



PLANETÁRNÍ GEOGRAFIE

**Pohyby Země a zemské osy a jejich
důkazy a důsledky**



Základy určování času

- Země vykonává ve vesmíru několik pohybů:
 - Otáčí se kolem své osy (rotační pohyb).
 - Obíhá kolem Slunce (revoluční pohyb).
 - Pohybuje se sluneční soustavou v galaxii.

Rotační pohyb

- Během svého pohybu kolem Slunce se Země otáčí od **východu na západ!**
- Rotace Země kolem její osy spojující severní a jižní zeměpisný pól trvá 23 hodin, 56 minut a 4,091 sekund. Tak dlouho trvá **siderický den/hvězdný den.**
- V běžném životě se ale označuje jako střední sluneční den, který trvá 24 hodin.
- Na rovníku se vlivem rotace budete pohybovat rychlostí 1 600 km/h směrem k východu. Na 50⁰ s. š. je rychlost 1 000 km/h.
- Rychlost zemské rotace se velmi pomalu snižuje vlivem gravitačního působení Měsíce a Slunce (před 900 mil. lety trvala 1 otočka Země kolem osy zhruba 18 hod.).

Rotační pohyb

- Rychlost zemské rotace se velmi pomalu snižuje vlivem gravitačního působení Měsíce a Slunce (před 900 mil. lety trvala 1 otočka Země kolem osy zhruba 18 hod.).
- Rotace je ovlivněna také sousedním Měsícem (viz slapové jevy).
- Důsledek zpomalení rotace, a tím i vzdalování Měsíce od Země o 35 mm za rok (před 4 mld. lety byl Měsíc 4x blíže než dnes a přílivová vlna byla tehdy 35 m vysoká).
- Video:
https://www.youtube.com/watch?v=J1zT8tis3NA&feature=player_embedded#!.

Důkazy a důsledky rotačního pohybu

▪ **Nepřímé:**

1. Kdyby vzdálená vesmírná tělesa měla oběhnout Zemi za 24 hodin, musely by být jejich rychlosti nepředstavitelně velké.
2. Je velmi nepravděpodobné, že by různě vzdálená vesmírná tělesa měla přesně stejně dlouhé oběžné doby.
3. Všechna vesmírná tělesa přístupná pozorování se otáčejí.

▪ **Přímé:**

1. Coriolisova síla
2. Foucaultův kyvadlový pokus
3. Odchylka padajících těles

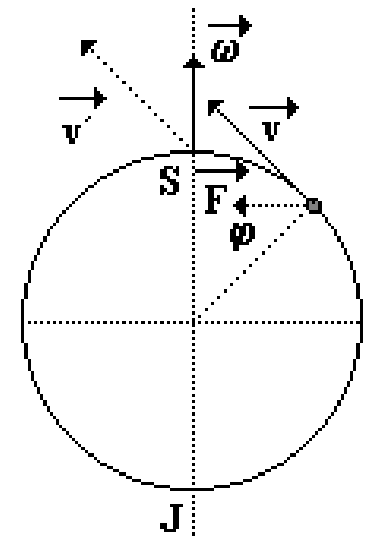
Důsledky:

1. Zploštění Země (odstředivá síla, která vzniká při rotaci Země, způsobila nahromadění hmoty v oblasti rovníku a tím zploštění Země na pólech)
2. Střídání dne a noci
3. Datová mez
4. Slapové jevy

Coriolisova síla

- Setrvačná síla působící na tělesa, která se pohybují v rotující soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení.
- V roce 1835 popsal francouzský fyzik a matematik Gustav G. Coriolis setrvačnou sílu působící na tělesa pohybující se v rotující vztažné soustavě.
- Síla je kolmá na směr pohybu, míří od něj vpravo a je tečnou ke kouli.
- Závisí na:
 - hmotnosti tělesa m ,
 - vektoru rychlosti tělesa v ,
 - vektoru úhlové rychlosti otáčení soustavy ω .
- Jestliže vektor rychlosti tělesa směřuje:
 - rovnoběžně s osou otáčení $\rightarrow F_C = 0 \text{ N}$,
 - kolmo k ose otáčení $\rightarrow F_C$ ve směru rotace,
 - kolmo od osy otáčení $\rightarrow F_C$ proti směru rotace.

