

Mechanika i wytrzymałość materiałów

Tarcie



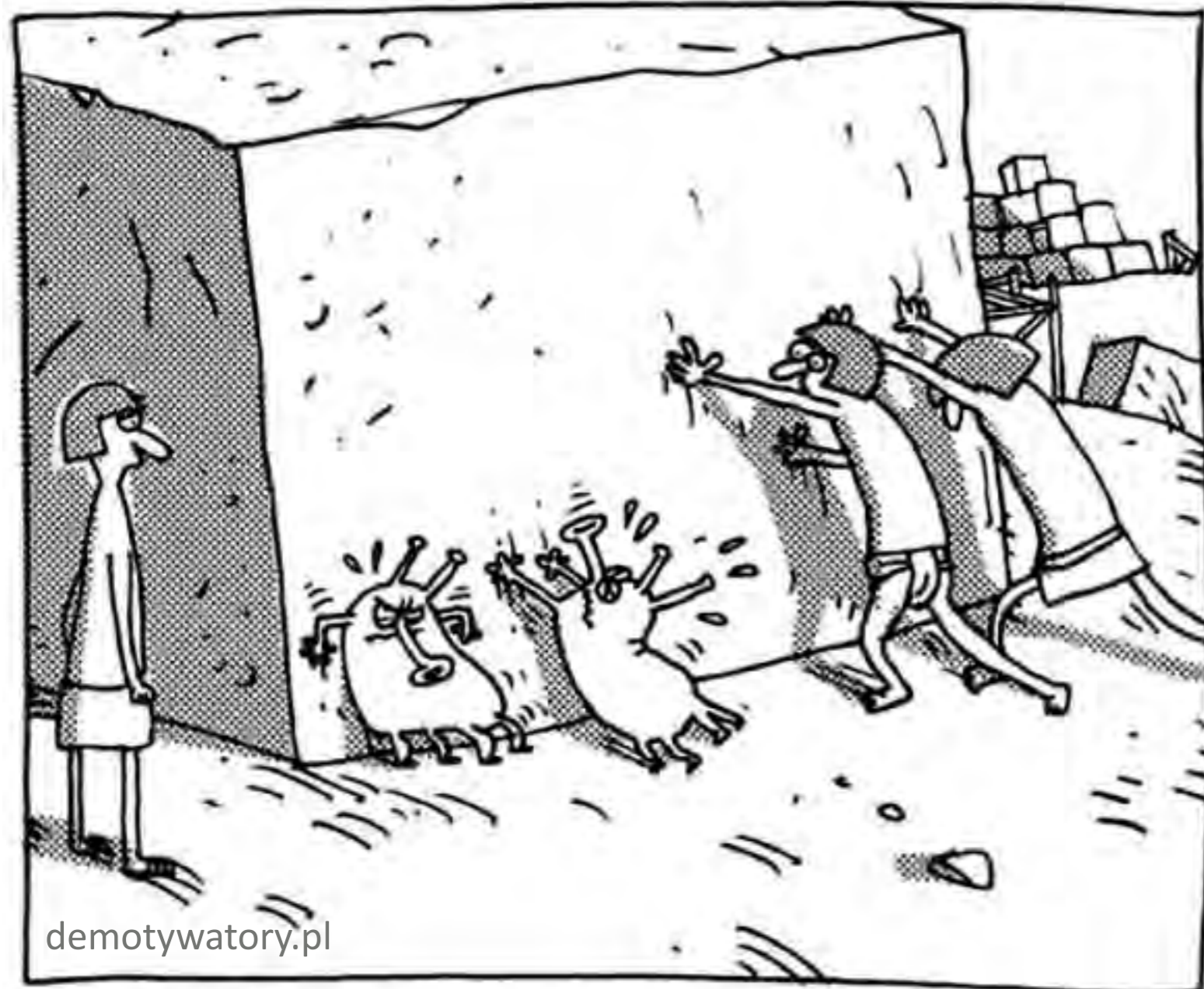
epodreczniki.pl



TARCIE

Tarcie zjawiska występujące na styku ciał sztywnych, wywołane działaniem **siły nacisku** (siły normalnej) oraz **siły stycznej** (powodującej ruch ciał względem siebie).

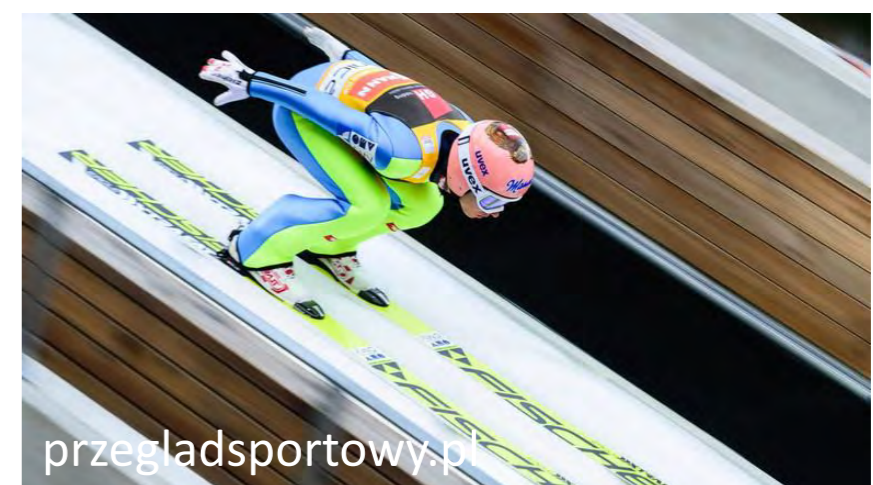
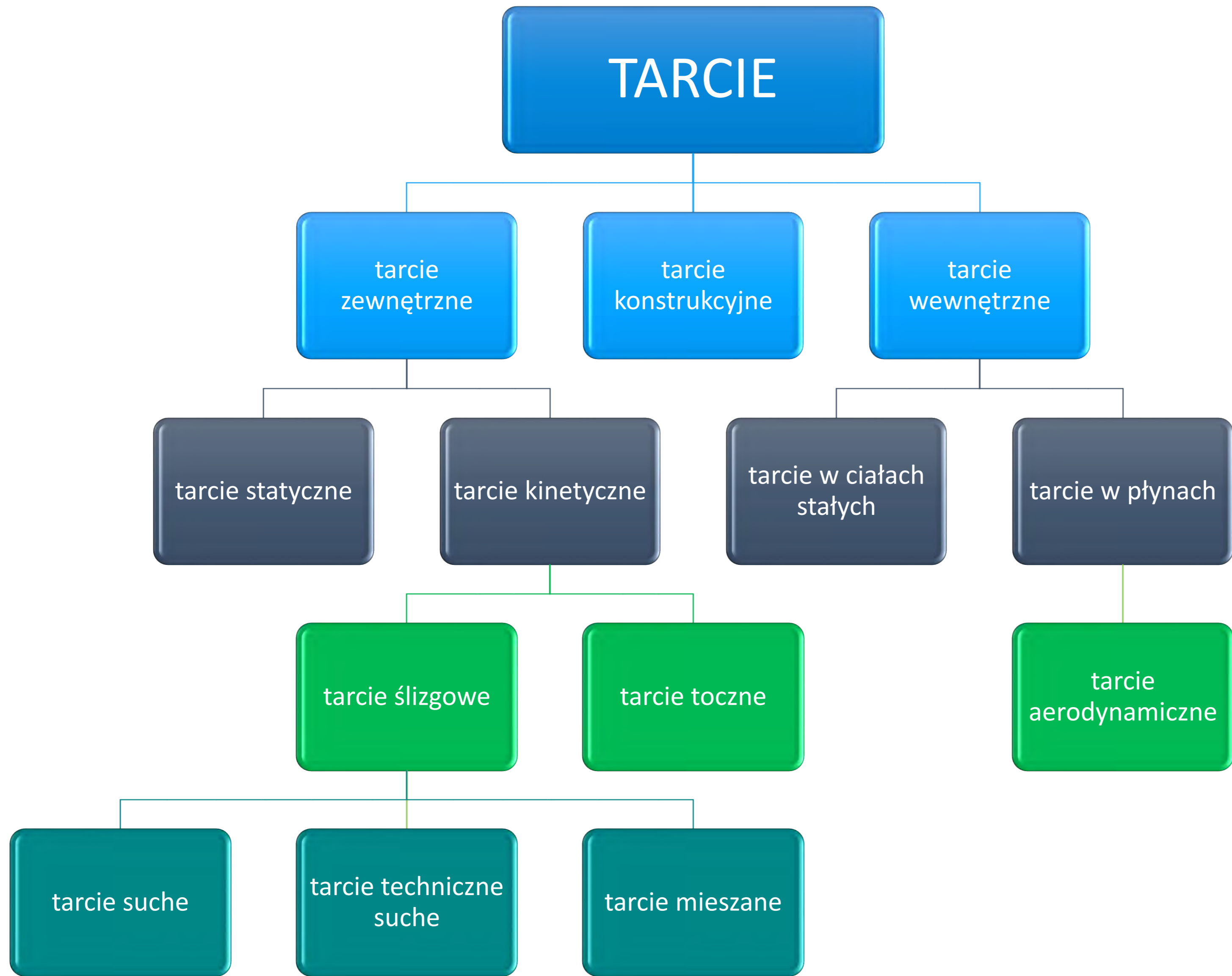
Z CYKLU: WPŁYWY POZAZIEMSKICH CYWILIZACJI



