

Основні поняття розділу «Закони збереження»

Імпульсом тіла називають добуток маси тіла на його швидкість:

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

За одиницю імпульсу приймається імпульс тіла масою 1 кг, яке рухається зі швидкістю 1 м/с:

$$[p] = 1 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Імпульсом сили називають добуток сили на час її дії:

$$\vec{F}\Delta t.$$

Другий закон Ньютона в імпульсній формі.

Імпульс сили, що діє на тіло, дорівнює зміні імпульсу тіла:

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0.$$

Геометрична сума імпульсів тіл, які складають замкнену систему, є величиною сталою:

$$m_1\vec{v}_1 + \dots + m_n\vec{v}_n = \text{const}.$$

Закон можна застосувати і для системи тіл, на які дія зовнішніх сил скомпенсована.

Реактивним рухом називається рух, що виникає у результаті взаємного відштовхування витікаючого струменя рідини чи газу і корпусу ракети.

Рівняння руху тіла із змінною масою:

$$m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F} - \vec{u} \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Реактивна сила тяги:

$$\vec{F}_p = -\vec{u} \frac{\Delta m}{\Delta t},$$

—

де $\vec{u}$ — швидкість витікання газів відносно ракети.

Енергія — це єдина міра різних форм руху матерії.

Енергія — одна з характерних властивостей матерії. На практиці механічний рух частково чи повністю перетворюється в інші форми — тепловий, електромагнітний рух.

Енергія характеризує рух системи, а також взаємодію тіл чи частинок у системі з урахуванням можливості переходу з однієї форми руху в іншу.

Енергія — функція стану системи, а робота — функція процесу переходу системи з одного стану в інший.

Закон збереження енергії: енергія не виникає і не зникає, вона тільки перетворюється із одного виду в інший і передається від одного тіла до іншого в рівних кількостях.

Види енергії:

1. Механічна енергія тіла (потенціальна і кінетична).
2. Внутрішня.
3. Електромагнітна (електрична + магнітна).
4. Хімічна.
5. Світлова.
6. Ядерна, або атомна.

Кінетична і потенціальна енергія становлять механічну енергію. Вона характеризує механічний рух.

Кінетична енергія — це енергія рухомого тіла.

Кінетична енергія в класичній механіці:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Оскільки швидкість тіла є величиною відносною, тобто залежить від вибору системи відліку, то й кінетична енергія відносна. Кінетична енергія завжди додатна.

Потенціальна енергія — це енергія, обумовлена взаємодією тіл або частинок тіла.

У механіці розрізняють:

а) потенціальну енергію тіла, піднятого над Землею:

$$E_n = mgh,$$

де h — висота над рівнем, на якому потенціальна енергія системи «Земля — тіло» приймається за нуль (нульовий рівень потенціальної енергії);

б) потенціальну енергію пружно деформованого тіла:

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2};$$

в) потенціальну енергію гравітаційної взаємодії двох матеріальних точок з масами m_1 і m_2 , що перебувають на відстані r одна від одної:

$$E_{\text{г}} = \frac{Gm_1m_2}{r}.$$

Потенціальна енергія додатна, якщо вона обумовлена силами відштовхування, і від'ємна, якщо обумовлена силами притягання.

Закон збереження механічної енергії: повна механічна енергія системи тіл, у якій діють лише консервативні сили (потенціальні), є величиною сталою.

Консервативні сили — це сили тяжіння, пружності, кулонівські сили.

Консервативна сила — сила, робота якої при переміщенні тіла залежить тільки від початкового і кінцевого положень тіла в просторі. Наприклад, робота сили тяжіння (рис. 46):

$$A_1 = A_2 = A_3.$$

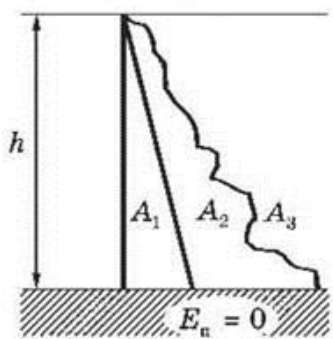


Рис. 46

Робота консервативних сил у будь-якому замкнутому контурі дорівнює нулю (рис. 47).

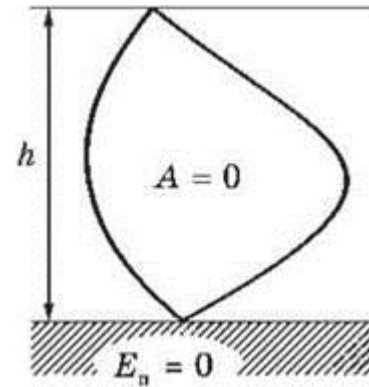


Рис. 47

Потенціальне поле — поле консервативних сил.

