# 1 Newtonův gravitační zákon

gravis ………… latinsky těžký

- ⇨ každý HB (planeta, těleso, částice) je zdrojem tzv. gravitačního pole
- ⇨ OTR (obecná teorie relativity – Albert Einstein, 1915) ➔ každá energie nebo hmota zakřivuje prostoročas, gravitace = geometrie časoprostoru (těžký předmět na rovném nataženém prostěradle toto pokřiví)

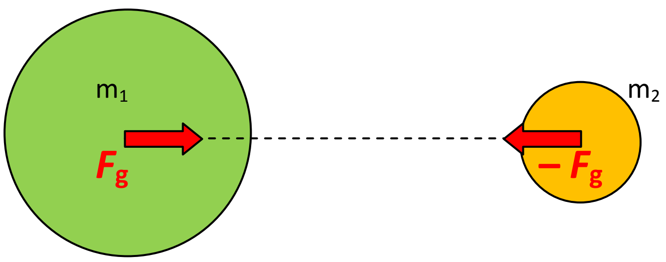
Teorie gravitace ➔ klasická – Newton – platí pro slabá gravitační pole, neplatí obecně

➔ relativistická – Einstein – obecná platnost (alespoň prozatím)

$$F_g = \text{æ} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$m_1$, $m_2$ ……………………….. hmotnosti těles
$r$ ……………………………….. vzájemná vzdálenost středů těles
$F_g$ ……………………………… gravitační síla

$\text{æ} = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ Nm^2kg^{-2}$ ………………… **gravitační konstanta**




Každá dvě tělesa (HB) se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami $F_g$, $-F_g$ opačného směru. Velikost gravitační síly je přímoúměrná součinu hmotností obou těles a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti.

Za hmotné body (HB) lze považovat i nekulová tělesa, např. družice, planety, pokud jejich vzdálenost je mnohem větší než jejich rozměry.

# 2 Intenzita gravitačního pole

značíme .......... ***K*** jednotka [*K*] = N · kg = m · $s^{-2}$

vektorová veličina

Gravitační pole tělesa (např. Země) působí na těleso o hmotnosti *m* v různých svých místech různě velkou silou

$$\boldsymbol{K = \frac{F_g}{m} = \frac{\varkappa M}{r^2}}$$

Intenzita gravitačního pole ve vzdálenosti *r* od centrálního tělesa o hmotnosti *M*

Vztah platí pro povrch tělesa (maximální intenzita) a vzdálenosti nad povrchem (intenzita s rostoucí vzdáleností klesá se čtvercem vzdálenosti)

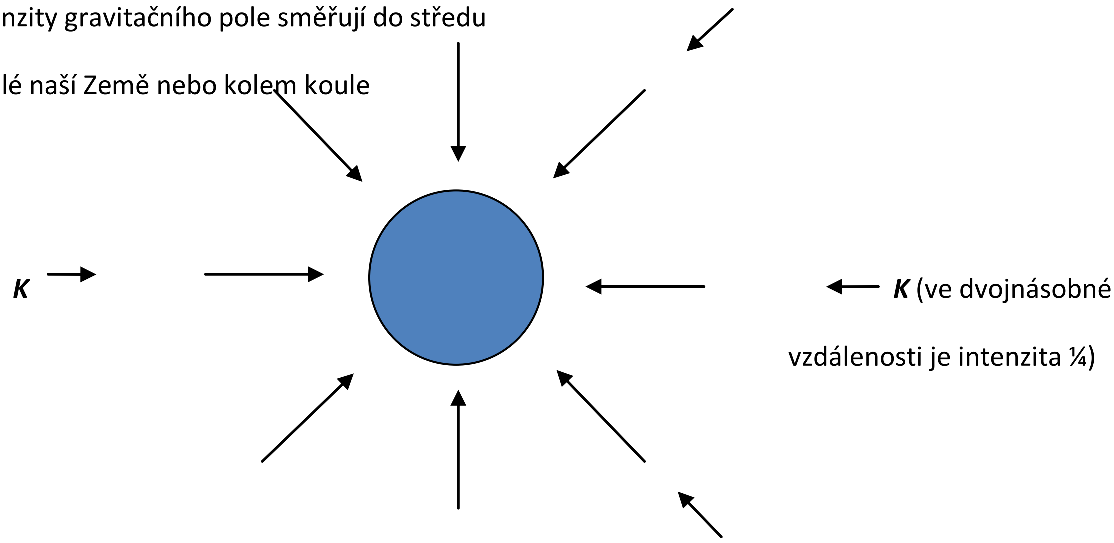
Pro Zemi:

$$\boldsymbol{K = \frac{\varkappa M_Z}{(R_Z + h)^2}}$$

## Centrální gravitační pole

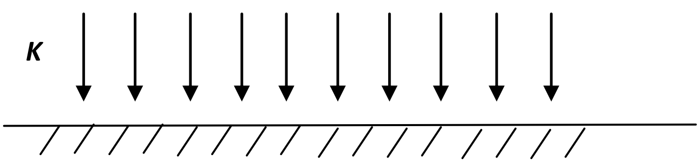
Vektory intenzity gravitačního pole směřují do středu

Př. kolem celé naší Země nebo kolem koule




## Homogenní gravitační pole

Vektory intenzity jsou rovnoběžné, velikost intenzity je konstantní, např. při povrchu Země v malé výšce a malé oblasti



# 3 Gravitační a tíhové zrychlení

Srovnej definici intenzity gravitačního pole $K = \frac{F_g}{m}$ a zrychlení dle 2.Newtonova zákona $a = \frac{F}{m}$

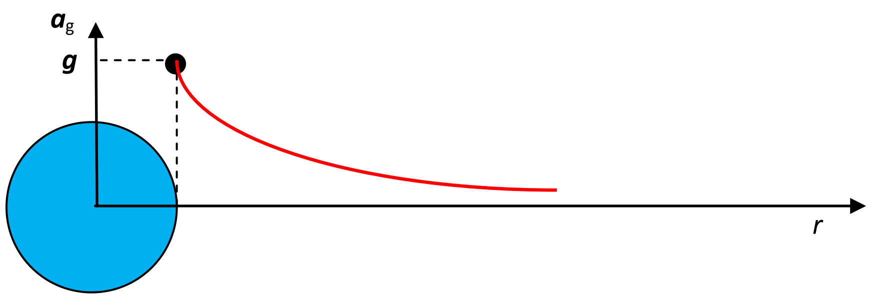
Intenzita gravitačního pole v daném místě pole je rovna gravitačnímu zrychlení, které tělesu v tomto místě uděluje gravitační síla.

$$\boldsymbol{K = a_g}$$

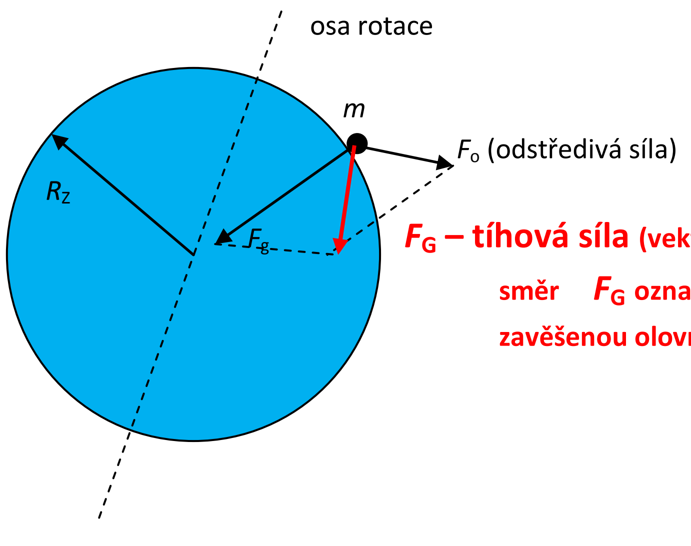
Pro Zemi platí:

$$\boldsymbol{a_g = \frac{æM_Z}{(R_Z + h)^2}}$$

S rostoucí výškou *h* nad povrchem Země klesá hodnota gravitačního zrychlení $\boldsymbol{a}_g$




hodnota $g$ = 9,81 m · s$^{-2}$ plyne pro $h$ = 0 m




**$F_G$ – tíhová síla (vektorový součet gravitační a odstředivé síly)**

**směr $F_G$ označujeme za svislý a určuje se volně zavěšenou olovnicí**

Na rovníku je odstředivá síla největší ➔ $F_G$ je nejmenší a ***g*** je nejmenší (g = 9,78 ms$^{-2}$)
Na pólu je odstředivá síla nulová ➔ $F_G$ je stejně veliká jako $F_g$ a ***g*** je největší (g = 9,83 ms$^{-2}$)

