

Roční a denní pohyby Slunce a hvězd po obloze

Obloha je dějištěm neustálých změn. Souhvězdí a s nimi jejich hvězdy se v průběhu roku mění, Slunce opakovaně vychází a zapadá, přičemž místa východu a západu se postupně během roku posunují po obzoru, stejně jako se mění délka jeho dráhy, kterou opíše po obloze. Pohybů těchto na obloze nápadných těles, ale i celé oblohy, si může všimnout kdokoli a také si jich všímaly dávné kultury a nalézaly v nich nebeská sdělení svých bohů. V tomto článku jsou vysvětleny základní denní a roční pohyby Slunce a hvězd po obloze a také důsledky těchto pohybů.

Roční změna souhvězdí a denní pohyb hvězd

Oběh Země kolem Slunce mimo jiné způsobuje, že se v průběhu roku na noční obloze střídavě objevují a zase mizí některá souhvězdí (Křížek 2019). To je dáno tím, že jednotlivá souhvězdí jsou projektována v průběhu roku do pozice za Sluncem, čímž jsou pro nás v dané době nepozorovatelná, anebo do protilehlé části nebeské sféry (tj. plochy, na níž jsou promítnuta všechna nebeská tělesa), než je pozice Slunce, kde je naopak můžeme velmi dobře sledovat. Nejmarkantnější je to u tzv. zvířetnickových souhvězdí, kdy např. souhvězdí Býka nejlépe pozorujeme na podzimní a zimní noční obloze, ale nikoliv na přelomu jara a léta, kdy mají narozeniny lidé ve znamení Býka, neboť tehdy je toto souhvězdí utopeno v záři Slunce, které se z pohledu Země nachází ve stejné části oblohy (obr. 1). Tedy ona zvířetnicková znamení nám říkají, kdy se do nich projektuje Slunce, ale pokud chceme tato souhvězdí dobře pozorovat na noční obloze, tak si na ně musíme počkat ideálně půl roku od období vyhrazeného danému znamení.

Denní pohyb hvězd na obloze, resp. celé oblohy je důsledkem rotace Země kolem vlastní osy. Všechny hvězdy, včetně Polárky (tato hvězda neleží přesně v ose rotace Země, v současné době má od ní odchylku zhruba 44'9"; více viz Křížek 2016), opíší během jednoho dne celou kružnici (obr. 2), v případě Polárky velice malou. Tato kružnice může být z daného místa celá viditelná, tedy daná hvězda nezapadá a je teoreticky pozorovatelná po celých 24 hodin. V takovém případě hovoříme o circumpolární (obtočné) hvězdě. Pokud po nějakou

dobu zmizí hvězda pod obzorem, pak mluvíme o zapadající a vycházející hvězdě, a některé hvězdy z daného místa na Zemi nemůžeme pozorovat vůbec – takové hvězdy označujeme jako (z daného místa) nepozorovatelné.

Změna délky dne a noci v průběhu roku

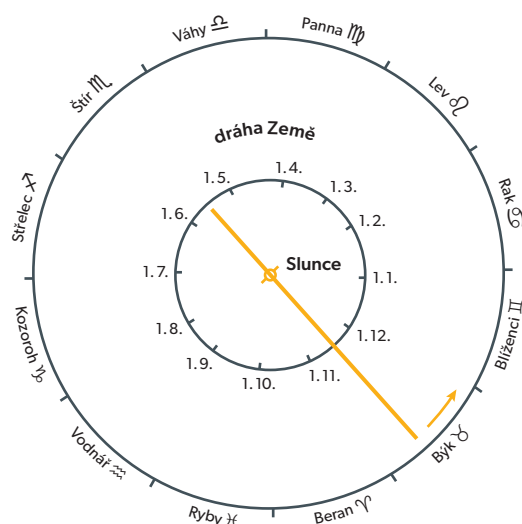
Podobně jako hvězdy i Slunce putuje po obloze. Nejmarkantnějším je jeho denní zdánlivý pohyb (onen pohyb je dán podobně jako u hvězd rotací Země kolem vlastní osy), během kterého Slunce opíše oblouk (tzv. denní oblouk Slunce). Slunce vychází nad obzor ve východní části oblohy, postupně stoupá po svém oblouku do vyšší výšky nad obzorem, v pravé poledne se nachází nejvýše nad obzorem, aby poté začalo postupně klesat

