

Impuls síly

Impuls síly:
$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

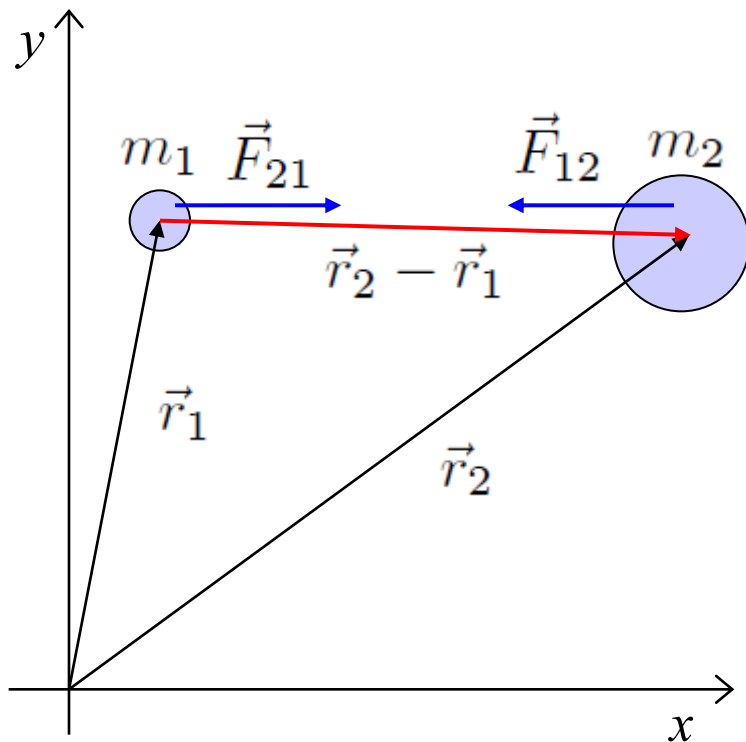
- pokud je síla konstatní $\vec{I} = \vec{F} \Delta t$

- souvislost s hybností: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \Rightarrow \vec{I} = \Delta\vec{p}$

Gravitační zákon

Isaac Newton 1687

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^2} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$$



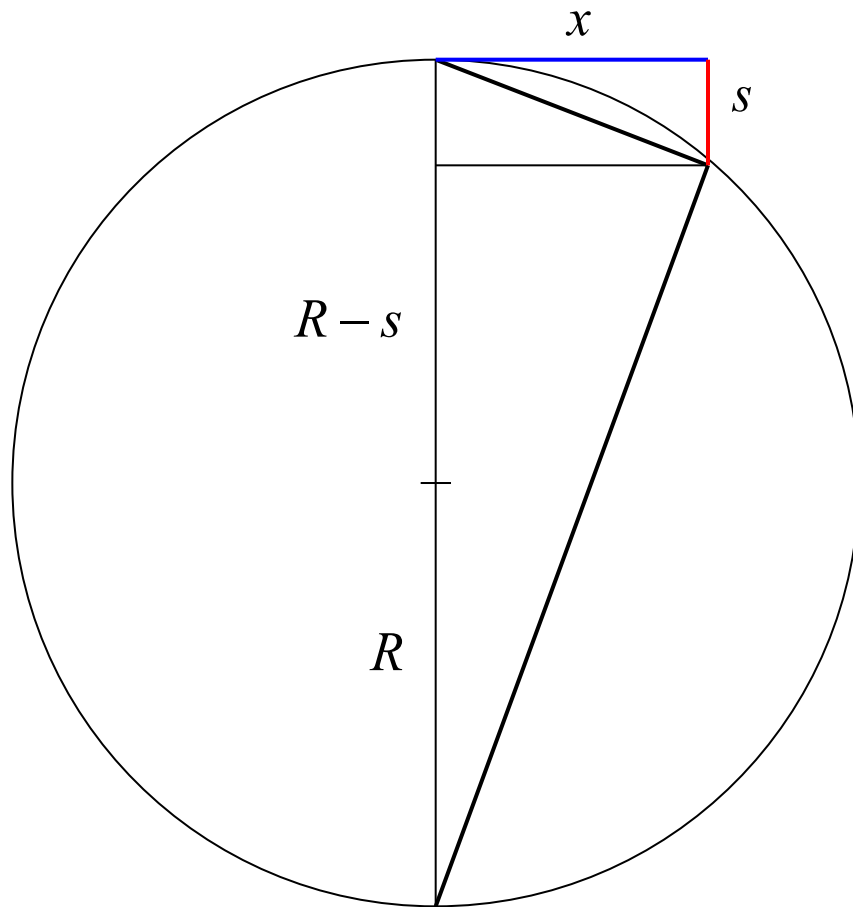
velikost gravitační síly

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

$$r \equiv |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$$

$$G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$

Gravitační zákon



$$\frac{x}{s} = \frac{2R - s}{x}$$

$$x = \sqrt{2Rs}$$

$$R = 6378 \text{ km}$$

$$s = \frac{1}{2}g = 4.9 \text{ m}$$

$$v = 7.9 \text{ km/s}$$

1. kosmická rychlost

Gravitační zákon

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

těleso na Zemi:

poloměr Země $R = 6378$ km

za 1 s pád o $s = 4.9$ m

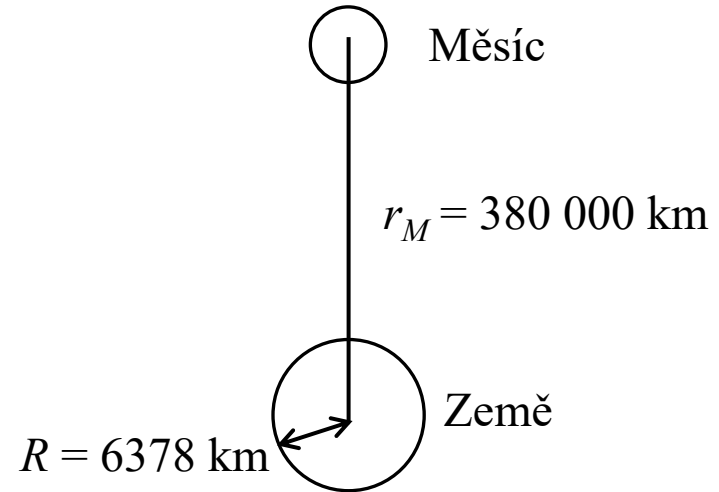
Měsíc:

$r_M = 380\,000$ km, $T_M = 27$ dní \rightarrow Měsíc se pohybuje okolo Země rychlostí $v_M = 2\pi r_M / T_M = 1.02$ km/s

za 1 s spadne Měsíc na Zemi o $s_M = v_M^2 / 2r_M \approx 1.4$ mm

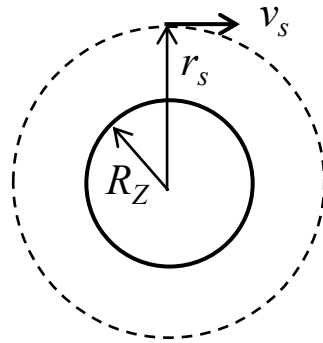
gravitační síla klesá s kvadrátem vzdálenosti:

za 1 s pád o $s (R/r_M)^2 = 4.9 (6378 / 380\,000)^2 \approx 1.4$ mm



Gravitační zákon

Geostacionární orbit:



$$v_s = \omega_Z r_s = \frac{2\pi}{T_Z} r_s$$

$$v_s = \sqrt{2r_s \frac{1}{2} g(r_s)} = \sqrt{r_s \left(\frac{R_Z}{r_s} \right)^2 g} = \sqrt{\frac{R_Z^2}{r_s} g}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T_Z} r_s \right)^2 = \frac{R_Z^2 g}{r_s}$$

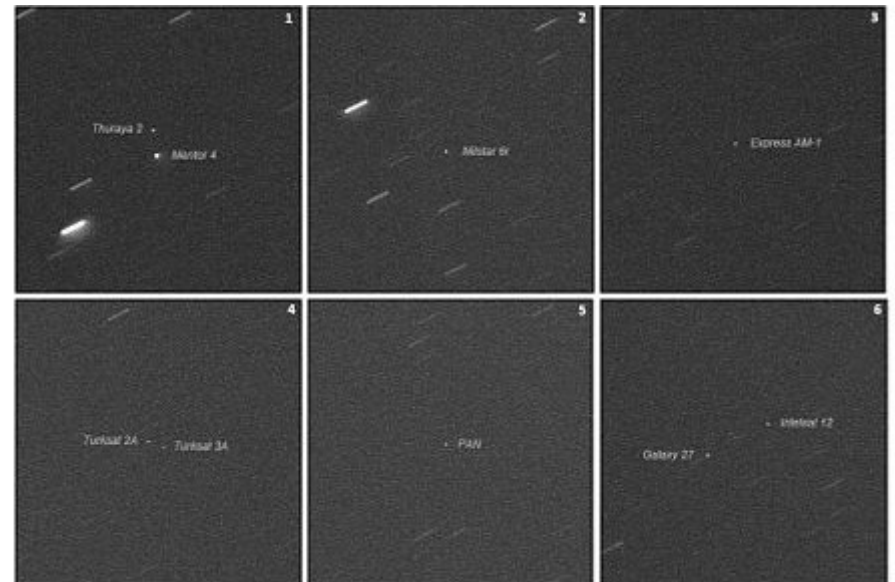
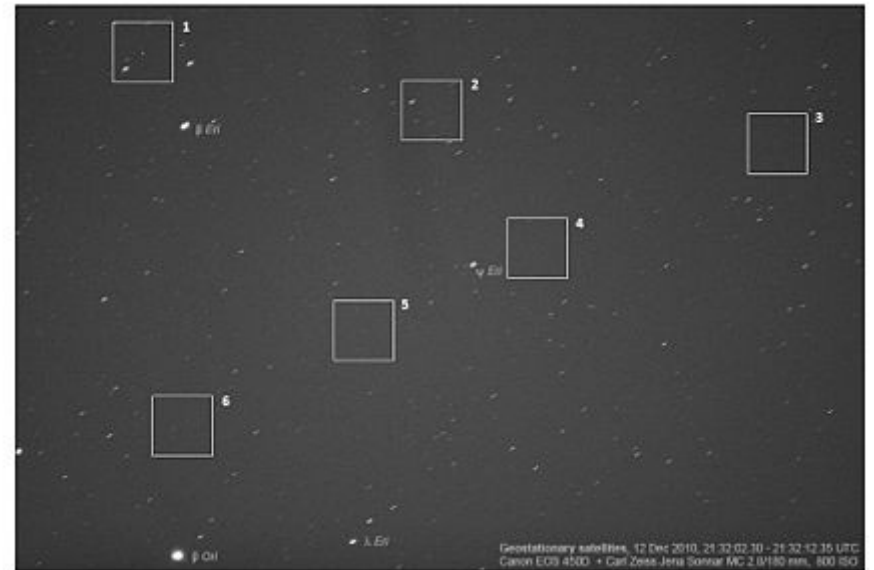
$$r_s = \sqrt[3]{\left(\frac{R_Z T_Z}{2\pi} \right)^2 g}$$