# 4 Tíhová síla a tíha tělesa

tíhová síla …… $F_G$ **$[F_G]$ = N**

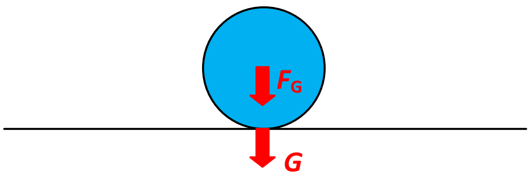
$$\vec{F}_G = m\vec{g}$$

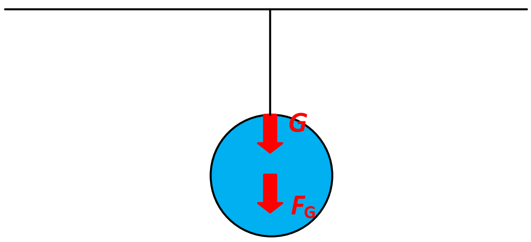
- ⇨ **působiště má v těžišti tělesa**
- ⇨ **vzniká působením Země na těleso**

tíha …… $G$ **$[G]$ = N**

$$\vec{G} = m\vec{g}$$

- ⇨ **působiště má v místě dotyku tělesa s podložkou nebo v místě závěsu**
- ⇨ **vyjadřuje působení tělesa na jiné těleso**




## Stav beztíže

Např. při volném pádu je G = 0 (těleso nepůsobí na jiné těleso) ale $F_G \neq 0$ protože těleso padá se zrychlením.

**Pozn. Černé díry a Schwarzildův poloměr (horizont událostí)**

$$R_{Sch} = \frac{2æM}{c^2}$$

# 5 Pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země

1) <u>volný pád</u>

$$v = gt \qquad s = \frac{1}{2}gt^2$$

2) <u>vrh svislý vzhůru</u>

pohyb je složen ze dvou pohybů: pohyb nahoru ➔ rovnoměrně zpomalený přímočarý
pohyb dolů ➔ volný pád

$$v = v_0 - gt \qquad s = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

$v_0$ … počáteční rychlost
$h$ … maximální výška vrhu $\qquad v = 0$ m/s $\qquad v_0 = g\,t_h$
*$t_h$ … doba výstupu*

$$t_h = \frac{v_0}{g}$$

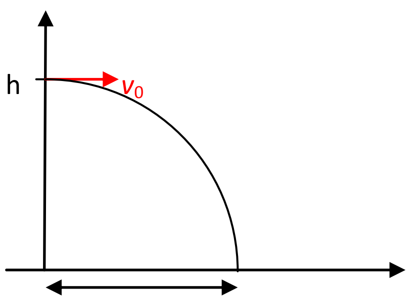
$s = v_0 \cdot v_0 / g - ½\, g\, v_0^2/g^2 = ½\; v_0^2/g^2$

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

3) <u>vodorovný vrh</u>

- ⇨ koná těleso, jemuž udělíme ve vodorovném směru počáteční rychlost $\boldsymbol{v}_0$
- ⇨ složen z volného pádu ve směru osy *y* a rovnoměrného přímočarého pohybu ve směru osy *x*
- ⇨ trajektorie: **část paraboly** s vrcholem v místě vrhu

$$x = v_0 t \qquad y = h - \frac{1}{2}gt^2$$




d – délka vrhu

vrh trvá $t_h$ sekund, což znamená, že y = 0

h = ½ g t$^2$

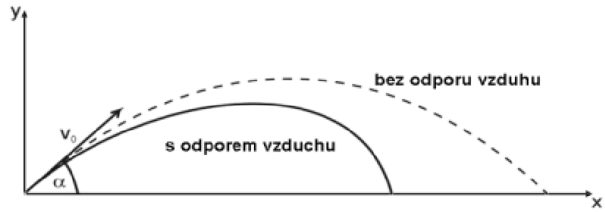
$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ **doba vrhu**

