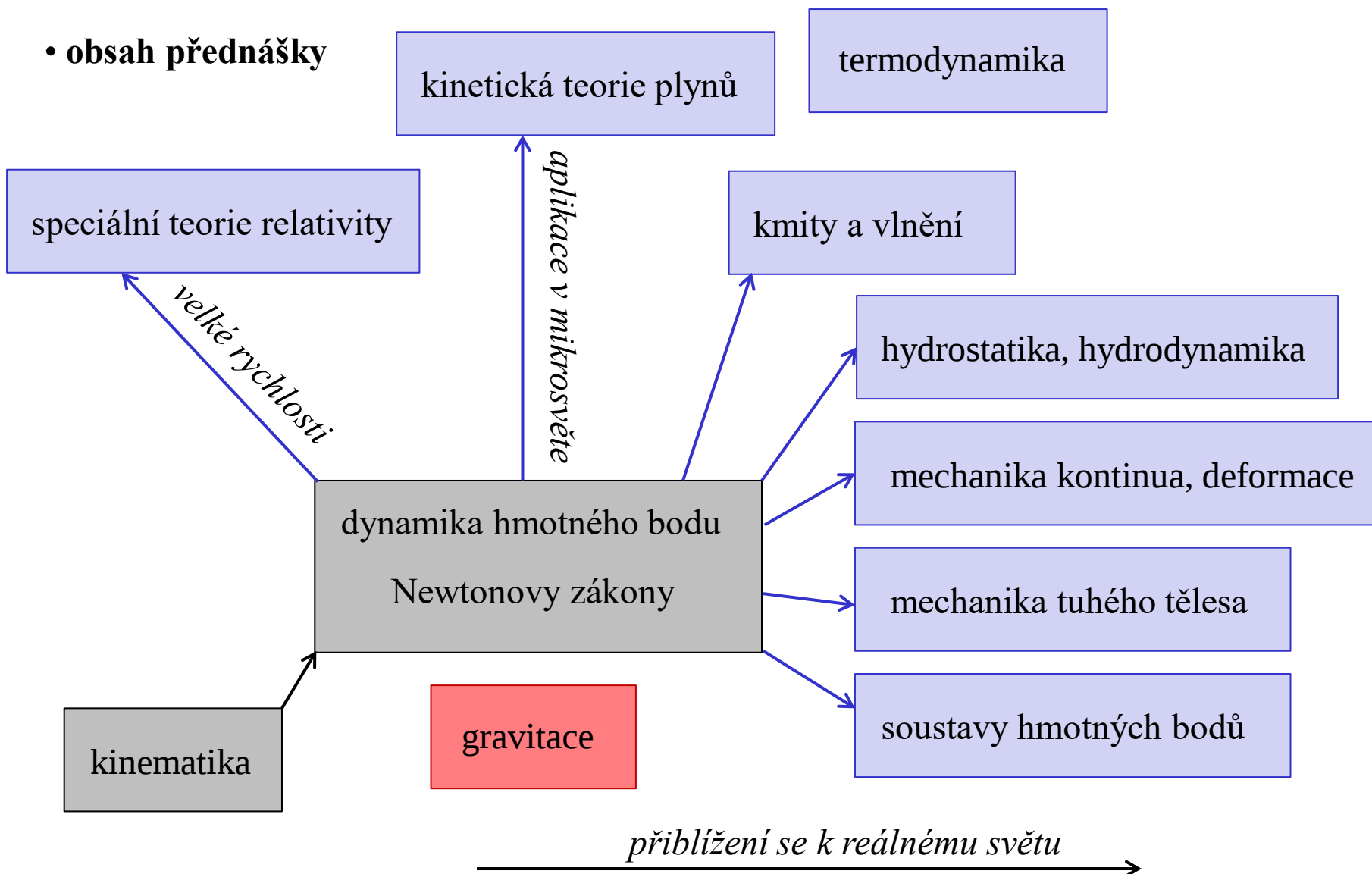


Cestovní mapa – co vás čeká?

