

*Kroužek pro přírodovědecké talenty - 2019*

*II – lekce 27*



***MĚSÍC - II***



# MĚSÍC - opakování

- nejbližší kosmické těleso - 1,3 s
- po Slunci 2. nejjasnější těleso na obloze
- přibližně stejný zdánlivý průměr jako Slunce - 32'
- jediné těleso, které navštívil člověk - 12
- vázaná rotace – přivrácená / odvrácená strana
- Země-Měsíc - dvojplaneta



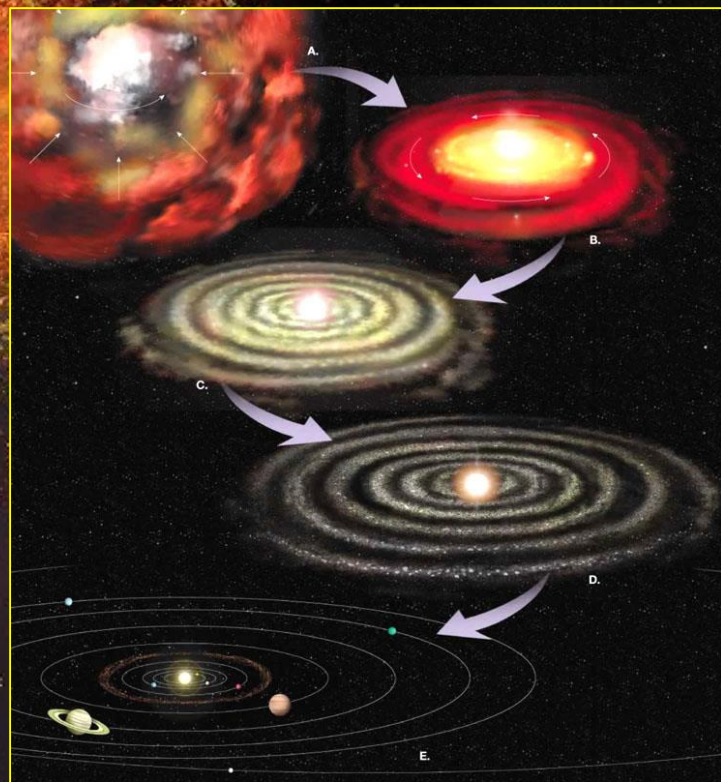


# Kde se vzal?

Jak vznik(a)la sluneční soustava?

Teorie (různé):

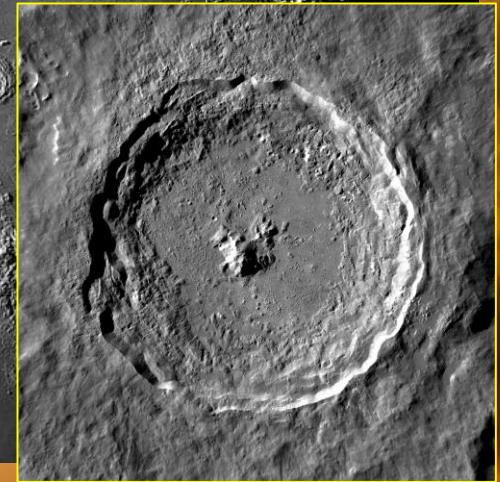
„velká“ srážka / impakt (planeta Theia)  
modifikace – více menších impaktů ( min. 2 měsíce)





# Éry a geologické události (před):

- 4,53 – 3,92 mld let (přednektarická éra) – vznik Měsíce a formování kůry, silné bombardování asteroidy
- 3,92 – 3,85 mld let (nektarická éra) – vznik mnohaprstencových pánví (např. pánev Nectaris – Mare Nectaris)
- 3,85 – 3,2 mld let (imbrická éra) – planetka 100 km, pánev Imbrium; 2 fáze – vznik pánví, vyplnění čedičem při vulkanické aktivitě (dnešní moře)
- 3,2 – 1,2 mld let (erastothénská éra) – vznik mírně erodovaných kráterů, sekundární krátery (paprsky) již zahlazené (Eratosthenes)
- 1,2 mld let – dnes (kopernická éra) – vznik mladých kráterů se světlými paprsky (Koperník, Tycho)





# Vývoj Měsíce

Video:

- 4,53 – 3,92 mld let (*přednektarická éra*)

- 3,92 – 3,85 mld let (*nektarická éra*)

- 3,85 – 3,2 mld let (*imbrická éra*)

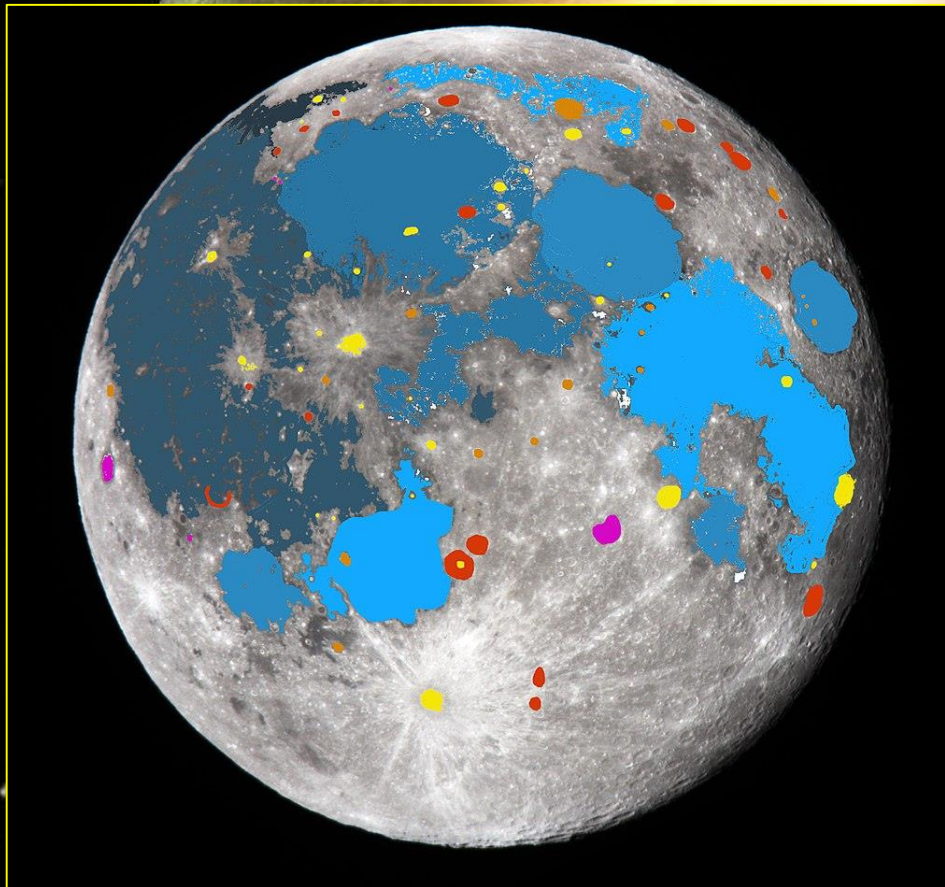
- 3,2 – 1,2 mld let (*erastothénská éra*)

- 1,2 mld let – dnes (*kopernická éra*)

EVOLUTION OF THE MOON



# Stáří útvarů



1	
■ a	■ b
■ c	■ d
2	
■ a	■ b
■ c	■ d
■ e	

- 4,53 – 3,92 mld let (přednektarická éra)
- 3,92 – 3,85 mld let (nektarická éra)
- 3,85 – 3,2 mld let (imbrická éra)
- 3,2 – 1,2 mld let (eratosthénská éra)
- 1,2 mld let – dnes (kopernická éra)

## 1 - Stáří kráterů

- a - éra nektarická
- b - éra imbrická
- c - éra eratossthénská
- d - éra kopernická

## 2 – Stáří moří

- a - éra přednektarická
- b - éra nektarická
- c - éra raně imbrická
- d - éra pozdně imbrická
- e - éra eratossthénská



# Srovnání se Zemí



Rovníkový průměr: 3 476 km (1 / 3,7)

Objem: 1 / 50

Hmotnost:  $73 \times 10^{21}$  kg (1 / 81)

Tíhové zrychlení:  $1,62 \text{ m/s}^2$  (1 / 6)

Úniková rychlost:  $2,4 \text{ km/s}^2$  (11,2)

Průměrná hustota:  $3 344 \text{ kg/m}^3$  (5 515)

Atmosféra: NE ( $\text{N}_2$  78%,  $\text{O}_2$  21%, Ar 1%;  $\text{CO}_2$  0,04%, Ne, He, ...)