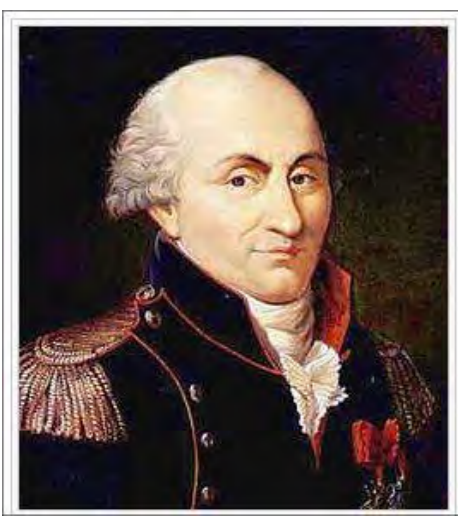
KOSMICI POMAGAJĄ W BUDOWIE PIRAMID EGIPSKICH



Andrzej Mleczek



Źródło: J. Brodny, *Modelowanie tarcia w układach mechanicznych*, Górnictwo i geologia, tom 5, zeszyt 2, 2010



Charles Augustin de Coulomb
1736 - 1806

Model tarcia wg. Coulomb'a



KLASYCZNE PRAWA TARCIA

Siła tarcia jest proporcjonalna do siły pionowej działającej na powierzchnie trące

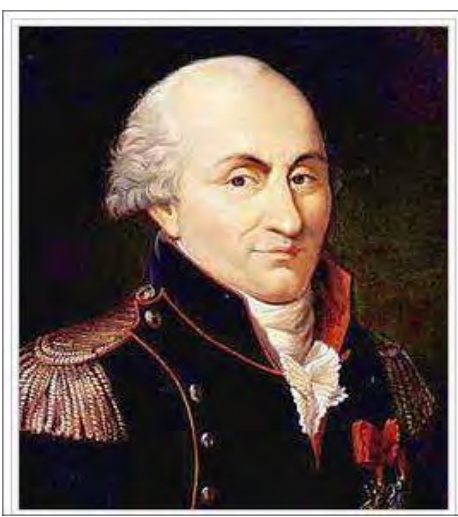
Siła tarcia nie zależy od wielkości powierzchni trących

Współczynnik tarcia poślizgowego zależy od rodzaju materiału trących się ciał oraz od chropowatości ich powierzchni

W czasie ruchu kierunek siły tarcia jest przeciwny kierunkowi ruchu

Siła tarcia granicznego (w momencie rozpoczęcia ruchu) jest większa od tarcia podczas ruchu

Współczynnik tarcia poślizgowego między ciałami jednorodnymi jest większy niż między ciałami różnorodnymi