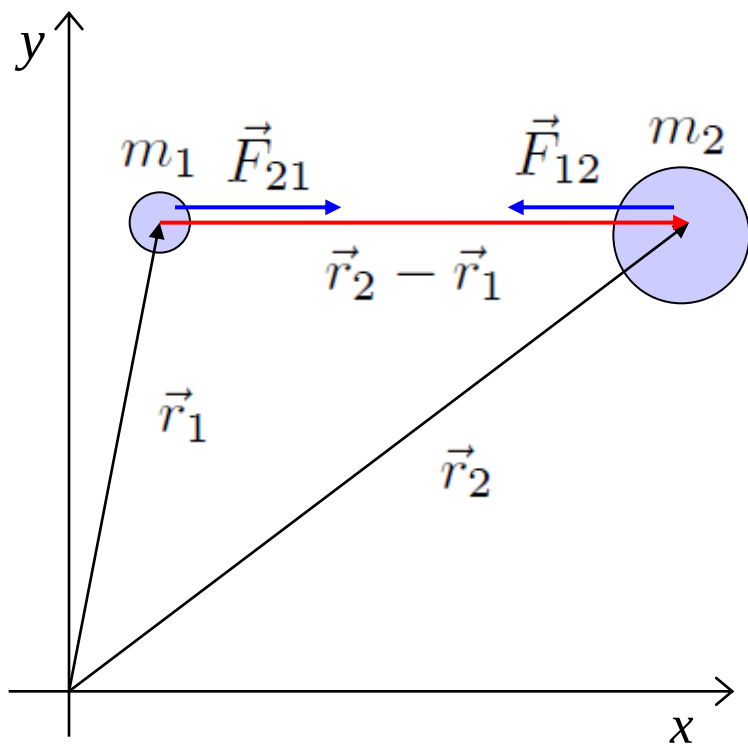
- obsah přednášky



Gravitační zákon

Isaac Newton 1687

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



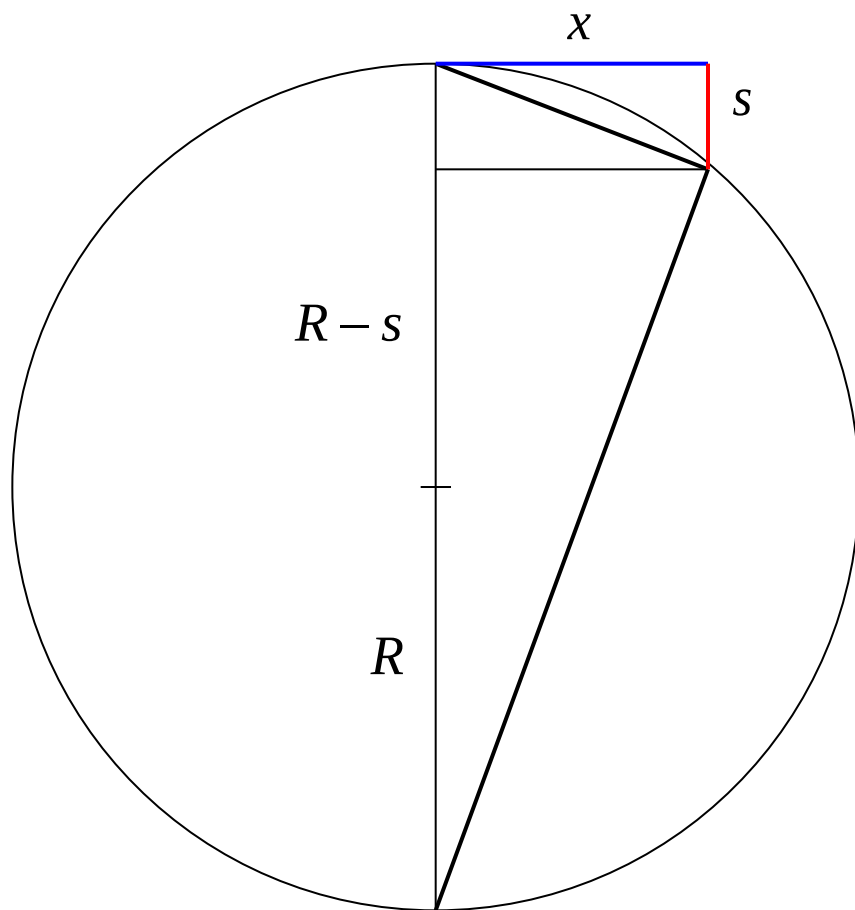
velikost gravitační síly

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

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

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

Gravitační zákon



x – vzdálenost, kterou předmět uletí za 1 s vodorovně

$s = g/2 \approx 4.9$ m vzdálenost, o kterou předmět spadne za 1 s

$R = 6378$ km vpoloměr Země

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

$$R = 6378 \text{ km} \quad s = 4.9 \text{ m}$$

$s \ll R$ a můžeme tedy s vzhledem k R zanedbat

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