$$R_Z = 6378 \text{ km} \quad T_Z = 24 \text{ h} \quad g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$$

úhlová rychlost otáčení Země: $\omega_Z = 7.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

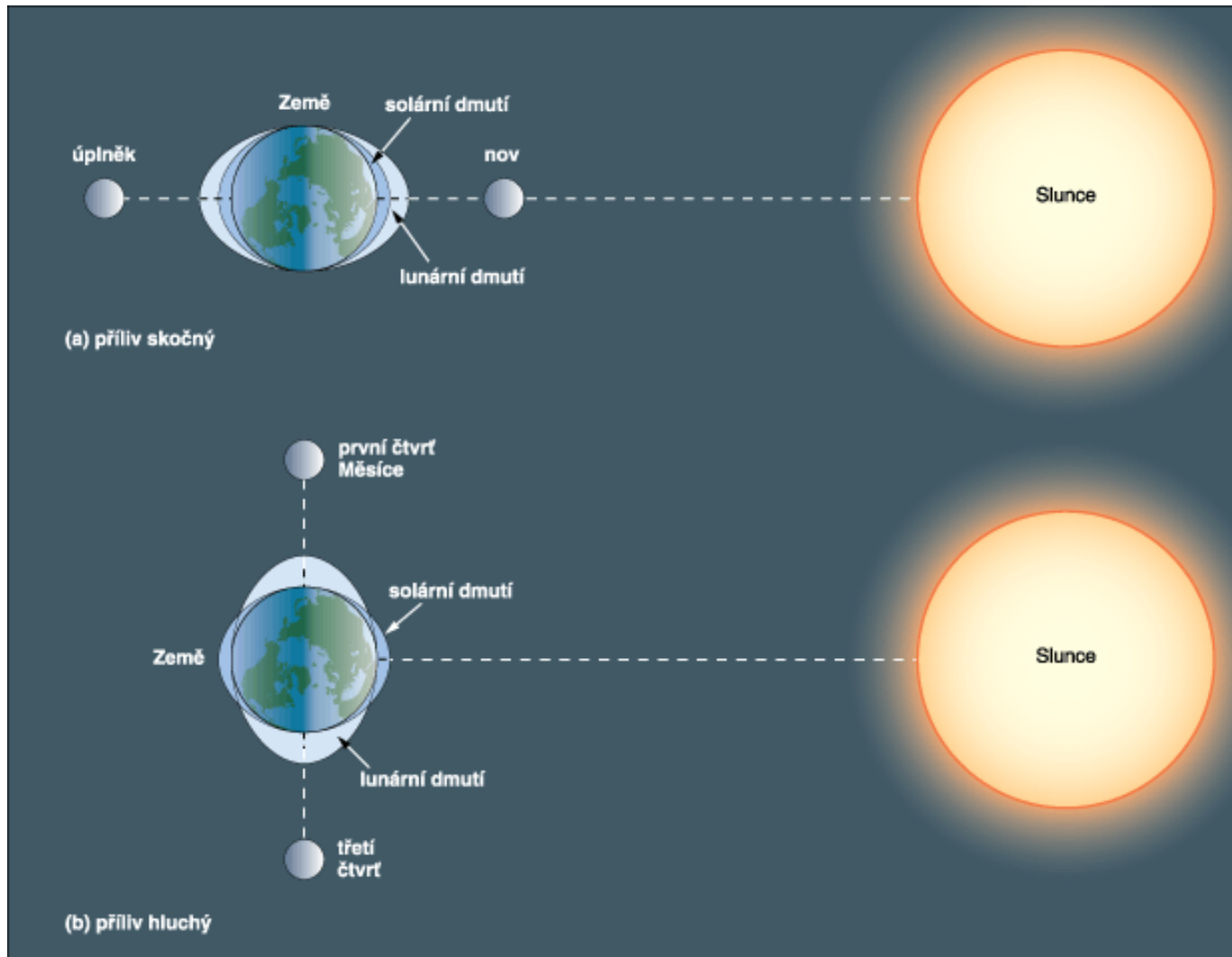
$$r_s = 42300 \text{ km}$$