$$\vec{F}_C = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$$



Coriolisova síla

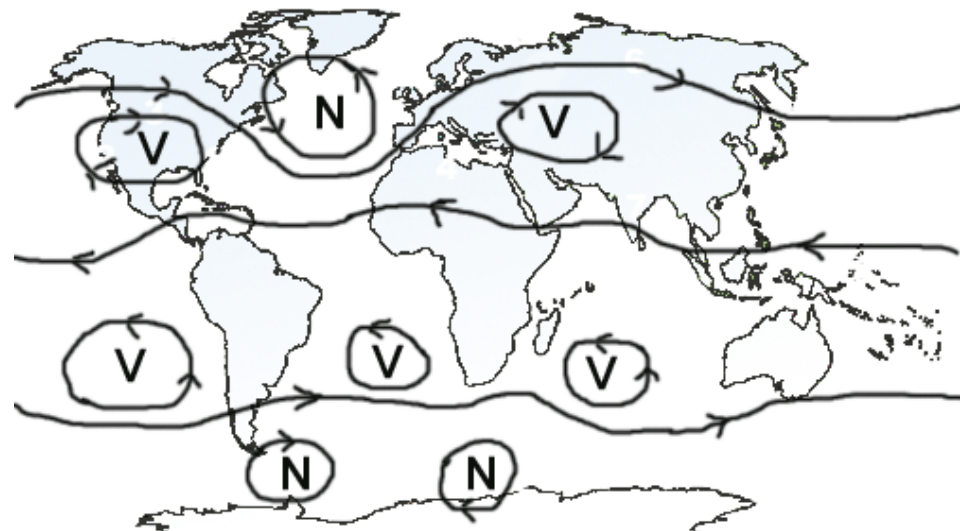
- Pohybuje-li se těleso:
 - na severní polokouli v S–J směru, je strháváno vlivem F_C vpravo od svého původního pohybu,
 - na jižní polokouli v S–J směru, je strháváno vlivem F_C vlevo od svého původního pohybu,
 - překračuje-li těleso rovník v S–J směru, je $F_C = 0$ N (vektor v je rovnoběžný s osou!).
- Vzhledem k relativně pomalé rotaci Země a relativně malým rychlostem těles na jejím povrchu se Coriolisova síla projeví zejména u dlouhodobých pohybů.
- Coriolisova síla působí na každé hmotné těleso, které se nachází v rotující soustavě (tedy i na celou atmosféru, mořské proudy a říční toky).

Coriolisova síla

- Směr této síly se liší v závislosti na směru pohybu tělesa a v závislosti na tom, na jaké polokouli Země se těleso pohybuje:
 1. pohybuje-li se těleso na severní polokouli v severojižním směru, je strháváno vlivem Coriolisovy síly vpravo od svého původního pohybu;
 2. pohybuje-li se těleso na jižní polokouli v severojižním směru, je strháváno vlivem Coriolisovy síly vlevo od svého původního pohybu;
 3. pohybuje-li se těleso na severní polokouli směrem na východ, má Coriolisova síla směr odstředivé síly.

