

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Miloslav Zejda

Astronomie lidem

Skripta – verze 0.01
8. října 2024

Brno 2024

Obsah

Astronomie lidem	3
1 Úvod	4
2 Astronomie – nejstarší věda	5
2.1 Vznik a význam astronomie	5
2.2 Mezníky v dějinách astronomie	8
3 Čas a kalendář	19
3.1 Časy v astronomii	23
3.2 Místní a pásmový čas	24
3.3 Dny a roky	27
3.3.1 Den	27
3.3.2 Rok	28
3.4 Kalendáře	30
4 Vesmír kolem nás	34
4.1 Abychom si rozuměli	34
4.2 Vesmírní sousedé na obloze	36
4.2.1 Slunce	37
4.2.1.1 Slunce na obloze	38
4.2.1.2 Slunce na hvězdné obloze	40
4.2.2 Měsíc	42
4.2.2.1 Siderický a synodický měsíc	43
4.2.2.2 Fáze Měsíce	44
4.2.2.3 Měsíční tvář	46
4.3 Kosmické divadlo – zatmění	49
4.3.1 Zatmění Měsíce	49
4.3.2 Zatmění Slunce	51
4.4 Planety, trpasličí planety	54
4.4.1 Pozorování planet	55
4.5 Planetky	58
4.6 Komety	58
4.7 Meteoroidy, meteory, meteority	60
4.8 Umělé družice	63
4.9 Hvězdná obloha	64
4.10 Hvězdy a souhvězdí	64
4.10.1 Označování hvězd	70
4.10.2 Dvojhvězdy	71
4.10.3 Proměnné hvězdy	72
4.11 „Nehvězdné“ objekty ze světa hvězd	74
4.11.1 Hvězdokupy	74
4.11.2 Mlhoviny	77

4.12	Naše a cizí galaxie	79
4.13	Atmosférické vlivy na astronomická pozorování	82
4.13.1	Vlivy při pozorování	82
4.13.2	Seeing	83
4.13.3	Světelné znečištění	83

1 Úvod

1. Astronomie – nejstarší věda Vznik astronomie, její poslání. Proč je starší než literatura nebo matematika? Historické milníky.

2. Čas a kalendář Měření času v minulosti a dnes. Proč vznikl kalendář? Jaké kalendáře se dnes používají?

3. Vesmír kolem nás Jak vypadá okolní vesmír? Od Země, Sluneční soustavy, Galaxie až po velké struktury

4. Astronomické poznatky v běžném životě Technologie wi-fi, počítačová tomografie, družicová navigace, satelitní telefon, internet.

5. Moderní observatoře Jsou největší, nejdražší, nejnáročnější – moderní pozemní observatoře. Nejde jen o kopule s dalekohledem. Astronomické observatoře najdeme i v podzemí. K čemu slouží? Potřebujeme je vůbec?

6. Cesty do vesmíru Průzkum vesmíru pomocí družic a robotů. Je třeba létat do vesmíru? Jaký vliv měl projekt Apollo na lidstvo.

7. Big data Astronomická pozorování, modelové výpočty. Čelíme záplavě dat, neutoneme?

8. Život ve vesmíru Jsme ve vesmíru sami? Kde a jak hledáme život ve vesmíru?

9. V jakém vesmíru žijeme Postavení člověka v dnešním vesmíru. Kosmologický princip, modely vesmíru.

10. Nebezpečí z kosmu Cesty do kosmu jsou nebezpečné, ale jsme v bezpečí na Zemi. Je Slunce jen dárce života nebo může způsobit i jeho zánik. Střetneme se s projektilem z vesmíru?

2 Astronomie – nejstarší věda

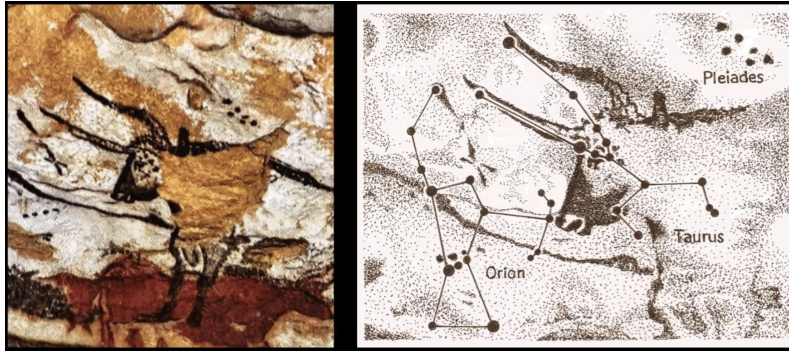
2.1 Vznik a význam astronomie

V dnešní době je obtížné najít místo se skutečně temnou oblohou. Podstatně snáze ji můžete pozorovat v planetáriu. Možná i tam vás pohled na temnou plochu poseitou množstvím zářivých bodů uchvátí, ale stát venku v přírodě pod skutečnou temnou oblohou je nádherný zážitek. Když si navíc uvědomíte, že vlastně hledíte do minulosti, zanechá to v mnohých hluboký dojem. Dnes se takovou krásou můžeme jen kochat, v běžném životě tento pohled už nezužitkujeme. V minulosti to však bylo jinak. (Pra)člověk pozoroval denní i noční oblohu a všiml si na ní objektů - Slunce, Měsíce, jasných hvězd. Znalost oblohy, fází Měsíce, střídání ročních období, vytváření kalendářů patřilo k dávné historii lidského rodu. Pozorování oblohy pravděpodobně sloužila nejen k určení období setí a sklizně, ale také ke kultovním a náboženským účelům. Podle polohy Slunce, Měsíce, hvězd bylo možné určovat pravý čas pro významné přírodní svátky jako slavnosti slunovratů.

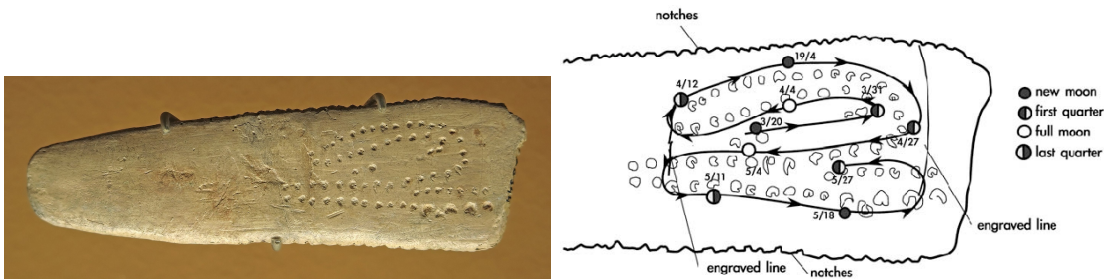


Obrázek 2.1: Pozorování oblohy se (pra)člověk věnoval už v dávných dobách. Zdroj: <http://www.space.com>, José A. Peñas/SINC.

Soubor astronomických znalostí předběhl písmo, matematiku, literaturu o desítky tisíc let! Svědčí o tom nejrůznější artefakty. Asi nejznámější jsou skalní kresby z francouzské jeskyně Lascaux (viz obrázek 2.2) staré přibližně 17 tisíc let. Lze tam rozpoznat zobrazení Plejád, Orionu nebo jinde Velkého letního trojúhelníku z tří jasných hvězd na letní obloze. Ještě starší jsou pak různé sošky nebo výrobky z kostí, kde různí badatelé vidí astronomickou symboliku. Například na Blanchardské kalendářní kosti staré více než 30 tisíc let (viz obrázek 2.3) je snad zaznamenám celý cyklus měsíčních fází. Podobně na rohu, který drží Lausselská Venuše, jsou vrypy, které mají symbolizovat počet měsíců či menstruačních cyklů ženy v jednom roce. Obdobnou symboliku lze nalézt u přírodních národů po celém světě.



Obrázek 2.2: Ukázka skalních kreseb v jeskyni Lascaux, kterou lze považovat za jednu z prvních map části hvězdné oblohy. Zdroj: Účet dr. Hammelové na síti X.



Obrázek 2.3: Vyřezávaná část sobí kosti, která byla nalezena ve skalním úkrytu Blanchard ve Francii. Pravděpodobně nejstarší lunární kalendář. Stáří se odhaduje až na 34 tisíc let. Nákres měsíčních fází. Zdroj: De Smedt, De Cruz, 2011.

Později lidé začali stavět i svatyně, které byly prvními astronomickými observatořemi. Nejstarší z nich je zřejmě svatyně Göbekli Tepe na jihovýchodě dnešního Turecka, která byla postavena v době před 11 tisíci lety, kdy se v oblasti měli pohybovat jen sběrači a lovci. Přesto tam nalezneme známky vyspělé kultury, řemesel a astronomicky orientované stavby (obrázek 2.4). Bližší časem i místem jsou například skotská svatyně Waren Field, stará 8 tisíc let nebo německý kruh v Gosecku z doby 4 900-4 700 let př.n.l. Podobných megalitických staveb lze najít po Evropě velké množství. Jen připomeneme, že jedna z nich z doby 3 500 let př.n.l. ležela i na území České republiky v Makotřasech. Zřejmě nejznámější megalitická stavba, anglické Stonehenge, je o něco mladší. Jeho nejstarší část pochází z doby zhruba 3 100 let př.n.l.

Poslední dvě zmíněné stavby pochází z doby, kdy už se objevují v různých kulturách první písemné záznamy. Například v Sumerské říši ve městě Uruk se ve 4. tisíciletí př.n.l. objevily počátky klínového písma. A právě zhruba do doby vzniku prvních písemných památek lidstva se pokládá i „oficiální“ vznik astronomie. Astronomické vědomosti představovaly soubor praktických znalostí, zahrnující určování času, (agronomického, náboženského) kalendáře, orientace na cestách.

Nejstarší záznamy o pozorování vesmírných těles i první astronomické poznatky nacházíme na klínopisných tabulkách Sumerů a Babyloňanů, o něco později i v čínských kronikách. Název celému oboru, ale dal až Platón ve 4. století př.n.l. Použil termín *astronomie* jako složeninu z části *astron* značící hvězdu a *nomos*, což lze přeložit jako počítat nebo zákon. Dnes pod pojmem astronomie rozumíme soubor znalostí o vesmíru, jeho složkách, stavbě, vzniku a vývoji, ale i vědní obor, který se vesmírem zabývá.



Obrázek 2.4: Jedna ze staveb svatyně Göbekli Tepe, Urfa, Turecko. Zdroj: wikipedia.

Znalosti o vesmírných tělesech, respektive jejich polohách, využívá i astrologie. Ve 13. století rozdělil Albertus Magnus obor znalostí o vesmíru a jeho objektech na teoretickou a praktickou část. Zatímco teoretická astronomie zkoumala vesmír na první pohled bez zjevného spojení s běžným životem, z jeho pohledu praktická část oboru – astrologie – ovlivňovala životy lidí, kteří astrologii věřili. V minulosti astrologie ovlivňovala důležitá státnická rozhodnutí a hrála významnou roli. Právě víra, že děje na obloze, konstelace planet, Slunce a Měsíce určují lidský osud a chod dějin, jsou typické pro astrologii. Astrologie byla v minulosti z hlediska vědeckého poznání prospěšná snad pouze tím, že výpočty horoskopů vyvolaly nutnost předvídat polohy hvězd, Slunce, Měsíce a planet na obloze, což přispělo k rozvoji astronomie. S odstupem času můžeme říci, že se Albert Veliký mýlil, ve srovnání s astrologií je astronomie věda praktická a potřebná. S trochou nadsázky můžeme tvrdit, že v těžkých dobách pomohla astrologie i uživit některé astronomy. Jak o ní smýšlel například Johannes Kepler je zřejmé z následujících ukázek:

„Astrologie si nezasluhuje, aby jí člověk věnoval svou pozornost, avšak lidé žijí v klamné představě, že k matematikovi patří.“

„Pravda, astrologie je bláznivá holčička, avšak, milý bože, kampak by se poděla její matka, vysoce rozumná astronomie, kdyby tuto bláznivou dcerku neměla!..., ...A příjmy matematiků jsou ostatně tak ubohé, že by matinka určitě hladověla, kdyby dceruška nic nevydělávala.“

Bohužel i dnes stále najdeme mnoho lidí, kteří věří v bezprostřední spojení osudů lidí a vesmírných těles a horoskopy by zařadili mezi výdobytky astronomie. Lidé si často

pletou astronoma a astrologa¹, i když je mezi nimi zcela zásadní rozdíl. Zatímco astronom pracuje výhradně vědeckými metodami, své výsledky musí ověřovat, podložit průkaznými daty, astrolog využívá i nevědecké postupy. Produktem astrologie jsou horoskopy, které jsou často spíše výsledkem literárního nadání autora než nějaké odborné práce.

Dobrá, astrologie má tedy význam jen pro člověka, který v ní věří nebo si jen rád čte horoskopy. Ale jaký prospěch má člověk z astronomie? Na první pohled by se mohlo zdát, že jde o nepraktickou aktivitu hrstky nadšenců, kteří prostě rádi koukají v noci na hvězdné nebe a dlouze o tom debatují. Přínos astronomie lidstvu je ale zřetelný a jasný, i když si jej možná v této chvíli ještě neuvědomujete. Budeme se mu detailně věnovat později. Astronomie jako jediná věda hledá zákonitosti a popisuje (periodické) děje na obloze. Její význam tkví především v tom, že naučila lidi analytickému přístupu. Člověk sleduje dění kolem sebe, pozoruje nebeské objekty. V získaných poznacích pak hledá určitý řád, snaží se vysvětlit skutečnosti známé z minulosti a předpovídat skutečnosti nové. Astronomie ukázala, že pozorování nejen astronomických jevů, ale obecně přírodních úkazů je cenné a smysluplné a stojí za to je uchovávat i pro další generace. Na základní otázky jako proč se střídá den a noc, jak vznikají roční období, jak a proč se mění délka noci nebo pozorovaná podoba Měsíce, jeho fáze, lidé odpověděli už dávno. Tyto poznatky se staly učivem pro děti a měly by patřit k základnímu vzdělání všech. Dnešní astronom se věnuje náročnějším otázkám a často boří zažitě představy, třeba tu, že astronom v noci pozoruje a ve dne spí. Moderní astronomie není založena jen na nočních pozorování klasickými dalekohledy. Astronomové pozorují samozřejmě i Slunce a měří také nejen v oblasti viditelného světla, ale využívají i jiné oblasti elektromagnetického spektra. Okolní vesmír sledují například i v rádiové oblasti. Své observatoře umístili astronomové také do podzemí nebo do vesmíru, kde denní nebo noční doba nehraje roli. A pravdou je, že někteří astronomové se už ani nevyznají na noční obloze, protože se věnují teoretickým výpočtům a vytváření matematických modelů astronomických událostí. To vše klade vysoké nároky nejen na samotné astronomy, ale také na další obory, které astronomové využívají. Tak třeba, astronomické přístroje patří obecně k největším a technologicky nejvyspělejším zařízením. Požadavky astronomů na lepší a výkonnější pozemní přístroje i kosmické sondy tak představují do jisté míry hnací sílu technického a technologického rozvoje.

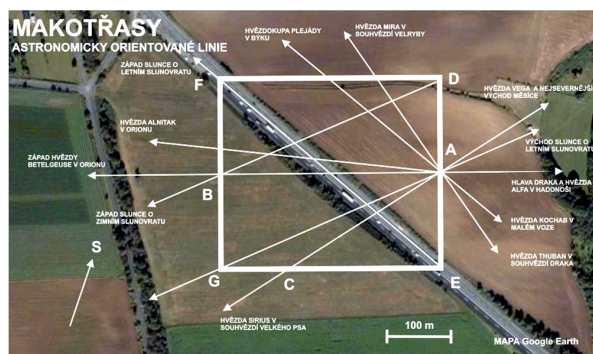
Astronomie má ale ještě jednu zvláštnost oproti jiným vědeckým odvětvím. Má zcela mimořádný potenciál v popularizaci vědy. Přestože se zkoumaných objektů nemůžeme dotknout, nemůžeme si je prohlédnout zblízka, umí astronomie zaujmout davy a přední popularizátory vědy najdeme právě mezi astronomy. U nás jde zcela jednoznačně o osobnost Jiřího Grygara, v Anglii to byl Patrick Moore, v Americe zase například Carl Sagan.

2.2 Mezníky v dějinách astronomie

Stanovit nejdůležitější mezníky v dějinách astronomie je obtížné a někdy velmi diskutabilní, a nejen u těch nejstarších. Záleží na pohledu autora, zasazení do kontextu doby a podobně. Zde proto přinášíme jen stručný přehled.

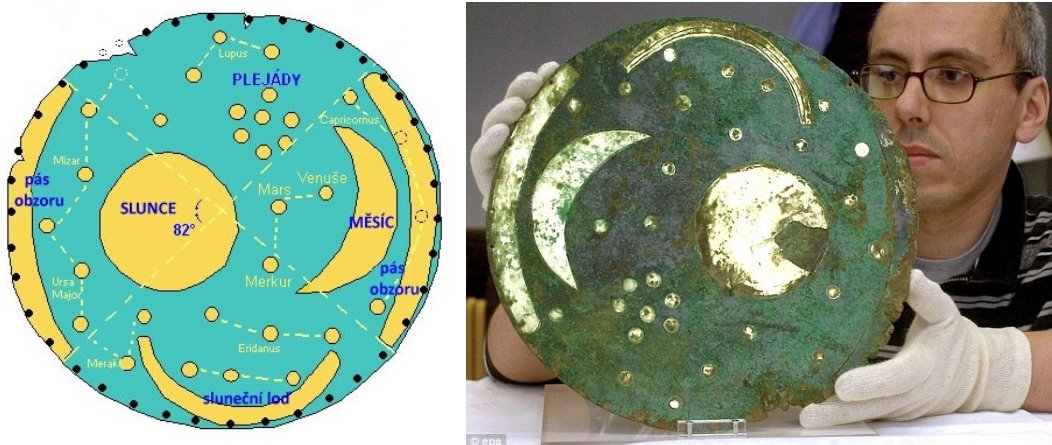
¹V českém prostředí by se možná nabízelo použití termínu „hvězdář“. Ten se ale zpravidla využívá v historickém kontextu.

- 32 tisíc let př.n.l. – nejstarší lunární kalendář.
- 11.-9. tisíciletí př.n.l. – soustava staveb a kamenných kruhů v jihovýchodním Turecku (Göbekli Tepe). Část mohla sloužit i jako svatyně a observatoř. Místo není dosud plně prozkoumáno.
- 5. tisíciletí př.n.l. – předpokládá se nejstarší použití gnómonu, jednoduchého astronomického přístroje, jímž se podle délky a směru jeho stínu měří poloha Slunce a tím i čas.
- 5.-4. tisíciletí př.n.l. – při stavbách v oblasti Nilu, Eufratu a Tigridu se používá zaměřování pomocí hvězd.
- kolem 4000(?) př.n.l. – nejstarší zaznamenaná astronomická pozorování pocházejí z Egypta a Severní Ameriky; v Egyptě vzniká nejstarší kalendář.
- 3500 př.n.l. – vznikají kamenné observatoře – kamenné řady. Pozůstatky jedné z nich lze nalézt v Čechách u Makotřas (viz obrázek 2.5).



Obrázek 2.5: Astronomicky orientované linie v Makotřasech. Zdroj: www.observatory.cz.

- asi 3400 př.n.l. – nejstarší (Mayský) záznam o pozorování zatmění Měsíce. Může se ale jednat i o zpětný výpočet z pozdější doby.
- 3340 př.n.l. – nastalo úplné zatmění Slunce, které je vytesáno do kamenné stěny u irského Loughcrew.
- 3100 př.n.l. – počátky svatyně a observatoře Stonehenge v Anglii. Její dnešní podoba vznikla v období 2400-2200 př.n.l.
- kolem 3000 př.n.l. – první písemné materiály o astronomii se objevují v Egyptě, Číně, Mezopotámii i Střední Americe; posláním astronomie je předpověď období záplav a kalendář.
- 3. tisíciletí př.n.l. – k měření času používají v Egyptě sluneční hodiny.
- 3000-2000 př.n.l. – v Číně určena délka roku na 365,25 dne.
- 2697 př.n.l. – 2. nejstarší zachovaný záznam o zatmění Slunce (Čína).
- 2461 př.n.l. – v Číně zaznamenána konjunkce planet (není ale vyloučeno, že jde o pozdější výpočet).
- 2296 př.n.l. – nejstarší záznam čínského katalogu komet.



Obrázek 2.6: Disk z Nebry. Upomínka na astronomii doby bronzové. Byl vyroben mezi roky 2100 až 1700 př.n.l. a později několikrát upravován. Jde o jedno z nejstarších vyobrazení oblohy s astronomickými objekty. Památka UNESCO v programu Paměť světa. Zdroje: <http://www.celticnz.co.nz/NebraSunDisk/NebraSunDisk.htm> (schéma; upraveno), <http://www.dailymail.co.uk/>.

