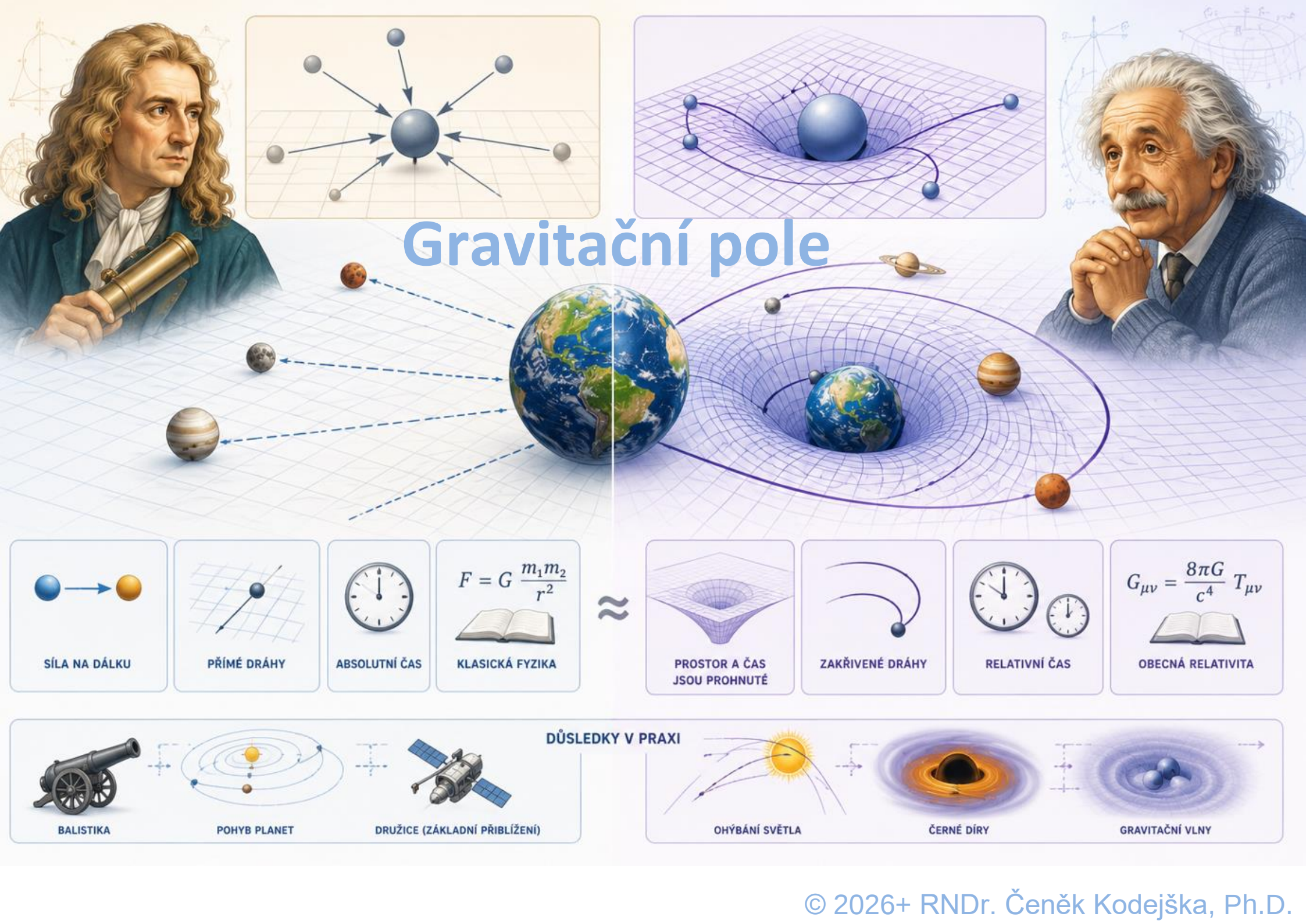






„Stál jsem
na ramenech obrů,
a viděl jsem dál než oni,
jen proto,
že jsem stál výš.“

(dopis Robertu Hookeovi, 1675)

ISAAC NEWTON

1642–1727

Vědec, který odhalil zákony přírody

Jeden z největších génů v dějinách lidstva.
Jeho objevy změnily náš pohled na vesmír, přírodu i
samotné poznání.



ŽIVOTNÍ PŘEHLED



JEHO NEJZNÁMĚJŠÍ OBJEVY

- ZÁKONY POHYBU**
Tři pohybové zákony, které popisují pohyb těles a síly v přírodě.
- GRAVITAČNÍ ZÁKON**
Univerzální gravitace – síla, která působí mezi všemi tělesy ve vesmíru.
- OPTIKA A SVĚTLO**
Rozklad bílého světla na spektrum pomocí hranolu. Vysvětlil povahu světla a barev.
- KALKULUS**
Nezávisle na Leibnitzovi vyvinul diferenciální a integrální počet. Zásadní nástroj moderní matematiky.
- POHYB PLANET A KOMET**
Vysvětlil pohyb nebeských těles a příliv a odliv pomocí gravitace.

OBLASTI ZÁJMU

- Matematika a fyzika**
Základy mechaniky, optiky, astronomie a teorie gravitačního působení.
- Alchymie**
Věnoval se alchymii více než 30 let. Hledal „filosofický kámen“, studoval přeměnu látek a tajemství hmoty.
- Studium Bible a teologie**
Podrobně analyzoval biblické texty, snažil se odhalit jejich skrytý význam a prorocství.
- Přírodní filosofie**
Zajímal se o široké spektrum jevů: od meteorologie po vlastnosti zvuku.

DALŠÍ ZAJÍMAVOSTI

- BÝVAL UZAVŘENÝ A SKROMNÝ**
Měl málo přátel, nerad cestoval a často se ponořoval do práce na dlouhé hodiny.
- PEČLIVÝ EXPERIMENTÁTOR**
Sám vyráběl přístroje a prováděl mnoho důmyslných experimentů.
- NIKDY SE NEOŽENIL**
Celý život zůstal svobodný a plně oddaný vědě.
- ZABÝVAL SE MINCEMI**
V letech 1696–1727 byl správcem Královské mincovny v Londýně. Zreformoval měnový systém a potíral padělání mincí.

SPOR S LEIBNITZEM

KDO BYL PRVNÍ?

Newton a Gottfried Wilhelm Leibniz nezávisle vyvinuli diferenciální počet.



ISAAC NEWTON

- Tvrdil, že přišel na kalkulus první.
- Byl přesvědčen o své prioritě.
- Používal metodu „toků“ (fluxions).

GOTTFRIED W. LEIBNIZ

- Publikoval svou verzi kalkulu nezávisle.
- Používal dnešní symboliku ($\int$, $\frac{d}{dx}$), kterou dnes používáme.
- Spor byl osobní i politický.

Královská společnost (pod Newtonovým vlivem) vydala zprávu ve prospěch Newtona, což poškodilo Leibnizovu pověst v Anglii. Dnes víme, že oba měli pravdu – nezávisle na sobě.

JEHO ODKAZ

- Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (1687)**
Toto dílo položilo základy klasické fyziky a ovlivnilo vědu na další století.
- Zákony, které platí dodnes**
Newtonovy zákony pohybu a gravitace jsou základem moderní fyziky i kosmonautiky.
- Inspirace pro další generace**
Jeho práce otevřela cestu mnohým objevům a změnila způsob, jakým chápeme vesmír i sebe samé.

„Příroda se raduje v jednoduchosti.
A příroda není hloupá.“



Woolsthorpe Manor, Newtonův rodný dům

$$E = mc^2$$

ALBERT EINSTEIN

1879–1955

„Představitost je
důležitější než vědění.

Vědění je omezené,
představitost obsáhne
celý svět.“

Fyzik. Myslitel. Humanista.

Jeden z největších génů všech dob,
který změnil naše chápání prostoru, času, hmoty i vesmíru.
Jeho představitost neznala hranic.

A. Einstein



1905 – „Annus mirabilis“
(zázračný rok)



Prostor a čas nejsou pevné,
ale mohou se ohýbat.



Dům Einsteina v Bernu,
kde vznikly převratné myšlenky.



ŽIVOTNÍ PŘEHLED

1879

14. března se narodil
v Ulmu, Německo.



1880–1894

Dětství a studia.
Zajímal se o přírodu,
matematiku a hudbu.
Naučil se hrát na housle,
které miloval celý život.



1895–1900

Studoval fyziku a matematiku
na Švýcarském federálním
polytechnickém institutu
v Curychu.



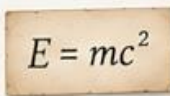
1902–1909

Pracoval v Bernském
patentovém úřadě.
Ve volném čase vytvářel
své převratné teorie.



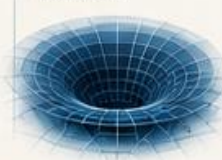
1905

Publikoval 4 převratné práce,
které položily základy moderní
fyziky (fotoelektrický jev,
Brownův pohyb, speciální
teorie relativity, $E = mc^2$).



1915

Dokončil obecnou teorii
relativity – nový pohled
na gravitaci jako zakřivení
prostorčasu.



1919

Potvrzení obecné relativity
při zatmění Slunce – ohyb
světla hvězd gravitačním
polem Slunce.



1921

Nobelova cena za fyziku
za vysvětlení fotoelektrického
jevu (nikoli za teorii relativity).



1933

Kvůli nástupu nacismu
opouští Německo
a odchází do USA.



1955

18. dubna zemřel v Princetonu,
USA.



JEHO NEJVĚTŠÍ PŘÍNOŠY



1 SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY (1905)

Prostor a čas jsou relativní.
Rychlost světla je ve vakuu konstantní
pro všechny pozorovatele.



2 OBECNÁ TEORIE RELATIVITY (1915)

Gravitace není síla, ale zakřivení
prostorčasu způsobené hmotou
a energií.

$$E = mc^2$$

3 $E = mc^2$ (1905)

Rovnice, která ukazuje ekvivalenci
hmoty a energie.



4 FOTOELEKTRICKÝ JEV (1905)

Světlo se může chovat jako částice (fotony).
Za tuto práci získal Nobelovu cenu.



5 BROWNŮV POHYB (1905)

Vysvětlil náhodný pohyb částic v kapalinách
či plyných pomocí atomové teorie.

DALŠÍ ZÁJMY A AKTIVITY



HUDBA

Housle byly jeho velkou vášní.
Hudba mu pomáhala přemýšlet
a nacházet inspiraci.



MÍR A HUMANISMUS

Zasazoval se o mír, odzbrojení
a lidská práva. Byl humanistou
a odpůrcem války.



DOPIS ROOSEVELTOVI (1939)

Podpsal dopis varující před vývojem
atomové bomby v Německu.
Později litoval, že k tomu přispěl.



DOPIS KLEMENTU GOTTWALDOVI (1950)

Napsal dopis na podporu Milady Horákové,
odsouzené v politickém procesu.
Žádal o milost a spravedlivé přezkoumání
jejího případu.

EINSTEIN JAKO MYSLITEL



ZVĚDAVOST

„Důležitá věc je nepřestat se ptát.
Zvědavost má svou vlastní existenciální
důvod.“



PŘEDSTAVIVOST

„Představitost je důležitější než vědění.
Vědění je omezené, představitost
obsáhne celý svět.“



JEDNODUCHOST

„Vše by mělo být co nejjednodušší,
ale ne jednodušší.“



VÍRA V ROZUM

„Věda bez náboženství je chromá,
náboženství bez vědy je slepé.“

SPOR S BOHREM



ALBERT EINSTEIN



NIELS BOHR

Einstein kritizoval pravděpodobnostní povahu
kvantové mechaniky. Domníval se, že příroda
je deterministická a existují „skryté proměnné“,
které zatím neznáme.

„Bůh nehraje v kostky.“
(A. Einstein)

Bohr zastával názor, že kvantový svět je
základně neurčitý a že pravděpodobnost
je jeho nedílnou součástí.

ZAJÍMAVOSTI

- ★ V letech 1911–1912 působil na Karlově
univerzitě v Praze jako profesor teoretické
fyziky.
- ★ Pozděně začal mluvit – rodiče se báli,
že má problémy.
- ★ Ve škole se často nudil, nesnášel
memorování.
- ★ Myslel si, že největší objev je „tajemství
věčnosti života“ – ne fyzikální, ale duchovní.
- ★ Měl smysl pro humor a rád žertoval.
- ★ Odmítl být prezidentem Izraele (1952).
- ★ Jeho mozek byl po smrti uchován
pro vědecký výzkum (bez jeho souhlasu).



JEHO MYŠLENKY ŽIJÍ DÁL

Einsteinova teorie změnila svět
a základy moderní fyziky určují
naš každodenní život.



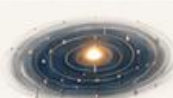
GPS funguje díky
obecné relativitě.



Jaderná energie vychází
z ekvivalence hmoty a energie.



Mnohé zkožologie stojí
na kvantové fyzice.



Stále zkoumáme vesmír
podle jeho teorií.



Jeho odkaz inspiruje další
generace vědců.

„Snažme se být hodnotnými lidmi,
raději ne úspěšnými, ale více hodnotnými.“
A. Einstein



Více o životě
a díle Alberta
Einsteina

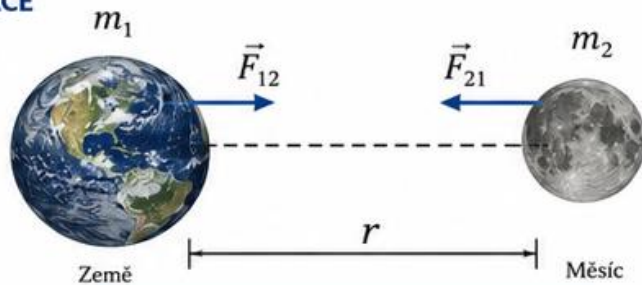
1. Newtonův gravitační zákon

NEWTONŮV GRAVITAČNÍ ZÁKON

1. ZÁKON UNIVERZÁLNÍ GRAVITACE

Každá dvě tělesa se ve vesmíru přitahují gravitační silou.

Síla, kterou na sebe působí tělesa o hmotnostech m_1 a m_2 , je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r mezi jejich středy.



Síly jsou stejně velké a opačně orientované:
 $F_{12} = F_{21}$ (Newtonův třetí zákon)

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

kde

F ... gravitační síla (N)

m_1, m_2 ... hmotnosti těles (kg)

r ... vzdálenost mezi středy těles (m)

G ... gravitační konstanta

$$G = 6,674 \ 30 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

Gravitační konstanta určuje sílu gravitační interakce mezi tělesy.

DŮSLEDKY ZÁKONA

- Síla je vždy přitažlivá.
- Závisí na součinu hmotností – čím větší hmotnosti, tím větší síla.
- Závisí na vzdálenosti – s rostoucí vzdáleností rychle klesá.

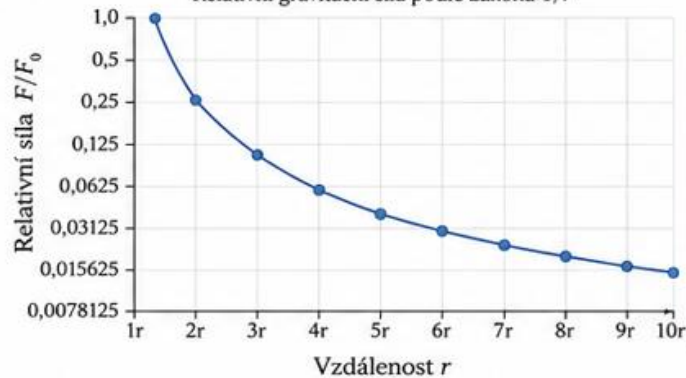
Příklad:

Zvětšíme-li vzdálenost mezi tělesy 2×, klesne gravitační síla 4×.
Zvětšíme-li ji 3×, klesne síla 9×.
Zvětšíme-li ji 10×, klesne síla 100×.

2. ZÁVISLOST GRAVITAČNÍ SÍLY NA VZDÁLENOSTI

Při konstantních hmotnostech m_1 a m_2 je gravitační síla nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti r .

Relativní gravitační síla podle zákona $1/r^2$

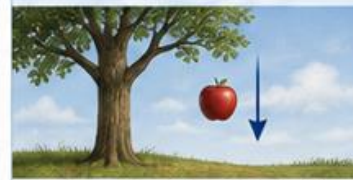


Z grafu plyne:

- 2× větší vzdálenost → síla 4× menší ($F = F_0/4$)
- 3× větší vzdálenost → síla 9× menší ($F = F_0/9$)
- 10× větší vzdálenost → síla 100× menší ($F = F_0/100$)

3. PŘÍKLADY POUŽITÍ

1. Pád těles na Zemi



Gravitace způsobuje pád všech těles na povrch Země.

2. Oběh Měsíce kolem Země



Měsíc nepadá na Zemi, protože má dostatečnou tečnou rychlost.

3. Umělé družice



Družice jsou v neustálém volném pádu kolem Země.

4. Pohyb planet kolem Slunce



Planety obíhají kolem Slunce po eliptických drahách.

5. Komety



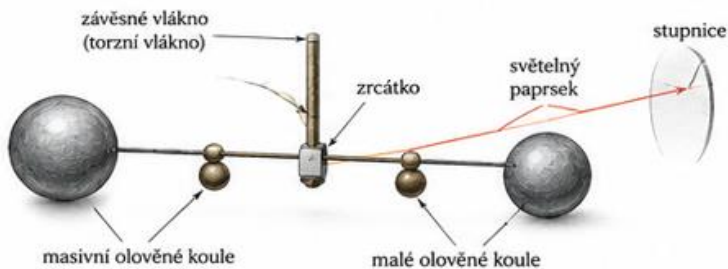
Komety se pohybují po velmi protáhlých eliptických drahách.