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad t = 1 \text{ s}$$

$$s = 4.9 \text{ m}$$

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

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

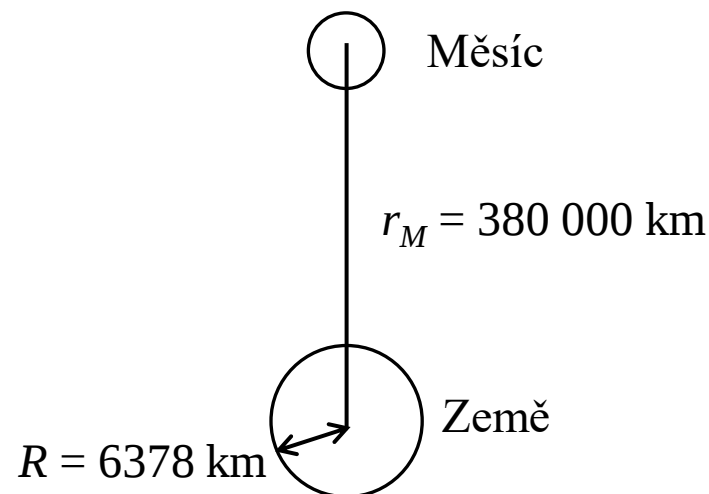
Měsíc:

$r_M = 380\,000$ 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

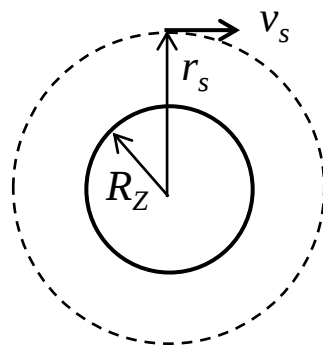
gravitační síla klesá s kvadrátem vzdálenosti:

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



Gravitační zákon

Geostacionární orbit:



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

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

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

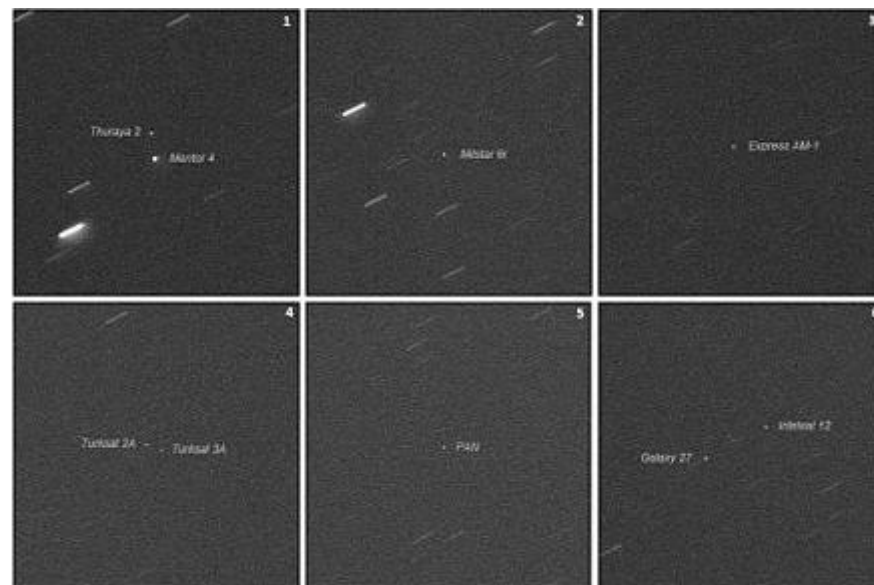
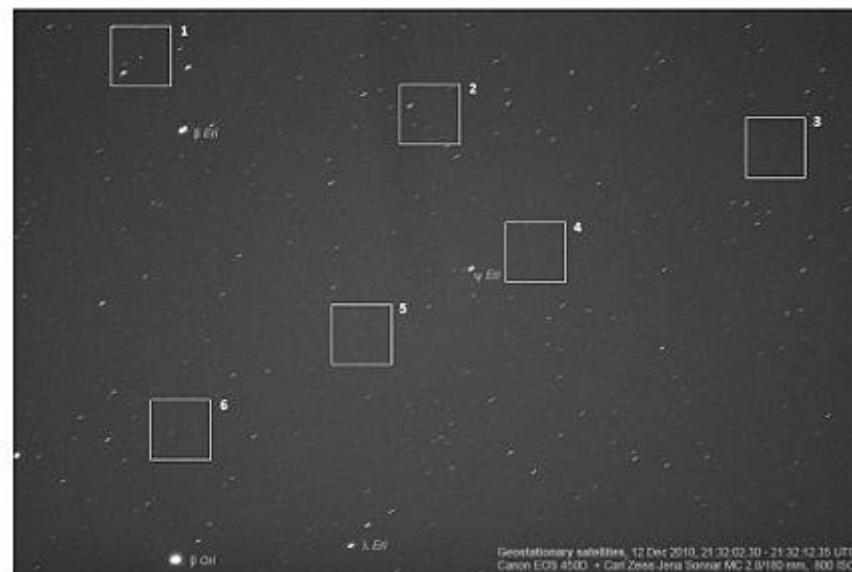
$$r_s = \sqrt[3]{\left(\frac{R_Z T_Z}{2\pi} \right)^2 g}$$