Délka vrhu $d = x = v_0 \cdot t_h$

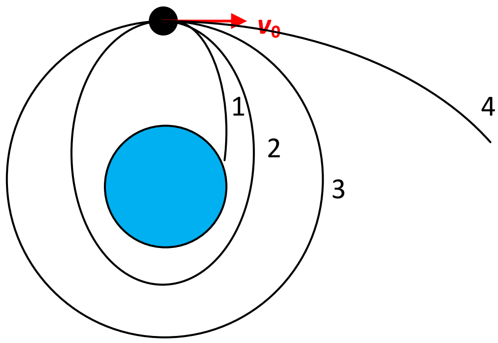
$d = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$ **délka vrhu**

4) vrh šikmý

- koná těleso, které je vystřeleno rychlostí $v_0$ pod tzv. **elevačním úhlem $\alpha$**
- v ideálním případě je trajektorií parabola
- ve vzduchu vlivem odporu prostředí je trajektorií tzv. balistická křivka




# 6 Pohyby těles v centrálním gravitačním poli Země




1. trajektorie 1 – část elipsy (pro malé $v_0$): těleso dopadne na zem
2. trajektorie 2 – elipsa: těleso oběhne Zemi
3. trajektorie 3 – kružnice: těleso se pohybuje kolem Země tzv. kruhovou rychlostí
4. trajektorie 4 – parabola: těleso opouští gravitační pole Země tzv. parabolickou rychlostí

## Výpočet kruhové rychlosti $v_k$

$F_d = F_g$ $(mv^2) / (R_Z+h) = (æ\, m\, M_Z) / (R_Z+h)^2$

$$v_k = \sqrt{\frac{æM_Z}{R_Z+h}} = 7{,}9\ km \cdot s^{-1}$$ ........ **první kosmická rychlost (pro h = 0)**

- rychlostí $\boldsymbol{v}_k$ se pohybují některé umělé družice Země
- nezávisí na hmotnosti tělesa
- je funkcí výšky *h* nad Zemí

Pohybuje-li se těleso větší rychlostí než $\boldsymbol{v}_k$ je jeho trajektorie opět elipsa, která má dva významné body:
perigeum – těleso je nejblíže Zemi
apogeum – těleso je nejdále od Země

Dosáhne-li těleso rychlosti

$$\boxed{v_p = \sqrt{2}v_k = 11{,}2\ km \cdot s^{-1} \dots\dots \textit{parabolická rychlost nebo také 2. kosmická rychlost}}$$

uniká z gravitačního pole Země, neopustí však Sluneční soustavu.
Pro

$$\boxed{v_{p3} = 16{,}7\ km \cdot s^{-1} \dots\dots\dots\ \textit{3. kosmická rychlost}}$$

těleso unikne ze Sluneční soustavy (překoná gravitační pole Slunce)

# 7 Pohyby těles v gravitačním poli Slunce

geocentrický názor – středem vesmíru je Země a vše se točí kolem ní (zastávala zejména církev ještě kolem roku 1633)

heliocentrický názor – středem vesmíru a sluneční soustavy je Slunce (Koperník, Galileo, Kepler, Brahe)

Slunce není středem vesmíru, který je nekonečný – Giordano Bruno (za kacířské názory upálen církví r.1600)

**Tycho Brahe** – dánský astronom (1546 – 1601), údajně otráven rtutí, 2009 – nové prozkoumání jeho ostatků, o jeho smrti napsal detektivku *Čtvrtá kostka* spisovatel Jan Rybář

**Johannes Kepler** – německý astronom (1571 – 1630), navázal na výsledky Tycha Brahe

Oba působili ve službách císaře Rudolfa II. V Praze

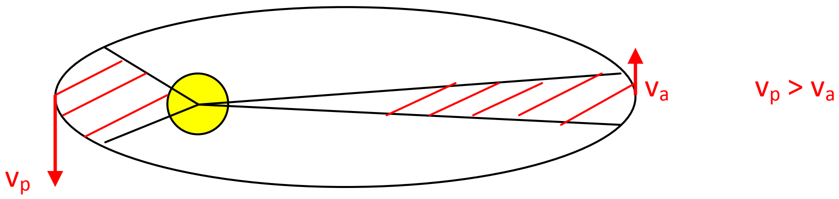
## Keplerovy zákony

Platí nejen pro naši Sluneční soustavu ale pro jakýkoliv systém, ve kterém hmotnost centrálního tělesa je >> hmotnosti obíhajících těles (např. Jupiter a jeho měsíce, umělé družice Země)

1. Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách, málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.