6. Dvojhvězdy



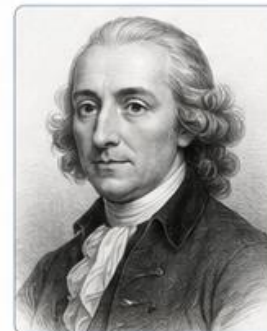
Dvě hvězdy mohou obíhat kolem společného těžiště.

4. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ – CAVENDISHŮV EXPERIMENT (1798)



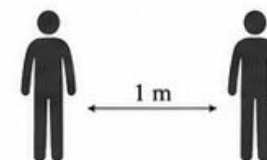
Měří se nepatrné pootočení torzního vlákna způsobené gravitační silou mezi malými a velkými koulemi.

Henry Cavendish touto metodou poprvé určil velikost gravitační konstanty G .



ZAJÍMAVOST

Gravitační síla mezi dvěma lidmi je velmi malá.



Dva lidé o hmotnosti 70 kg stojící 1 m od sebe se přitahují silou přibližně

$$F \approx 3 \times 10^{-7} \text{ N}$$

To odpovídá přibližně tíze zrnka prachu.

2. Intenzita gravitačního pole

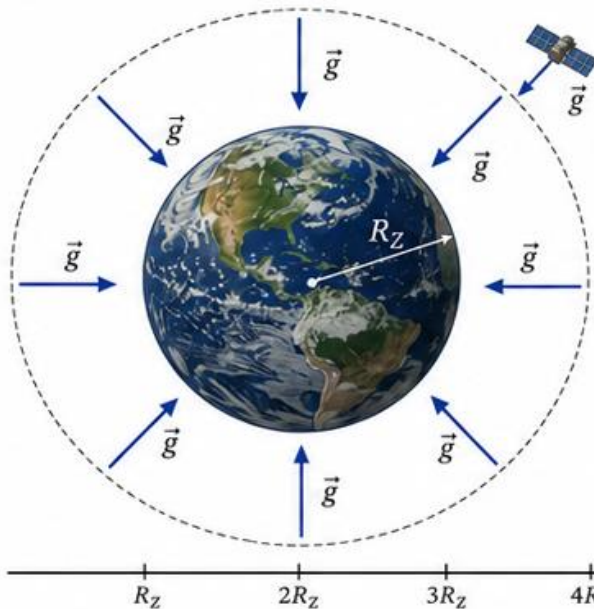
INTENZITA GRAVITAČNÍHO POLE $\vec{g}$

Intenzita gravitačního pole v daném bodě je definována jako gravitační síla působící na jednotkovou hmotnost umístěnou v tomto bodě.

Je to vektorová veličina: $\vec{g} = \lim_{m \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{m}$. $[g] = \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

1. CENTRÁLNÍ GRAVITAČNÍ POLE

Vytváří jej hmotný bod nebo sféricky symetrické těleso (např. Země).

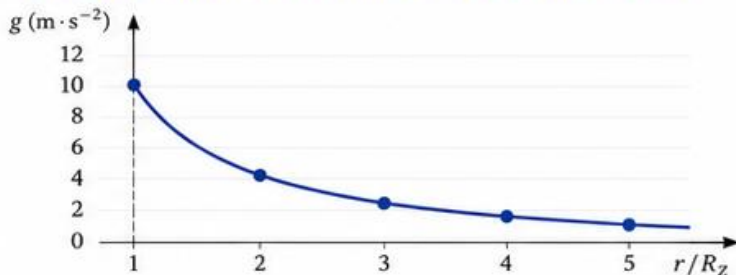


$$K = \frac{F_g}{m} = G \frac{M_Z}{(R_Z + h)^2}$$

G ... gravitační konstanta
($6,67430 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$)
 M ... hmotnost Země
 r ... vzdálenost od středu Země
 $\vec{e}_r$... jednotkový vektor směřující
radiálně od středu Země

Záporné znaménko vyjadřuje, že
vektor $\vec{g}$ směřuje do středu Země

ZÁVISLOST INTENZITY NA VZDÁLENOSTI OD STŘEDU ZEMĚ



Z grafu plyne:

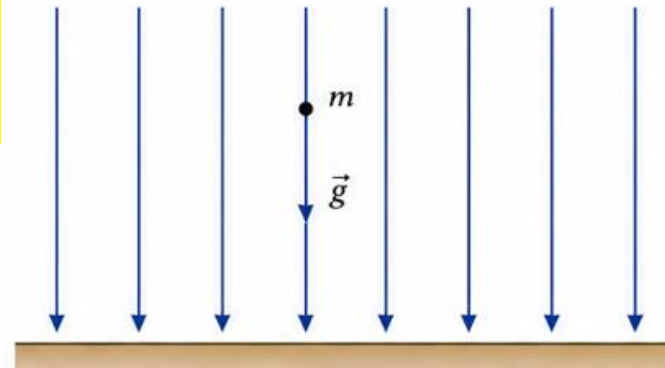
- Intenzita gravitačního pole klesá s rostoucí vzdáleností od středu Země podle zákona $1/r^2$.
- Na povrchu Země ($r = R_Z$) má intenzita hodnotu $g_0 \approx 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Poznámky:

- Uvnitř homogenní koule (Země) platí $g(r) = \frac{GM}{R_Z^3} r$ – intenzita roste lineárně s r (od středu ke kraji).
- Vně koule ($r \geq R_Z$) platí uvedený vztah $g = \frac{GM}{r^2}$.

2. HOMOGENNÍ GRAVITAČNÍ POLE (TÍHOVÉ POLE)

V malém okolí povrchu Země (výška $h \ll R_Z$) lze gravitační pole považovat za homogenní – intenzita je přibližně stejná ve všech bodech a směřuje svisle dolů.



V homogenním poli je
 $\vec{g} = \text{konst.}$
(stejná velikost i směr)

TÍHOVÉ ZRYCHLENÍ

Gravitační (tíhové) zrychlení v dané výšce nad povrchem Země je

$$g(r) = \frac{GM}{r^2} \quad (\text{stejný vzorec jako pro intenzitu v centrálním poli})$$

kde $r = R_Z + h$ (h je výška nad povrchem).

Pro malé výšky $h \ll R_Z$ je $r \approx R_Z$ a dostáváme tíhové zrychlení u povrchu Země:

$$g_0 = \lim_{h \rightarrow 0} g(R_Z + h) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{GM}{(R_Z + h)^2} = \frac{GM}{R_Z^2}$$

G ... $6,67430 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
 M ... $5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$
 R_Z ... $6,371 \times 10^6 \text{ m}$

$$g_0 = \frac{GM}{R_Z^2} \approx 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

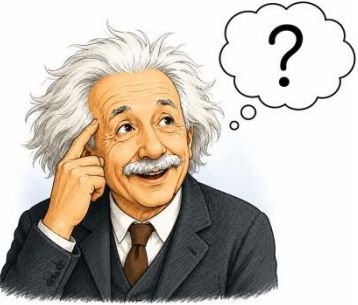
Důsledek:

V malých výškách nad povrchem Země je tíhové zrychlení přibližně konstantní a směřuje svisle dolů.

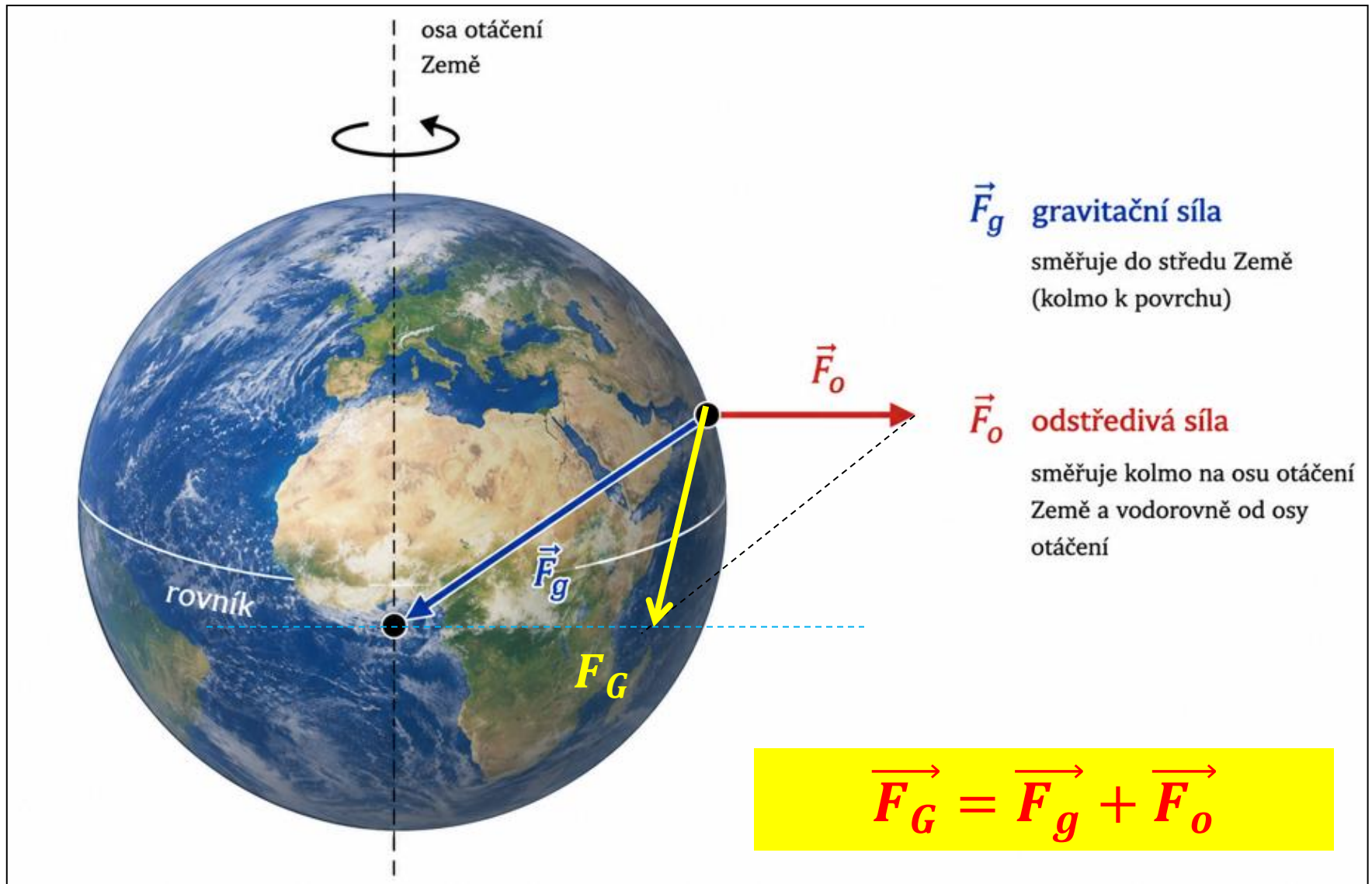
Poznámky:

- Se zvyšující se výškou h hodnota g pomalu klesá.
- Na jiných planetách bude tíhové zrychlení g jiné, protože závisí na M a R daného tělesa.

3. Gravitační a tíhová síla



Dokážeš zakreslit
výslednici gravitační
a odstředivé síly?

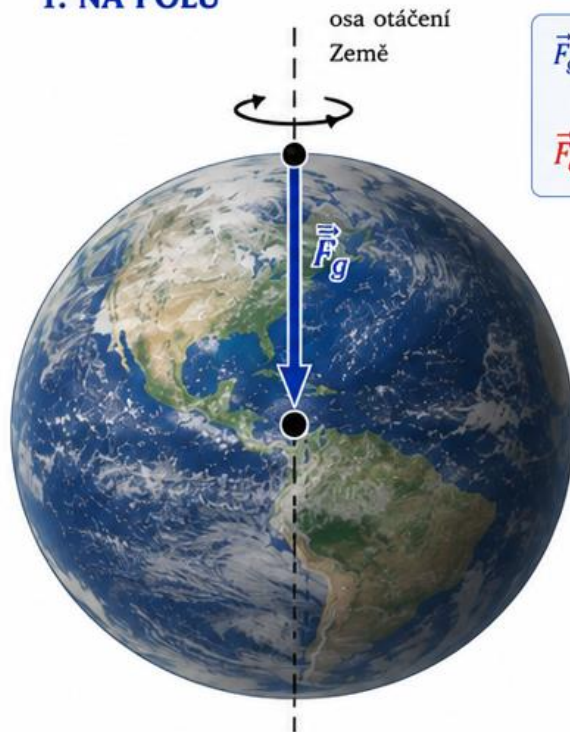


3. Gravitační a tíhová síla



Je všude na Zemi
hodnota tíhového
zrychlení stejná?

1. NA PÓLU



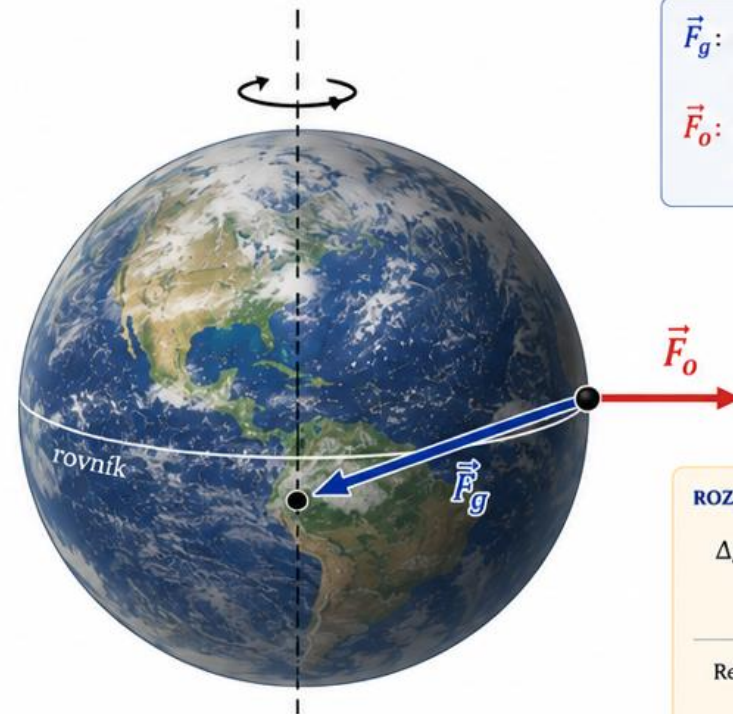
$\vec{F}_g$: maximální
(kolmo k povrchu)

$$\vec{F}_o = 0$$

Tíhové zrychlení na pólech:

$$g_{\text{pól}} \approx 9,832 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2. NA ROVNÍKU



$\vec{F}_g$: menší než na pólu
(šikmo ke středu)

$\vec{F}_o$: maximální
(vodorovně od osy)

Tíhové zrychlení na rovníku:

$$g_{\text{rovník}} \approx 9,780 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

ROZDÍL TÍHOVÉHO ZRYCHLENÍ

$$\Delta g = g_{\text{pól}} - g_{\text{rovník}} \\ \approx 0,052 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Relativní rozdíl:

$$\frac{\Delta g}{g_{\text{pól}}} \approx 0,5 \%$$

- Na pólech je tíhové zrychlení větší, protože odstředivá síla je nulová.
- Na rovníku je tíhové zrychlení menší, protože odstředivá síla je největší a působí proti gravitační síle.
- Rozdíl je způsoben rotací Země a jejím zploštěním (rovníkový poloměr je větší než polární).

Užitečné hodnoty

Poloměr Země: $R \approx 6,371 \times 10^6 \text{ m}$

Úhlová rychlost Země:

$$\omega \approx 7,292 \times 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

(1 otáčka za 23 h 56 min 4 s)

4. Tíhová síla. Tíha. Stav beztíže.

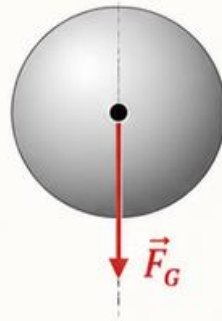
TÍHOVÁ SÍLA, TÍHA A STAV BEZTÍŽE

1. TÍHOVÁ SÍLA

Tíhová síla $\vec{F}_G$ působí na těleso vlivem gravitačního pole Země.

- Směr: svisle dolů (k středu Země)
- Působí na každou část tělesa
- Výslednice tíhových sil všech částic tělesa má působiště ve středu tělesa.
- Způsobuje volný pád tělesa.

$$F_G = mg$$



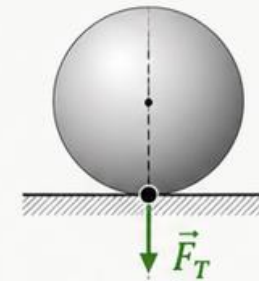
Působiště tíhové síly – ve středu tělesa.

2. TÍHA

Tíha $\vec{F}_T$ je síla, kterou těleso působí na podložku nebo na závěs.

- Vzniká jako reakce podložky nebo závěsu na tíhovou sílu.
- Směr: svisle dolů
- Působí v místě dotyku tělesa s podložkou nebo v bodě zavěšení.
- Nepůsobuje pohyb tělesa, pouze deformačně působí na podložku nebo závěs.

$$F_T = mg$$



Působiště tíhy – v místě dotyku tělesa s podložkou.



Působiště tíhy – v bodě zavěšení tělesa.

3. STAV BEZTÍŽE

Stav beztíže nastává, když na těleso nepůsobí žádná opěrná síla ani tahová síla (reakce podložky nebo závěsu).

- Tíhová síla na těleso stále působí.
- Tíha je však rovna nule: $\vec{F}_T = 0$.
- Těleso se nachází ve stavu volného pádu.
- Těleso ani předměty se zdánlivě „neváží“ – jsou beztížné.



PŘÍKLAD:

Kosmonaut na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS) je ve stavu beztíže.

Voda vytéká z obalu a vytváří přesné koule, protože na ni nepůsobí žádná tíha.

JAK NAVODIT STAV BEZTÍŽE NA ZEMI



1. PARABOLICKÝ LET

Letadlo provádí parabolický manévr.

Během volného pádu letadla až ~20–25 s panuje stav beztíže.

