



Handwritten signature or initials in the top right corner.

Львівський фізико - математичний ліцей

Алексеичук Володимир Іванович

Конспекти з фізики
9 клас II семестр .

Закони збереження . Механічні коливання і хвилі .

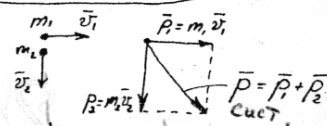
м. Львів 1998 - 2000

Імпульс тіла (кількість руху) - \vec{p} { векторна міра поступального руху тіла

Для матеріальної точки (тіла) $\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{v} - m \vec{v}_0 = \frac{\vec{p} - \vec{p}_0}{\Delta t}$
 $\vec{p} = m \vec{v}$ $p = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right]$
 $\vec{F} \cdot \Delta t$ - імпульс сили [Нс] $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ або $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$ - III-н Ньютона

Для системи тіл (тіла)

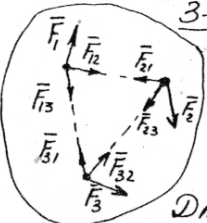
$$\vec{p}_{\text{сист.}} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \sum_{i=1}^N (m_i \cdot \vec{v}_i)$$



З-н зміни імпульсу системи тіл

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ - зовнішні сили (сили що діють на тіла системи з боку тіл, що не входять у дану систему).
 $\vec{F}_{12}, \vec{F}_{21}, \vec{F}_{13}, \vec{F}_{31}, \vec{F}_{23}, \vec{F}_{32}$ - внутрішні сили (сили взаємодії тіл даної системи між собою).

$F_{12} = F_{21}, F_{13} = F_{31}, F_{23} = F_{32}$ - за III з-ном Ньютона.
Для кожного тіла системи застосовуємо II з-н. Н.



$$\left. \begin{aligned} (\vec{F}_1 + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13}) \Delta t &= \Delta \vec{p}_1 = \vec{p}_{1k} - \vec{p}_{10} \\ (\vec{F}_2 + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23}) \Delta t &= \Delta \vec{p}_2 = \vec{p}_{2k} - \vec{p}_{20} \\ (\vec{F}_3 + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}) \Delta t &= \Delta \vec{p}_3 = \vec{p}_{3k} - \vec{p}_{30} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{32}) \cdot \Delta t &= \\ = (\vec{p}_{1k} + \vec{p}_{2k} + \vec{p}_{3k}) - (\vec{p}_{10} + \vec{p}_{20} + \vec{p}_{30}) \\ \vec{F} \cdot \Delta t = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3) \Delta t &= \vec{p}_{kz} - \vec{p}_{0z} = \Delta \vec{p} \end{aligned}$$

$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$ - зміна сумарного імпульсу системи визначається тільки дією зовнішніх сил (внутрішні сили, якії б природи вони не були, імпульс системи змінити не можуть).
У проекціях на осі: $F_x \cdot \Delta t = \Delta p_x$ $F_y \cdot \Delta t = \Delta p_y$ $F_z \cdot \Delta t = \Delta p_z$

З-н збереження імпульсу - в ІСВ для замкнутої (ізолюваної) системи тіл ($\vec{F}_{\text{зовн.}} = 0$) повний імпульс системи - величина стала, хоча між окремими ділянками системи може відбуватися перерозподіл імпульсу.

$$\Delta \vec{p} = 0 \Rightarrow \vec{p}_k = \vec{p}_0$$
$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 + \dots$$
$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 + \dots$$

У проекціях на осі:

$$p_x = \sum (m_i v_{ix}) = \text{const} \quad p_{1x} + p_{2x} + \dots = p'_{1x} + p'_{2x} + \dots$$
$$p_y = \sum (m_i v_{iy}) = \text{const} \quad m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} + \dots = m_1 v'_{1y} + m_2 v'_{2y} + \dots$$
$$p_z = \sum (m_i v_{iz}) = \text{const} \quad = m_1 v'_{1z} + m_2 v'_{2z} + \dots$$

Практично замкнутих систем (систем що не взаємодіють з оточуючими тілами) не існує.

Якщо система не замкнута - $\vec{F}_{\text{зовн.}} \neq 0$ може статись так, що для якогось напрямку ОХ $F_{\text{зовн.}x} = 0$ тоді з-н збереження імпульсу виконувється для осі ОХ: $p_x = \sum (m_i v_{ix}) = \text{const}$ (сист. замкнута по напрямку ОХ).