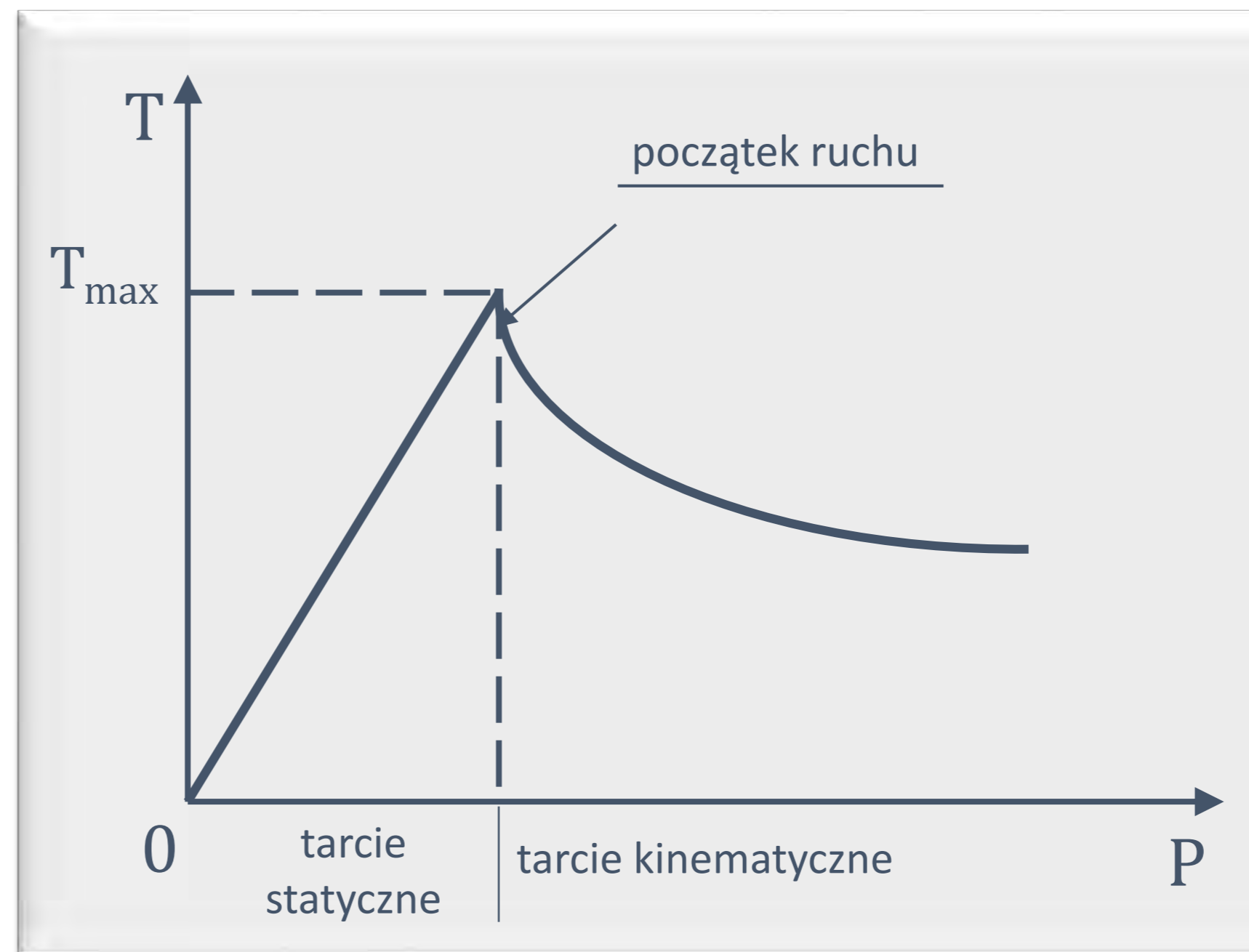
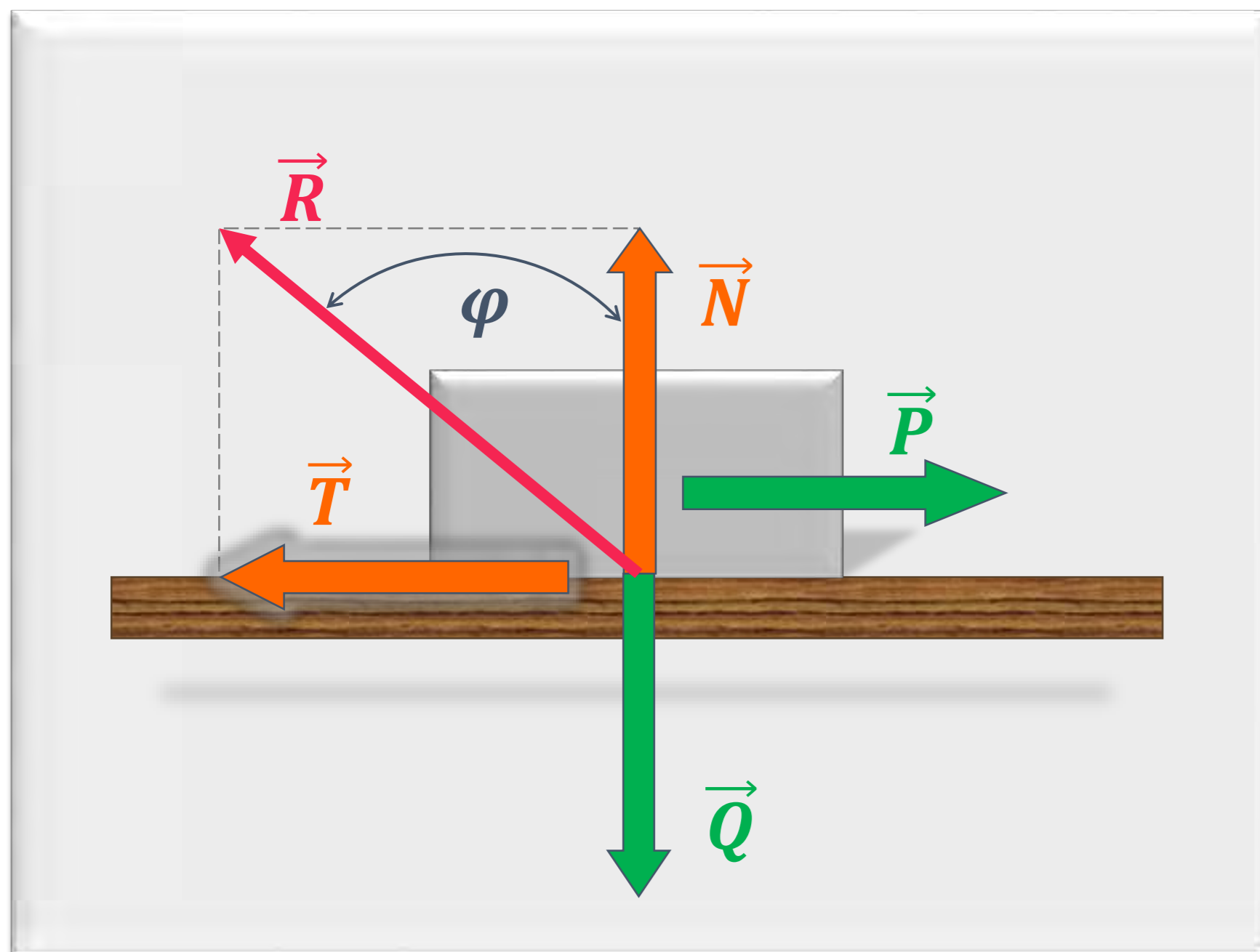


Charles Augustin de Coulomb
1736 - 1806

Model tarcia wg. Coulomb'a



Tarcie statyczne występuje, gdy jest zachowana równowaga układu sił działających na ciała.



$$T_{st} \leq \mu_{st} \cdot N$$

$$P_{gr} = \mu_{st} \cdot N$$

$$\vec{T}_{st} + \vec{Q} + \vec{P} = 0$$

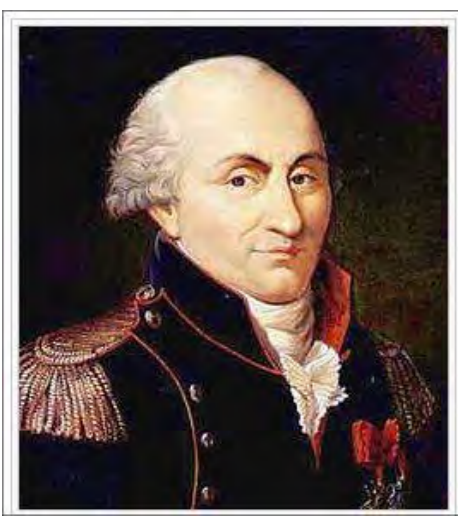
T – siła tarcia statycznego przeciwdziałająca wzajemnemu przesunięciu ciał,

P_{gr} – największa (graniczna) siła, która przy nacisku N nie spowoduje przesunięcia ciała,

μ_{st} – współczynnik tarcia statycznego, zależy od rodzaju materiałów, chropowatości ich powierzchni oraz środowiska,

$$0 \leq \mu_{st} \leq 0,5$$

N – siła nacisku.