Využíváno pro výcvik kosmonautů a výzkum.



2. VĚŽ PRO VOLNÝ PÁD

Těleso (nebo kapsle) se uvolní z výšky (desítky až stovky metrů).

Během pádu trvá beztíže několik sekund.

Využíváno pro výzkum a testování přístrojů.



3. PONORY VE VODĚ

Speciální letoun se ponoří do velké nádrže.

Působí vztlaková síla, která vyrovná tíhovou sílu.

Kosmonauti trénují práci ve stavu beztíže (např. montážní úkony).



ZAJÍMAVOSTI

- Ve stavu beztíže je tíha nulová, ale tíhová síla zůstává stejná.
- Beztíže nepanuje pouze ve vesmíru – těleso je v beztíži vždy, když je ve volném pádu.

- Při oběhu kolem Země leží ISS i kosmonauti v neustálém volném pádu.
- Gravitace je důležitá – bez ní by nemohla existovat planety, atmosféry ani život.

5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

VOLNÝ PÁD

Volný pád je pohyb tělesa pouze vlivem gravitační síly Země. Odpor vzduchu zanedbáváme.

olověná koule



tenisový míček



kladivo



pírko ve vakuu



Ve vakuu padají všechna tělesa **stejně rychle**, bez ohledu na jejich hmotnost a tvar.

Experiment na Měsíci (Apollo 15)

Astronaut David Scott upustil současně kladivo a pírko. Dopadla na povrch Měsíce ve stejnou chvíli.



Vzorce pro volný pád

Těleso je puštěno z klidu ($v_0 = 0$).

Rychlost v čase t :

$$v = g t \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

Dráha (svislá) za čas t :

$$s = \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{m})$$

kde:

v ... rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

s ... dráha (m)

t ... čas (s)

g ... tíhové zrychlení

$$g \approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{směr kolmo dolů})$$

Rychlost nezávisí na hmotnosti tělesa.

Všechna tělesa (ve vakuu) nabývají **stejný rychlosti** bez ohledu na svou hmotnost.

DŮSLEDKY VOLNÉHO PÁDU

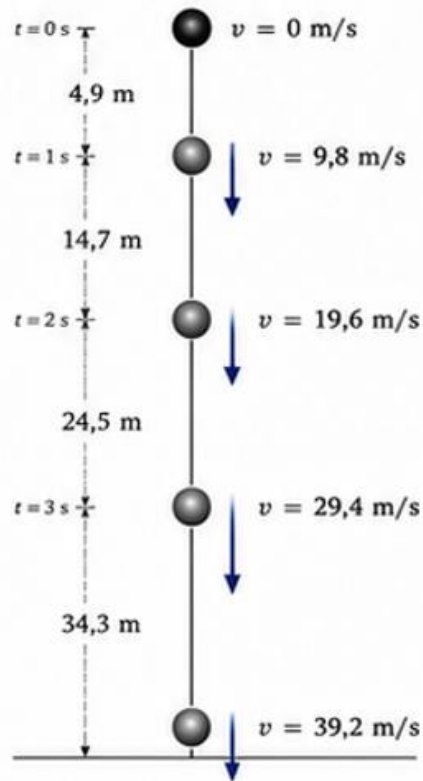
- Všechny složitější pohyby v této kapitole (vrh vzhůru, vodorovný vrh, šikmý vrh) jsou kombinací volného pádu ve svislém směru a rovnoměrného pohybu ve vodorovném směru.
- Tíhové zrychlení g není na všech místech Země stejné (závisí na zeměpisné šířce a nadmořské výšce), ale jeho změny jsou malé.

Hodnota tíhového zrychlení:

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{u povrchu Země})$$

5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

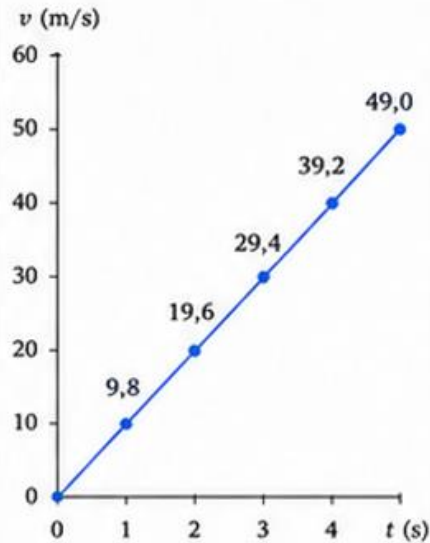
PRŮBĚH VOLNÉHO PÁDU



$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \text{ (konst.)}$$

GRAF RYCHLOSTI

Rychlost roste lineárně s časem.

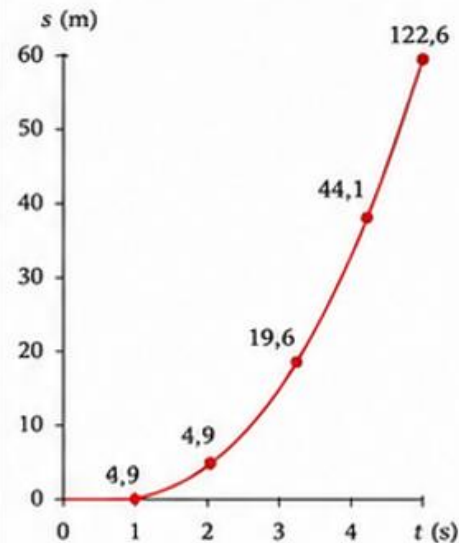


Směrnice přímky odpovídá tíhovému zrychlení g .

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = g$$

GRAF DRÁHY

Dráha roste kvadraticky s časem.



Dráha je úměrná druhé mocnině času.

$$s \sim t^2$$

ZAJÍMAVOSTI

Čas pádu z výšky $h = 45 \text{ m}$ (ve vakuu):

Těleso	Čas pádu
Kladivo (ve vakuu)	3,0 s
Peří (ve vakuu)	3,0 s
Kladivo (na Zemi)	3,0 s
Peří (na Zemi)	mnohem déle

Na Zemi odpor vzduchu brzdí lehká tělesa mnohem více než těžká.

Čas pádu z výšky h (ve vakuu):

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

HISTORIE A EXPERIMENTY

Galileo Galilei (kolem r. 1600)

Podle tradice pouštěl koule různých hmotností ze šikmé věže v Pise a ukázal, že padají stejně rychle.



Experiment Apollo 15 (1971)

Astronaut David Scott upustil na Měsíci kladivo a pítko současně. Dopadla na povrch ve stejný okamžik, protože na Měsíci není atmosféra.



Moderní vakuová komora

Ve vakuu padají všechna tělesa stejně rychle. I peří padá stejně rychle jako kovová kulička.



5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

VRH SVISLÝ VZHŮRU

Vrh svislý vzhůru je pohyb tělesa, kterému udělíme **počáteční rychlost** v_0 směrem vzhůru a poté se pohybuje pouze vlivem tíhového zrychlení g směrem dolů.

PRŮBĚH POHYBU

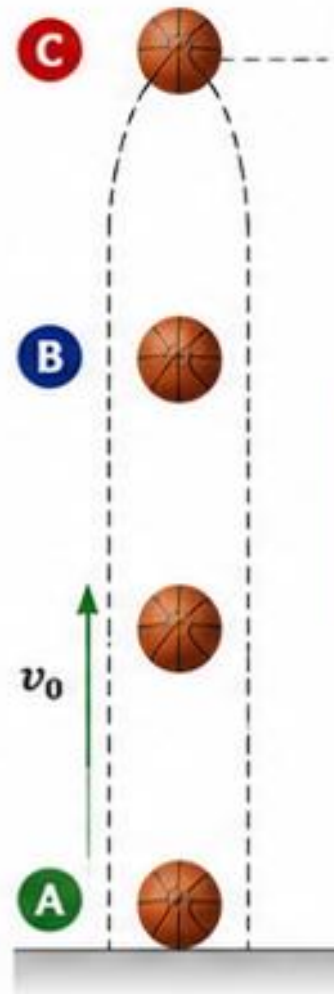
- A** počáteční bod ($t = 0 \text{ s}$)
- B** během letu ($0 < t < t_{\max}$)
- C** nejvyšší bod ($t = t_{\max}$)

Po celou dobu letu
působí pouze tíhová síla!

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

(směrem dolů)

- A** počáteční bod
 - rychlost $v = v_0$ (nahoru)
 - zrychlení $a = -g$ (dolů)
 - E_k maximální
 - E_p minimální (≈ 0)



C nejvyšší bod

- rychlost $v = 0$
- zrychlení $a = -g$ (dolů!)
- $E_k = 0$
- E_p maximální

B během letu

- rychlost se zmenšuje
- stále platí $a = -g$
- E_k se zmenšuje, E_p se zvětšuje



DŮLEŽITÉ!

V nejvyšším bodě je **rychlost nulová**,
ale **zrychlení není nulové**.
Po celou dobu letu platí:
 $a = -g$ (směrem dolů).



5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

VZORCE (pro pohyb vzhůru)

Zvolme osu y s kladným směrem vzhůru.

Doba výstupu do nejvyššího bodu:

$$t_{\max} = \frac{v_0}{g}$$

Okamžitá rychlost v čase t :

$$v = v_0 - gt$$

Výška (dráha) v čase t :

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

Maximální výška:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

kde:

v_0 ... počáteční rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

v ... okamžitá rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

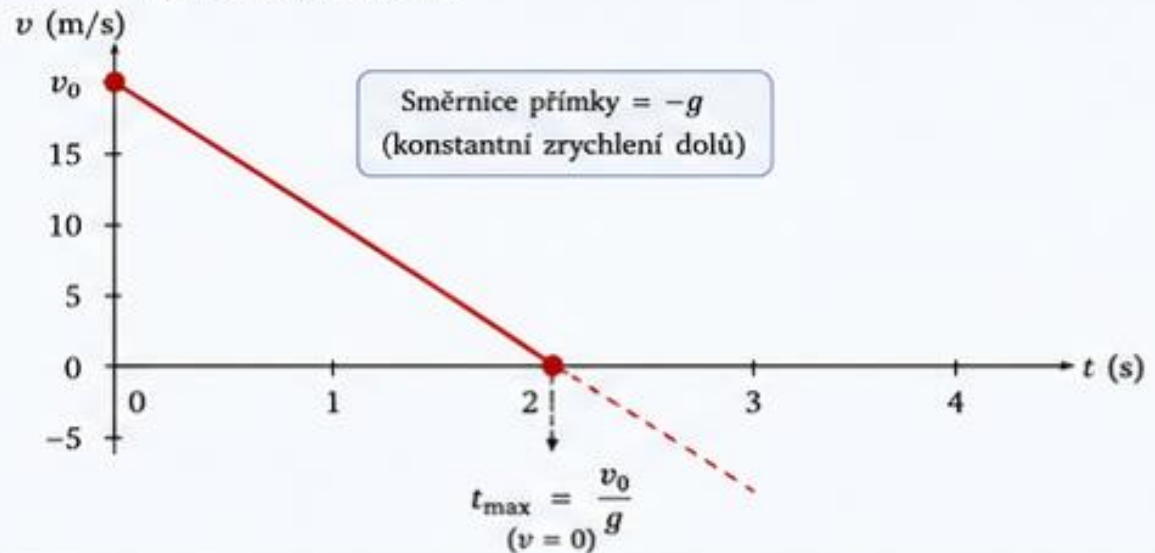
t ... čas (s)

h ... výška nad počátečním bodem (m)

g ... tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

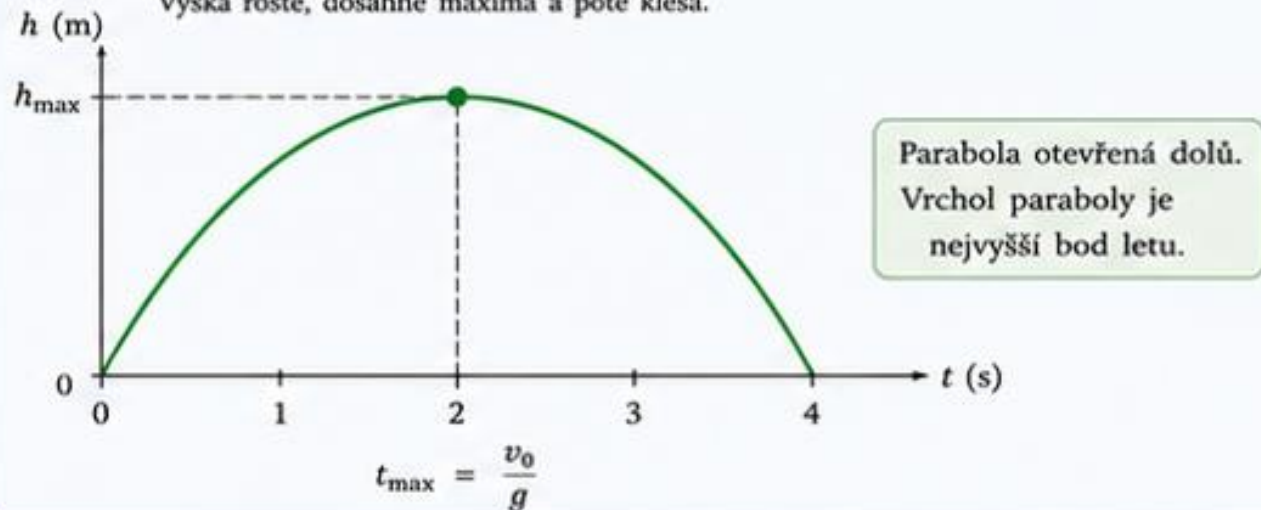
GRAF RYCHLOSTI $v(t)$

Rychlost klesá lineárně.



GRAF VÝŠKY $h(t)$

Výška roste, dosáhne maxima a poté klesá.



5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

ČÍSELNÝ PŘÍKLAD

Kámen vyhodíme svisle vzhůru rychlostí $v_0 = 20 \text{ m/s}$.

Vypočítejte nejvyšší výšku, dobu výstupu a celkovou dobu letu.

$$t_{\max} = \frac{v_0}{g} = \frac{20}{9,81} \approx 2,04 \text{ s}$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{20^2}{2 \cdot 9,81} \approx 20,4 \text{ m}$$

$$\text{Celková doba letu: } t_{\text{let}} = 2t_{\max} \approx 4,08 \text{ s}$$

Vyhodíme-li kámen rychlostí 20 m/s , vystoupí asi do výšky 20 m a celá cesta nahoru a dolů trvá asi $4,1 \text{ s}$.

ZAJÍMAVOSTI A POZNÁMKY

- Doba výstupu závisí pouze na počáteční rychlosti v_0 , ne na hmotnosti tělesa.
- Maximální výška závisí na druhé mocnině počáteční rychlosti – zdvojnásobíme-li v_0 , výška bude čtyřikrát větší.

5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

VODOROVNÝ VRH

Těleso je z výšky h vrženo vodorovně počáteční rychlostí v_0 .
Působí pouze tíhová síla $\vec{F}_g$ (odpor vzduchu zanedbáváme).

KLÍČOVÁ MYŠLENKA

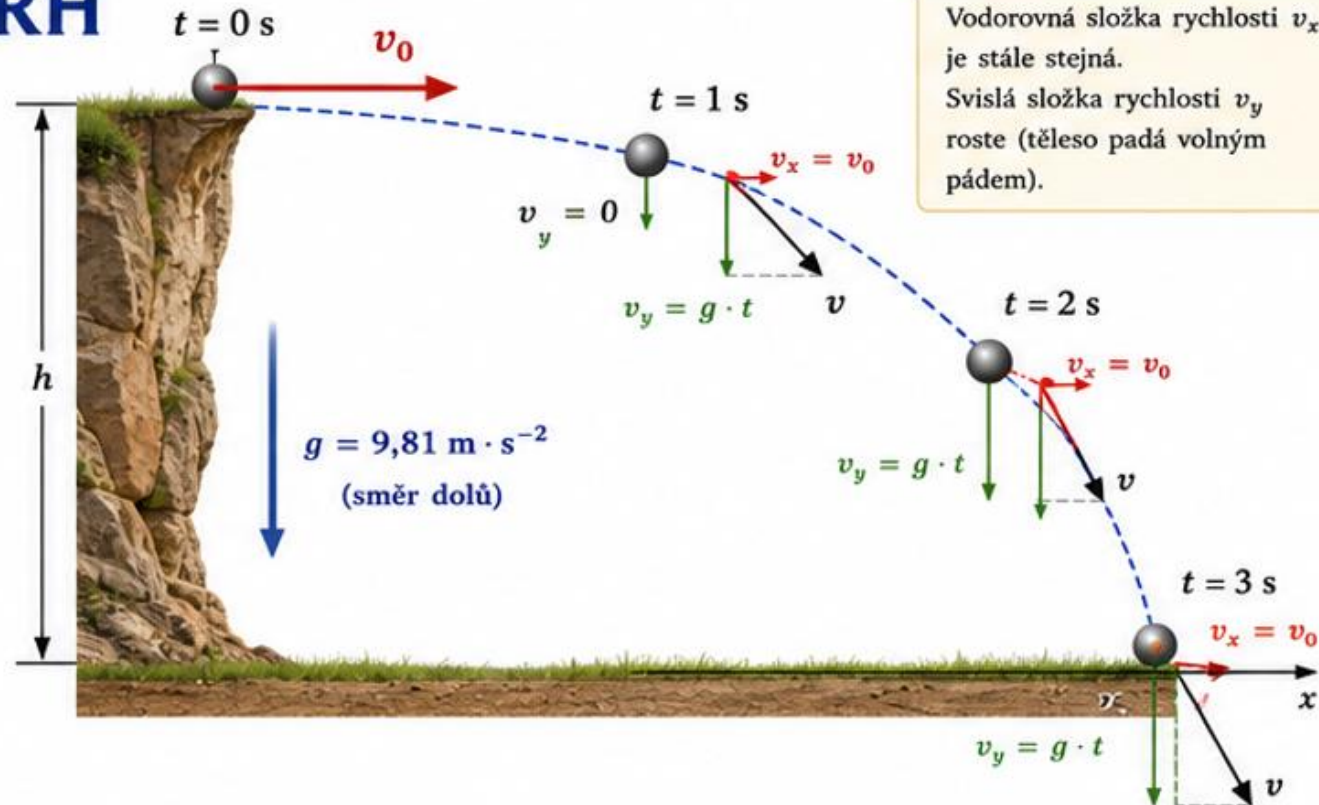
Vodorovný vrh je složením dvou nezávislých pohybů:

- rovnoměrného pohybu vodorovně (směr x)
- volného pádu svisle dolů (směr y)

SCHÉMA POHYBU V ČASE

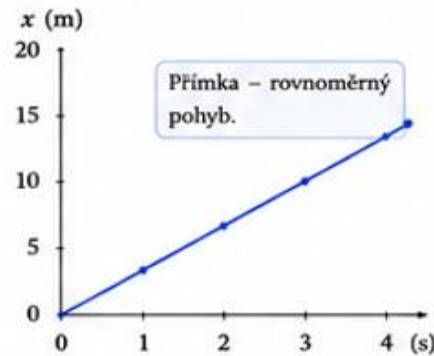
čas t	poloha	v_x	v_y	trajektorie
0 s		v_0	0	—
1 s		v_0	$g \cdot 1$	—
2 s		v_0	$g \cdot 2$	—
3 s		v_0	$g \cdot 3$	—

Doba pádu závisí pouze na výšce h , ne na v_0 !