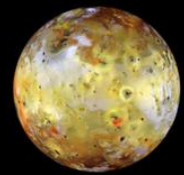
**Země (1)**   **Mars (2)**   **Planetka Ida**   **Jupiter (69)**   **Saturn (62)**   **Uran (27)**   **Neptun (14)**   **Pluto (5)**   **Eris**



Měsíc

**Phobos**  
**Deimos**

**Dactyl**



Io



Europa



Ganymede



Callisto

**Mimas**  
**Enceladus**



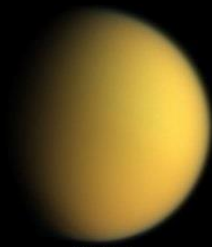
Tethys



Dione



Rhea



Titan

**Hyperion**



Iapetus

**Phoebe**

**Puck**  
**Miranda**



Ariel



Umbriel



Titania



Oberon

**Proteus**



Triton

**Nereid**



Charon

**Dysnomia**



**Země**

**Porovnání  
měsíců**

# *Pohyb Měsíce po obloze a jeho změny*



*Rotace i pohyby Země ale i Měsíce*

*Střední doba mezi dvěma průchody Měsíce poledníkem – 24 hod 50 min  
(za 1 hod o svůj průměr)*

*Střední doba mezi dvěma průchody Slunce poledníkem – ???*



# Rotace kolem osy

*jednou za 27,3 dne, ale za stejnou dobu oběhne Zem*

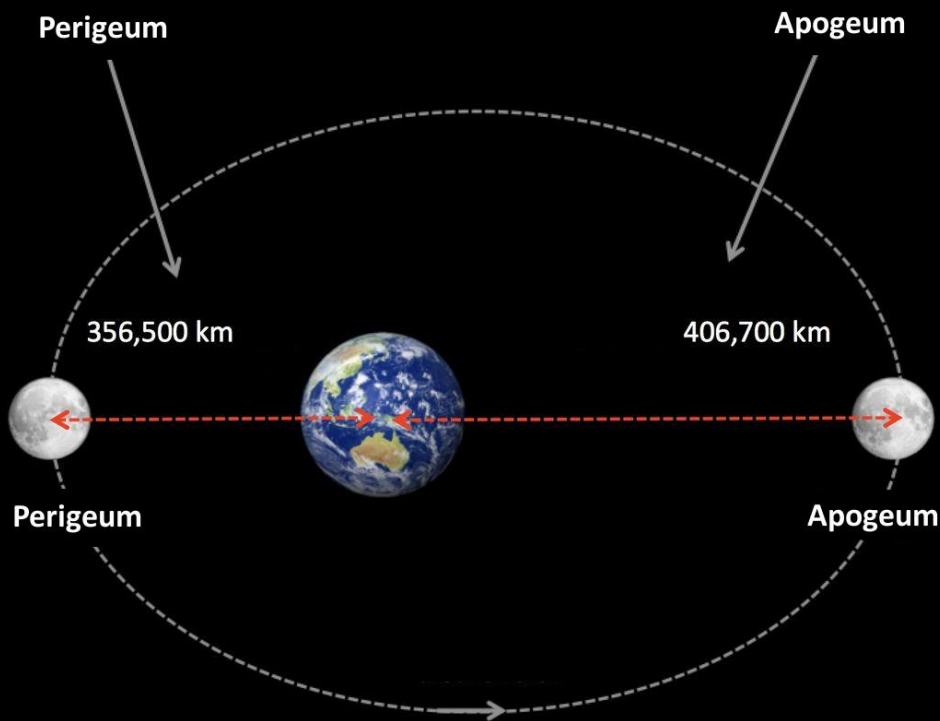
*vidíme stále stejnou (přivrácenou) stranu  
= „vázaná rotace“*