- 2136 př.n.l. – kuriózní událost, která prý skončila smrtí astronomů. Legenda říká, že dvorní astronomové Hsi a Ho prý nepředpověděli zatmění Slunce a nevarovali před ním. Věřilo se totiž, že zatmění způsobuje zlý drak, který žere Slunce. Proti němu se dá bojovat například bubnováním, střílením. Tentokrát ale bylo jen dílem náhody a štěstí, že drak Slunce nesežral celé, a tak byli astronomové potrestáni.
- kolem 2000 př.n.l. – první slunečně-měsíční kalendáře v Egyptě a Mezopotámii.
- poč. 2. tis. př.n.l. – první teorie pohybu Slunce, Měsíce a planet. Babylónští astronomové využili geocentrickou představu. Tam také poprvé vykreslili souhvězdí, resp. asterismy.



Obrázek 2.7: Monument Stonehenge. Zdroj: <http://storiografia.blog.cz.>

- 11. st. př.n.l. – čínský vědec Ču Kong určil poměrně přesně sklon ekliptiky k rovníku.
- 8.-3. st. př.n.l. – v Mezopotámii pracovala pravidelná astronomická pozorovací služba. Na její pozorování se často odvolává Klaudios Ptolemaios. Výsledkem měření bylo zpřesnění délky roku, délky měsíčního cyklu, objev periody saros, s níž se opakují zatmění Měsíce a Slunce, a další.
- 6. st. př.n.l. – Pythagoras a Tháles z Miletu spekulují, že Země je kulatá.
- 585 př.n.l. – Tháles z Milétu předpověděl zatmění Slunce.

- 2. pol. 6. st.př.n.l. – babylonský učenec Kidinnu tvrdil, že rychlost pohybu planet je nerovnoměrná, během roku postupně roste a pak zase klesá.
 - 530 př.n.l. – vznik pythagorejského spolku; stoupenci (např. Filoláos z Krotonu) považovali za střed vesmíru centrální oheň, kolem něhož obíhají planety, Měsíc i Slunce.
 - 4. st. př.n.l. – v Číně vznikl nejstarší atlas komet, který ale převzal i mnohem starší záznamy. Tzv. Hedvábná kniha byla objevena v roce 1973. Ve stejném období vytvořili Ši Šen (Shi Shenfu) a jeho kolegové Kan Te a Wu Xian i první známý hvězdný katalog Ken-Š'ing-t'ing (Základy určování hvězd) obsahující polohy několika set hvězd.
 - 4. st. př.n.l. – Platón znal nepravidelnosti v pozorovaném pohybu planet. Eudoxos z Knidu vytvořil geocentrický model pohybu planet, Slunce a Měsíce.
 - 340 př.n.l. – Aristotelés ze Stageiry sepsal knihu „O nebi“, kde shrnul a zobecnil tehdejší empirické kosmologické poznatky. Vytvořil geocentrický systém rozdělený na dvě části, otáčející se sféry. Sublunární sféru včetně Země tvoří čtyři elementy (oheň, voda, vzduch, země) a neměnnou supralunární sféru vyplněnou éterem pak Slunce, Měsíc, planety a hvězdy.
 - kolem 280 př.n.l. – Aristarchos ze Sámu předpokládal, že Země obíhá kolem Slunce (heliocentrismus); první odhad vzdálenosti Země – Slunce a Země – Měsíc.
 - kolem 240 př.n.l. – Eratosthenés z Kyrény změřil obvod Země.
 - kolem 130 př.n.l. – Hipparchos z Níkaie objevil precesi a sestavil první (evropský) katalog hvězd, v němž je zhruba 1 000 nejjasnějších hvězd.
 - 1. st. př.n.l. – Titus Lucretius Carus obhajoval atomismus. Mimo jiné rozvíjel myšlenku nekonečného hmotného vesmíru, který existuje bez účasti božských sil.
 - 45 př.n.l. – císař Julius Caesar zavedl v římské říši čistě sluneční, tzv. juliánský kalendář (na radu řeckého astronoma Sosigena).
-
- 1.1. roku 1 n.l. - počátek našeho letopočtu.
 - kolem 140 n.l. – Klaudios Ptolemaios publikoval propracovanou teorii geocentrismu ve velkolepém spisu *Mathematike Syntaxis* (Matematická soustava) známém jako *Almagest*.
 - 2. st. – čínský astronom Čang-Cheng (Zhang Heng) uvádí ve spisu *Ling sien* (Složení vesmíru), že Měsíc má tvar koule a nemá vlastní světlo.
 - 682 – Mayští astronomové z města Tikal (dnešní Guatemala) určili délku synodického měsíce na 29,53020 dní (dnešní měření: 29,53059 dne); podobně pak určili délku tropického roku na 365,2420 dní (dnes: 365,2422 dne).
 - konec 8. st. – al-Chvárizmí (al-Chorezmí) určil obvod Země na 40 700 km.
 - 882-910 – al-Battání (Albatenius) prováděl v té době nejpřesnější astronomická měření a vydal „Knihu o hvězdovědě“, ve které byly opraveny Ptolemaiovy nepřesnosti. Mimo jiné se zde objevily goniometrické funkce.



Obrázek 2.8: Jasná hvězda vlevo od Měsíce na skále v kaňonu Chaco (Nové Mexiko, USA) by mohla být záznamem supernovy z roku 1054. Obrazec podobný víru mohl být inspirován Halleyovou kometou, která se objevila na nebi o 12 let později. Zdroj: H. Couperová, N. Henbest: Dějiny astronomie, Knižní klub, 2009.

- přelom 10. a 11. st. – al-Bírúní (Aliboron) provedl velmi přesná astronomická a zeměpisná měření a stanovil úhel sklonu ekliptiky k rovníku s odchylkou v řádu obloukových vteřin. Vypočítal rozměry Země. Předpokládal pohyb Země okolo Slunce.
- 1054 – zaznamenán výbuch supernovy v centru dnešní Krabí mlhoviny.
- 1542 – Mikuláš Koperník prezentoval heliocentrický model pohybu planet včetně Země.
- 1572 – Tadeáš Hájek z Hájku, Tycho Brahe a další pozorovali supernovu v souhvězdí Kasiopeja a z její paralaxy odvodili, že se nachází za sférou Měsíce.
- 1582 – papež Řehoř XIII. zavedl reformu kalendáře.
- 1584 – Giordano Bruno zveřejnil teorii nekonečnosti vesmíru a světů, obhajoval heliocentrismus.
- 1596 – David Fabricius objevil proměnnost hvězdy Mira (omikron) Ceti.
- 1603 – Johann Bayer vytvořil hvězdný atlas Uranometria.
- 1609 – Galileo Galilei a Thomas Harriot jako první použili dalekohledy v astronomii.
- poč. 17. století – přelomová událost – uvědomění si vztažných soustav a vzájemných přechodů mezi nimi (Keplerův spis Měsíční sen).
- 1609 – Johannes Kepler formuloval první dva zákony pohybu planet.
- 1618 – Johannes Kepler formuloval třetí zákon pohybu planet.
- 1632 – Galileo Galilei dokázal pravdivost heliocentrického modelu a formuloval princip nezávislosti pohybů.
- 1668 – Jan Heweliusz publikoval spis o kometách s měřeními parallax komet z let 1652 a 1664. Tím prokázal, že se nejednalo o meteory v zemské atmosféře.



Obrázek 2.9: Středověká ilustrace z rukopisu z doby kolem roku 1300. Astronomové věřili, že Slunce, Měsíc, Merkur, Venuše, Mars, Jupiter a Saturn obíhají kolem Země. V díle je také poznamenáno, že každá ze čtyř měsíčních fází trvá 7 dní. Zdroj: <http://www.luckypalm.com/2010/astronomy-to-the-power-of-seven-graphic/>.

- 1672 – Giovanni Domenico Cassini a Jean Richer změřili paralaxu Slunce a určili jeho vzdálenost na 140 miliónů kilometrů (dnes: 149 597 870 700 m).
- 1676 – Ole Rømer určil na základě pozorování Jupiterových měsíců konečnost rychlosti světla.
- 1717 – Edmund Halley objevil vlastní pohyb hvězd a dokázal tak, že hvězdy nejsou stálicemi.
- 1725 – posmrtně vyšly výsledky měření poloh hvězd v Greenwichské observatoři Johna Flamsteeda, což lze považovat za první moderní katalog 2 852 hvězd.
- 1771 – Charles Messier sestavil katalog mlhovin.
- 1781 – William Herschel objevil planetu Uran.
- 1782 – John Goodricke znovuobjevil proměnnost Algolu a správně ji interpretoval jako zákryty dvojice hvězd.
- 1801 – Giuseppe Piazzi objevil planetku (dnes trpasličí planetu) Ceres.
- 1814 – Joseph von Fraunhofer objevil systém temných absorpčních čar ve slunečním spektru.
- 1837 – Friedrich Wilhelm Bessel poprvé změřil vzdálenost hvězdy 61 Cygni.
- 1840 – John William Draper získal první astrofotografii, snímek Měsíce.
- 1842 – Christian Doppler prezentoval v Praze svůj objev posunu čar v závislosti na radiální vzájemné rychlosti pozorovatele a zdroje.



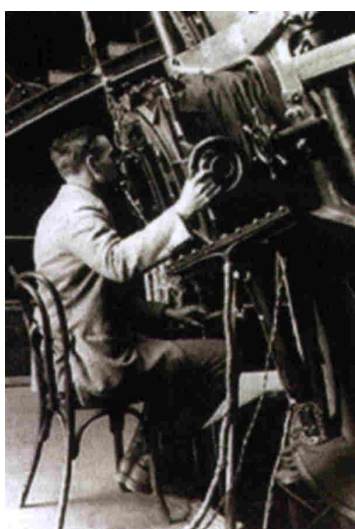
Obrázek 2.10: Práce na observatoři Taqi al-Dina na konci 16. století. Obrázek k epické básni Shahinshah-nama, kterou napsal 'Al ad-Din Mansur-Shirazi. Zdroj: <http://www.muslimheritage.com>.



Obrázek 2.11: Vlevo: Galileův bohatě zdobený dalekohled. Vpravo: Řez replikou Galileova dalekohledu, která ukazuje strukturu a složení částí dalekohledu. Zdroj: <http://blogs.telegraph.co.uk>; <http://brunelleschi.imss.fi.it/galileopalazzostrozzi/>.

- 1846 – na základě analýzy nepravidelnosti v pohybu Uranu vypočítal Urbain Le Verrier polohu a dráhu planety Neptun. Tu posléze objevil Johann Galle a Heinrich d'Arrest
- 1850 – John Adams Whipple a William Cranch Bond získali první fotografii (daguerrotypii) hvězdy (Vega).
- 60. léta 19. st. – Robert Bunsen a Gustav Kirchhoff formulovali zákony spektrální analýzy. Studium spekter hvězd, objev hélia na Slunci a potvrzení jeho výskytu na Zemi vedly ke vzniku astrofyziky.
- 1872 – Henry Draper pořídil první snímek spektra hvězdy (Vega).
- 1900 – Max Planck publikoval zákon popisující záření absolutně černého tělesa.
- 1905 – Albert Einstein publikoval speciální teorii relativity, postuloval konstantní rychlost světla.

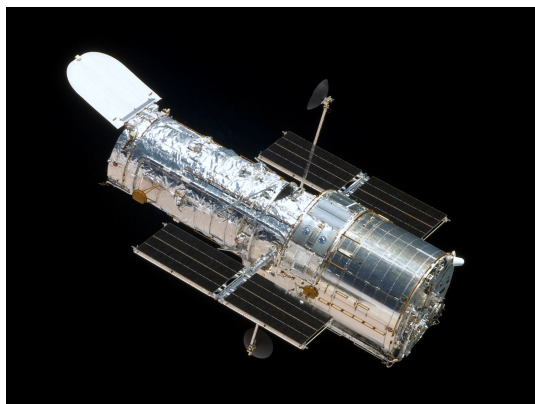
- 1911, 1913 – Ejnar Hertzsprung a Henry Norris Russell prezentují tzv. Hertzsprungův-Russellův diagram.
- 1913 – Victor Franz Hess objevil kosmické záření.
- 1915 – Albert Einstein publikoval obecnou teorii relativity, známou také jako teorii gravitace.
- 1919 – Arthur Eddington na základě pozorování zatmění Slunce potvrdil platnost teorie relativity.
- 1929 – Edwin Hubble formuloval zákon vzdalování galaxií. Zjistil, že rychlost vzdalování je úměrná jejich vzdálenosti.



Obrázek 2.12: Edwin Hubble u Hookerova 2,5m dalekohledu na observatoři Mt. Wilson. Zdroj: S. Mais, <http://www.soteoria.hpg.ig.com.br/Hubble/page1.htm>.

- 1930 – Clyde Tombaugh objevil Pluto, do roku 2006 označované jako devátá planeta Sluneční soustavy, dnes trpasličí planeta.
- 1937 – Grote Reber postavil první radioteleskop.
- 1946 – počátek radarové astronomie. Podařilo se zachytit ozvěnu rádiových signálů od povrchu Měsíce.
- 1948 – George Gamow prezentoval teorii velkého třesku.
- 1957 – start první umělé družice Země, Sputniku 1 (SSSR).
- 1959 – Riccardo Giacconi sestrojil první rentgenovský dalekohled k pozorování rentgenového záření z kosmu.
- 1962 – založena Evropská jižní observatoř (ESO)
- 1962 – Riccardo Giacconi objevil první rentgenový zdroj mimo Sluneční soustavu – Scorpius X-1.
- 1965 – Arno Allan Penzias a Robert Woodrow Wilson objevili spojitě rádiové záření kosmického pozadí (reliktní záření).
- 1968 – John Archibald Wheeler poprvé použil termín „černá díra“.
- 1968-1969 – Jocelyn Bellová (Burnellová) a Antony Hewish objevili pulsary.

- 1969 – američtí astronauti Neil Armstrong a Edwin (Buzz) Aldrin se jako první lidé procházeli po povrchu Měsíce.
- 1969 – Willard S. Boyle and George E. Smith vynalezli CCD detektor. V r. 2009 obdrželi za tento objev Nobelovu cenu za fyziku.
- 1973 – Brandon Carter prezentoval antropický princip.
- 1973 – americké špionážní družice Vela objevily zábleskové zdroje záření γ .
- 1979 – první použití CCD prvku jako detektoru na observatoři Kitt Peak, USA.
- 1981 – Alan Guth publikoval teorii inflačního modelu vesmíru.
- 1987 – objev a následný výzkum supernovy SN1987A.
- 1989 – družice COBE a v pozdějších letech i družice WMAP a Planck zjistily anizotropii v reliktním záření a změřily jeho spektrum. Vedoucí experimentu na COBE John Mather a George Smoot dostali za tuto práci Nobelovu cenu za fyziku v roce 2006.
- 1990 – vypuštěn Hubbleův kosmický teleskop.



Obrázek 2.13: Hubbleův kosmický dalekohled (HST) z raketoplánu Atlantis během 4. servisní mise v roce 2009. Zdroj: <http://spaceflight.nasa.gov/>.

- 1992 – po Plutu a Charonu objeveno první trans-neptunické těleso 1992 QB₁, nyní označené pořadovým číslem 15760 a pojmenované Albion.
- 1995 – Michel Mayor a Didier Queloz objevili první planety mimo Sluneční soustavu obíhající hvězdu slunečního typu 51 Peg (Helvetios), pojmenované v roce 2015 jako Dimidium.
- 1997 – publikována měření družice Hipparcos, která trigonometricky určila paralaxy zhruba 100 tisíc hvězd (vzdálených až 600 ly).
- 1998 – dva týmy zveřejnily výsledky několikaletého výzkumu, v němž odhalily zrychlování rozpínání vesmíru. Saul Perlmutter, Brian Schmidt a Adam Riess za ten výsledek obdrželi Nobelovu cenu za fyziku v roce 2011.
- 1998 – Takaaki Kajita prezentoval objev oscilací neutrin, které na přelomu let 2001/2002 potvrdil Arthur B. McDonald. Oba obdrželi Nobelovu cenu za fyziku v roce 2015.
- 1999 – objev první planetárního systému mimo Sluneční soustavu u hvězdy Tita-win (ups And A).

- 1999-2000 – do provozu uvedena čtveřice dalekohledů VLT (Very Large Telescope) Evropské jižní observatoře, každý o průměru 8,2 m, na hoře Paranal v Chile.
- 2001 – start družice WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), která v následujících letech přinesla velké množství dat podporujících standardní kosmologický model vesmíru.
- 2001 – objevena první volně se pohybující planeta (bez mateřské hvězdy).
- 2001 – objev prvního pásu asteroidů mimo Sluneční soustavu u hvězdy HD 69830.
- 2001 – vyřešena záhada slunečních neutrin. Neutrina oscilují mezi různými typy.
- – první detekce atmosféry u exoplanety, konkrétně HD 209458b.
- 2004 – získán první snímek exoplanety.
- 2006 – Na valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Praze byla přijata definice planety a trpasličí planety. Pluto bylo přeřazeno mezi trpasličí planety.
- 2007 – objev rychlých rádiových záblesků (FRB - fast radio burst).
- 2008 – dokončena mezinárodní Observatoř Pierra Augera.
- 2012 – objev "božské" částice, Higgsova bosonu.
- 2008 – potvrzena existence supermasivní černé díry v centru naší Galaxie.
- 2013 – na Měsíci přistála čínská sonda Čchang-e 3, jejíž součástí byl i malý dalekohled LUT. Jde o první dlouhodobě pracující astronomickou observatoř na povrchu Měsíce.
- 2014 – začala výstavba dalekohledu E-ELT s průměrem zrcadla 39 m.
- 2014 – první potvrzená detekce organických molekul na Marsu.
- 2015 – družice Kepler objevila první exoplanetu velikosti Země v zóně života.
- 2015 – úspěšný průlet sondy New Horizons kolem Pluta.
- 2015 – první přímá detekce gravitačních vln na observatoři LIGO.
- 2016 – publikována první sada měření z družice GAIA obsahující informace o poloze, vlastním pohybu a jasnosti 1,1 miliardy hvězd.
- 2016 – objevena nejbližší exoplaneta Proxima Centauri b.
- 2016 – v Číně dokončen největší radioteleskop na světě (FAST) o průměru 500 m.
- 2017 – srážka neutronových hvězd v galaxii NGC 4993 detekována pomocí gravitačních vln i v různých oborech elektromagnetického spektra. Počátek tzv. mnohápásmové astronomie (multi-messenger astronomy).
- 2017 – ve Sluneční soustavě detekován první mezihvězdný objekt – asteroid Oumuamua.
- 2019 – 1. snímek černé díry v centru galaxie M87 pomocí Event Horizon Telescope (EHT).
- 2019 – čínská sonda Chang'e 4 jako první přistála na odvrácené straně Měsíce.
- 2020 – zhroutil se 300m radioteleskop v Arecibu.
- 2020 – zveřejněna nejdetailnější mapa naší Galaxie (3D snímek s 1,8 miliardami hvězd) na základě měření družice GAIA.
- 2021 – vypuštění Dalekohledu James Webba (JWST – James Webb Space Telescope).

- 2022 – první snímky a měření z JWST.
- 2022 – první test obrany Země před vesmírnými projektily. Družice Double Asteroid Redirect Test (DART) úspěšně zasáhla měsíček Dimorphos asteroidu 65803 Didymos.
- 2022 – EHT poskytl 1. snímek černé díry v centru naší Galaxie.
- 2024 – objev takřka „prázdné“ galaxie Nube, útvaru bez hvězd.
- 2024 – zjištění, že temná (skrytá) energie se možná ve vesmíru vyvíjí s časem.
- 2024 – objev prvotních trpasličích galaxií, které pravděpodobně ukončily dobu temna po velkém třesku.

Použitá a doplňující literatura

- Akvinský, T., 1993, Jsou nebeská tělesa příčinou lidských skutků? *Universum* 10, 47
- Couperová, H., Henbest, N., 2009, Dějiny astronomie, Knižní klub
- De Smedt, J., De Cruz, H., 2011, *Adaptive Behavior*, 19, 63-76
- Folta, J., Nový, L., 1979, Dějiny přírodních věd v datech, Mladá fronta, Praha
- Grün, M., 1990, Je astrologie věda? Horizont, Praha 1990
- Grygar, J., 2003, Soumrak astrologie? *Zpravodaj Sisyfos* 9, č. 2-3, str. 1
- Hamaker, J. P., Osullivan, J. D., & Noordam, J. E. 1977, *Journal of the Optical Society of America* (1917-1983), 67, 1122
- Hollan, J., 1993, http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/a_papers/oblnebe/oblnebe.html
- Jelínek, O., 1993, Středověký vědec a filozof o astrologii. *Universum* 10, str. 44
- Kleczek, J. 2002, Velká encyklopedie vesmíru, Academia Praha, 582 str.
- Vanýsek, V., 1998, Co nám může říci astrologie? v: *Věda kontra iracionalita* (vyd. J. Heřt a L. Pekárek); Academia, Praha, str. 9 - 35

3 Čas a kalendář

Otázkou času se lidé zabývali už velmi dlouho, měření času patří mezi nejstarší fyzikální měření vůbec. Nad tím, co je čas a jak rychle plyne, se zamýšleli učenci a filozofové už ve starověku. Mnoho výroků slavných osobností od antiky po dnešek se týká času. Připomeňme si jen některé z nich. Římský filozof Seneca (4-65 př.n.l.) tvrdil: „Není pravda, že máme málo času, avšak pravda je, že ho hodně promarníme.“ a „Stěžujeme si, jak máme málo času, ale jednáme tak, jako bychom ho měli nekonečně mnoho.“ Anglický dramatik William Shakespeare (1564-1616) prohlašoval, že „Čas ubíhá různě, podle toho s kým.“. Sir Isaac Newton (1643-1727) odpověděl na otázku, co je čas takto: „Čas - to je prostě způsob, jakým příroda zajišťuje, aby se všechno neodehrávalo najednou.“ Albert Einstein (1879-1955) napsal: „Čas je jen iluze.“ a ohledně využití času měl také jasno: „Existuje tisíce způsobů, jak zabít čas, ale žádný, jak ho vzkřísit.“. Zřejmě nejúsměvnější je výrok, který zazněl z úst Jana Wericha (1905-1989) na scéně Osovoboženého divadla: „Čas si vymysleli lidé, aby věděli, od kdy do kdy a co za to.“¹

V dnešní uspěchané době je otázka času velmi zásadní pro mnoho lidí. Ale víme vlastně, co je čas? Podle Aristotela vzniká čas počítáním pravidelných pohybů nebo dějů, například střídáním dne a noci. Immanuel Kant tvrdil, že čas je vedle prostoru základní formou (kategorií a podmínkou) každé smyslové zkušenosti. Fyzik by zřejmě odpověděl prozaicky: Čas je základní fyzikální veličina vyjadřující neklesající posloupnost dějů a stavů. Je to parametr pohybových rovnic, které nám slouží pro výpočet polohy určitého tělesa. Může jít v podstatě o libovolný děj či těleso, ale je dobré volit pro určování času nějaké vhodné děje, například periodicky se opakující děje.

