

Země - otázky a odpovědi

Vladimír Štefl, Josef Trna

Země je naším kosmickým domovem a ten bychom měli dobře znát. Proto jsme vybrali některé jevy, s kterými se můžete setkat v přírodě, při pohledu do atmosféry Země a na oblohu, a podali jejich objasnění. Náš výklad se opírá o poznatky z astronomie, optiky, mechaniky, geometrie a matematiky. Přitom jsme se snažili být co nejvíce srozumitelní, i za cenu některých zjednodušení. Tak, aby text byl pochopitelný především žákům základních škol. Hlubavějším žákům respektive studentům středních škol je určen podrobnější výklad vyznačený kurzívou.

- Který astronomický jev dokazuje kulový tvar Země?**

Například zakřivený zemský stín vržený na povrch Měsíce při zatmění Měsíce.



- Co je delší, obvod rovníku nebo poledníku?**

Země je zploštělá, s polárním poloměrem (6 357 km) menším o 21 km než rovníkovým (6 378 km), proto je obvod rovníku delší. Zemský tvar není přesně kulový, nýbrž vzhledem k popsanému zploštění v oblastech pólu má tvar rotačního elipsoidu. Tím rozumíme těleso vzniklé rotací elipsy kolem její osy. Zploštění není výrazné, představíme-li si Zemi jako kouli o průměru 1 m, dosahuje jen 3 mm. Přesněji Země nemá matematicky jednoduše vyjádřitelný povrch. Hovoříme o tzv. geoidu, což je název pro těleso s povrchem vymezeným střední hladinou světového oceánu, probíhající virtuálně i pod kontinenty.

- Proč není osa rotace Země přesně kolmá k oběžné rovině kolem Slunce?**

Důvodem je s velkou pravděpodobností tečný střet, srážka při dopadu pod malým úhlem, kdy se těleso o hmotnosti přibližně jedné desetiny hmotnosti Země s ní střetlo před zhruba 4,5 miliardami roků a způsobilo vychýlení zemské rotační osy. Tuto teorii potvrzuje shodné chemické složení Měsíce a povrchových vrstev Země. Uvolněná hmota horních vrstev Země vytvořila kolem ní prstenec, který se posléze stmelil v Měsíc.

- Proč zachovává osa Země stále stejný směr?**

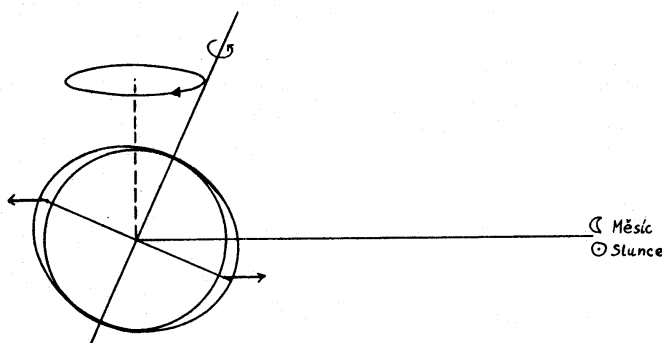
Zemské těleso se chová jako velký setrvačnick, známý roztočený „vlček“, který se opírá o pevnou podložku. Existuje mírné stáčení zemské osy, tzv. precese, s periodou 26 000 roků. Při rotaci Země se uplatňuje fyzikální zákon zachování momentu hybnosti. Na druhém snímku můžete pozorovat ještě jeden pohyb zemské osy, kmitavý vlnkovitý pohyb zvaný



nutace.

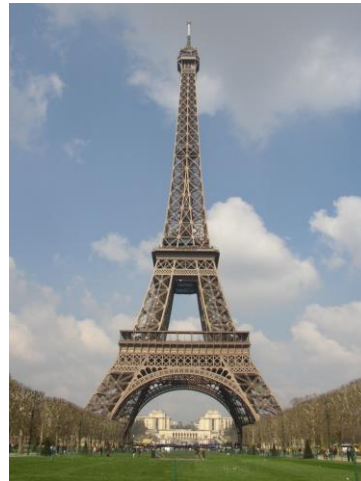
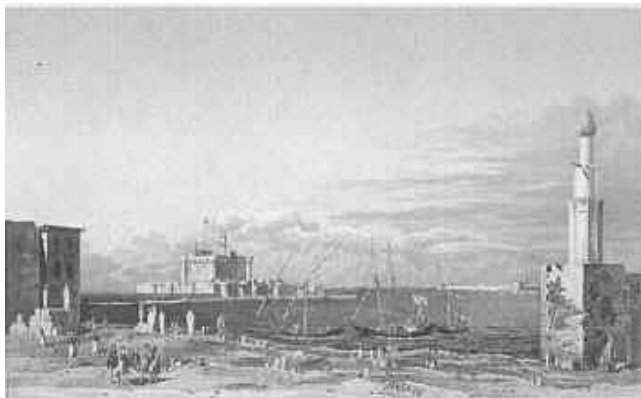
Polární hvězda = Polárka, Polaris, Severka, Alrucaba, αUMi

