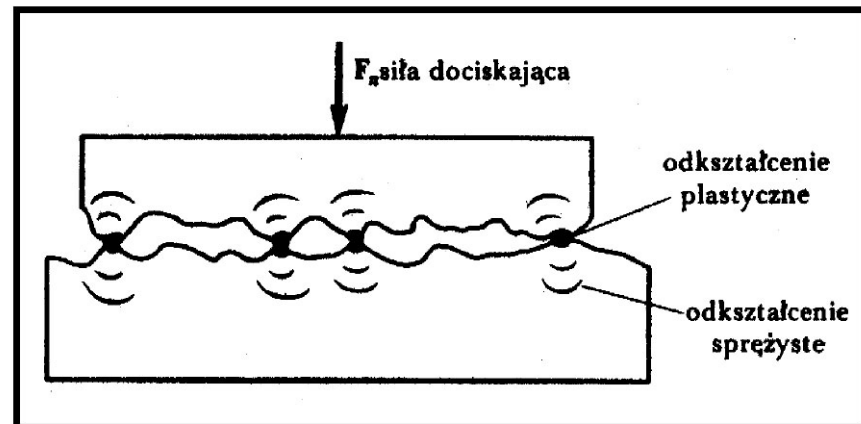


IV.4 Przykłady sił występujących w przyrodzie i przykłady rozwiązań równań ruchu

1. Siły tarcia: prawo Amontonsa- Coulomba, tarcie statyczne i kinetyczne, poślizgowe i toczne. Hamowanie lokomotywy.
2. Siły oporu w ośrodkach: lepkość, opór czołowy, liczba Reynoldsa, prawo Newtona. Prawo Stokesa, prędkość graniczna. Całkowanie równań ruchu dla sił zależnych tylko od prędkości.
3. Siły sprężystości. Ruch tłumionego oscylatora harmonicznego.
4. Siła Lorentza; ruch w zewnętrznych polach elektrycznym i magnetycznym, spektrometry magnetyczne i elektrostatyczne.
5. Siły centralne; siły powszechnego ciężenia i kulombowska.

IV.4.1 Siły tarcia

Siły tarcia mają naturę elektromagnetyczną;
spowodowane są oddziaływaniami e-m
stykających się drobin ciał.



Prawo Amontonsa- Coulomba

W XIV/XVIII wieku stwierdzono doświadczalnie, że tarcie poślizgowe pomiędzy dwiema powierzchniami ciał:

- nie zależy od wielkości przylegających powierzchni, a jedynie od siły nacisku, oraz od materiałów i stanu powierzchni trących,
- dla małych prędkości względnych, siła tarcia nie zależy od prędkości,
- kierunek siły tarcia jest przeciwny do wektora prędkości.

Te wyniki podsumowuje prawo Amontonsa- Coulomba (znane już Leonardo da Vinci):

$$\vec{F}_T = -\mu F_{\text{Nacisku}} \hat{v}$$

Tarcie statyczne i kinetyczne

Doświadczalnie trudniej jest ruszyć z miejsca ciężar, niż ciągnąć go, gdy jest już w ruchu.

Rozróżniamy tarcie statyczne i kinetyczne. Zachodzi nierówność między współczynnikami tarcia:

$$\mu_K < \mu_S$$

Materiały	μ_S	μ_K
Stal o stal	0.15	0.03- 0.09
Metal o drewno	0.5- 0.6	0.2- 0.5
Drewno o drewno	0.65	0.2- 0.4
Stal o lód	0.027	0.014
Opona o suchy beton	1.00	0.70
Opona o mokry beton	0.70	0.50