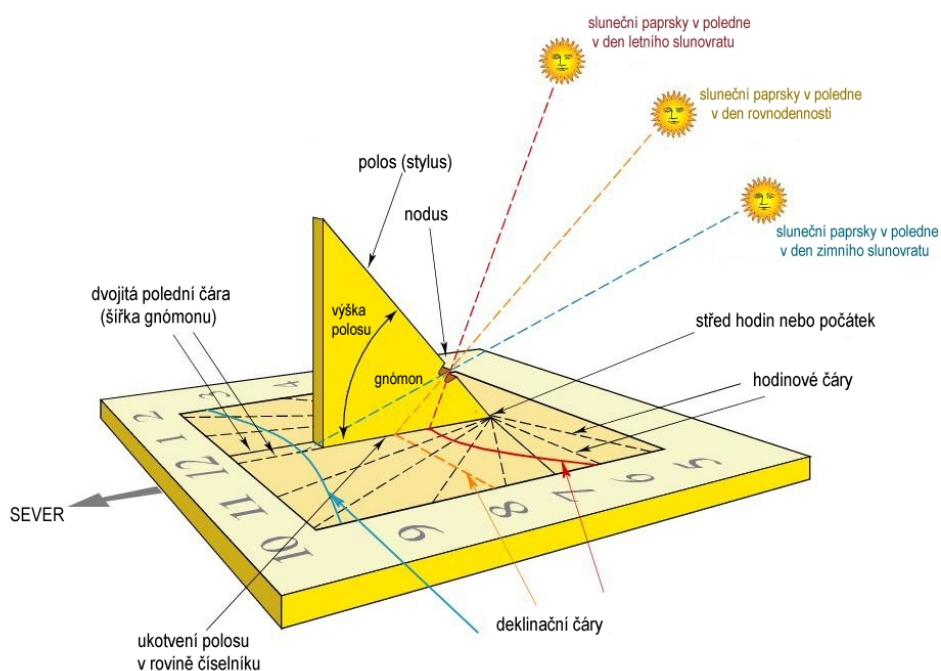
V principu lze čas měřit dvěma způsoby. Jednak přímým měřením nějakého rovnoměrného pohybu nebo jeho projevu a jednak počítáním nějakých krátkoperiodických oscilací. Do první skupiny patří i historicky nejstarší měření času podle Slunce a to i přesto, že pohyb Slunce po obloze vlastně úplně přesně rovnoměrný není (v důsledku nerovnoměrnosti rotace Země, sklonu rotační osy k rovině ekliptiky a eliptické oběžné dráze Země kolem Slunce). K měření času pomocí Slunce stačilo v podstatě velmi jednoduché zařízení. Svislá tyč, tzv. **gnómon** vrhá stín a podle jeho délky a pohybu lze určovat čas. V principu může být gnómonem i tyč vodorovná nebo šikmá vůči vodorovné rovině, nejlépe rovnoběžná s rotační osou Země. V takovém případě je vlastně gnómon ukazatelem slunečních hodin.

Bohužel nevíme, kdy člověk objevil tento způsob měření času. Nejstarší gnómony lze datovat do období zhruba 5 000 let před naším letopočtem. V Evropě je řada míst, kde byly buď přímo nalezeny prastaré gnómony nebo se jedná o velmi staré observatoře – jako například na hoře Bého severně od francouzské Nice, v německém Gosecku, irském Knowthu, českých Makotřasech nebo proslulém anglickém Stonehedge. Jejich stáří se pohybuje mezi čtyřmi až sedmi tisíci let. Zdokumentovány jsou ale i další případy – obelisky sloužící jako gnómon se používaly kolem 3 500 př.n.l. v Egyptě, Babylónii, Indii a Číně. Nicméně nejstarší astronomickou observatoří, kde se nepochybně i měřil čas, je podle posledních průzkumů turecké Göbekli Tepe, které se nachází nedaleko syrských hranic. Jeho stáří se odhaduje na 11 000 let.

V psaných záznamech se objevuje popis gnómonu v čínském spisu „Devět kapitol matematického umění“, kterou postupně tvořilo několik generací učenců od 10. až do 2. století př.n.l. Řeckou kulturu seznámil s gnómonem Anaximandros kolem roku 560 př.n.l., který se o něm zmiňuje jako o babylonském

¹Citáty byly převzaty z <https://citaty.net/citaty-o-case/>.

nástroji. Řekové měření času pomocí Slunce dále rozvinuli. Zhruba do prvního století našeho letopočtu je pak datován objev tzv. polosy, ukazatele slunečních hodin, který je rovnoběžný s rotační osou Země (obrázek 3.1). Zajímavostí je, že jeden z nejstarších psaných záznamů o slunečních hodinách obsahuje i bible. Český katalog slunečních hodin, který mapuje jejich výskyt na území bývalého Československa, sestavili Brož a kol. (2005)².



Obrázek 3.1: Schéma vodorovných slunečních hodin pro severní polokouli. Na jižní polokouli jde číselník proti směru hodinových ručiček. Převzato z webu British Sundial Society a upraveno.

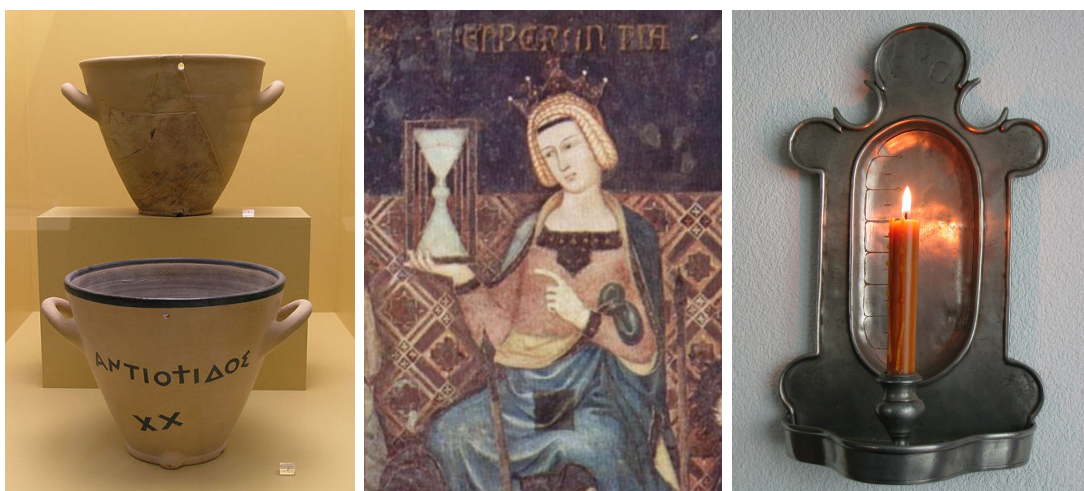
Naši předkové si jeden den zpravidla dělili na čas denní, noční a soumrak, přičemž čas denní byl dále dělen na 10 částí a k tomu případně ještě dvě soumrakové části – ranní a večerní soumrak. Noční část byla někdy chápána jako jeden celek, někdy byla také dělena na 12 dílů. Proč zrovna dvanáct? Původ tohoto dělení můžeme vystopovat ve starověkém Egyptě. Někdy se uvádí, že důvodem bylo prostě to, že se jednalo o tehdy oblíbenou dvanáctkovou číselnou soustavu. Řada autorů se přiklání k tomu, že důvodem bylo „kopírování“ počtu měsíců v roce a některé zdroje uvádějí, že dvanáctka byla použita proto, že bez palce máme na ruce 12 článků prstů. Dnes ale víme, že Egypťané pro odpočítávání času v noci používali západ určených význačných hvězd a těch bylo celkem 36 na celé nebeské sféře. Na večerní a ranní soumrak připadly 3 a 3 hvězdy a na dobu temné noci 12 hvězd. Je třeba si ale uvědomit, že egyptské hodiny byly jinak dlouhé v létě a jinak v zimě. S rozdělením dne na 24 stejně dlouhých hodin přišel ve 2. století př.n.l Hipparchos, který navrhl používat jednu hodinu takové délky jakou mají hodiny v den rovnodennosti.³

²Aktuální verzi katalogu lze nalézt na <http://astro.mff.cuni.cz/mira/sh/sh.php>.

³Dělení hodin na 60 minut bylo převzato od babylonských učenců, resp. Sumerů a pochází z doby kolem 2000 př.n.l.

Délka a dělení dne je tedy jasné, ale kdy vlastně den začínal? Dnes je to zřejmé – začíná o půlnoci. Nicméně ve starověku a středověku se počátek dne počítal od východu Slunce. Poledne pak nastávalo kolem šesté hodiny. Do poloviny 18. století, respektive do 17. století, se používaly systémy počítání dní italský, resp. český. Jejich společným rysem je to, že den měl 24 hodin a počítal se od západu Slunce, respektive večerního soumraku. Zajímavé je, že v takovém systému počítání času nastávalo poledne dle ročního období v různou hodinu – v 15 hodin nebo dokonce až v 19 hodin. Podobně se počítal den od večerního soumraku ve středověkém islámském systému. Náš dnešní systém, kdy koncem starého dne a počátkem nového je půlnoc, pochází z Německa.

Počítání dnešního občanského času je zřejmé, ale jeho měření už není založeno na době otočky Země kolem své osy. Rotace Země není rovnoměrná, dlouhodobě se zpomaluje tempem zhruba 1,5 ms za století (Brosche & Sündermann, 1990). K tomu je třeba připočítat i krátkodobé změny doby rotace Země v řádu milisekund. Je tedy jasné, že se hledaly jiné vhodnější děje pro měření času. Kromě Slunce se využívalo k měření času pomocí rovnoměrně plynoucích dějů i pozemských živlů – vody, země i ohně. Vodní hodiny, tzv. klepsydry (obrázek 3.2 vlevo) se poprvé objevily v 16. - 14. století př.n.l. v Egyptě, Babylonu, Indii nebo Číně. Nicméně například Cowan (1958) tvrdil, že první klepsydry se objevily v Číně už kolem 4000 let př.n.l. a patří tak k nejstarším přístrojům. Přesýpací hodiny jsou oproti tomu mnohem mladší. Poprvé jsou zmiňovány v Evropě v 8. století n.l., ale první jasný důkaz představuje až freska „Alegorie dobré vlády“ Ambrogia Lorenzettiho z let 1338 až 1339 na zdech paláce v italské Sieně (obrázek 3.2 uprostřed). Ani první použití ohně pro měření času není jasné. První zmínku o tzv. svíčkových hodinách (obrázek 3.2 vpravo) lze najít v čínské básni od básníka You Jiangu z roku 520 n.l.. Podobné hodiny se hojně používaly v Japonsku do počátku 10. století a do pozdějších dob v arabských zemích.



Obrázek 3.2: Vlevo: Klepsydra, vodní hodiny: rekonstrukce jílového originálu z konce 5. století př.n.l. uložená v aténském muzeu. Uprostřed: První zobrazení přesýpacích hodin. Detail Lorenzettiho fresky. Vpravo: Svíčkové hodiny. Zdroj: wikipedie.

Všechny výše uvedené metody měření času měly i přes velmi důmyslná vylepšení poměrně omezenou přesnost. Zcela jinou kategorii představuje měření času počítáním pravidelných pohybů, ať již mechanických, elektrických nebo atomárních oscilací. U prvních mechanických hodin bylo třeba zejména zajistit rovnoměrný chod. Od konce 13.

století⁴ až do Galileiho objevu využití kyvadla se používal tzv. lihýř. Takové hodiny bylo nutné natahovat každých pět až šest hodin a za tuto dobu se mohly rozejít od správného času až o dvě hodiny! Přestože Galileo navrhl krokové ústrojí kyvadlových hodin, hodiny samotné sestrojil až roku 1655 Christian Huygens⁵. V témže roce Huygens vynalezl i setrvačku (tzv. nepokoj) pro mechanické hodiny, kterou si nechal o dvacet let později patentovat⁶. Setrvačky a kyvadla vytlačily dříve používaný lihýř a přinesly zlepšení přesnosti, které ale bylo stále nedostatečné pro potřeby námořnictva. Britský parlament dokonce nabídl odměnu v dnešních cenách zhruba 100 milionů korun pro toho, kdo dodá přesný chronometr, použitelný pro přesné určování polohy lodí, jejich zeměpisné délky. Po čtyřiceti letech práce to dokázal hodinář John Harrison, jehož chronometr udržel přesnost 0,2 s za den.



Obrázek 3.3: Vlevo: Světoznámý pražský orloj na Staroměstském náměstí z roku 1410. Převzato z <http://www.vyletnik.cz>. Vpravo: O šest století mladší orloj zvláštního tvaru instalovaný na brněnském náměstí Svobody v roce 2010. Zdroj: <http://www.ilovebrno.cz>.

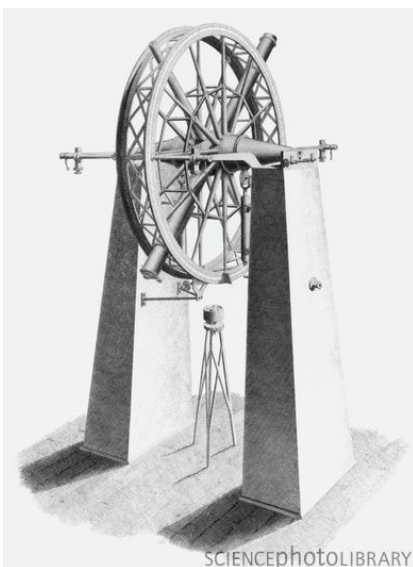
Zásadní změny se měření času dočkalo ve 20. století. Warren A. Marrison a Joseph W. Horton v Bell Telephone Laboratories sestrojili v roce 1927 první hodiny, jejichž oscilátorem byl piezoelektrický výbrus (tzv. quartz). V 60. letech se pak původně

⁴Spekuluje se o tom, že mechanické hodiny vznikly v raném středověku, například se traduje, že podobné hodiny zkonstruoval budoucí papež Silvestr II. První zřejmou zmínku o mechanických hodinách nalezneme v Božské komedii Dante Alighieriho, která vyšla roku 1320. Nicméně, pokud vezmeme v úvahu i známý mechanismus z Antikythéry vyrobený v letech 150-100 př.n.l., musíme naše úvahy o době vzniku mechanických hodin řádně poopravit.

⁵Sestrojení hodin oznámil krátkou zprávou v roce 1657 a podrobně popsal v díle *Horologium oscillatorium* v roce 1673.

⁶Nezávisle na Huygensovi vynalezl setrvačku i Robert Hooke.

rozměrné laboratorní zařízení podařilo zmenšit do velikosti přenosných, náramkových hodinek, které začala sériově vyrábět firma Seiko v roce 1969. Přesnější než kmity piezoelektrického oscilátoru krystalu křemene jsou kmity atomů. Po teoretických konceptech byly první atomové hodiny využívající atomy čpavku postaveny krátce po druhé světové válce (1949) ve Spojených Státech. Jejich přesnost ale ještě nebyla vyhovující. První přesné atomové hodiny využívající atomu cesia postavili Louis Essen a Jack V. L. Parry v roce 1955 v National Physical Laboratory ve Velké Británii (Essen & Parry, 1955). Objev principu atomových hodin posloužil v roce 1967 i pro novou definici sekundy, která s mírnou úpravou platí dodnes.⁷ Nejpřesnější časový standard nyní poskytují atomové hodiny na bázi césia 133, označované NIST-F2, které dosahují relativní přesnosti $1,5 \cdot 10^{-15}$. Už se ale testují kvantové nebo optické hodiny, které by mohly dosáhnout relativní přesnosti 10^{-18} (Bloom et al., 2014). Atomové hodiny se používají ke kontrole a kalibraci všech hodin a vědeckých a navigačních přístrojů.⁸



Obrázek 3.4: První pasážník vyrobil roku 1806 Edward Troughton (1753-1835) pro anglického astronoma Stephena Groombridge (1755-1832). Obrázek je převzatý z publikace „Úvod do praktické astronomie“, kterou v několika částech vydal v letech 1824-1829 William Pearson.

3.1 Časy v astronomii

Od prvních měření času až do zhruba poloviny 20. století se o časové standardy a měření nezbytná pro jejich definici a údržbu starali astronomové. Využívali k tomu nejdříve průchodu hvězd místním poledníkem, tedy rovinou určenou směry k jihu, severu a nadhlavníku. K těmto pozorováním sloužil speciální dalekohled – tzv. pasážník, který se mohl pohybovat právě jen v rovině meridiánu (viz obrázek 3.4).

⁷Do r. 1967 byla sekunda charakterizována jako $1/86\,400$ středního slunečního dne (viz kapitola 3.3.1).

⁸Zajímavé srovnání tří různých atomových hodin provedli vědci v roce 2021. Výsledky byly publikovány v časopise Nature <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03253-4>.

V roce 1884 byl oficiálně přijat jako mezinárodní časový standard místní střední sluneční čas v anglické Greenwichi (Greenwich Mean Time, GMT). Zatímco občanský čas GMT se počítal od půlnoci, astronomický den stejného data (označený též GMT) začínal dle staré tradice o 12 hodin později, tedy v poledne. Nepřesnosti a zmatky, které z toho vycházely, měly být ukončeny až 1. ledna 1925, kdy byla pro čas astronomický doporučena zkratka GMAT (Greenwich Mean Astronomical Time, Greenwichský střední astronomický čas). O tři roky později Mezinárodní astronomická unie zcela opustila časy GMT a GMAT a zavedla termín „Universal Time“ UT (světový čas), v němž den pro občanské i astronomické účely začíná o půlnoci (McCarthy & Seidelmann, 2009, str. 10–11).

Světový čas UT dnes existuje v různých verzích. Nejvíce se užívá čas UT1 s nepřesností ± 3 milisekundy za den, který je stejný pro celou zeměkouli a definuje skutečný rotační úhel Země vůči pevné vztažné soustavě (dané velmi vzdálenými vesmírnými objekty). Využívají se interferometrických pozorování kvasarů pomocí VLBI⁹. Při přesnosti řádově až milisekundy je možné sledovat i drobné změny v délce jednotlivých otoček Země.

Až do padesátých let minulého století byly časové signály v rozhlase založeny na UT a tedy odvozeny z doby rotace Země. Teprve pak se začaly uplatňovat atomové hodiny. Čas, který je od nich odvozený, se označuje jako atomový čas TAI (International Atomic Time). Od roku 1961 je provozován časový standard UTC¹⁰ (Coordinated Universal Time). UTC představuje základ pro občanské měření času, využívají ho například hodiny v počítačích synchronizovaných přes Network Time Protocol (NTP) server. Chod UTC je odvozen od rovnoměrně běžících atomových hodin. Jenže UTC je definován tak, že se nesmí odchýlit od UT1 o více než 0,9 sekundy. Proto je třeba někdy zařadit do UTC tzv. přestupnou sekundu, zpravidla na konci pololetí nebo celého roku. Od zavedení těchto přestupných sekund jich bylo do roku 2021 vloženo 27! A to už je časový interval velmi dobře měřitelný i na náramkových hodinkách. Čas UTC tedy není kontinuální, což je nesmírně důležitý závěr, který je třeba mít při zpracování časových řad různých pozorování na paměti. Přestupná sekunda je však zřejmě pro nejbližší roky už minulostí. Mezinárodní úřad pro míry a váhy (BIPM) by měl přijmout nové řešení na zasedání v roce 2026. V současnosti tedy astronomové v jistém ohledu předali štafetu přesného měření času fyzikům.

