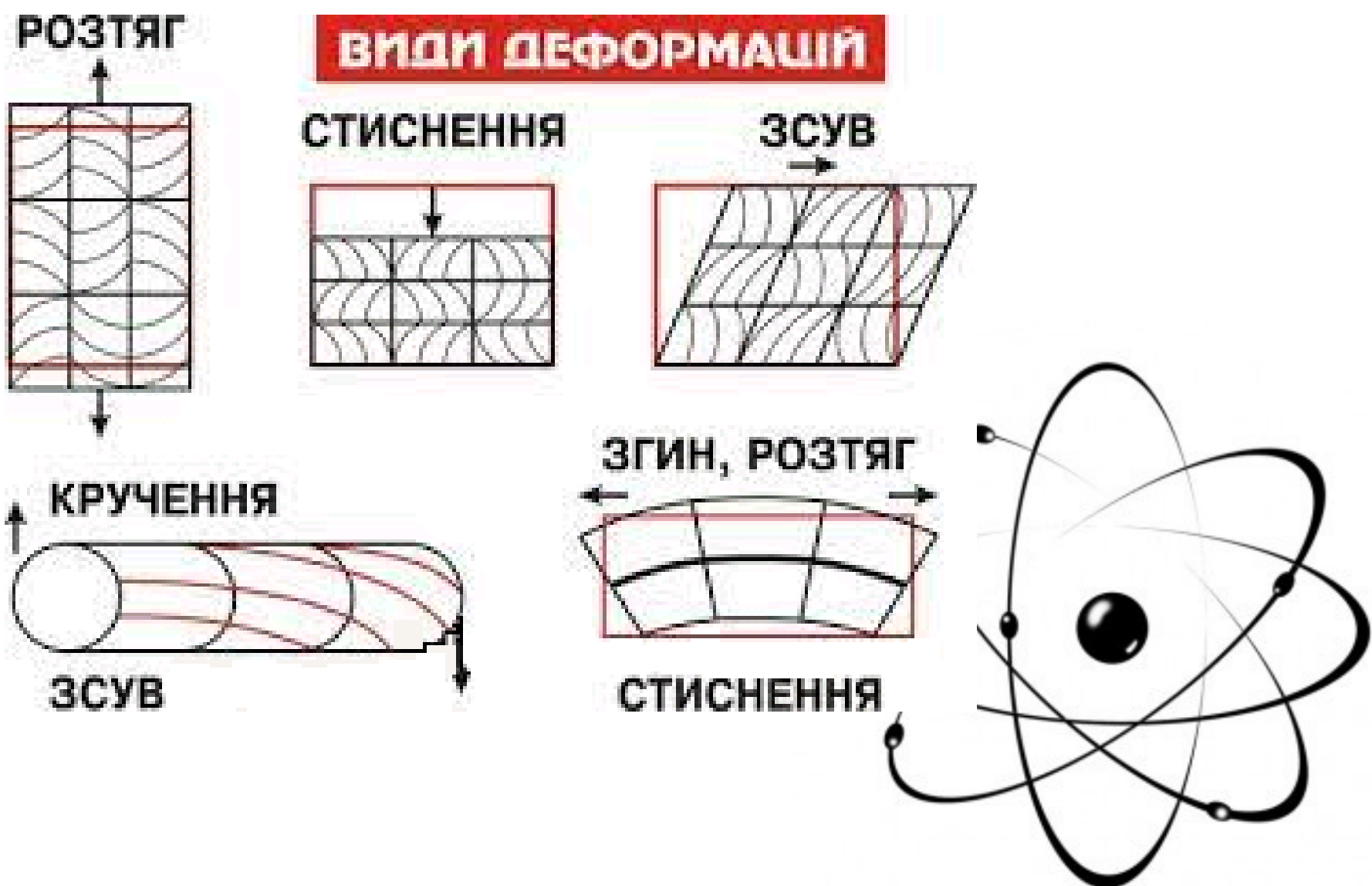
$$\sigma = \frac{F}{S}$$

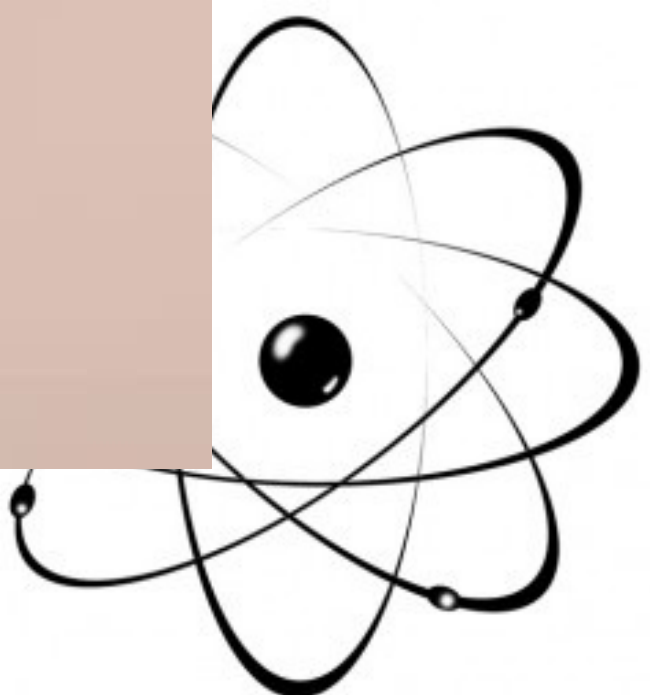
$$\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

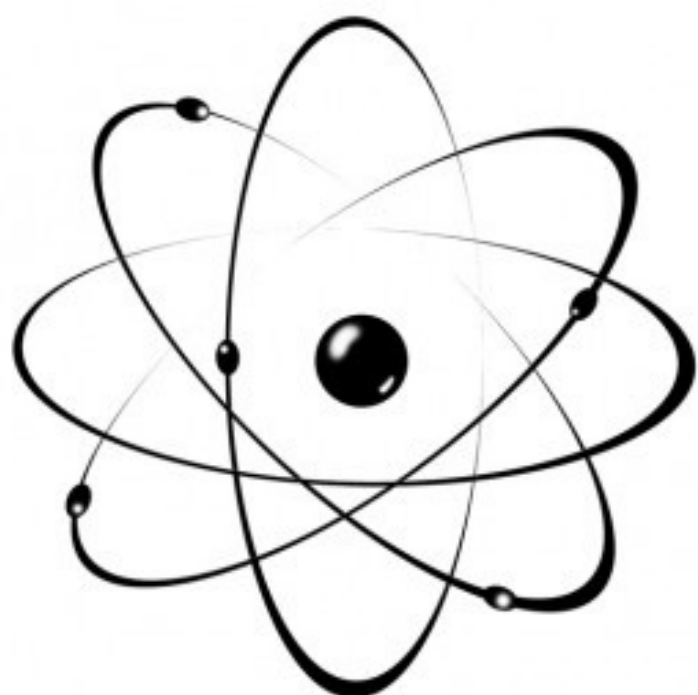
2. Деформація вигину та кручення.

3. Деформація зсуву .

Сили пружності й тертя є проявом електромагнітних сил.