výška nad Zemí: $\approx 35900 \text{ km}$



Gravitační zákon

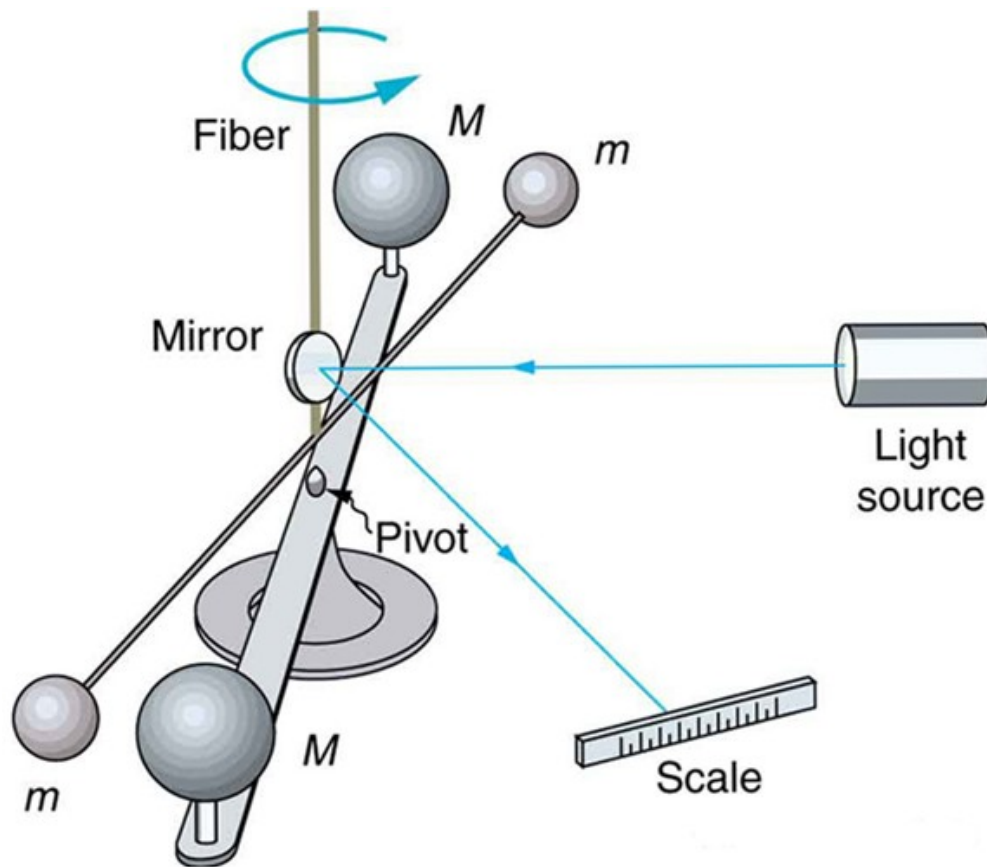
Příliv a odliv



Cavendishův experiment

Henry Cavendish 1798

Vážení Země



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