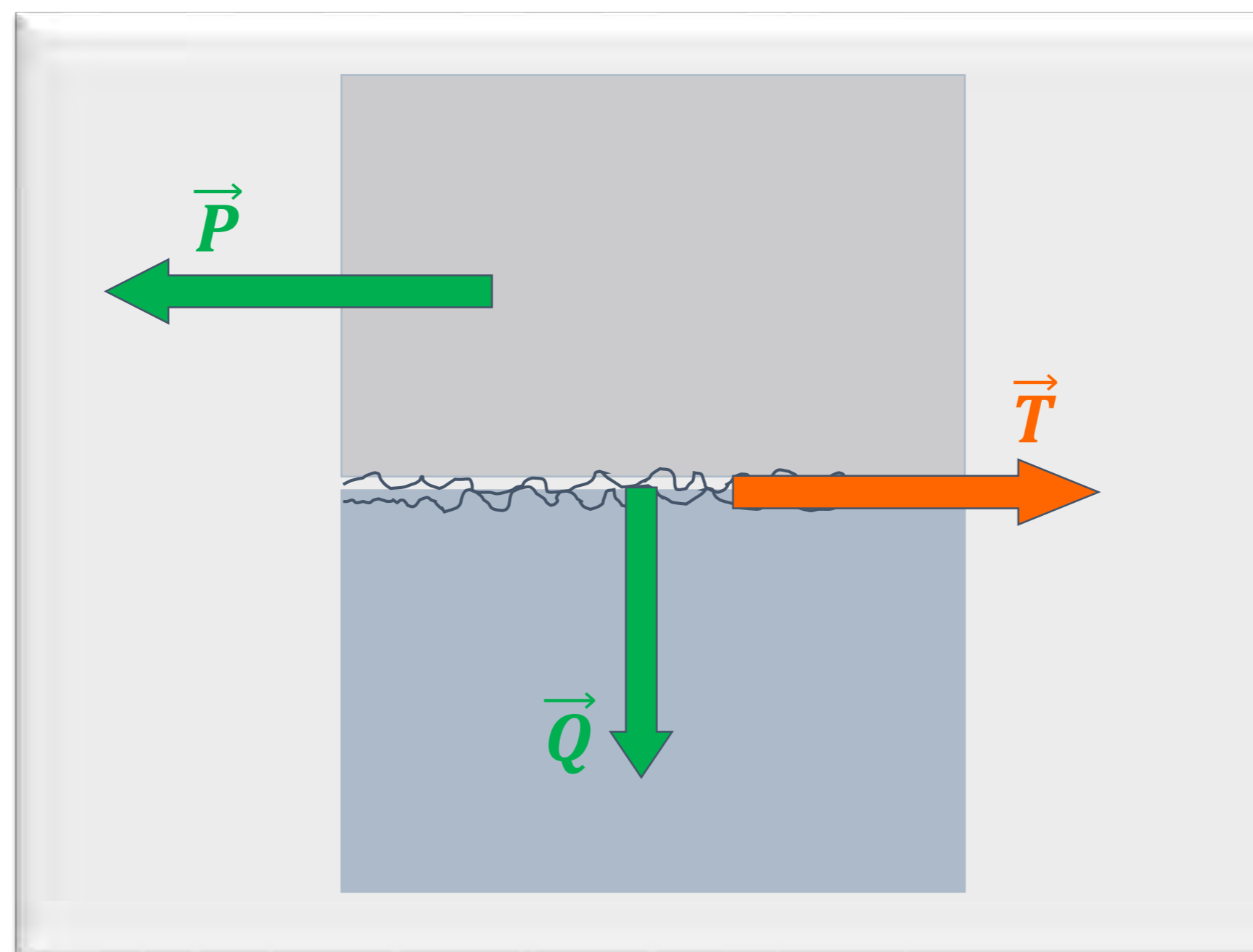
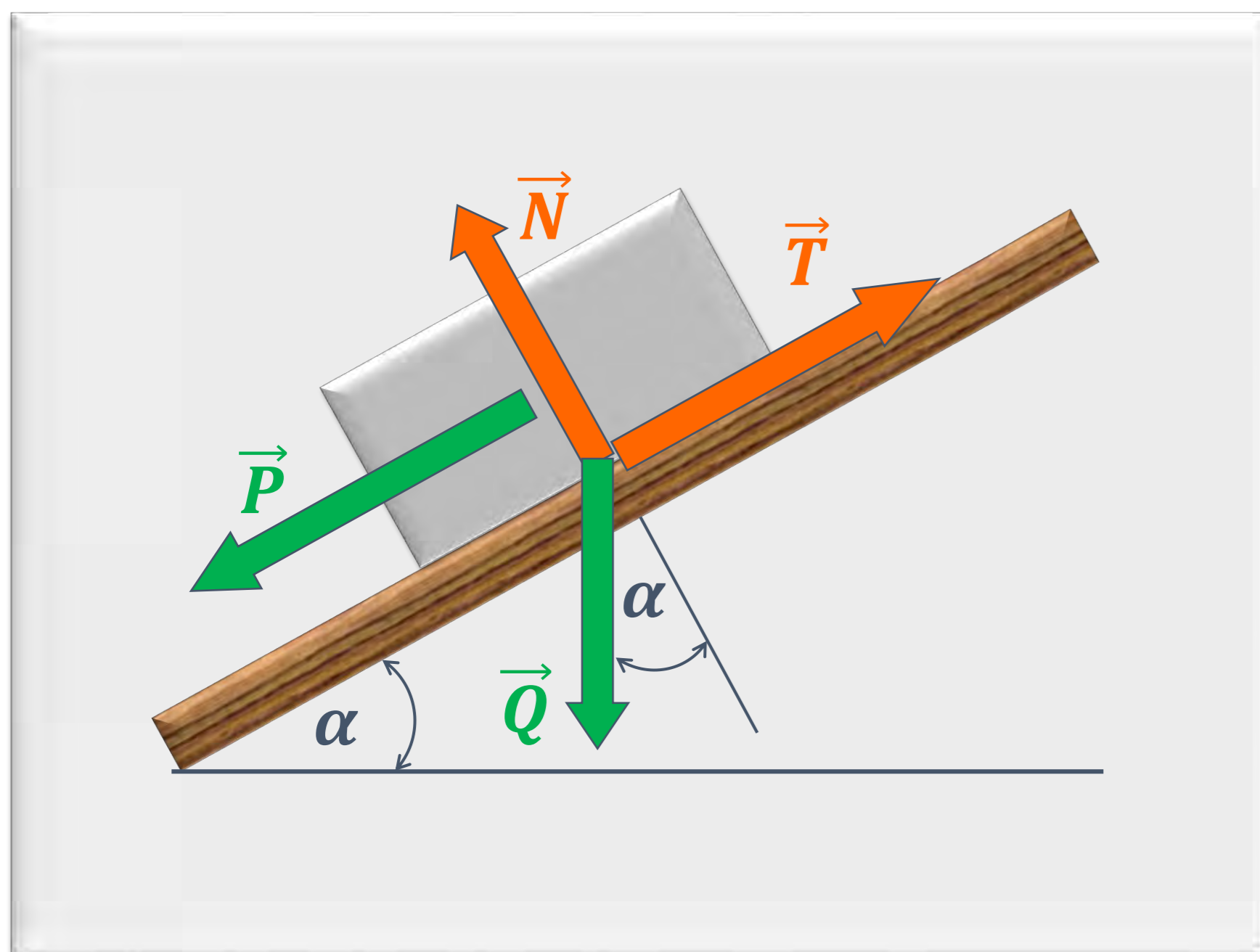


Charles Augustin de Coulomb
1736 - 1806

Model tarcia wg. Coulomb'a



Tarcie kinematyczne występuje podczas ruchu ciał. Siła tarcia ma zwrot przeciwny do zwrotu prędkości ciała.



$$T_k = \mu_k \cdot N$$

$$\mu_{st} = \frac{T_{st}}{N} = \text{tg}\alpha$$

$$\mu_k = \frac{T_k}{N}$$

$$\mu_k < \mu_{st}$$

T_k – siła tarcia kinematycznego,

μ_k – współczynnik tarcia kinematycznego, zależy od rodzaju materiałów, chropowatości ich powierzchni oraz środowiska, a także prędkości względnej,

N – siła nacisku,

α – najmniejszy kąt nachylenia równi, przy którym klocek zacznie się zsuwać.