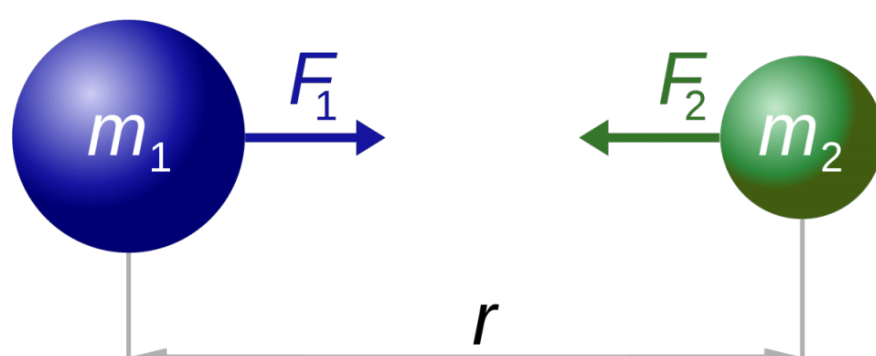


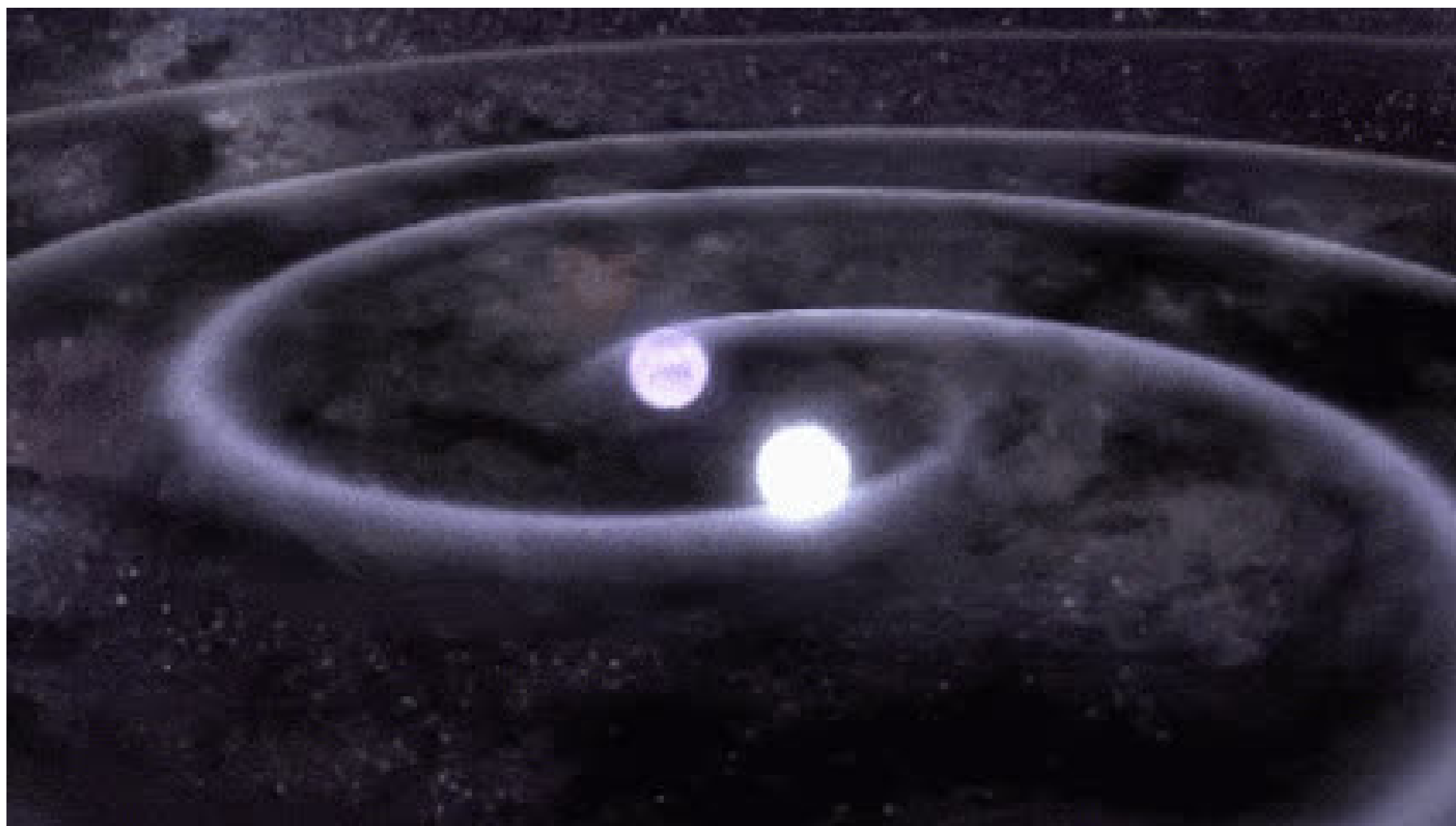
Гравітаційні сили

Сили **тяжіння** і **всесвітнього тяжіння** є гравітаційними силами. Вони є виявом гравітаційних полів.

Гравітаційне поле характеризує зміну фізичних і геометричних властивостей простору поблизу масивних тіл і може бути виявлене за силовим впливом на інші фізичні тіла.

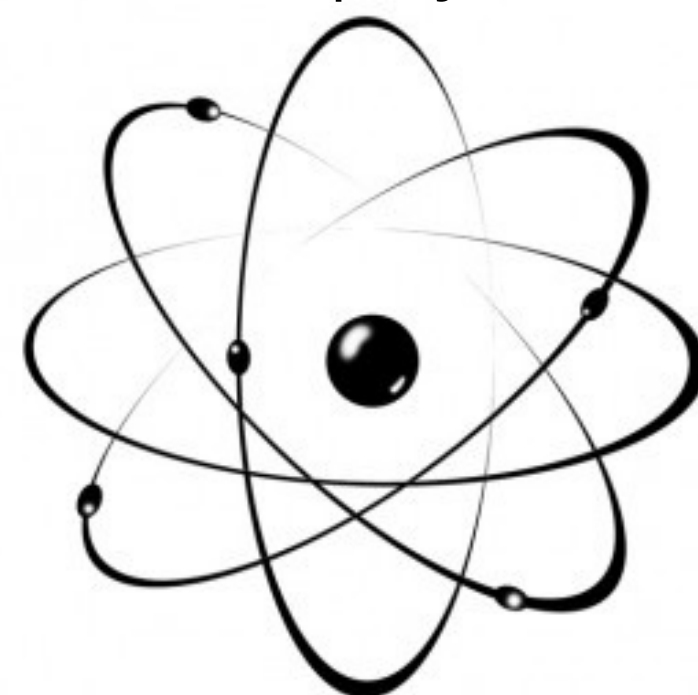
Сила всесвітнього тяжіння — сила, яка обумовлює притягання всіх тіл у Всесвіті. Вона визначається за законом всесвітнього тяжіння, якщо тіла можна прийняти за матеріальні точки або кулі з однорідним чи радіальним розподілом густини (r — відстань між центрами мас взаємодіючих тіл).


$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$



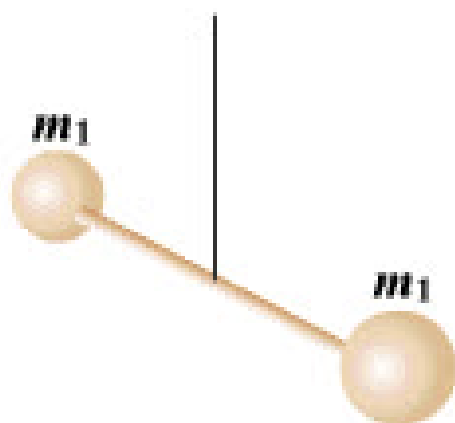
Закон всесвітнього тяжіння, відкритий Ньютоном: дві матеріальні точки притягуються одна до одної із силами, модуль яких прямо пропорційний добутку їх мас і обернено пропорційний квадрату відстані між ними:

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



Коефіцієнт пропорційності називають гравітаційною сталою та позначають G .

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}$$



Гравітаційна стала чисельно дорівнює силі притягання між двома матеріальними точками масою по 1 кг, розташованими на відстані 1 м:

Одним із проявів сили всесвітнього тяжіння є сила притягання тіла до Землі, яка називається **силою тяжіння** і за другим законом Ньютона дорівнює mg , де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — прискорення вільного падіння біля поверхні Землі:

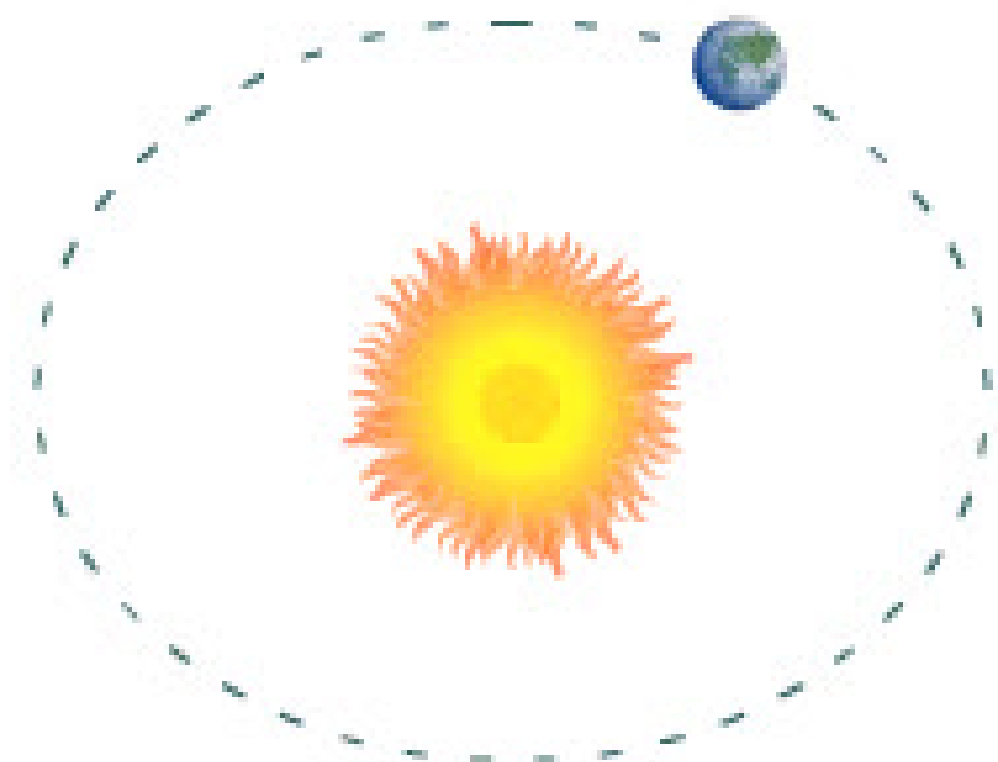
$$F_T = gm.$$

Прискорення вільного падіння біля поверхні Землі можна обчислити за формулою:

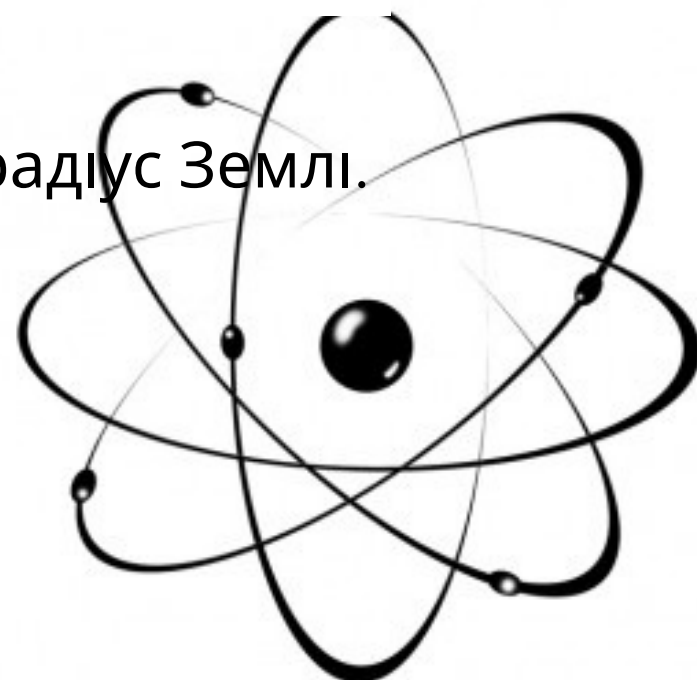
$$g = G \frac{M}{R_{\oplus}^2}$$

Прискорення вільного падіння на висоті h над поверхнею Землі:

$$g = G \cdot \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$



де $M_3 = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ — маса Землі; $R_3 = 6400 \text{ км}$ — середній радіус Землі.

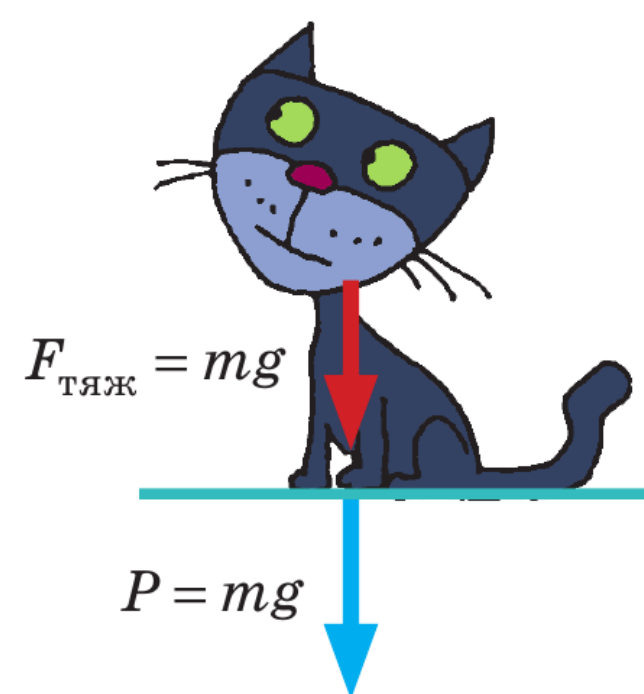
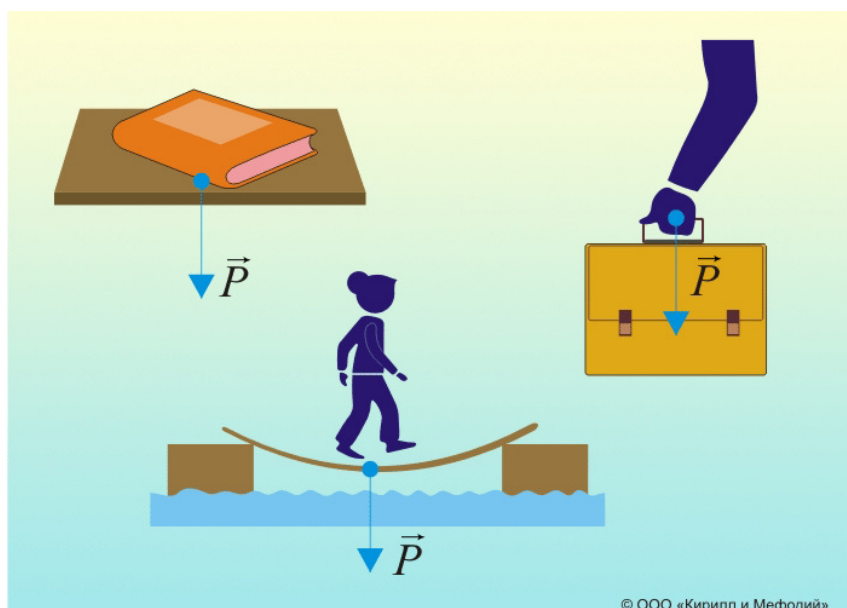


Вага тіла. Вага тіла, яке рухається з прискоренням.Перевантаження.

Вага тіла — це сила, з якою тіло діє на опору чи підвіс унаслідок притягання його до Землі.

Якщо опора перебуває в спокої або рухається рівномірно і прямолінійно, то вага тіла за величиною і напрямом збігається з силою тяжіння. Але вага прикладена до опори $P = -N$ чи підвісу, а сила тяжіння — до центра маси тіла $N = -mg$ отже, $P = -mg$,

Якщо опора горизонтальна, вага тіла є силою пружності, з якою тіло діє на опору.

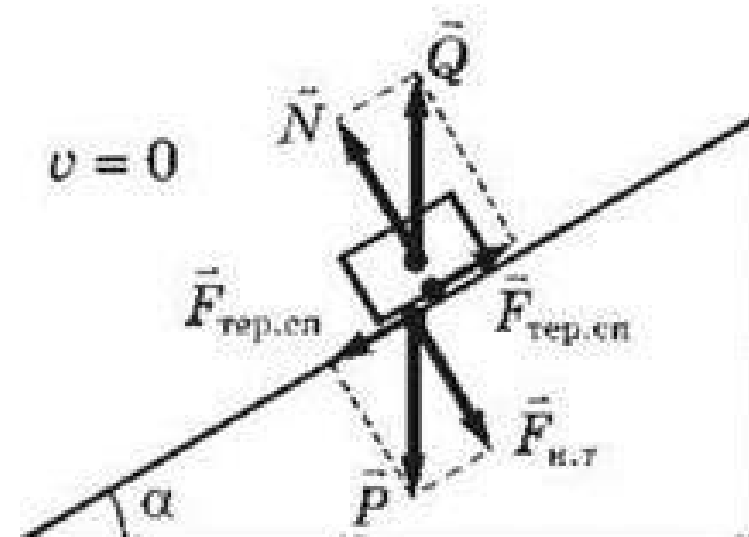


Якщо опора — похила площина, то вага тіла — рівнодійна сил пружності й тертя спокою, з якими тіло діє на опору:

$$P = -Q \quad P = -(N + F_{\text{тер. сп}})$$

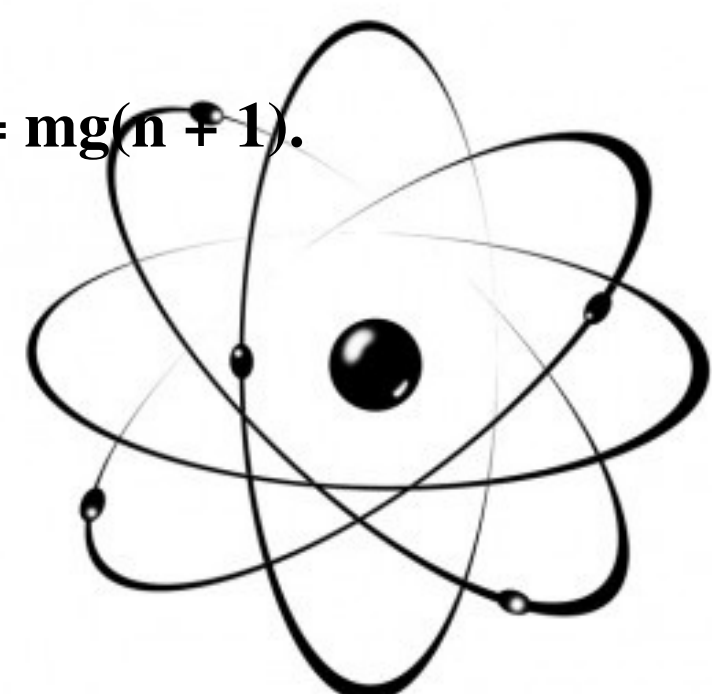
де Q — сила реакції опори; N — нормальна реакція опори; $F_{\text{н.т}}$ — сила нормального тиску.