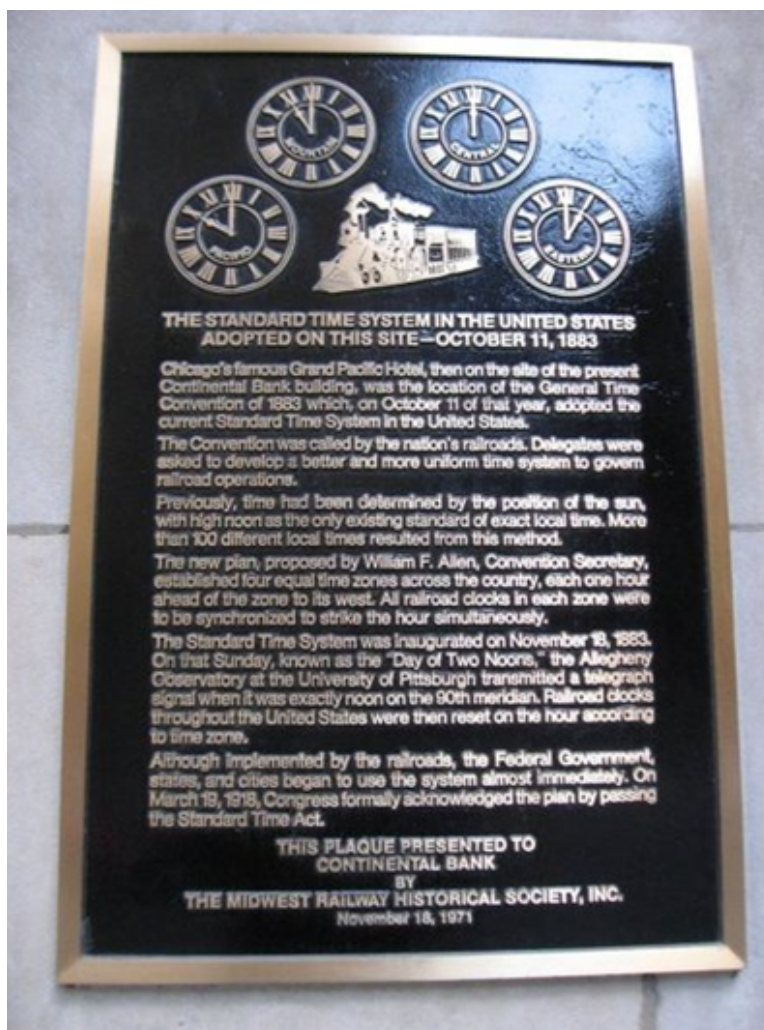
3.2 Místní a pásmový čas

Každému místu na Zemi přísluší místní „sluneční“ čas, který je platný pro zeměpisný poledník, procházející daným místem. Rozdíl takových místních časů dvou stanovišť pak odpovídá rozdílu zeměpisných délek těchto dvou míst. Místa východně od našeho stanoviště mají větší místní čas (Slunce tam kulminuje dříve), místa položená západně mají místní čas menší než my. Pro Českou republiku dělá časový rozdíl mezi nejvýchodnějším

⁹Interferometrická pozorování jsou založena na skládání signálů (optických, rádiových) z více přístrojů (dalekohledů, radioteleskopů). Přesným složením signálů z jednotlivých členů interferometru se získá výsledný signál, jehož rozlišení je podobné jako by tento signál byl pořízen jediným zařízením o rozměrech srovnatelných se vzdáleností členů interferometru. Jedním z největších interferometrů je VLBI (z anglického Very Long Baseline Interferometry), tedy Interferometr s velmi dlouhou základnou.

¹⁰Oficiálně byl takto označen až roku 1967.

a nejzápadnějším bodem území 27 minut. Ale třeba pro území Číny je to už více než 4 hodiny a pro Rusko dokonce téměř 11,5 hodiny.



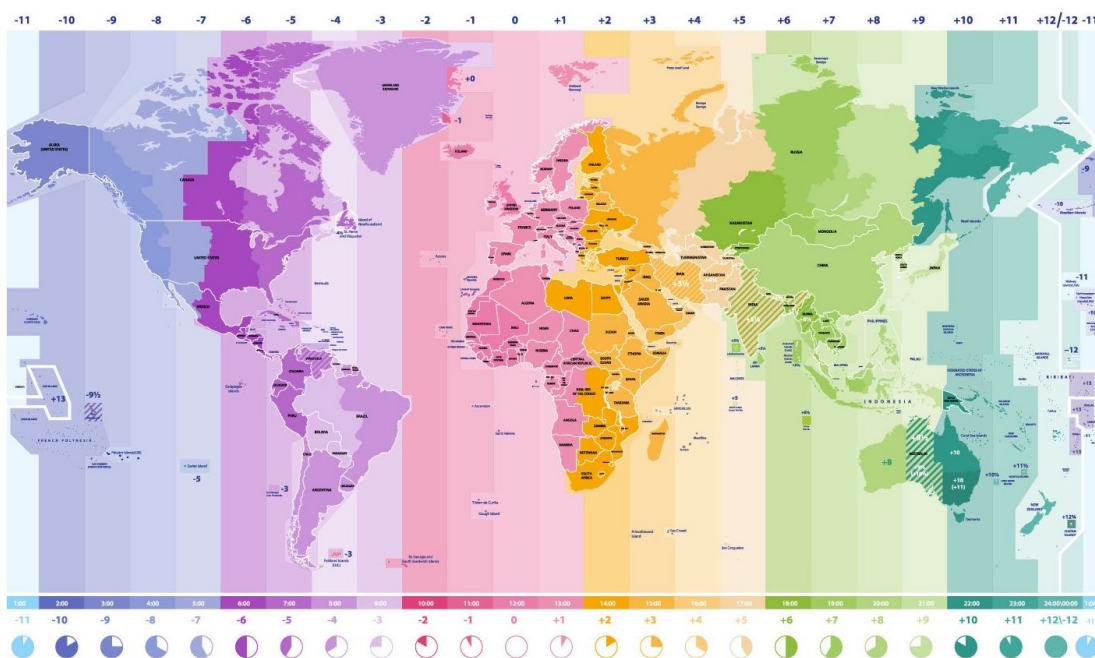
Obrázek 3.5: Pamětní deska připomínající dohodu o používání času na železnici v Severní Americe z roku 1883 (Railway General Time Convention). Zdroj: wikipedia.

V dřívějších dobách, při pomalém cestování, takový rozdíl místních časů ničemu nevadil, ale s rozvojem rychlé¹¹ železniční dopravy se objevil nový problém. Na železničních křižovatkách, kde se setkávaly důležité dálkové trasy, musely být zvláštní hodiny pro každou trať. Časy na nich odpovídaly časům výchozích stanic. A tak například na nádraží v Pittsburghu, v americké Pensylvánii (USA), udržovali hodiny s šesti různými časy. Najít správné spojení v jízdním řádu pak byl docela rébus. A byli to právě zaměstnanci železničních společností, kteří si nejdříve uvědomili nutnost změny. Charles F. Dowd navrhl systém hodinových pásmových časů pro Americké dráhy kolem roku 1863¹². Jeho návrh ale nebyl nikdy přijat. Později (v roce 1876) navrhl Kanadčan Sir

¹¹Chápáno z pohledu tehdejších cestovatelů. Z dnešního pohledu nás rychlost tehdejších strojů příliš neohromí.

¹²Zajímavé je, že první popis pásmových časů publikoval v knize „Miranda“ italský politik, astronom

Sandford Fleming celosvětový systém časových pásem. O tři roky později návrh upravil, ale zejména pro něj začal intenzivně hledat podporu na mezinárodním fóru. Snaha vyvrcholila na mezinárodní konferenci v říjnu 1884. Po přijetí koncepce Greenwichského nultého poledníku bylo také státům světa navrženo přijmout systém 24 pásmových časů, kde šířka jednoho časového pásma odpovídá 15° zeměpisné délky. Většina zemí tento návrh přijala do roku 1929. Ale existují výjimky od striktního pravidla. Některé státy jako například Indie, Írán, Venezuela používají půlhodinovou odchylku od standardního času a některé státy jako například Nepál dokonce odchylku čtvrt hodinovou. Větší státy, které přesahují přes několik časových pásem, mohou stanovit oficiální čas dle konkrétního území, rozložení obyvatelstva a podobně. Nejvíce je to patrné v Číně, která se rozkládá na území pěti časových pásem. Ty byly používány do roku 1949. Dnes mají v celé Číně jednotný čas.



Obrázek 3.6: Časová pásma. Zdroj: <http://www.cojeco.cz>.

Jinými odchylkami od standardního pásmového času jsou časy zimní a letní. Princip podobný letnímu času navrhl (ale ironicky) Benjamin Franklin roku 1784 vydavatelům časopisu *Journal of Paris*¹³. Poprvé byl letní čas oficiálně zaveden v několika zemích během první světové války, nejdříve zřejmě roku 1916 ve Švédsku a později téhož roku i v Rakousko-Uhersku, tedy i na území dnešní České republiky. Letní čas byl u nás

a matematik Quirico Filopanti (vlastním jménem Giuseppe Barilli) v roce 1858.

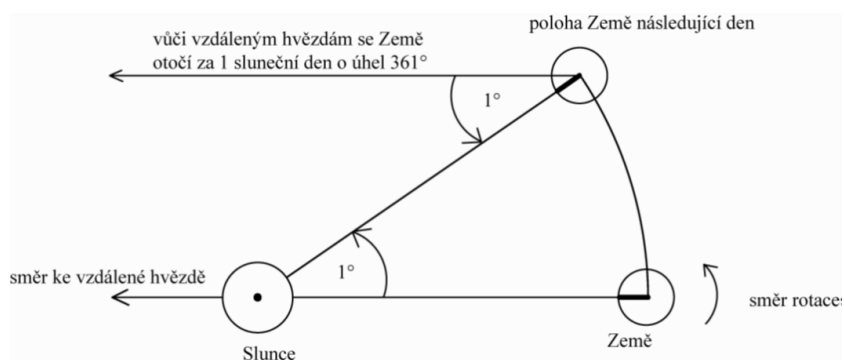
¹³Ještě starší by mělo být použití letního času Brňany v srpnu 1645. Švédové, vedení generálem Torstensonem, tenkrát oblehli Brno. Podle pověsti byl Torstenson rozmrzelý dlouhým, bezvýsledným obléháním Brna, a proto prý prohlásil, že pokud město nedobude do poledne, odtáhne s vojskem pryč. Obránci se to dověděli a tak, když už jim bylo opravdu ouzko, začali zvonit poledne už v 11 hodin. Torstenson měl pak dostát svému slibu a ukončit obléhání. Město bylo zachráněno a na paměť této události zvoní každý den zvony katedrály sv. Petra a Pavla poledne už v jedenáct hodin. Dodejme, že jde jen o pěknou pověst. Podle historických záznamů se Brňané ubránili i bez letního času.

(tehdy na území Protektorátu Čechy a Morava) opět zaveden během druhé světové války. Každoročně se u nás vyhláší letní čas od roku 1979. V některých zemích je posun o více než jednu hodinu od standardního času, například v zimě o jednu a v létě o dvě nebo tři hodiny. Někde platí letní čas trvale – například ve Francii nebo Španělsku a nově se to týká například Ruska, Běloruska či Ukrajiny. Letní čas tedy předbíhá skutečný čas daného pásma, přebírá čas sousedního pásma ležícího východně od nás. V období, kdy neplatí letní čas, se zpravidla vracíme ke standardnímu pásmovému času daného místa. Neznamena to, že bychom nyní měli v zimě zimní čas, jak se občas můžeme dočíst. Zimní čas je takový, kdy se hodiny posunou o jednu hodinu zpět vůči pásmovému času. Takový čas byl vyhlášen v Československu zákonem č. 212/1946 Sb. Platnost zákona nebyla zrušena, takže vláda stále může v principu zimní čas vyhlásit. S velkou pravděpodobností jde o světový unikát.

3.3 Dny a roky

3.3.1 Den

Dnes je jednotka jeden den definována v soustavě SI jako 24 hodin = 1 440 minut = 86 400 sekund. Základní jednotkou času je v soustavě SI **sekunda**¹⁴ (mezinárodní značka *s*), která je definována stanovením pevné číselné hodnoty frekvence $\Delta\nu_{Cs}$, přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133 nacházejícího se v klidovém stavu, která je rovna 9 192 631 770, je-li vyjádřena v jednotce *Hz*, která je rovna s^{-1} . Jenže, když nahlédnete do některých knih i učebnic, najdete délku trvání jednoho pozemského dne 23 hodin 56 minut. Jak to tedy je? Celý problém spočívá v tom, že je nutné rozlišovat vztahné soustavy použité pro měření doby otočky Země. Jinak řečeno je třeba rozlišovat vůči čemu budeme dobu rotace Země měřit. Není den jako den. Máme den kalendářní, hvězdný, sluneční a ten ještě pravý a střední. Ale nepředbíhejme.



Obrázek 3.7: Sluneční a hvězdný den. Převzato z Pokorný (2006).

Pokud budeme poměřovat dobu rotace Země ve vztahné soustavě ke hvězdám, mluvíme o tzv. hvězdném dni. Jeden **hvězdný (siderický) den**, tedy doba otočky Země

¹⁴V běžné řeči se často používá pro vyjádření času vteřina. To je ovšem špatně! Užívání jednotek SI v České republice nařizuje zákon 152/2021 Sb. Základní neznalost v tomto směru bohužel velmi často prokazují i sportovní komentátoři a novináři vůbec.

o 360° vůči hvězdám, je pak definován jako doba mezi dvěma po sobě následujícími horními kulminacemi¹⁵ jarního bodu¹⁶. Naproti tomu jeden **sluneční den** odpovídá délce otočky Země měřené vůči Slunci. Pokud budeme vycházet z měření polohy skutečného Slunce, bude tzv. **pravý sluneční den** dobou mezi dvěma následujícími horními kulminacemi skutečného Slunce. Jinak řečeno, půjde o dobu mezi dvěma po sobě následujícími okamžiky, kdy je Slunce při pohledu ze stejného místa např. z Brna jižním směrem. Jenže v takové vztažné soustavě se během jedné otočky Země změní i vzájemná poloha Země a Slunce. Země se posunula ve své dráze při pohybu kolem Slunce. To znamená, že aby Slunce opět kulminovalo na místním poledníku, musí se Země ještě pootočít za Sluncem (viz obrázek 3.7). Sluneční den je tak vždy o zhruba 4 minuty delší než den hvězdný. Pro větší přehlednost přinášíme i jednoduché převodní vztahy mezi hvězdným a slunečním dnem.

Převodní vztahy:

1 sluneční den = 24 h 3 min 57 s hvězdného času

1 hvězdný den = 23 h 56 min 4 s slunečního času

ale

1 hvězdný den = 24 h 0 min 0 s hvězdného (!) času

1 sluneční den = 24 h 0 min 0 s slunečního (!) času

Jak ale víme obíhá Země kolem Slunce po elipse a navíc je osa rotace Země skloněna vůči rovině oběhu. To způsobuje nerovnoměrnosti v pohybu Slunce po obloze, a proto se zavádí první a druhé střední Slunce, které tyto nerovnoměrnosti eliminují. Rozdíl mezi druhým středním Sluncem a pravým Sluncem může během roku nabýt až 17 minut a astronomové tento rozdíl označují jako časovou rovnici. Nejsnáze tento rozdíl odhalíte, když budete během roku porovnávat čas, který ukazují sluneční hodiny, s časem UTC.

3.3.2 Rok

Zatímco den je odvozen od doby otočky Země kolem své osy, rok má svůj původ v době oběhu Země kolem Slunce. Máme teď na mysli takové ty „běžné roky“, jejichž délka byla v minulosti určována jako časová vzdálenost mezi například dvěma po sobě následujícími zimními slunovraty. Možná jste se setkali i s jinými roky. Jejich opravdu hodně – například fiskální, akademický, školní, uherský. Astronomové pak znají například rok tropický, anomalistický, hvězdný (siderický), drakonický, galaktický. Naším tématem bude ale rok, se kterým se setkáváme v kalendáři, rok tropický a také rok siderický. Jenže kalendářní rok je docela zvláštní jednotka. Jen si zkuste vybavit jinou jednotku, která má dvě různé délky! Běžný kalendářní rok má přece 365 dní, ale jednou za čtyři roky je o jeden den delší a má 366 dní. Přidává se 29. února a to vždy, když je letopočet našeho kalendáře dělitelný čtyřmi. Pokud je letopočet dělitelný 100,

¹⁵Slovo kulminace znamená „vrcholit“, protože latinsky *culmen* je vrchol. V době horní kulminace objekt vrcholí, má na obloze maximální úhlovou výšku (nad vodorovnou rovinou). Naopak v době dolní kulminace má objekt nejmenší úhlovou výšku, někdy i zápornou, takže může být pod obzorem a nemusí být v tom okamžiku pozorovatelný.

¹⁶Jarní bod je určen průsečnicí roviny ekliptiky a roviny světového rovníku. V důsledku precese se zvolna posouvá. Hvězdný den je tak kratší o 0,009 s než doba otočky Země o 360° (měřeno vůči hvězdám), což odpovídá právě hodnotě denního posunu jarního bodu.

je přestupným jen pokud je dělitelný také 400. To znamená, že rok 2000 přestupný byl, ale rok 2100 přestupný nebude. A proč to všechno? Jde o snahu, co nejvíce se přiblížit délce tzv. **tropického roku**¹⁷, což je doba mezi dvěma po sobě následujícími průchody pravého Slunce, přesněji středu jeho disku, jarním bodem. Jeho délka je zhruba 365,242 2 dne středního slunečního času. Jenže nic není tak jednoduché, jak na první pohled vypadá. Délka tropického roku je vztažena k jarnímu bodu, ale jeho poloha se zvolna mění v důsledku precesního pohybu. Za rok se jarní bod posune o 50,26'' po ekliptice proti pohybu Slunce na hvězdné obloze. Pak bychom měli k délce tropického roku vždy připojit údaj, k jakému datu je hodnota vztažena. Střední tropický rok k 1. lednu 2000 byl například 365,242 189 7 dní nebo 365 dní 5 hodin 48 minut 45,19 sekund. Pro běžný život stačí použít přibližnou aproximaci. Průměrnou délku tropického roku lze vyjádřit jako $146\,097/400 = 365 + 97/400 = 365,242\,5$ dní (Seidelmann, 1992, str. 576-581).

Podobně jako jsme vztahovali dobu otočení Země kolem své osy vůči hvězdám, můžeme totéž udělat i při sledování oběhu Země kolem Slunce. Dobu, za kterou se Slunce vrátí do téhož směru na hvězdné obloze, respektive k téže hvězdě na ekliptice, označujeme jako **hvězdný rok**. Oproti tropickému roku je o 20 minut delší a zejména není ovlivněn precesí.

Většina lidí používá při výpočtech jako délku roku 365,25 dne a netuší, že vlastně používají *střední juliánský rok*, který definovala Mezinárodní astronomická unie: $1 a_j = 365,25$ dne, tedy $3,155\,76 \cdot 10^7$ s.

Astronomie řešila ještě jiný úkol. Jak počítat čas za delší období? Jak jednoznačně určit, kdy k nějaké události v minulosti došlo? Jak si řekneme v závěru kapitoly, existuje i řada kalendářů. Různé země měly v minulosti jiný systém počítání let a dní v kalendáři. Jak tedy zajistit, aby každá událost (z našeho pohledu zejména každé pozorování) bylo opatřeno správnou časovou značkou? Řešení je celkem snadné, ale historie řešení je spletitá.

V roce 1583, rok po zásadní reformě kalendáře provedené Řehořem XIII., popsal francouzský učenec Joseph Justus Scaliger velký časový cyklus o délce 7980 let. S jeho pomocí chtěl popsat veškeré historické události, a proto šel do minulosti před všechny známé, popsané události a počátek pro počítání dní ve svém datování stanovil na 1. ledna roku 4713 př.n.l. 12 hodin v Alexandrii. Od toho dne se tedy v rámci tzv. juliánského¹⁸ datování počítají průběžně jednotlivé dny. K poledni 23. února 2023 jich bylo už 2 460 000. Scaligerovy myšlenky se chopil John Herschel a roku 1849 navrhl využití juliánského datování v astronomii (Herschel, 1849). V roce 1884 se po zavedení nultého světového časového standardu posunul začátek astronomického dne v juliánském datování na poledne v Greenwichi. Prvním, kdo skutečně využil juliánské datování v astronomické praxi, byl Edward Pickering (1890). Dnes se s tímto vyjádřením času setkáte prakticky v každém astronomickém článku. Algoritmy pro převody občanského data v našem kalendáři na juliánské a naopak je možné najít například v Seidelmann

¹⁷Označení *tropický* se zde nevztahuje k horkým oblastem kolem rovníku. Přívlastek má původ v řeckém slově *tropos*, což znamená obrat. Obratníky Raka a Kozoroha vymezují nejsevernější a nejjižnější oblast, ve které Slunce dosáhne při svém pohybu nadhlavníku.

¹⁸O označení „juliánský“ se vedou spory. Často se traduje, že je to podle jména jeho otce, ale sám Scaliger přímo píše: „Julianum vocauimus: quia ad annum Julianum dumtaxat accomodata est“, což můžeme volně přeložit jako „označujeme juliánská, protože vyhovuje juliánskému roku“, tedy roku z juliánského kalendáře Julia Ceasara.