$$G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$

$$mg = G \frac{m M_Z}{R_Z^2}$$

$$M_Z = \frac{g R_Z^2}{G}$$

$$M_Z = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

Cavendishův experiment

Henry Cavendish 1798

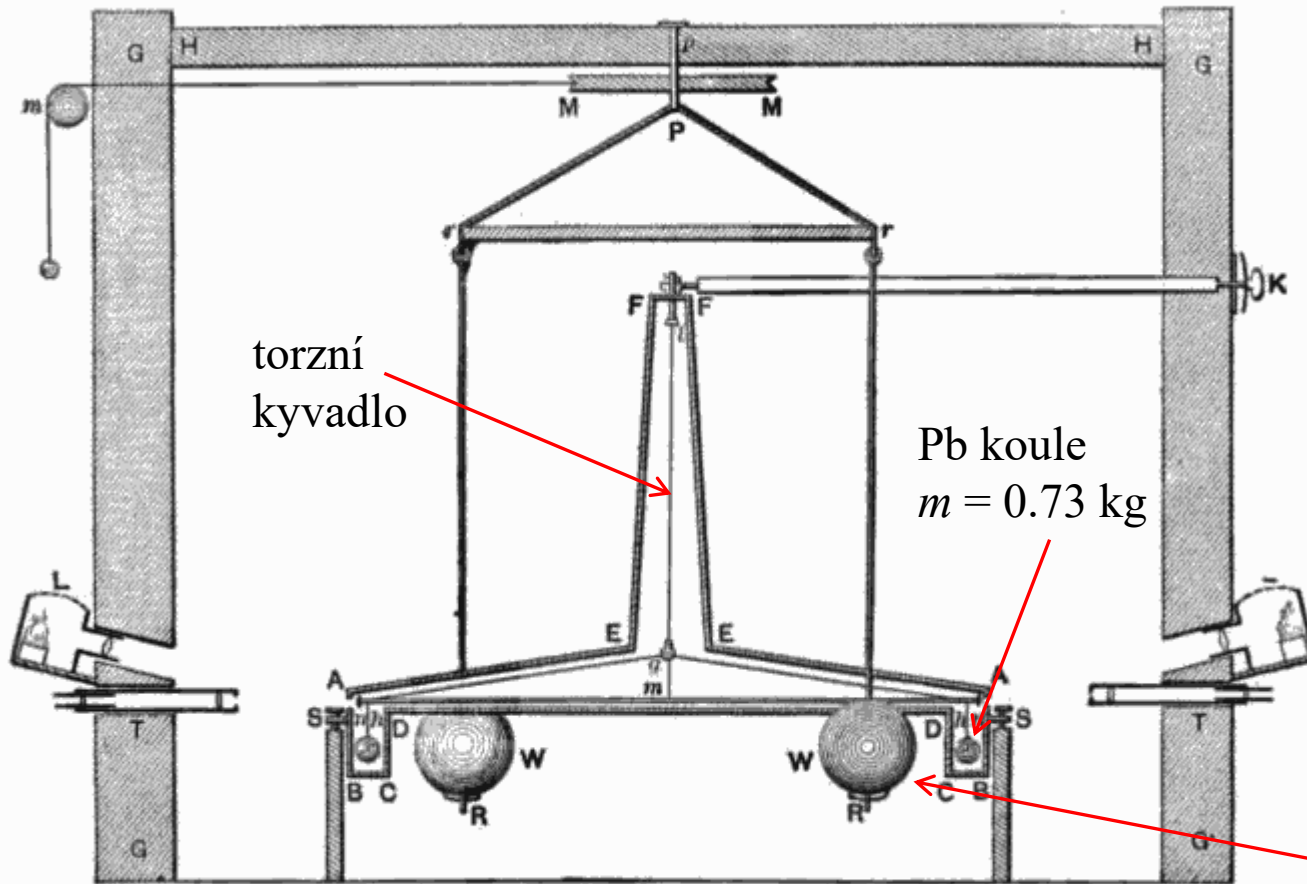
Vážení Země