*(Luna 3 – 7.10.1959 !!!)*



# Oběh kolem Země



*Dráha = elipsa*

*přízemí – 356 500 km*

*odzemí – 406 700 km*

*střední vzdálenost – 384 400 km*

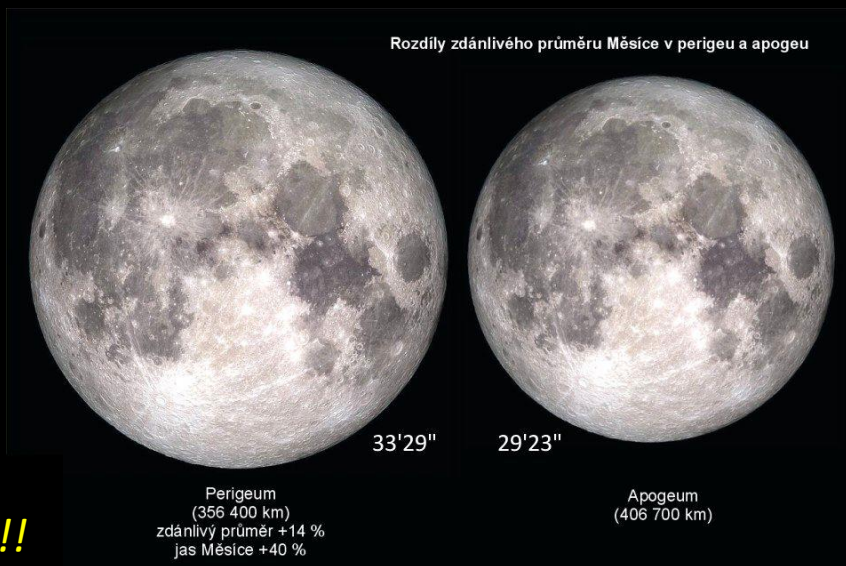
*(30 průměrů Země)*



Země



Měsíc



*Doba oběhu (siderický měsíc) = 27,3 dne*

*Střední rychlost oběhu – 1,02 km/s = 3 680 km/h*

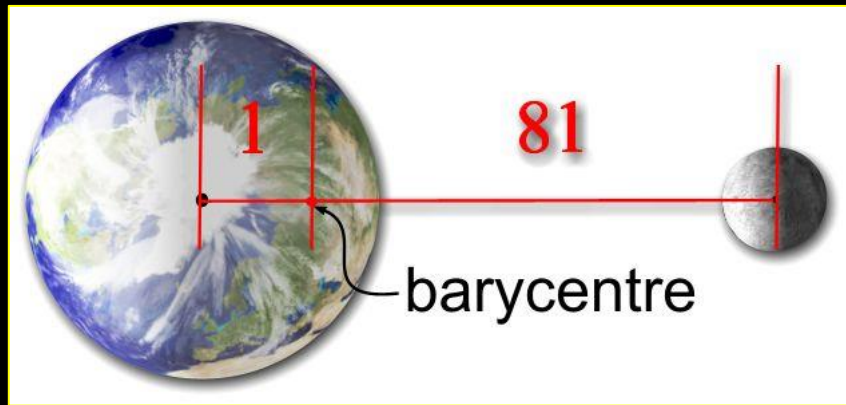
*(Keplerovy zákony)*

*Dráha ALE – není uzavřená křivka (neustále se mění) !!!*

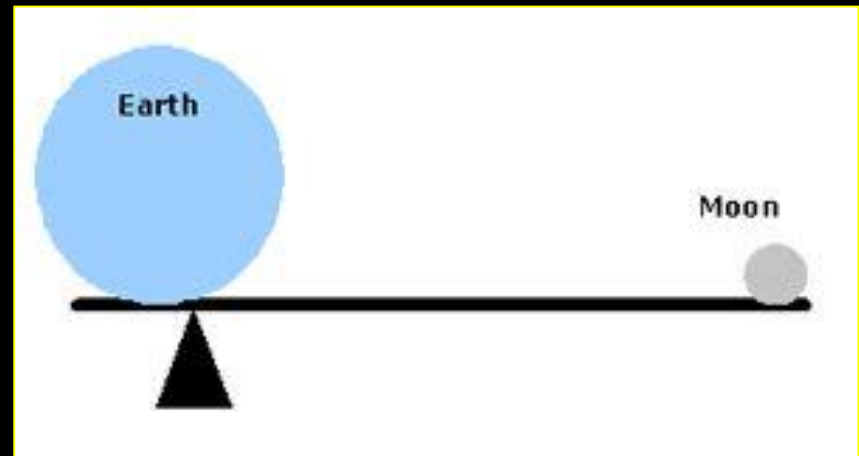


# Obíhá Měsíc kolem Země?

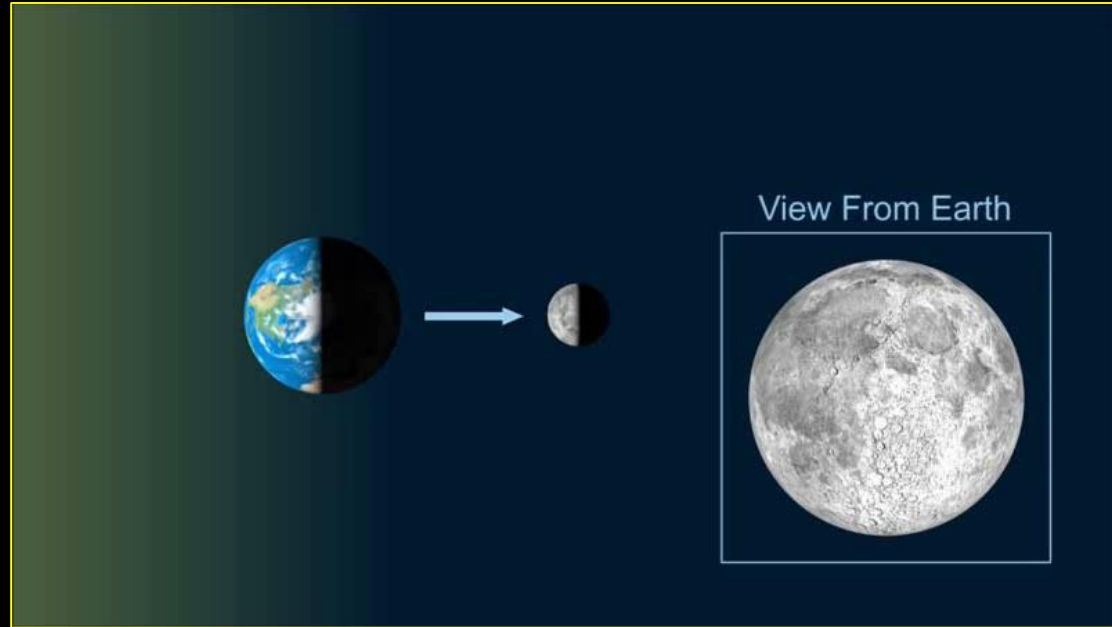
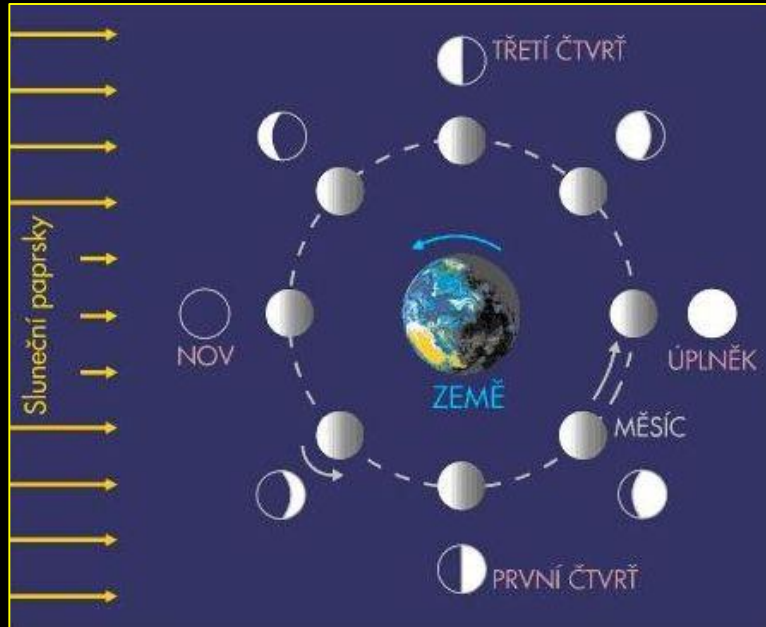
*NE!!! – Měsíc i Země obíhají kolem společného těžiště (barycentra)*



*4 700 km od středu Země (mezi Z a M)*



# Obíhá Měsíc kolem Země?



*Pokud Zemi zastavíme (nebo letíme s ní nad severním pólem)*

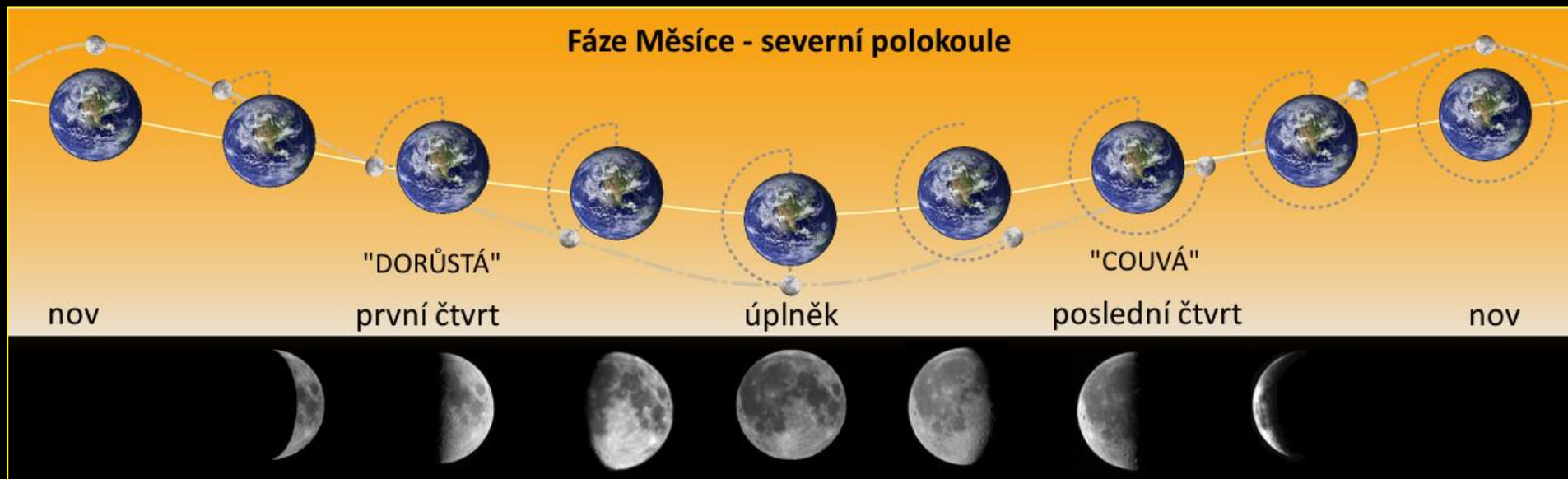
*Synodický měsíc (od novu k novu) – 29,53 dne  
Lunace – číslování od 17.1.1923 (např. v HR)*