Miroslav Šobr
Marek Křížek

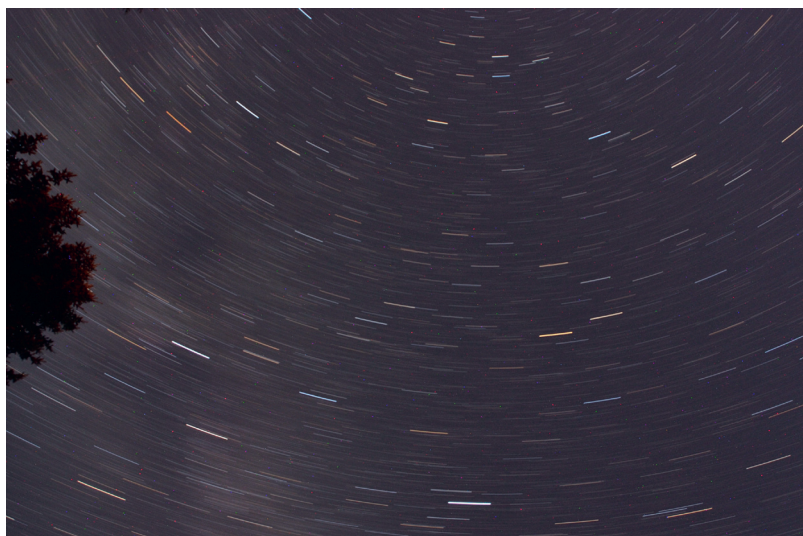
Univerzita Karlova,
Přírodovědecká fakulta,
katedra fyzické geografie
a geoekologie;
miroslav.sobr@natur.cuni.cz

Abstract

Annual and daily movements of the Sun and stars across the sky. The article explains the causes and consequences of the apparent movements of stars and the Sun across the celestial sphere. It describes the varying length of the Sun's path across the sky and the annual shift of the sunrise and sunset locations. Different types of twilight are explained.



Obr. 1 Projekce Slunce do zvířetnickových souhvězdí.



Obr. 2 Pohyb hvězd na noční obloze je dobře patrný na snímcích s delší dobou expozice. Zatímco koruna stromu zůstává vzhledem k povrchu Země na místě, pohybující se obloha v důsledku rotace Země znázorňuje obloučky hvězd. Čím delší bude expozice fotoaparátu, tím delší budou obloučky hvězd. Foto: Marek Křížek.

zpět k obzoru a zapadlo pod něj. V průběhu roku se mění jak délka, tak i sklon slunečního oblouku. Délka i sklon dráhy od roviny obzoru jsou závislé na zeměpisné šířce pozorovatele a na roční době. Roční změna dráhy, po níž se Slunce pohybuje po nebi je způsobená změnou jeho deklinace, tj. úhlovou odchylkou Slunce od roviny světového (zemského) rovníku. Tato odchylka se pohybuje v rozsahu od cca $-23,5^\circ$ (21. 12. 2022 je to $-23^\circ 26' 10,7''$), kdy sluneční paprsky dopadají kolmo na obratník Kozoroha, přes 0° , kdy sluneční

paprsky dvakrát do roka dopadají kolmo na rovník až po cca $+23,5^\circ$ (21. 6. 2022 je to $23^\circ 26' 10,9''$), kdy sluneční paprsky dopadají kolmo na obratník Raka. Nejkratší denní oblouk má Slunce na severní polokouli během zimního slunovratu, nejdelší denní oblouk nastává o letním slunovratu. Vlivem tzv. ročního pohybu Slunce rovněž dochází v průběhu roku i ke změnám polohy (a tedy i azimutů) východů a západů Slunce. Tuto proměnlivost polohy východu a západu Slunce využívaly staré civilizace pro konstrukce megalitických kalendářů (Křížek 2016), kdy věděly, že v době zimního slunovratu Slunce vychází a zapadá nejbližší k jihu, o rovnodennostech přesně vychází, resp. zapadá na zeměpisném východě, resp. západě a během letního slunovratu jsou východ i západ Slunce posunuty nejvíce k severu.