Gravitační působení Slunce a Měsíce na zploštělou Zemi způsobuje precesní pohyb zemské osy. Ta je skloněna k rovině oběžné dráhy Země kolem Slunce (rovina ekliptiky) o úhel asi 66,5°. Slunce a Měsíc působí na nadbytečnou hmotu okolo zemského rovníku (díky zploštělé Zemi) a vzniká tak dvojice sil, která se snaží napřímit zemskou osu do původního směru kolmého k rovině ekliptiky. Vzhledem k otáčivému pohybu Země je důsledkem skutečnost, že zemská osa opisuje okolo kolmice k ekliptice kuželovou plochu.



- Z jaké vzdálenosti byl pozorovatelný maják o výšce 120 m v Alexandrii na ostrově Faros, který byl jedním ze „sedmi divů světa“? Do jaké vzdálenosti lze dohlédnout z Eiffelovy věže o výšce 300 m v Paříži?**

Pro pozorovatelnou vzdálenost na sférickém tělese platí přibližný vztah $d = \sqrt{2RH}$, který lze odvodit pomocí Pythagorovy věty. Ve vztahu je R poloměr tělesa a H výška místa pozorování, majáku nebo věže, všechny hodnoty jsou v km. Po dosazení $R = 6378$ km obdržíme pro maják na ostrově Faros $d = 39$ km, u Eiffelovy věže $d = 62$ km. Do naší úvahy nezahrnujeme vliv refrakce (lomu světla v atmosféře), která přímou pozorovatelnost zvětšuje o přibližně 6,5%.



- **Jak daleko se nachází pozorovatelný horizont (místo kam dohlédneme) na Zemi, Měsíci, Venuši a Marsu? Předpokládáme pozorování na vodorovném povrchu u všech těles.**

Pozorovatelný horizont je při zadané výšce H závislý na poloměru kosmických těles. Při výšce očí pozorovatele $H = 1,7$ m je na Zemi $d = 4,7$ km, na Měsíci o $R = 1738$ km je $d = 2,4$ km, na Venuši o $R = 6060$ km je $d = 4,5$ km a na Marsu o $R = 3396$ km je $d = 3,4$ km.

- **Nejužší místo mezi Severní Amerikou (Baffinovým ostrovem s horou Penny Highland o výšce $H = 2591$ m) a Grónskem je v Davisově průlivu, který je široký zhruba 540 km. Mohli Vikingové při obsazení Grónska pozorovat Severní Ameriku?**

Pozorovatelný horizont je vzdálen $d = \sqrt{2RH} = 182$ km. Se zahrnutím refrakce je vzdálenost 194 km. V každém případě však více než 2krát menší, než je skutečná vzdálenost obou míst, Vikingové tak Severní Ameriku z Grónska nemohli pozorovat.



Snímek hor na Baffinově ostrově

- Na základě čeho usuzujeme, že jádro Země se skládá z těžkých prvků?

Určíme nejprve průměrnou hustotu Země

$$\rho_Z = \frac{M_Z}{V_Z} = 5,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Jestliže povrchové horniny mají hustoty přibližně $3,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, musí být hustoty centrálních částí Země vyšší. Jsou tedy složeny z těžších prvků.



- Jaký závěr o složení jádra Země můžeme učinit z poznatku, že průměrná hustota Země činí $5,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, zatímco hustota povrchových vrstev činí pouze $3,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$?

Z uvedeného vyplývá, že hustota jádra Země, blízká se k hodnotě $9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, převyšuje průměrnou hustotu celé Země. V chemickém složení Země podle hmotnosti převažuje železo (39,8 %), kyslík (27,7 %), křemík (14,5%), hořčík (9,7 %) a nikl (3,5 %). Jádro je proto složeno převážně ze železa s příměsí niklu, sloučeniny železa se vyskytují mimo něj.

Železo a nikl se dostaly do jádra při svém roztavení a následném diferencování prvků. Bod tání sloučenin železa a niklu je vyšší než železa a niklu samotného. Měď (prvek s rovněž vysokou hustotou) nepatří mezi 15 nejrozšířenějších prvků na Zemi, proto není zastoupena v jejím jádru. V zemské kůře zůstaly vázány velmi vzácné prvky s hustotou převyšující dvojnásobek hustoty železa, např. uran.

- Porovnejte velikost gravitační síly působící na Měsíc od Země a Slunce.

Slunce působí přibližně 2krát větší gravitační silou. Měsíc obíhá Zemi proto, že Slunce působí zároveň na Měsíc a na Zemi jako na soustavu dvou těles.

Jednoduchý výpočet provádíme dosazením do zákona všeobecné gravitace. Slunce působí gravitační silou na společný hmotný střed soustavy Země – Měsíc, tzv. barycentrum.

