

# Siły niezachowawcze

## Tarcie

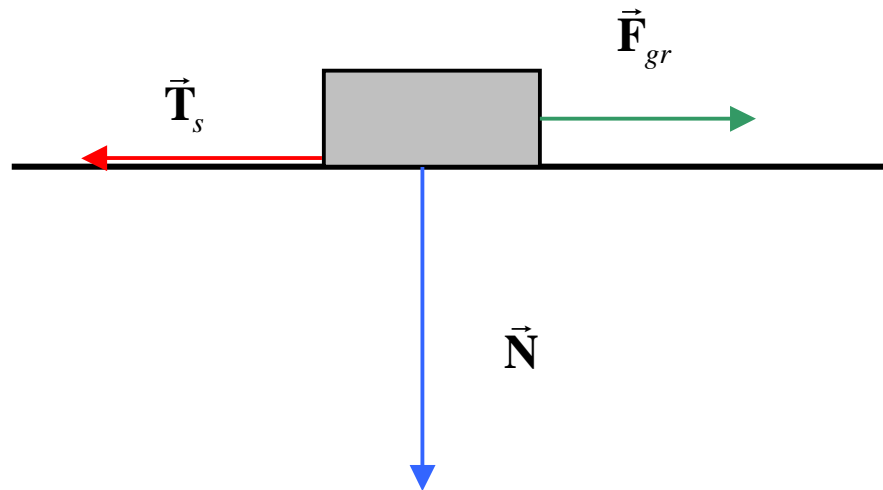
Praca przesuwania masy  $m$  po powierzchni z tarciem zależy od drogi i jest  $>0$  dla drogi zamkniętej.

1. tarcie statyczne: graniczna wartość siły, która powoduje zerwanie przyczepności z podłożem

$$T_s \equiv F_{gr}$$

$$\mu_s = \frac{F_{gr}}{N}$$

$$T_s = \mu_s N$$



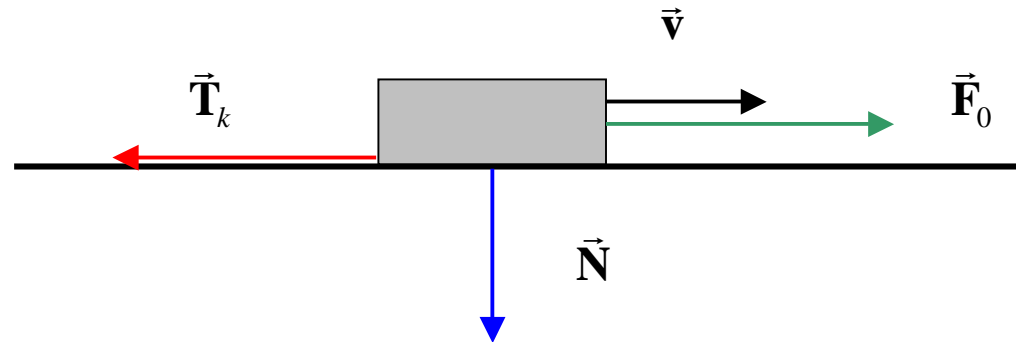
$\mu_s$  - współczynnik tarcia statycznego

## 2. tarcie kinetyczne: siła przeciwstawiająca się ruchowi, dopuszczająca ruch ze stałą prędkością

$$T_k \equiv F_0$$

$$\mu_k = \frac{F_0}{N}$$

$$T_k = \mu_k N$$



$\mu_k$  - współczynnik tarcia kinetycznego

### Prawa tarcia (Leonardo da Vinci, XV/XVI wiek; Coulomb, XVII wiek)

1. Siła tarcia jest niezależna od wielkości powierzchni zetknięcia
2. Siła tarcia jest proporcjonalna do siły normalnej

Dla niezbyt dużych prędkości ruchu  $\mu_k$  nie zależy od prędkości.

Ponadto zawsze  $\mu_s > \mu_k$ .

#### Wyjaśnienie tarcia:

- siły międzycząsteczkowe
- wzbudzenia drgań
- topnienie

# Grawitacja $\equiv$ ciężenie powszechne

## Prawo grawitacji Newtona

Każde dwa punkty materialne przyciągają się wzajemnie siłą wprost proporcjonalną do iloczynu ich mas, a odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$m_1, m_2$  - masy