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

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

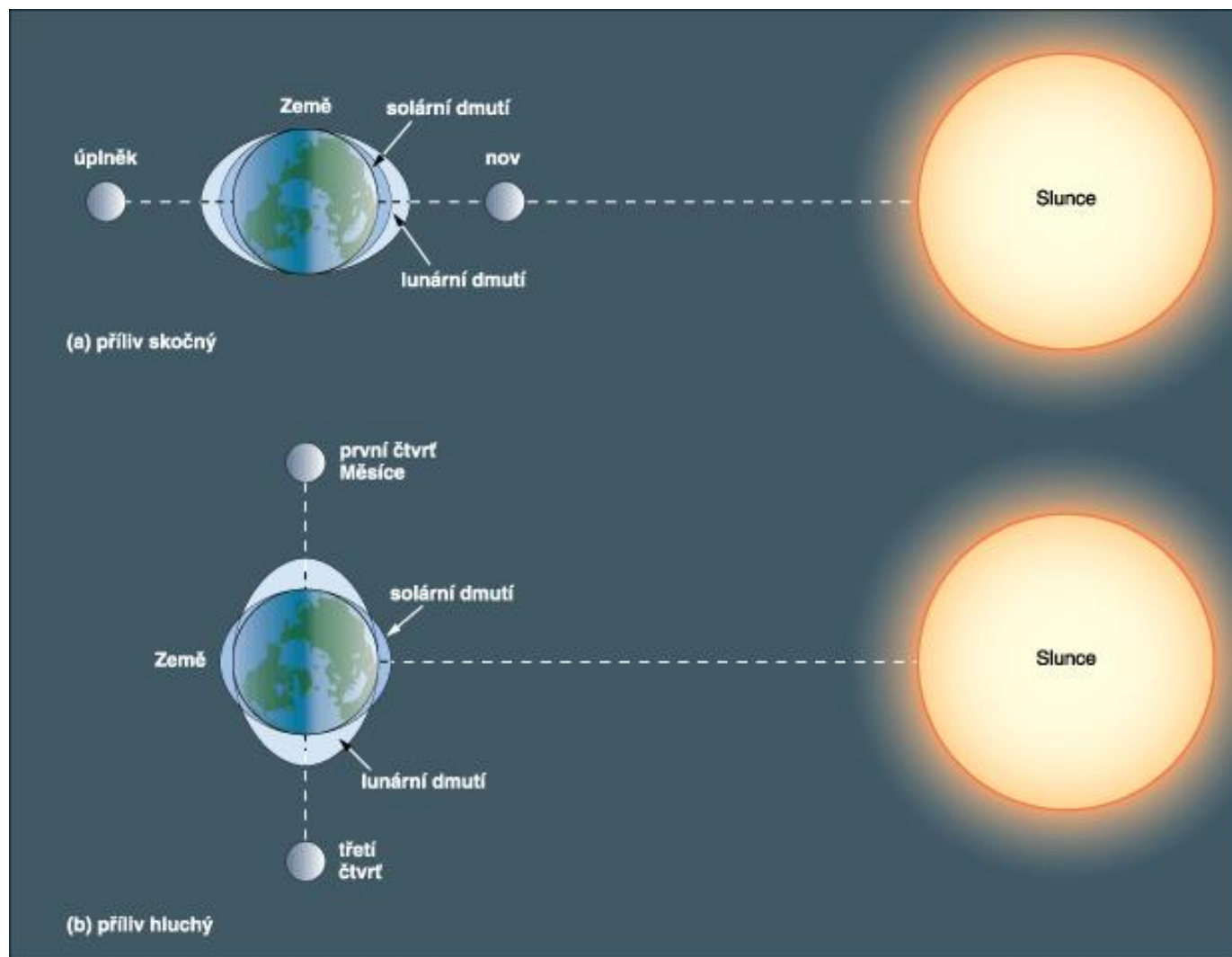
$$r_s = 42300 \text{ km}$$

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



Gravitační zákon

Příliv a odliv



Cavendishův experiment

Henry Cavendish 1798

Vážení Země

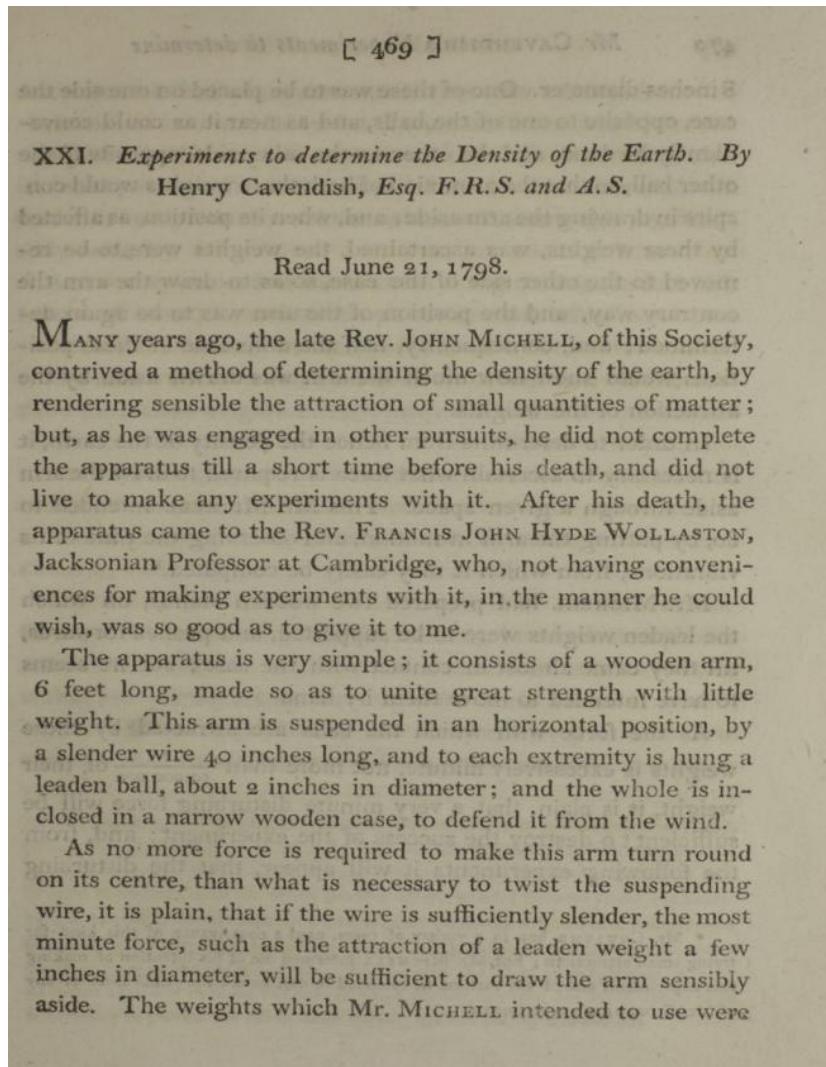
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6.67430(15) \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$

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

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

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



Phil. Trans. Royal. Soc. 88, 469-526 (1798)