# Obíhá Měsíc kolem Země?

Jenže Země obíhá Slunce průměrnou rychlostí -  $29,8 \text{ km/s} = 107\,280 \text{ km/h} !!!$

Střední rychlost Měsíce kolem Země je „jen“  $1,02 \text{ km/s}$



Po „eliptické“ dráze kolem Slunce letí těžiště soustavy Z-M  
Kolem této dráhy se „vlní“ Měsíc (více) i Země (méně –  $1/81$ )

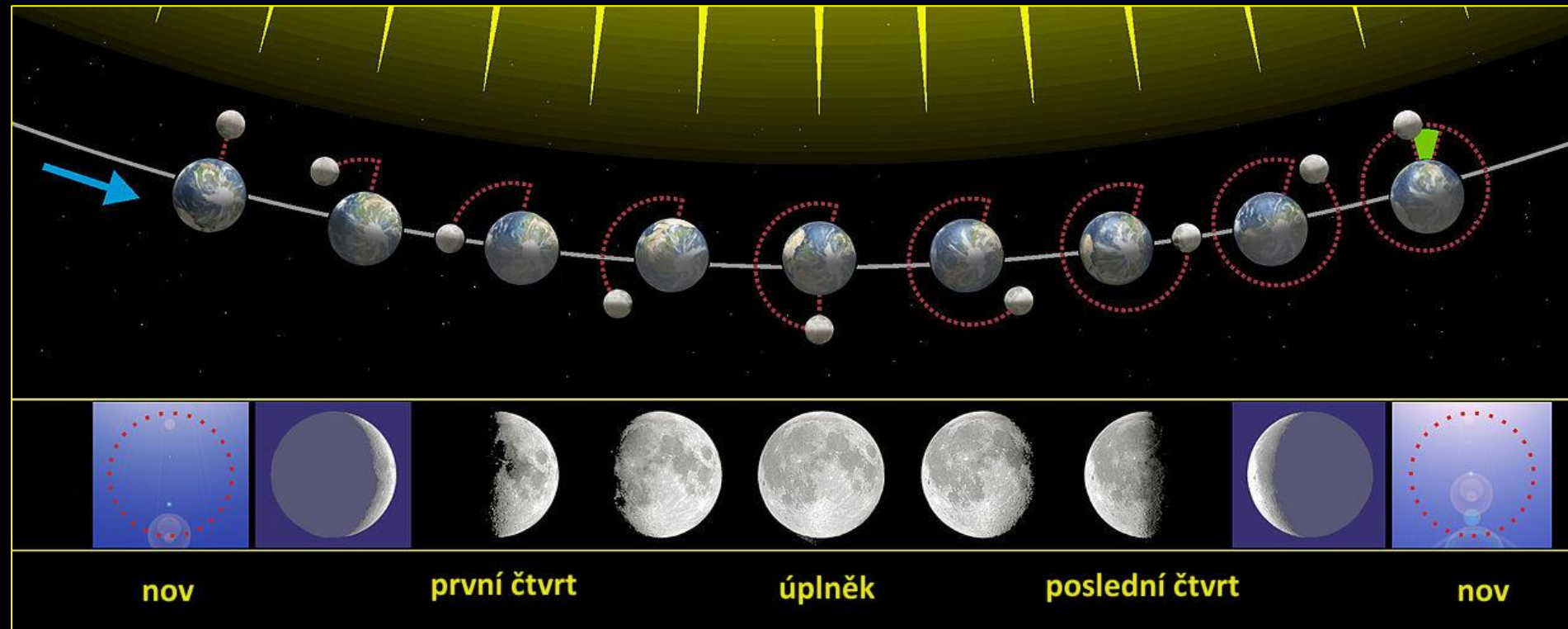
# Fáze Měsíce

„D“

siderický měsíc vs. synodický

27,3 dne vs. 29,5 dne

„C“



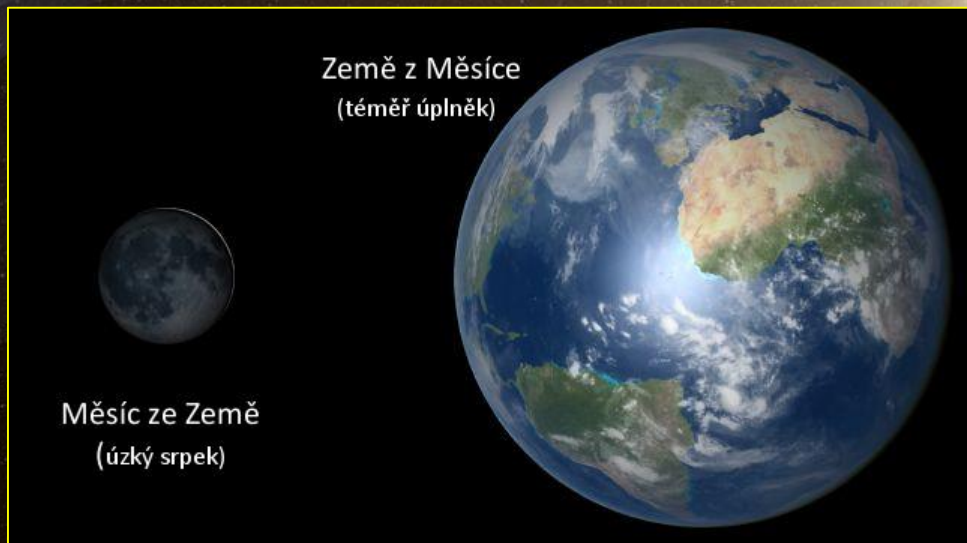
podobně hvězdný a sluneční den na Zemi (rozdíl jen cca 4 minuty)



# Popelavý svit ???



60x



Země z Měsíce  
(téměř úplněk)

Měsíc ze Země  
(úzký srpek)

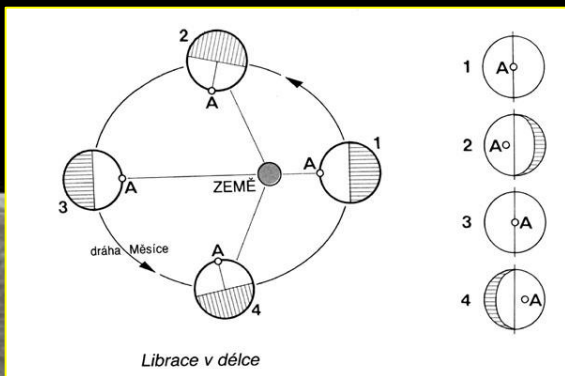
# Librace *(kývavé pohyby Měsíce)*

*vázaná rotace Měsíce + librace*

- 59% povrchu ze Země
- Země na se měsíčním nebi pohybuje kolem střední polohy

1) librace v délce (+/- 7°54')

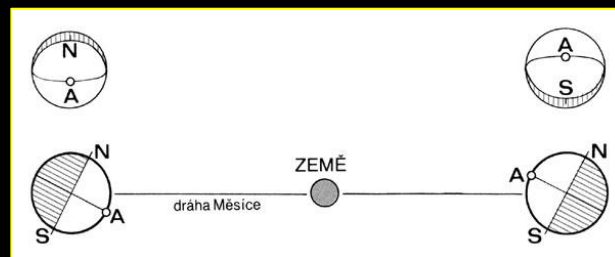
- vázaná rotace (stálá rychlost)
- eliptická dráha (různá rychlost)