Cavendishův výsledek

$$G = 6.74 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$

současná hodnota

$$G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$



torzní
kyvadlo

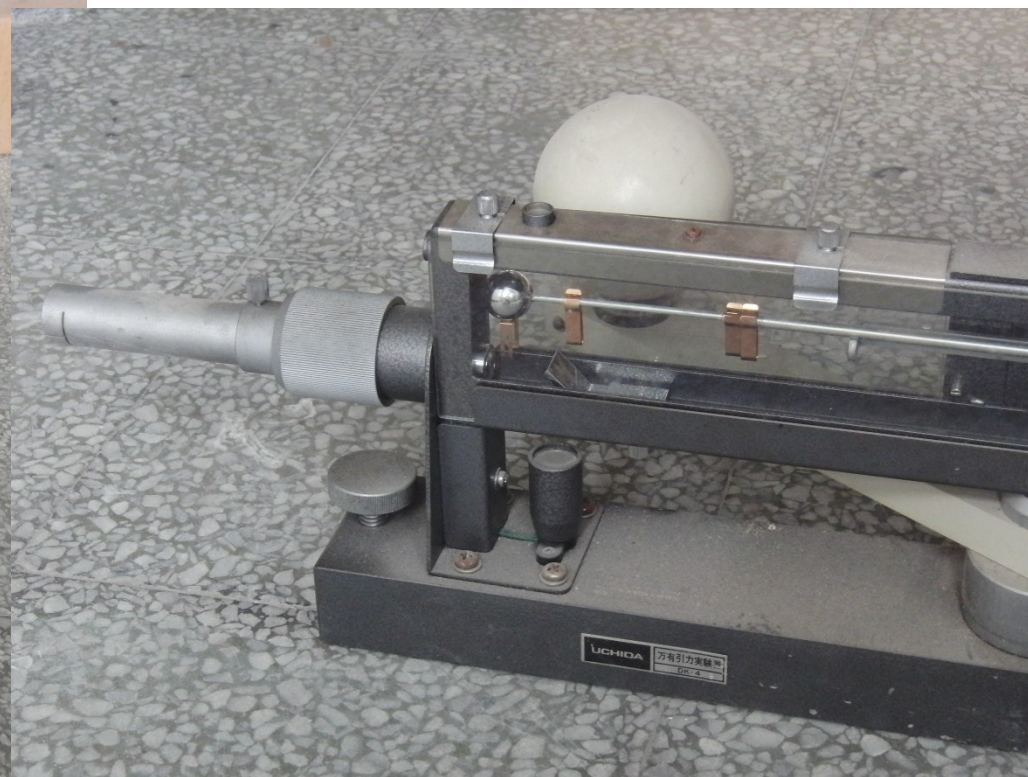
Pb koule
 $m = 0.73 \text{ kg}$

Pb koule $m = 158 \text{ kg}$