Систему можна вважати замкнутою (удар, постріл) коли імпульси частинок системи змінюються дуже сильно ($F_{\text{внутр}} \gg F_{\text{зовн.}}$) і швидко ($\Delta t \rightarrow 0$)

У релятивістській механіці ($v \approx c$) імпульс вільної частинки $\vec{p} = \frac{m \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Повний імпульс системи \vec{p} зручно приписати деякій точці, що має масу $M = \sum m_i$, цю точку називають центром мас або інерції.

Координати центра інерції: $X_c = \frac{\sum (m_i x_i)}{M}$ $Y_c = \frac{\sum (m_i y_i)}{M}$ $Z_c = \frac{\sum (m_i z_i)}{M}$
Тоді $\vec{p} = M \cdot \vec{v}_c$ \vec{v}_c - швидкість центра мас.

Центр інерції (мас) має сенс точки, швидкість якої рівна швидкості руху системи як цілого. При $\vec{v}_c = 0$, система, як ціле, перебуває у спокої (при цьому тіла системи можуть рухатись довільно відносно центра інерції) для замкнутої системи $\vec{v}_c = \text{const}$.

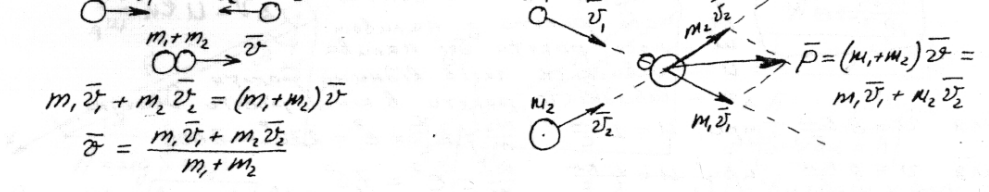
- 1. Для однорідних симетричних тіл - центр мас - центр симетрії
- 2. У тіл невеликих розмірів центр мас співпадає з центром тяжіння, у великих - не співпадають (неоднорідність гравітаційного поля Землі).

Удар - явище короткотривалої взаємодії тіл при безпосередньому зіткненні (при цьому, внаслідок деформації, виникають значні ударні сили).

Удар < пружний (зберігається механічна енергія і імпульс)
< непружний (механічна енергія перетворюється у внутрішню, зберігається імпульс).

Абсолютно neprужний удар - після стикання, тіла рухаються як єдине ціле

Прямий, центральний (можливе обертання навколо спільного С.)



рекомендації! при розв'язуванні задач роботи з малюнки: до і після взаємодії.

3.3.1-закон збереження імпульсу \Rightarrow Центр мас ізолюваної (замкнутої) системи зберігає свою швидкість сталою ($\vec{v}_c = \text{const}$), або перебуває у спокої ($\vec{v}_c = 0$)

!! Якщо система замкнута для певного напрямку ОХ ($\sum F_{\text{зовн.}x} = 0$), тоді швидкість центра мас, для даного напрямку ОХ, зберігається ($v_{cx} = \text{const}$), або центр мас залишається нерухомим ($v_{cx} = 0$).

- Центр мас:
- 1) точка якій приписують масу системи
 - 2) імпульс ц.м. = імпульсу системи.
 - 3) швидкість ц.м. - швидкість системи, як єдиного цілого.

К-21 Реактивний рух - рух, який виникає внаслідок відокремлення від тіла деякої його частини з певною швидкістю.

гармата - снаряд, повітряна куляка

① В ракеті паливо згорає миттєво - газ з великою швидкістю назовні → ракета в протилежну сторону (\vec{v}_p)
 Застосуємо з-н збереження імпульса ОХ: $0 = m_p \vec{v}_p + m_2 \vec{u}_2$
 $m_p \vec{v}_p = m_2 \vec{u}_2$ $\vec{v}_p = u_2 \frac{m_2}{m_p}$ для збільшення $\vec{v}_p \rightarrow u_2 \uparrow, m_2 \uparrow, m_p \downarrow$
 Але не миттєво!! \vec{v}_p - мінше

② Ракета достатньо далеко від Землі ($F_{Зовн} = 0$)