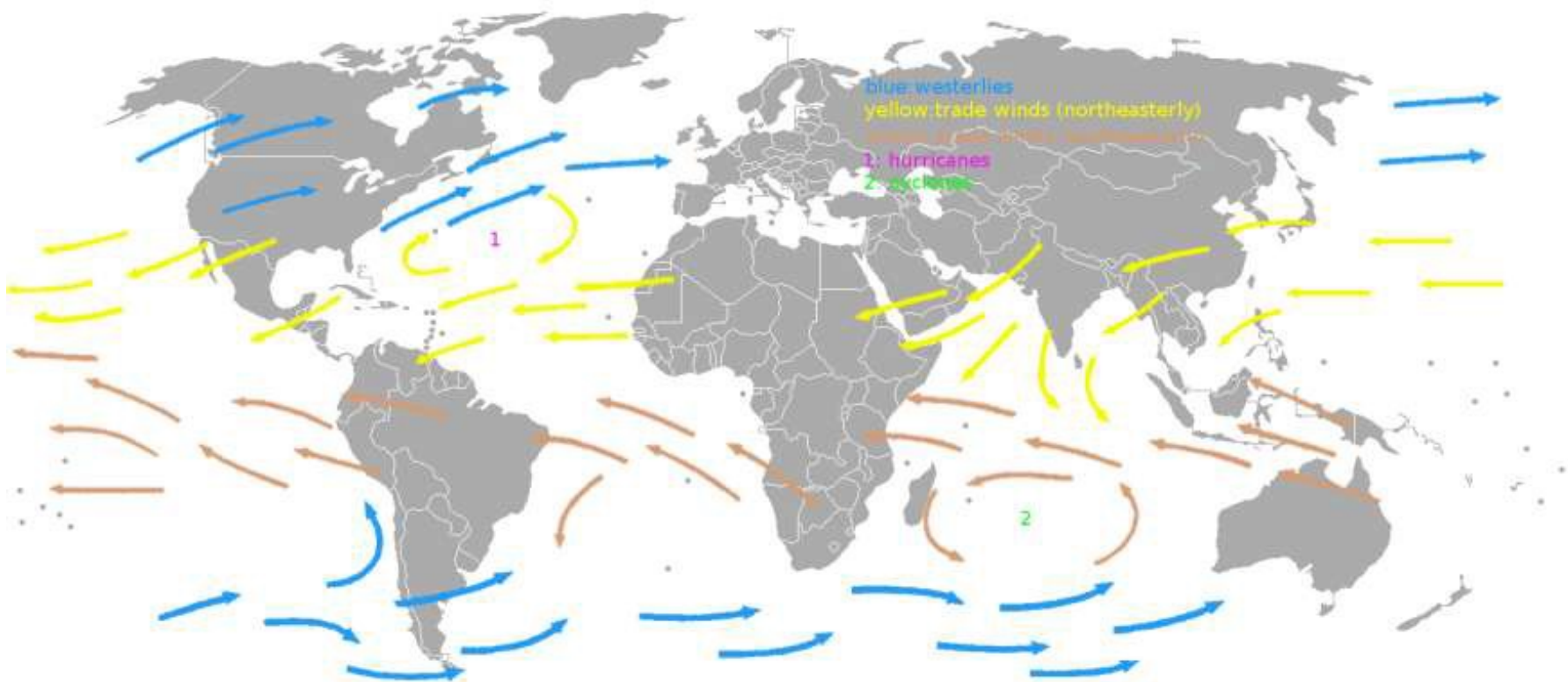
Coriolisova síla – důsledky

- Směr rotace tlakových výší a níží:
 - na severní polokouli se kolem tlakových výší (anticyklon) vzduch pohybuje po směru hodinových ručiček, okolo tlakových níží (cyklon) proti směru hodinových ručiček.
 - na jižní polokouli je tomu naopak.



Coriolisova síla – důsledky

- Směr tzv. pasátů (větry pravidelně vanoucí směrem k rovníku):
 - na severní polokouli se stáčejí směrem doprava, tedy na západ.
 - na jižní polokouli se stáčejí směrem doleva, tedy také na západ.



Coriolisova síla – důsledky

- Při střelbě na velké vzdálenosti, kdy kulka vypálená z hlavně pušky bude odkláněna od svého původního směru. Střelec s touto silou tedy musí počítat.
- Na severní (resp. na jižní) polokouli dochází v důsledku existence Coriolisovy síly k většímu opotřebovávání pravých (resp. levých) kolejnic jednosměrných tratí, neboť vlak pohybující se danou rychlostí je na tuto stranu přitahován.
- Na severní (resp. na jižní) polokouli dochází v důsledku její existence k většímu podemílání pravých (resp. levých) břehů řek. Voda proudící určitou rychlostí je opět k tomuto břehu přitahována. – tzv. Bayerův zákon.

Foucaultův kyvadlový pokus

- Pojmenované po francouzském fyzikovi Jeanu Foucaultovi, představuje důležitý experiment potvrzující otáčení planety Země kolem své osy.
- Původní pokus byl proveden v roce 1851 v pařížském Pantheónu, kde bylo v kopuli zavěšeno závaží o hmotnosti 28 kilogramů na 68 metrů dlouhém laně.
- Doba kmitu kyvadla byla 16 sekund.
- Na závaží kyvadla byl hrot, kterým se do písku na podlaze zakresloval pohyb kyvadla.
- Na severním pólu: rovina kyvu se otáčí od východu k západu, tj. zemský povrch se otáčí v opačném směru úhlovou rychlostí $\omega_1 = \omega_z = 360^\circ/T$ (tj. 15° za 1 hvězdnou hodinu), na rovníku: $\omega_1 = 0$.
- K vidění v Květné zahradě v Kroměříži, ve Hvězdárně a planetáriu v Hradci Králové, v Hodoníně nebo Praze v areálu ČVUT.