- Kde můžeme na pobřeží pozorovat nejvyšší přílivy a proč právě tam?

Největší přílivy jsou pozorovány v zálivech s plochým dnem, které mají zužující se tvar, např. trojúhelníkový, s vrcholem hluboko v pevnině. Zde se voda postupně tlačí do nejužších míst zálivu. Proto může zvýšení hladiny vody dosahovat i přes deset metrů. Podobně mořská voda postupuje proti směru toku řek v blízkosti jejich ústí, například tak vzniká přílivová vlna využívaná surfaři na Amazonce či obrací směr toku řeky Temže v Londýně.

- **Kde je na Zemi obvodová rychlost rotace (rotace bodu na povrchu) největší? Ve kterém z následujících měst je obvodová rychlost rotace Země největší: Tampa, Cayenne, Taškent?**

Vybrali jsme záměrně velkoměsta, ležící vesměs poblíž kosmodromů. Nejvyšší hodnota obvodové rychlosti je na rovníku, dosahuje 465 m.s^{-1} . Téměř na rovníku leží Cayenne ve Francouzské Guayaně. To je důvod, proč Evropská kosmická agentura ESA vypouští družice právě z těchto míst, přesněji ze základny Kourou. USA a Rusko nemají geograficky tuto možnost, musí se spokojit s kosmodromy ve vyšších zeměpisných šířkách v uvedeném pořadí.

- **Proč jsou rakety a raketoplány vypouštěny z kosmodromů východním nikoliv západním směrem?**

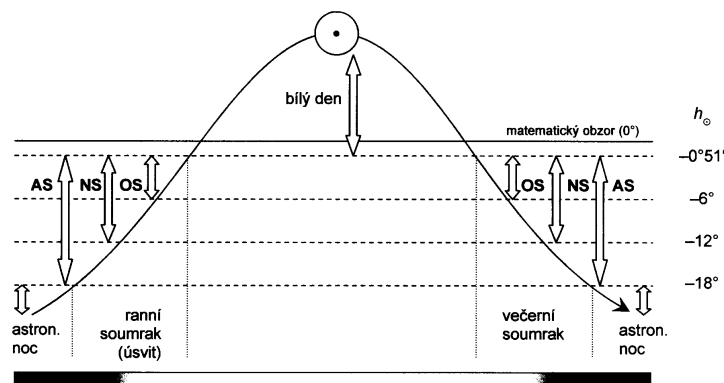
Při startu raket respektive raketoplánů se po počátečním svislém směru letu stáčí vypouštěná tělesa na východ. Využíváme tak rotaci Země od západu k východu ke zvýšení počáteční rychlosti. Tím získávají tělesa větší rychlost vzhledem k Zemi než směrem západním. Lze to přirovnat k vyhození předmětu z okna vlaku ve směru a proti směru pohybu vlaku.



- **Proč nastává polární den a polární noc?**

V oblastech pólů pozorujeme existenci polární noci a dne. Polární nocí nazýváme období, kdy Slunce zůstává více než 24 hodin pod horizontem a je tudíž pořád tma. Polární noc nastává proto, že Slunce nevystoupí nad obzor. Tato situace nastává na zeměpisných šířkách větších než $66,5^\circ$ respektive $66,5^\circ$, tedy za oběma polárními kruhy. Trvá tím déle, čím je dané místo blížeji k pólům. V zimním období trvá přesně na pólu polární noc půl roku. V létě naopak nastává polární den, kdy je Slunce na místech v polárních oblastech nad horizontem více jak 24 hodin (polární kruh). Na pólu nastává po dobu půl roku polární den. Slunce při polárním dni neklesá níž pod obzor než 6° , kdy hovoříme o občanském soumraku.

Tato situace nastává při splnění podmínky pro deklinaci δ Slunce dané nerovnicí $\delta > 89^\circ 51' - \varphi$, kde φ je zeměpisná šířka daného místa. Naopak podmínka pro polární noc je dána nerovnicí $\delta < \varphi - 90^\circ 51'$. Hodnota korekce $51'$ je dána součtem střední hodnoty refrakce u obzoru $35'$ a úhlového poloměru slunečního disku $16'$.



- **Vysvětlete rozdílnou délku soumraku u nás a na rovníku!**

Trvání soumraku je určeno deklinací Slunce a zeměpisnou šířkou místa pozorování. S rostoucí zeměpisnou šířkou se trvání soumraku prodlužuje. Na rovníku trvá tzv. občanský soumrak přibližně jen 25 minut, zatímco u nás na zeměpisné šířce 50° zhruba 50 minut. Občanský soumrak trvá od západu Slunce do okamžiku, kdy střed Slunce dosáhne výšky 6° pod obzorem.