# 59%

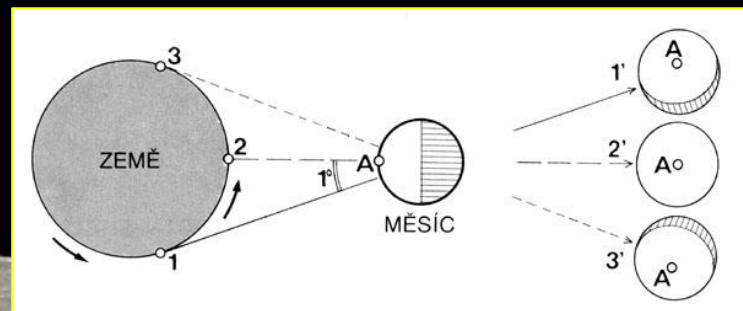
2) librace v šířce (+/- 6°50')

- sklon osy rotace k rovině dráhy



3) librace paralaktická (+/- 1°)

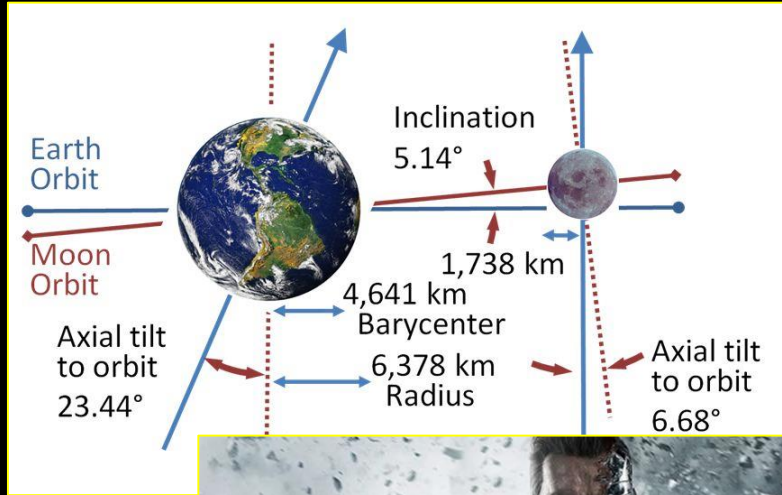
- pozorování z různých míst na Zemi



4) librace fyzická (změny rotace, ... - nepatrná)

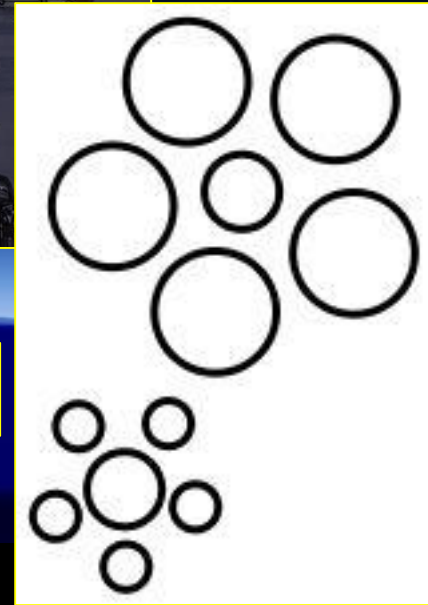


# Změny Měsíce (souhrn)



*terminátor – rozhraní světla a stínu  
(denní a noční strany)  
ranní / večerní terminátor – D / C*

# „Měsíční iluze“



DŮ: malíček, fotka, ...

**U obzoru se Měsíc (ale i Slunce) jeví větší**



# Zatmění ???

Zatmění Slunce – Měsíc v novu

Zatmění Měsíce – Měsíc v úplňku



Slunce, Země, Měsíc  
v jedné přímce

(Měsíc poblíž uzlu své dráhy)



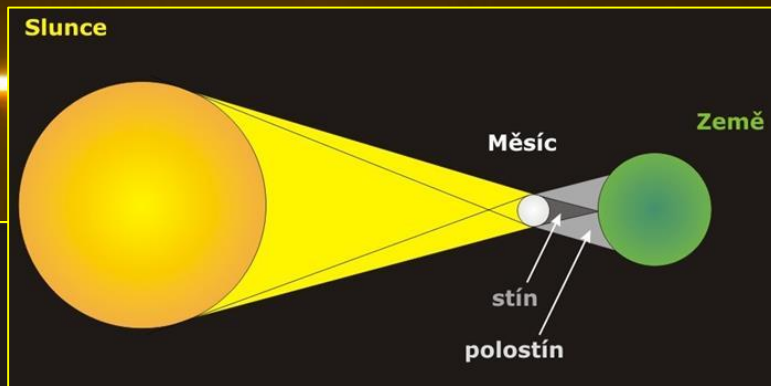
Pokud by byla rovina oběžné dráhy Země (ekliptika) i Měsíce stejná:

- při každém novu – zatmění Slunce
- při každém úplňku – zatmění Měsíce

Sklon dráhy k ekliptice –  $5,15^\circ$ :

- při novu a úplňku většinou k zatmění nedojde

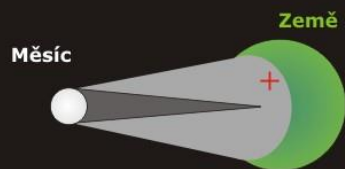
# Zatmění Slunce



## Vznik tří druhů zatmění Slunce

*poloha pozorovatele*

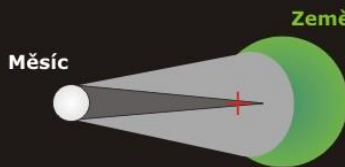
*jak vypadá zatmění*



mimo osu zákrytu  
v polostínu

**částečné**

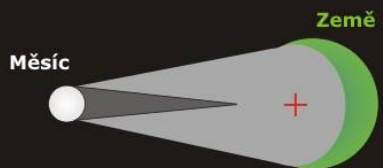
Měsíc zakryje jen  
část slunečního disku



přímo v zákrytu  
v úplném stínu

**úplné**

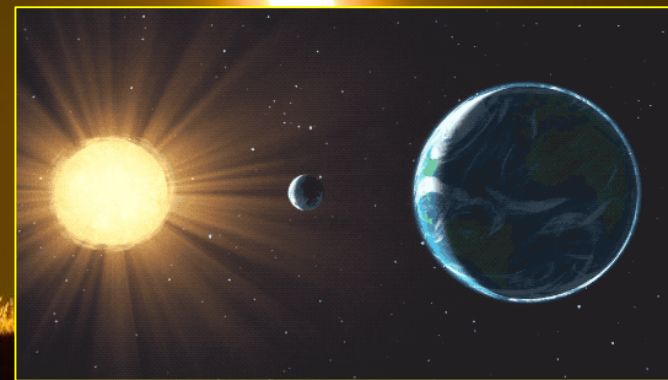
Slunce zmizí z oblohy,  
kolem něj začne být  
vidět koróna



přímo v zákrytu,  
ale Měsíc je tak  
daleko, že úplný  
stín na Zemi ne-  
dopadá

**prstencové**

Měsíc je uprostřed  
slunečního disku,  
ale nezakryje ho celý



# Úplné zatmění Slunce



- Měsíc je  $\sim 400\times$  menší než Slunce, ale  $\sim 400\times$  blíže  $\rightarrow \sim$  stejný úhlový průměr
- Měsíc v novu
- vzácný jev (Měsíc neobíhá v rovině ekliptiky)
- sice 2 - 5 zatmění za rok, ale pro 1 místo na Zemi v průměru 1 za 360 let
- pás totality – šířka maximálně 270 km
- maximální doba trvání – 7 min 31 s
- lze pozorovat planety, jasné hvězdy
- při částečné fázi – chránit zrak !!!
- důkaz platnosti OTR – ohyb světla v gravitačním poli