$t=0$ $m + \Delta m$ - маса ракети з паливом \vec{v} - початкова швидкість ракети
 Δm - маса викинутого палива \vec{u} - швидкість газів відносно ракети
 $(\vec{u} + \Delta \vec{v})$ - швидкість газів відносно Землі
 з-н збер. імпульсу: $m(\vec{v} + \Delta \vec{v}) + \Delta m(\vec{u} + \vec{v}) = (m + \Delta m)\vec{v}$
 $m\Delta \vec{v} + m\Delta \vec{u} + \Delta m\vec{v} + \Delta m\vec{u} = \Delta m\vec{v}$
 $m\Delta \vec{v} = -\Delta m\vec{u} \rightarrow m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = -\frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u} \rightarrow m\vec{a} = -\frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u}$

$\vec{F}_p = -\frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u}$ - реактивна сила тяги діє з боку газів на ракету і направлена протилежно витіканню газів
 $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta t}$ - секундна витрата палива

③ Якщо врахувати зовнішні сили на ракету
 $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}_{Зовн} + \vec{F}_p$
 $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}_{Зовн} - \frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{u}$ - р-ня Мещерського - основне р-ня динаміки матеріальної точки з змінною масою

при $F_{Зовн} = 0$ розв'язком р-ня Мещерського буде:

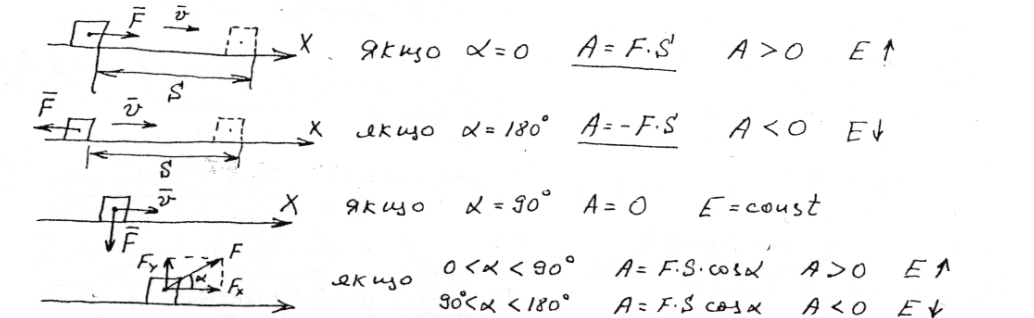
$\frac{m_0}{m} = e^{\frac{\Delta v}{u}}$ - формула Ціолковського.
 m_0 - маса ракети з паливом
 m - маса ракети без палива
 u - швидкість газів відносно ракети
 Δv - швидкість ракети в кінці роботи двигуна.
 Для $v = 8 \frac{км}{сек}$ при $u = 1 \frac{км}{сек}$ $\frac{m_0}{m} = e^8 = e^8 \approx 2,72^8 \approx 3000$
 Для $v = 8 \frac{км}{сек}$ при $u = 4 \frac{км}{сек}$ $\frac{m_0}{m} = e^2 \approx 7,5$

Ціолковський К.Е. - засновник теорії космічних польотів

① ф-ла Ціолковського ② 1903р монографія „Дослідження світових просторів реактивними приладами“ ③ розробив проблему створення орбітальних станцій ④ запропонував використовувати атмосферу Землі для гальмування космічних апаратів ⑤ 1926р. Розробив теорію багатоступеневих ракет, і показав можливість досягнення першої космічної швидкості
 Кібальчиг, Цандер, Королєв С.П., Гаттарін Ю.О. ...
 Успіхи світової космонавтики ...
 реактивні двигуни ...

К-21 А-робота - скалярна величина, що характеризує дію сили \vec{F} на переміщенні \vec{s}

$A = (\vec{F} \cdot \vec{s}) = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ $A > 0 \rightarrow E$ -енергія тіла \uparrow
 $A < 0 \rightarrow E$ -енергія тіла \downarrow
 робота процес фізична величина (F, s)



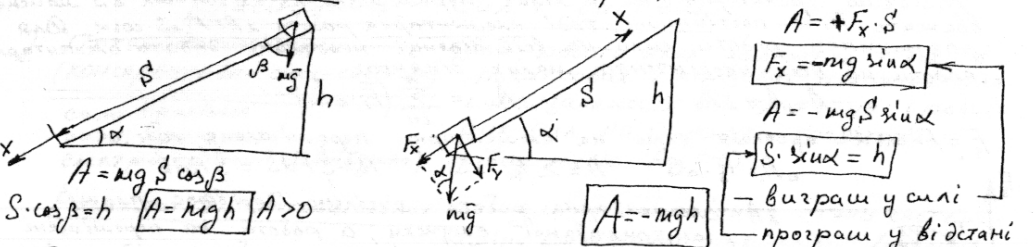
Робота сили тяжіння (в однорідному полі)