Deklinace je úhel měřený po deklinační kružnici od rovníku k světovým pólům. Dosahuje hodnot od nuly (rovník) do + 90° (severním pól) nebo - 90° (jižní pól).

- **Co jsou to bílé noci, kde a proč je pozorujeme?**

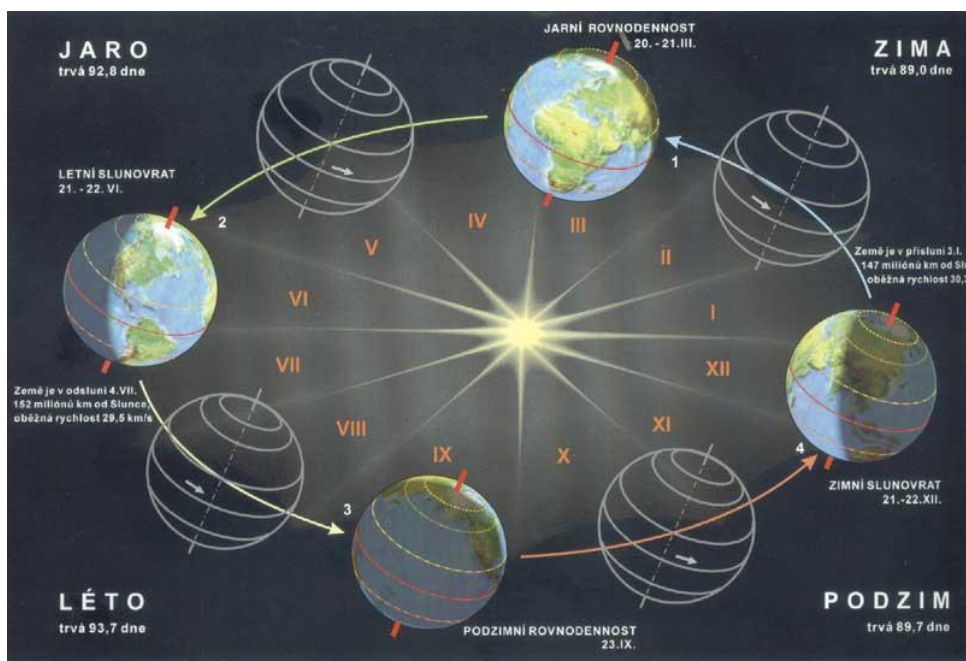
Bílé noci, tzv. celonoční občanské soumraky nastávají v místech na Zemi, kde Slunce nezapadá nížeji pod obzor než 6 ° Příkladem je Petrohrad v Rusku, kde bílé noci pozorujeme zhruba v období konec května až července, tedy kolem letního slunovratu.

- **Na základě čeho usuzujeme, že dráha Země kolem Slunce není kruhová?**

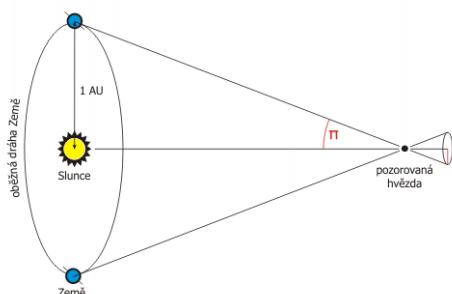
Nestejně délky ročních období byly zjištěny astronomy již v antice, délky letního a zimního období jsou rozdílné, léto na severní polokouli trvá 93,6 dne, zatímco zima pouze 89,0 dne. Později dospěli astronomové k závěru, že Země se při oběhu kolem Slunce pohybuje nerovnoměrně, tedy různou rychlostí. Až Kepler zjistil, že pohyb Země kolem Slunce neprobíhá po kruhové nýbrž po eliptické dráze. Přísluním (Země je nejbližší Slunci) ve vzdálenosti 147 milionů kilometrů od Slunce prochází Země v období 2. - 5. ledna, zatímco v odsluní (Země nejdále od Slunce) při vzdálenosti 152 milionů kilometrů od Slunce je v období 1. - 5. července. Země ve větší blízkosti Slunce se pohybuje rychleji, než ve větší vzdálenosti. Protože Země se nachází blížeji Slunci v období zimy na severní polokouli, máme u nás kratší zimu než léto.

Matematický popis eliptických drah planet podal Johannes Kepler ve svých zákonech.

- Které astronomické jevy dokazují oběh Země kolem Slunce?



Kromě střídání ročních období jsou názorným důkazem oběhu Země kolem Slunce, roční paralaktického posunutí poloh hvězd, roční aberace či posuv spektrálních čar ve spektrech vzdálených hvězd v průběhu roku.



Paralaktické posunutí vzniká při pozorování blízkých hvězd na pozadí vzdálenějších. Sledovaná hvězda při pozorování vytváří zdánlivou paralaktickou elipsu, která je důsledkem pohybu Země kolem Slunce.