Вага тіла, яке рухається з прискоренням, змінюється.



Якщо прискорення тіла напрямлене вертикально вгору, то його вага збільшується: $P = m(g + a)$.

Якщо $a = ng$, то виникає перевантаження у $(n+1)$ разів: $P = mg(n + 1)$.



Перевантаження показує, у скільки разів збільшується вага тіла, яке рухається з прискоренням, порівняно з вагою тіла, яке перебуває в спокої на горизонтальній опорі.

Якщо прискорення тіла напрямлене вертикально вниз, то модуль ваги тіла дорівнює: $P = m(g - a)$.

Якщо прискорення тіла дорівнює прискоренню вільного падіння, то вага тіла дорівнює нулю (стан невагомості): $a = g$, $P = 0$.

Невагомість — це такий стан тіла, при якому відсутня внутрішня напруженість, обумовлена силою тяжіння.

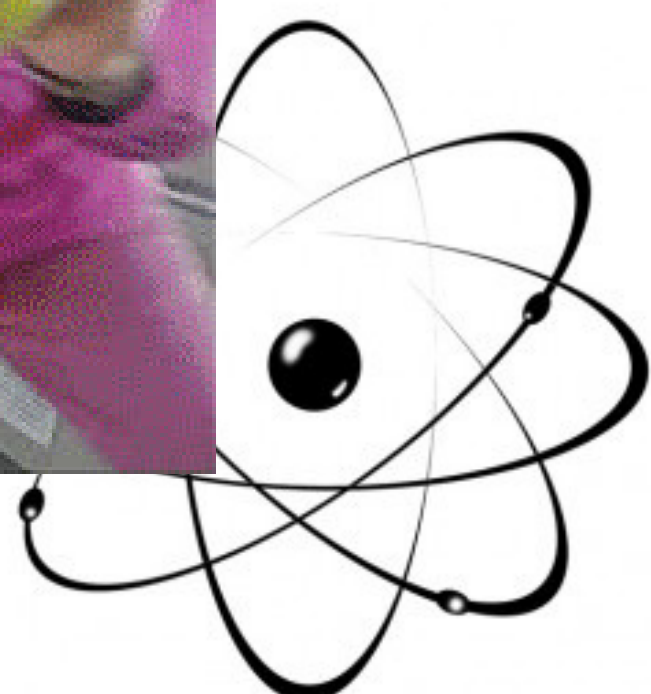
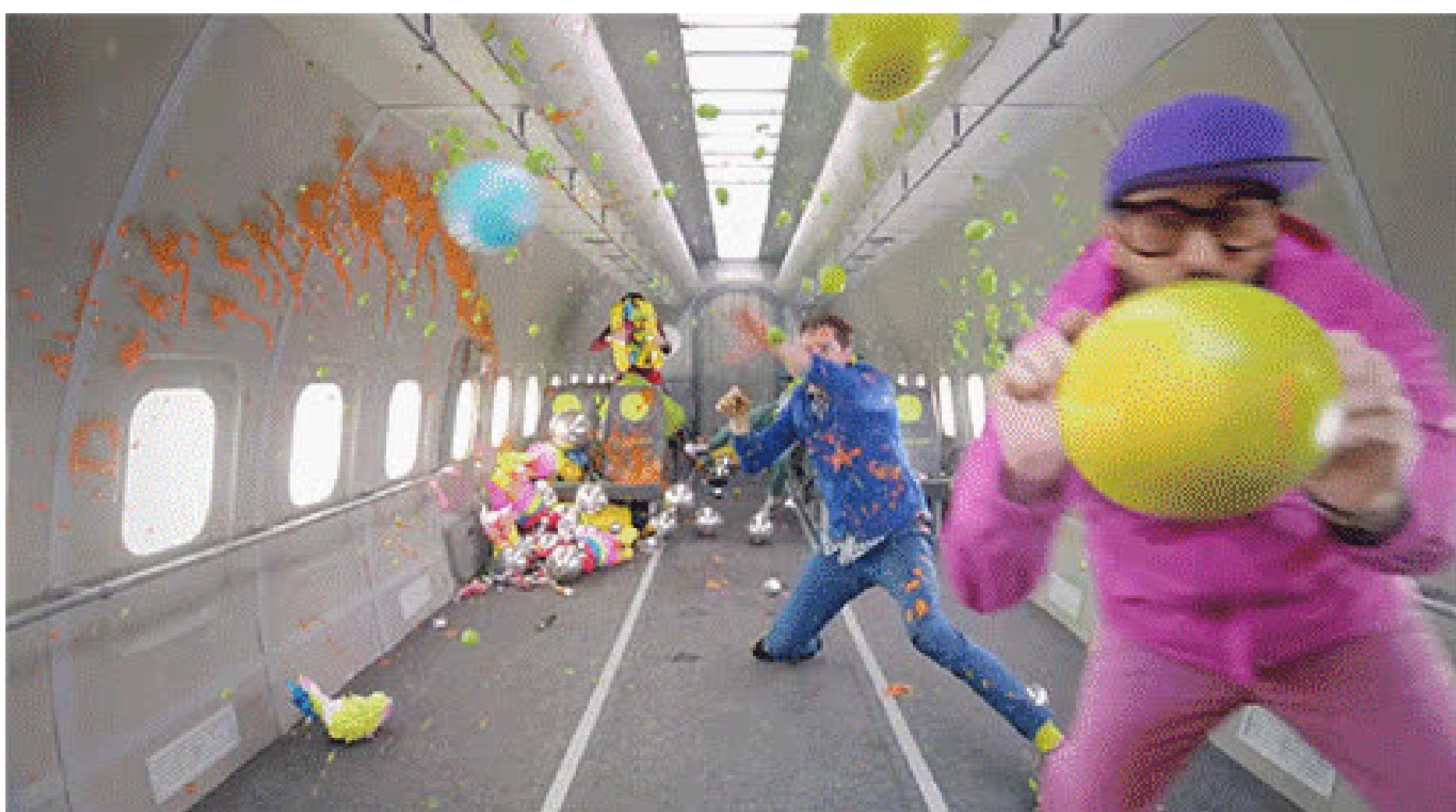
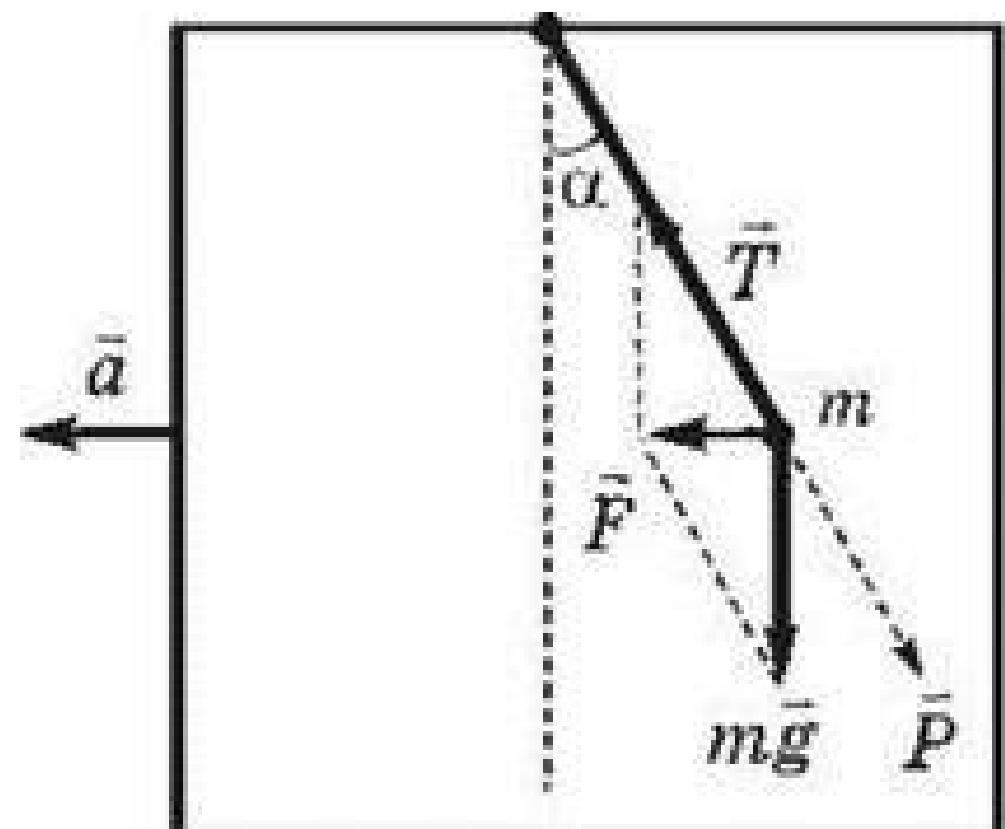
Причина невагомості полягає в тому, що сила тяжіння надає тілу і його опорі однакового прискорення. Цей висновок справедливий для всіх тіл, які рухаються тільки під дією сили тяжіння.