Кінетична і потенціальна енергія — функції стану системи, тобто можуть бути точно визначеними, якщо відомі координати і швидкості всіх тіл системи, а також система відліку.

Робота є мірою зміни і перетворення енергії:

$$A = \Delta E.$$

Робота всіх сил, які діють на тіло, дорівнює зміні його кінетичної енергії — теорема про кінетичну енергію:

$$A = E_{\text{к}_2} - E_{\text{к}_1} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Робота сили тяжіння і пружності дорівнює зміні потенціальної енергії тіла, взятої з протилежним знаком:

$$A = -(E_{\text{п}_2} - E_{\text{п}_1}).$$

Робота постійної сили — це скалярний добуток сили на переміщення (рис. 48):

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{s}), \quad A = Fscos\alpha.$$

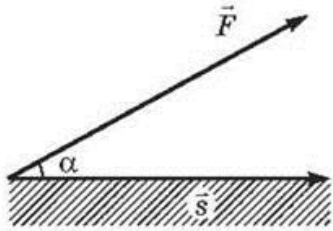


Рис. 48

Якщо $90^\circ > \alpha \geq 0$, то $A > 0$ відповідає збільшенню енергії;
якщо $\alpha = 90^\circ$, то $A = 0$ відповідає незмінності енергії;
якщо $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$, то $A < 0$ відповідає зменшенню енергії.
Робота постійної сили максимальна, якщо $\alpha = 0$:

$$A = FS.$$

Одиниця роботи (енергії) — джоуль (Дж).

Джоуль — робота постійної сили в 1 Н при переміщенні тіла на відстань 1 м у напрямі дії сили:

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

Потужність — фізична величина, що характеризує швидкість виконання роботи.

Потужність — це величина, що дорівнює відношенню виконаної роботи до проміжку часу, протягом якого вона виконувалась:

$$N = \frac{A}{t} \quad \text{— у механіці,} \quad P = \frac{A}{t} \quad \text{— в електриці.}$$

Одиниця потужності в СІ — ват (Вт):

$$1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Ват — потужність, за якої за 1 с виконується робота в 1 Дж.

Потужність при постійній силі дорівнює:

$$N = Fv.$$

Іноді ще використовується одиниця потужності 1 к. с. (кінська сила): 1 к. с. = 736 Вт.

$A = Nt$, звідки одиниця роботи в техніці — 1 кВт · год :

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

Відношення корисної роботи до повної роботи називається коефіцієнтом корисної дії (ККД) простого механізму (η).

Коефіцієнт корисної дії (η) визначається за формулами:

$$\eta = \frac{A_k}{A_n}, \eta = \frac{A_k}{Q_n}, \eta = \frac{Q_k}{A_n}, \eta = \frac{Q_k}{Q_n} \quad \text{або} \quad \eta = \frac{N_k}{N_n},$$

де $\eta < 1$ ($\eta < 100\%$).

Корисна робота — робота, здійснювана двигуном і т. ін.

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

Механічний удар двох тіл характеризується коефіцієнтом відновлення (ϵ):

$$\epsilon = \frac{|v'_1 - v'_2|}{|v_1 - v_2|}.$$

Це відношення відносної швидкості тіл після співудару до відносної швидкості до співудару.

Якщо $\epsilon = 1$, то удар називається абсолютно пружним (рис. 49, а). Якщо $\epsilon = 0$, то удар називається абсолютно непружним (рис. 49, б).

Насправді під час зіткнення удар двох тіл $1 > \epsilon > 0$. При ударі свинцевих куль ϵ наближається до 0, тобто удар близький до абсолютно непружного. Під час зіткнення куль із слонової кістки $\epsilon = 0,9$, тобто удар близький до абсолютно пружного.

Центральний удар — це удар, при якому тіла до удару рухаються вздовж прямої, що проходить через їхні центри мас.

При співударі абсолютно пружних тіл зберігається їх сумарна кінетична енергія і сумарний імпульс (рис. 49, в).

Абсолютно непружний удар — зіткнення двох тіл, у результаті якого тіла об'єднуються, рухаючись далі як єдине ціле у напрямі руху тіла, що мало більший імпульс (рис. 49, г).