# Úplné zatmění Slunce

Úplná zatmění Slunce v Česku:

SE2015Mar20T

Made by Xavie  
Pas totality 7.10.2135



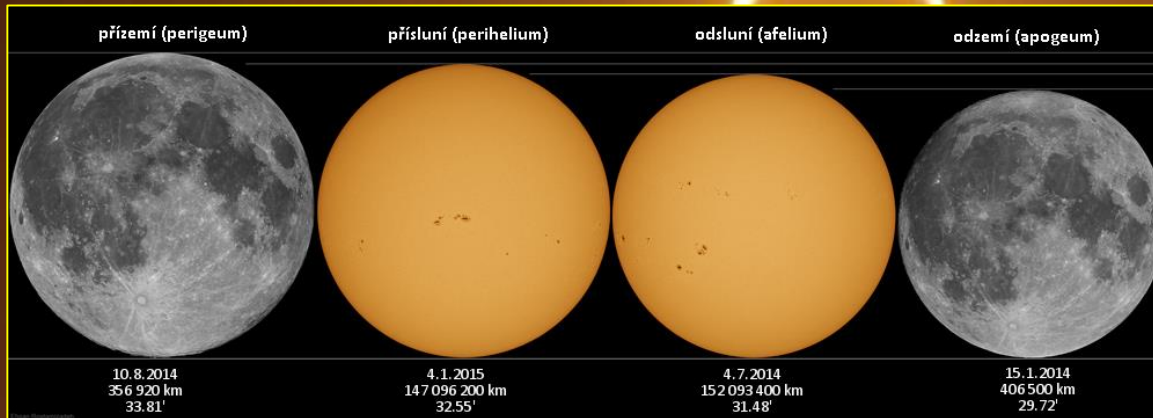


# Prstencové zatmění Slunce

Dráhy Země kolem Slunce, podobně jako Měsíce kolem Země:

- mají tvar elipsy → úhlový rozměr se mění během oběhu

- dráha Měsíce má větší výstřednost



Oblast úplného zatmění - pokud stín dopadne na Zemi

Oblast částečného zatmění

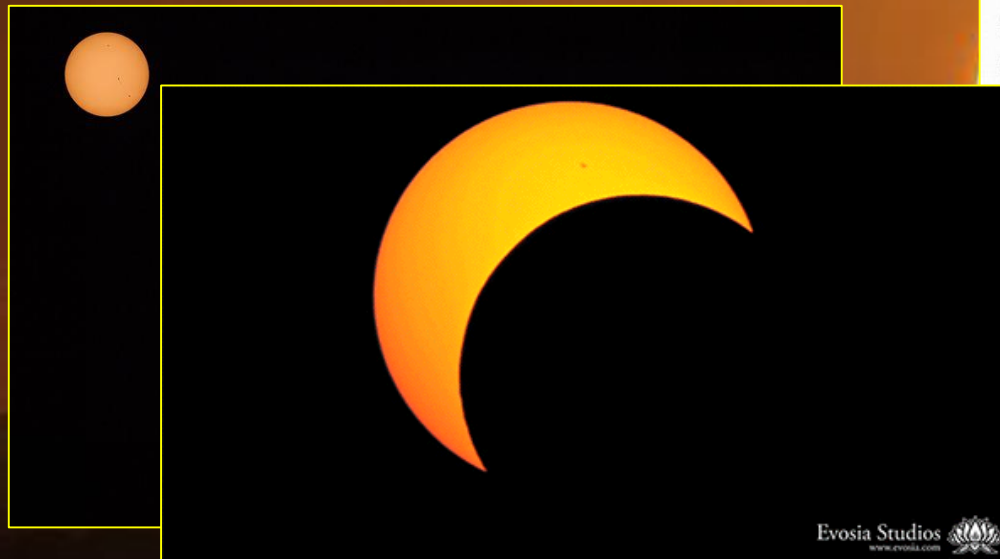
Sluneční svit

Měsíc

Polostín

Stín

Oblast prstencového zatmění



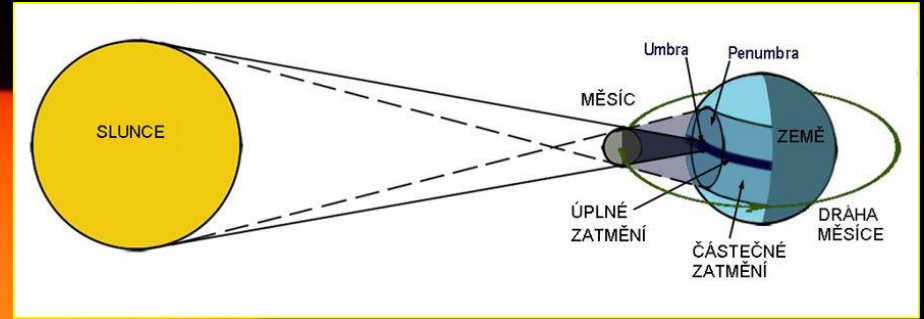
# Částečné zatmění Slunce

Částečné zatmění nastává,

pokud je pozorovatel v polostínu:

- před nebo po zatmění úplném nebo  
prstencovém

- při zatmění částečném

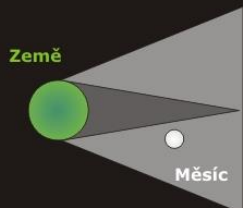


*Při pozorování vždy  
chránit zrak vhodným  
filtrem !!!!!*



# Zatmění Měsíce

## Vznik tří druhů zatmění Měsíce

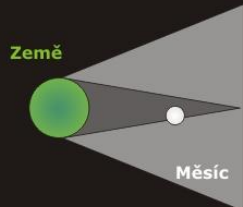


*poloha Měsíce* jak vypadá zatmění

Měsíc prolétá pouze polostínem Země

### polostínové

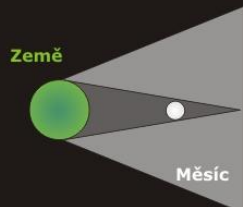
Téměř si ho nelze všimnout. Měsíční úplňk jen trochu méně jasně svítí.



Do plného stínu Země se dostane jen část Měsíce

### částečné

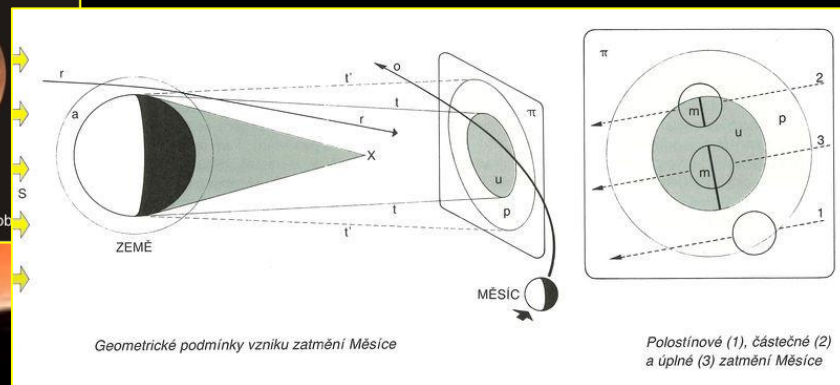
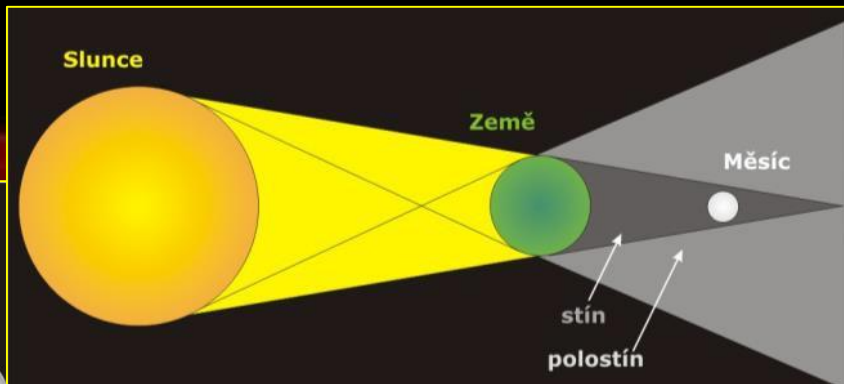
Část měsíčního disku je ponořena ve tmě. Zbývá část svítit méně než při úplňku.