Якщо прискорення тіла напрямлене горизонтально, то модуль ваги визначається за формулою:

$$P = m\sqrt{g^2 + a^2}$$

Вага тіла напрямлена під кутом α до вертикалі

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{g}$$

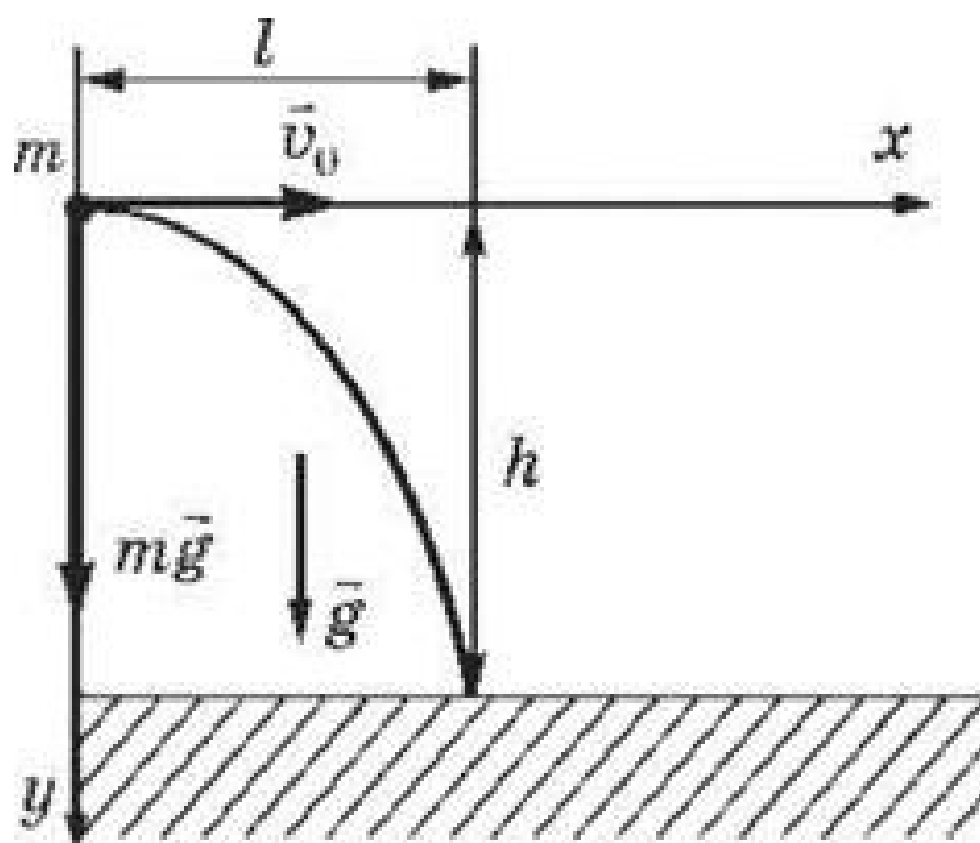


Рух тіла, кинутого горизонтально

Тіло, кинуте горизонтально, рухається по параболічній траєкторії: його рух складається із руху горизонтального зі сталою швидкістю v_0 і вільного падіння з нульовою початковою швидкістю. На рис. 37 зображено рух тіла, кинутого горизонтально.

Дальність польоту тіла: $l = v_0 t$.

Висота падіння тіла:
$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

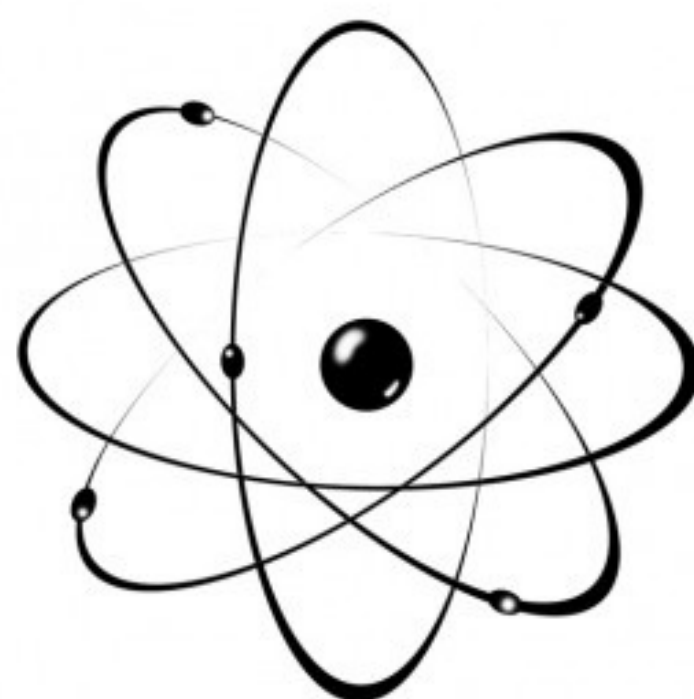
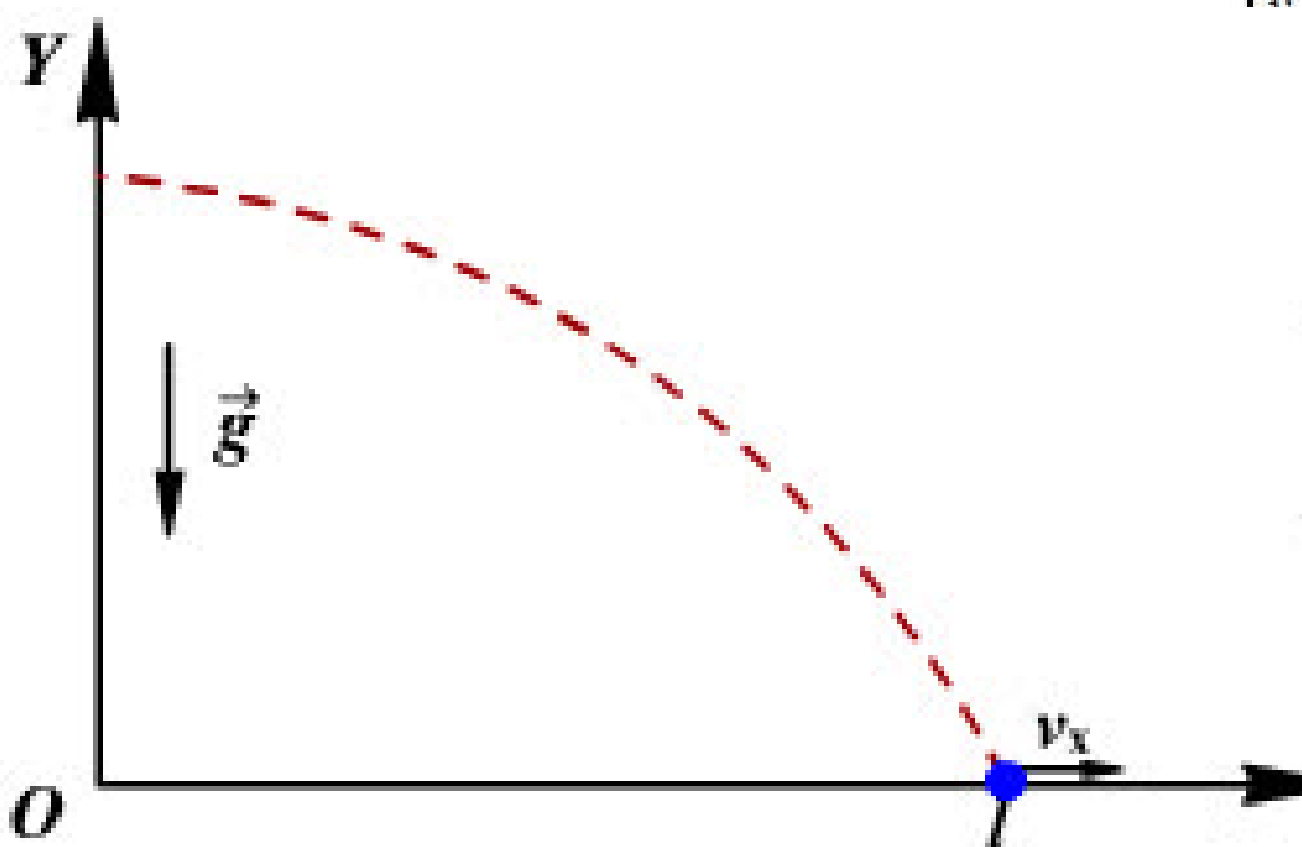
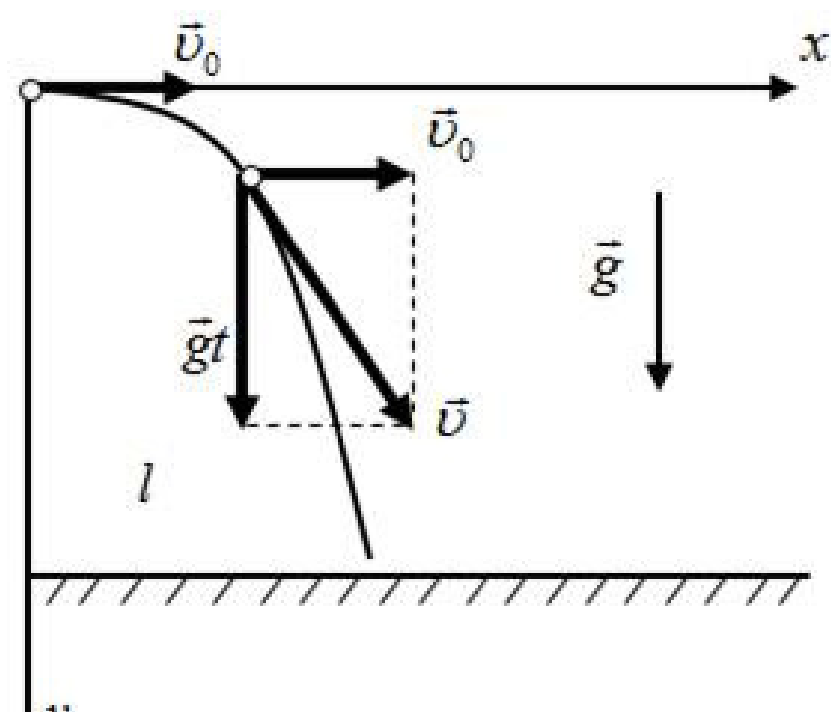