**perihélium** – přísluní – těleso je nejblíže Slunci
**afélium** – odsluní – těleso je nejdále od Slunce

2. Obsahy ploch opsaných průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.




na severní polokouli: v zimě jsme Slunci nejblíže ➔ zimní půlrok trvá 179 dní
v létě jsme Slunci nejdále ➔ letní půlrok trvá 186 dní

3. Poměr druhých mocnin oběžných dob 2 planet je roven poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií.

$$\boxed{\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}}$$

**$T_1$, $T_2$ – oběžné doby planet**
**$a_1$, $a_2$ – délky hlavních poloos**

**1 AU = 149,6 · $10^6$ km … astronomická jednotka** (střední vzdálenost Země – Slunce)

# 8 Sluneční soustava

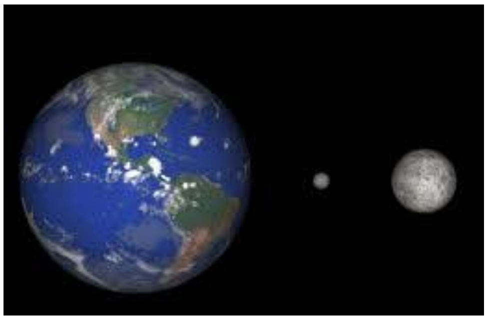
- Centrální těleso: Slunce, $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg což je 99,38 % hmotnosti celé Sluneční soustavy
- Slunce je **hvězda** ➔ **probíhají v něm termonukleární reakce (TNR)**
- povrch Slunce má teplotu cca 6000 K, nitro Slunce má teplotu až $10^6$ K
- rotuje kolem osy s periodou 25 dní

## Planety

- Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun
- Názvy planet jsou současně jména bohů ze starořímské mytologie (Merkur – bůh obchodu, celníků; v řecké mytologii mu odpovídá Hermés; Venuše – bohyně krásy a lásky; řecká Afrodita; Země (Gaia); Mars – bůh slunce a války, řecký Apollón); Jupiter – nejvyšší bůh, řecký Zeus (2p.Dia); Neptun – řecký Poseidon, vládce moří a oceánů;
- Sumerové znali 12 planet
- Mezi Marsem a Jupiterem v místě, kde by měla být další planeta, je pás asteroidů
- Vnitřní planety: Merkur, Venuše
- Vnější planety: Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun

## Planetky

- průměr od několika metrů do cca 100 km
- např. ale Ceres má průměr 1000 km
- Pluto od roku 2006 trpasličí planeta



Země – Měsíc - Ceres

## Měsíce

- obíhají kolem planet
- náš Měsíc: doba rotace = době oběhu ➔ tzv. vázaná rotace, Měsíc je k Zemi natočen stále stejnou stranou

## Komety

- jádro – několik km složené z ledu a prachu, $CO_2$ nebo metanu
- koma – plynný kulový obal kolem jádra
- ohon – plyn a prachové částice sahající do vzdálenosti až $10^6$ km od jádra
- pravidelně se vrací komety: Halleyova (za 75 – 76 let, průlet 12. př. n. l. mohl dát za vznik hvězdě nad Betlémem), Hale-Boppova (za 2383 let, poprvé 1997), Kohoutkova (objev 1973, návrat ke Slunci 1981, 1987, 1994 )

## Meteoroidy

- velikost několik mm až desítek metrů
- pohybují se mezi planetami ve sluneční soustavě
- po průchodu atmosférou vzniká optický úkaz zvaný meteor (rozžhavený meteoroid hoří)
- velice jasný meteor se nazývá bolid
- po dopadu na zem se zbytek nazývá meteorit

Bolid nad Mohavskou pouští

**Meziplanetární látka** – vodík, hélium, prach, sluneční vítr, kosmické záření