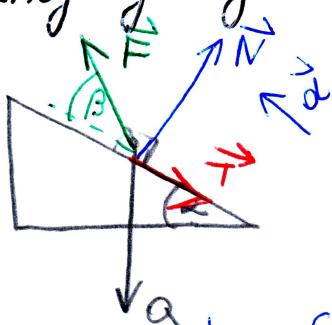


Przykład: Koń ciągnie ciężar pod górę. Znamy ciężar, kąt nachylenia, długość góry, współczynnik tarcia. ①
 Liczymy pracę każdej z sił i zmianę en. kinetycznej.

a) znajdujemy siły działające na ciężar.



nuk do góry.

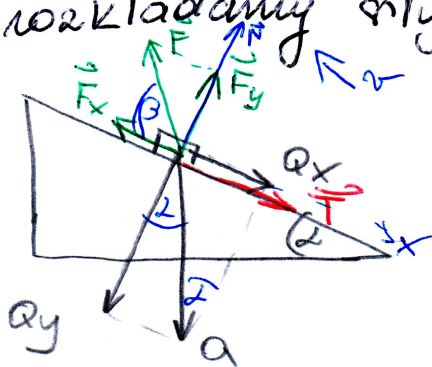
• jakim ruchem porusza się ciało?
 założymy, że jednostajnym, czyli $\sum \vec{F}_i = 0$

$$\vec{F} + \vec{N} + \vec{T} + \vec{Q} = 0$$

od razu wiadać, że $\Delta E_k = 0$, bo $v = \text{const}$
 co oznacza, że CAŁKOWITA PRACA wykonana
 nad ciałem również wynosi zero

$$W_{\text{TOT}} = \Delta E_k$$

b) rozkładamy siły:



$$\vec{Q} = \vec{Q}_x + \vec{Q}_y$$

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

równania ruchu względem ox i oy

$$\begin{cases} x: F_x = Q_x + T \\ y: N + F_y = Q_y \end{cases} \quad \text{I zas. dyn. Newtona}$$

$$F_x = F \cos \beta, \quad F_y = F \sin \beta$$

$$Q_x = Q \sin \alpha, \quad Q_y = Q \cos \alpha$$

$$\Rightarrow F \cos \beta = Q \sin \alpha + \mu (Q \cos \alpha - F \sin \beta)$$

$$T = N \cdot \mu = (Q_y - F_y) \mu$$

$$F \cos \beta + F \mu \sin \beta = Q (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$F = \frac{Q (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \beta + \mu \sin \beta}$$

c) Liczymy pracę każdej sił z pkt a)

$W_N = 0$, bo N jest $\perp$ do przemieszczenia

$$W_F = \vec{F} \cdot \vec{s} = F_{||} \cdot d = F_x \cdot d = F \cdot d \cos \beta =$$

$$\frac{Q (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \beta + \mu \sin \beta} \cdot d \cdot \cos \beta$$

$$W_Q = \vec{Q} \cdot \vec{d} = -Q_x \cdot d = -Q \sin \alpha \cdot d$$

↓
bo $\angle(\vec{Q}_x, \vec{d}) = \pi$

②

$$W_T = \vec{T} \cdot \vec{d} = -T \cdot d = -\mu d (Q \cos \alpha - F \sin \phi)$$

↓
bo $\angle(\vec{T}, \vec{d}) = \pi$

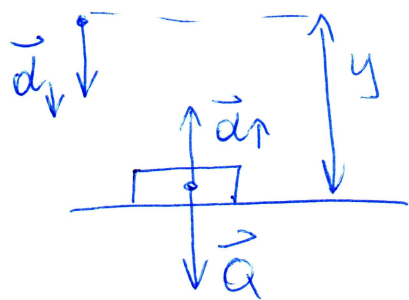
d) Liczymy całkowitą pracę wykonaną nad tym ciałem (sprawdzam mnożąc z pt. a)

$$\begin{aligned} W_{\text{Tot}} &= W_N + W_F + W_Q + W_T = \\ &= 0 + F \cdot d \cdot \cos \phi - Q \sin \alpha \cdot d - \mu d (Q \cos \alpha - F \sin \phi) = \\ &= Fd (\cos \phi + \mu \sin \phi) - Qd (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \\ &= \frac{Q (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \phi + \mu \sin \phi} \cdot d (\cos \phi + \mu \sin \phi) - Qd (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \\ &= \underline{\underline{0}} \quad \text{!} \end{aligned}$$

CO UMIEMY:

- siły na równi + I zas. dynamiki (zawsze zwracamy uwagę jakimi ruchem porusza się ciało)
 - liczyć pracę stałych sił:
 - ciężaru Q ; $W_Q = \vec{Q} \cdot \vec{d}$
 - tarcia T ; $W_T = \vec{T} \cdot \vec{d}$
 - dowolnej F ; $W_F = F \cdot \vec{d}$
 - normalnej N ; $W_N = 0$
 - gdy $v = \text{const}$ $W_{\text{Tot}} = 0$, to $W_{\text{Tot}} = \Delta E_K$
- } zwracamy uwagę, czy siły działają w kierunku ruchu ($W > 0$) czy w przeciwnym ($W < 0$)

- PRACA SIŁY ZACHOWANCZEJ wykonana po zamkniętej drodze (myli tam i spomocem) ③
np. prace siły ciężkości przy podnoszeniu i opuszczeniu książki na wysokość y :



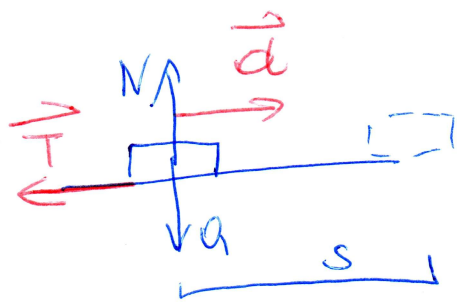
$$W_{\uparrow} = \vec{Q} \cdot \vec{d}_{\uparrow} = -Qy$$

$$W_{\downarrow} = \vec{Q} \cdot \vec{d}_{\downarrow} = Qy$$

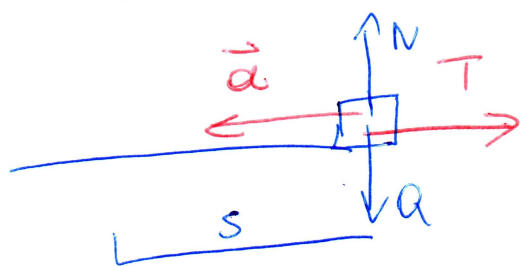
$$W_{\text{TOT}} = W_{\uparrow} + W_{\downarrow} = 0$$

praca siły zachowawczej po drodze zamkniętej = 0

- PRACA SIŁY NIEZACHOWANCZEJ po drodze zamkniętej
np. przesuwaniu książki, którą przeciera na drodze s



$$W_1 = \vec{T} \cdot \vec{d} = -T \cdot s$$



$$W_2 = \vec{T} \cdot \vec{d} = -T \cdot s$$

$$W_{\text{TOT}} = W_1 + W_2 = -2 \cdot T \cdot s$$

$$W_{\text{TOT, niezach}} \neq 0$$