Siły i pęd

II zasada dynamiki ★ $ma = F_w$ $a = \dfrac{F_w}{m}$

Jeżeli siły działające na ciało się nie równoważą, to ciało porusza się z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do siły wypadkowej i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała. F_w to siła wypadkowa, czyli suma wszystkich sił działających na ciało, a nie jedna z nich. Masa ciała jest stała, a układ odniesienia inercjalny (w zadaniach szkolnych zwykle związany z Ziemią). Zapis skalarny podaje wartości przyspieszenia i siły wypadkowej; wektor przyspieszenia ma kierunek i zwrot siły wypadkowej.

pęd $p = mv$

Pęd ma kierunek i zwrot prędkości; z liczb liczymy jego wartość albo składową na wybranej osi.

popęd siły $F\Delta t = \Delta p$

F to siła wypadkowa: stała albo średnia w czasie Δt. F i Δp to składowe wzdłuż tej samej osi, więc mogą być ujemne.

zasada zachowania pędu ★

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1u_1 + m_2u_2$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)\,u$$

W układzie izolowanym (bez sił zewnętrznych) całkowity pęd się nie zmienia. Wzór z liczbami dotyczy ruchu wzdłuż jednej prostej: prędkości bierzemy ze znakiem, a ruch w przeciwnym zwrocie to wartość ujemna. Na płaszczyźnie zasadę stosujemy osobno dla każdej osi. Druga postać opisuje zderzenie doskonale niesprężyste, po którym ciała poruszają się razem ze wspólną prędkością u; część energii mechanicznej zamienia się wtedy w energię wewnętrzną.

siła tarcia $T_k = \mu_k F_N$

Wzór $T = \mu_k F_N$ opisuje tarcie kinetyczne (ciało się przesuwa); na karcie CKE zapisany jako $T_k = \mu_k F_N$. Tarcie statyczne (ciało jeszcze stoi) może przyjąć każdą wartość do $\mu_s F_N$, gdzie μ_s to współczynnik tarcia statycznego.

siła dośrodkowa $F_d = \dfrac{mv^2}{r}$

F_d to składowa siły wypadkowej skierowana do środka okręgu, a nie osobna siła. Przy stałej szybkości jest całą siłą wypadkową.

Praca, moc, energia

praca $W = Fs\cos\alpha$

Siła stała; s to wartość przemieszczenia (przy ruchu tam i z powrotem nie cała droga).

praca siły stałej wzdłuż drogi $W = Fs$

Siła jest stała i ma ten sam kierunek i zwrot co przesunięcie ciała. Gdy siła tworzy z przesunięciem kąt, praca wynosi $W = Fs\cos\alpha$.

moc $P = \dfrac{W}{t}$

Moc średnia dotyczy pracy wykonanej w podanym przedziale czasu. Jest równa mocy chwilowej, gdy moc jest stała w tym przedziale.

moc a prędkość $P = Fv$

We wzorze P = Fv siła i prędkość dotyczą tej samej chwili i tego samego ciała. Przy stałej prędkości, np. samochodu na prostej, siła ciągu równoważy opory ruchu. Liczy się kierunek i zwrot siły względem prędkości: F to składowa siły wzdłuż ruchu, ujemna przy hamowaniu, i wtedy moc jest ujemna.

praca jako zmiana energii $W = \Delta E$

Wypadkowa praca wykonana na ciele równa się zmianie jego energii mechanicznej. Sformułowanie z podstawy (SP III.3): «opisuje wykonaną pracę jako zmianę energii».

energia kinetyczna ★ $E_{\text{kin}} = \dfrac{1}{2}mv^2$

Energia kinetyczna zależy od układu odniesienia: walizka w jadącym pociągu ma względem pociągu E_{kin} = 0, a względem peronu nie.

energia potencjalna grawitacji ★ $E_{\text{pot}} = mgh$

Blisko powierzchni Ziemi, gdzie g jest praktycznie stałe. Wysokość h liczymy od wybranego poziomu zerowego; poniżej niego h i E_{pot} są ujemne.

energia potencjalna sprężystości $E_{\text{pot}} = \dfrac{1}{2}kx^2$

W szkole podstawowej energia sprężystości jest omawiana opisowo. Obliczenia $E_s = kx^2/2$ dotyczą sprężyny spełniającej prawo Hooke'a i odkształcenia w zakresie sprężystym.

zasada zachowania energii mechanicznej

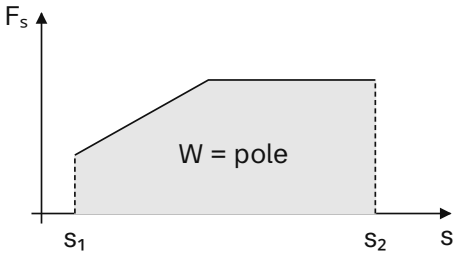
$$E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \text{const}$$

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

Suma energii kinetycznej i potencjalnej jest stała, gdy działają tylko siły zachowawcze (bez tarcia i oporu powietrza). Druga postać dotyczy ruchu jednego ciała w jednorodnym polu grawitacji bez tarcia i oporu powietrza; masa m się skraca, więc prędkość i wysokość nie zależą od masy ciała.

praca siły zmiennej ····· $W = \int_{x_1}^{x_2} F \,\mathrm{d}x$

Przemieszczenie odbywa się wzdłuż ustalonej osi x; F oznacza składową siły w tej osi. Przy ogólnym torze jest to tylko wkład składowej x do pracy.