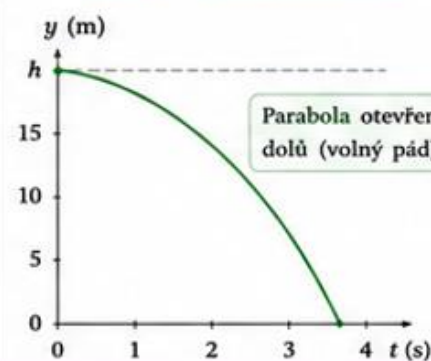


GRAFY

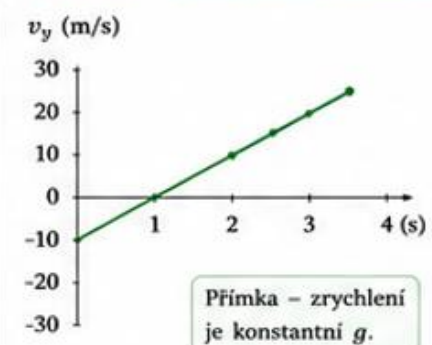
1) $x(t)$ – vodorovná souřadnice



2) $y(t)$ – svislá souřadnice

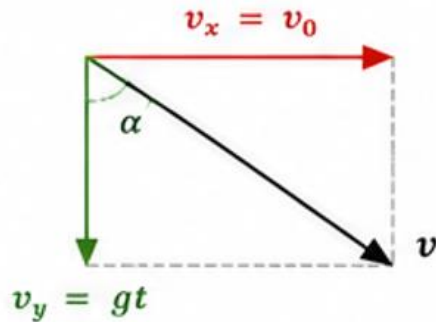


3) $v_y(t)$ – svislá složka rychlosti



5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

ROZKLAD RYCHLOSTI (v libovolném bodě trajektorie)



$$v_x = v_0 \text{ (konst.)}$$

$$v_y = gt$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

ČÍSELNÝ PŘÍKLAD

Z výšky $h = 20 \text{ m}$ je těleso vrženo vodorovně rychlostí $v_0 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Doba pádu:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{9,81}} \approx 2,02 \text{ s}$$

(nezávisí na v_0)

Dostřel (vodorovná vzdálenost):

$$x = v_0 t = 10 \cdot 2,02 \approx 20,2 \text{ m}$$

Svislá rychlost při dopadu:

$$v_y = gt = 9,81 \cdot 2,02 \approx 19,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (směrem dolů)}$$

Výsledná rychlost při dopadu:

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \approx \sqrt{10^2 + 19,8^2} \approx 22,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

VZORCE

Vodorovný směr (x)

Rovnoměrný pohyb

$$x = v_0 t$$

$$v_x = v_0 = \text{konst.}$$

Svislý směr (y)

Volný pád z výšky h

$$y = h - \frac{1}{2} g t^2$$

$$v_y = gt$$

Trajektorie (rovnice dráhy)

Vyloučíme čas t a dostaneme

$$y = h - \frac{g}{2v_0^2} x^2$$

Trajektorie je parabola.

kde: x ... vodorovná souřadnice (m)

y ... svislá souřadnice (m)

h ... výška vrhu (m)

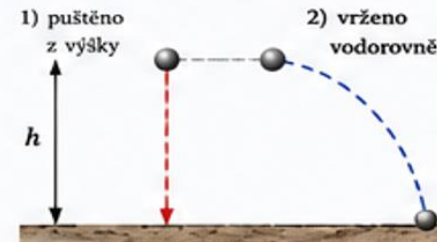
v_0 ... počáteční (vodorovná) rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

t ... čas (s)

g ... tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) $\approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

ZAJÍMAVOST

Dvě tělesa padají současně!



Doba pádu závisí pouze na výšce h . Vodorovná rychlost na dobu pádu nemá vliv.

PAMATUJ SI!

- ✓ Vodorovná rychlost $v_x = v_0$ se během letu **nemění**.
- ✓ Svislý pohyb je stejný jako volný pád z výšky h .
- ✓ Trajektorie vodorovného vrhu je parabola.

Doba pádu nezávisí na vodorovné rychlosti v_0 , ale pouze na výšce h .

PRAKTICKÉ PŘÍKLADY

1. Dělová koule



Koule opouští hradbu vodorovně a padá k zemi po parabolické dráze.

2. Proud vody z hadice



Voda opouští hadici vodorovně a její dráha je parabola.

3. Skokan na lyžích



Po odrazu má skokan převážně vodorovnou rychlost a pohybuje se po parabolické dráze.

4. Balík z letadla



Balík si po odhození zachová vodorovnou rychlost letadla a padá k zemi.

5. Míček ze stolu



Míček se pohybuje vodorovně, po opuštění stolu padá volným pádem.

6. Bombardér – náklad



Náklad po odhození pokračuje vpřed stejnou rychlostí jako letadlo.

5. Pohyby těles v homogenním poli Země.

ŠIKMÝ VRH

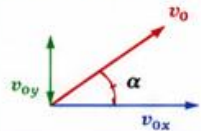
Šikmý vrh je pohyb tělesa vrženého z výšky $h_0 = 0$ počáteční rychlostí v_0 pod úhlem α nad vodorovný směr. Pohyb probíhá pouze pod vlivem tíhového zrychlení g (odpor vzduchu zanedbáváme).

KLÍČOVÁ MYŠLENKA

Šikmý vrh je složením dvou nezávislých pohybů:

- **vodorovně:** rovnoměrný pohyb ($a_x = 0$)
- **svisle:** rovnoměrně zrychlený pohyb ($a_y = -g$)

ROZKLAD POČÁTEČNÍ RYCHLOSTI



$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$
$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

VZORCE

Vodorovný směr (x)

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$a_x = 0$$

Svislý směr (y)

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g t$$

$$a_y = -g$$

Trajektorie (rovnice dráhy):

Vyloučíme čas t :

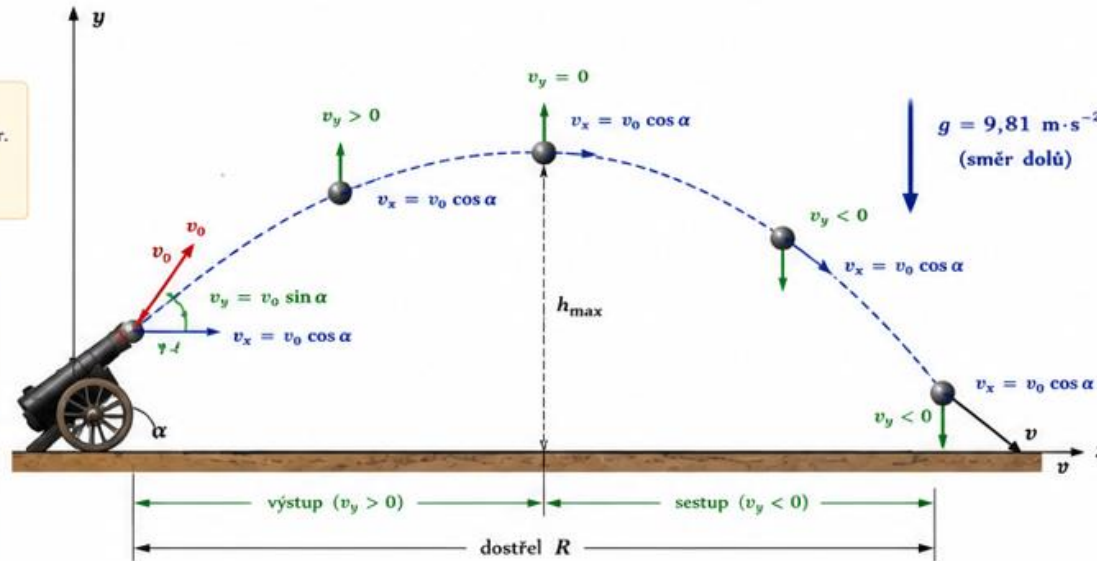
$$y = x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

Trajektorie je parabola.

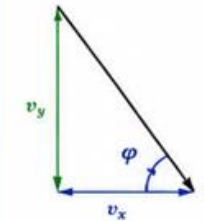
kde:

- v_0 ... počáteční rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 α ... úhel vrhu nad vodorovnou ($^\circ$)
 h_0 ... počáteční výška (m)

- x, y ... souřadnice (m)
 t ... čas (s)
 g ... tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)



ROZKLAD RYCHLOSTI V LIBOVOLNÉM OKAMŽIKU



$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad (\text{konst.})$$

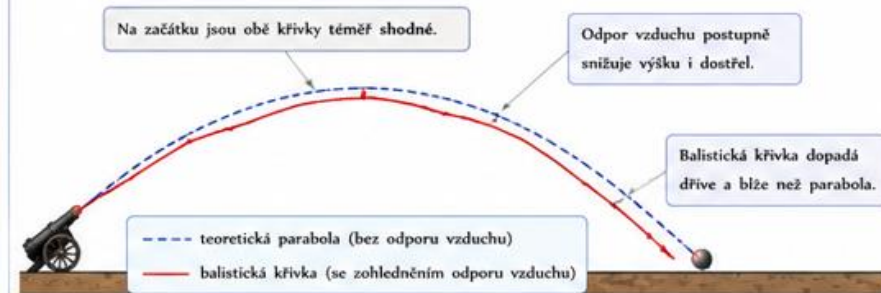
$$v_y = v_0 \sin \alpha - g t$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{v_y}{v_x}$$

Vodorovná složka rychlosti v_x je stále stejná.
Svislá složka v_y se během letu mění.

TRAJEKTORIE: TEORETICKÁ PARABOLA VS. BALISTICKÁ KŘIVKA



Na začátku jsou obě křivky téměř shodné.

Odpor vzduchu postupně snižuje výšku i dostřel.

Balistická křivka dopadá dříve a blíže než parabola.

--- teoretická parabola (bez odporu vzduchu)
— balistická křivka (se zohledněním odporu vzduchu)

PRAKTICKÉ PŘÍKLADY

1. Dělová střela



Klasický příklad šikmého vrhu. Trajektorie střely je balistická křivka.

2. Oštěp



Oštěp je vržen pod úhlem k zemi a jeho dráha odpovídá šikmému vrhu.

3. Fotbalový míč



Míč při kopu opisuje parabolickou dráhu, dokud nespadne na zem.

4. Ohňostroj



Naketa po výstřelu stoupá šikmo vzhůru a pak padá k zemi.

5. Hašení požáru



Proud vody z hadice je vržen šikmo vzhůru a dopadá dále od hasiče.

6. Golfový odpal



Míček je odpálen pod úhlem k zemi, aby doletěl co nejdále.

ČÍSELNÝ PŘÍKLAD

Těleso vystřelíme z úrovně země rychlostí $v_0 = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pod úhlem $\alpha = 30^\circ$. Určete t_v , $h_{\max}$, t a R .

$$t_v = \frac{30 \sin 30^\circ}{9,81} = 1,53 \text{ s}$$

$$h_{\max} = \frac{(30 \sin 30^\circ)^2}{2 \cdot 9,81} = 11,5 \text{ m}$$

$$t = \frac{2 \cdot 30 \sin 30^\circ}{9,81} = 3,06 \text{ s}$$

$$R = \frac{30^2 \sin 60^\circ}{9,81} = 79,6 \text{ m}$$

ZAJÍMAVOSTI

- Při stejné počáteční rychlosti v_0 dají úhly α a $90^\circ - \alpha$ stejný dostřel R .
- Čím větší α , tím větší výška, ale menší dostřel (pro $\alpha > 45^\circ$).
- Při $\alpha = 45^\circ$ je dostřel maximální.

DŮLEŽITÉ!

- ✓ Vodorovná složka v_x je konstantní.
- ✓ Svislá složka v_y se mění, $a_y = -g$.
- ✓ Trajektorie je parabola (bez odporu vzduchu).

6. Pohyby těles v centrálním poli Země.

POHYB TĚLES V CENTRÁLNÍM POLI ZEMĚ

Těleso vystřelíme z výšky h nad povrchem Země vodorovně rychlostí v_0 .
Působí pouze gravitační síla Země (odpor vzduchu zanedbáváme).
Trajektorie závisí na velikosti počáteční rychlosti.

1 ČÁST ELIPSY – DOPAD NA ZEMI

$v_0 < v_K$

Trajektorie je část elipsy a těleso dopadne na Zem.

Příklady:

- dělostřelecký granát
- balistická raketa krátkého doletu
- meteorit těsně před dopadem



2 ELIPSA – OBĚŽNÁ DRÁHA

$v_K < v_0 < v_P$

Těleso obíhá kolem Země po eliptické dráze. Země je v jednom ohnisku elipsy.

Příklady:

- družice GPS
- komunikační družice
- vědecké družice



3 KRUŽNICE – KRUHOVÁ DRÁHA

$v_0 = v_K$

Těleso obíhá po kruhové dráze konstantní výšky. Gravitační síla poskytuje dostředivou sílu.

Příklady:

- ISS (Mezinárodní vesmírná stanice)
- Starlink (satelitní internet)
- meteorologické družice



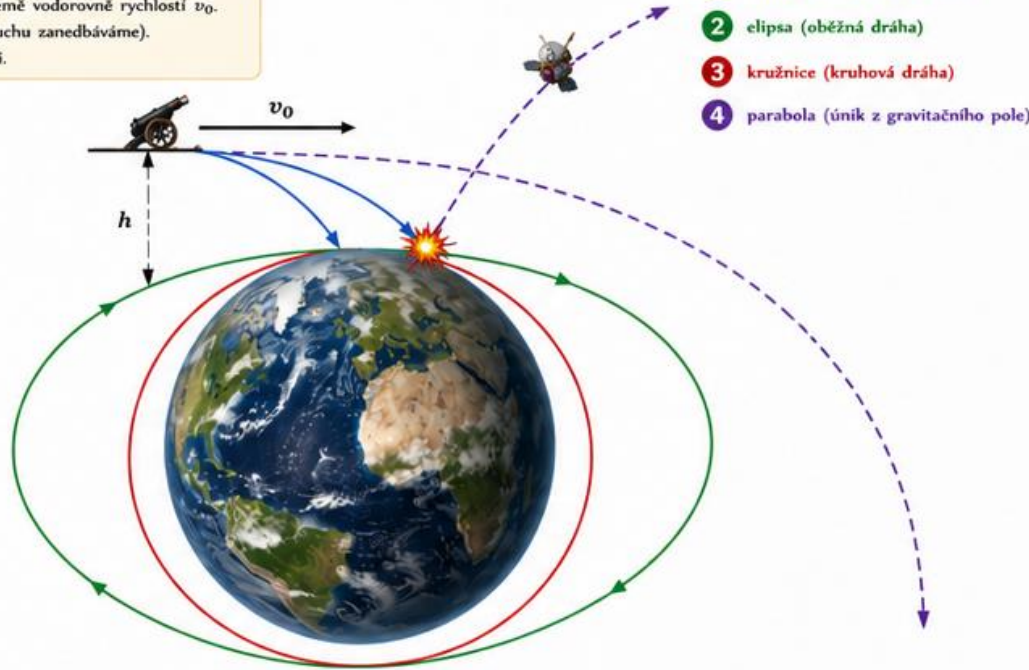
4 PARABOLA – ÚNIKOVÁ RYCHLOST

$v_0 = v_P$

Trajektorie je parabola – těleso uniká z gravitačního pole Země a již se nevrátí.

Příklady:

- mise Apollo (cesta k Měsíci)
- sondy Voyager
- sonda New Horizons



- 1 část elipsy (dopad na Zemi)
- 2 elipsa (oběžná dráha)
- 3 kružnice (kruhová dráha)
- 4 parabola (úník z gravitačního pole)

3 KRUHOVÁ DRÁHA – KRUHOVÁ RYCHLOST

Pro pohyb po kružnici musí být gravitační síla dostředivou silou.