Slapové jevy

- Periodické deformace zemského tělesa vyvolávané gravitačním působením Měsíce a Slunce a odstředivou silou, která vzniká pohybem Země kolem společného těžiště gravitačně spjaté soustavy Země–Měsíc.
- Toto těžiště se nazývá **barycentrum** a leží 1700 km pod povrchem Země.
- Má vliv na příliv a odliv, nebo-li slapy mořské (dmutí), slapy zemské kůry a slapy atmosféry.
- Nejvíce je to ale pozorovatelné na moři.
- Příliv vzniká na straně přivrácené k Měsíci a v důsledku odstředivé síly i na odvrácené straně.
- Příliv a odliv se pravidelně střídají v cyklu 12 hodin 25 minut.
- Každý další den je to o 50 minut později, protože dohromady cykly dávají součet 24 hodin 50 minut.

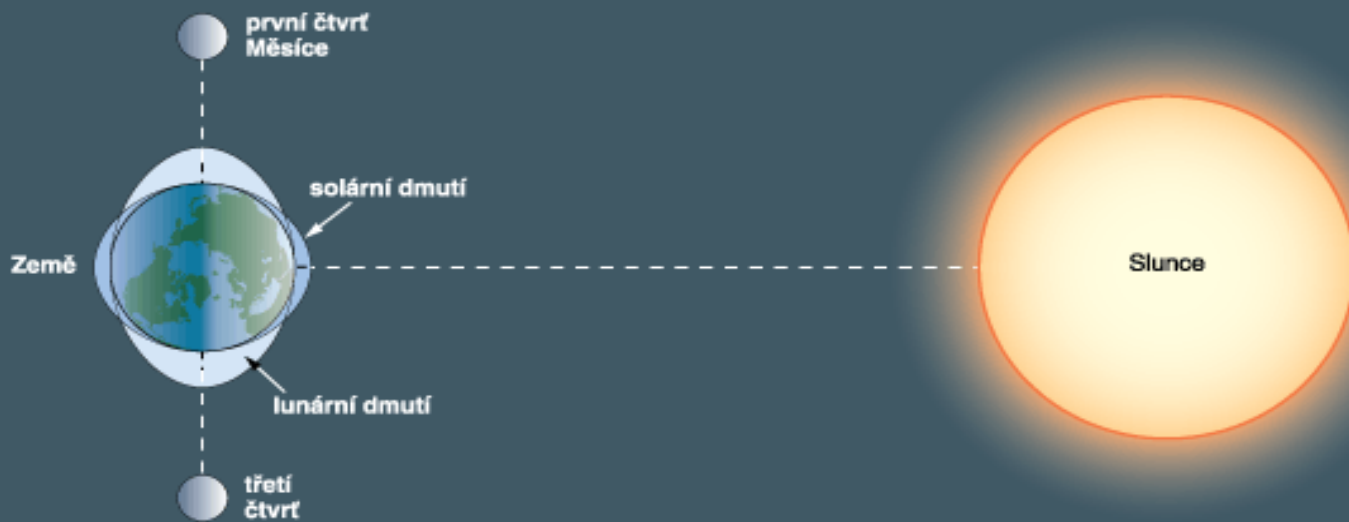
Slapové jevy

- Největší příliv – tzv. skočný příliv nastává v období úplňku a novu, protože se Země, Měsíc a Slunce nacházejí na jedné přímce a výsledná síla gravitace je tak větší.
- Když Slunce, Země a Měsíc svírají pravý úhel, při 1. a 3. čtvrti je to nejméně – tzv. hluchý příliv.
- Velikost přílivu je různá, záleží na tvaru pobřeží.
- Největší příliv v Evropě Mont Saint Michel (Francie, 13 m).
- Největší příliv na světě Fundy (Kanada, 20 m) odliv s přílivem se střídá cca o 6 hodin – normálně 2 přílivy a 2 odlivy za den.