Praca jako pole pod wykresem $F_s(s)$. Pole pod wykresem składowej siły wzdłuż przemieszczenia F_s od drogi s jest pracą tej siły. Przy stałej sile pole prostokąta wynosi $F_s \cdot s$. Gdy siła działa przeciwnie do przemieszczenia, $F_s < 0$ i praca jest ujemna.

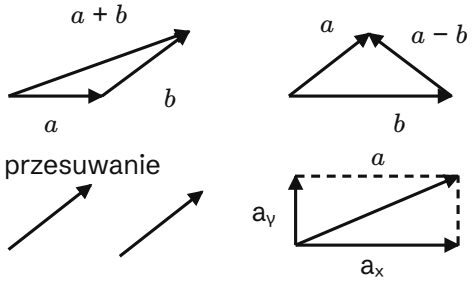
Równia pochyła

siła zsuwająca ····· $F_s = mg \sin \alpha$

To składowa ciężaru równoległa do równi, skierowana w dół. Jej wartość nie zależy od tarcia: tarcie to osobna siła, która może ją zrównoważyć.

siła nacisku na równi pochyłej ····· $F_N = mg \cos \alpha$

Model równi: ciało nie przyspiesza prostopadle do powierzchni i poza ciężarem nie działa dodatkowa siła o składowej normalnej. Na poziomej powierzchni ($\alpha = 0$) wzór daje $F_N = mg$.



Dodawanie, odejmowanie, przesuwanie i rozkładanie wektorów.

przyspieszenie na równi z tarciem

$$a = g\left(\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha\right)$$

Wzór opisuje ciało, które już zsuwa się w dół równi; μ to współczynnik tarcia kinetycznego. Wynik a < 0 oznacza, że ciało zwalnia, a a = 0 ruch ze stałą prędkością. Ciało w spoczynku ruszy tylko wtedy, gdy $\operatorname{tg} \alpha > \mu_s$ i nie działają inne siły; w przeciwnym razie zostaje w miejscu.

Symbole i jednostki

symbol	znaczenie	jednostka
a	przyspieszenie	$\mathrm{m/s^2}$
E_{kin}	energia kinetyczna	J
E_{pot}	energia potencjalna (grawitacji albo sprężystości)	J
ΔE	zmiana energii	J
F	siła	N
F_d	siła dośrodkowa	N
F_N	siła nacisku	N
F_s	siła zsuwająca	N
F_w	siła wypadkowa	N
g	przyspieszenie ziemskie ≈ 9,81	$\mathrm{m/s^2}$

symbol	znaczenie	jednostka
h	wysokość	m
h_1	wysokość nad wybranym poziomem odniesienia w stanie 1	m
h_2	wysokość nad wybranym poziomem odniesienia w stanie 2	m
k	współczynnik sprężystości	$\mathrm{N/m}$
m	masa	kg
m_1	masa ciała 1	kg
m_2	masa ciała 2	kg
p	pęd	$\mathrm{kg \cdot m/s}$
Δp	zmiana pędu	$\mathrm{kg \cdot m/s}$
P	moc	W

symbol	znaczenie	jednostka
r	promień	m
s	droga	m
t	czas	s
Δt	czas działania siły	s
T	siła tarcia (nie mylić z okresem T)	N
T_k	siła tarcia kinetycznego	N
u	wspólna prędkość ciał po zderzeniu doskonale niesprężystym	$\mathrm{m/s}$
$u_1,\ u_2$	prędkość ciała 1 po oddziaływaniu (zderzeniu, odepchnięciu), prędkość ciała 2 po oddziaływaniu	$\mathrm{m/s}$
v	prędkość	$\mathrm{m/s}$
v_1	prędkość ciała 1 przed oddziaływaniem	$\mathrm{m/s}$
v_2	prędkość ciała 2 przed oddziaływaniem	$\mathrm{m/s}$
W	praca	J
x	odkształcenie sprężyny (wydłużenie albo ściśnięcie)	m
x_1	położenie początkowe	m
x_2	położenie końcowe	m
α	kąt	rad
μ_k	współczynnik tarcia kinetycznego (w części podręczników f)	$-$