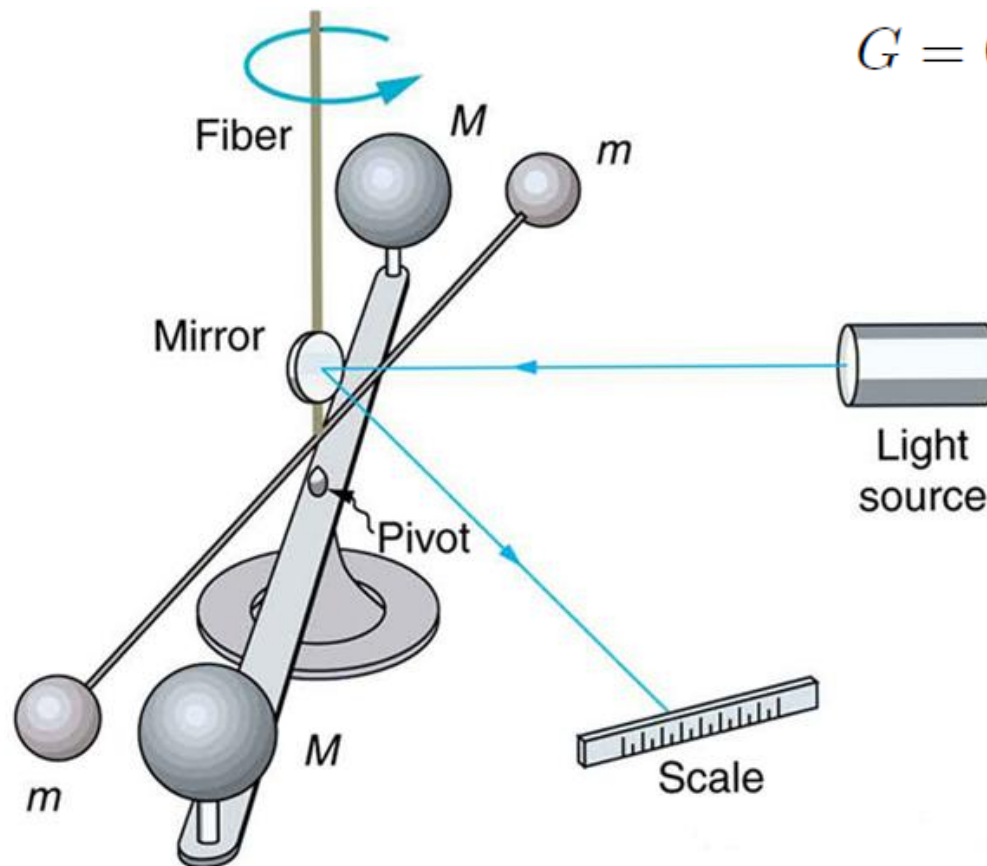
Cavendishův experiment

Henry Cavendish 1798

Vážení Země

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

$$G = 6.67430(15) \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$



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

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

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

Cavendishův experiment

Henry Cavendish 1798

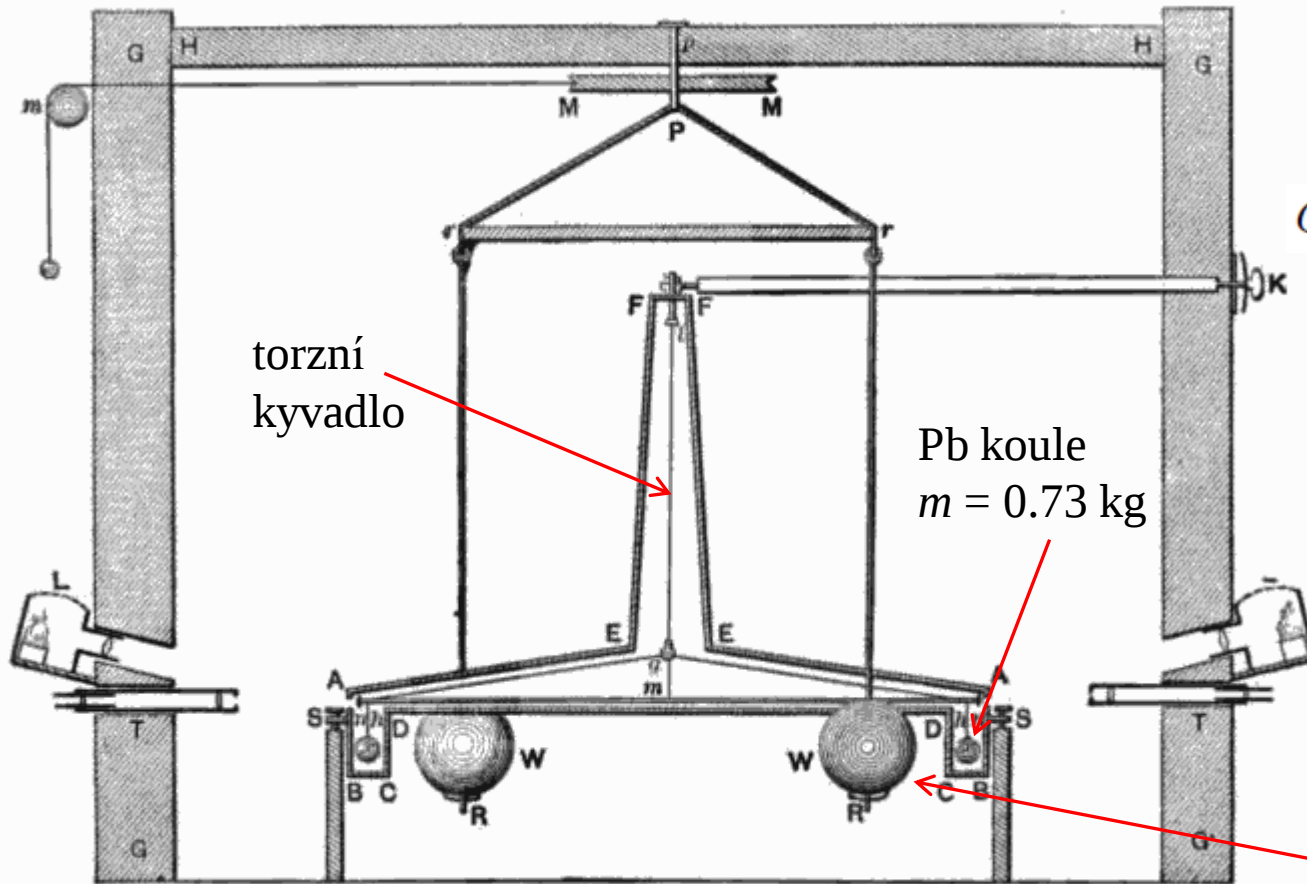
Vážení Země

Cavendishův výsledek

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

současná hodnota