Slapové jevy



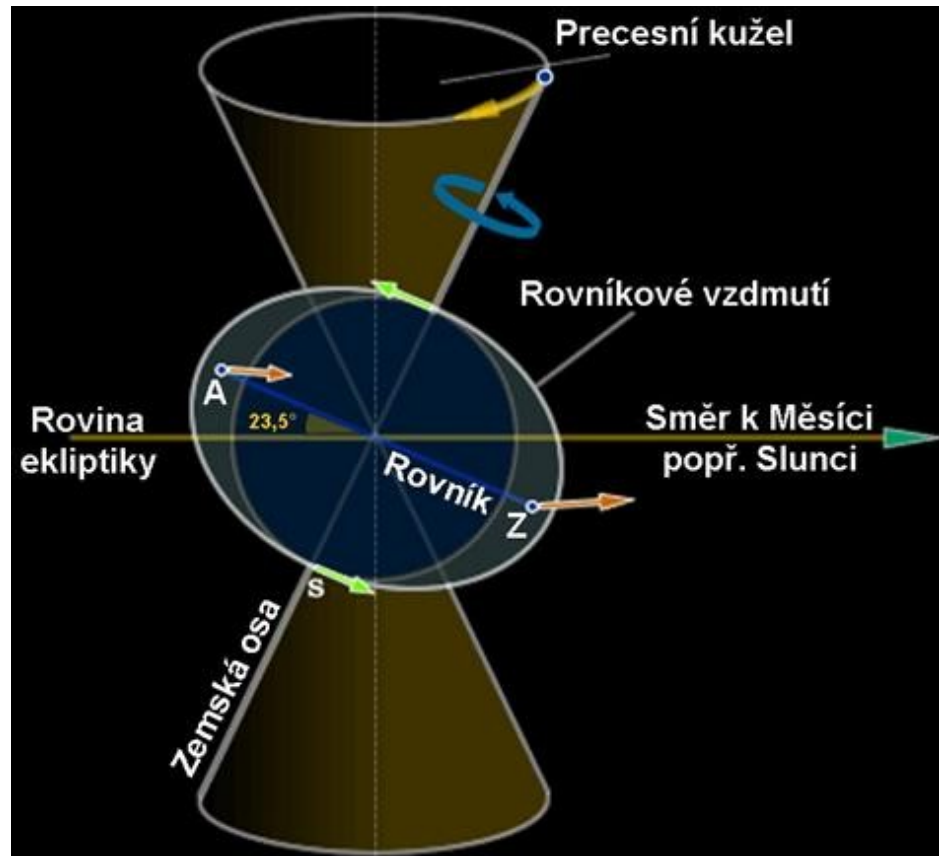
(a) příliv skočný



(b) příliv hluchý

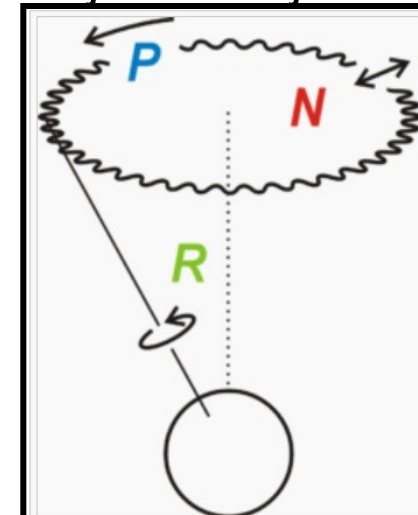
Pohyby zemské osy

- Rotační osa Země je skloněná o $23,5^\circ$ vzhledem ke kolmici k oběžné dráze.
- *Precese*
- *Nutace*



Precese

- *Precese* – vlivem nepravidelného rozložení hmoty na Zemi dochází gravitačním působením okolních těles (především Slunce a Měsíce) ke krouživému pohybu zemské osy (na obrázku vyznačen písmenem P).
- Precesi znal již Hipparcos ve 2. stol. př. n. l.
- Pravidelný pohyb osy rotujícího tělesa, na které působí nějaká vnější síla.
- Zemská osa opisuje při tomto pohybu plášť dvojkužele s vrcholem ve středu Země.
- Jedna otočka trvá přibližně 25765 let (Platónský rok).