Měsíc prolétá plným stínem Země

### úplné

V úplném stínu Země kupodivu není úplná tma. Měsíc zbarví do červena sluneční paprsky rozptýlené zemskou atmosférou.



# Úplné zatmění Měsíce

- stín Země u Měsíce -  $\sim 80'$  ( $2,5 \times$  Měsíc); polostín –  $\sim 145'$
- Měsíc v úplňku
- není tak vzácný jev jako úplné zatmění Slunce
- sice 2 - 3 zatmění za rok, ale pozorovatelné z celé polokoule (kde je vidět Měsíc)
- maximální doba trvání úplné fáze – 107 minut
- rychlost Měsíce  $\sim 1$  km/s (1 800 km/h) – pohyb stínu od 0,5 km/s (rovník)
- polostínová část zatmění – téměř nepozorovatelná
- při úplném zatmění, pokud by Země neměla atmosféru, byl by Měsíc tmavý
- díky lomu a rozptylu slunečního světla atmosférou – narudlá barva (podobně při V a Z Slunce); barva a tmavost zatmění závisí na stavu atmosféry

polostínové zatmění

# Zatmění Měsíce

*Aristarchos ze Samu – 3. stol. př. n. l. – „Koperník starověku“*



*- „zakladatel“ heliocentrického systému*

*- velikost stínu při zatmění Měsíce*

*→ Slunce mnohem větší než Země*

*- poměr velikostí Měsíce, Země a Slunce:*

*Měsíc asi 3x menší než Země (3,7x)*

*Slunce asi 7x větší než Země (109x)*

*Slunce 19x dál než Měsíc (395x)*

*- hypotéza - vesmír je nekonečný a hvězdy jsou vzdálená slunce*

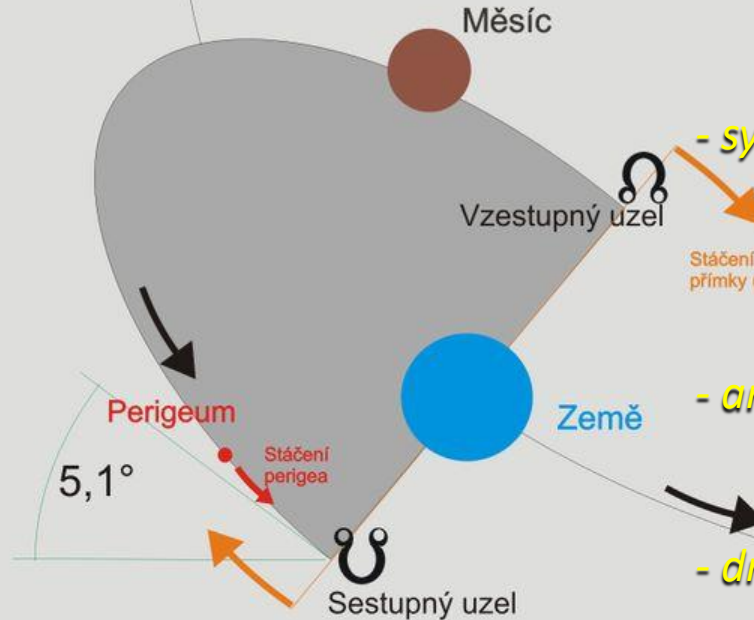


# Měsíc jako časová jednotka



Slunce

Rovina ekliptiky



- siderický – 27 d 7 h 43 m 11,5 s

doba oběhu vzhledem dané hvězdě

- tropický – 27 d 7 h 43 m 3 s

vzhledem k jarnímu bodu (pohyb JB na Z)

- synodický – 29 d 12 h 44 m 2,8 s

vystřídání fází, stejná poloha vůči Slunci

Stáčení uzlové přímky (18,61 let)

(důsledek pohybu Země kolem Slunce)

- anomalistický - 27 d 13 h 19 m

od perigea k perigeu (stáčení perigea; 8,85 r)

- drakonický - 27 d 5 h 5 m 35,8 s

od uzlu k uzlu (stáčení uzlové přímky; 18,61 r)

(na pohybu uzlů k Z závisí perioda zatmění)

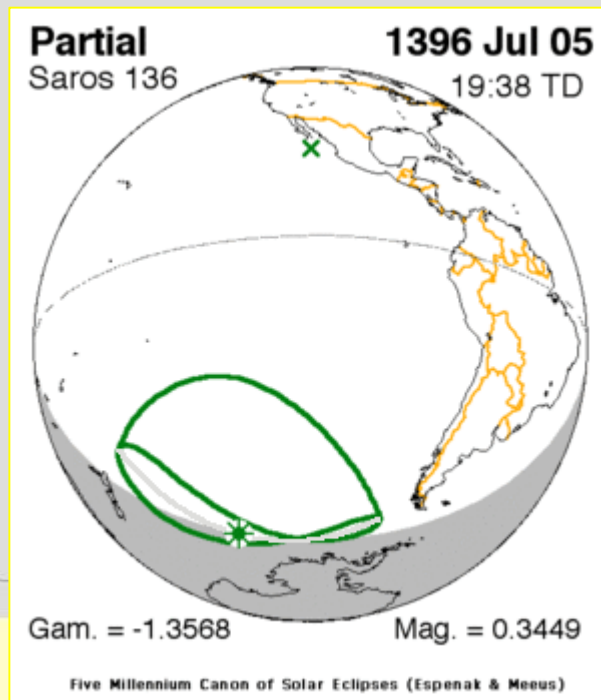
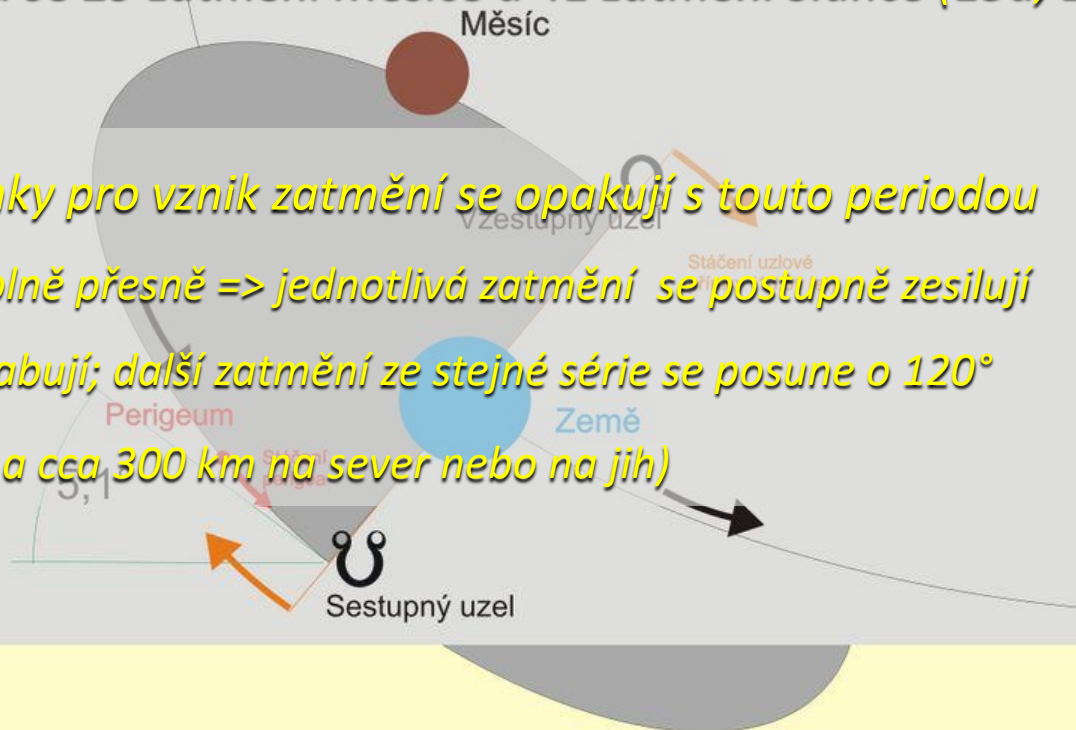
# Saros