Fig. 1

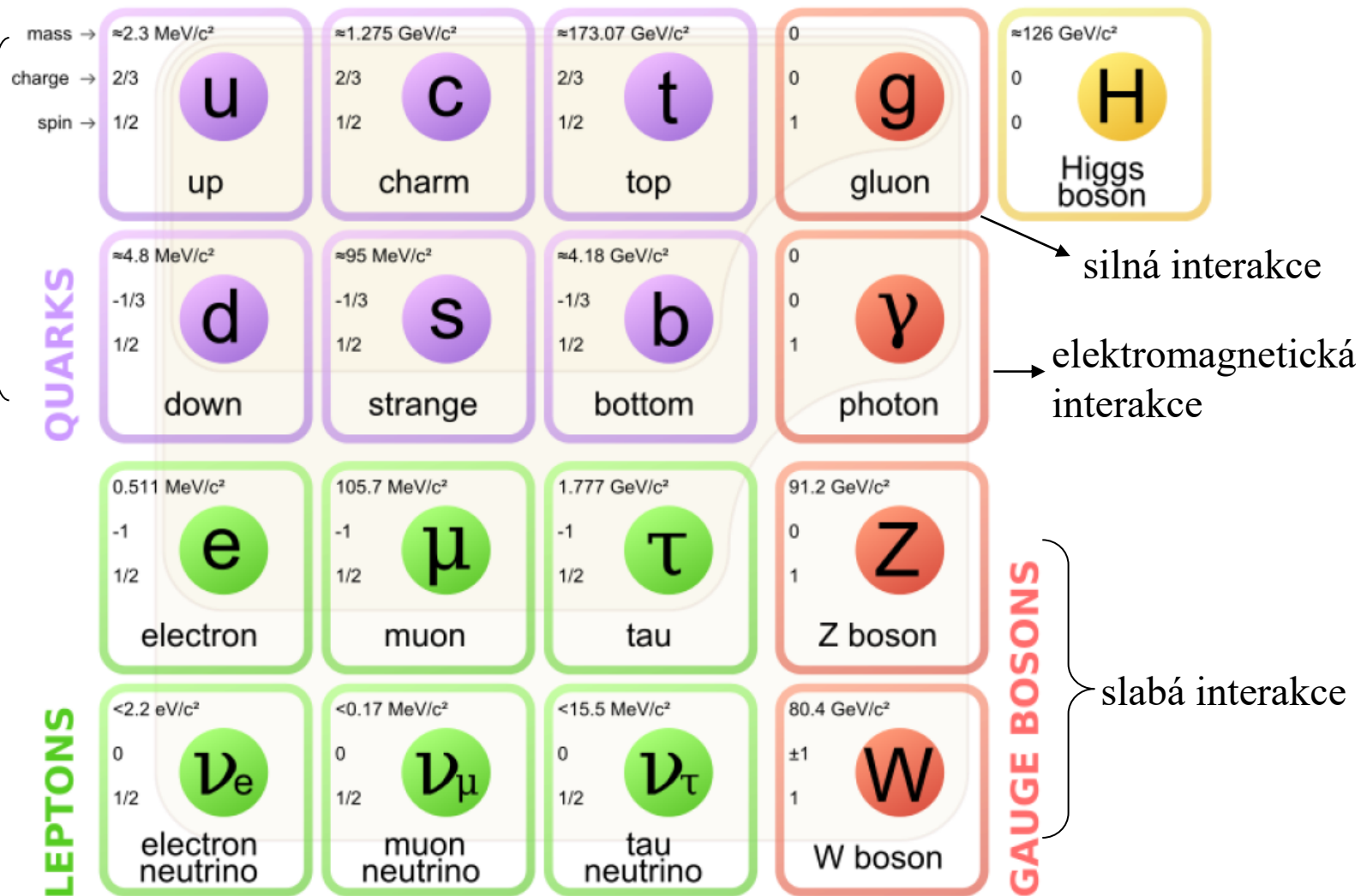
Cavendishův experiment

Vážení Země



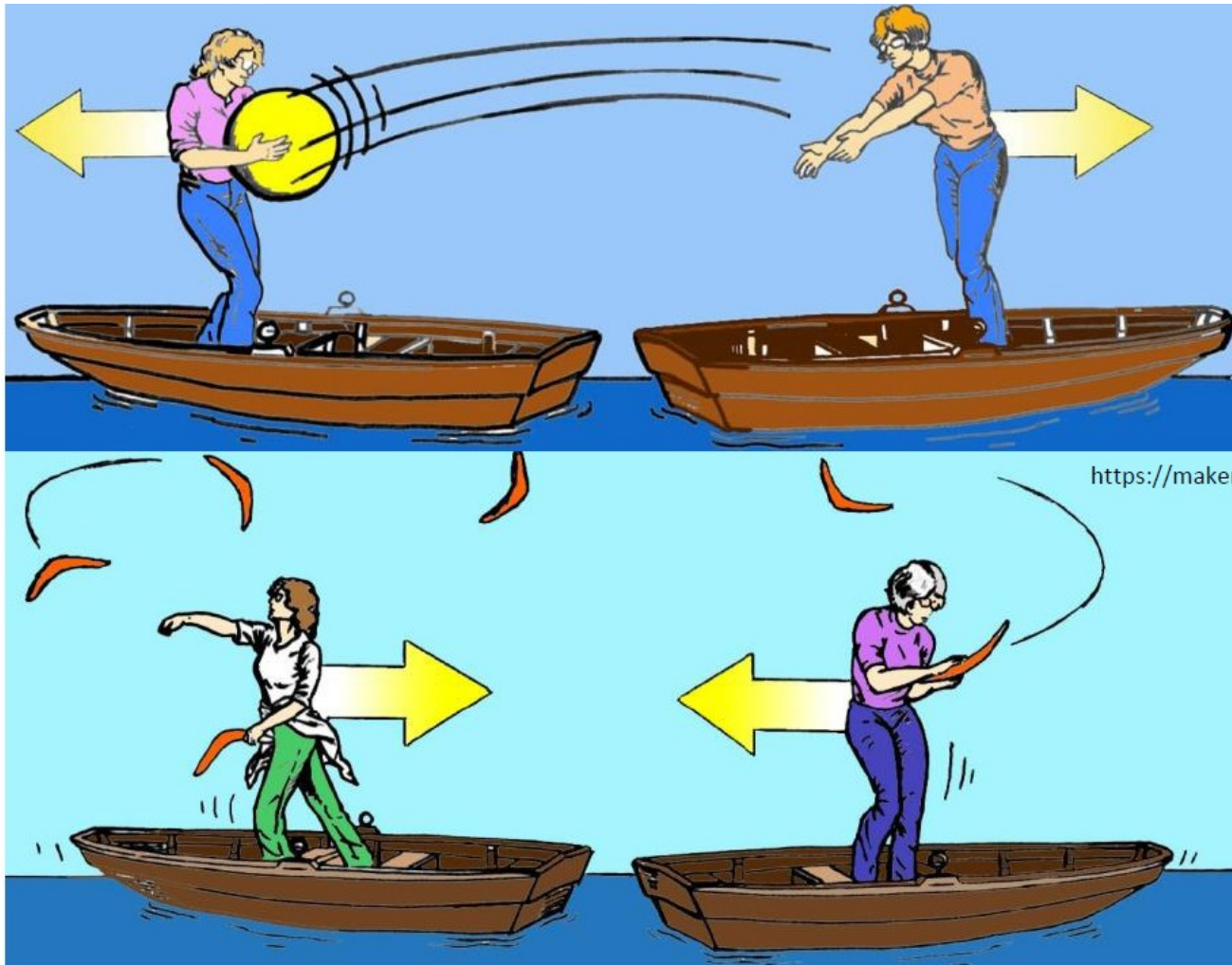
Elementární částice (standardní model)

tvoří hadrony
protony, neutrony,
mesony, baryony



Elementární částice (standardní model)