Współczynnik tarcia poślizgowego



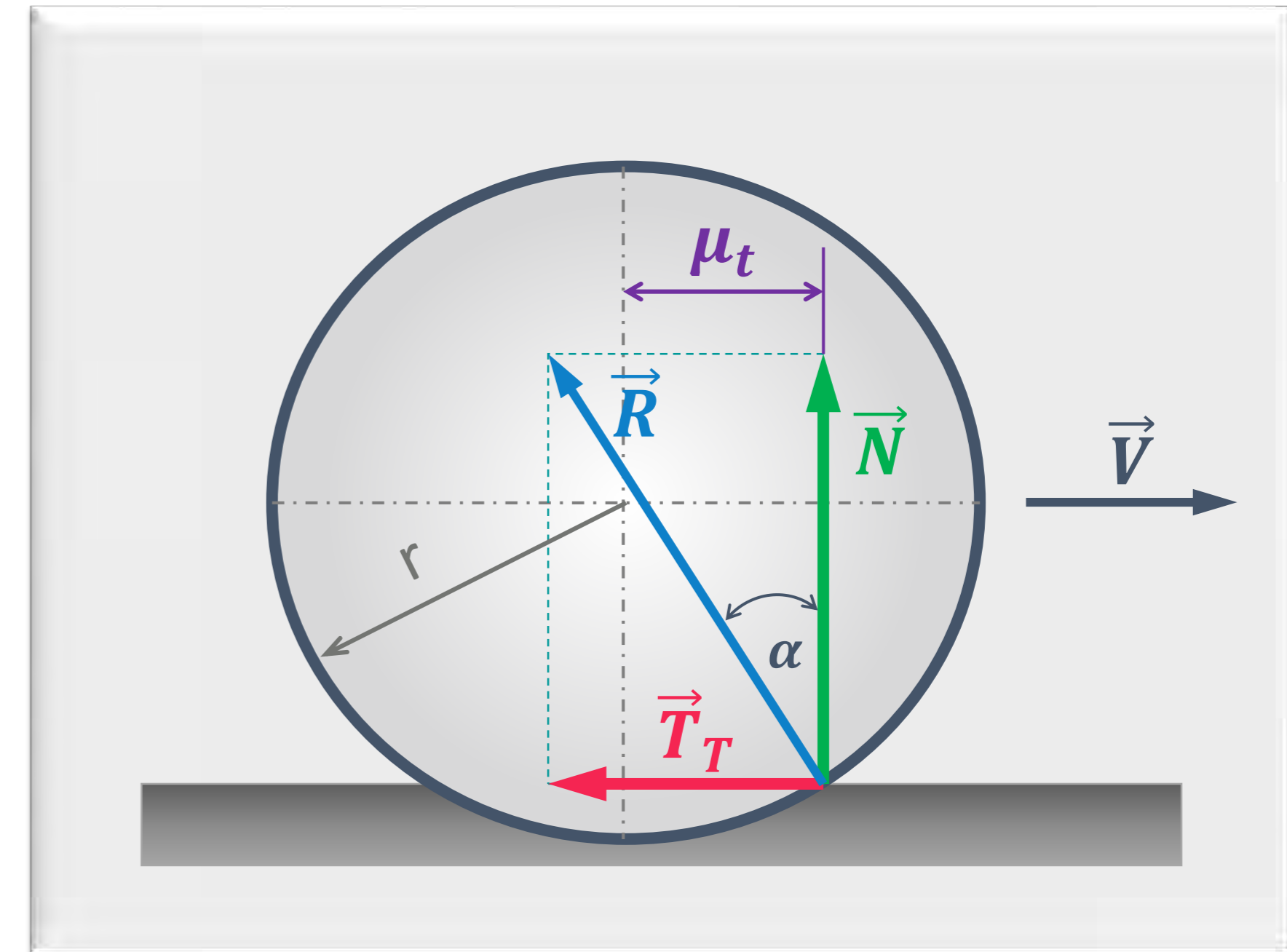
Powierzchnie trące	Tarcie statyczne		Tarcie kinematyczne	
	Na sucho	Smarowane olejem	Na sucho	Smarowane olejem
stal – stal	0,15 – 0,17	0,1	0,1 – 0,15	0,009
stal – żeliwo, brąz	0,18	0,1	0,16	0,01
stal – glin	0,47	–	–	–
stal – drewno	0,5 – 0,6	0,1	0,2 – 0,5	0,22 – 0,26
stal – teflon	0,04	–	0,14	–
stal – szkło	0,5 – 0,7	0,25	0,25	0,12
stal – plexiglas	0,4 – 0,5	–	–	–
stal – polistyren	0,3 – 0,35	–	–	–
stal – guma	0,6	0,25	0,25	0,12
stal – granit	0,08	–	–	–
stal – tytan	0,4 – 0,65	–	–	–
stal – grafit	0,1	–	–	–
stal – skóra	0,4 – 0,6	–	–	–
żeliwo – żeliwo	0,16 – 0,45	0,25	0,1 – 0,2	0,05
drewno – drewno	0,4 – 0,7	0,2	0,2 – 0,4	0,04 – 0,16
drewno – skóra	0,3 – 0,47	–	–	–
szkło – szkło	0,9 – 1,0	0,09 – 0,12	–	–
guma – beton	1,0	–	–	–
lód – lód	0,1	–	–	–

TARCIE TOCZNE



Przykład przypadek skrajnie małego tarcia tocznego, gdy kula toczy się ruchem „jednostajnym”.
Przyspieszenie kątowe kuli jest równe zero.

1. **Tarcie toczne** wywołuje plastyczne odkształcenie powierzchni, po której toczy się ciało cylindryczne lub kuliste oraz powierzchni samego ciała.
2. **Moment** siły tarcia tocznego powoduje **hamowanie** ruchu obrotowego.
3. **Moment** siły \vec{T}_T oraz siły \vec{N} są równe w przypadku braku hamowania.



T_t – siła tarcia tocznego,

μ_t – współczynnik tarcia tocznego,

N – siła nacisku,

α – kąt między siłą reakcji podłoża \vec{R} a kierunkiem pionowym, w rzeczywistości kąt ten jest bliski zeru.

TARCIE TOCZNE



Przykład przypadek skrajnie małego tarcia tocznego, gdy kula toczy się ruchem „jednostajnym”. Przyspieszenie kątowe kuli jest równe zero.