Odvození:

Po ztotožnění gravitační síly F_G a dostředivé síly F_D dostaneme kruhovou rychlost:

$$F_G = \frac{GMm}{r^2}$$

$$F_D = \frac{mv^2}{r}$$

$$v_K = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Na povrchu Země ($r = R_Z$):

$$v_K = \sqrt{\frac{GM}{R_Z}} \approx 7,9 \text{ km s}^{-1}$$

kde $R_Z = 6371 \text{ km}$

Praktické využití:

Družice na kruhové dráze obíhá Země stále dokola ve stejné výšce. Neustále padá k Zemi, ale díky své rychlosti ji „uhýbá“.

kde:

G ... gravitační konstanta = $6,674 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

M ... hmotnost Země = $5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$

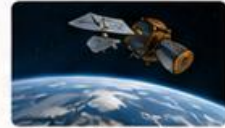
r ... vzdálenost od středu Země (m)



Mezinárodní vesmírná stanice (ISS)
výška ~ 420 km,
 $v_K \approx 7,67 \text{ km/s}$



Starlink (SpaceX)
výška ~ 550 km,
 $v_K \approx 7,6 \text{ km/s}$



Meteorologická družice
výška ~ 36 000 km,
 $v_K \approx 3,1 \text{ km/s}$

4 PARABOLICKÁ (ÚNIKOVÁ) RYCHLOST

Parabolická rychlost je minimální rychlost, kterou musí těleso získat, aby uniklo z gravitačního pole Země.

Odvození (ze zachování mechanické energie):

Na povrchu Země ($r = R_Z$):

$$v_P = \sqrt{2} v_K \approx 11,2 \text{ km s}^{-1}$$

Obecně ve výšce h :

$$v_P = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

kde $r = R_Z + h$

Příklady použití:



Mise Apollo
(úník z gravitačního pole Země)



Voyager 1 a 2
(mise k hranicím Sluneční soustavy)



New Horizons
(mise k Pluttu a za něj)

PERIGEUM A APOGEUM – KLÍČOVÉ BODY ELIPTICKÉ DRÁHY

Perigeum (P)

nejnižší bod dráhy
nejblíže Zemi

- minimální vzdálenost
 $r_P = R_Z + h_P$
- maximální rychlost
 v_P



Apozeum (A)

nejvyšší bod dráhy
nejdále od Země

- maximální vzdálenost
 $r_A = R_Z + h_A$
- minimální rychlost
 v_A

V každém bodě eliptické dráhy platí:
 $r_P < r < r_A$

Družice se v perigeu pohybuje rychleji, protože je blíže ke středu Země, kde je gravitační síla větší.

DŮLEŽITÉ KONSTANTY

Gravitační konstanta: $G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Hmotnost Země: $M = 5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$

Poloměr Země: $R_Z = 6371 \text{ km}$

UŽITEČNÉ VZORCE

Kruhová rychlost:

$$v_K = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Úniková rychlost:

$$v_P = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Gravitační zrychlení ve výšce h :

$$g_h = \frac{GM}{(R_Z + h)^2}$$

Hmotnostní parametr Země:

$$\mu = GM = 3,986 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

Poznámka

Všechny vzorce jsou odvozeny za předpokladu, že Země je dokonale kulová a neotáčí se (vliv rotace a odporu vzduchu zanedbáváme).

7. Keplerovy zákony.

PRAHA ZA CÍSAŘE RUDOLFA II. VĚDECKÉ HLAVNÍ MĚSTO EVROPY KOLEM ROKU 1600

Na přelomu 16. a 17. století se z Prahy stalo centrum vědy, umění i tajemných nauk.

Císař Rudolf II. sem pozval nejlepší mozky své doby.



RUDOLF II.
(1552–1612)

- císař Svaté říše římské
- sídlil v Praze od roku 1583
- velký mecenáš věd a umění
- sběratel obrazů, knih, kuriozit a vědeckých přístrojů
- vytvořil jednu z největších uměleckých sbírek Evropy
- Jeho dvůr přitahoval astronomy, matematiky, lékaře, alchymisty i umělce z celé Evropy.



Braheova observatoř
na Hradčanech

ALCHYMIE NA RUDOLFIÁNSKÉM DVOŘE

Hledání kamene mudrců, elixíru života a přeměny kovů.

JOHN DEE
(1527–1608)



- matematik, astronom, filozof a okultista
- poradce anglické královny Alžběty I.
- zabýval se kryptografií, navigací a „božskou vědou“
- v Praze pobýval roku 1583–1589

EDWARD KELLEY
(1555?–1597)



- alchymista a mystik
- tvrdil, že komunikuje s anděly pomocí křišťálů
- společně s Johnem Dee hledal kámen mudrců
- žil v Praze pod ochranou císaře Rudolfa II.



Rudolf II. financoval alchymické laboratoře, pokusy s výrobou zlata a hledání elixíru života.

TYCHO BRAHE (1546–1601)

Proč přišel do Prahy?

- působil v Dánsku u krále Frederika II.
- po konfliktu s novým králem ztratil podporu pro svou observatoř Uraniborg
- roku 1599 přijal pozvání Rudolfa II.



Kovový nos

V mládí přišel při souboji o část nosu. Používal kovovou protézu – pravděpodobně ze slitiny mědi a zinku (moderní analýzy ostatků).

Největší přínos

Nejpřesnější astronomická měření své doby (před vynálezem dalekohledu).

Pohřbení

Tycho Brahe je pohřben v kostele Panny Marie před Týnem na Staroměstském náměstí v Praze.



JOHANNES KEPLER (1571–1630)

Původ

Narodil se ve městě Weil der Stadt (dnešní Německo).



Praha – místo zrodu zákonů

Po Braheově smrti (1601) převzal jeho mimořádně přesná pozorování.

Právě v Praze odvodil:

1. Keplerův zákon (zákon elips)
2. Keplerův zákon (zákon ploch)
- později i 3. Keplerův zákon (zákon harmonický)

Rodinné drama

Jeho matka byla obviněna z čarodějnictví.

Kepler ji osobně několik let hájil před soudem a zachránil ji před popravou.



Další zajímavosti

- silně věřící protestant
- zabýval se optikou a vysvětlil funkci lidského oka
- navrhl princip astronomického dalekohledu

ZAJÍMAVOSTI Z PRAHY KOLEM ROKU 1600

★ V roce 1600 žili současně v Praze: Rudolf II., Tycho Brahe, Johannes Kepler, (krátce) John Dee a Edward Kelley.

★ Na Hradčanech stála Braheova observatoř – nejlépe vybavená v Evropě.

★ Pražská univerzita a tiskárny šířily vědecké poznatky po celé Evropě.

★ Alchymie, astrologie a astronomie se tehdy často prolínaly – hledalo se poznání přírody i „tajemství vesmíru“.

★ Praha byla místem, kde se setkávaly různé náboženské i kulturní proudy.



OD POZOROVÁNÍ KE ZÁKONŮM PŘÍRODY



Tycho Brahe desetky let měřil polohy planet s nebyvalou přesností.



Jeho data předal Johannes Kepler, který objevil zákony pohybu planet.



Isaac Newton
(1642–1727)

na základě Keplerových zákonů formuloval zákon gravitace.



Tím vznikl základ moderní fyziky a našeho chápání vesmíru.

Bez Braheových měření by nebyly Keplerovy zákony. Bez Keplerových zákonů by Newton pravděpodobně neodhalil zákon gravitace.

PRAHA – MĚSTO VĚDY A TAJEMSTVÍ

Rudolfínská Praha byla jedinečným místem, kde se potkávala věda, umění i tajemné nauky. Tato atmosféra svobody myšlení a hledání pravdy připravila půdu pro některé z největších objevů v dějinách lidského poznání.



DŮLEŽITÉ DATUMY

1583
narození Rudolfa II.

1583
přesun císařského dvora
do Prahy



1583–1589
pobyt Johna Dee
v Praze



1599
příchod Tycha Braheho
do Prahy



1601
smrt Tycha Braheho



1601–1612
Johannes Kepler pracuje
v Praze



1609
vydání Astronomia nova
(Kepler)

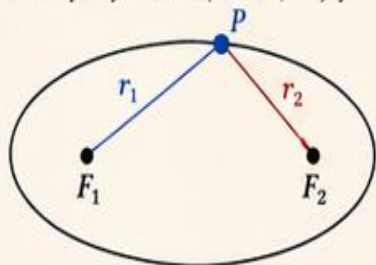


1612
smrt Rudolfa II.

7. Keplerovy zákony – 1.KEZ

CO JE ELIPSA?

Elipsa je množina všech bodů roviny, pro které je součet vzdáleností od dvou pevných bodů (ohnisek) stejný.



$$r_1 + r_2 = \text{konst.}$$

Součet vzdáleností od obou ohnisek je v každém bodě elipsy stejný.

EXCENTRICITA DRÁHY

Excentricita e vyjadřuje, jak je elipsa protáhlá ($0 \leq e < 1$).

$$e = \frac{c}{a}$$

kde c je vzdálenost ohniska od středu elipsy
 a je délka hlavní poloosy.



ZEMĚ ($e = 0,017$)



téměř kruhová dráha

PŘÍKLADY RŮZNÝCH DRAH

MARS ($e = 0,093$)



mirně protáhlá elipsa

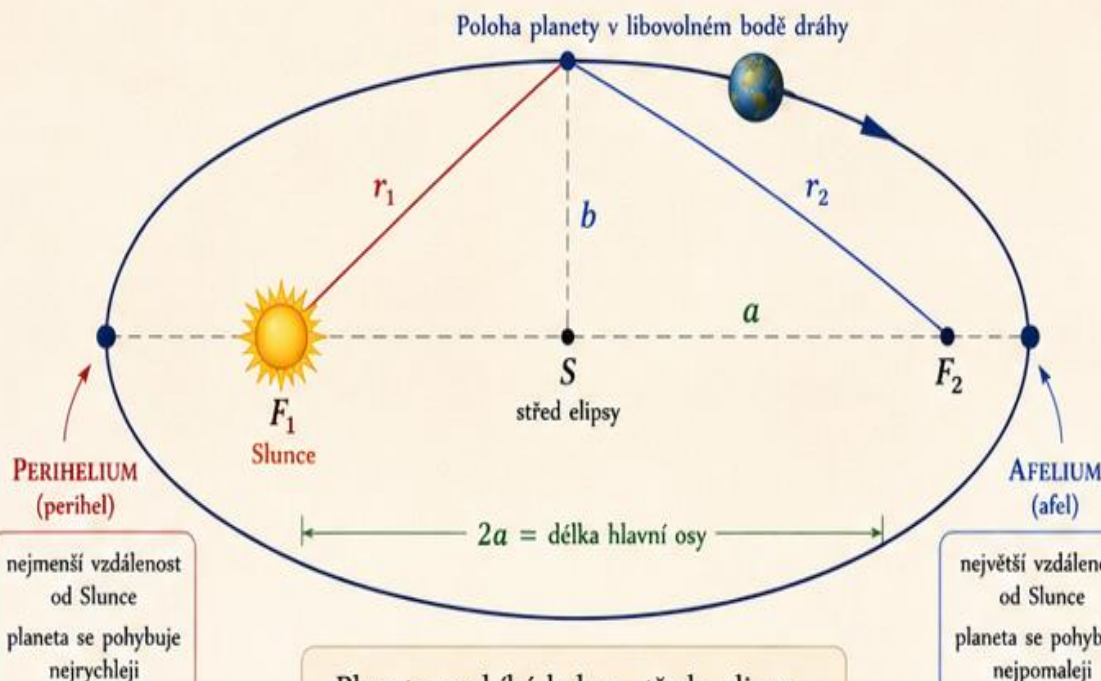
HALLEYOVA KOMETA ($e = 0,967$)



velmi protáhlá elipsa

PRVNÍ KEPLERŮV ZÁKON

*Planety obíhají kolem Slunce po elipsách.
Slunce leží v jednom z ohnisek elipsy.*



PERIHELIMUM
(perihel)

nejmenší vzdálenost od Slunce
planeta se pohybuje nejrychleji

$$r_p = a(1 - e)$$

Planeta neobíhá kolem středu elipsy, ale kolem Slunce v jejím ohnisku.

AFELIUM
(afel)

největší vzdálenost od Slunce
planeta se pohybuje nejpomaleji

$$r_a = a(1 + e)$$

JOHANNES KEPLER (1571–1630)



Německý astronom a matematik. Na základě přesných pozorování, která v letech 1572–1601 pořídil Tycho Brahe, objevil Kepler tři zákony pohybu planet. První zákon zveřejnil roku 1609 ve své knize *Astronomia nova*.

Bez Braheových měření by nebyly Keplerovy zákony. Bez Keplerových zákonů by Newton pravděpodobně neodhalil zákon gravitace.

PŘÍKLAD: ZEMĚ

Perihelium
147,1 milionu km
(počátek ledna)

Afelium
152,1 milionu km
(počátek července)



ZAJÍMAVOST

Roční období nejsou způsobena vzdáleností Země od Slunce, ale sklonem zemské osy.



EXCENTRICITA VYBRANÝCH TĚLES

Těleso	Excentricita e	Tvar dráhy (schematicky)
Země	0,017	
Mars	0,093	
Pluto	0,249	
Halleyova kometa	0,967	

Čím je excentricita e větší (blíží se 1), tím je elipsa více protáhlá.

Pro $e = 0$ je dráha kružnice.

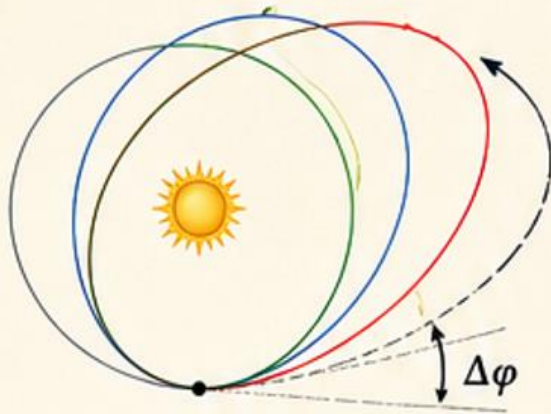
Pro $e \rightarrow 1$ je dráha velmi protáhlá.

7. OTR - Stáčení perihélia planet.

EINSTEINOVA PŘEDPOVĚĎ: STÁČENÍ PERIHÉLIA MERKURU

STÁČENÍ PERIHÉLIA

Po každém oběhu se perihelium Merkuru nepatrně posune. Elipsa se pomalu otáčí.



různé oběhy Merkuru po sobě
(posun perihelia)

NEWTONOVA GRAVITACE



Gravitační působení ostatních planet způsobuje většinu pozorovaného stáčení.

Celkové stáčení vysvětlené
Newtonovou teorií:

5600"
za století

(tzn. 5600 úhlových vteřin = 1,56° za století)

EINSTEINOVA OBECNÁ TEORIE RELATIVITY



Obecná teorie relativity vysvětluje zbývající část stáčení, kterou Newtonova teorie nedokáže popsat.

Relativistický příspěvek
(OTR):

43"
za století

Součet: 5600" (Newton) + 43" (OTR) = 5643" za století
v souladu s pozorováním.

VÝPOČET PODLE OTR

$$\Delta\varphi = \frac{6\pi GM}{a(1-e^2)c^2}$$

Pro Merkur:

$$a = 5,79 \times 10^{10} \text{ m (57,9 mil. km)}$$

$$e = 0,2056$$

$$G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$M = 1,9885 \times 10^{30} \text{ kg (Slunce)}$$

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Výsledek:

$$\Delta\varphi = 42,98'' \text{ za století}$$

MODERNÍ MĚŘENÍ

Radarová měření ze Země již v 60. letech potvrdila shodu s OTR na úrovni ~0,5 %. (Shapiro et al., 1964)

Sonda BepiColombo (ESA/JAXA), která dorazila k Merkuru v roce 2025, měří relativistické jevy s přesností na miliontiny hlavního efektu stáčení perihelia.



bepicolombo

esa | jaxa



Keplerovy elipsy nejsou v obecné teorii relativity dokonale uzavřené – jejich perihelium se pomalu stáčí.

OD KEPLERA K EINSTEINOVÍ



KEPLER (1609)

Objevil tvar drah planet: planety obíhají po elipsách se Sluncem v jednom z ohnisek.



NEWTON (1687)

Vysvětlil, proč planety obíhají po elipsách: jeho gravitační teorie popisuje pohyb planet s velkou přesností.



EINSTEIN (1915)

Obecná teorie relativity zpřesnila naše chápání gravitace a odhalila drobné odchylky – jako je stáčení perihelia Merkuru.

SHRNUTÍ

První Keplerův zákon popisuje tvar drah. Einsteinova teorie ukazuje, že i tento tvar se v extrémně přesných podmínkách mírně mění.

7. Keplerovy zákony – 2. KEZ

DRUHÝ KEPLERŮV ZÁKON ZÁKON PLOCH

Za stejné časové intervaly opíše průvodič planety stejné plochy.

PERIHELIMUM
(nejblíže Slunci)

3.–5. ledna
147,1 mil. km

AFELIUM
(nejdále od Slunce)
4.–6. července
152,1 mil. km

$$S_1 = S_2$$

Stejný čas → **stejná plocha**,
ale nikoliv stejná uražená dráha.

$v_p = 30,3 \text{ km/s}$
(nejvyšší rychlost)

$v_a = 29,3 \text{ km/s}$
(nejnižší rychlost)

CO ZÁKON ŘÍKÁ?

Průvodič je pomyslná přímka spoující střed planety se Sluncem.
Tato přímka (průvodič) opíše za stejné časové intervaly stejné plochy.



DŮSLEDKY:

- Když je planeta blíže Slunci, pohybuje se rychleji.
- Když je planeta dále od Slunce, pohybuje se pomaleji.

DRÁHA ZEMĚ KOLEM SLUNCE

Perihelium
3.–5. ledna

147,1 mil. km

Afelium
4.–6. července

152,1 mil. km

Rozdíl vzdálenosti je asi 5 milionů km ($\approx 3,4 \%$).
Rozdíl rychlostí Země je asi 1 km/s ($\approx 3 \%$).

PROČ JE NA SEVERNÍ POLOKOULI KRATŠÍ ZIMA?

Země se v lednu nachází poblíž perihelia a pohybuje se rychleji.
Proto zima na severní polokouli trvá kratší dobu než léto.

Roční období	Délka	Důvod
Jaro (21. 3. – 21. 6.)	92,8 dne	Země je rychlejší v lednu (u perihelia) a pomalejší v červenci (u afelia).
Léto (21. 6. – 23. 9.)	93,6 dne	
Podzim (23. 9. – 21. 12.)	89,8 dne	
Zima (21. 12. – 21. 3.)	89,0 dne	

Zima na severní polokouli je tedy $\sim 4\text{--}5$ dnů kratší než léto.