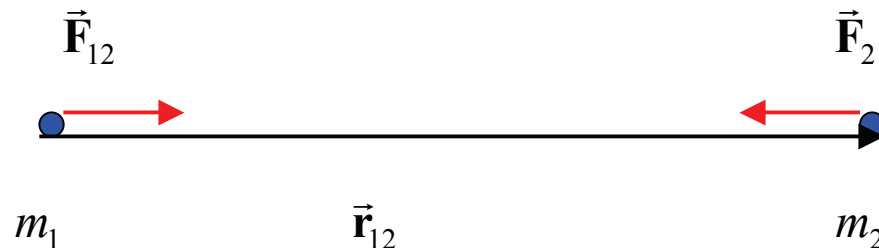
$r$  - odległość

$G$  - stała grawitacji,

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

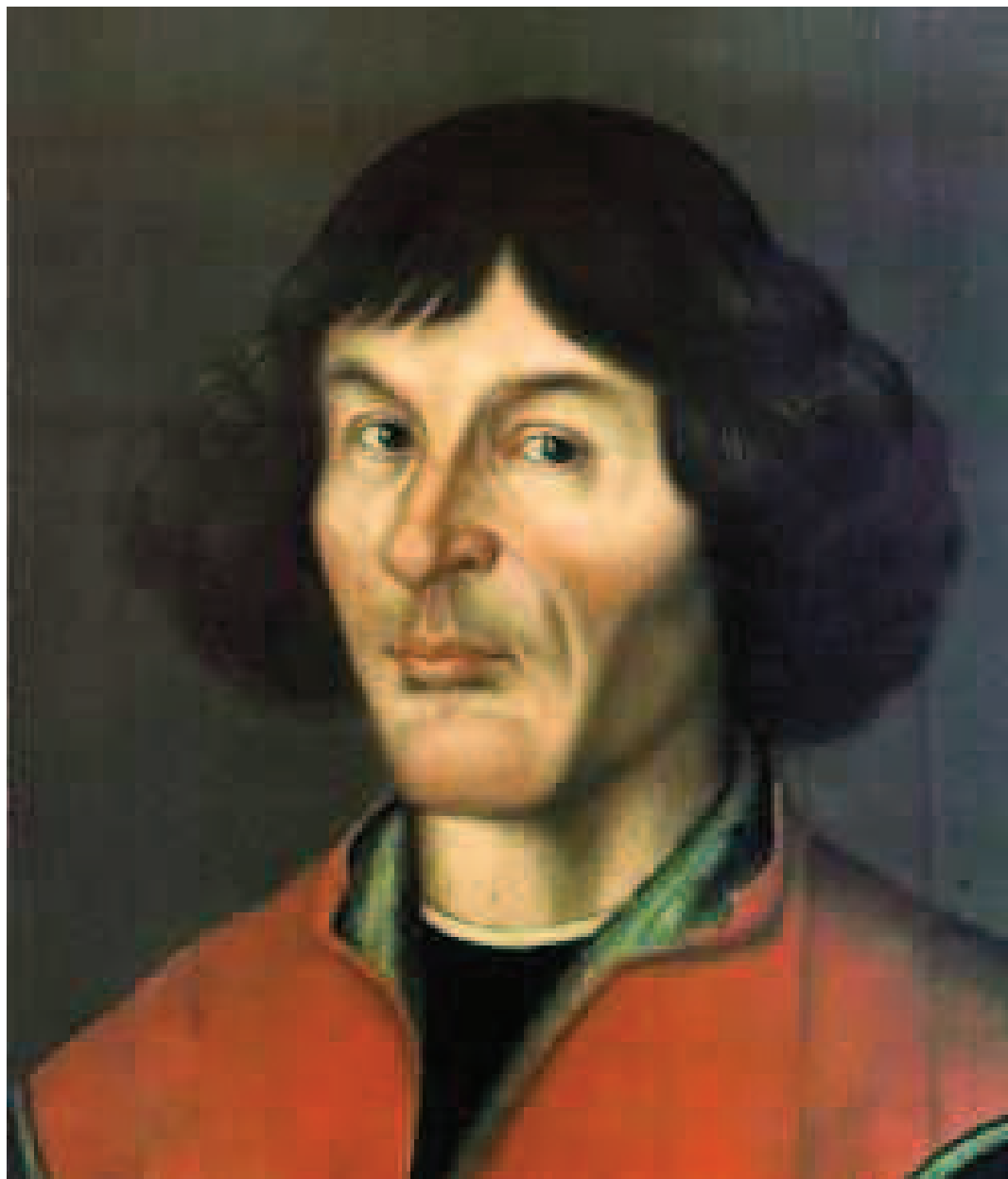
Zapis wektorowy:

$$\vec{\mathbf{F}}_{21} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \frac{\vec{\mathbf{r}}_{12}}{r_{12}}$$