Síly jsou způsobeny výměnou částic

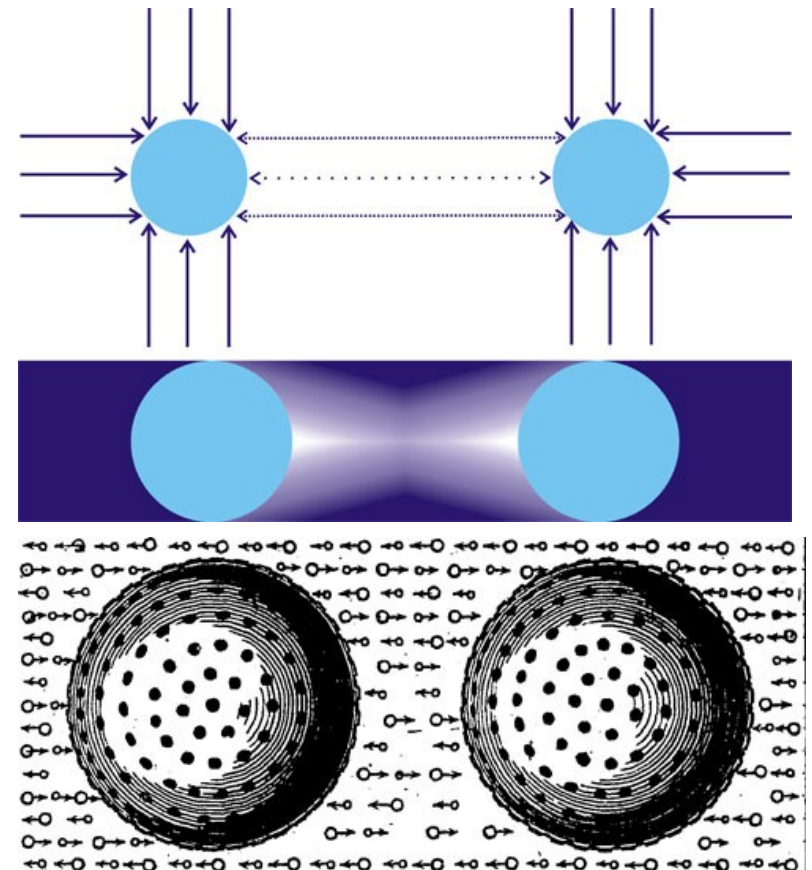
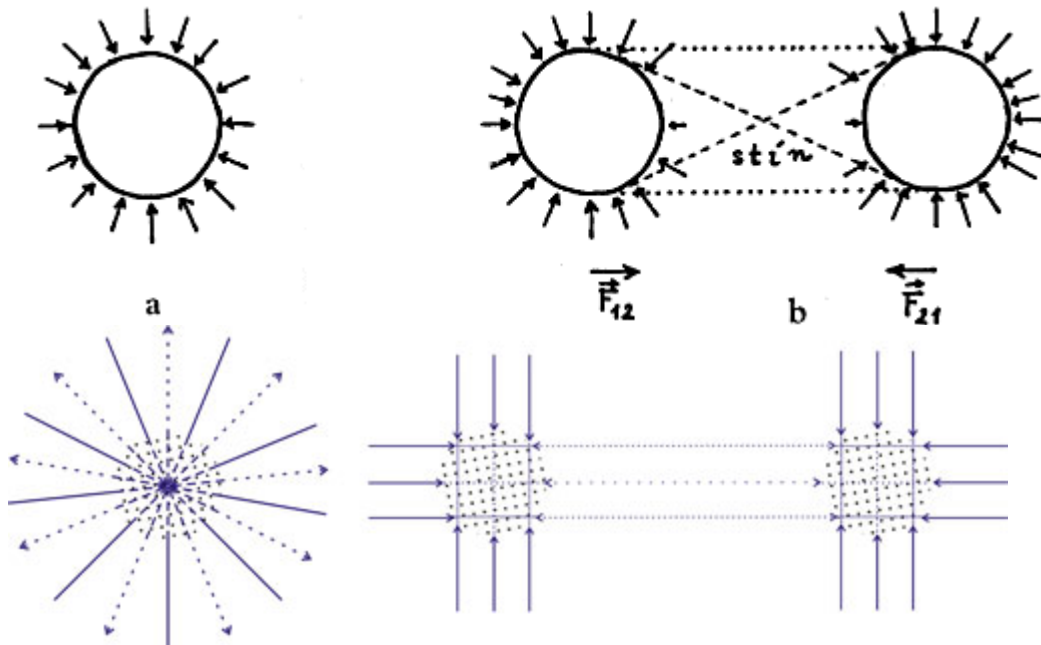


Gravitace



Nicolas Fatio 1690

Georges-Louis Le Sage 1782



Gravitace

gravitační zákon: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ $G = 6.67408 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$

Coulombův zákon: $F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$

síla působící mezi dvěma elektrony vzdálenými 1m:

$$m = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$F_g = 5.5 \times 10^{-71} \text{ N}$$

$$F_e = 2.3 \times 10^{-28} \text{ N}$$

$$\frac{F_e}{F_g} = 4.2 \times 10^{42}$$

stáří vesmíru je 2×10^{10} let $\approx 10^{18}$ s

světlo proletí protonem za 10^{-24} s

stáří vesmíru v přirozených jednotkách

$$10^{18} / 10^{-24} = 10^{42}$$