Швидкість тіла v під час руху по параболі напрямлена по дотичній у будь-якій точці траєкторії і дорівнює геометричній сумі v_0 і gt (v_0 — початкова швидкість тіла):

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t.$$

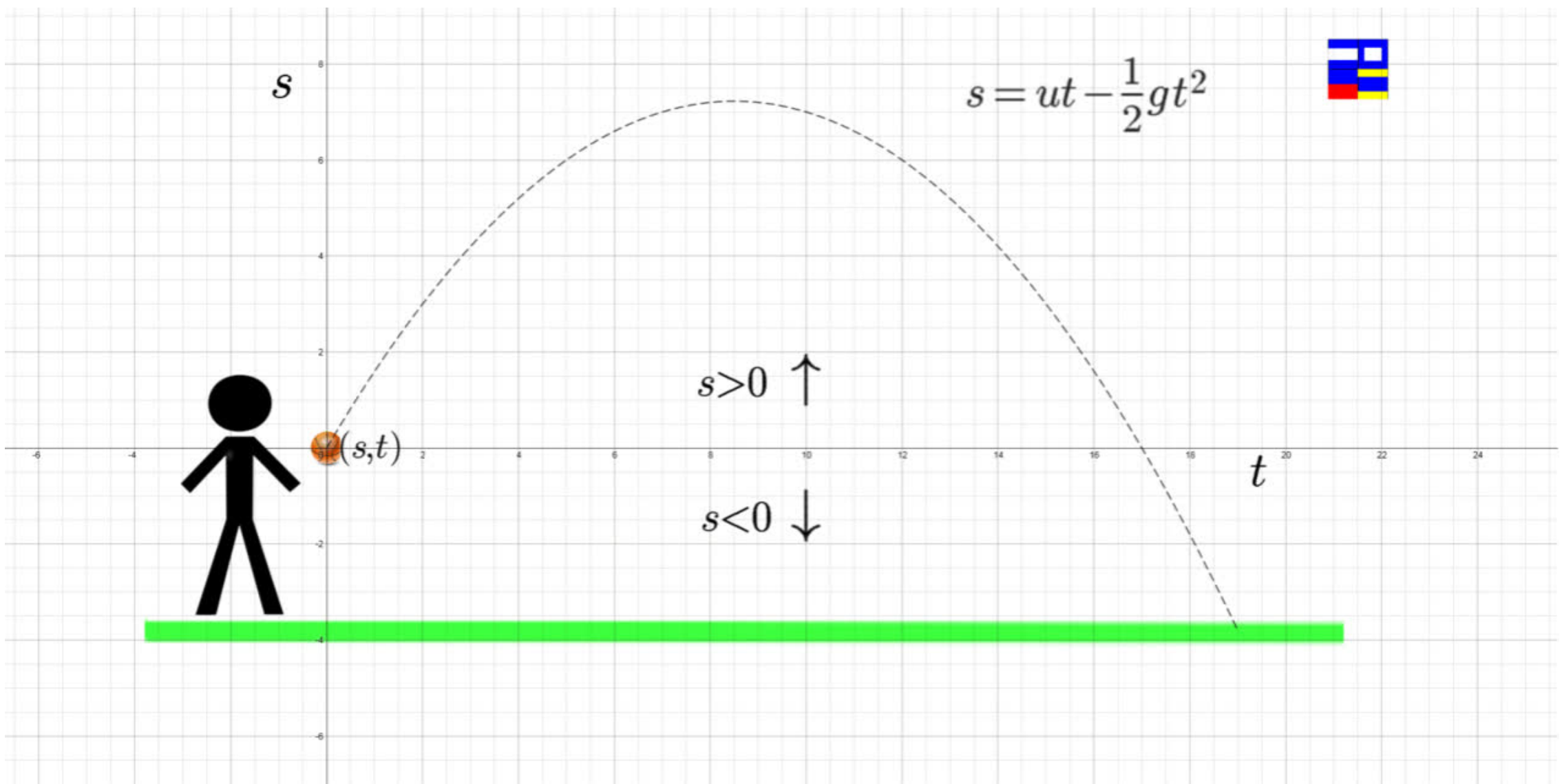
Модуль швидкості тіла, кинутого горизонтально, обчислюємо за формулою :

$$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}.$$



Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

Траєкторія руху тіла — парабола.



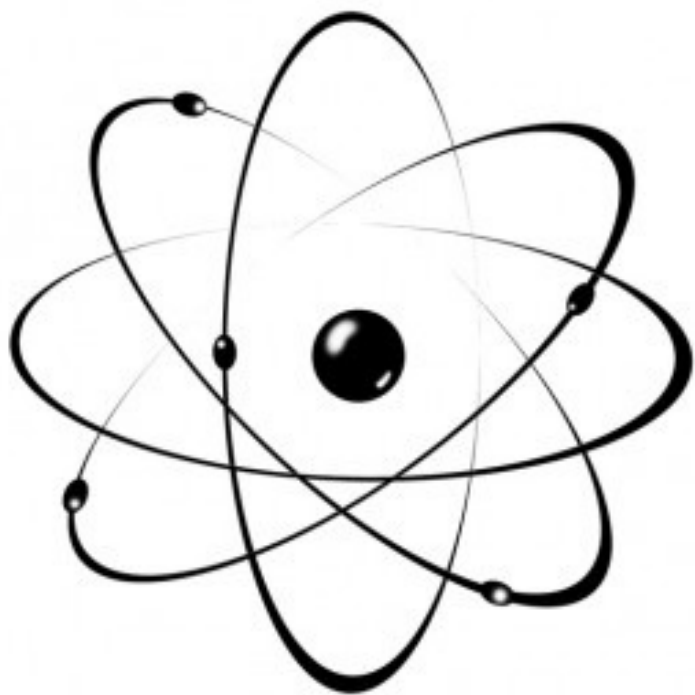
Дальність польоту тіла, кинутого під кутом α до горизонту:

$$l = \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g}$$

Максимальна висота піднімання тіла ($\pi > \alpha > 0$):