Zmíněná zeměpisná šířka ovlivňuje popisovanou změnu délky dne a noci velmi výrazně. Na rovníku je denní oblouk vždy dlouhý 12 hodin a je vždy kolmý k rovině obzoru, přičemž zenitem (nadhlavníkem) prochází v průběhu roku dvakrát v době rovnodenností. Posouváme-li se po Zemi od rovníku do vyšších zeměpisných šířek, postupně roste rozdíl v délce dne a noci během roku. Na obratnících trvá nejdelší světlá část dne přibližně 13,5 hodiny a noc 10,5 hodiny, na padesátém stupni je tento poměr přibližně 16 a 8 hodin, na polárním kruhu potom 24 a 0 hodin, na pólech lze zaznamenat dlouhá šestiměsíční období, kdy se Slunce pohybuje po šroubovici od obzoru do výšky nad obzorem $23,5^\circ$ a poté zpět k obzoru. V době, kdy je Slunce na severním pólu pozorovatelné nad obzorem, na jižním pólu je v té době ve stejné výšce pod obzorem.

Typy soumraků

Občanský soumrak je doba mezi západem Slunce pod obzor (jeho výška je $-0^\circ 51'$; střední poloměr slunečního kotouče $16' + 35'$ střední hodnota refrakce u obzoru) a jeho poklesem do šesti stupňů pod obzor. Ráno občanský soumrak začíná okamžikem, kdy se střed slunečního kotouče nachází 6° pod obzorem, a končí východem Slunce. Večer se situace obrací, začíná západem Slunce a končí okamžikem, kdy se střed slunečního kotouče nachází 6° pod horizontem. Nejčastěji se v definici občanského soumraku setkáme s informací, že při něm lze dělat běžné venkovní činnosti bez omezení, dokonce při něm lze číst text s drobnými písmeny. V době občanského soumraku je možné na obloze pozorovat nejjasnější objekty – Měsíc a nejjasnější planety (Venuše, Jupiter, Mars), na jeho konci se začínají na obloze objevovat první nejjasnější hvězdy. Nejkratší je u nás občanský soumrak v době rovnodenností (asi 31 minut), nejdelší pak v době letního slunovratu (asi 47 minut).

Nautický (námořní) soumrak večer navazuje na občanský soumrak a ráno mu předchází. Střed slunečního kotouče se u tohoto typu soumraku nachází mezi 6° a 12° pod obzorem. Obloha je už dostatečně potměnělá, aby byly vidět nejjasnější hvězdy (např. Sirius, Arcturus, Vega, Capella, Rigel), podle kterých se dříve prováděla navigace (nautika – nauka o vedení lodí, odtud pojmenování nautický soumrak). Současně bývá stále dostatek světla na to, aby bylo možné rozeznat úroveň obzoru a provádět měření výšek hvězd nad obzorem.

Astronomický soumrak je definovaný pozicí středu Slunce 12° až 18° pod obzorem. Obloha je tmavá a jsou vidět hvězdy magnitudy 5. Galaxie nebo mlhoviny tak nelze pozorovat ani dalekohledem, tyto méně jasné objekty je možné pozorovat až ve chvíli, kdy je Slunce níže než 18° pod obzorem a nastává **astronomická noc**.

Vliv atmosféry na pozorování

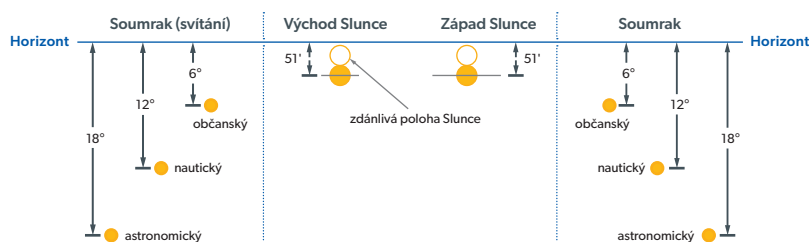
Pozorování objektů na nebeské sféře je zásadně ovlivněno existencí atmosféry. Kulová výdut, na kterou se promítají nebeské objekty (nebeská sféra) není ve skutečnosti polovinou kulové plochy, ale vnímáme ji jako zploštělý kulový vrchlík (Křížek 2018), který nazýváme zdánlivou nebeskou klenbou. V oné deformované nebeské klenbě se zdá poměr vzdáleností ve svislém a horizontálním směru zhruba 1:4, tj. zenit je asi čtyřikrát blíže, než je obzor. Známým a dobře patrným důsledkem existence zdánlivé nebeské klenby je to, že tělesa se na ní promítají větší než na nebeskou sféru. To pozorujeme zejména při horizontu, kdy se pozorovateli Slunce či Měsíc jeví větší, než když je pozorujeme ve větší výšce nad obzorem. Tomuto optickému klamu napomáhá mimo jiné i to, že v blízkosti obzoru je průhlednost atmosféry nejnižší a objekty se zde zdají nejvíce zastřené či zamlžené. Pro náš mozek je nižší ostrost znakem větší vzdálenosti objektu.