(1992). Pro výpočet juliánského data z občanského se hojně využívá algoritmu z krátké práce Fliegel & van Flinders (1968). Poznamenejme, že na zlomky dne se převedou také údaje o hodinách, minutách, případně sekundách. Pro zajímavost 1. ledna 2025 0 hodin světového času lze zapsat jako $JD = 2\,460\,676.5$.

3.4 Kalendáře

O astronomických cyklech, na jejichž základě je založeno počítání času, jsme již psali. Jenže, jak vlastně počítat dny, týdny, měsíce, roky? Systém počítání času v jednotkách dnů a delších, tedy **kalendář**, je vlastně jedním z nejstarších vynálezů lidstva. Potřeba počítat a zaznamenávat čas je člověku vlastní. Za kalendář lze považovat i stěny cely, na které třeba vězeň Edmond Dantès, budoucí hrabě Monte Christo, den za dnem přidával další čárku. Nám ale půjde přece jen o propracovanější systémy, kalendáře. Každý kalendář je určen počátkem počítání let v dané soustavě, délkou roku, stanovením začátku roku a členěním roku na kratší období a určení jejich začátků. Jeden rok vychází z délky oběhu Země kolem Slunce, kratší jednotky jako týden nebo měsíc jsou odvozeny z pohybu Měsíce a jeho fází a konečně nejkratší jednotka jeden den je, jak víme, dána délkou otočky Země kolem své osy. Týden a měsíc známe z našeho kalendáře, ale v jiných kalendářních systémech se vyskytovaly i cykly jiných délek.

Náš v současnosti používaný kalendář má svůj původ ve starověkém Římu. Počátek římského kalendáře spadl v dnešním počítání do roku 753 před naším letopočtem, kdy byl založen Řím. Roku 46 př.n.l. vydal císař Gaius Julius Caesar dekret, kterým ustanovil délku roku 365,25 dne a změnil délku a názvy některých měsíců. Nový kalendář se začal uplatňovat od následujícího roku (45 př.n.l.), proto je někdy uváděn v souvislosti s juliánským kalendářem tento rok. Každý čtvrtý rok, když je letopočet dělitelný čtyřmi, se stal rokem přestupným. O takřka šest století později se římský kněz skythského původu Dionysius Exiguus domníval, že historicky mnohem významnější událostí bylo narození Ježíše Krista a tak se pokusil stanovit datum jeho narození a k tomuto roku pak vztahovat počítání let v letopočtu. Jeho návrh na údobí „Anno Domini“ (česky Léta Páně) se ale začal rozšiřovat až zhruba v polovině 8. století a používá se dodnes. Dnes víme, že se Dionysius Exiguus dopustil několika zásadních chyb a Ježíš Kristus se zřejmě narodil o několik let dříve, než vypočetl. V běžném životě označujeme roky po domnělém narození Krista jako roky našeho letopočtu, roky před ním jako před naším letopočtem (př.n.l.). Angličané používají pro roky před naším letopočtem jednodušší zkratku BC (before Christ), tedy před Kristem. Pokud ale popisují samotné narození Ježíše Krista, dostanou se do nesnází. Tvrzení, že Ježíš Kristus se narodil v roce 4 BC (před Kristem), působí opravdu zvláště.

Z čistě matematického hlediska chybí na výše popsané časové škále rok 0. Datum „1. 1. roku nula“ neexistuje. Prvním dnem prvního tisíciletí byl 1. leden roku 1. Z toho vyplývá, že na vášnivou debatu, vedenou před několika lety, kdy začíná 21. století, je jednoduchá odpověď. Až 1. 1. 2001. Přechod na rok 2000 byl sice pěkný, magický, ale nic víc. Dalším důsledkem matematického počítání let do minulosti je ovšem také to, že roky před naším letopočtem, vyjádřené matematiky, budou o jednotku menší. Rok 46 př.n.l. byl rokem -45!

Vraťme se ale ještě k délce roku juliánského kalendáře. Julius Caesar ji stanovil na

365,25 dne, ale odchylka od skutečné délky tropického roku způsobila, že v 16. století už rozdíl mezi kalendářem a skutečností (slunovraty a rovnodennostmi) a na ně navázanými svátky narostl na deset dnů. Proto přistoupil papež Řehoř XIII. roku 1582 k reformě juliánského kalendáře a upravil systém přestupných roků tak, že z roků dělitelných stem jsou přestupné jen roky dělitelné 400, zatím se tedy jednalo o roky 1600 a 2000. Průměrná délka gregoriánského roku se reformou dostala na hodnotu 365,2425 dne, takže je jen o 26 s delší než tropický rok. Gregoriánská reforma ale provedla také okamžitou nápravu stavu a tak po 4. říjnu 1582 následoval hned 15. říjen 1582. Ani gregoriánská reforma nebyla přijata okamžitě po jejím vyhlášení.¹⁹ V českých zemích byl gregoriánský kalendář přijat roku 1584. Rudolf II. tehdy nařídil, aby po 6. lednu bezprostředně následoval 17. leden. Na Moravě byl nový kalendář přijat na podzim roku 1584 a na Slovensku o tři roky později. Ale například v Dánsku nebo na severu Německa gregoriánský kalendář akceptovali až k roku 1700, konzervativní Anglie teprve roku 1752 a v Rusku byl přijat až roku 1918²⁰ (Horský et al., 1988, str. 157).

Přestože se celosvětově používá gregoriánský kalendář, můžete se setkat i s řadou dalších kalendářů, historicky významných nebo důležitých například pro určitá náboženství. V některých státech je dokonce náboženský kalendář součástí státního práva. Jeden z nejstarších kalendářů je *egyptský kalendář*. Vznikl přibližně ve 4. tisíciletí před naším letopočtem. Roky se ale nečíslovaly průběžně, nýbrž od začátku vlády panujícího faraona. Jeho vznik byl zpočátku vynucen zemědělstvím, stanovením období záplav pomocí heliaktického východu Síria. Později byl vylepšován zejména kvůli účetnictví a daňové evidenci. Roku 266 př.n.l. zavedl Ptolemaios III. přestupné roky. Přestože přímo v Egyptě se tato reforma příliš neujala, později se stala inspirací pro juliánský kalendář.

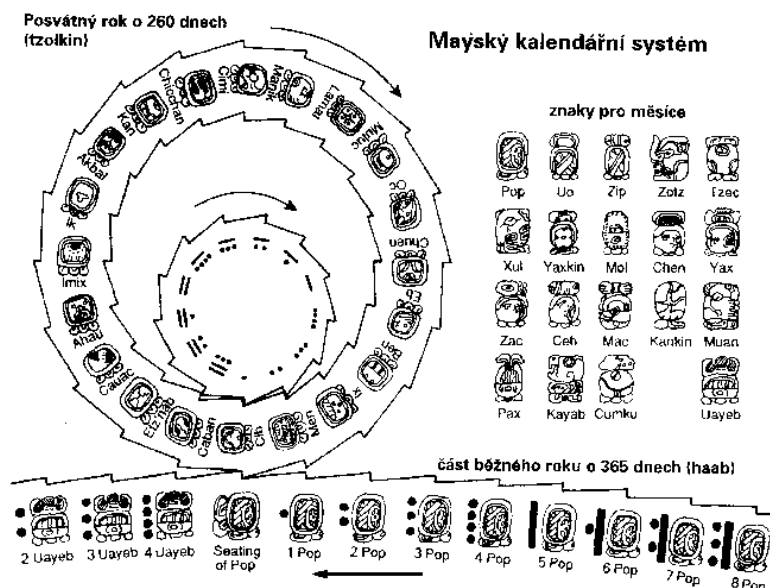
Řecký kalendář měl počátek stanovený na první den prvních olympijských her, v gregoriánském kalendáři 8. července roku 776 př.n.l. Termín „olympiáda“ znamenal tehdy čtyřleté období mezi hrami. Řecký měsíc se členil na tři dekády a den začínal východem Slunce.

V roce 2012 se často mluvilo o *mayském kalendáři* a jeho předpovědi konce světa v prosinci tohoto roku. Mayský kalendář je velmi složitý a propracovaný systém různých cyklů. Nejdelší z nich tzv. alautun má délku 63 081 429 let! Počátek mayského kalendáře spadá do roku 3114 př.n.l. Problémem je, že přesné „nasazení“ schématu mayského kalendáře na historické události je docela obtížné a tak vysvětlujících teorií najdete téměř dvě stovky. Jeden z posledních příspěvků pochází i z české kotliny. Amatérští badatelé V. a B. Böhmovi (2004) odhalili v mayských zápisech záznamy astronomických událostí a s pomocí odborníků z Astronomického ústavu AV ČR následně dokázali mayský kalendář správně interpretovat (Klokočník et al., 2008). V roce 2012 jak víme konec světa nenastal. Jen skončil jeden dlouhý cyklus v mayském kalendáři a začal cyklus nový.

Židovský kalendář se odkazuje na bibli. Počátek kalendáře odpovídá stvoření světa,

¹⁹Podrobný přehled zavádění reformy kalendáře lze najít na <https://kalendar.beda.cz/data-prijeti-gregorianskeho-kalendare-v-ruznych-zemich> nebo <https://www.tondering.dk/clauss/cal/gregorian.php#country>.

²⁰Pozdní přijetí gregoriánské reformy také stojí za zdánlivou chybou, díky níž je ruská komunistická revoluce ze 7. listopadu 1917 označována jako Velká říjnová socialistická revoluce. Mimochodem ruská pravoslavná církev gregoriánskou reformu dosud nepřijala a tak se pravoslavné Vánoce začínají slavit až 6. – 7. ledna.



Obrázek 3.8: Každý den v roce má v mayském kalendáři své jméno složené z několika částí. Jméno pro konkrétní den lze vytvořit pomocí do sebe zapadajících ozubených kol. Každý zub každého kola nese určitou část budoucího jména dne. Převzato z http://vesmir.msu.cas.cz/Pavel/mayove_cisla.html.

k němuž mělo podle bible dojít 7. října roku 3671 př.n.l. Tento letopočet se ale objevil až ve středověku. V současné podobě je kalendář zhruba od 10. století. Rok má 12 měsíců, které mohou mít 29 nebo 30 dní. Rok tak může mít 353 až 355 dní. Sedm dní tvoří týden. V něm má pouze sedmý den samostatné jméno, „šabat“²¹. Zajímavé je i rozdělení dne. Den začíná západem Slunce a dělí se na hodiny, jejichž délka je určována jako dvanáctina denní nebo noční části dne.

Nejmladším kalendářem z našeho stručného přehledu je *kalendář islámský*. Jedná se o čistě měsíční (lunární) kalendář. Zavedl jej chalífa²² Umar roku 637. Za počátek kalendáře zvolil tzv. hidžru, tedy přesídlení proroka Mohameda z Mekky do Medíny v létě roku 622. Rok v muslimském kalendáři trvá 354 dní a má 12 měsíců.

Použitá a doplňující literatura

- Bloom, B. J., Nicholson, T. L., Williams, J. R., et al. 2014, *Nature*, 506, 71
 Böhm, V., Böhm, B. 2004, *Vesmír* 83, říjen 2004, 568 - 573
 Brosche, P., Sündermann, J., eds., 1990, *Earth's rotation from eons to days : proceedings of a workshop held at the Centre for Interdisciplinary Research (ZiF) of the University of Bielefeld, FRG, September 26–30, 1988*. Berlin: Springer-Verlag.
 Brož, M., Nosek, M., Trebichavský, J., Pecinová D., 2005, *Sluneční hodiny na pevných stanovištích*, Praha: Academia

²¹Ze slova „šabat“ je odvozeno české označení „sobota“.

²²Chalífa, kalif byl nejvyšším islámským duchovním (imámem) a do poloviny 13. století i světským vládcem.

- Cowan, H. J., 1958, *Time and Its Measurement: From the stone age to the nuclear age.* Ohio: The World Publishing Company, str. 58
- Essen, L., & Parry, J. V. L. 1955, *Nature*, 176, 280
- Fliegel, H. F., van Flandern, T. C. 1968, *Communicat. of the ACM*, Vol. 11 No. 10, 657
- Guth V., Link, F., Mohr, J.M., Šternberk, B., 1954, *Astronomie I*, Praha, Nakladatelství ČSAV
- Herschel, J. F. W., Sir 1849, London, Printed for Longman, Brown, Green, and Longmans
- Horský, Z., Mikulášek, Z., & Pokorný, Z. 1988, Praha: Svoboda, 1988. Vyd. 1.
- Kleczek, J. 2002, *Velká encyklopedie vesmíru*, Academia Praha, 582 str.
- Klokočník, J., Kostecký, J., Böhm, V., et al. 2008, *Astron. Nachrichten*, 329, 426
- McCarthy, D. D., & Seidelmann, P. K. 2009, *Time: From Earth Rotation to Atomic Physics*, Wiley, ISBN: 978-3-527-40780-4.
- Michal, S., 1980, *Hodiny*. Praha: SNTL 1980
- Pickering, E. C. 1890, *Annals of Harvard College Observatory*, 18, 285 (Appendix)
- Pokorný, Z., 2006, *Vademecum – Váš průvodce vesmírem*, Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně
- Seidelmann, P. K. 1992, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, by P. Kenneth Seidelmann. University Science Books, ISBN 0-935702-68-7, 752 str.
- Tiesinga, E., Mohr, P.J., Newell, D.B., Taylor, B.N. 2021, *Rev. Mod. Phys.* 93, 025010

4 Vesmír kolem nás

Člověk od útlého věku, dětství prozkoumává svět, v němž žije. Začíná v nejbližším okolí a své výpravy za poznáním stále prodlužuje. Podobně budeme postupovat i my v poznávání vesmírného světa. Začneme od našeho nejbližšího kosmického souseda, Měsíce, přes naši „vesnici“ Sluneční soustavu až po vzdálené končiny vesmíru. Jeden velký rozdíl tu ale přece jen je. Nebudeme ta místa navštěvovat fyzicky, ale budeme je pozorovat z uctivé vzdálenosti, jak je můžeme sledovat na pozemské obloze.

4.1 Abychom si rozuměli

Možná vás překvapí otázka, co je to obloha? To slovo známe od dětství, ale lze ho nějak definovat? Při slovech podívej se na oblohu, intuitivně zvedneme hlavu vzhůru. Jenže co to ta obloha vlastně je? Prostor? Kam až sahá? Čím je vymezen?

Pro následující řádky se z nás stane pozorovatel. Sledujeme-li okolí kolem sebe, náš zrak se vždy alespoň na chvíli zaměří na jistou věc z okolí. Mezi našima očima a sledovaným objektem je vytvořena pomyslná spojnice. Polopřímku vycházející od nás, chcete-li z našich očí k sledovanému objektu nazveme **směrem**. Naši velikost, natož vzdálenost mezi očima můžeme v této chvíli zanedbat. Pozorovatele lze považovat za jediný bod, který je skutečně počátkem polopřímek, směrů. Tyto polopřímky (směry) mohou mířit do okolní krajiny nebo nad ni. Krajinu, která nás obklopuje, kterou obhlížíme, obzíráme, nazveme **obzorem**. Do našeho obzoru patří nejen přírodní výtvořky v našem okolí – kopce, hory, údolí, ale samozřejmě také lidské výtvořky a to nejen ty trvalejší jako stavby, budovy, ale i ty, které se tam nacházejí v dané chvíli jako auta nebo třeba osoby v našem okolí. To vše tedy v našem pojetí tvoří obzor.

Dříve se často uvádělo, že obzor je jakási pomyslná čára, kdesi v dálce, kde se země „setkává“ s oblohou, případně, že obzor odpovídá vodorovné rovině v místě pozorovatele. Ani jedno vyjádření však není správné. Posuďte například situaci pozorovatele, který sleduje východ Slunce z vrcholu hory, vysoké rozhledny nebo třeba ze střechy mrakodrapu. Při pozorování z vrcholu je Slunce při východu pod vodorovnou rovinou. Při pozorování z přízemí mrakodrapu nebo úpatí hory je Slunce při východu zhruba na vodorovné rovině a pokud budeme pozorovat východ Slunce nad obzor z údolí, může být Slunce dokonce i poměrně vysoko nad vodorovnou rovinou. Možná si vzpomenete na situaci, že jedete ráno v době východu Slunce kopcovitou krajinou a Slunce vám během cesty několikrát vyjde nad obzor, podle toho, jakou částí krajiny zrovna projíždíte.

Když stojíme na pozorovacím stanovišti, obhlížíme krajinu kolem sebe a tím vymezujeme svůj obzor. Když náš zrak zamíří směrem nad okolní krajinu, zamíří na **oblohu**. Oblohu tedy můžeme definovat jako množinu všech směrů mířících nad obzor.

Na obloze můžeme pozorovat spoustu úkazů, jevů a nejrůznějších těles – východy a západy Slunce, Měsíce, planet, hvězd, občas nějakou kometu, ale nejen to. Na obloze spatříme také mraky, ptáky, letadla, balóny. Samozřejmě můžete přidat i exotické jevy nebo tělesa jako polární záři, meteorický roj nebo UFO¹. Astronomové jsou většinou spo-

¹Pozor, o létající talíře se nejedná! UFO znamená „Unidentified Flying Object“, prostě něco, co ve chvíli pozorování nedokážete určit nebo vysvětlit. Za nějaký čas se pak může ukázat, že vaše UFO byl například meteorologický balón nasvícený Sluncem a podobně. Pěkný přehled, co vše může být UFO



Obrázek 4.1: Obloha s objekty pozemskými (letadlo, mraky) i kosmickými (Měsíc, Venuše, Jupiter). Foto: Michael Wilson. <http://apod.nasa.gov/apod/ap050913.html>.

jování s pozorováním noční oblohy. Když se počasí vydaří, neruší vás světelné znečištění, jste někde daleko od civilizace, pak máte nad sebou za temné bezměsíčné noci samotvě černou oblohu doslova posetou hvězdami. Je to opravdu nádherný, povznášející pohled. Obloha plná hvězd! Řeknete si, hvězdná obloha je nádherná! Ale pozor – vždyť vy v té chvíli hodnotíte něco, z čeho vidíte jen zhruba polovinu! Co když ta druhá část bude mnohem zajímavější, s větším počtem hvězd... Na hvězdy, na okolní vesmír se díváme z povrchu mateřské planety Země. Protože Země není průhledná, pozorovatel na zemském povrchu je vždy omezen okolní krajinou, obzorem. Je to stejná situace, jako byste se posadili k oknu vyhlídkové restaurace, která se pomalu otáčí ve vrcholu nějaké věže. Váš výhled na město bude omezen tím oknem, kterým se díváte, ale postupně, jak se bude restaurace otáčet, si prohlédnete město celé. Tím pomyslným restauračním oknem do vesmíru je teď naše obloha. Na ní postupně během noci defilují různé hvězdy, různé části hvězdné oblohy, jak se Země otáčí kolem své osy. **Hvězdná obloha** tedy pro nás bude ta vzdálená „kulisa“ hvězd, na niž se promítají například planety Sluneční soustavy, Měsíc nebo i naše Slunce. Rozlišovat oba pojmy je opravdu nezbytné. Nejde jen o hru se slovíčky. Jde přece o různé vztažné soustavy – zatímco jedna je vztažena k našemu pozorovacímu stanovišti na povrchu rotující a pohybující se Země, druhá je vztažena ke vzdáleným hvězdám! Je tedy zřejmé, že rozdílný bude nejen popis polohy objektů, ale i popis jejich pohybu. Kosmická tělesa se jinak pohybují na obloze a jinak na hvězdné obloze! Hvězdy na hvězdné obloze se během jednoho dne nepohnou, ale na obloze mohou vycházet, vrcholit a zapadat nebo opisovat kružnice kolem Polárky. Slunce se na obloze během dne pohybuje od východního obzoru k západnímu a na stejné místo oblohy se dostane přibližně za jeden den. Na hvězdné obloze se ale Slunce pohybuje zcela jinak – jeho pohyb vůči vzdálené kulise hvězd vzniká projekcí ze Země, která Slunce obíhá. Takže za jeden den Slunce urazí na hvězdné obloze jen přibližně jeden stupeň

a na stejné místo na hvězdné obloze se dostane za jeden rok! A podobné rozdíly bychom mohli uvést i u Měsíce nebo planet. V řadě knih je pohyb vesmírných objektů po obloze označován jako zdánlivý. Takové označení je však velmi zavádějící a nesprávné! Nejde o pohyb zdánlivý, ale pozorovaný. Ten pohyb je přece běžně pozorován, dokumentován, můžete si jej nafilmovat, nafotit, o žádný klam nebo zdání nejde.



Obrázek 4.2: Pohyb Měsíce na obloze a hvězdné obloze. Připraveno s užitím programu Stellarium <https://stellarium.org/cs/>.

4.2 Vesmírní sousedé na obloze

Na obloze nad námi můžeme pozorovat nejen hvězdy, ale i jiné astronomické objekty a nejen v noci. Podívejme se nyní na objekty našeho kosmického okolí, objekty z naší Sluneční soustavy. Jsou podstatně menší než většina objektů ze světa hvězd, ale z hlediska astronomických vzdáleností jsou velmi blízko. Řadu těchto objektů je možné spatřit i pouhýmá očima, bez dalekohledu. Nejjasnější objekty – Slunce a Měsíc – jsou zřejmé, ale přidejme ještě některé planety, komety nebo meteory. V dalekohledech pak spatříme i zbylé planety, planetky, trpasličí planety, měsíce planet a další.