① Вільне падіння
 $A = F \cdot s$
 $F = mg$
 $s = h_2 - h_1 = h$
 $A = mgh$
 $m\vec{g}$ виконує $A > 0$

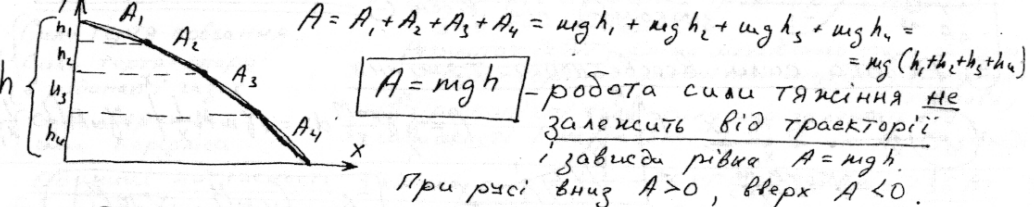
② Рівномірний рух тіла вверх
 $A = F \cdot s$
 $F = mg$
 $A = mgh$
 F виконує $A > 0$

$A = mg \cdot h \cdot \cos 180^\circ$
 $\cos 180^\circ = -1$
 $A = -mgh$
 $m\vec{g}$ виконує $A < 0$

③ Ковзання по похилій площині під дією $m\vec{g}$



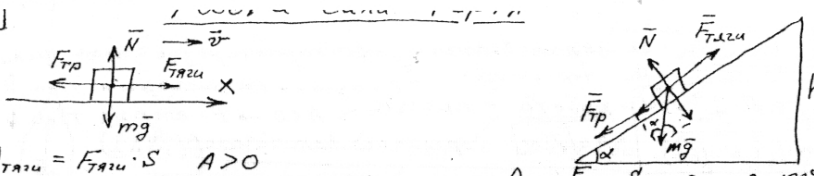
④ Рівномірний рух вверх по похилій площині ($F_{Тр} = 0$)



⑤ Рух по довільній кривій під дією $m\vec{g}$ (множина похилих площин)

$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = mgh_1 + mgh_2 + mgh_3 + mgh_4 = mgh$
 $A = mgh$ - робота сили тяжіння не залежить від траєкторії і завжди рівна $A = mgh$
 При русі вниз $A > 0$, вверх $A < 0$.

Робота сили тяжіння по замкненому контуру рівна 0
 $A_0 = 0$ - (потенціальна сила)



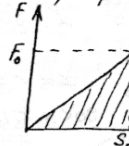
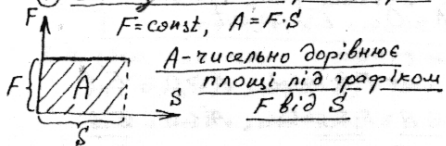
$A_{тяж} = F_{тяж} \cdot S \quad A > 0$
 $A_{тр} = F_{тр} \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (\alpha = 180 \text{ рад} = -1)$
 $F_{тр} = \mu mg$

$A_{тр} = -\mu mg S \quad A < 0$

$A_{тр} = F_{тр} \cdot S \cdot \cos \beta \quad \beta = 180^\circ$
 $F_{тр} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$
 $A_{тр} = -\mu mg S \cos \alpha \quad A < 0$ конвеєр $A > 0$

Робота змінної сили

1 Сила змінюється рівномірно - роботу розрахувати по графіку \Rightarrow через середню силу !!



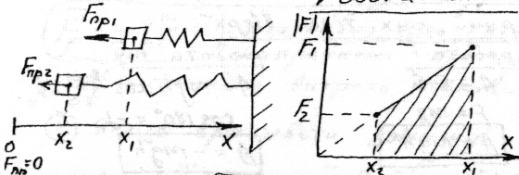
1 $A = \text{площа під графіком}$

$A = \frac{F_0 \cdot s_0}{2}$

2 $A = F_{ср} \cdot s_0$

$A = \frac{F_0 \cdot s_0}{2}$

Робота сили пружності



$A_{пр} = \text{площа трапеції}$
 $A = \frac{F_1 + F_2}{2} (x_1 - x_2) = \frac{kx_1 + kx_2}{2} (x_1 - x_2)$
 $= \frac{k}{2} (x_1 + x_2) (x_1 - x_2) = \frac{k}{2} (x_1^2 - x_2^2)$

$A = \frac{k(x_1^2 - x_2^2)}{2}$ робота сили пружності (пружини)

якщо $x_2 = 0$ $A = \frac{kx_1^2}{2}$ - пружина повністю розпрямилась.