Světelné paprsky procházející atmosférou jsou ovlivněny její hustotou a znečištěním. Chovají se dle pravidla o průchodu paprsku z opticky řidšího do opticky hustšího prostředí, lámou se tedy ke kolmici. Platí, že velikost lomu paprsku je závislá na tom, pod jakým úhlem k nám paprsek přichází. Celkový ohyb paprsku (neboli refrakce) je největší, míří-li paprsek k pozorovateli rovnoběžně s obzorem, naopak nulový ohyb zaznamenáme, míří-li dopadající paprsek kolmo k obzoru. Důsledkem toho je, že všechny objekty s výjimkou těch, které jsou přímo v zenitu (nadhlavníku) vidíme výše nad obzorem, než jsou ve skutečnosti. Hodnotou této odchylky je velikost refrakce. Velikost refrakce směrem k obzoru postupně narůstá, přičemž výraznějších hodnot nabývá až kolem výšky 10° nad obzorem. Nejvyšší velikosti dosahuje u obzoru (průměrná velikost $35'$; Rozehnal a kol. 2021). To znamená, že díky refrakci v atmosféře lze pozorovat sluneční kotouč, jehož úhlový průměr dosahuje v přísluní $32'42''$ a v odsluní $31'36''$, i ve chvíli, kdy už je ve skutečnosti Slunce pod obzorem. Hodnota refrakce je závislá na teplotě a tlaku vzduchu a na obsahu prachu či jiného znečištění v atmosféře.

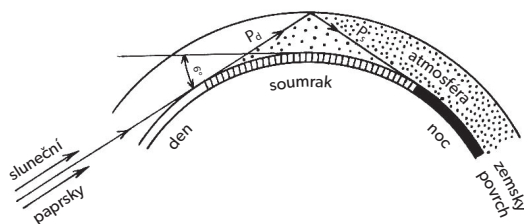
Soumrak

Díky existenci atmosféry je přechod mezi světlým dnem a nocí dovolený. Délka noci je zkracována soumrakovými jevy (tj. večerního soumraku a ranního svítání). Doba trvání soumraku, resp. svítání je závislá na zeměpisné šířce daného místa a na období (deklinaci Slunce). Ve chvíli, kdy se Slunce dostane pod obzor, jeho paprsky ozařují po určitou dobu horní vrstvy atmosféry. Ta se tak stává zdrojem rozptýleného a odraženého záření pro část zemského povrchu (obr. 4). Toto přechodné období se nazývá soumrak (večerní), ráno pak svítání. Rozptýlené záření osvětluje místo pozorovatele do té doby, než Slunce klesne 18° pod obzor. Podle různé výšky Slunce pod obzorem se mění intenzita rozptýleného záření. Od západu Slunce pod obzor a jeho postupnému poklesu k úrovni 18° pod obzor se postupně mění světelné podmínky, a proto se rozlišují tři typy soumraku (obr. 3 a rámeček).

Délka soumraku závisí na zeměpisné šířce a během roku se mění. Nejkratší soumrak bývá kolem rovníku, protože Slunce zapadá téměř kolmo k obzoru (soumrak trvá 72 minut a v průběhu roku se jeho délka téměř nemění). S rostoucí zeměpisnou šířkou se trvání soumraku prodlužuje a zároveň se k sobě přibližuje konec večerního a začátek ranního soumraku; od určité zeměpisné šířky dochází po určitou část roku k jejich splnutí. V zeměpisných šířkách mírného pásu nastává nejkratší soumrak začátkem března a v první polovině října (1 hodinu 43 minut) a nejdelší před



Obr. 3 Druhy soumrakových jevů (upraveno podle Burn 1996).



Obr. 4 Schéma vzniku soumrakových jevů. Poslední přímý sluneční paprsek P_d vymezuje hranici mezi dnem a soumrakem. Tečný bod posledního soumrakového paprsku P_s vymezuje hranici noci. Mezi těmito dvěma body je šrafováním vyznačeno území, na kterém se vyskytují různé typy soumraku (občanský, nautický, astronomický). Zdroj: Čapek 2020, upraveno.

a po letním slunovratu (cca 7 hodin 50 minut), kdy soumrak trvá celou noc (pravá astronomická noc nenastává, tj. Slunce neklesne níže než 18° pod obzor). V polárních oblastech může trvat soumrak několik týdnů i déle.