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Час руху: $t_{рух} = 2t_{під} \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g}$



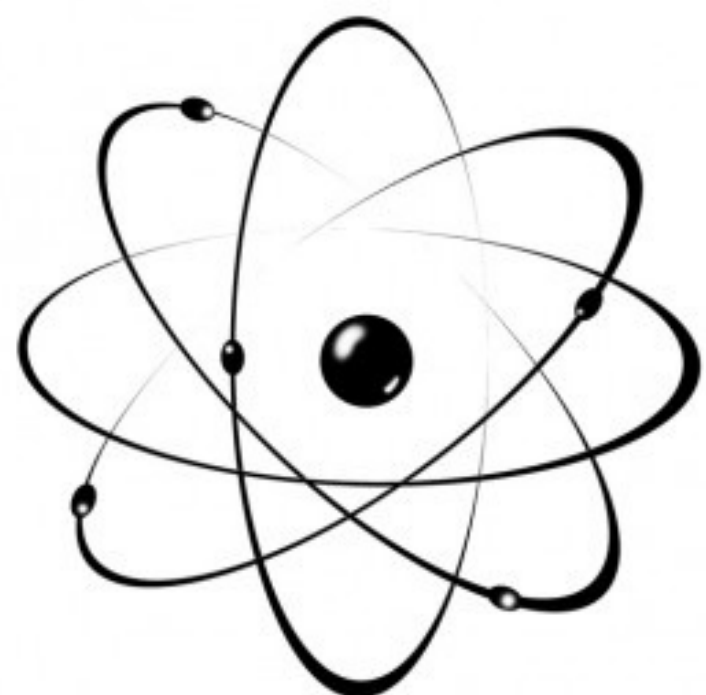
Перша космічна швидкість

Перша космічна швидкість — це та швидкість, яку необхідно надати тілу, кидаючи його із Землі, щоб воно стало штучним супутником Землі (на невеликій, порівняно з радіусом Землі, висоті).

Значення цієї швидкості обчислюється за формулою:

$$v = \sqrt{gR_3}$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ поблизу поверхні Землі;
 $R_3 = 6400 \text{ км}$ — радіус Землі.



Орбітальна швидкість

Орбітальна швидкість — це швидкість, яку повинен мати штучний супутник Землі на орбіті висотою h над поверхнею Землі.

Модуль орбітальної швидкості:

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}}$$

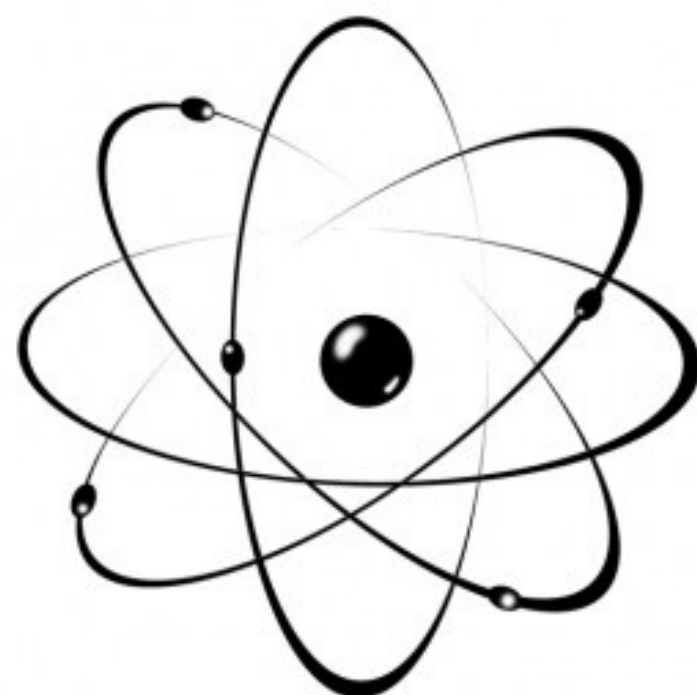
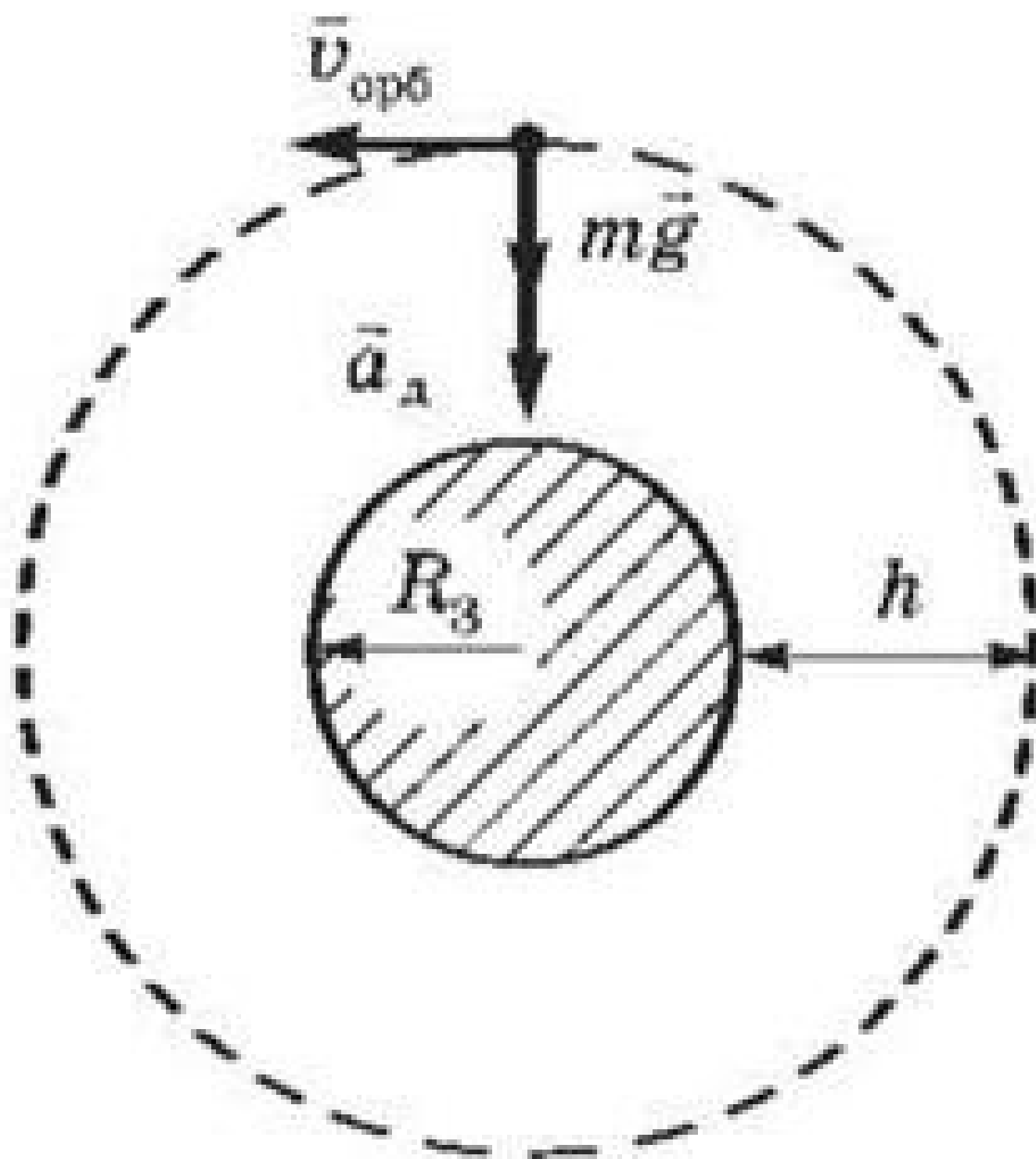
де h — висота над Землею;