Tarcie toczne

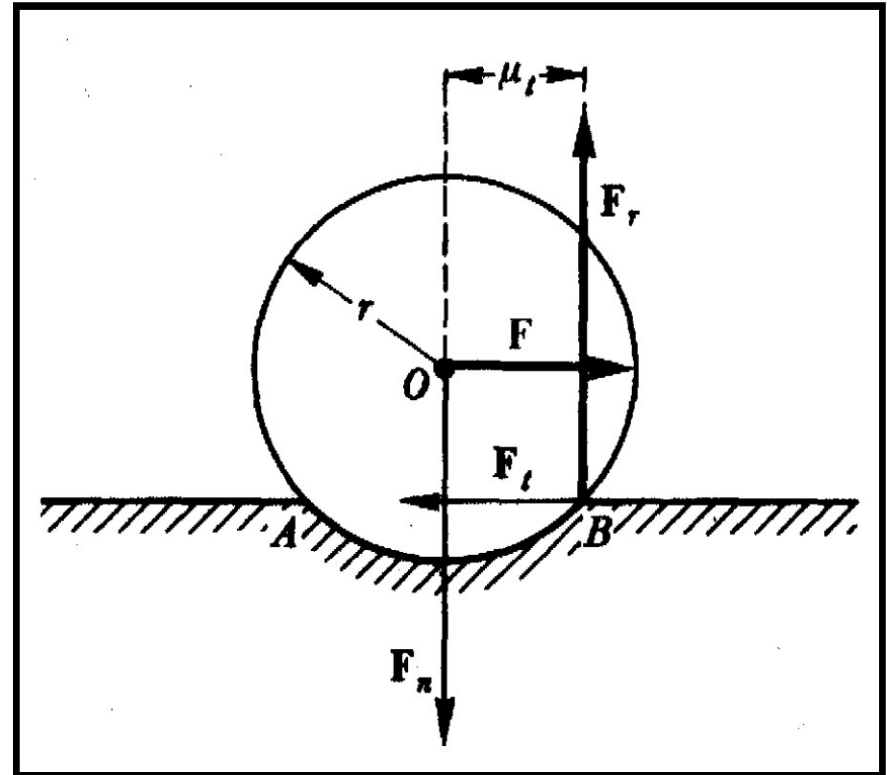
Walec lub kula o promieniu r toczące się po podłożu podlegają tarcia tocznemu opisywanemu prawem:

$$\vec{F}_{\text{Ttoczne}} = -\mu_{\text{toczne}} \frac{F_n}{r} \hat{v}$$

Współczynnik tarcia tocznego jest znacznie mniejszy (50 - 100 razy) od współczynnika tarcia poślizgowego między takimi samymi powierzchniami:

$$\mu_{\text{toczne}} \ll \mu_K$$

$$[\mu_{\text{toczne}}] = m$$



Przykład rozwiązania r. ruchu w obecności tarcia: koło napędowe lokomotywy

Masa pociągu- m , moment bezwładności koła napędowego- I , R - pozostałe siły oporu.

Moment obrotowy napędowego koła lokomotywy- M .

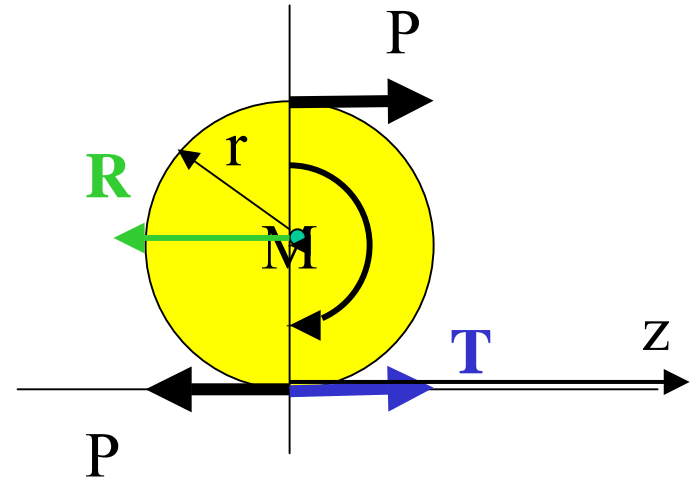
Siła działająca na obrzeżu koła- P .

Zachodzi z definicji momentu:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{P}$$

Równania ruchu:

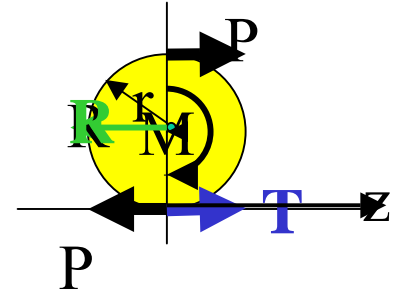
$$P = \frac{M}{r}$$



$$m\ddot{z} = T - R$$

$$I\ddot{\phi} = m_r r^2 \ddot{\phi} = M - Tr$$

cd..



Przekształcamy równanie ruchu obrotowego:

$$m_r r^2 \ddot{\phi} = M - T r$$

$$m_r r \ddot{z} = M - T r \quad \text{dostając}$$

$$m_r \ddot{z} = P - T$$

$$m \ddot{z} = T - R$$

$$m_r \ddot{z} = P - T$$

Dodając stronami:

$$(m + m_r) \ddot{z} = P - R$$

$$m \ddot{z} = \frac{m(P - R)}{m + m_r}$$

$$T = m \ddot{z} + R = R + \frac{m(P - R)}{m + m_r} = \frac{mP + m_r R}{m + m_r}$$

Pamiętamy, że

$$T < T_{\max} = \mu N$$