Zdálo by se, že třeba Slunce a Měsíc není třeba představovat, vždyť je vidáme od mala, učíme se o nich od nejnižších ročníků základní školy. Bohužel praxe ukazuje, že znalosti pohybů Měsíce kolem Země, Země kolem Slunce a jejich důsledků jsou docela žalostné. Následující kapitola je malým příspěvkem ke zlepšení situace.

4.2.1 Slunce

Význam Slunce si lidé uvědomovali už v dávné minulosti, kdy jej uctívali jako boha mocného, životadárného, ale též zkázonosného, spalujícího vše živé nemilosrdným žářem. V dnešní době lidé „shodili“ Slunce z onoho božského piedestalu, ale o jeho významu nikdo ani dnes nepochybuje.

Z pohledu astronoma je Slunce centrálním tělesem naší Sluneční soustavy, naší mateřskou hvězdou. Slunce je tedy hvězda². Rozhodně to není běžná tuctová hvězda, jak se nám občas snaží namluvit některé populární publikace. Porovnáme-li Slunce se stovkou nejjasnějších hvězd naší oblohy, pak jen jediná má menší zářivý výkon než naše Slunce. Tady se Slunce krčí na pomyslném chvostu pořadí a znamenalo by to, že je málo zářivou hvězdou. Ale zkusme nyní změnit kritéria a vyberme stovku nejbližších hvězd. Slunce se zařadí do první desítky. Jen sedm hvězd má v tomto výběru větší zářivý výkon. Rozšíříme-li náš výběr na rovnou tisícovku nejbližších hvězd, bude jen čtyřicet hvězd hmotnějších a zářivějších než Slunce. Takže z toho by zase vyplývalo, že Slunce je hvězdou velmi zářivou. Ani v jednom výběru nebylo Slunce blízko průměru.

Srovnáním mnohem většího vzorku hvězd naší Galaxie dospějeme k závěru, že Slunce je hvězdou nadprůměrně hmotnou a nadprůměrně zářivou. Konec konců, podívejte se sami. Srovnání základních parametrů Slunce a typické, průměrné hvězdy naší Galaxie, tzv. červeného trpaslíka, ukazuje tabulka 4.1. Náš předchozí příklad je ale velmi důležitý i z jiného hlediska. V astronomii hrají významnou roli výběrové efekty, které leckdy mohou zcela zastřít pravý stav věcí. Při posuzování nejrůznějších astronomických jevů ve vesmíru je tedy třeba mít se na pozoru.

Tabulka 4.1: Srovnání parametrů Slunce a průměrné hvězdy naší Galaxie.

Parametry	Slunce (nominální hodnoty)	„typická“ hvězda
poloměr R	$1 \mathcal{R}_{\odot} = 6,957 \cdot 10^8 \text{ m}$	$1/5 \mathcal{R}_{\odot}^N$
hmotnost M	$1 M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	$1/6 M_{\odot}$
zářivý výkon L	$1 \mathcal{L}_{\odot}^N = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$	$1/250 \mathcal{L}_{\odot}^N$

Poznámka: Hodnota $1 M_{\odot}$ vychází z nominální hodnoty součinu gravitační konstanty a hmotnosti $1 \mathcal{G}\mathcal{M}_{\odot}^N = 1,3271244 \cdot 10^{20} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$ (dle rezoluce B3 Mezinárodní astronomické unie IAU, <https://iau.org/static/resolutions/IAU2015-English.pdf>).

Vraťme se ke Slunci. Naše hvězda je podle hmotnosti jednotlivých prvků složena zhruba ze 73 % z vodíku a z 25 % z hélia. Zbytek připadá na těžší prvky. Povrchová teplota činí přibližně 5 770 K. Z velikosti Slunce a jeho povrchové teploty pak vyplývá i celkový zářivý výkon Slunce, tedy množství energie vyzářené do okolního prostoru za jednu sekundu $3,84 \cdot 10^{26} \text{ J}$. Jen pro představu, celosvětová produkce energie na Zemi za celý předcovidový rok 2018 byla $1,42 \cdot 10^{21} \text{ J}$ (IEA, 2019)^{3,4}, takže pozemská produkce energie za 1 sekundu je o 13 řádů menší než produkce energie na Slunci!

²Pozor na jednoduchou ale docela záludnou otázku, která se čas od času vyskytuje v některých kvízích: Která je k Zemi nejbližší hvězda? Lidé buď nevědí nebo chybně odpovídají Proxima Centauri. Na Slunce nevzpomenou a přitom je zná každý!

³Aktuální data zveřejňuje International Energy Agency (IEA) každoročně jako Key World Energy Statistics na webu <https://www.iea.org/>.

⁴Srovnáme-li produkci sluneční energie s pozemskými úkazy, jasně se ukazuje, jak mohutným zdro-

Známe-li vzdálenost a velikost našeho Slunce, snadno spočítáme úhlový průměr Slunce. Na obloze můžeme Slunce pozorovat jako zářivý, k okrajům ztemnělý kotouč, o úhlovém průměru $0,5^\circ$. Jen zcela výjimečně lze na slunečním disku pozorovat i pouhýma očima tmavé flíčky, tzv. **sluneční skvrny** a s jejich pomocí i sledovat, jak se Slunce otáčí kolem své osy jednou za zhruba 25 dní⁵. Při pozorování Slunce je však nutné dodržovat striktní bezpečnostní pravidla. I letmý pohled přímo na Slunce pouhýma očima bez dalekohledu během dne je při jasné obloze velmi nepříjemný. Je třeba oči chránit. A zejména je třeba dávat pozor při pozorování Slunce dalekohledem. Bez řádného slunečního filtru by při přímém pozorování dalekohledem mohlo dojít k vážnému poškození zraku! Rozhodně nedejte na radu jisté léčitelky, která doporučuje civět do Slunce co nejdéle, abyste údajně prostřednictvím fotonů pronikajících okem do mozku vyléčili všechny vaše neduhy. Výsledkem takové léčebné procedury může být jediné to, že vám jeden neduh (poškození očí) přibude.

4.2.1.1 Slunce na obloze

Zaměříme se nyní zejména na to, kde vlastně můžeme Slunce na obloze pozorovat. Dráha a výskyt Slunce na obloze bude samozřejmě záviset na poloze našeho pozorovacího stanoviště. Začneme v České republice na $50.$ stupni severní zeměpisné šířky. Situace by tedy měla být jasná. Vždyť přece Slunce sledujeme jaksí mimochodem už mnoho let, od chvíle, kdy jsme začali jako malé děti vnímat okolní svět. Víme třeba, že v zimě je vidět jen krátce a poměrně nízko nad krajinou. Ale jak vysoko? A jak dlouho je nad obzorem?

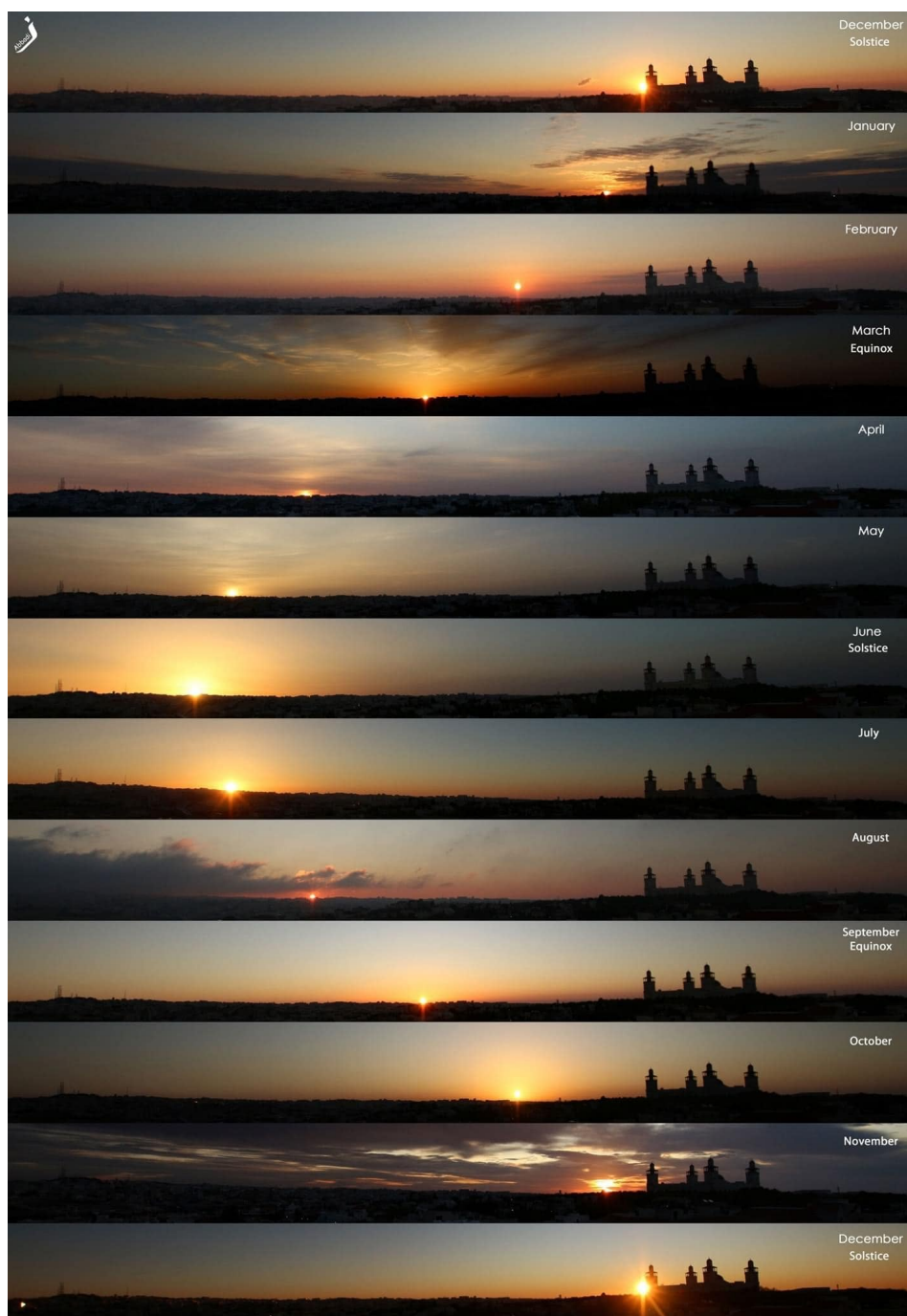
Odpovědi na tyto otázky se sice učí děti už na základní škole, ale zkušenosti bohužel ukazují, že mohou být problematické i pro vysokoškoláky. Zkusme si tedy připomenout možná kdesi zapadlé učivo a propojit je s poznatky každodenního života. Nemusíme řešit složité úlohy, počítat sluneční hodiny a podobně. Co třeba takový vysloveně letní „problém“. Chci umístit na pláži lehátko do stínu pod slunečnák tak, abych ho nemusel často posouvat. Potřebuji vlastně „jen“ vědět, že na severní polokouli se Slunce posouvá po obloze zleva doprava. Pak mohu odhadnout směr a velikost stínu třeba za hodinu, za dvě.

Po létu a letních prázdninách přichází v září školní rok. Začneme tedy popis pohybu Slunce na obloze v tomto měsíci. 22. nebo 23. září nastává podzimní rovnodennost. Okamžikem podzimní rovnodennosti se myslí chvíle, kdy se Slunce nachází v podzimním bodě⁶. Tento okamžik se samozřejmě dá přesně spočítat, je běžně uváděn například v astronomické ročence jako astronomický začátek podzimu. V den rovnodennosti jsou bílý den a noc stejně dlouhé, rozdělí si shodně po 12 hodinách. Slunce vychází v 6 hodin ráno místního času východním směrem a zapadá večer v 18 hodin západním směrem. Ale pozor, některé publikace tvrdí, že vychází přesně na východě a zapadá přesně na západě.

jem energie Slunce je. Při průměrném výbuchu sopky je uvolněna energie $10^{15} - 10^{18}$ J. Při poslední kataklyzmatické události, dopadu meteoritu na Yucatánský poloostrov, který následně způsobil vymření dinosaurů před 65 miliony lety, se uvolnila energie řádově 10^{23} J.

⁵Uvedená doba rotace platí pouze pro rovníkové oblasti Slunce. Oblasti blízko slunečních pólů rotují pomaleji. Jedna otočka jim trvá až 36 dní. Slunce tedy nerotuje jako pevné těleso, ale mluvíme o tzv. diferenciální rotaci.

⁶Podzimní a jarní bod jsou opačné směry průsečnice roviny ekliptiky a roviny světového rovníku.



Obrázek 4.3: Východy Slunce v Ammánu (Jordánsko) v průběhu roku 2019; <https://apod.nasa.gov/apod/ap201221.html>. Foto: Zaid M. Al-Abbadi.

Je to ale možné? Kdybychom chtěli být opravdu přesní, pak by Slunce přesně na východě vycházelo jen v okamžiku rovnodennosti a zapadalo na západě opět jen v okamžiku rovnodennosti. Jde ale o okamžik, nikoli o celý den nebo jeho několikahodinový úsek. Takže pokud by ráno Slunce vycházelo v okamžiku podzimní rovnodennosti přesně na východě, večer bude sice zapadat západním směrem, ale ne přesně na západě. Místo západu Slunce se posune o kousíček směrem na jih od západního směru. V poledne

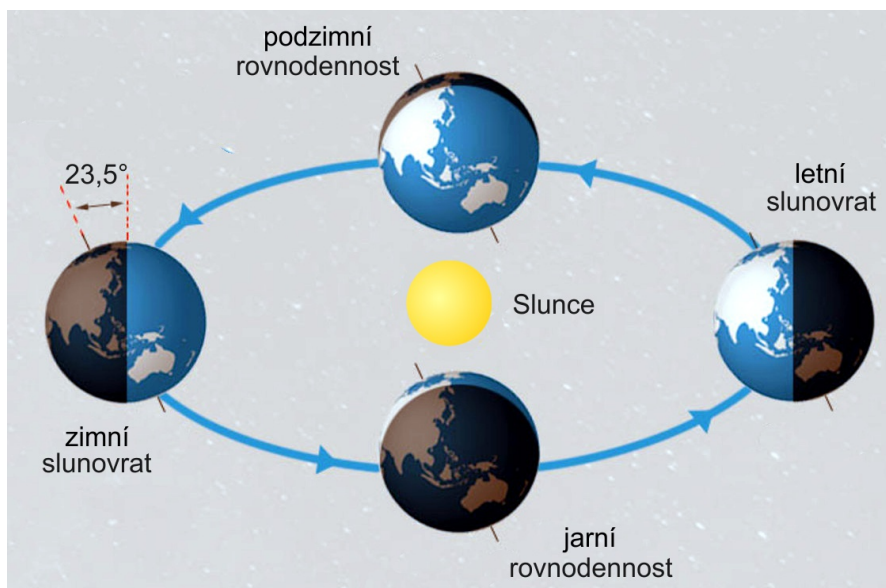
nalezneme na naší zeměpisné šířce Slunce jižním směrem na úhlové výšce zhruba 40° . Podobné je to také o jarní rovnodennosti, která nastává 20. nebo 21. března. Slunce také vychází v 6 hodin, zapadá v 18 hodin, takže noc a (bílý) den trvají po 12 hodinách a v poledne je Slunce asi 40° vysoko (nad vodorovnou rovinou).

O zimním slunovratu (21. prosince) je bílý den v našich končinách krátký. Trvá jen osm hodin. Vždyť Slunce vychází až v 8 hodin a zapadá zhruba v 16 hodin. Noc se nám naopak protáhne na 16 hodin. V poledne sice nalezneme Slunce jižním směrem ale bude mít úhlovou výšku jen asi 17° . Kde Slunce v ten den vychází a kde zapadne? K tomu nás dovede snadná úvaha: Slunce se přece po obloze pohybuje v průběhu roku zhruba stejně rychle. Tento pohyb Slunce po obloze je dán otáčením Země kolem své osy a ta nezávisí na ročním období. V zimě, resp. na astronomickém počátku zimy, je Slunce nad obzorem nebo přesněji nad vodorovnou rovinou jen krátce. To znamená, že pokud putuje oblohou přibližně stejnou rychlostí na jaře, v létě na podzim i v zimě, musí být její cesta po obloze v zimě kratší. Střed toho oblouku na obloze je směrem jižním. V zimě se od něj bod východu i bod západu Slunce příliš nevzdálí a Slunce bude vycházet na jihovýchodě a zapadat na jihozápadě. O půl roku později (21. června) v den letního slunovratu Slunce vystoupá v poledne až do úhlové výšky 63° . Je nad vodorovnou rovinou od rána od 4 hodin do 20 hodin večer, takže jeho pouť po obloze je dlouhá. Body východu a západu se vzdálí od jižního směru. Slunce bude vycházet na severovýchodě a zapadat na severozápadě.

Samozřejmě to vše, co jsme popsali, platí pro Českou republiku, pro území na 50. stupni severní zeměpisné šířky. Pokud se vydáme na daleké cesty severním nebo jižním směrem, pak se výše uvedené okolnosti změní. Při cestě jižním směrem až na rovník si především povšimneme, že přechod mezi dnem a nocí je mimořádně rychlý. Slunce se pohybuje po obloze téměř kolmo k obzoru, takže soumrakové jevy prakticky chybí. Překročíme-li rovník, ocitneme se ve zvláštním světě. Některé věci jsou tam obráceně. Nejen to, že se třeba v Jižní Africe, Austrálii nebo na Novém Zélandu jezdí vlevo. Ale během dne se tam za Sluncem otáčíme směrem doleva, zatímco u nás doma směrem doprava. Slunce je tam v poledne severním směrem a nejlepší svahy vinic jsou orientovány na slunný sever. Ještě dále na jih, na Antarktidě za 60. stupněm jižní zeměpisné šířky, Slunce neklesne hlouběji pod vodorovnou rovinu než 6° až 10° . Totéž platí i pro oblasti Arktidy za 60. stupněm severní zeměpisné šířky. V těchto oblastech dochází ke splynutí večerního soumraku s ranním svítáním. Nastávají tzv. bílé noci, kterými je proslavený například ruský Petrohrad. Pokud bychom se ještě více přiblížili k jižnímu nebo severnímu zeměpisnému pólu, mohli bychom si naplno užívat radostí a strastí nejdelšího bílého dne, případně noci na této planetě. Jistě tušíte, že se jedná o polární den, případně polární noc.

4.2.1.2 Slunce na hvězdné obloze

V předchozí části jsme prošli polohy Slunce na obloze během slunovratů a obou rovnodenností. Ale proč vlastně dochází ke střídání ročních období? Velmi častá odpověď, že jde o důsledek oběhu Země kolem Slunce, ale nestačí! I ve Sluneční soustavě nalezneme planety, které obíhají kolem Slunce a přesto na nich žádná roční období nejsou. Tou druhou, nezbytnou podmínkou je totiž sklon zemské osy k rovině oběhu Země kolem Slunce (viz obrázek 4.4).

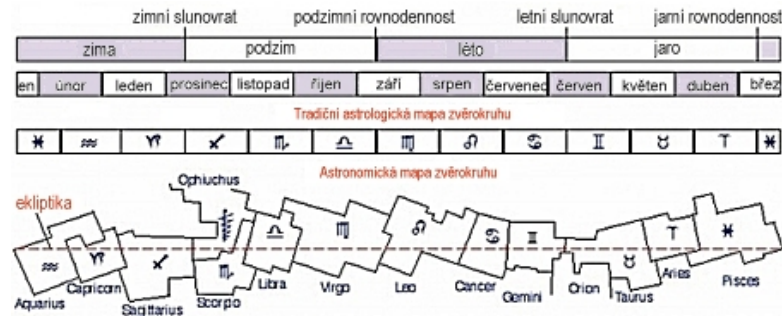


Obrázek 4.4: Strídání ročních období. Původní zdroj: <http://www.aldebaran.cz/>.

Pohyb Slunce po obloze je důsledkem toho, že okolní vesmír včetně Slunce sledujeme jakoby z kolotoče, z povrchu Země, která rotuje kolem své osy přibližně jednou za 24 hodin. Spojíme-li tedy pozorovací stanoviště (a tedy i vztažnou soustavu s rotující Zemí) bude se pak Slunce pohybovat po obloze zhruba rovnoměrnou rychlostí tak, že se za jeden den dostane přibližně na stejné místo oblohy. Například každé poledne bude tedy Slunce u nás na meridiánu jižním směrem.