При непружному співударі закон збереження імпульсу має вигляд:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}_{\text{заг}}.$$

При непружному співударі частина механічної енергії переходить у внутрішню. Якщо зміна внутрішньої енергії пов'язана тільки зі зміною температури тіла або його агрегатного стану, то:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v_{\text{звг}}^2}{2} + \Delta U, \quad \Delta U = Q,$$

де $Q = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t$ при нагріванні тіл

або $Q = \lambda m_1 + \lambda m_2$ при їх плавленні.

Прості механізми змінюють силу, швидкість або напрям руху в процесі здійснення роботи.

Види простих механізмів:

- важіль і його різновиди — блок, коловорот;
- похила площина та її різновиди — клин, гвинт.

«Золоте правило» механіки: жоден із простих механізмів не дає виграшу в роботі. У скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані.

На практиці здійснена за допомогою механізму повна робота завжди дещо більша від корисної. Частина роботи витрачається на подолання сили тертя.

Важіль — це однорідний стрижень, який має точку опори або підвіс.

Важіль, у якого вісь обертання перебуває в середині важеля,— важіль першого роду (рис. 50, а).

Важіль, у якого вісь обертання перебуває на кінці важеля,— важіль другого роду (рис. 50, б).

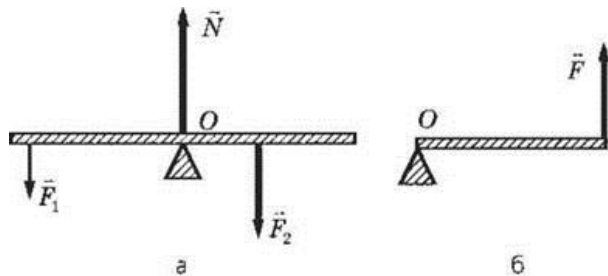


Рис. 50

Правило рівноваги важеля (установлене Архімедом). Важіль

перебуває в рівновазі, коли діючі на нього сили ($\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$) обернено пропорційні плечам сил (d_1 , d_2) (рис. 46):

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{d_1}{d_2}.$$

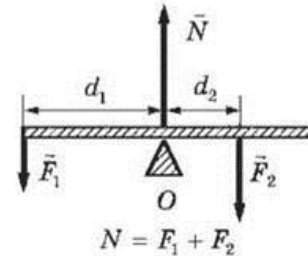


Рис. 51

Блок — це колесо з жолобом, закріплене в обоймі. По жолобу блока пропускають мотузку, трос або ланцюг.

Нерухомим блоком називають такий блок, вісь якого закріплена і при підйомі вантажів не змінює свого положення.

Нерухомий блок не дає виграшу в силі, але дає можливість змінювати напрям дії сили (рис. 52, а).

Рухомий блок піднімається й опускається разом з вантажем.

Рухомий блок дає виграш у силі у два рази (рис. 52, б).

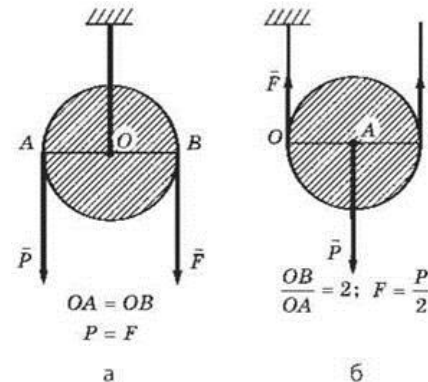


Рис. 52

Коловорот, який складається з двох блоків з радіусами R і r ($R > r$), дає виграш у силі $k = \frac{R}{r}$ (рис. 53).

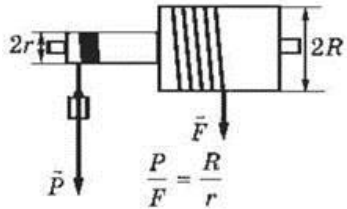


Рис. 53

Щоб тіло, яке перебуває на похилій площині, було в стані спокою і рівномірного (без тертя) руху, необхідно прикласти силу, паралельну похилій площині і в стільки ж разів меншу від сили тяжіння, у скільки разів висота похилої площини менша за її довжину (рис. 54):

$$\vec{F}_{\text{тер}} = 0, \vec{v} = \text{const}, F_{\tau} h = F_{\text{тяж}} l.$$

ККД похилої площини з урахуванням сили тертя при рівномірному переміщенні вантажу вздовж похилої площини:

$$\eta = \frac{1}{1 + \mu \cdot \text{ctg} \alpha} \cdot 100\%.$$

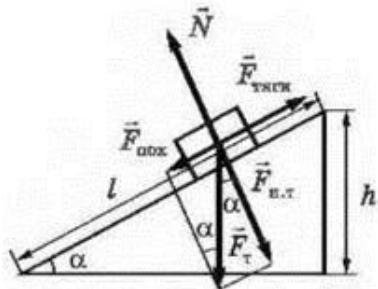


Рис. 54

Клин — різновид похилої площини.