Moment siły tarcia tocznego

$$M_t = T_t \cdot r$$

Moment siły nacisku

$$M_N = N \cdot \mu_t$$

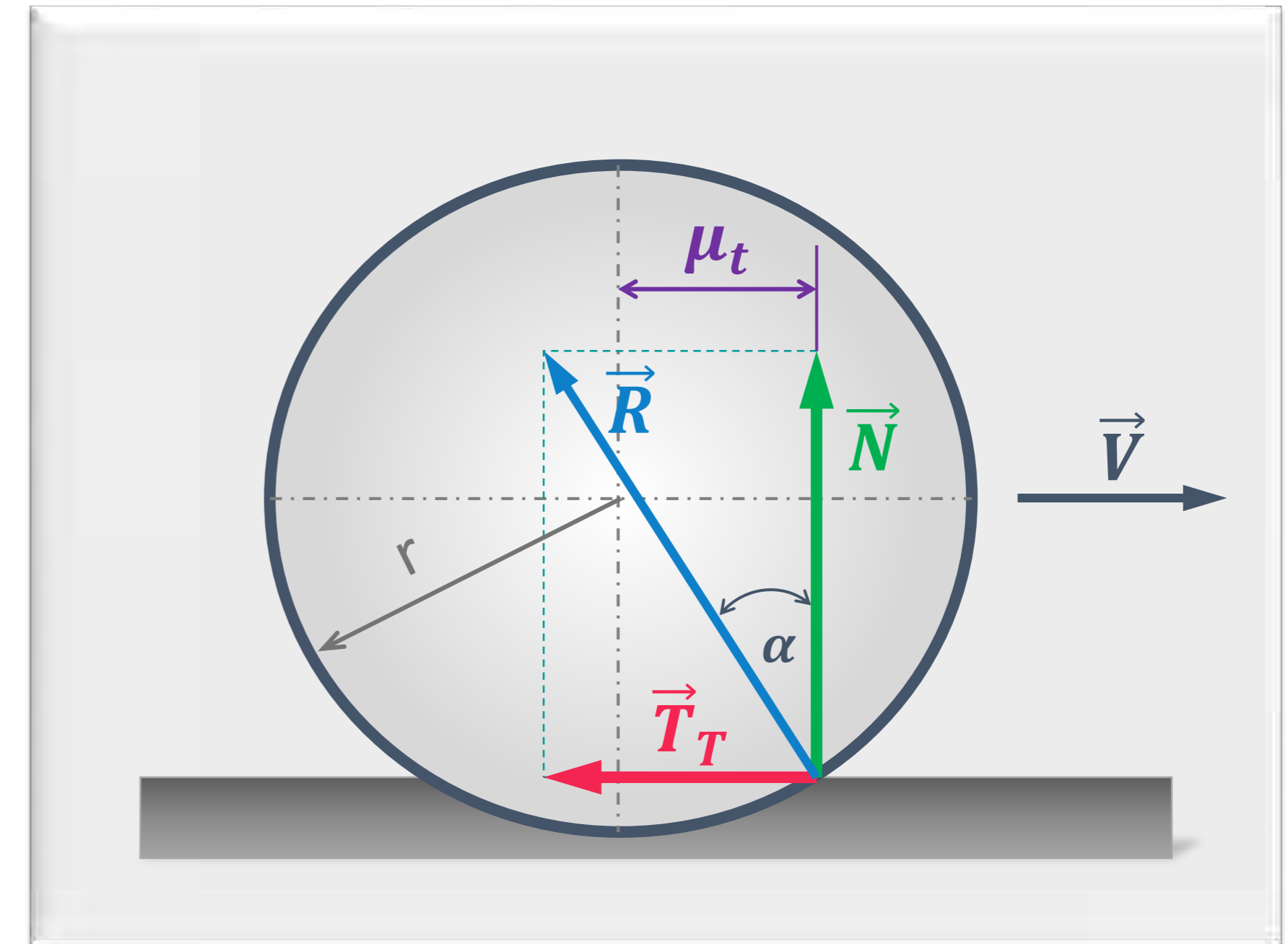
$$T_t \cdot r = N \cdot \mu_t$$

Współczynnik tarcia tocznego

$$\mu_t = \frac{N}{T_t} \cdot r$$

Wartość współczynnika tarcia tocznego

$$\mu_t = \operatorname{tg} \alpha \cdot r$$



T_t – siła tarcia tocznego,

μ_t – współczynnik tarcia tocznego,

N – siła nacisku,

α – kąt między siłą reakcji podłoża \vec{R} a kierunkiem pionowym, w rzeczywistości kąt ten jest bliski zero.



WŁAŚCIWOŚCI SIŁY TARCIA TOCZNEGO

Siła tarcia tocznego jest wprost proporcjonalna do nacisku normalnego przetaczanych ciał

Siła tarcia tocznego zależy od rodzaju przetaczanych materiałów i fizycznych właściwości powierzchni

Siła tarcia tocznego jest odwrotnie proporcjonalna do promienia toczącego się ciała

Siła tarcia tocznego jest znacznie mniejsza od siły tarcia poślizgowego

SKUTKI TARCIA



Opór ruchu

(pozytywne: hamowanie, przyczepność i negatywne: straty energii)

Zużycie trących powierzchni

Wzrost temperatury

Powstawanie produktów zużycia



bpaqd.blogspot.com

TARCIE



Zadanie

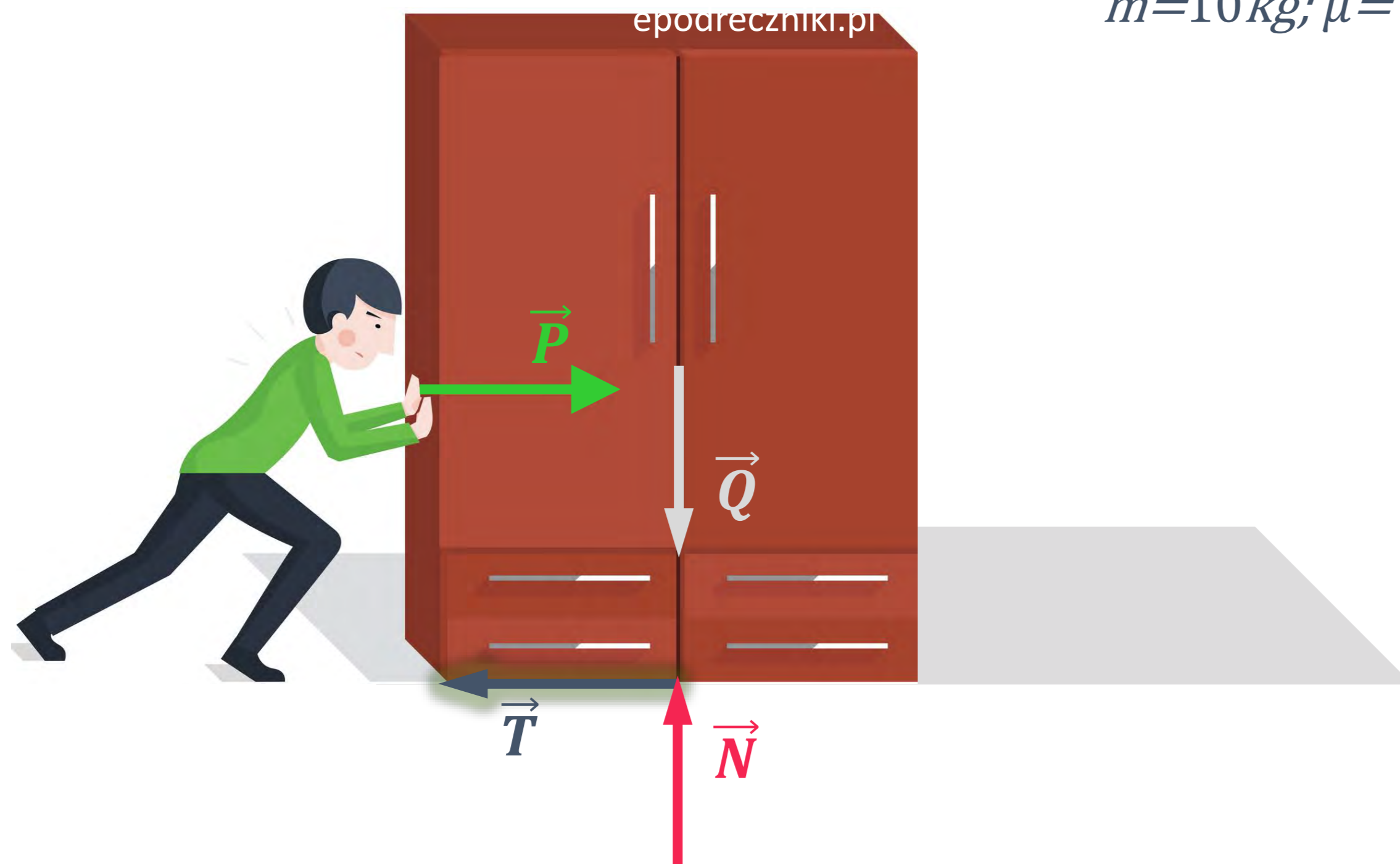
Stalowa szafa o masie $m=10\text{ kg}$ jest przesuwana prostoliniowo i jednostajnie po podłodze. Wyznaczyć siłę potrzebną do przesuwania szafy jeżeli współczynnik tarcia $\mu=0,5$ a przyłożona do szafy siła jest równoległa do kierunku ruchu.