Země ale vykonává, jak víme, i druhý pohyb – obíhá kolem Slunce. Budeme-li tento pohyb opět popisovat ve vztažné soustavě spojené se Zemí, tedy z pozice pozorovatele na Zemi, pak se bude projevovat pohybem Slunce vůči vzdáleným hvězdám, tedy pohybem Slunce na hvězdné obloze. Na stejné místo hvězdné oblohy se přitom Slunce dostane za jeden rok. Za jeden den se posune na hvězdné obloze jen o necelý jeden stupeň. Slunce při své pouti hvězdnou oblohou projde během roku třinácti souhvězdími. Ano, čtete dobře. Třinácti. Běžně se udává, že ekliptika prochází dvanácti souhvězdími zvířetníku, ale ekliptikálních souhvězdí je celkem třináct (viz obrázek 4.5). Slunce postupně prochází souhvězdími Beran, Býk, Blíženci, Rak, Lev, Panna, Váhy, Štír, Střelec, Kozoroh, Vodnář, Ryby. Tím třináctým souhvězdím je Hadonoš mezi Štírem a Střelcem. Nicméně Hadonoš se dostal do této společnosti až při definici dnešních podob souhvězdí a není proto zařazován mezi dvanáctku vyvolených zvířetníkových souhvězdí, která posloužila také pro vznik dvanácti tzv. znamení zvěrokruhu. Když se pozorně podíváte na obrázek 4.5 povšimnete si, že shodné značky souhvězdí a astrologických znamení jsou posunuty. Chyba to ale není. V důsledku precese zemské osy se jarní bod posouvá po ekliptice, takže se pomalu rozchází astronomická souhvězdí s astrologickými znameními. O 30°, jednu dvanáctinu kruhu a tedy jedno znamení, se jarní bod posune za zhruba dvě tisíciletí.

Svoje znamení, do kterého spadá datum narození, si asi každý pamatuje. Zda máte vlastnosti, které vám výklad astrologických znamení přisuzuje, ponechám laskavě na čtenáři samotném. Ale zkuste zapřemýšlet, zda v době, kdy slavíte narozeniny, je sou-



Obrázek 4.5: Mapa ekliptikálních souhvězdí ve srovnání s astrologickými znameními. Zdroj: Saint René Descartes University.

hvězdí odpovídající „vašemu“ znamení pozorovatelné. Doufám, že pokud to nevíte, jistě rychle odhalíte, že je to spíše naopak. O vašich narozeninách to „vaše“ souhvězdí vidět není. Pokud by neexistovala precese, právě v něm by totiž bylo o vašich narozeninách Slunce. Díky precesi je Slunce v sousedním souhvězdí, ale i tak to znamená, že na období nejlepšího pozorování toho „vašeho“ souhvězdí si musíte zhruba půl roku počkat.

4.2.2 Měsíc



Obrázek 4.6: Měsíc v úplňku nad obzorem. Zdroj: <http://www.nies.ch>.

Druhým nejjasnějším objektem oblohy po Slunci je náš Měsíc. Není ale vždy jen tím druhým, patří mu nejedno prvenství. Je to k nám nejbližší kosmické těleso. První a zatím jediné kosmické těleso (mimo Zemi samozřejmě), po němž se procházeli lidé. A tak bychom mohli pokračovat. Ale zkusme si našeho souseda nejdříve představit. Jeho střední vzdálenost od Země je 384 000 kilometrů. Průměr činí asi 3 500 km, což je zhruba čtvrtina průměru Země. Na pozemské obloze má úhlový průměr $0,5^\circ$. Jeho hmotnost je $7,349 \cdot 10^{22}$ kg (přibližně 1/81 hmotnosti Země).

Pro Zemi a život na ní má Měsíc zásadní význam. Jeho přítomnost dlouhodobě stabilizovala zemskou osu. Měsíc se převážnou měrou podílí na vzniku přílivu a odlivu moří. A právě tento pohyb vodních mas zřejmě v minulosti napomohl přechodu života z moří na souši. Měsíc je tedy jakýmsi katalyzátorem života na naší planetě. Kdybychom jej neměli, byla by jistě naše literatura významně ochuzena o všechna zejména básnická díla o Měsíci, Luně a jejím stříbřitém svitu. Lunární cyklus, ono střídání podob Měsíce dalo vzniknout lunárnímu kalendáři, a dokonce se mluví o vlivu na různé biologické cykly. Nejčastěji se v té souvislosti hovoří o menstruačním cyklu žen. Ale lze najít i další příklady závislosti na měsíčních fázích. Jedním z nich je červ Palolo zelený, který žije v korálových útesech teplého pásma Tichého oceánu. Ještě donedávna nebylo možné

jeho chování v souvislosti s Měsícem vysvětlit.⁷

Někteří lidé, ale vliv Měsíce přeceňují. Píší o vlivu Měsíce na počasí, růst hub nebo rostlin. Kam až může lidská hloupost zajít ukazuje kniha, kterou v roce 1996 v Německu vydali Johanna Paunggerová a Thomas Poppe. Stala se jedním z bestsellerů a vyšla již ve 20 jazycích, mimo jiné i česky pod názvem *Neznámá moc Luny*. Nakonec posuďte sami. V této a podobných knihách lze mimo jiné najít:

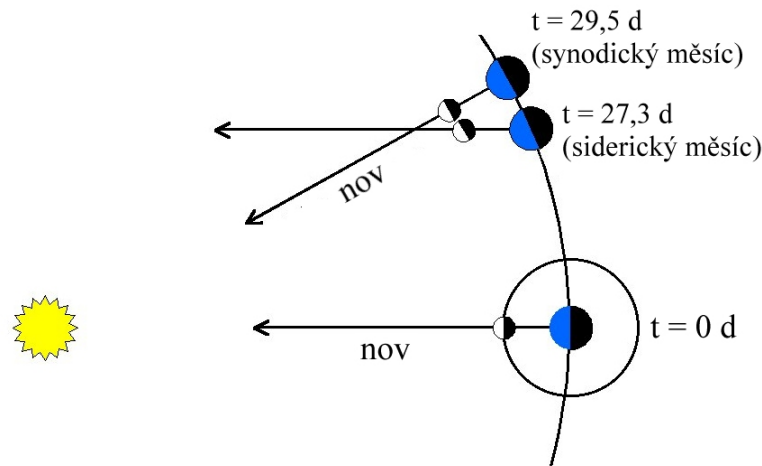
- *Obnažte svá řadra pod noční oblohou při přibývajícím Měsíci – podporuje to jejich růst.*
- *Posad'te se za úplňku holou zadnicí do čerstvě vyorané brázdy – zbavíte se tak hemoroidů.*

4.2.2.1 Siderický a synodický měsíc

Při stanovení délky jedné otočky Země kolem její osy, délky jednoho dne, je nutné uvést v jaké vztažné soustavě se vlastně pohybujeme, tedy vůči čemu to otáčení měříme. A stejné je to i s oběhem Měsíce kolem Země a jeho rotací. Pokud tento oběh vztáhneme ke hvězdám, hvězdné obloze, mluvíme o **siderickém (hvězdném) měsíci**. Jeho délka byla určena na přibližně 27 a jednu třetinu dne, přesněji na 27 dní 7 hodin 43 minut a 12 sekund. Za tu dobu se Měsíc dostane na stejné místo na hvězdné obloze. Jednoduchým výpočtem pak zjistíte, že to znamená posun Měsíce vůči hvězdnému pozadí o více než 13° za den, tedy více než půl stupně za hodinu. Ale $0,5^\circ$ je úhlový rozměr Měsíce, takže Měsíc se zhruba za hodinu posune o svůj úhlový průměr. Je-li poblíž Měsíce na obloze nějaká jasnější hvězda nebo více hvězd, určitě si jeho pohybu na hvězdné obloze v průběhu noci povšimnete. Je to i pěkná ukázka, proč je nutné rozlišovat pojmy *obloha* a *hvězdná obloha*. Zatímco na obloze budete v průběhu noci pozorovat, jak Měsíc putuje od východního obzoru přes jih až k obzoru západnímu, během téže noci můžete pozorovat, jak se posune „v protisměru“ na hvězdné obloze vůči vzdáleným hvězdám (viz obr. 4.2). Dokonce je někdy možné pozorovat jak Měsíc při tomto pohybu na hvězdné obloze některou z hvězd zakryje. Nastane zákryt hvězdy Měsícem. A pokud Měsíc prochází na hvězdné obloze třeba Plejádami nebo zakryje dokonce některou z planet Sluneční soustavy, je to opravdu pěkný zážitek.

Jenže délka kalendářního měsíce je spíše 30 nebo 31 dní a doba mezi dvěma po sobě následujícími úplňky je 29 a půl dne. Takže siderický měsíc je z tohoto pohledu krátký. Už v úvodu jsme ale upozorňovali na nutnost správné volby vztažné soustavy. Zatímco siderický měsíc je dán oběhem Měsíce vůči hvězdám, střídání fází Měsíce odpovídá tzv. **synodickému měsíci**, kdy pohyb Měsíce vztáhneme ke Slunci. Jeho délka je přibližně 29,5 dne, přesněji 29 dní 12 hodin 44 minut a 3 sekundy. Jde o dobu, za kterou se Země, Měsíc a Slunce dostanou do stejného vzájemného postavení, Měsíc bude ukazovat stejnou fázi. Synodický měsíc tedy vymezuje cyklus střídání měsíčních fází. A proč je delší než měsíc siderický? Za zhruba jeden měsíc se přece Země posune ve své dráze kolem Slunce.

⁷K rozmnožování červa Palolo dochází jednou za rok, ale pokaždé v den, kdy nastává listopadová poslední čtvrt. Při rozmnožování červi, respektive jejich části vyplavou v ohromném množství na hladinu moře. Obyvatelé souostroví Fidži, Banksových ostrovů, Vanuatu a dalších je sbírají a upravují na různé způsoby jako vzácnou lahůdku. Teprve nedávno se zjistilo, že tito červi jsou schopni rozlišit měsíční světlo v určité intenzitě od jiného světla a ragovat na něj.



Obrázek 4.7: Synodický a siderický měsíc. Zdroj: <http://www.astronomy.ohio-state.edu/>.

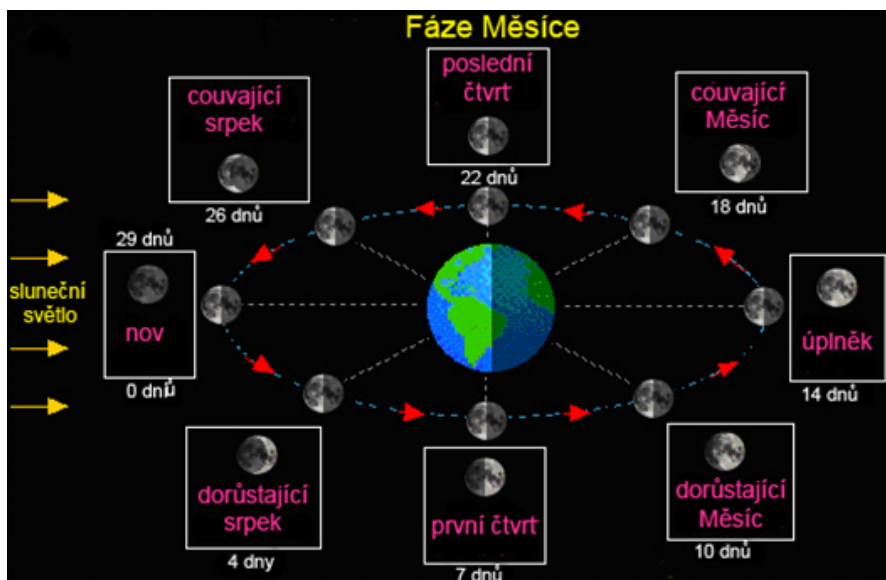
Aby Měsíc zaujal stejnou pozici vůči Zemi a Slunci, musí ještě „korigovat“ tuto změnu polohy Země (viz obrázek 4.7).

4.2.2.2 Fáze Měsíce

Jeden z nejznámějších astronomických úkazů vůbec jsou nepochybně fáze Měsíce. Bohužel nezřídka se setkáme i mezi jinak vzdělanými lidmi s mylnou představou, jak tyto měsíční proměny vznikají. Měsíční povrch je sám o sobě poměrně temný. Lapidárně řečeno, není-li nasvícen, není vidět. Je to vlastně stejné jako s herci černého divadla. V černém oblečení vůči černému pozadí scény nejsou vidět dokud se neodhalí nebo se na ně řádně neposvítí. Měsíc jako herec takového velkého černého kosmického divadla je vydatně nasvětlován Sluncem a tento sluneční reflektor mění svou polohu vůči Zemi a Měsíci. Můžeme vidět nasvětlenou celou měsíční polokouli přivrácenou k Zemi, měsíční úplňk. Tehdy Slunce svítí na Měsíc zpoza Země, ale tak, že Země nepřekáží slunečním paprskům a ty pak osvětlují celou polokouli Měsíce přivrácenou v té chvíli k Zemi i Slunci. Pro pozorovatele na Měsíci by to znamenalo, že Země a Slunce budou na měsíční obloze nad sebou.

Pokud naopak Slunce svítí Měsíci „na záda“ při pohledu ze Země, sluneční světlo na stranu Měsíce přivrácenou k Zemi nedopadá. Navíc je Měsíc pro pozorovatele na Zemi na obloze ve dne spolu se Sluncem, je přezářen a proto není Měsíc na obloze pozorovatelný. Nastal měsíční nov. Pro měsíčana na povrchu Měsíce na straně přivrácené k Zemi by v té chvíli došlo k zemskému úplňku, viděl by celý kotouč Země.

Názorně je situace vidět na obrázku 4.8. Jenže, pokud by Měsíc obíhal kolem Země přesně v rovině ekliptiky, pak by vlastně Měsíc musel při novu vstoupit mezi Zemi a Slunce a Slunce by tak zakryl. A při úplňku by se zase Měsíc schoval do zemského stínu. Docházelo by k zatměním. Jenže rovina oběžné trajektorie Měsíce kolem Země je vůči ekliptice skloněna o 5° , takže v naprosté většině novů a úplňků je Měsíc pod nebo nad rovinou ekliptiky. Tato malá odchylka oběžné roviny Měsíce také způsobuje, že se při pozorování výrazněji než například u planet nebo Slunce mění výška Měsíce nad obzorem.

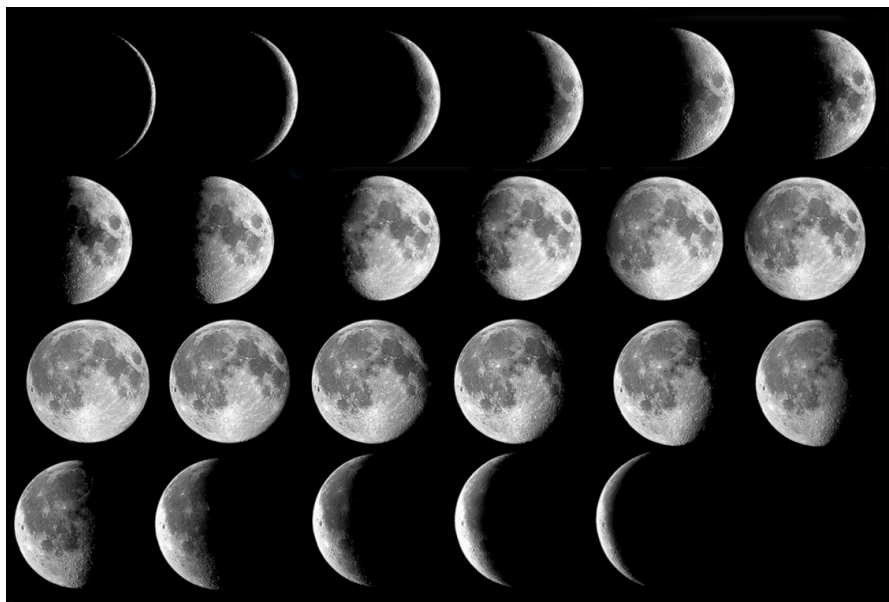
Obrázek 4.8: Vznik fází Měsíce. Zdroj: <http://leccos.com>.

Tabulka 4.2: Měsíční fáze.

Fáze	Kdy vychází	Kdy je nejvýše na obloze	Kdy zapadá
nov	ráno	v poledne	večer
první čtvrt	v poledne	večer	o půlnoci
úplněk	večer	o půlnoci	ráno
poslední čtvrt	o půlnoci	ráno	v poledne

Vzhledem k tomu, že jsou fáze Měsíce úzce spojeny se vzájemnou polohou Slunce, Měsíce a Země, lze snadno určit, v jaké fázi bude Měsíc pozorovatelný například celou noc nebo kdy vychází a zapadá. Malý přehled je uveden v tabulce 4.2. Pokud poznatky v ní uvedené neznáte, rozhodně se je ale neučte nazpaměť. Nemá to smysl. Stačí si vždy danou situaci představit a třeba i načrtnout a jistě k správnému řešení dojdete sami. Není na tom nic složitého. Tak například, pokud je Měsíc v úplňku, znamená to, že je na opačné straně od Země než Slunce. Na obloze je tedy Měsíc o 180° posunutý oproti Slunci. Ve chvíli, kdy Slunce zapadá, Měsíc vychází a bude nad obzorem po celou noc. Po úplňku Měsíc ubývá, říká se také, že couvá, má tvar písmene *C*. Slunce je vždy na obloze tím směrem od Měsíce, kde je jeho „zaoblený“ okraj, takže při ubývajícím Měsíci je to od něj směrem východním. Když je Slunce na východ od Měsíce, vychází později než Měsíc. V třetí (poslední) čtvrti vyjde Měsíc o půlnoci, ráno při východu Slunce bude kulminovat a v poledne zapadne.

Zatím jsme mluvili jen o význačných fázích – nov, úplněk první a poslední čtvrt. Ale co všechny ty fáze mezi nimi? Jak je popsat? Pomoc je vcelku snadná. Velikost měsíční fáze můžeme udávat ve dnech (a zlomcích dne), které uplynuly od posledního novu. Takovému času se pak říká *stáří Měsíce*.



Obrázek 4.9: Fáze Měsíce. Foto: A. Cidado.

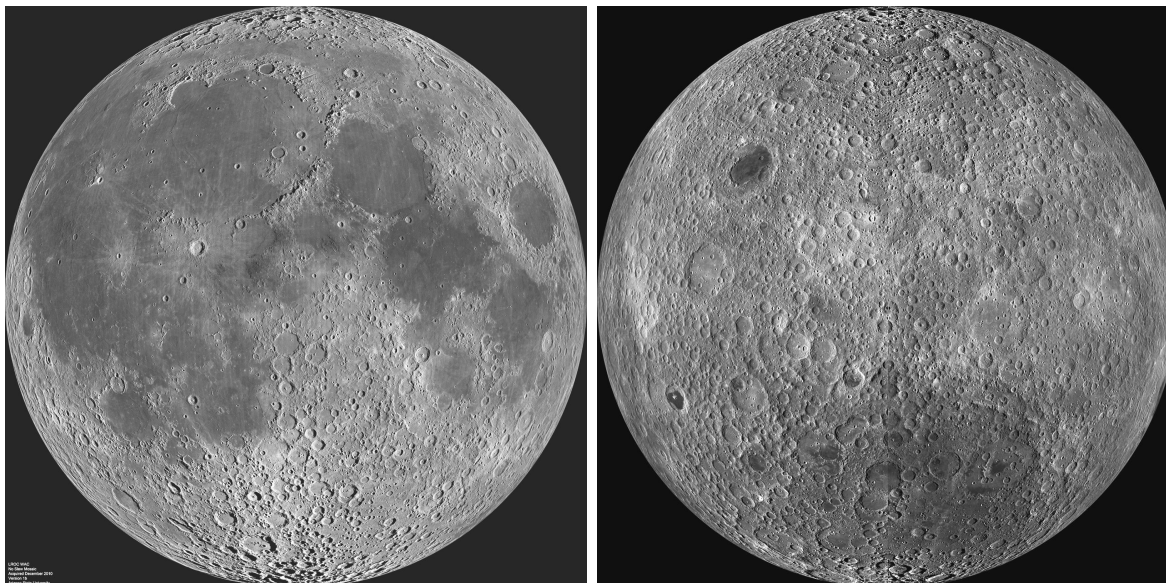
4.2.2.3 Měsíční tvář

Člověk sleduje Měsíc od nepaměti. Dalo by se s nadsázkou říci, že jde o nejokoukanější kosmické těleso. Už v dávných dobách si lidé na Měsíc „promítali“ nejrůznější motivy, různé postavy nebo zvířata. Zapojíte-li fantazii jistě tam podobné obrazy uvidíte i vy. Nám však nyní půjde o víc. Budeme chtít popsat pozorovaný povrch Měsíce a také vysvětlit, proč nám vlastně Měsíc nastavuje stále stejnou tvář.

Ze Země skutečně pozorujeme stále stejnou část měsíčního povrchu a tak první snímky odvrácené strany Měsíce, které zaslala na Zemi sovětská sonda Luna 3 v roce 1959, způsobily doslova pozdvižení, i když nebyly zrovna nejostřejší. Dnes už je detailně zmapován celý povrch Měsíce. Na první pohled si všimneme výrazného rozdílu mezi (k Zemi) přivrácenou a odvrácenou stranou Měsíce (obrázek 4.10). Zatímco na přivrácené straně je celá řada tmavých ploch, tzv. **měsíčních moří**, na odvrácené straně prakticky žádná nejsou. Na přivrácené straně najdeme i jediný měsíční oceán. Měli bychom připomenout, že i když najdeme na Měsíci spoustu útvarů „plných vody“ jako oceán, moře, záliv, bažina a podobně, rozhodně se na povrchu Měsíce s vodou v kapalném stavu nesetkáte⁸. Mimo pomyslné vodní plochy nalezneme na Měsíci různá pohoří, rýhy, brázdy a všudypřítomné krátery. Přestože by se mohlo zdát, že pohled na Měsíc je nudnou záležitostí, opak je pravdou. Můžete objevovat krásu nejrůznějších měsíčních zákoutí a když budete mít velké štěstí, můžete zaznamenat i dopad cizího tělesa na měsíční povrch a vznik nového kráteru.