$$\vec{\mathbf{F}}_{21} = -\vec{\mathbf{F}}_{12}$$

## Prawo grawitacji Newtona - próba zrozumienia mechaniki nieba.

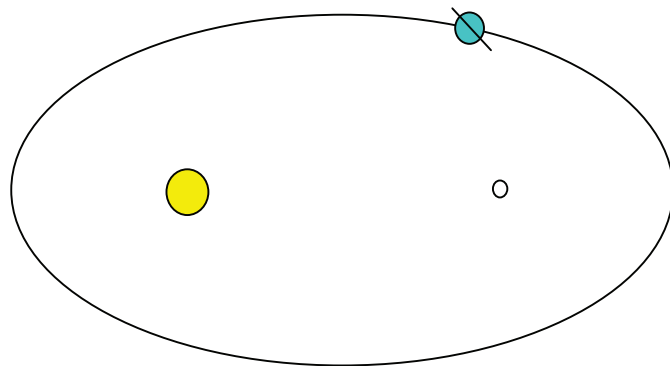


Mikołaj Kopernik (1473-1543) i jego koncepcja układu heliocentrycznego

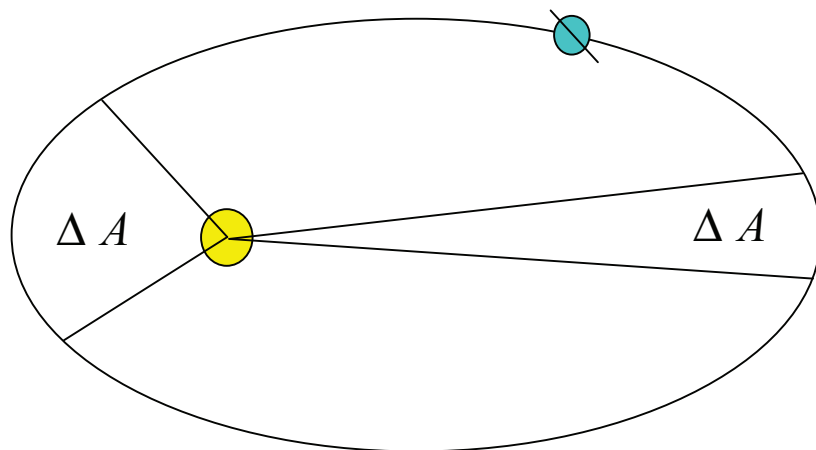
**Galileusz (1564-1642) – odkrył fazy Wenus (obserwacyjne potwierdzenie teorii heliocentrycznej 1610)**

**Johannes Kepler (1571-1630) – sformułował trzy proste prawa opisujące kinematykę ruchu planet:**

**Pierwsze prawo Keplera: planety w Układzie Słonecznym poruszają się po elipsach, w jednym z ognisk takiej elipsy znajduje się Słońce.**

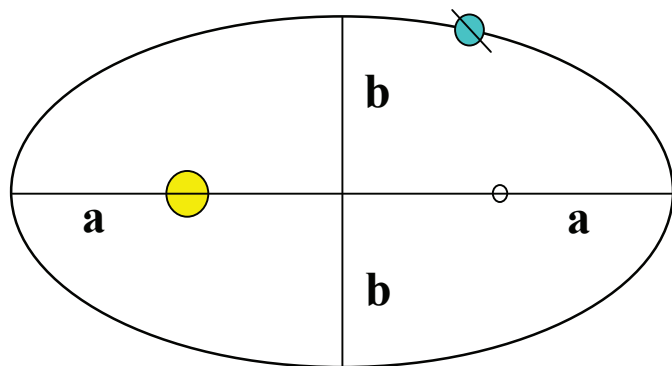


**Drugie prawo Keplera: prędkość polowa każdej planety jest stała, tzn. promień wodzący planety, poprowadzony od Słońca, zakreśla równe pola w równych odstępach czasu.**



$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{const}$$

**Trzecie prawo Keplera: stosunek kwadratu okresu obiegu planety wokół Słońca do sześcianu większej półosi jej orbity jest wielkością stałą**



$$\frac{T^2}{a^3} = \text{const}$$



**Johannes Kepler**  
sformułował te prawa w latach 1609-1619

**Można je wyprowadzić z zasad dynamiki Newtona i prawa grawitacji Newtona.**

# Jak (prawdopodobnie) Newton doszedł do swojego prawa grawitacji

przyspieszenie spadającego jabłka

$$a_j = g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

przyspieszenie Księżyca na orbicie wokół Ziemi

$$a_K = \frac{v^2}{r_{Z-K}} = \omega^2 r_{Z-K} = 0,0027 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\frac{a_j}{a_K} \approx 3600$$

$$\frac{r_{Z-K}}{r_{Z-j}} = \frac{384400 \text{ km}}{6400 \text{ km}} \approx 60$$

$$\left( \frac{r_{Z-K}}{r_{Z-j}} \right)^2 = 3600$$

**wniosek:**

$$a \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow F \propto \frac{1}{r^2}$$

**Uwaga:** prawo grawitacji Newtona stosuje się dokładnie dla kul. Dla dowolnych brył – całkowanie.