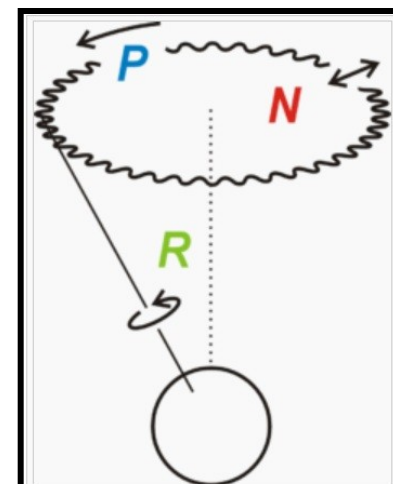
Pohyb zemské osy: R = rotace Země kolem osy, P = precese, N = nutace

Precese

- Precese zemské osy způsobuje, že se nebeský (světový) pól vrátí přibližně na dnešní místo za 25 780 let.
- Tuto periodu nazýváme Platónský rok.
- Pod vlivem Měsíce (60 %) a Slunce (40 %) vykonává zemská osa tzv. lunisolární precesi – opisuje kužel podobně jako roztočená káča s vrcholovým úhlem $23^{\circ} 27'$ (hodnota odpovídá z. š. na obratníku).

Nutace

- Přes precesní pohyb se překládá ještě jeden pohyb, který je na schématu vlevo znázorněn písmenem N.
- Hlavní příčinou nutace je periodicky se měnící postavení Měsíce a Slunce vůči Zemi.
- Drobné zvlnění precesního pohybu s celou řadou period. Nejvýraznější je dlouhá 18,6 roku a experimentálně byla objevena Bradleyem v 18. století.



Pohyb zemské osy: R = rotace Země kolem osy, P = precese, N = nutace

Důsledky precese a nutace

- **Změna polohy světového pólu** – v současné době je severní nebeský pól přibližně ve vzdálenosti asi 1° od Polárky, ale v důsledku precese se k ní nyní stále přibližuje, až kolem roku 2102 bude k ní nejbližší. Pak se opět začne od ní vzdalovat a její úlohu při navigaci převezmou jiné hvězdy, např. zhruba za 12 000 let to bude hvězda Vega v souhvězdí Lyry.
- **Změna polohy bodů rovnodennosti** – důsledkem pomalého posuvu bodů rovnodennosti, jarní bod se posune asi o 1° za 72 let, je změna datumu počátku ročních období.

Revoluční pohyb

- Země obíhá Slunce po eliptické dráze, která je dlouhá 939,2 mil. km.
- Vzdálenost Země od Slunce není stále stejná – v nejbližším bodě přísluní (perihelium) **3. 1.** je vzdálenost 147,1 mil. km, v nejvzdálenějším bodě odsluní (afelium) **5. 7.** je vzdálenost 152,1 mil. km.
- Doba oběhu je 365 dní 6 hodin 48' 45,7" a označuje se jako tropický rok.

Revoluční pohyb

- Průsečnice oběžné dráhy Země kolem Slunce se světovou nebeskou sférou se označuje jako **ekliptika**. Dráha Země leží v její rovině.
- Průsečnice roviny zemského rovníku se světovou sférou se nazývá **světový rovník**.
- Ekliptika a světový rovník se protínají ve dvou bodech – jarním bodem rovnodennosti (20. – 21. března) a podzimním bodem rovnodennosti (22. – 23. září).
- Sklon roviny rovníku k rovině ekliptiky je $23^{\circ}27'$, stejný úhel svírají na nebeské sféře i ekliptika se světovým rovníkem.

Důkazy revolučního pohybu

- **Nepřímé:**
 1. porovnání hmotností.

- **Přímé :**
 1. Roční paralaxa hvězd – velká poloosa zdánlivé paralaktické elipsy (zorný úhel, pod kterým je vidět z hvězdy poloměr zemské dráhy).