LUCIE NOCI UPIJE, ALE DNE NEPŘIDÁ

13. PROSINEC

SVATÁ
LUCIE



Význam přísloví

Nejčasnější západ Slunce nastává už kolem 13.–14. prosince.
Východ Slunce se však ještě opožďuje.
Proto se večery začínají prodlužovat, ale celková délka dne se ještě nezvětšuje.
Proto se večer-y e prodlužují, ale celková délka dne neroste.

21.–22. PROSINEC

ZIMNÍ
SLUNOV RAT



Od slunovratu (21.–22. prosince) se začíná prodlužovat celková délka dne.
Dny jsou pak každý den o něco delší až do letního slunovratu.

PŘÍKLAD: HALLEYOVA KOMETA

Komety mají velmi protáhlé eliptické dráhy.
Rozdíl rychlostí mezi periheliem a afeliem je proto obrovský.

Druhý Keplerův zákon se u komet projevuje nejvýrazněji.

Perihelium
(nejblíže Slunci)

54,6 km/s

Afelium
(nejdále od Slunce)

0,9 km/s

Z perihelia k afeliu se kometa zpomalí téměř 60x.
Proto tráví obrovskou část oběhu hluboko v kosmickém chladu.

KRUHOVÁ DRÁHA VS. ELIPTICKÁ DRÁHA

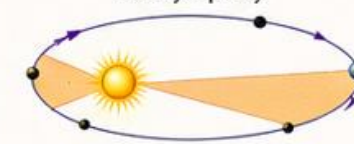
Kružnice ($e = 0$)

Za stejné časové intervaly uraží planeta stejné oblouky.



Elipsa ($e > 0$)

Za stejné časové intervaly uraží planeta různé oblouky, ale stejné plochy.



Druhý Keplerův zákon není jen matematika. Vysvětluje, proč jsou roční období různě dlouhá, proč jsou komety tak rychlé u Slunce a proč družice na eliptických drahách mění svou rychlost.

Stejný čas



stejná plocha



různá
rychlost



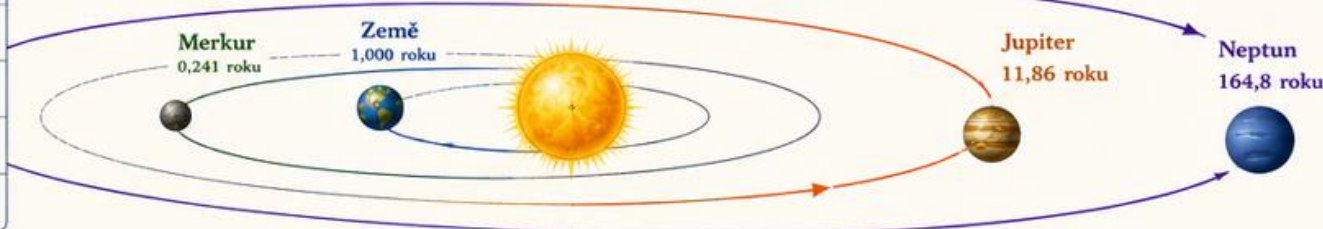
to ovlivňuje i náš každý den.

7. Keplerovy zákony – 3. KEZ

TŘETÍ KEPLERŮV ZÁKON

Čím dále od Slunce, tím pomalejší oběh

Vzdálenější planety obíhají pomaleji a jejich rok trvá déle.



1 AU (astronomická jednotka) = průměrná vzdálenost Země od Slunce = 149,6 mil. km

Podstata zákona

Čtverec oběžné doby planety je úměrný třetí mocnině velké poloosy její dráhy.

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

Platí pro všechny planety obíhající kolem Slunce (a obecně kolem jednoho centrálního tělesa).

Matematický tvar zákona

Keplerův původní tvar (pro planety Sluneční soustavy)

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

Z odvození z Newtonova gravitačního zákona

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$

T ... oběžná doba planety (s)
 a ... velká poloosa dráhy (m)
 G ... gravitační konstanta ($6,674 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$)
 M ... hmotnost centrálního tělesa (kg)
Pro planety Sluneční soustavy je $M = M_{\text{Slunce}}$

VZOROVÉ PŘÍKLADY

1 Jak dlouhý je rok na Jupiteru?

$a = 5,203 \text{ AU}$

Použijeme Keplerův tvar (při $M = M_{\text{Slunce}}$):

$$T^2 = a^3$$

$$T = \sqrt{a^3} = a^{3/2} = \sqrt{5,203^3}$$

$$T = 11,86 \text{ roku}$$

Jupiter oběhne Slunce za přibližně 11,86 roku.



2 Jak daleko je Neptun od Slunce?

Zadáno: $T = 164,8 \text{ roku}$

Použijeme Keplerův tvar:

$$a^3 = T^2$$

$$a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{(164,8)^2}$$

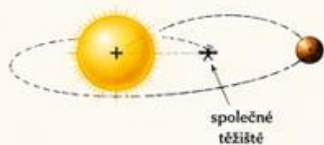
$$a = 30,1 \text{ AU}$$

Neptun obíhá přibližně $30,1 \times$ dále od Slunce než Země.



VYUŽITÍ ZÁKONA PŘI HLEDÁNÍ EXOPLANET

Hvězda a exoplaneta obíhají kolem společného těžiště. Hvězda se vlivem planety nepatrně „kývá“.



Pozorujeme periodické posuny spektrálních čar hvězdy (Dopplerova metoda). Z periody T a velikosti dráhy hvězdy a_* (nebo planety) určíme hmotnosti.

Upravený Newtonův tvar (pro dvojhvězdný systém)

$$M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2}$$

M_1 ... hmotnost hvězdy
 M_2 ... hmotnost planety
 a ... velká poloosa relativní dráhy (m)
 T ... oběžná doba (s)

Znamé-li T a a , můžeme určit součet hmotností systému. Pokud známe hmotnost hvězdy, získáme i hmotnost planety.

Příklad:
51 Pegasi b

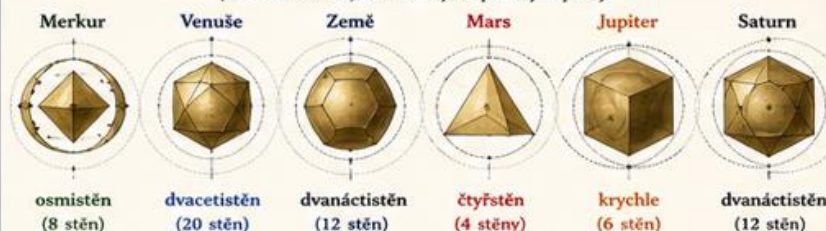


První exoplaneta objevená u hvězdy podobné Slunci (1995). Hmotnost planety byla určena právě pomocí třetího Keplerova zákona a Dopplerovy metody.

KEPLEROVA MYSTICKÁ PŘEDSTAVA VESMÍRU

HARMONICES MUNDI (1619)

Kepler se domníval, že vzdálenosti planet od Slunce určují pravidelné mnohostěny (Platónská tělesa), do nichž jsou planety vepsány.



Tento model byl chybný, ale Keplera dovedl k hledání skutečných matematických zákonů, které popisují harmonii vesmíru. Z mystiky vedla cesta k moderní vědě.



Od mystiky k moderní astronomii



Rudolfínská Praha
(1600–1612)



Kepler
(objev zákonů)



Newton
(vysvětlení gravitací)



Kosmické sondy
(přesná měření)



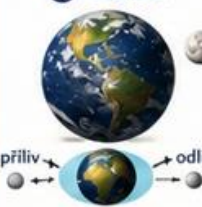
Exoplanety
(objev nových světů)

Kepler hledal harmonii vesmíru v geometrii. Dnes pomocí jeho zákonů objevujeme nové světy u vzdálených hvězd.

8. Sluneční soustava.

SLUNEČNÍ SOUSTAVA

Nejpodivnější fakta o planetách

 ☿ MERKUR Na některých místech Merkuru lze pozorovat dva (někdy i více) východů Slunce během jednoho dne. • Důvod: velmi výstředná dráha a rezonance 3 : 2 mezi rotací a oběhem. ☞ Den (rotace): 176 pozemských dní ☞ Rok (oběh): 88 pozemských dní	 ♀ VENUŠE Rok na Venuši je kratší než její den. • $T_{\text{oběhu}} = 225$ dní • $T_{\text{rotace}} = 243$ dní • Venuše se otáčí opačným směrem než většina planet (retrográdně). • Slunce na ní vychází na západě a zapadá na východě.	 ⊕ ZEMĚ Zemská rotace se neustále zpomaluje. • Přílivové tření Měsíce zpomaluje rotaci Země. • Před 400 miliony let měl den asi 400 hodin. • Dnes se den prodlužuje asi o 1,7 milisekundy za století. • Dříve tomu ve Měsíci kašdoročně 0 → -3,8 cm dál od Země.	 ♂ MARS Nejvyšší sopka Sluneční soustavy. • Olympus Mons je vysoká asi 22 km – to je 2,5× více než Mount Everest. • Mars má také největší kaňon – Valles Marineris (délka 4 000 km). • Na pólech jsou ledové čepičky z vody i oxidu uhličitého.	 ♃ JUPITER Velká rudá skvrna – bouře trvající miliony let • Obří anticyklona pozorovaná nejméně od roku 1831. • Průměr: = 16 000 km (Do skvrny by se vešla Země.) • Jupiter vyzařuje více energie, než přijímá od Slunce. • Má největší počet měsíců (v současnosti jich má přes 90).	 ♄ SATURN Saturn by plaval na vodě. • Průměrná hustota Saturnu je 0,69 g/cm³, což je méně než hustota vody (1,00 g/cm³). • Kdyby existoval oceán dostatečně velký, Saturn by na něm skutečně plaval! • Jeho prstence jsou tvořeny ledovými částicemi a prachem.	 ♅ URAN Uran se valí kolem Slunce jako sud. • Sklon rotační osy je 98° – Uran se prakticky otáčí na boku. • Na každém pólu trvá den i noc asi 42 let! • Má 27 známých měsíců a velmi slabé prstence.	 ♆ NEPTUN Nejsilnější větry v celé soustavě. • Větry na Neptunu dosahují rychlosti až 2 100 km/h – rychleji než proudové dopravní letadlo. • Na Neptunu se nachází nejvzdálenější bouřlivý útvar – Velká tmavá skvrna. • Rok na Neptunu trvá 165 pozemských let.	 ♇ PLUTO Trpasličí planeta. • Do roku 2006 bylo Pluto považováno za devátou planetu. • Od roku 2006 (definice IAU) je klasifikováno jako trpasličí planeta. • Pluto a jeho měsíc Charon obíhají společné těžiště, které leží mimo Pluto. • Rok na Neptunu trvá 248 pozemských let.
--	--	---	--	--	--	---	---	---

POROVNÁNÍ VELIKOSTÍ

(planety nejsou v měřítku)



1 12 PLANET PODLE SUMERŮ?



Na sumerských tabulkách (např. MUL.APIN, ~1500 př. n. l.) je uvedeno 12 nebeských těles.

Moderní interpretace některých autorů (např. Zecharia Sitchin) tvrdí, že Sumerové znali:



Zecharia Sitchin
(1920–2010)

Autor teorie o dávných astronautech a vyspělých civilizacích.

Historici se však většinou shodují, že šlo spíše o symbolické než astronomické pojetí.

2 TEORIE PLANETY X / NIBIRU

Hypotéza o neznámé planetě za Neptunem, která by mohla vysvětlovat zvláštní dráhy některých vzdálených těles (např. objektů Kuiperova pásu).

- Odhadovaná hmotnost: 5–10 × Země
- Oběžná doba: tisíce až desetitisíce let
- Zatím nebyla objevena.

Teorie o Nibiru (planeta pohybující se po výstředné dráze s pravidelným návratem ke Slunci) pochází spíše z esoterických interpretací než z vědeckých důkazů.

3 CHYBĚJÍCÍ PLANETA MEZI MARSEM A JUPITEREM?

V 18.–19. století se předpokládalo, že mezi Marsem a Jupiterem existovala planeta, která se rozpadla na mnoho kusů.

Dnes víme, že:

- v pásu asteroidů je více než 1 milion známých těles.
- celková hmotnost pásu je jen asi 4 % hmotnosti Měsíce.
- Jupiter svou silnou gravitaci zabránil tomu, aby se materiál spojil v jednu planetu.



Hmotnost pásu asteroidů
≈ 4 % hmotnosti Měsíce

KOLIK PLANET VLASTNĚ EXISTUJE?

8 PLANET



5 ZNÁMÝCH TRPASLIČÍCH PLANET
(Pluto, Eris, Haumea, Makemake, Ceres)



> 300 ZNÁMÝCH MĚSÍCŮ



MILIONY ASTEROIDŮ



MILIARDY KOMET



...a možná ještě PLANETA X.



Sluneční soustava je dynamický systém plný překvapivých jevů. Každá planeta je jedinečná a ukazuje, jak rozmanitý může být vesmír.

8. Slunce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

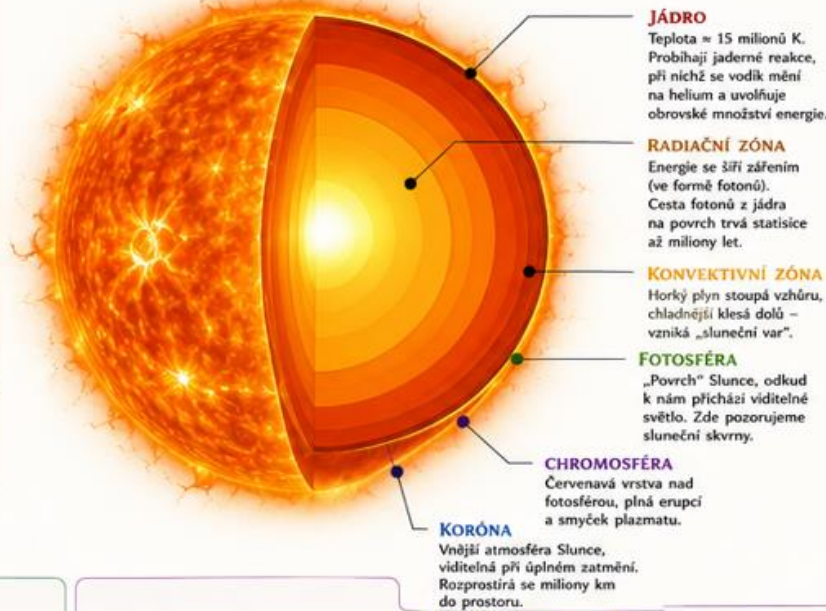
	Hmotnost	$1,989 \times 10^{30}$ kg ≈ 99,86 % hmotnosti celé Sluneční soustavy
	Poloměr	696 340 km ≈ 109 × průměr Země
	Povrchová teplota	5778 K
	Teplota jádra	15 000 000 K
	Výkon (zářivý)	$3,83 \times 10^{26}$ W = energie vyzářená každou sekundu
	Stáří	4,6 miliardy let
	Chemické složení	74 % vodík (H) 24 % helium (He) 2 % ostatní prvky

MÉNĚ ZNÁMÁ FAKTA

-  Slunce není žluté. Ve vesmíru je prakticky bílé. Žluté vypadá kvůli rozptylu světla v zemské atmosféře.
-  Slunce rotuje různě rychle. U rovníku oběh dokončí za ≈ 25 dní, u pólů až za ≈ 35 dní.
-  Slunce „hubné“. Každou sekundu přemění přibližně $4,3 \times 10^9$ kg hmoty na energii ($E = mc^2$).
-  Koróna je teplejší než povrch. Povrch má asi 5800 K, ale koróna až 1 000 000 K. Proč? To zatím nevíme jistě.

SLUNCE

Naše hvězda a motor Sluneční soustavy



SONDY ZKOUMAJÍCÍ SLUNCE



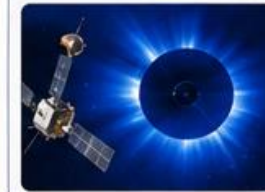
Parker Solar Probe (NASA)

- Nejbližší sonda ke Slunci.
- Přiblížení na méně než 7 milionů km od povrchu.
- Rychlost až 700 000 km/h – nejrychlejší objekt vytvořený člověkem.
- Zkoumá korónu a sluneční vítr.



Solar Orbiter (ESA / NASA)

- Společná evropsko-americká mise.
- První mise, která poskytuje detailní snímky pólů Slunce.
- Zkoumá magnetické pole, sluneční vítr a jeho původ.



SOHO (ESA / NASA)

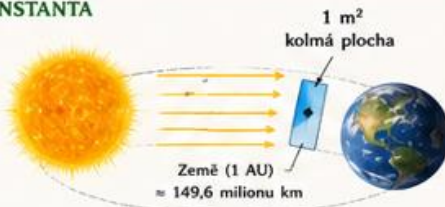
- Solar and Heliospheric Observatory.
- Nepřetržitě sleduje Slunce od roku 1995.
- Poskytuje včasné varování před slunečními boulemi.

SLUNEČNÍ KONSTANTA

Kolik energie dopadá na Zemi?

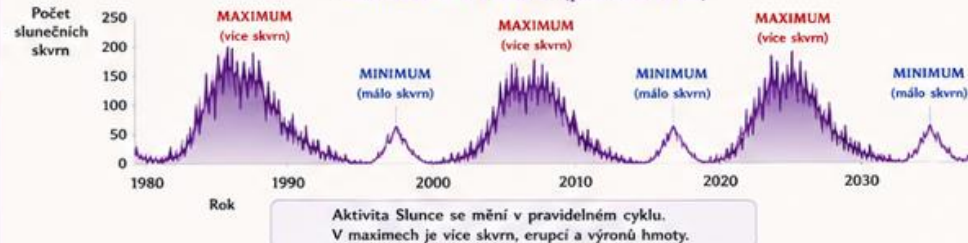
$$S = 1361 \text{ W/m}^2$$

Výkon dopadající na 1 m² plochy kolmé ke slunečním paprskům ve střední vzdálenosti Země od Slunce (1 AU).