Dane

$$m=10\text{ kg}; \mu=0,5; g=9,81\text{ m/s}^2$$

Obliczyć

$$P$$



$$Q = m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1\text{ N}$$
$$\begin{cases} \sum F_y = N - Q = 0 \\ \sum F_x = P - T = 0 \end{cases}$$
$$\begin{cases} N = Q \\ P = T \end{cases}$$
$$T = \mu \cdot N_Q = 0,5 \cdot 98,1 = 49,05\text{ N}$$
$$P = 49,05\text{ N}$$

TARCIE



Zadanie

Wyznaczyć najmniejszy kąt nachylenia skoczni narciarskiej, przy którym skoczek o masie $m=50\text{ kg}$ zacznie zjeżdżać. Współczynnik tarcia nart jadących po śniegu $\mu=0,5$.



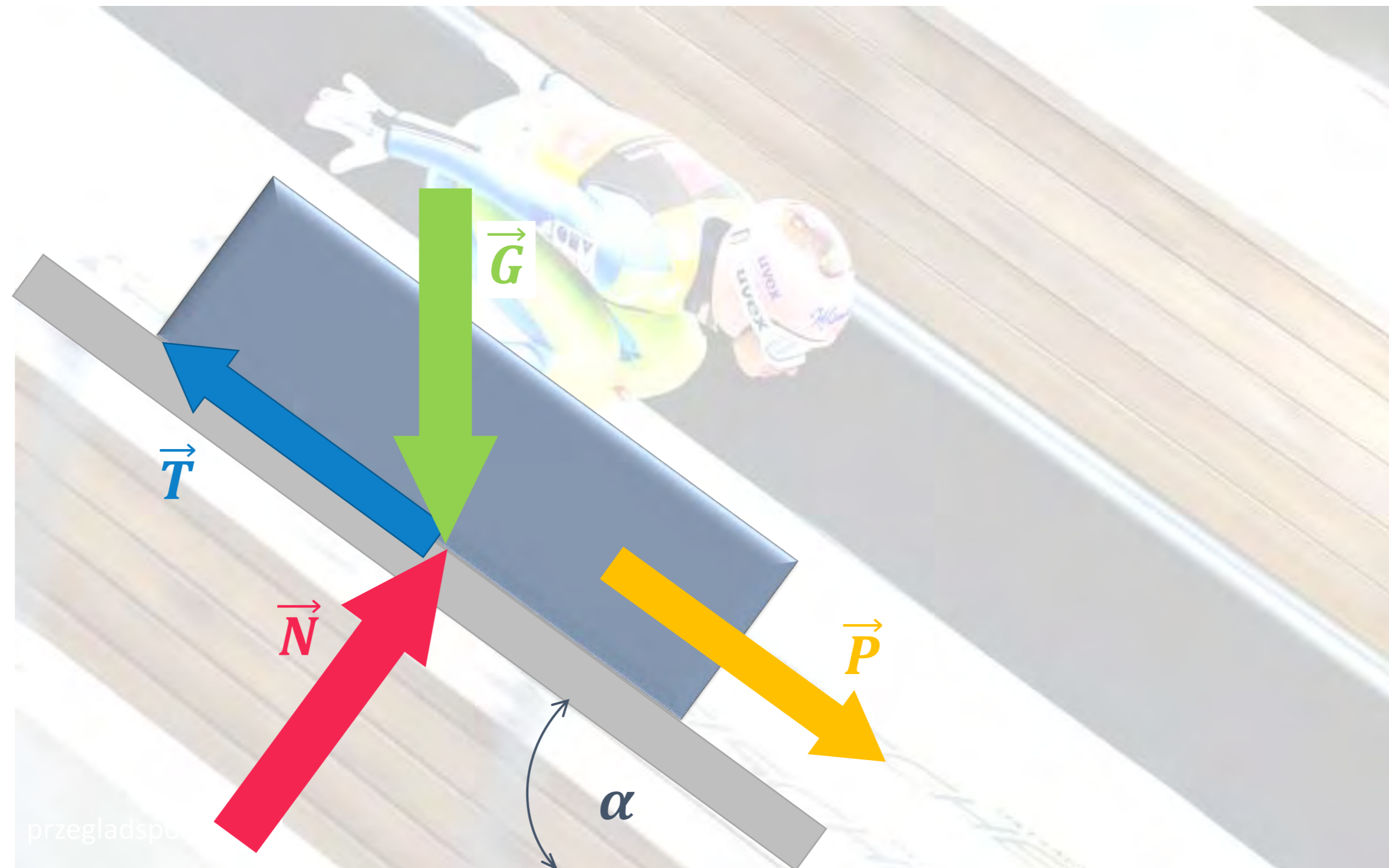
przegladsportowy.pl

TARCIE



Zadanie

Wyznaczyć najmniejszy kąt nachylenia skoczni narciarskiej, przy którym skoczek o masie $m=50\text{ kg}$ zacznie zjeżdżać. Współczynnik tarcia nart jadących po śniegu $\mu=0,5$.