$$G = 6.67430(15) \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$



torzní
kyvadlo

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

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

Fig. 1

Cavendishův experiment

Henry Cavendish 1798

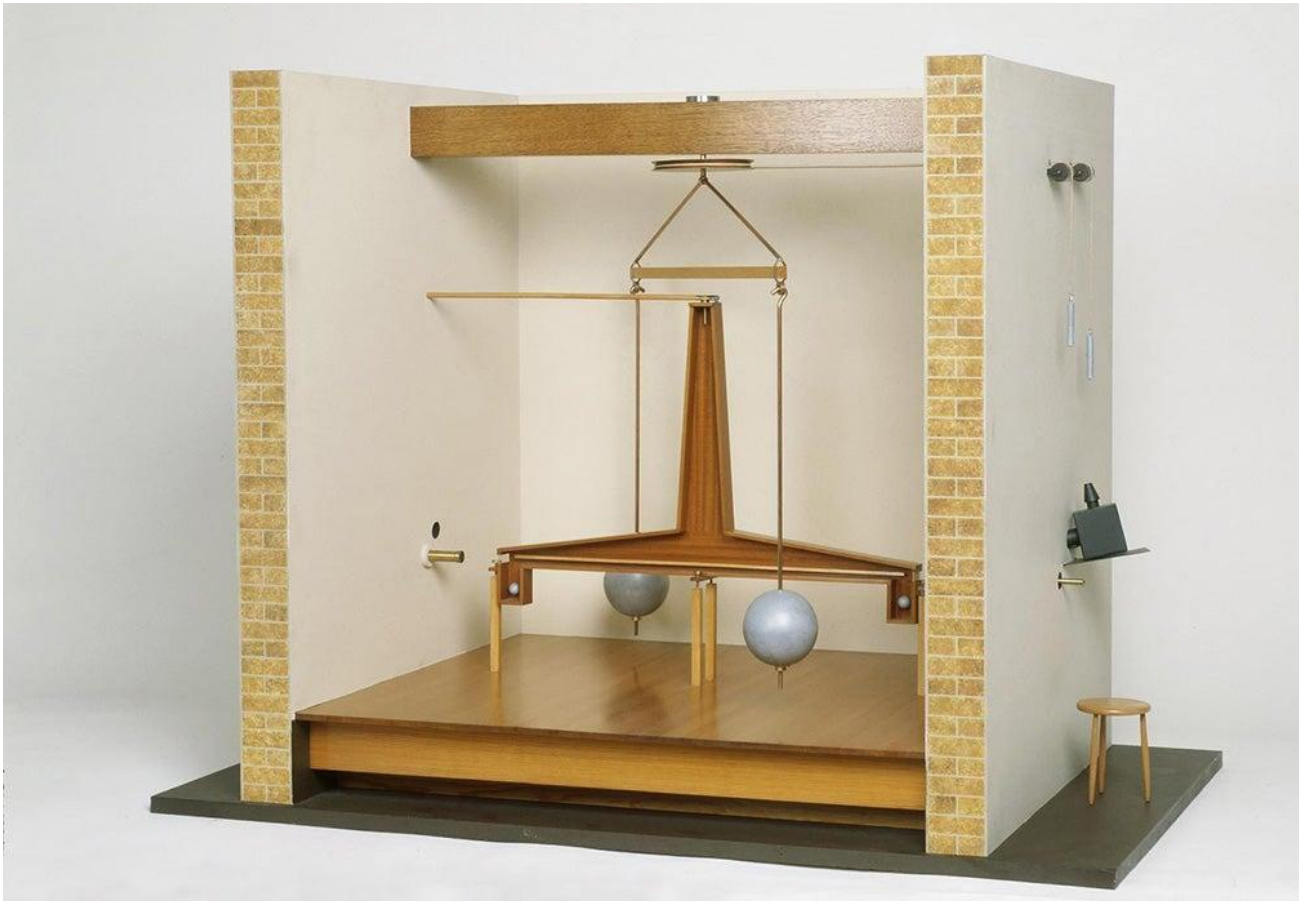
Vážení Země

Cavendishův výsledek

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

současná hodnota

$$G = 6.67430(15) \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$



Cavendishův experiment

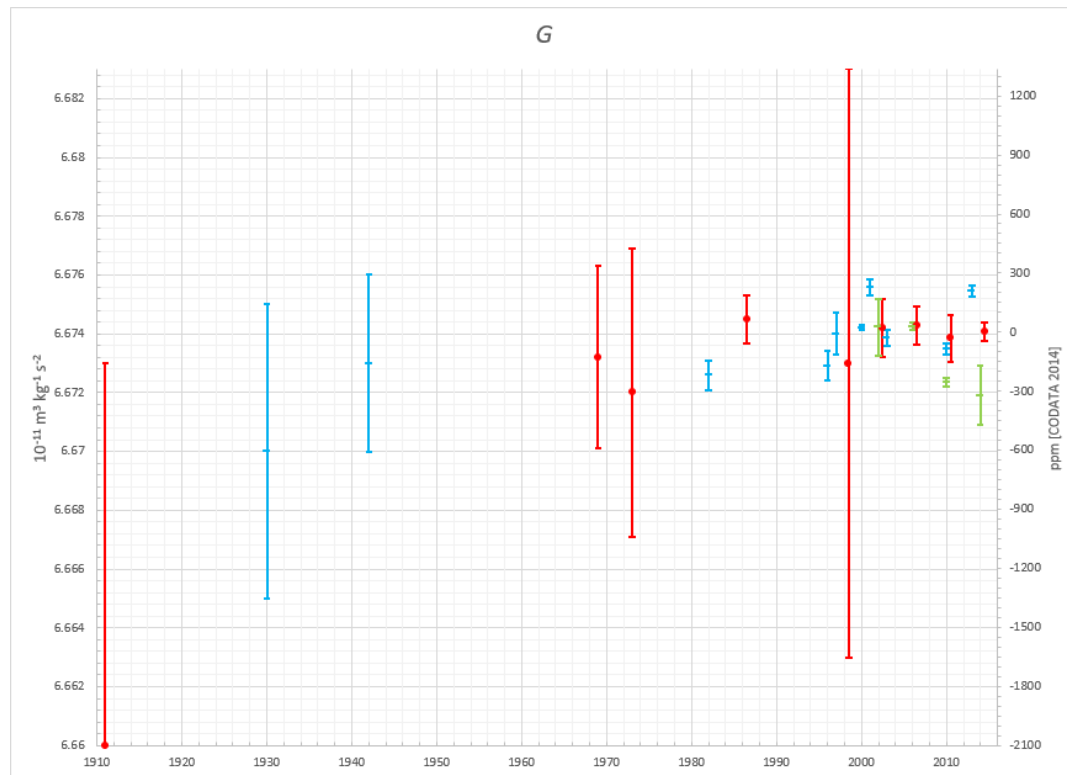
Vážení Země



Gravitační konstanta G

experimentální hodnoty gravitační konstanty

Year	G [$10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$]	Relative standard uncertainty
1969	6.6732(31)	460 ppm
1973	6.6720(49)	730 ppm
1986	6.674 49(81)	120 ppm
1998	6.673(10)	1500 ppm
2002	6.6742(10)	150 ppm
2006	6.674 28(67)	100 ppm
2010	6.673 84(80)	120 ppm
2014	6.674 08(31)	46 ppm
2018	6.674 30(15)	22 ppm
2022	6.674 30(15)	22 ppm



Domácí úkol

Jak zvážit Měsíc?

- perioda oběhu Měsíce okolo Země: $T_M = 27.321582$ dní
- vzdálenost Měsíce od středu Země: $r_M = 384\,400$ km
- hmotnost Země: $M_Z = 5.9736 \times 10^{24}$ kg