Děje v blízkosti polárního kruhu

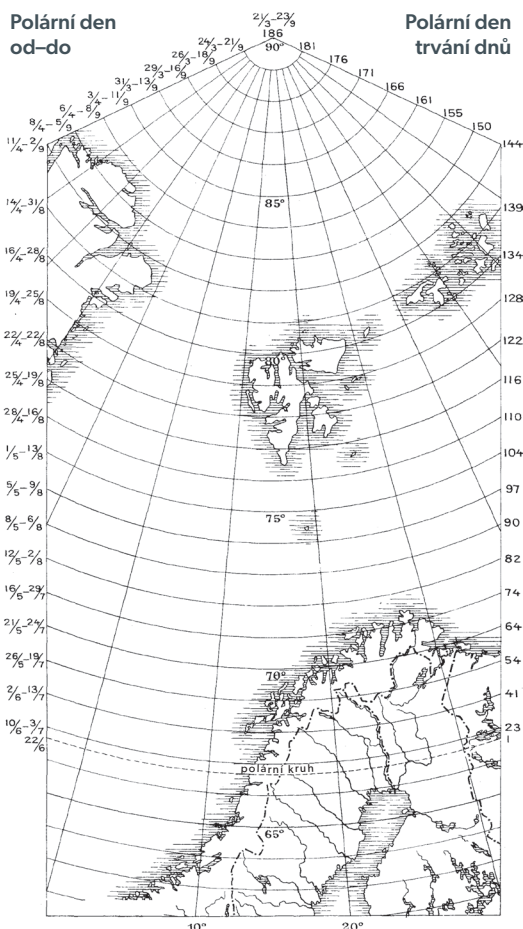
Jak bylo uvedeno v úvodu článku, v průběhu roku se mění poměr mezi délkou světlého dne, kdy je Slunce nad obzorem, soumrakových jevů a samotné astronomické noci, kdy je Slunce níže než 18° pod obzorem. Čím více se posouváme od rovníku do vyšších zeměpisných šířek, tím větší „extrémy“ v délce dne a noci můžeme v průběhu roku zažít.

Pokud Slunce ani o půlnoci nezapadne úplně celé pod obzor, hovoříme o **polárním dni** (obr. 5). Se započtením vlivu refrakce a poloviny slunečního kotouče tak nejzazší hranice pro výskyt polárního

Obr. 5 Půlnoční Slunce nad jezerem Ožogino v Jakutsku na $69,2^\circ$ s. š. Foto: Viktor Gabyšev / Wikimedia Commons.



Obr. 6 Období trvání polárního dne v oblasti severní Evropy. Zdroj: Wikimedia Commons, upraveno.

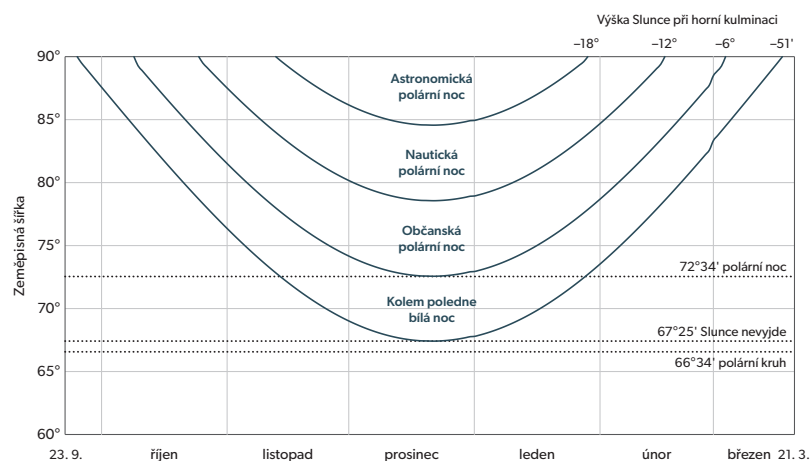


Slovníček

Hvězdná magnituda je zdánlivá hvězdná velikost. Udává jasnost objektu na obloze. Její hodnota představuje zdánlivou jasnost hvězdy. Nemá nic společného se skutečnou velikostí nebeského objektu a závisí kromě vlastního zářivého výkonu objektu na jeho vzdálenosti od pozorovatele. Magnituda je logaritmická jednotka. Vyšší magnituda znamená nižší jasnost hvězdy (Slunce $-26,6$; Venuše $-4,4$; Sirius $-1,46$; Vega $0,03$ atd.). Lidské oko je za běžných podmínek schopné vidět objekty velikosti asi 6 mag.