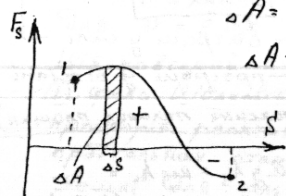
2 Сила змінюється довільно, траєкторія довільна

Роздіємо траєкторію на N малих переміщень $\Delta \vec{s}$. В межах $\Delta \vec{s}$ можна вважати F_i k - постійними, тоді елементарна робота $\Delta A = F_i \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha$. Для розрахунку роботи сили на всій ділянці необхідно додати елементарні роботи на всіх нескінченно малих ділянках

$A = \sum_{i=1}^N \Delta A_i = \sum_{i=1}^N (F_i \cdot \Delta s_i)$

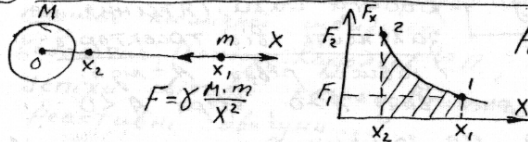
$F_s = F \cdot \cos \alpha$ - проекція сили на елементарне переміщення, тоді:

$\Delta A = F_s \cdot \Delta s \quad A = \sum F_{si} \cdot \Delta s_i \quad A = \int F_s ds = \int F \cos \alpha ds$



ΔA - елементарна робота - числово дорівнює площі заштрихованої смужки, а робота на переміщенні від т.1 до т.2 - площі фігури, обмеженої кривою і віссю s . Площа фігури над віссю береться з знаком $(+)$, під віссю $(-)$

3 Робота сили всесвітнього тяжіння



$A_{12} = \int_{x_1}^{x_2} \gamma \frac{mM}{x^2} dx = +\gamma mM \frac{1}{x} \Big|_{x_1}^{x_2} = +\gamma mM \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right)$

$A = +\left(\gamma \frac{mM}{x_2} - \gamma \frac{mM}{x_1} \right)$

робота сили всесвітнього тяжіння

Потужність N
 $N = \frac{A}{t}$
 $N \in [Вт = \frac{Дж}{с}]$
 $N = F \cdot v$
 літак, ракета $N = F_{тяж}$
 $F_{тяж} = F_{опору} = \beta v^2$
 $N = \beta v^3$

N-потужність - характеризує інтенсивність з якою виконується робота

$N = \frac{\Delta A}{\Delta t}$ потужність - це робота, що виконується силою за одиницю часу
 $N = [Вт = \frac{Дж}{с}]$

$N_{ср} = \frac{A}{t} = F \cdot v_{ср}$ середня потужність
 $N = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha}{\Delta t} = F \cdot v \cdot \cos \alpha = (F \cdot v)$ миттєва потужність

якщо $F = \text{const}$ $F \parallel v$
 $v = \text{const}$ $N = \text{const}$ $N = F \cdot v$ миттєва потужність = середній потужності

1 Літак, ракета

$N = F_{тяж} \cdot v$ $F_{тяж} = F_{опору} = \beta v^2$ $N = \beta v^3$ для збільшення v в 2 рази N - треба збільшити в 8 разів

2 Автомобіль ($N = \text{const}$)

$F = \frac{N}{v}$ рухає з місця рух вгору рух горизонтальний рух з гори
 1 або 2 швидкості передачі автомобіля
 3 або 4 швидкості передачі

Робота постійного момента сил (сили що спричиняє обертання)

$A = M \cdot \varphi = F \cdot R \cdot \varphi = F \cdot l$ $l = R \cdot \varphi$ - довжина дуги

Потужність при рівномірному обертальному русі

$N = M \cdot \omega = \frac{M \cdot \varphi}{t}$

Класифікація сил і систем

I Потенціальні сили - сили, робота яких залежить тільки від (консервативні сил-система) початкових і кінцевих положень тіла і не залежить від траєкторії (робота цих сил по замкнутій траєкторії - рівна нулю $A_0 = 0$)
 сили тяжіння
 сили пружності
 електростатичні сили (кулона)

Результат дії потенціальних сил - зміна механічного стану системи - зміна конфігурації, швидкостей, імпульсів

II непотенціальні сили (неконсервативні сили) дисипативні сили - сили робота яких залежить від форми траєкторії ($A_0 \neq 0$) і завжди від'ємна