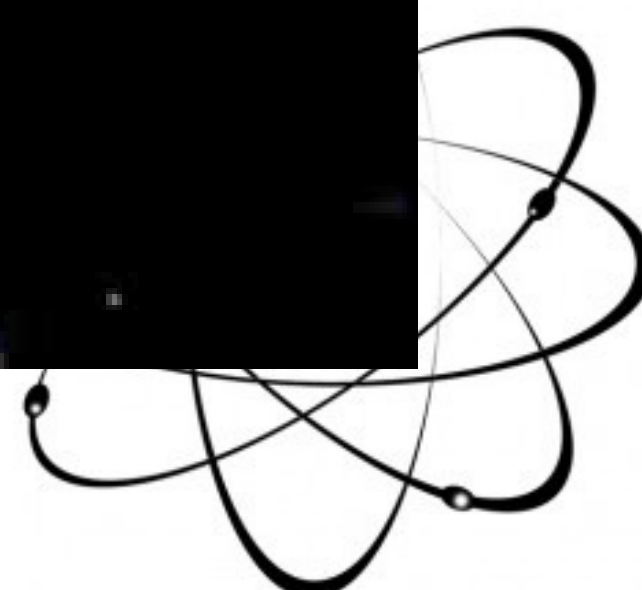
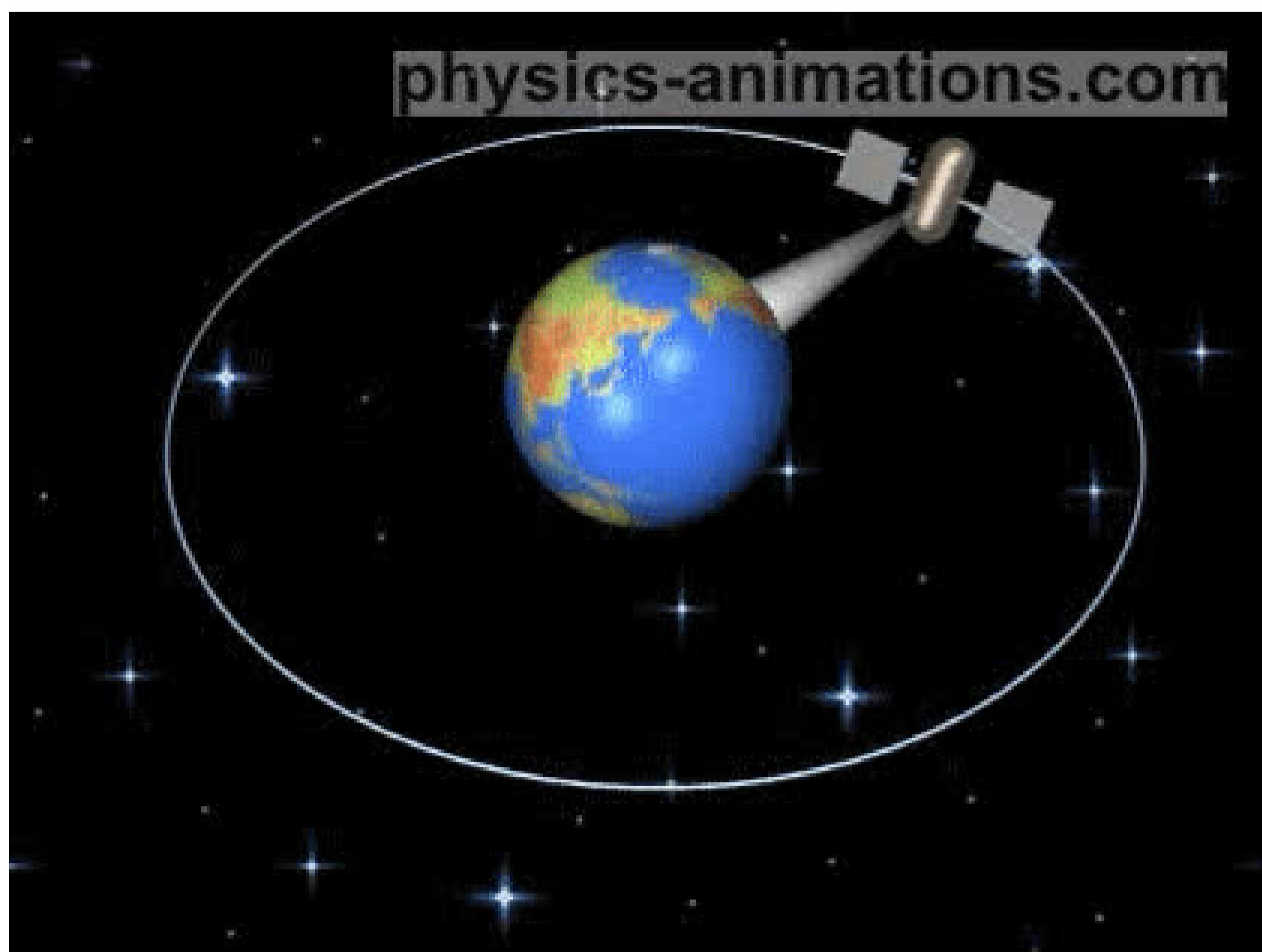
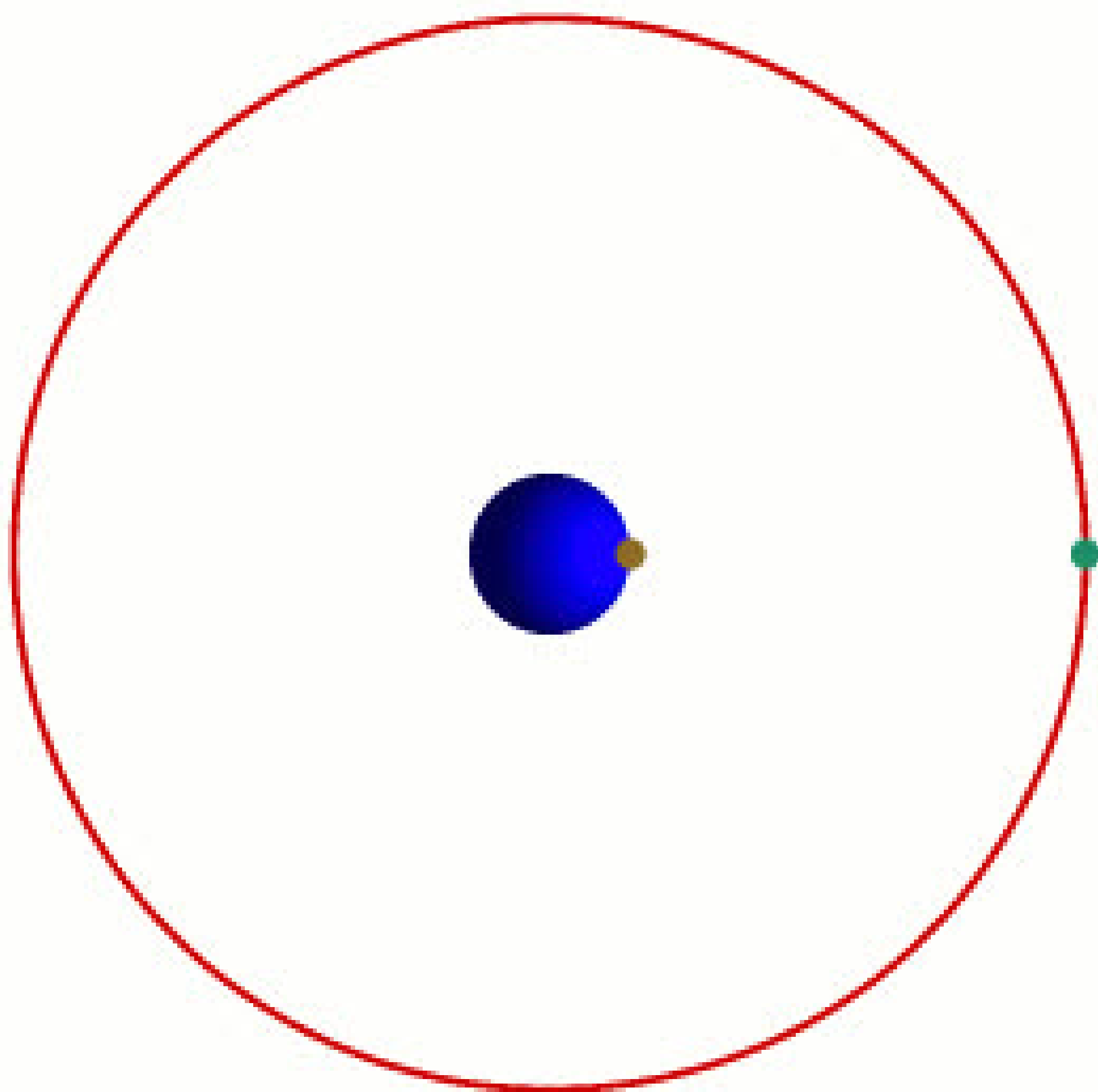
R_3 — радіус Землі;

M_3 — маса Землі;

G — гравітаційна стала.

Орбітальна швидкість напрямлена по дотичній до даної точки траєкторії, тобто перпендикулярно до радіуса орбіти.





Література

1. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018. — 272 с. : іл.
2. <https://phet.colorado.edu/uk/>
3. <https://gifer.com/ru/gifs/%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
4. https://www.youtube.com/watchv=zgXZcpiHZyY&t=132s&ab_channel=InCorCadit