Atmosféra, oblaky a zemský povrch odrazí a pohltí část energie. Na zemský povrch dopadne průměrně asi 240 W/m².

SLUNEČNÍ CYKLUS (přibližně 11 let)



DŮSLEDKY MAXIMA

-  • více erupcí a výronů hmoty (CME)
-  • častější a silnější polární záře
-  • intenzivnější sluneční vítr
-  • vyšší riziko poruch družic, GPS a rádiové komunikace

SLUNEČNÍ VÍTR

Proud nabíjených částic (většinou protony a elektrony) unikající z koróny Slunce.

Rychlost: 300 – 800 km/s
(1 – 3 miliony km/h)

Magnetické pole Země nás většinou částic chrání.

POLÁRNÍ ZÁŘE

Částice slunečního větru narážejí na atomy v atmosféře a vyzářují světlo (nejčastěji kyslík a dusík).

KDYŽ SLUNCE „VYPNE ELEKTRINU“

Carringtonova událost (1859)



Nejsilnější známá geomagnetická bouře.

- Jiskření telegrafních linek
- Polární záře viditelná až v Karibiku
- Kdyby se opakovala dnes, škody by byly obrovské.

Québec 1989



Geomagnetická bouře způsobila kolaps energetické sítě.

- Bez proudu zůstalo 6 milionů lidí.

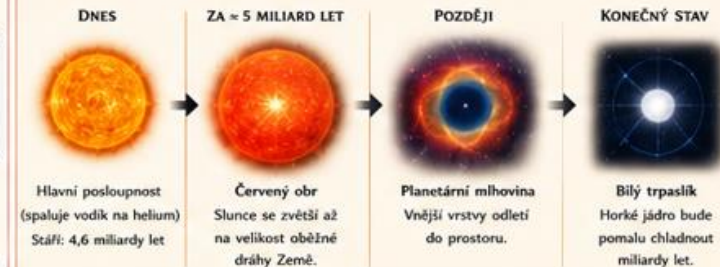
Moderní riziko



Silná sluneční bouře může poškodit:

- transformátory a elektrické sítě
- družice a jejich elektroniku
- GPS, internet a rádiovou komunikaci
- leteckou dopravu (vyšší dávky záření)

BUDOUCNOST SLUNCE



KAŽDÁ SEKUNDA DOPADNE NA ZEMI VÍCE ENERGIE ZE SLUNCE, NEŽ KOLIK CELÉ LIDSTVO SPOTŘEBUJE ZA MNOHO HODIN.

SLUNCE JE ZDALEKA NEJVĚTŠÍM ZDROJEM ENERGIE V NAŠEM OKOLÍ.

Bez Slunce by nebyl život, počasí ani energie na Zemi.



8. Slunce

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

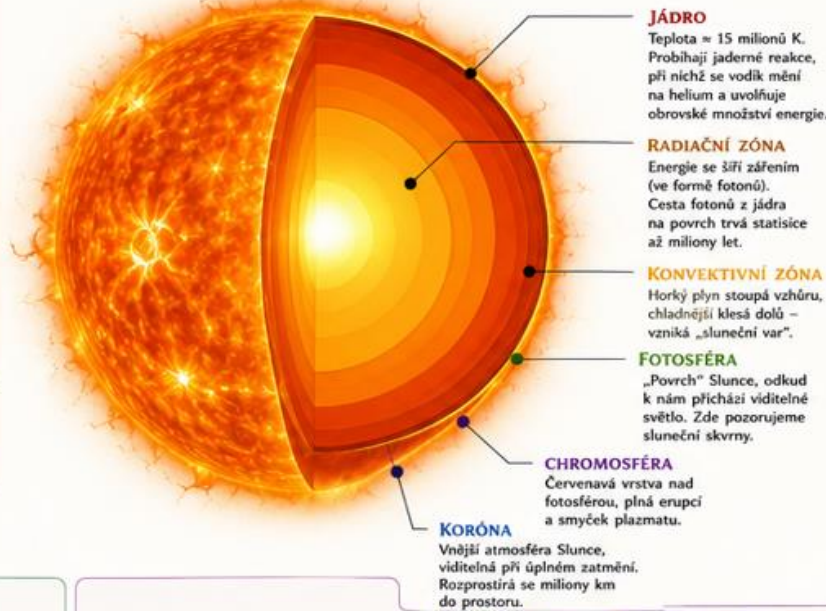
	Hmotnost	$1,989 \times 10^{30}$ kg ≈ 99,86 % hmotnosti celé Sluneční soustavy
	Poloměr	696 340 km ≈ 109 × průměr Země
	Povrchová teplota	5778 K
	Teplota jádra	15 000 000 K
	Výkon (zářivý)	$3,83 \times 10^{26}$ W = energie vyzářená každou sekundu
	Stáří	4,6 miliardy let
	Chemické složení	74 % vodík (H) 24 % helium (He) 2 % ostatní prvky

MÉNĚ ZNÁMÁ FAKTA

-  Slunce není žluté. Ve vesmíru je prakticky bílé. Žluté vypadá kvůli rozptylu světla v zemské atmosféře.
-  Slunce rotuje různě rychle. U rovníku oběh dokončí za ≈ 25 dní, u pólů až za ≈ 35 dní.
-  Slunce „hubné“. Každou sekundu přemění přibližně $4,3 \times 10^9$ kg hmoty na energii ($E = mc^2$).
-  Koróna je teplejší než povrch. Povrch má asi 5800 K, ale koróna až 1 000 000 K. Proč? To zatím nevíme jistě.

SLUNCE

Naše hvězda a motor Sluneční soustavy



SONDY ZKOUMAJÍCÍ SLUNCE



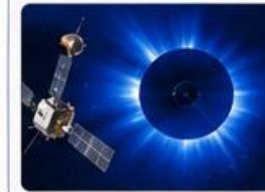
Parker Solar Probe (NASA)

- Nejbližší sonda ke Slunci.
- Přiblížení na méně než 7 milionů km od povrchu.
- Rychlost až 700 000 km/h – nejrychlejší objekt vytvořený člověkem.
- Zkoumá korónu a sluneční vítr.



Solar Orbiter (ESA / NASA)

- Společná evropsko-americká mise.
- První mise, která poskytuje detailní snímky pólů Slunce.
- Zkoumá magnetické pole, sluneční vítr a jeho původ.



SOHO (ESA / NASA)

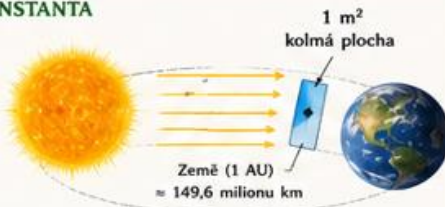
- Solar and Heliospheric Observatory.
- Nepřetržitě sleduje Slunce od roku 1995.
- Poskytuje včasné varování před slunečními boulemi.

SLUNEČNÍ KONSTANTA

Kolik energie dopadá na Zemi?

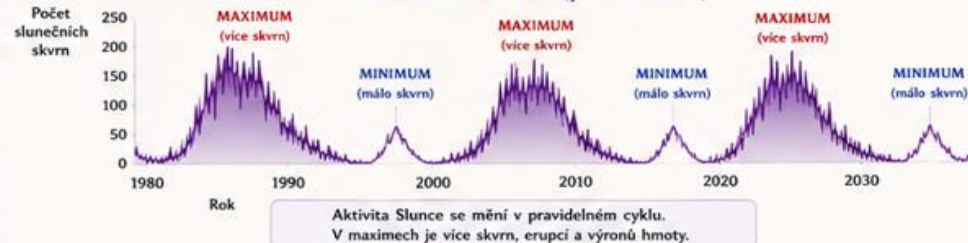
$$S = 1361 \text{ W/m}^2$$

Výkon dopadající na 1 m² plochy kolmé ke slunečním paprskům ve střední vzdálenosti Země od Slunce (1 AU).



Atmosféra, oblačky a zemský povrch odrazí a pohltí část energie. Na zemský povrch dopadne průměrně asi 240 W/m².

SLUNEČNÍ CYKLUS (přibližně 11 let)



DŮSLEDKY MAXIMA

-  • více erupcí a výronů hmoty (CME)
-  • častější a silnější polární záře
-  • intenzivnější sluneční vítr
-  • vyšší riziko poruch družic, GPS a rádiové komunikace

SLUNEČNÍ VÍTR

Proud nabíjených částic (většinou protony a elektrony) unikající z koróny Slunce.

Rychlost: 300 – 800 km/s
(1 – 3 miliony km/h)

Magnetické pole Země nás většinou částic chrání.

POLÁRNÍ ZÁŘE

Částice slunečního větru narážejí na atomy v atmosféře a vyzářují světlo (nejčastěji kyslík a dusík).

KDYŽ SLUNCE „VYPNE ELEKTRINU“

Carringtonova událost (1859)



Největší známá geomagnetická bouře.

- Jiskření telegrafních linek
- Polární záře viditelná až v Karibiku
- Kdyby se opakovala dnes, škody by byly obrovské.

Québec 1989



Geomagnetická bouře způsobila kolaps energetické sítě.

- Bez proudu zůstalo 6 milionů lidí.

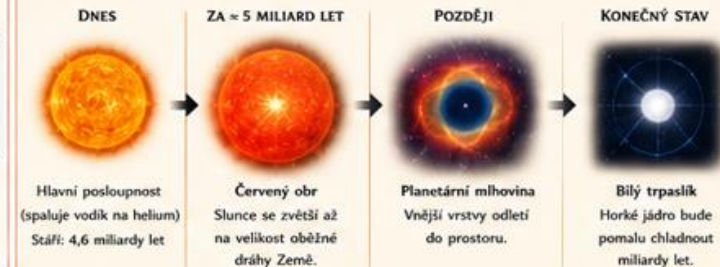
Moderní riziko



Silná sluneční bouře může poškodit:

- transformátory a elektrické sítě
- družice a jejich elektroniku
- GPS, internet a rádiovou komunikaci
- leteckou dopravu (vyšší dávky záření)

BUDOUCNOST SLUNCE



KAŽDÁ SEKUNDA DOPADNE NA ZEMI VÍCE ENERGIE ZE SLUNCE, NEŽ KOLIK CELÉ LIDSTVO SPOTŘEBUJE ZA MNOHO HODIN.

SLUNCE JE ZDALEKA NEJVĚTŠÍM ZDROJEM ENERGIE V NAŠEM OKOLÍ.

Bez Slunce by nebyl život, počasí ani energie na Zemi.



8. Měsíce sluneční soustavy.

✦ TAJUPLNÉ MĚSÍCE PLANET ✦

Světy, které mohou být zajímavější než samotné planety

MĚSÍC (Země)

Náš jediný přirozený družice

PRVNÍ KROKY ČLOVĚKA

20. července 1969
Neil Armstrong a Buzz Aldrin
první lidé na Měsíci.

„Malý krok pro člověka,
obrovský skok pro lidstvo.“



AKTUÁLNÍ PRŮZKUM ODVRÁCENÉ STRANY

Čínská sonda Chang'e 6 v roce 2024
přivezla první vzorky z odvrácené
strany Měsíce. Potvrdila odlišné
složení hornin a přinesla nové
informace o vzniku Měsíce.



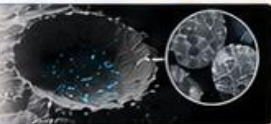
ARTEMIS – NÁVRAT NA MĚSÍC

- návrat lidí na Měsíc
- první žena na Měsíci
- první člověk jiné než bílé
pleti na Měsíci
- budoucí základny poblíž
jižního pólu



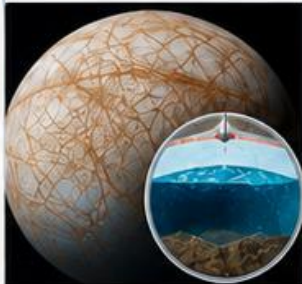
POLÁRNÍ LED

Na dnech některých kráterů
byl objeven vodní led.
Možný zdroj vody pro
budoucí lunární základny.



EUROPA (Jupiter)

Oceán pod ledem



- Pod ledovou krustou se pravděpodobně
nachází globální oceán.
- Může obsahovat více vody než všechny
oceány Země dohromady.

PROČ JE DŮLEŽITÁ?

Patří mezi nejlibnější místa pro hledání
mimozemského života.

BUDOUcí VÝZKUM

Sonda Europa Clipper (NASA)
má od roku 2030 zkoumat tloušťku
ledu, chemické složení oceánu
a podmínky pro život.



IO (Jupiter)

Nejaktivnější vulkanický svět

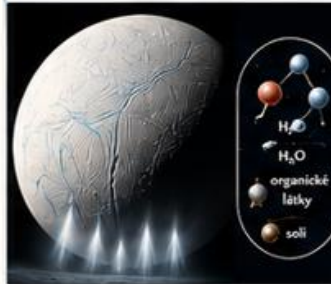


- Více než 400 aktivních sopek.
- Láva dosahuje teplot přes 1500 °C.
- Nejde o zahřívání Sluncem, ale o slapové
síly obřího Jupiteru.



ENCELADUS (Saturn)

Gejzíry do vesmíru



- Z jižního pólu unikají vodní gejzíry
vysoko do vesmíru.
- Kosmické sondy v nich našly vodu,
organické látky a soli.
- Pod ledovou krustou se nachází
podpovrchový oceán.
- Další kandidát na mimozemský život.



Casini (2004–2017) přinesla
revoluční data o tomto světě.

TITAN (Saturn)

Druhá Země?



- Jediný měsíc s hustou atmosférou.
- Místo vody probíhá metanový koloběh –
mraky metanu, déšť metanu,
jezera kapalného metanu.

BUDOUČNOST

Dragonfly (NASA) – vrtulníková sonda,
která má v 30. letech přistát a zkoumat
povrch Titanu.



TRITON (Neptun)

Měsíc jdoucí proti proudu



- Obíhá opačným směrem než rotuje
Neptun.
- Pravděpodobně jde o zachycené
těleso z Kuiperova pásu.
- Dusíkové gejzíry – aktivní povrch
i ve vzdálenosti 4,5 miliardy km
od Slunce.

CHARON (Pluto)

Dvoiplanetový svět?



- Těžiště soustavy Pluto–Charon
leží mimo Pluto.
- Někteří astronomové
proto mluví o dvoiplanetě.
- Obě tělesa si stále ukazují
stejnou polokouli.



JAK SE JMENUJÍ MĚSÍCE A CO JEJICH JMÉNA ZNAMENAJÍ?

Měsíce Země

MĚSÍC (Luna)

- Luna – římská bohyně Měsíce



Měsíce Marsu

PHOBOS

- řecky „fobos“ – strach



DEIMOS

- řecky „deimos“ – hrůza



Měsíce Jupiteru (výběr)



IO – bohyně (kněžka) v řecké
mytologii, milenka Dia



EUROPA – Europa – fénická
princezna, milovaná Diem



GANYMEDES – Ganymedés –
krásný trojský princ, oblíbenec Dia



CALLISTO – Kallistó –
řecká nymfa, proměněná v medvědi

Měsíce Saturnu (výběr)



TITAN – titáni – obři z řecké
mytologie



RHEA – Rhea – Titánka, matka
bohů



IAPETUS – Iapetus – Titán,
otec Prométhea



ENCELADUS – Enceladus – obryně
poražená Athénou (v Gigantomachii)

Měsíce Uranu



ARIEL – Ariel –
duch vzduchu
(Shakespeare)



UMBRIEL – Umbriel –
stín, temnota



TITANIA – Titania –
královna vil



OBERON – Oberon –
král vil

Měsíce Neptunu



TRITON – Triton –
mořský bůh, syn
Poseidóna



NEREID – Nereid –
mořské nymfy



PROTEUS – Proteus –
bůh mořských proměn



NEREID a další názvy
pokračují v odkazu
na mořský svět



Měsíce Pluta

CHARON – Charón –
převozník duší přes
řeku Styx



STYX – Styx – řeka
v podsvětí



NYX – Nyx – bohyně
noci



KERBEROS – Kerberos –
trojhlavý pes střežící
podsvětí

PROČ MAJÍ MĚSÍCE ZAJÍMAVÁ JMÉNA?

Astronomové tradičně pojmenovávají měsíce po
postavách z řecké a římské mytologie, často v souladu
s názvy planet (bohové, titáni, nymfy, hrdinové).



VĚDĚLI JSTE?

- Saturn má nejvíce známých měsíců – více než 140.
- Jupiter jich má více než 95.
- Celkově známe více než 290 měsíců planet



PROČ JSOU MĚSÍCE TAK FASCINUJÍCÍ?

Některé měsíce mají oceány pod ledem, jiné aktivní sopky,
další husté atmosféry. Mnohé jsou nadějnými místy,
kde by mohl existovat život – nebo kde ho v minulosti mohl být.



8. Mytologie sluneční soustavy.

NÁZVY PLANET A ŘECKO-ŘÍMSKÁ MYTOLOGIE

NEBESKÁ TĚLESA PODLE BOHŮ STAROVĚKÝCH KULTUR

Staří Řekové a Římané spojovali planety s bohy a bohyněmi, kterým připisovali vlastnosti odpovídající pohybu a vzhledu těchto nebeských těles. Jejich jména se používají dodnes.

MERKUR



Římský bůh
Merkur
Řecký bůh
Hermés



BOH OBCHODU, POSLŮ A CESTOVÁNÍ

Merkur se pohybuje po obloze nejrychleji ze všech planet, stejně jako byl Hermés nejrychlejším poslem bohů.

VENUŠE



Římská bohyně
Venuše
Řecká bohyně
Afrodité



BOHYNĚ LÁSKY, KRÁSY A PLODNOSTI

Venuše je nejjasnější planetou na obloze po Slunci a Měsíci, stejně jako byla Afrodité nejkrásnější z bohyní.