1 Сили тертя ковзання. Сили тертя опоры (в рідинах і газах) Сила Лоренца Сила Коріоліса
 Результат їх дії - зміна механічного стану системи і перетворення механічної енергії у внутрішню (теплову).
 2 Гіроскопічні сили - сили що залежать від швидкості і направлені \perp до v , їх $A = 0$ - завжди

Одиниці потужності: 1 кіньська сила = 1к.с. = 75 кг $\cdot \frac{1}{с} = 75 \cdot 9.8 \frac{Н \cdot м}{с} = 736 \text{ Вт}$

1кГ або кгс - кілограм сили
 $1 \text{ кГ} = 9.8 \text{ Н} = 1 \text{ кгс}$
 $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$ $1 \text{ мВт} = 10^6 \text{ Вт}$ $1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$
 $1 \text{ мВт} = 10^3 \text{ Вт}$ $1 \text{ мкВт} = 10^6 \text{ Вт}$

Одиниці роботи 1 ерг = 1 дин. см = $10^{-5} \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м} = 10^{-7} \text{ Дж}$

1 кал = 4,18 Дж

1 Вт.год = 3600 Дж 1 кВт.год = $3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МВт}$ 1 МВт.год = $3,6 \cdot 10^9 \text{ Дж}$

Енергія - скалярна фізична величина характеристика стану системи (тіла)

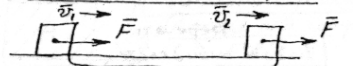
Енергія характеризує здатність тіла виконати роботу
Запас енергії визначається максимальною роботою яку може виконати тіло, міняючи свій стан

Тіла володіють енергією:

1. внаслідок руху - кінетична енергія
2. внаслідок взаємодії з іншими тілами - потенціальна енергія
3. внаслідок хаотичного руху і взаємодії своїх молекул - теплова або внутрішня енергія

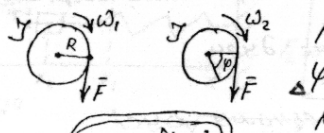
К - кінетична енергія - енергія руху

① Поступальний рух - тіло розганяється силою $F = const$

 $A = F \cdot s = F \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{F}{a} \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$

$K = \frac{mv^2}{2}$ - кінетична енергія тіла
 $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = K_2 - K_1 = \Delta K$

② Обертальний рух - тіло обертається під дією моменту сил $M = const$

 $A = M \cdot \varphi = M \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\beta} = \frac{M}{\beta} \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} = J \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2} = \frac{J\omega_2^2}{2} - \frac{J\omega_1^2}{2}$
 $\Delta \varphi = \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2\beta}$
 $M = \beta \cdot J$
 $A = \frac{J\omega_2^2}{2} - \frac{J\omega_1^2}{2} = K_{об.2} - K_{об.1} = \Delta K_{об}$

$K_{об} = \frac{J\omega^2}{2}$ - кінетична енергія обертального руху тіла.

Повна кінетична енергія тіла -

$K = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$ - кінетична енергія поступального і обертального руху тіла.

Теорема про кінетичну енергію !!!

$A = \Delta K = K_2 - K_1$ - Робота A всіх сил прикладених до тіла дорівнює зміні ΔK кінетичної енергії тіла.

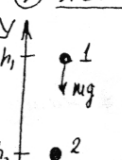
якщо $A > 0$ $\Delta K > 0$ $K \uparrow$ - незалежно від виду сил
 $A = \Delta K$ $A < 0$ $\Delta K < 0$ $K \downarrow$ - справедлива для змінних сил.

Робота - міра зміни енергії

K-25

П - потенціальна енергія - енергія взаємодії -

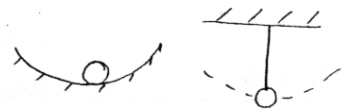
визначається конфігурацією системи, тобто взаємним розташуванням тіл і їх положенням в силовому полі тільки потенціальних сил.

① Потенціальна енергія тіла в однорідному полі тяжіння Землі (біля поверхні)
 $A = F \cdot s$ $F = mg$ $\Pi = mgh$ - потенціальна енергія тіла піднятого над Землею
 $A = mg(h_1 - h_2)$
 $A = -(mgh_2 - mgh_1)$ $A = -(\Pi_2 - \Pi_1)$ - робота сил тяжіння рівна зміні потенціальної енергії тіла взятої з протилежним знаком.