Aberaci rozumíme odchylku světelného paprsku způsobenou skládáním vektorů rychlosti světla a rychlosti pohybu pozorovatele na Zemi. Tedy jde o zdánlivý roční posuv hvězd, vznikající jako důsledek skládání rychlosti světla a Země po její dráze kolem Slunce. Hovoříme o tzv. roční aberaci.

V důsledku pohybu Země kolem Slunce pozorujeme ve spektrech hvězd v průběhu roku posuv spektrálních čar, vyvolaný pohybem pozorovatele na Zemi průměrnou rychlost $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, (Dopplerův jev).

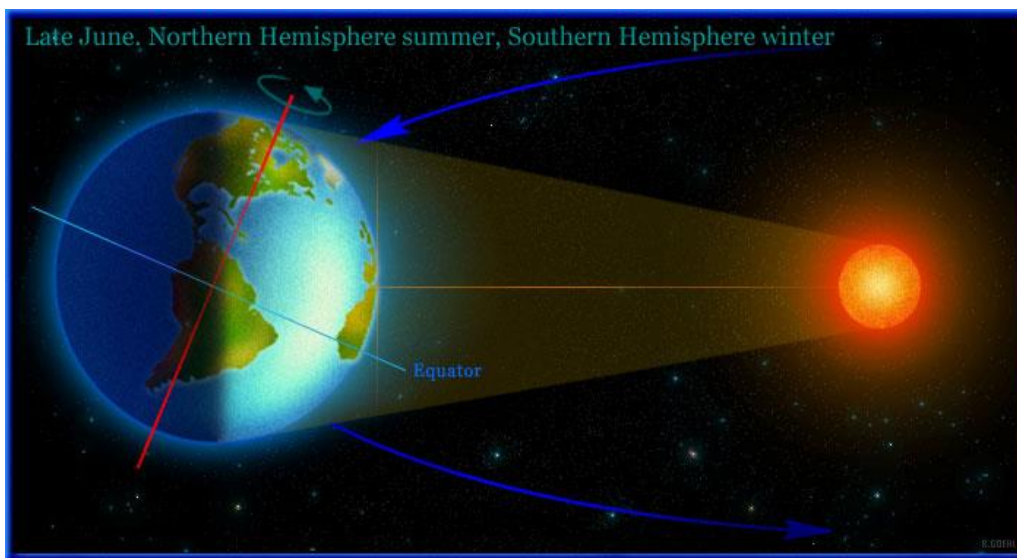
- Čím je vyvoláno na Zemi střídání ročních období? Mnozí se domnívají, že léto přichází v naší republice tehdy, je-li Země v menší vzdálenosti od Slunce, zatímco zima, když je Země více vzdálena od Slunce. Je to pravda?

Rozhodujícím faktorem, který vyvolává střídání ročních období, je sklon rotační zemské osy, činí asi 67 stupňů a stálý směr zemské osy ve vesmíru.

Země obíhá kolem Slunce po eliptické dráze. Největší vzdálenost od Slunce je 1,017 násobek a nejmenší vzdálenosti je 0,983 násobek průměrné hodnoty. Nepatrná odchylka od kruhového tvaru dráhy má za následek

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – EDUCOLAND"

až 7% nepravidelnosti v hustotě zářivého toku ($W.m^{-2}$), který na atmosféru Země dopadá ze Slunce. Teoreticky propočítané změny hodnot teplot vyzařování Země v přísluní a odsluní dosahují maximálně (4 – 5) Celsiových stupňů. Rozdíly průměrných denních teplot v ročních obdobích zima – léto jsou mnohem větší. Proto odchylka od kruhové dráhy nemá téměř žádný vliv na sezónní změny klimatu, není rozhodující pro střídání ročních dob. Konkrétně na severní polokouli v létě je Země v odsluní, nejvzdálenějších místech eliptické dráze. Proto není pravda, že je u nás léto, jelikož jsme nejbližší ke Slunci. Je tomu právě naopak, tudíž máme mírnější zimy a chladnější léta než na jižní polokouli.



- Jakou barvu má z při pohledu kosmického prostoru Země a proč?**

Povrch Země je tvořen přibližně ze 70 % oceány, které způsobují modrou barvu díky rozptylu světla na částicích nečistot ve vodě. Pevniny s porostem jsou žlutohnědé a zelené.



Z menší vzdálenosti (např. z Měsíce) můžeme rozlišit různé barvy oceánů a pevniny, neboť atmosféra tyto barvy nedeformuje. Z větší dálky (např. z Marsu) je Země modrozelená, protože s ohledem na vzdálenost nelze rozlišit oceány a pevninu.

- Proč je obloha ve dne modrá respektive šedá a v noci černá?**

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – EDUCOLAND"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Ve dne vidíme sluneční světelné záření, které je bílé, protože se skládá z barev celého optického spektra, od modré po červenou. Je-li jasno a čistý vzduch, obloha je modrá, protože je nejvíce rozptylována, to znamená odrážena do všech směrů, tedy i do našeho oka krátkovlnná část optického spektra.