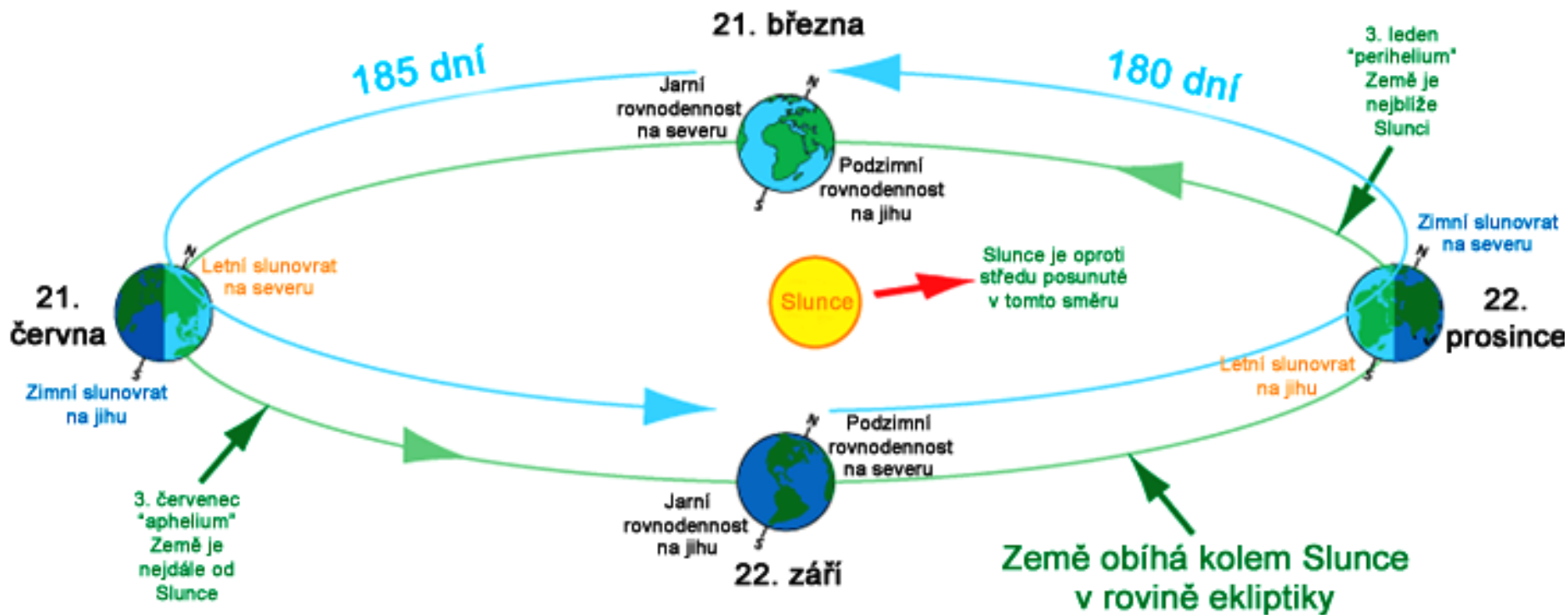
 2. Aberace hvězd – jev, kdy pohybující se pozorovatel vidí světelný zdroj v jiném směru, než by ho viděl v témž okamžiku, kdyby byl v klidu (úhel mezi skutečným a zdánlivým směrem na světelný zdroj).

Důsledky revolučního pohybu

1. **Střídání ročních období** – není způsobeno měnící se vzdáleností Země od Slunce, ale sklonem zemské osy. Osa rotace si zachovává k rovině oběžné dráhy Země stále stejný sklon – $66^{\circ}33'$. Sklon zemské osy způsobuje změny v ozáření zemských polokoulí během roku. V důsledku toho dochází ke střídání ročních období a změně délky noci a dne v různých geografických oblastech Země podle jejich zeměpisné šířky.
2. **Různá délka dnů a nocí na Zemi** (viz cvičení č. 5).
3. **Vymezení teplotních pásů** (5) díky rozdílnému úhlu dopadu slunečních paprsků; teplý pás (mezi obratníky), mírné pásy (mezi obratníky a polárními kruhy), polární pásy.
4. **Výskyt meteorů** – vyšší četnost v 2. pol. noci. Večer jsou pozorovatelné meteory, které jsou rychlé a Zemi dohoní, ráno zase Země dohoní ty pomalé.

Roční pohyb Země kolem Slunce

(Není v měřítku)



Střídání ročních období

- V období **letního slunovratu** (21.–22. června) je severní pól maximálně přikloněný ke Slunci a sluneční paprsky dopadají v poledne kolmo na obratník Raka. Na severní polokouli je nejdelší den (16 h) a nejkratší noc a současně také začíná astronomické léto.
- V období **zimního slunovratu** (21.–22. prosince) je ke Slunci nejvíce přikloněný jižní pól. Slunce se v poledne nachází kolmo nad obratníkem Kozoroha. Na severní polokouli začíná astronomická zima a je nejdelší noc a nejkratší den.
- Ve dnech **jarní a podzimní rovnodennosti** dopadají v poledne sluneční paprsky kolmo na rovník. Dny i noci jsou stejně dlouhé. Jarní rovnodenností (20.–21. března) začíná jaro a podzimní rovnodenností (22.–23. září) začíná podzim.
- Video: <https://www.youtube.com/watch?v=7XMio1OnH7s>



Pro dnešek vše!