ZEMĚ



Římská bohyně
Terra
Řecká bohyně
Gaia



BOHYNĚ ZEMĚ A MATKA VŠEHO ŽIVOTA

Země byla po staletí vnímána jako živoucí bytost – matka, která dává život všemu na svém povrchu.

MARS



Římský bůh
Mars
Řecký bůh
Arés



BŮH VÁLKY A BOJEVNOSTI

Mars má načervenalou barvu krve a ohně, symbolu války, který odpovídá povaze boha Área.

JUPITER



Římský bůh
Jupiter
Řecký bůh
Zeus



KRÁL BOHŮ A PÁN NEBES

Jupiter je největší planeta Sluneční soustavy, stejně jako byl Zeus nejmočnějším z olympských bohů.

SATURN



Římský bůh
Saturn
Řecký bůh
Kronos



BŮH ČASU A SKLIZNĚ

Saturn byl spojen s časem, stářím a cykly přírody. Kronos vládl zlatému věku, než byl svržen.

URAN



Římský bůh
Uranus
Řecký bůh
Úranos



BŮH NEBES A HVĚZD

Uranos byl prvotním bohem nebe, který podle báji stvořil svět a byl otcem Titánů.

NEPTUN



Římský bůh
Neptun
Řecký bůh
Poseidón



BŮH MOŘÍ A ZEMĚTŘESNÍ

Neptun (Poseidón) vládl mořím a vodám, které jsou tajemné a nezkrotné – stejně jako planeta Neptun.

PLUTO



Římský bůh
Pluto
Řecký bůh
Hádes



BŮH PODSVĚTÍ A MRTVÝCH

Pluto vládl říši mrtvých – místu skrytému a vzdálenému, stejně jako je Pluto nejvzdálenější známou planetou.

PROČ PRÁVĚ TITO BOHOVÉ?

Staří astrologové a astronomové pozorovali planety na obloze a přiřazovali jim bohy podle jejich vlastností:

- ☿ Rychlost pohybu (Merkur)
- ♀ Jas a krása (Venuše)
- ♂ Vzhled a barva (Mars)
- ♃ Velikost a majestátnost (Jupiter)
- ♄ Pomalý pohyb a vzdálenost (Saturn)
- ♇ Tajemnost a vzdálenost (vnější planety)



DALŠÍ ZAJÍMAVOSTI

- ★ Názvy planet používali už Babylóňané, Řekové i Římané. Každá civilizace měla své příběhy, ale symbolika je podobná.
- ★ Planety viditelné okem (Merkur, Venuše, Mars, Jupiter, Saturn) byly známy už ve starověku.
- ★ Uran byl objeven až v roce 1781, Neptun v roce 1846 a Pluto v roce 1930 – i ty ale dostaly jména podle bohů.
- ★ Znak planet vycházejí z alchymistických a astrologických symbolů spojených s těmito božstvy.



CO NÁM ZŮSTALO Z MYTOLOGIE?

Mythologická jména planet připomínají tisíce let staré příběhy o bozích, lidech a přírodních silách. I dnes nám pomáhají lépe porozumět vesmíru – a našemu místu v něm.



PŘEHLED PLANET A JEJICH BOŽSKÝCH VLÁDCŮ



MERKUR
☿
Merkur
(Hermés)



VENUŠE
♀
Venuše
(Afrodité)



ZEMĚ
♁
Terra
(Gaia)



MARS
♂
Mars
(Arés)



JUPITER
♃
Jupiter
(Zeus)



SATURN
♄
Saturn
(Kronos)



URAN
♅
Uranus
(Úranos)



NEPTUN
♆
Neptun
(Poseidón)



PLUTO
♇
Pluto
(Hádes)

8. Komety ve sluneční soustavě.



Komety jsou jedny z nejstarších zachovalých objektů ve Sluneční soustavě – vznikly před více než 4,6 miliardami let.



KOMETY



PUTUJÍCÍ POSLOVÉ ZE VZDÁLENÝCH KOUTŮ SLUNEČNÍ SOUSTAVY

Komety jsou malá tělesa složená z ledu, prachu a hornin. Obíhají po velmi protáhlých drahách kolem Slunce.

Když se přiblíží ke Slunci, vytvoří komu a někdy i ohon, který může být miliony kilometrů dlouhý.



Podle starověkých kultur byly komety často považovány za zlé předzvěsti. Dnes víme, že jsou fascinujícími svědky zrodu naší soustavy.

Z ČEHO SE KOMETA SKLÁDÁ?

OHON PRACHU

Tvořen drobnými částicemi prachu, které odrážejí sluneční světlo. Zakřivený dohání kometu po její dráze.

OHON PLASMY (IONTOVÝ)

Tvořen plyny ionizovanými slunečním větrem. Vždy směřuje přímo od Slunce.

KOMA (KOMAE)

Oblak prachu a plynů obklopující jádro komety. Může mít průměr tisíce až statisíce kilometrů.

JÁDRO

Pevné jádro z ledu, prachu a hornin. Obvykle má rozměr od stovek metrů po desítky kilometrů.



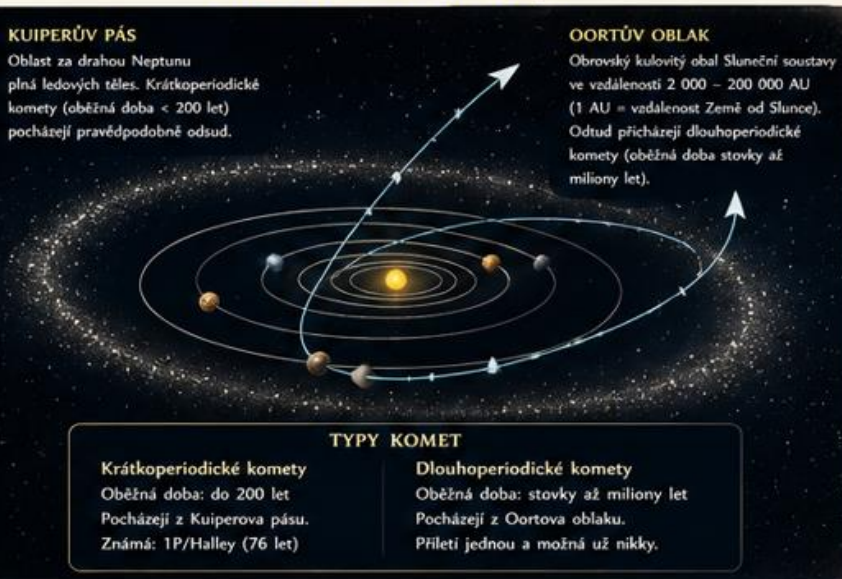
ODKUD KOMETY PŘICHÁZEJÍ?

KUIPERŮV PÁS

Oblast za dráhou Neptunu plná ledových těles. Krátkoperiodické komety (oběžná doba < 200 let) pocházejí pravděpodobně odsud.

OORTŮV OBLAK

Obrovský kulovitý obal Sluneční soustavy ve vzdálenosti 2 000 – 200 000 AU (1 AU = vzdálenost Země od Slunce). Odtud přicházejí dlouhoperiodické komety (oběžná doba stovky až miliony let).



TYPY KOMET

Krátkoperiodické komety
Oběžná doba: do 200 let
Pocházejí z Kuiperova pásu.
Známá: 1P/Halley (76 let)

Dlouhoperiodické komety
Oběžná doba: stovky až miliony let
Pocházejí z Oortova oblaku.
Přiletí jednou a možná už nikdy.

Z ČEHO JSOU KOMETY?

Komety jsou „špinavé sněhové koule“ složené z:

LED (vodní led, oxid uhličitý, metan, amoniak...)	50–80 %
PRACH A HORNINY	20–40 %
PLYNY (H ₂ O, CO ₂ , CO, NH ₃ , CH ₄ ...)	několik %
ORGANICKÉ LÁTKY (amino kyseliny, uhlovodíky aj.)	stopové množství

Komety mohly na mladou Zemi přinášet vodu a organické sloučeniny, které byly základem života.



JAK VZNIKÁ OHON KOMETY?



Daleko od Slunce
Kometa je chladná a neaktivní.

Bliže ke Slunci
Led se zahřívá a začínají se odpařovat.

Tvorba komy
Plyny táhnou prach z povrchu jádra a vytváří oblak.

Vznik ohonů
Sluneční vítr a světelný tlak odnášejí prach a plyny a vytvářejí ohony.

ZNÁMÉ KOMETY

1P/HALLEY

- Nejznámější periodická kometa
- Objevena už starověkem
- Vrací se každých 76 let
- Naposledy viditelná v roce 1986, příště v roce 2061



C/1995 O1 (HALE-BOPP)

- Velmi jasná kometa
- Viditelná pouhým okem 18 měsíců
- Měla jeden z nejdelších ohonů pozorovaných v moderní době



C/2020 F3 (NEOWISE)

- Objevena družicí NASA NEOWISE
- Krásně viditelná v červenci 2020
- Fotogenická a dobře pozorovatelná i dalekohledy



C/2023 A3 (TSUCHINSHAN-ATLAS)

- Kometa století?
- Viditelná na podzim 2024
- Měla jasný ohon a byla dobře pozorovatelná po celém světě



SONDY ZKOUMAJÍCÍ KOMETY



GIOTTO (ESA, 1986)

- První sonda, která proletěla
- kometa 467P/Veritas



DEEP IMPACT (NASA, 2005)

- Narazila do jádra komety Tempel 1
- Získala informace o vnitřní struktuře kometárního jádra



ROSETTA / PHILAE (ESA, 2014)

- Doprovázela kometu 67P/Čurjumov-Gerasimenko
- Modul Philae jako první přistál na jádru komety
- Odhalil vodní páru, organické látky a další prvky

KOMETY A ZEMĚ

V minulosti narazilo na Zemi mnoho komet a jejich úlomků.

Může to způsobit:

- změny klimatu
- masová vymírání
- dopadové krátery



ZNÁMÉ DOPADY (MOŽNÉ SPOJENÍ S KOMETAMI)

Kráter Chicxulub (Yucatán)
Před 66 miliony let – pravděpodobná příčina vymření dinosaurů.



Krátery Shoemaker-Levy 9 (1994)
Kometa se rozpadla a její úlomky narazily do Jupiteru.



PROČ MAJÍ KOMETY TAK ZVLÁŠTNÍ JMÉNA?

Názvy komet často vycházejí ze jmen jejich objevitelů nebo observatoří.

- ♦ 1P/Halley – 1 = periodická, P = periodická kometa, Halley = Edmond Halley
- ♦ C/1995 O1 (Hale-Bopp) – C = neperiodická kometa, 1995 = rok objevu, O1 = druhá polovina měsíce červenec, Hale-Bopp = objevitelé
- ♦ C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS) – A = první polovina ledna, 3 = třetí kometa v tomto období, Tsuchinshan = observatoř, ATLAS = asterooid detector systém



ZAJÍMAVOSTI



Komety mohou mít ohon dlouhý desítky milionů kilometrů.



Když se kometa přiblíží ke Slunci příliš blízko, může se rozpadnout.



Některé komety obíhají po velmi výstředných drahách – potřebují tisíce až miliony let, než se vrátí.



Kometa NEAT (C/2002 VQ94) má nejdelší známou oběžnou dobu – přibližně 3,6 milionu let!

8. Asteroidy ve sluneční soustavě.

ASTEROIDY, METEOROIDY A METEORITY

KOSMITÍ NÁVŠTĚVNÍCI A HROZBY Z VESMÍRU

Tělesa různé velikosti neustále obíhají kolem Slunce. Některá kříží dráhu Země. Většina shoří v atmosféře, ale některá dopadnou na povrch.

1 ASTEROID

Velké skalnaté těleso obíhající kolem Slunce. Většina je v hlavním pásu mezi Marsem a Jupiterem.

Příklad: Vesta
Průměr: 525 km

2 METEOROID

Malý úlomek asteroidu nebo komety. Velikost od zrnka prachu po desítky metrů.

3 METEOR

Světlá stopa, kterou vytvoří meteoroid v atmosféře. Lidově: „padající hvězda“

4 BOLID

Mimořádně jasný meteor. Jasnější než Venuše. Často doprovázen výbuchem a zvukovou vlnou.

5 METEORIT

Část tělesa, která přežije průlet atmosférou a dopadne na zemský povrch.

ČESKÁ STOPA – DOPADY, KTERÉ ZANECHALY STOPY

VLTAŮVINY

Zelené přírodní sklo, které vzniklo při dopadu meteoritu.

- ✓ Místo dopadu: kráter Nördlinger Ries (Německo)
- ✓ Průměr kráteru: ≈ 24 km
- ✓ Stáří dopadu: ≈ 14,8 milionu let
- ✓ Rostavěný materiál byl vymrštěn do vzdálenosti stovek kilometrů – až do jižních Čech.



ČESKÁ PÁNEV – STARÝ IMPAKT?

Celá česká pánev má nápadně kruhový tvar. Někteří geologové upozorňují na možnost, že mohla vzniknout dopadem velmi velkého tělesa.



Nejde o obecně přijímanou teorii a dosud nebyla potvrzena. Je to jen zajímavá spekulace.

NEDÁVNÝ PÁD METEORITU V POLSKU

Dne 18.–19. února 2024 byl pozorován jasný bolid nad střední Evropou.

- ✓ Trajektorii spočítala síť European Fireball Network (EN) vedená českými astronomy z Astronomického ústavu Akademie věd ČR.
- ✓ Předem určili oblast dopadu v západním Polsku. Meteority byly skutečně nalezeny!



KRÁTERY NA MĚSÍCI

Odvrácená strana Měsíce



PROČ JE MĚSÍC PLNÝ KRÁTERŮ?

- nemá atmosféru
- nemá aktivní erozi
- stopy dopadů zůstávají miliardy let

JUPITER – KOSMICKÝ OCHRÁNCE I HROZBA

OBRÍ GRAVITACE JUPITERU:

- ✓ zachycuje mnoho komet a asteroidů
- ✓ odklání část těles, která by mohla mířit na Zemi



ALE I JAKO HROZBA

Moderní simulace ukazují, že Jupiter může některá tělesa gravitačním „prakem“ naopak poslat směrem k Zemi. Není jen ochránce, ale i možný „přenašeč“.

HROZBA SRAŽKY – TĚLESA, KTERÁ KŘÍŽÍ DRÁHU ZEMĚ

Přehled nejzajímavějších asteroidů pro příštích 100 let

Těleso	Průměr (m)	Nejbližší průlet	Možnost srážky
99942 Apophis	≈ 340	13. dubna 2029 (bližší než geostacionární družice)	velmi malé
(410777) 2009 FD	≈ 100	sledován	velmi malé
(101955) Bennu	≈ 500	sledován ve 22.–23. století	velmi malé
1950 DA	≈ 1 300	sledován	velmi malé (dlouhodobě)
2024 YR4	≈ 40–90	(možný průlet 2032)	velmi malé

PRO PŘÍŠTÍCH 100 LET NENÍ ZNÁM ASTEROID S POTVRZENOU SRAŽKOU SE ZEMÍ.

Rizika se však mohou měnit – proto je neustále sledujeme.

JAK ZABRÁNIT SRAŽCE? – MOŽNÉ METODY PLANETÁRNÍ OBRANY

KINETICKÝ NÁRAZ

DART (NASA, 2022) První úspěšná změna dráhy asteroidu. Sonda narazila do asteroidu Dimorphos a změnila jeho oběžnou dráhu.



GRAVITAČNÍ TRAKTOR

Kosmická loď se drží vedle asteroidu a svou gravitací jej pomalu táhne – mění jeho dráhu v průběhu let.



IONTOVÉ MOTORY

Dlouhodobý tah iontových motorů jemně mění dráhu tělesa. Vyžaduje mnoho let předstihu.



LASEROVÉ ODPAŘOVÁNÍ

Lasery ohřívají povrch, odpařují materiál a reakční síla posouvá asteroid.



JADERNÝ IMPULS

Krajní možnost. Cílem není zničit asteroid, ale změnit jeho dráhu výbuchem v jeho blízkosti.



Nejlepší obranou je čas – čím dříve asteroidi objevíme, tím více máme možností.

KDYBY DNES MÍŘIL NA ZEMI APHOPHIS?

- Průměr: ≈ 340 m
- Nejbližší průlet: 13. dubna 2029 (bližší než některé geostacionární družice)
- Vzdálenost: 31 600 km
- Nejvšednější srážky: prakticky nulová (nové výpočty vyloučily riziko pro 21. století)



NEJZNÁMĚJŠÍ DOPADY V HISTORII

TUNGUZKA 1908

Výbuch nad Sibiří. Těleso o průměru asi 50–80 m. Zničeno přibližně 2000 km² lesa.



ČELJABINSK 2013

Průměr tělesa asi 20 m. Zraněno více než 1500 lidí. Škody způsobila tlaková vlna.



CHICXULUB

Asi 10 km asteroid. Před 66 miliony let. Spojován s masovým vyhubnutím dinosaurů a mnoha dalších druhů.



ZEMĚ – PLANETA, KTERÁ MAŽE STOPY

Kdybychom z povrchu Země odstranili oceány, atmosféru a vegetaci, viděli bychom tisíce impaktních kráterů podobných jako na Měsíci. Zemská kůra je však aktivní – eroze, vítr, voda, ledovce a tektonika desek většinu stop po dávných srážkách postupně zahazují.



ZAJÍMAVOSTI A FAKTA

- Každý den dopadne na Zemi asi 100 tun kosmického prachu.
- Malé kameny o velikosti zrnka pisku přilétají do atmosféry každou sekundu.
- Ročně spatříme stovky tisíc meteorů (např. Perseidy, Geminidy).
- Největší známý impaktní kráter na Zemi: Vredefort (JAR), průměr ≈ 300 km, stáří ≈ 2 miliardy let.
- Astronomové na celém světě nepřetržitě sledují tisíce asteroidů, které kříží dráhu Země – katalog NEO obsahuje přes 35 000 objektů.