Sluneční záření je v atmosféře Země zeslabováno rozptylem a absorpcí (pohlcováním). Rozptyl nastává jednak na molekulách vzduchu (molekulární rozptyl), jednak na větších částicích přítomných v atmosféře (vodní kapky, ledové krystaly, prachové částice), které jsou svojí velikostí o několik řádů větší než molekuly.

V případě výraznějšího znečištění atmosféry prachem a drobnými kapkami vody je modrá barva oblohy utlumená, to znamená, že světlo není rozptylováno, ale spíše pohlceno. Proto je obloha šedá, když je vzduch plný vodních kapek a nečistot.

Při vysvětlení temné oblohy můžeme zjednodušeně říci, že Slunce v noci osvětluje jinou část Země, sluneční světelné záření zde není. Světlo hvězd je mnohem slabší než sluneční, proto je obloha tmavá.

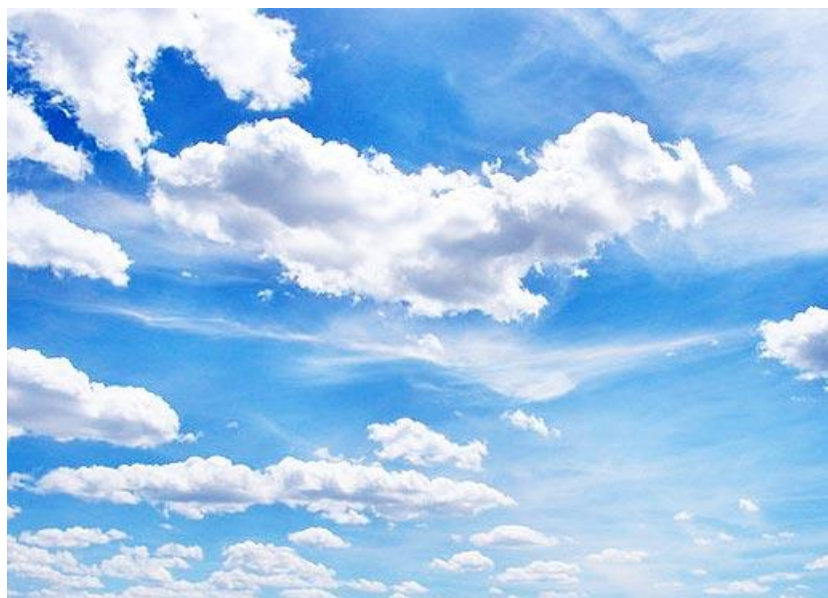
Podrobnější rozbor je však mnohem složitější, problematikou temné oblohy se zabývalo v historii mnoho astronomů, např. Kepler, Halley, Herschel, Shapley. Objekty ve vesmíru - hvězdy, galaxie nemají dostatek zářivé energie, aby v noci mohla obloha zářit. Jinak řečeno záření těchto objektů je příliš slabé, proto je vesmír temný.

• Proč jsou mraky bílé nebo šedé?

Mraky jsou bílé respektive šedé, protože bílé světlo se na prachových částicích atmosféry rozptyluje ve všech vlnových délkách stejně. Zatažená obloha má rovněž šedý odstín.

Přesněji barva mraků je ovlivňována hustotou částic a jejich velikostí.

Množství oblačnosti na Zemi ovlivňuje její albedo (odrazivou schopnost). Průměrné albedo činí 0,3, tedy Země odráží asi 30 % dopadajícího slunečního záření. Při zvýšení aktivity Slunce dochází k snížení albeda přibližně o 2,5 %, neboť Země je pokryta o (3-4) % větší oblačností.



- **Objasněte červenou barvu červánků!**

Červánky vznikají lomem slunečních paprsků v atmosféře, jejich rozptýlením na molekulách vzduchu, částicích prachu a příměsích. Červená část spektra prochází atmosférou s menším zeslabením. Proto jsou červánky červené.

- **Proč v atmosféře Země chybí vodík, zatímco Slunce a velké plynné planety jsou z něho převážně složeny?**

Vodík z vnitřní části sluneční soustavy, kde se nachází Země, vyprchal při zapálení prvních termionukleárních reakcí v Slunci. Sluneční vítr a záření vytlačily lehký vodík do vnějších částí sluneční soustavy, kde jsou velké plynné planety.