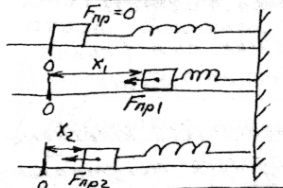
Нуль відліку потенціальної енергії вибирають довільно, виходячи з міркувань спрощення розв'язку задачі

$\Pi = mgh$ - це енергія взаємодії з Землею
 робота сили тяжіння при опусканні тіла на нульовий рівень

В стані стійкої рівноваги потенціальна енергія - мінімальна



② Потенціальна енергія пружно деформованого тіла (пружина)

 $A = \frac{F_{пр1} + F_{пр2}}{2} \cdot \Delta x = \frac{kx_1 + kx_2}{2} (x_1 - x_2) = \frac{k}{2} (x_1^2 - x_2^2)$
 $A = -(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2})$ $\Pi = \frac{kx^2}{2}$ - потенціальна енергія стиснутої пружини

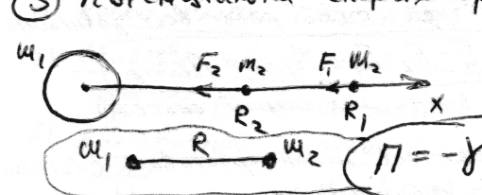
$A = -(\Pi_2 - \Pi_1)$ - Робота сили пружності рівна зміні потенціальної енергії пружини взятої з протилежним знаком.

$\Pi = \frac{kx^2}{2}$ - це енергія взаємодії частинок тіла
 робота сили пружності при переході у стан, коли деформація рівна нулю.

Теорема про потенціальну енергію

$A = -\Delta \Pi = -(\Pi_2 - \Pi_1)$ - Робота A потенціальних сил рівна зміні $\Delta \Pi$ потенціальної енергії системи, при переході з початкового стану ① в кінцевий ②, взятої з протилежним знаком.

③ Потенціальна енергія гравітаційної взаємодії

 $A_{гп} = -(\left(-\gamma \frac{m_1 m_2}{R_2}\right) - \left(-\gamma \frac{m_1 m_2}{R_1}\right))$
 $\Pi = -\gamma \frac{m_1 m_2}{R}$ - потенціальна енергія гравітаційної взаємодії двох точкових тіл.

К-26 | І теорема про кінетичну енергію

$$\Delta K = A_{зовн.} + A_{внутр.} = A_{зовн.} + A_{внутр.}^{п'внеч.} + A_{внутр.}^{дисип.}$$

II Теорема про потенціальну енергію - $\Delta \Pi = -A_{внутр.}^{потенц.}$

Повна механічна енергія системи - $E = K + \Pi$

залежить від швидкостей тіл, характеру взаємодії між ними і від конфігурації системи (мас, пружин, кулі)

з теорем I і II $\Delta K + \Delta \Pi = A_{зовн.} + A_{внутр.}^{дис.} \rightarrow \Delta E = A_{зовн.} + A_{внутр.}^{дис.}$

Закон збереження механічної енергії - в УСВ, для ізольованих консервативних систем, повна механічна енергія системи - зберігається $E = K + \Pi = const \rightarrow K_1 + \Pi_1 = K_2 + \Pi_2$

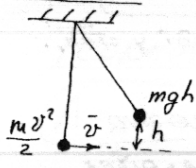
Консервативна система - діють тільки потенціальні сили, відсутні дисипативні сили.

Ізольована система - сонячна система (велика точність)

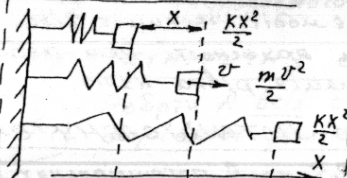
в земних умовах, завдяки наявності дисипативних сил (сила тертя, опору), консервативні системи реалізуються лише зрубо наближено

$\Delta K = -\Delta \Pi$ - При взаємодії тіл, на скільки збільшується кінетична енергія системи, на скільки зменшується потенціальна і навпаки, говорять про перетворення кінетичної енергії в потенціальну і навпаки $K \rightarrow \Pi \rightarrow K$

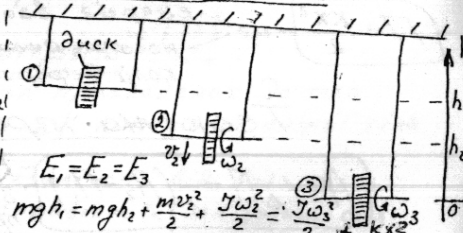
1 Математичний маятник



2 Пружинний маятник



3 Маятник Максвелла



Закон зміни механічної енергії - в УСВ зміна механічної енергії системи дорівнює алгебраїчній сумі робіт всіх зовнішніх і внутрішніх дисипативних сил.