Клин є головною частиною, наприклад, ножа, ножиць, сокири, рубанка. Щоб клин перебував у стані спокою чи рівномірного руху

(без тертя), необхідно прикласти до нього силу, перпендикулярну до його основи (обуха), у стільки разів меншу за силу, що діє перпендикулярно до бічної грані клина, у скільки разів основа (AB) менша від довжини бічної поверхні клина (AC) (рис. 55).

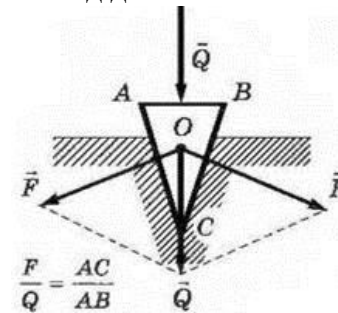


Рис. 55

Гвинт — циліндричне тіло з різьбою, яка наноситься по гвинтовій лінії.

Гвинтовою лінією називається лінія, утворена гіпотенузою прямокутного трикутника, який накручується на циліндр.

Кроком гвинтової лінії називається відстань, на яку переміститься гайка при одному повному повороті гвинта (рис. 56).

Сила, яка діє по дотичній до головки гвинта за відсутності сили тертя, у стільки разів менша від сили, що діє на гвинт уздовж його осі, у скільки разів крок гвинта менший за довжину кола головки.

Гвинт застосовують у домкратах — простих пристроях для підйому вантажу.

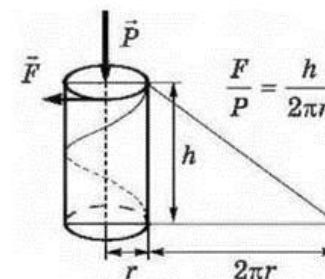


Рис. 56

Закон Архімеда: на тіло, занурене у рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка за модулем дорівнює силі тяжіння рідини (або газу), зайнятої тілом.

Виштовхувальна сила називається архімедовою силою:

$$F_A = \rho_p g V_{\text{занур. тіла}}$$

Архімедова сила прикладена до центра ваги (маси) витісненої тілом рідини. Вона зумовлена різницею тисків на верхню та нижню поверхню тіла, при цьому атмосферний тиск взаємно компенсується.

Поведінка тіла	Тіло	
	неоднорідн е	однорідне
Тоне	$F_A < mg$	$\rho_{\tau} > \rho_p$
Спливає	$F_A > mg$	$\rho_{\tau} < \rho_p$
Плаває всередині рідини	$F_A = mg$	$\rho_{\tau} = \rho_p$
Плаває на поверхні рідини (часткове занурення)	$F_A = mg$	$\rho_{\tau} < \rho_p$

Плавання суден.

Важкі вантажі та двигуни розташовуються у нижній частині судна, щоб центр ваги 2 був нижче від точки прикладення архімедової сили 1, що забезпечує стійкість судна (при нахилі

судна $\vec{F}_A$ і mg стають парою сил, які повертають судно у вертикальне положення) (рис. 63).

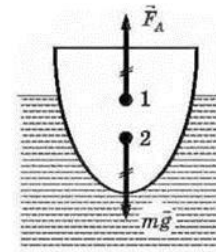


Рис. 63

Вага води, витискувана судном до ватерлінії (найбільша допустима осадка, відзначена на корпусі червоною лінією), яка дорівнює силі тяжіння, що діє на судно з вантажем, називається водотоннажністю судна.

Якщо від водотоннажності відняти вагу самого судна, то дістанемо вантажопідйомність судна:

$$P_{\text{водотон}} - P_{\text{с}} = P_{\text{вант.}}$$

Різниця між вагою 1 м³ повітря і вагою того самого об'єму іншого газу називається підйомною силою 1 м³ газу:

$$F_{\text{під}} = P_{\text{воз}} - P_{\text{газу}}, \quad F_{\text{під}} = (\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{газу}}) g V_{\text{газу}}$$

Визначення густини тіла методом гідростатичного зважування:

$$\rho_{\tau} = \frac{P}{P - P'} \rho_{\text{рід}}$$

де P і P' — вага тіла відповідно в повітрі та в рідині.