- perioda 6 585 dní (18 let 10 nebo 11 dní) = 223 synodických a 242 drakonických oběhů, tj. Měsíc je ve stejném postavení vůči Slunci (stejná fáze) i vůči uzlům

- vystřídá se 29 zatmění Měsíce a 41 zatmění Slunce (15ú, 15č, 11p)

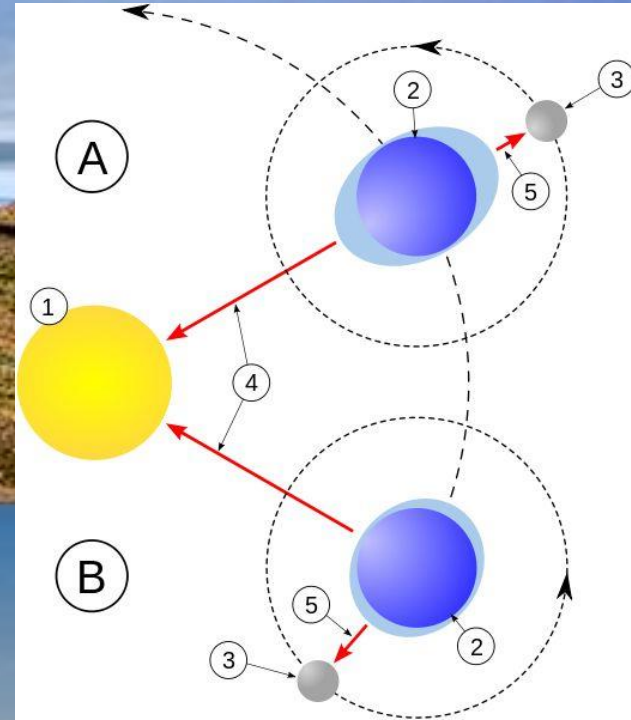
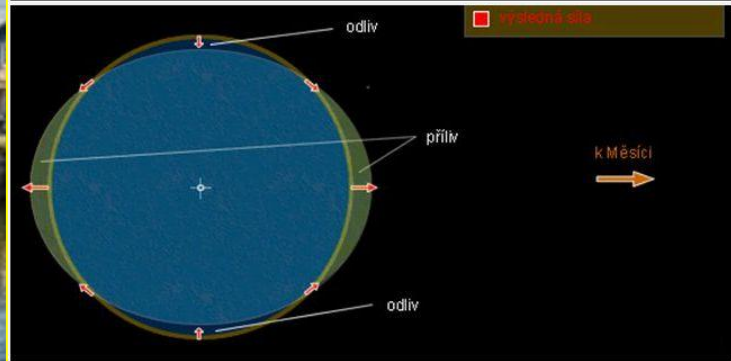
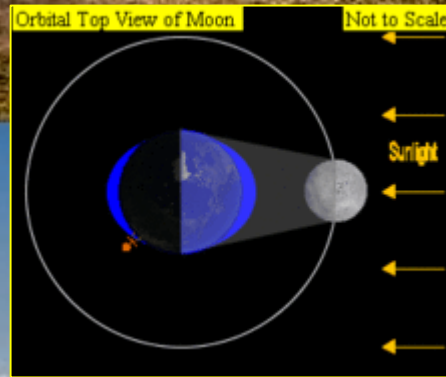
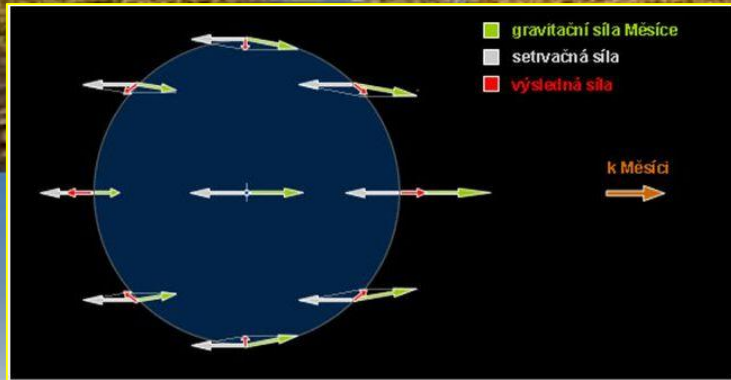
- podmínky pro vznik zatmění se opakuji s touto periodou (ale ne úplně přesně => jednotlivá zatmění se postupně zesilují nebo zeslabují; další zatmění ze stejné série se posune o 120° na západ a cca 300 km na sever nebo na jih)



# Slapy ???

## dmuť mořské hladiny - příliv / odliv

- deformace hladiny, ale i zemské kůry – Měsíc, Slunce
- rozpad těles (např. komety, satelity u Jupiteru) – Rocheova mez



- rozdíl:

- gravitačního působení Slunce, Měsíce ( $1/r^2$ )
- odstředivé síly - oběh kolem barycentra (stejná)
- vliv Měsíce a Slunce se sčítá (vektorově)
- skočný příliv – sčítají se (nov, úplňk)
- hluchý příliv – odčítají se (čtvrt)



# Slapy

- *zabrzdnění rotace Měsíce - vázaná*
- *brždění rotace Země (1,7 s / stol.)*
- *vzdalování Měsíce (4 cm / rok)*
- *opakování po 12 hod 25 min*
- *výška:*

*na volném moři – max. 80 cm  
u pobřeží - až 20 m (profil)*



*- pro různá místa různé - komplikované  
- přístavní čas*



# Psychologický test NASA



Vaše kosmická loď ztroskotala na měsíčním povrchu.

Podle programu jste se měli setkat s mateřskou lodí ve vzdálenosti 300 km na osvětlené straně.

Při tvrdém přistání byla vaše kosmická loď poškozena a její zařízení zničeno.

Podařilo se vám zachránit pouze 15 předmětů.

Život posádky závisí na tom, zda se dostanete k mateřské lodi.

Vaším úkolem je proto vybrat pro třístakilometrovou cestu nejpotřebnější věci.

# Psychologický test NASA



Uvedených 15 předmětů seřadte podle pořadí důležitosti pro záchranu života.

Číslem 1 označte nejdůležitější předmět, číslem 2 druhý nejdůležitější , ...

PŘEDMĚT
Krabička zápalek
Koncentrovaná potrava
Padákové hedvábí
20 m nylonového lana
Přenosné topné těleso na sluneční baterii
Dvě pistole ráže 7,62 mm
Krabice dehydrovaného mléka
Magnetický kompas
Dvě (50 kg) nádrže s kyslíkem
Hvězdná mapa měsíční oblohy
Samonafukovací záchranný člun
25 l vody
Signální rakety
Brašna první pomoci s injekčními jehlami
Přijímač a vysílač s frekvenční modulací na sluneční baterie