Výška nad obzorem, nebo také obzorníková souřadnice, udává úhlovou vzdálenost pozorovaného objektu od obzoru. Výška se měří po tzv. výškové kružnici, která je kolmá k rovině obzoru a prochází zenitem (nadhlavníkem).

Obr. 7 Druhy a období výskytu polárních nocí.



rovnoběžce uvidíme na několik sekund téměř celé pod obzorem, aby začalo opět stoupat nad obzor. Dále může nastat situace, kdy Slunce o pólnoci neklesne níže než 6° pod obzor, po západu Slunce pak nastává celonoční občanský soumrak. Tomuto jevu se říká *bílá noc*, v letním slunovratu ji lze pozorovat mezi $65^\circ 43'$ a $60^\circ 34'$ severní šířky.

V zimním období nastává v polárních oblastech severní polokoule polární noc. Lidé žijící mimo polární oblasti většinou za oblast výskytu polární noci považují hranici severního polárního kruhu ($66^\circ 34'$, resp. $66^\circ 33'43,635''$ s. š.) a severněji. Obyvatelé polárních oblastí a cestovatelé ale vědí, že i v době zimního slunovratu je v oblasti polárního kruhu po určitou dobu dostatek světla na běžné venkovní aktivity. Je zde totiž občanský soumrak a například ve městě Inuvik ($68^\circ 21'$ s. š.) je v den zimního slunovratu povoleno využívat místní letiště po dobu pěti hodin (Burn 1996). Hovoříme o **soumračné noci**, která je vlastně opakem bílé noci. Polední výška Slunce se pohybuje mezi spodní hranicí obzoru a výškou 6° pod obzorem. Platí tedy, že po dlouhém období noci nastane svítání, na které v poledne naváže soumrak. Za skutečnou polární noc tak vlastně považujeme až tzv. občanskou polární noc, kdy Slunce v poledne není výše než -6° . Polární noc tak lze pozorovat od $72^\circ 34'$. Zajímavostí může být ještě **astronomická polární noc**, která je obdobím trvalé polární noci bez výskytu astronomického soumraku. Slunce je tedy po celý den minimálně 18° pod obzorem. Výskyt astronomické polární noci je limitován rovnoběžkou $84^\circ 34'$ (obr. 7). Jediným trvale obydleným místem, kde lze astronomickou polární noc pozorovat, je Amundsen-Scottova polární stanice na jižním pólu. V průběhu astronomické polární noci může pozorovatel vidět hvězdy magnituda 6 po celou noc. V oblasti světových pólů toto období trvá asi 11 týdnů (na jižním pólu od 11. května do 1. srpna, na severním pólu od 13. listopadu do 29. ledna).

Literatura a zdroje dat

- BRÁZDIL, R. a kol. (1988): Úvod do studia planety Země. SPN Praha, Praha.
- BURN, C. (1996): The polar night. The Aurora Research Institute, Inuvik.
- ČAPEK, R. (2020): Úvod do matematické geografie. Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem.
- KŘÍŽEK, M. (2016): Přírodní cykly. Geografické rozhledy, 26(2), 2–3.
- KŘÍŽEK, M. (2018): Proč jsou Měsíc a Slunce zřetelně větší nad obzorem. Přírodovědci, www.prirodovedci.cz/zeptejte-se-prirodovedcu/2177 (16. 11. 2022).
- KŘÍŽEK, M. (2019): Oběh Země kolem Slunce. Geografické rozhledy, 28(3), 4–9.
- ROZEHNAL, J. a kol. (2021): Hvězdářská ročenka 2022. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy a Astronomický ústav AV ČR, Praha.



Obloha

Barvy nebe

Pestrý svět ledových krystalů v atmosféře

Najdeme v Česku tmavou oblohu?

2

Tento soubor (článek) je vlastnictvím časopisu Geografické rozhledy a podléhá právní ochraně. ■ Vydavatel i nakladatel časopisu si vyhrazují právo článek zveřejňovat na webových stránkách a sociálních sítích časopisu za účelem propagace časopisu. ■ Dílo není určeno ke komerčnímu využití. Smí se šířit, pokud jsou korektně uvedeny údaje o autorovi, článku a jako zdroj citován časopis Geografické rozhledy.