або $\frac{\Delta E}{\Delta t} = N_{зовн.} + N_{внутр.}^{дис.}$ - швидкість зміни мех. енергії системи. $\Delta E = E_2 - E_1 = A_{зовн.} + A_{внутр.}^{дис.}$

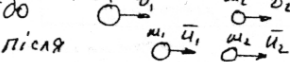
Повна механічна енергія замкнутої неконсервативної системи зменшується $\Delta E = E_2 - E_1 = A_{внутр.}^{дис.} < 0$ - це не суперечить загальному закону збереження енергії, при зменшенні механічної енергії системи виникає еквівалентна кількість енергії інших видів (внутрішня, електрична, випромінювання).

К-27 | Закон збереження енергії

Енергія в природі ніколи не зникає і не виникає з нічого. Вона лише перетворюється з одного виду в інший або переходить від одного тіла до другого

Удар - 1 СВ-інерціальна 2. сист. тіл- потенціальна 3. потенц. енергією взаємодії- нехтуємо.

I Абсолютно пружний



потенціальні сили, пружні тіла, закони збереження енергії і імпульсу

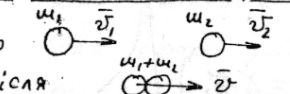
$$\left. \begin{aligned} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 &= m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 \\ m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 &= m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} u_1 &= \dots \\ u_2 &= \dots \end{aligned}$$

- 1 якщо $m_1 = m_2, \vec{v}_2 = 0$ $\vec{v}_1 = \vec{u}_1 + \vec{u}_2$ вектори швидкостей утворюють трикутник - удар косий
- 2 якщо $m_1 = m_2, \vec{v}_2 = 0 \rightarrow \vec{u}_1 = 0, \vec{u}_2 = \vec{v}_1$ обмін швидкостями
- 3 якщо $m_1 = m_2$ пружний $\vec{u}_1 = \vec{v}_2, \vec{u}_2 = \vec{v}_1$ обмін швидкостями

4 в ядерних реакторах - отримують швидкі нейтрони ($m_n = m_H$) з швидкостями $v \sim 10^7$ м/с, їх необхідно сповільнити до $u = 3 \cdot 10^3$ м/с. Для цього їх заставляють рухатися в середовищі, що містить атоми важкого водню H^2 (дейтерій) - у важкій воді

5 якщо $m_1 \ll m_2, \vec{v}_2 = 0, \vec{u}_1 = -\vec{v}_1, \vec{u}_2 = 0$ (стискання з стінкою)

II Абсолютно непружний



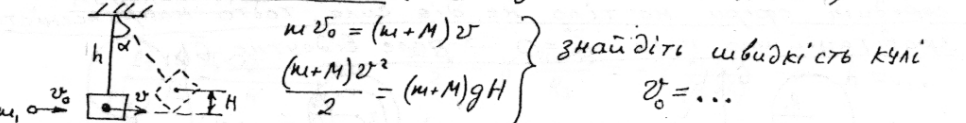
непотенціальні сили, тіла злипаються, $E \neq const$, закон збереж. імпульсу

$\Delta Q = E_2 - E_1 = -\Delta E$ - механічна енергія перетворюється у внутрішню (приріст внутрішньої енергії = зменшенню механічної (кінетичної))

$$\Delta Q = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} = \frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 - (m_1 + m_2) \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)^2}{(m_1 + m_2)^2}) = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{m_1 + m_2} > 0$$

- 1 $\Delta Q > 0$ - тіла нагріваються
- 2 якщо $m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2 \rightarrow \Delta Q = E_1$ вся механічна енергія перетворюється у внутрішню.
- 3 якщо $\vec{v}_2 = 0 \rightarrow \frac{\Delta Q}{E} = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$

- а). ковка, клепка, штампівка $\frac{\Delta Q}{E} \approx 1$ маса деталі з наковаленю $m_2, m_2 \gg m_1, m_1$ - маса молота.
- б). бдівання цвяхів, свай (мінімальні втрати кінетичної енергії)
- в). Балістичний маятник (лицук з глиною або піском)



III Непружний удар ($\Delta E \leq 0$) $Q > 0$ екзоенергетичні $Q < 0$ ендоенергетичні (максимум деформація). шкоровіт (частини виповні) і до нь збудження атомів.