- **Vyložte, proč v atmosféře Země na rozdíl od atmosfér Venuše a Marsu je zastoupen ve velmi malém množství oxid uhličitý. Kde se na Zemi objevil zdroj kyslíku?**

Porovnání chemického složení současných atmosfér planet podle objemu: Venuše (96,5 % CO₂, 3,5 % N₂), Země (78 % N₂, 21% O₂, 0,03 % CO₂), Mars (95 % CO₂, 2,5 % N₂) - vede k zjištění, že v atmosféře Země téměř chybí oxid uhličitý. V prvotní atmosféře Země oxid uhličitý zřejmě byl, uvolňoval se při vulkanických erupcích. Rozsáhlé vodní plochy oceánu umožnily jeho rozpuštění ve vodě, reagoval s vápenatými a hořečnatými ionty, vytvořil nerozpustné vápence (dolomity), které se usadily na mořském dně. V důsledku neexistence vody na obou zbývajících planetách tento proces u nich možný nebyl.

Kyslík v druhotné atmosféře Země vznikal fotosyntézou v zelených rostlinách a ve fytoplanktonu (společenství jednobuněčných mikroorganismů, např. zelených řas) v oceánech.

- **Vysvětlíte skleníkový jev, objasněte roli skleníkových plynů. Pozorujeme tento jev i na jiných planetách?**

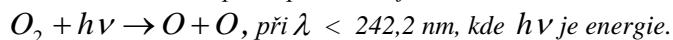
Zhruba 50% přicházejícího záření od Slunce proniká až k povrchu Země. Je pohlcováno zemským povrchem, následně znovu vyzařeno s větší vlnovou délkou v infračerveném oboru (jako tepelné záření). Toto druhotné záření již nevychází z atmosféry je v ní pohlcováno tzv. skleníkovými plyny, především CO₂ a CH₄. I jen velmi malé zastoupení oxidu uhličitého (objemově 0,03 %) vede k výše popsanému jevu, postačuje k postupnému růstu teploty, neboť vyzařovaná energie zůstává v atmosféře. To vede k nárůstu teplot, např. maximální teplota u povrchu Venuše je 750 kelvinů, Země 310 kelvinů, Marsu 270 kelvinů.



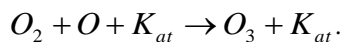
- **Co je to ozónová díra a čím je způsobena?**

Ozónová díra je místo v atmosféře, kde je nedostatek ozónu O_3 , což je tříatomová molekula kyslíku. Ozónová vrstva nás chrání před účinky kosmického i UV (ultrafialového) záření. Lidská civilizace ho však ničí především používáním a vypouštěním freonových plynů. Tyto plyny reagují s ozónem, který tak mizí. Ozónová díra, tedy narušení vrstvy ozónu O_3 vzniká v části stratosféry ve výškách přibližně (15 – 50) km.

Ozón v atmosféře dříve existoval, vzniká totiž při dopadu ultrafialového záření na molekulu kyslíku:



V přítomnosti katalyzátoru, symbolické označení K_{at} , následně mohou atomy kyslíku reagovat s molekulami kyslíku a vytvářet ozón:



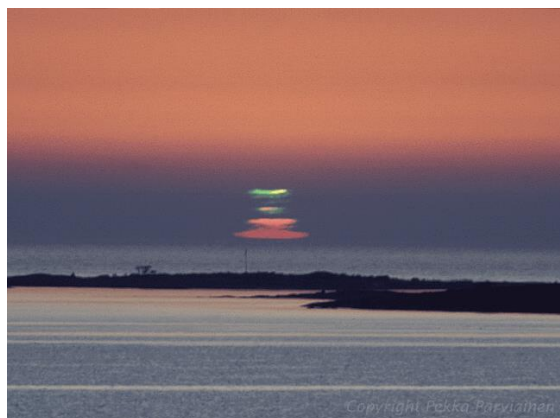
- **Co je důvodem vzniku polárních září?**

Polární záře vzniká zářením atomů plynu v atmosféře v blízkosti magnetických pólů Země. Právě zde dochází ke srážkám atomů plynu s rychlými částicemi slunečního větru, elektrony a protony unikajícími ze Slunce. Při těchto srážkách dochází k předávání energie, kterou atomy plynu vyzáří jako světlo. Tento jev pak pozorujeme jako polární záři.



Polární záři jako první správně objasnil norský fyzik Kristian Birkeland (1867 – 1917) v roce 1896.

- **Objasněte velmi zřídka se vyskytující jev tzv. zeleného záblesku, který můžeme pozorovat při západu Slunce!**



Jde o optický jev, kdy se při západu Slunce objeví zelené světlo. Toto zelené zabarvení je pozorovatelné při čisté atmosféře (velmi malého znečištění vzduchu prachovými částicemi, vodními kapkami či ledovými krystalky). Můžeme ho vidět těsně před okamžikem západu Slunce, kdy sluneční disk zazáří nazelenalým světlem. Jev je vyvolán rozkladem světla v husté atmosféře, která působí jako disperzní hranol (skleněný hranol, na kterém se světlo rozkládá a vytváří spektrum barevných světél).