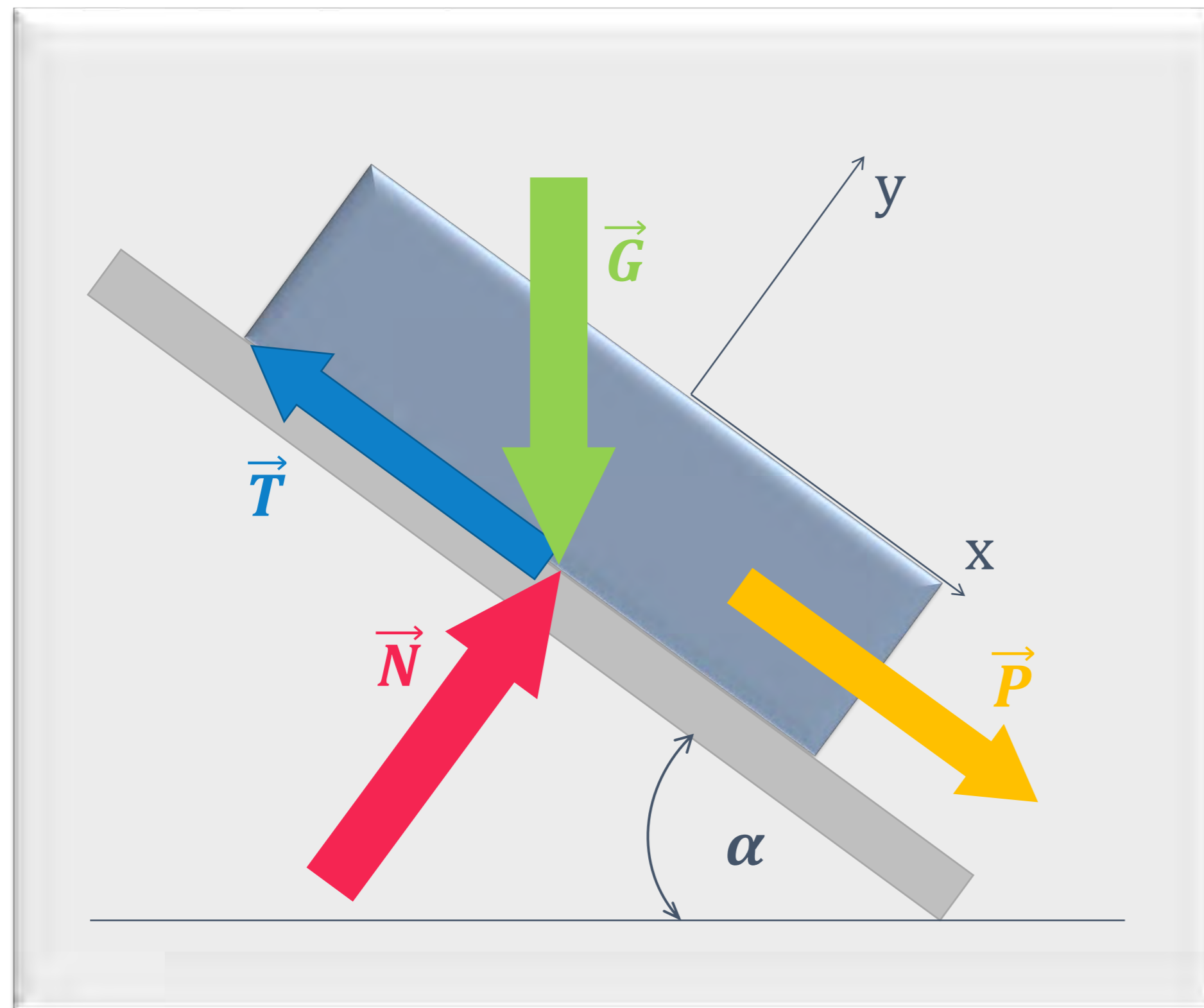


TARCIE



Zadanie

Wyznaczyć najmniejszy kąt nachylenia skoczni narciarskiej, przy którym skoczek o masie $m=50\text{ kg}$ zacznie zjeżdżać. Współczynnik tarcia nart jadących po śniegu $\mu=0,5$.



Dane

$$m = 50\text{ kg}; \mu = 0,5; g = 9,81\text{ m/s}^2$$

Obliczyć

α

$$G = m \cdot g = 50 \cdot 9,81 = 490,5\text{ N}$$

$$\begin{cases} \sum F_y = N - G \sin \alpha = 0 \\ \sum F_x = -T + P + G \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = G \sin \alpha \\ T - P = G \cos \alpha \end{cases}$$

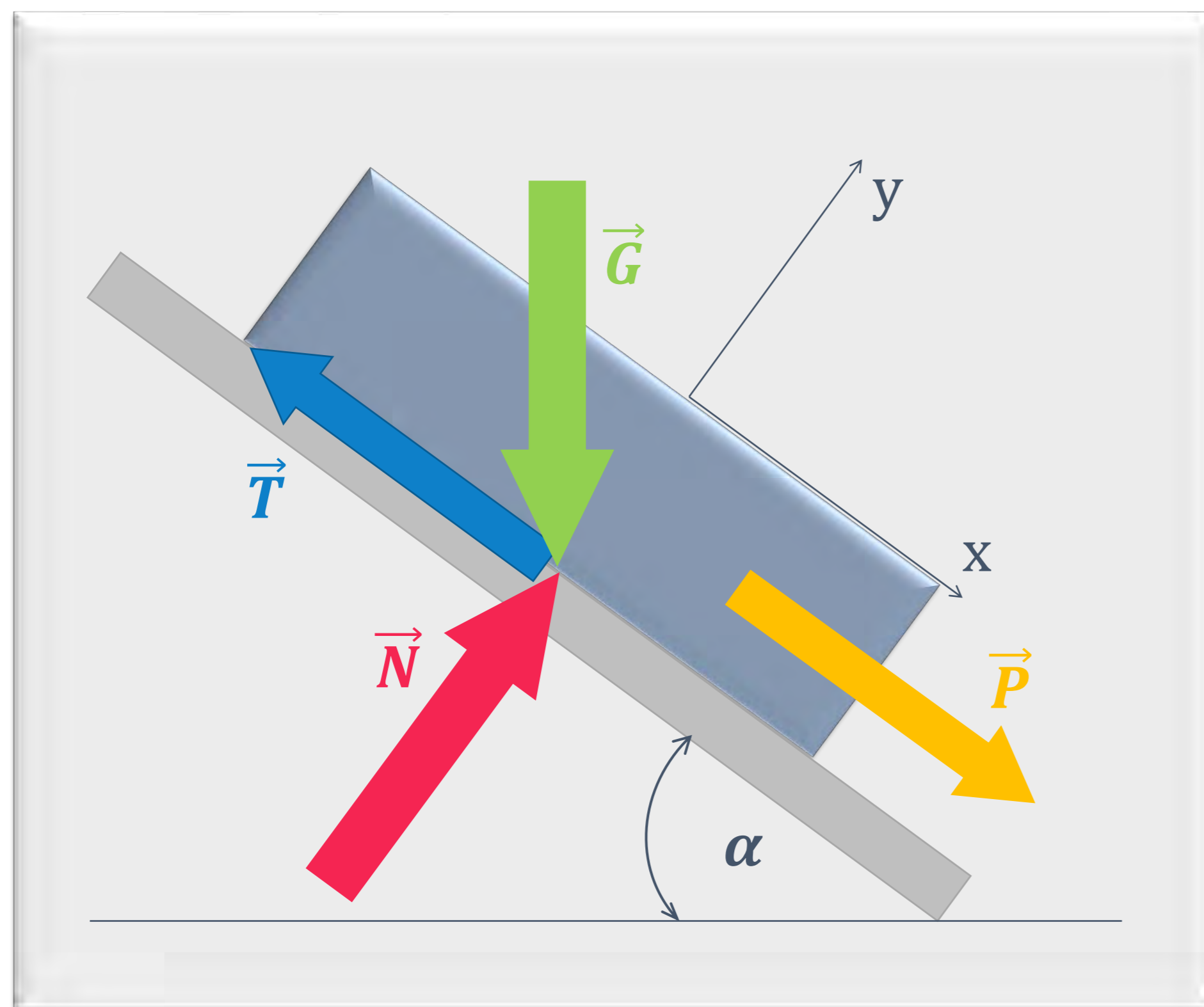
$$T = \mu \cdot N_Q = \mu G \sin \alpha$$



TARCIE

Zadanie

Wyznaczyć najmniejszy kąt nachylenia skoczni narciarskiej, przy którym skoczek o masie $m=50\text{ kg}$ zacznie zjeżdżać. Współczynnik tarcia nart jadących po śniegu $\mu=0,5$.



Dane

$$m = 50\text{ kg}; \mu = 0,5; g = 9,81\text{ m/s}^2$$

Obliczyć

α

$$\mu G \sin\alpha - P = G \cos\alpha$$

$$P = \mu G \sin\alpha - G \cos\alpha$$

$$P = G(\mu \sin\alpha - \cos\alpha)$$

$$P(\alpha) = P_{\min} \text{ gdy } (\mu \sin\alpha - \cos\alpha)' = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu \cos\alpha = -(\sin\alpha) \Rightarrow -(\operatorname{tg}\alpha) = \mu$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}\mu = \operatorname{arctg}(0,5) = 26^{\circ}36'$$

stąd

$$P = G(\mu \sin\alpha - \cos\alpha) = 490,5(0,5 \sin(26^{\circ}36') - \cos(26^{\circ}36'))$$