Nevíce se lámou fialové a modré paprsky, nejméně červené. Modrý či fialový záblesk se neobjevuje, neboť nejkratší vlnové délky světla (fialová a modrá barva) jsou účinně rozptylovány molekulami vzduchu. Lidské oko vnímá nejvýše položenou zelenou část slunečního kotouče a nejnižší červenou. Poslední pozorovaný záblesk je tak zelený. Doba trvání jevu mimo polární oblasti je několik sekund, proto také nebývá často zachycen fotograficky.

• Jaké fyzikální jevy používáme k měření času?

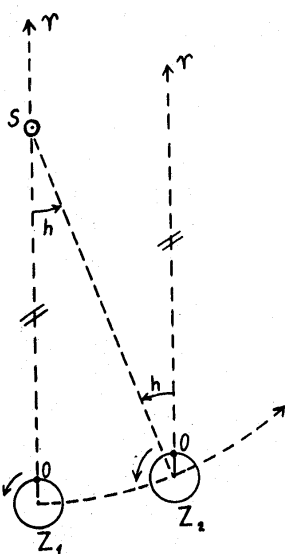
Využíváme periodicky se opakující jevy (periodický jev je takový jev, který probíhá opakovaně a trvá stále stejně dlouho). Nejprve byl používán kmitavý pohyb, např. v kyvadlových hodinách, dále byl používán pružinový nepokoj v chronometrech. V současnosti to jsou kmity destičky z křemenného krystalu. Nejpresnější, nejpravidelnější je kmitání atomů, tedy atomové hodiny.

Atomové hodiny používají atomů nuklidu cesia 133, sekunda je definována jako 9 192 631 770 násobek periody záření, odpovídající době přechodu mezi dvěma úrovněmi hyperjemné struktury základního stavu zmiňovaných atomů.

• V astronomických tabulkách je uváděna hodnota periody rotace Země 86 164,1 s, zatímco jednoduchý výpočet dává $60 \times 60 \times 24 \text{ s} = 86 400 \text{ s}$. Jak vzniká tento rozdíl 235,9 s?

Jde o rozdíl mezi hvězdným a občanským (slunečním) dnem. Zjednodušeně řečeno hvězdný den je určován jako doba otočení vzhledem ke hvězdám zatímco občanský den je stanovován vzhledem ke Slunci, používáme proto i termín sluneční den. Časový rozdíl je tedy způsoben pohybem Země kolem Slunce.

Siderický (hvězdný) den je přesně definován jako doba, která uplyne mezi dvěma po sobě následujícími horními kulminacemi jarního bodu (kulminace je vrcholení výstupu hvězdy na obloze), jeho přesná doba je 23 hodin 56 minut 4,1 sekundy. V běžném životě používáme tzv. občanský den trvající 24 hodin, jeho délka je odvozena z rotace Země.



Na obrázku S značí Slunce, γ směr k jarnímu bodu (průsečíku ekliptiky se světovým rovníkem), O je místo pozorovatele na Zemi, Z_1 je výchozí poloha Země, Z_2 je poloha Země za jeden hvězdný den, tj. po otočce Země o 360° . Při oběhu Země kolem Slunce za přibližně 365 dní je úhel h , o který se posune Země na své dráze za jeden den zhruba necelý 1° . O tento úhel se musí Země v poloze Z_2 ještě otočit, aby dokončila otočku vzhledem k Slunci. Úhlu h odpovídá doba asi 4 minut.

• Jak je Země stará a jak to víme?

Geologové analýzou nejstarších hornin zjistili, že Země je stará asi 4,6 miliardy roků (4 600 000 000 let). Stáří hornin určují vybrané laboratoře pomocí rozpadů radioaktivních atomů. Zjištěný věk nejstarších hornin je více než 4 miliardy roků. Země je ještě starší, protože v první etapě vývoje horniny v dnešním slova smyslu ještě neexistovaly.

Snímek jedné z nejstarších hornin na Zemi v jižním Grónsku, stáří 3,9 miliard roků.



Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – **EDUCOLAND**"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Literatura:

- [1] Hosnedl, J.: Optické jevy v atmosféře. Diplomová práce PF, ZČU Plzeň 1999.
<http://www.kof.zcu.cz/st/dp/hosnedl.shtml>
- [2] Perelman, J. I.: Zanimatělnaja astronomija. GITTL, Moskva 1954.
- [3] Šindelář, V., Smrž, L.: Nová soustava jednotek. SPN, Praha 1968.
- [4] Štefl, V., Krtička, J.: Didaktika astrofyziky. www.physics.muni.cz/astrodidaktika/
- [5] <http://geography.upol.cz/martin-jurek.htm>
- [6] <http://www.nineplanets.org/>
- [7] <http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm>
- [8] <http://hubblesite.org/newscenter/>
- [9] <http://www.eso.org/>
- [10] <http://www.aldebaran.cz/>
- [11] <http://navod.hvezdarna.cz/>
- [12] <http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/>
- [13] <http://www.seds.org/messier/>