Každý astronom by ale měl na Měsíci rozpoznat alespoň několik základních útvarů, pojdme se tedy v rychlosti seznámit s místopisem Měsíce. Chcete-li poznávat přivrácenou stranu Měsíce, je nejlepší tak činit krok za krokem, tedy přesněji den za dnem. Pokud se budete dívat na Měsíc v úplňku, uvidíte sice přivrácenou stranu Měsíce celou, uvidíte na ní najednou všechny nejvýraznější útvary, ale spousta krásných zákoutí vám unikne. Nádherné detaily povrchu vyniknou zejména v těsné blízkosti rozhraní

⁸Stopy vody v pevném skupenství zaznamenaly indická sonda Chandrayaan-1 a americká sonda LCROSS v roce 2009.



Obrázek 4.10: Přivrácená a odvrácená strana Měsíce ze sondy Lunar Reconnaissance Orbiter. Zdroj: NASA.

světla a stínu, tzv. **terminátoru**. Při měsíčním úplňku jsou ale tyto detaily přezářeny. Přesto začneme s orientací na Měsíci právě v této fázi (viz obrázek 4.11).

Na východním okraji Měsíce můžeme pozorovat pěkně ohraničené takřka kruhové Moře nepokojů. Jižně od něj Moře plodnosti a ještě více na jih malé Moře nektaru. Na jihozápad až západ od Moře nepokojů leží Moře klidu, na jehož jižním okraji poprvé v roce 1969 stanuli lidé na Měsíci. Mezi Mořem nepokojů a Mořem klidu se nachází malý ale nápadný, mladý kráter Proclus. Na Moře klidu navazuje na severozápadě Moře jasu. To je na západní straně ohraničeno horským hřbetem měsíčních Apenin a Kavkazu. Na západ od nich se rozkládá největší měsíční moře – Moře dešťů. V něm nalezneme jednak 250 km velký Záliv duhy a jednak několik větších kráterů. Na severním okraji je to kráter Plato, na východě Aristillus, Archimedes, na jihu Eratosthenes a majestátní Koperník. Ten se ostatně nachází už na rozhraní mezi Mořem dešťů a Mořem ostrovů. Na západním okraji tohoto moře se nachází další výrazný kráter. Kráter Kepler představuje jakýsi výběžek, který zasahuje do rozsáhlého Oceánu bouří. Těsně u západního okraje Měsíce za Oceánem bouří můžeme pozorovat kráter Grimaldi. Za úplňku je jedním z nejnápadnějších útvarů mladý kráter Tycho na jižní polokouli se soustavou jasných paprsků.

Když budete Měsíc pozorovat v průběhu celého cyklu fází, pak při dorůstání Měsíce můžeme doporučit pozorování trojice kráterů Theophilus – Cyrillus – Catharina a dvojic severních kráterů Hercules – Atlas a Aristoteles – Eudoxus. V poslední čtvrti pak již zmiňované krátery Koperník, Kepler, ale také Aristarchus, Aristillus, Archimedes nebo trojici Ptolemaeus – Alphonsus – Arzachel. A připojme ještě jednu horu. Jižně od kráteru Plato v Moři dešťů je osamělá hora Mt. Pico. Zajímavých zákoutí je samozřejmě mnohem více. Nemůžeme postihnout všechny. Zájemcům doporučujeme navštívit web <http://mesic.astronomie.cz>, interaktivní mapu Měsíce na <https://www.astro.cz/na-obloze/mesic.html#interaktiv> nebo si prostudovat některou z následujících publikací – Sadil (1953); Růkl (1997); Gabzdyl (1997, 2002, 2006, 2013).

Už jsme několikrát zmínili, že Měsíc k nám přivrací stále stejnou polokouli. Jedná se o projev tzv. **vázané (synchronní) rotace**, která je důsledkem dlouhodobého gravitačního působení Země. Její slapové síly tak dlouho brzdily rotaci Měsíce, až se doba jeho rotace vyrovnala době oběhu. Taková situace nastává nejen u dvojice Země – Měsíc. Stejný efekt najdeme i jinde ve Sluneční soustavě (např. soustava Pluto – Charon) nebo i v soustavách těsných dvojhvězd.

Poněkud překvapivě pak může znít otázka: Když má Měsíc vázanou rotaci a nastává nám stále stejnou tvář, kolik procent jeho povrchu můžeme ze Země pozorovat?



Obrázek 4.11: Mapa přivrácené strany Měsíce. Zdroj: <https://www.astro.cz/>.

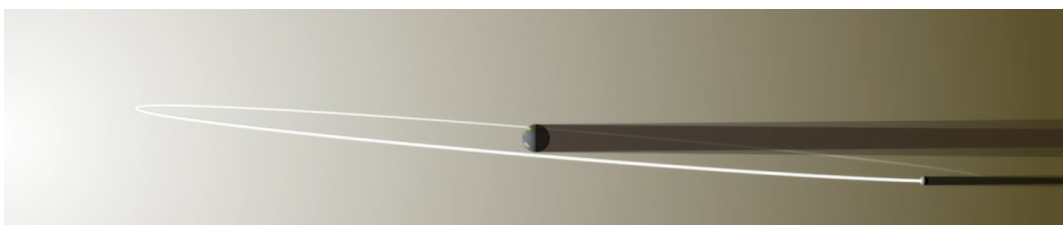
Logika velí přesně polovinu, 50 procent. Jenže díky tzv. **libracím** můžeme postupně, v průběhu času pozorovat až 59 % měsíčního povrchu. K těmto „výkyvům“ dochází jak v délce, tak i v šířce a jsou docela dobře pozorovatelné. Jsou důsledkem hned několika faktorů. Rotace Měsíce (vůči hvězdám) je rovnoměrná, ale jeho pohyb kolem Země nikoli. Měsíc obíhá Zemi po elipse nerovnoměrně. Navíc sklon rotační osy Měsíce vzhledem k rovině oběžné dráhy kolem Země kolísá od $3,60^\circ$ do $6,69^\circ$. A svou roli hraje i vejčitý tvar Měsíce. Jeden z důsledků librace jsme už zmínili. Ze Země v průběhu času vidíme až 59 procent měsíčního povrchu. Pokud by k libracím nedocházelo, pak by případný pozorovatel na povrchu Měsíce pozoroval Zemi stále nebo by ji neviděl vůbec. Nemohl by pozorovat žádné východy a západy Země. Díky libracím ale je možné zhruba z jedné sedminy celého měsíčního povrchu východy a západy Země na Měsíci pozorovat. Pro $3/7$ povrchu Měsíce je Země stále nad obzorem a pro zbylé $3/7$ vždy pod obzorem.

4.3 Kosmické divadlo – zatmění

Vesmír nám uchystal nejedno překvapení v podobě řady náhod nebo nepravděpodobných situací. Jednou z nich je i to, že pro pozorovatele na Zemi mají Slunce i Měsíc stejný úhlový rozměr. Přestože je Měsíc 400krát menší než Slunce, je náhodou 400krát blíže k Zemi než Slunce. A navíc obíhá Měsíc kolem Země tak, že alespoň jednou za čas se dostane přesně na spojnici středů Země a Slunce. Pak se obyvatelé Země mohou těšit na úžasné kosmické divadlo. Nastane zatmění Slunce nebo zatmění Měsíce.

4.3.1 Zatmění Měsíce

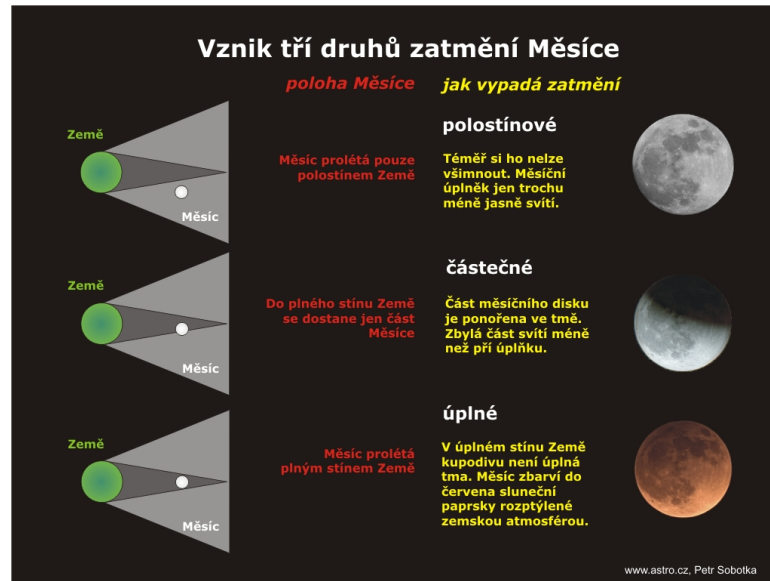
Slunce ozařuje Zemi, která vrhá do prostoru kuželovitý stín (obrázek 4.12). Jestliže do tohoto stínu vstoupí Měsíc, jinak řečeno, jestliže se Měsíc dostane na polopřímku Slunce – Země, nastane zatmění Měsíce. Vstoupí-li náš souputník jen do tzv. polostínu (viz obrázek 4.13), nastane jen polostínové zatmění Měsíce. Pokud nevstoupí do plného zemského stínu celý, ale jen do něj „nakoukne“, hovoříme o částečném zatmění Měsíce. Rozdíl mezi úplným a polostínovým zatměním si také můžeme vysvětlit, pokud si představíme, že jsme se vydali na Měsíc a budeme sledovat dění z měsíčního povrchu. Během úplného pozemského zatmění Měsíce, jeho úplné fáze, je celý Měsíc schovaný v plném zemském stínu. Z povrchu Měsíce nemůžeme Slunce pozorovat, je zakryto Zemí, uvidíme tedy úplné zatmění Slunce. Na měsíční obloze bude temný kotouč Země se zářivým prstencem atmosféry, v níž se lámou a rozptylují sluneční paprsky. To samozřejmě platí i v době částečného zatmění Měsíce, pokud budeme stát na místě, které už vstoupilo do plného zemského stínu. Když bude Měsíc nebo alespoň to naše pozorovací stanoviště na povrchu Měsíce v polostínu Země, uvidíme z Měsíce částečné zatmění Slunce.



Obrázek 4.12: Země a Měsíc nasvětlené Sluncem (za levým okrajem obrázku) vrhají do prostoru stíny. Zdroj: NASA.

Je zřejmé, že to, jakou částí zemského stínu Měsíc prochází, určuje i délku zatmění. Zemský stín má délku zhruba 1,4 milionu kilometrů a v dráze Měsíce je široký přibližně 9 000 km. Nejdelší zatmění může trvat až 6 hodin, při tom úplná fáze až téměř dvě hodiny⁹. Během úplné fáze Měsíc z oblohy kupodivu nezmizí. Není to ale v rozporu s naším dřívějším tvrzením, že povrch Měsíce sám nezáří a že bez slunečního svitu by byl skrytý zraku pozorovatelů? Vysvětlení je poměrně snadné. Slunce není z Měsíce v době úplné fáze úplného zatmění pozorovatelné, ale zářit nepřestalo. Jeho paprsky

⁹Nejdelší zatmění nastalo roku 318 n.l. Celé včetně polostínové fáze trvalo 374,1 minut, z toho částečné zatmění 236,0 minut a úplná fáze 106,6 min (<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/lunar.html>).



Obrázek 4.13: Vznik tří podob zatmění Měsíce. Zdroj: ČAS.

pronikají k Měsíci skrz zemskou atmosféru, kde se lámou zejména paprsky s dlouhou vlnovou délkou (z červeného konce slunečního spektra). Zemská atmosféra tak nejen umožní mírné nasvětlení Měsíce i v době, kdy je celý v geometrickém stínu Země, ale také určuje zabarvení Měsíce během zatmění. Podle polohy Měsíce v zemském stínu a stavu zemské atmosféry (například za velké oblačnosti, při zaprášení po sopečných erupcích, velkých požárech) se může lišit zabarvení Měsíce od rudé, oranžové, hnědé až po namodralé nebo šedé odstíny. Každé zatmění Měsíce je tak unikátní a stojí za to jej pozorovat. Naštěstí nastává pro jedno konkrétní pozorovací stanoviště relativně často, protože je možné jej pozorovat z celé noční polokoule Země. Takže šance, že třeba Brno bude na té správné straně Země, je veliká.



Obrázek 4.14: Tři snímky z konce fáze úplného zatmění Měsíce 24. 10. 2004 (začíná fáze částečného zatmění). Autor S.P. Merrill. Zdroj: <http://www.pbase.com/>.

se vyhnul zemskému stínu. Přehled nejbližších úplných zatmění Měsíce viditelných z našeho území je uveden v tabulce 4.3.

Pokud by Měsíc obíhal naši Zemi v rovině ekliptiky, pak by při každém úplňku došlo také k zatmění Měsíce. Zatmění Měsíce by se tedy opakovala s periodou jednoho synodického měsíce. Jak jsme již uvedli, je rovina oběžné trajektorie Měsíce skloněná vůči rovině oběžné dráhy Země kolem Slunce o přibližně 5° . To znamená, že v době většiny úplňků je Měsíc dost daleko pod nebo nad rovinou ekliptiky, aby

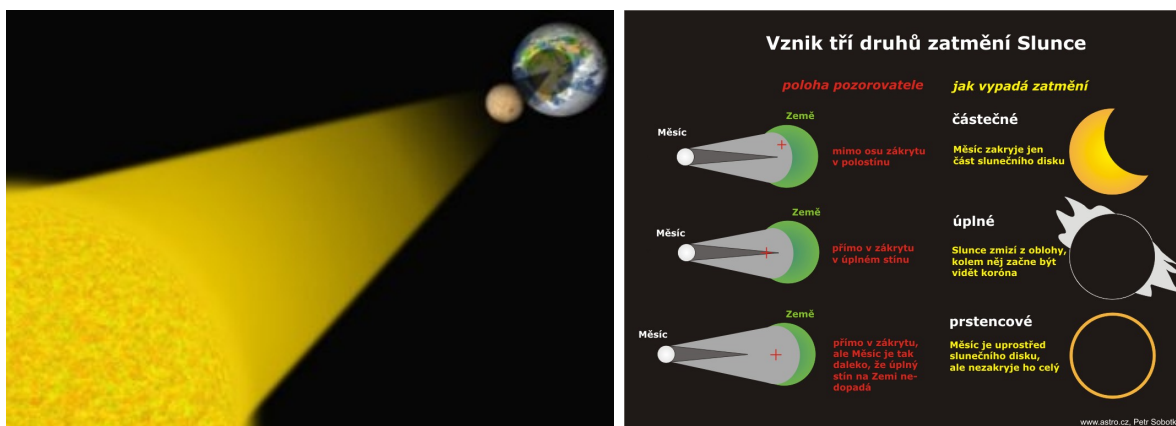
Tabulka 4.3: Zatmění Měsíce v letech 2024-2030.

Datum	Typ	Délka [h:mm]	Viditelnost	Max. ČR
18. září 2024	částečné	Č 1:03	celý průběh, ráno	–
14. března 2025	úplné **	Č 3:38; Ú 1:05	po západu Měsíce	–
7. září 2025	úplné	Č 3:29; Ú 1:22	při východu Měsíce	19:12
28. srpna 2026	částečné	Č 3:18	při západu Měsíce	–
21. února 2027	polostínové *	–	celý průběh, po půlnoci	–
12. ledna 2028	částečné	Č 0:56	celý průběh, ráno	–
6. července 2028	částečné	Č 2:21	při východu Měsíce	–
31. prosince 2028	úplné	Č 3:29; Ú 1:11	téměř celý průběh, večer	17:52
26. června 2029	úplné	Č 3:40; Ú 1:42	při (a po) západu Měsíce	04:22
20. prosince 2029	úplné	Č 3:33; Ú 0:54	celý průběh, před půlnocí	23:42
15. června 2030	částečné	Č 2:24	při východu Měsíce	–
9. prosince 2030	polostínové *	–	celý průběh, před půlnoci	–

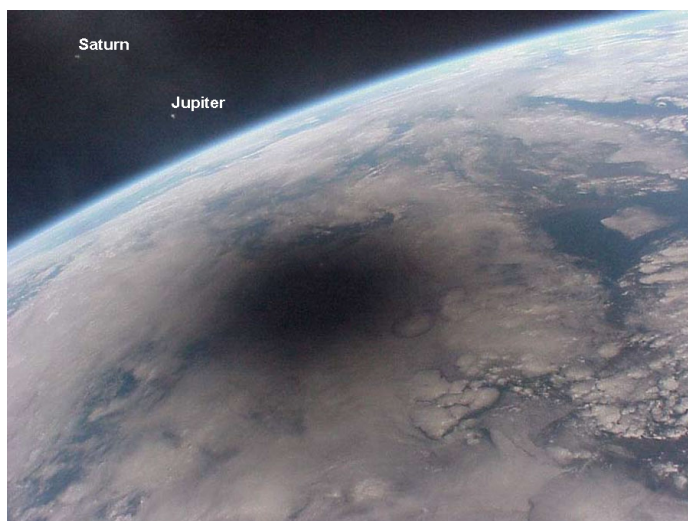
Poznámky k tabulce: * – polostínové zatmění není většinou pouhým okem pozorovatelné; ** – z našeho území spatříme jen částečnou fázi, úplná nastane pod obzorem. Délka zatmění udává dobu (v hodinách a minutách), po kterou je Měsíc ponořen v plném zemském stínu celý nebo alespoň zčásti (Č). Pokud v průběhu úkazu nastává i úplné (Ú) zatmění, je uvedena i jeho délka. Nastává-li úplné zatmění v České republice nad obzorem, je tento údaj uveden tučně, a sloupec Max. ČR udává čas maximální fáze úplného zatmění v České republice (údaj je uveden ve středoevropském čase). Převzato z www.astro.cz.

4.3.2 Zatmění Slunce

Zatímco zatmění Měsíce by se dalo přirovnat k úspěšnému poměrně často opakovanému představení, zatmění Slunce je vždy hitem sezóny. Můžete si přečíst úžasná líčení zatmění Slunce, jako například to od rakouského spisovatele Adalberta Stiftera(1842), můžete vidět spoustu fotografií, filmů nebo videozáznamů, ale úplné zatmění Slunce musíte prostě zažít! Až jej uvidíte na vlastní oči, jistě mi dáte za pravdu, že v reálu je to nádherný a vzrušující zážitek.



Obrázek 4.15: Schéma vzniku a možné podoby zatmění Slunce. Zdroj: ČAS.



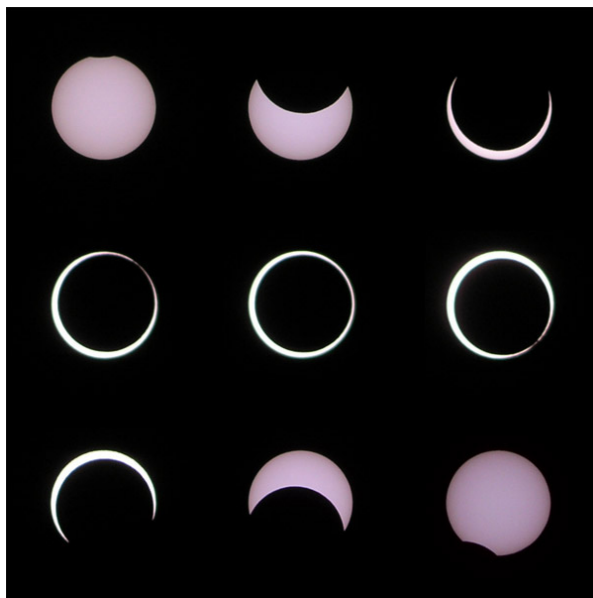
Obrázek 4.16: Stín Měsíce zatemňuje při úplném zatmění Slunce část Země. Tento stín se po Zemi pohyboval rychlostí skoro 2000 km/h. Dva jasné body vlevo nahoře jsou Jupiter a Saturn. Snímek byl pořízen posádkou orbitální stanice Mir 11. srpna 1999. Zdroj: CNES.

Zprávy o pozorovaných zatměních Slunce patří mezi nejstarší astronomické záznamy vůbec.¹⁰ S jedním historickým zatměním se pojí i známá legenda. Podle ní měli být v roce 2136 př.n.l.¹¹ dva astronomové kvůli zatmění Slunce popraveni. Tehdy se věřilo, že zatmění způsobuje zlý drak, který žere Slunce. Astronomové měli na zatmění upozorňovat předem, aby bylo možné zlého draka dostatečným hlukem a šípy zahnat. Jenže nešťastní astronomové Ho a Hsi příliš holdovali alkoholu a tak varování před zatměním nevydali.¹² Dnes už víme, že tím pomyslným žrutem Slunce je náš Měsíc, který Slunce zastíní. Dochází k tomu, když je Měsíc v novu a navíc přesně na spojnici mezi středem Slunce a Země (obrázek 4.15). Měsíc vrhá na Zemi stín a jen v místě dopadu plného měsíčního stínu na zemský povrch je možné pozorovat úplné zatmění Slunce. Měsíční stín má samozřejmě tvar kruhu (obrázek 4.16), ale Země není nehybná, rotuje a tak stín putuje po zemském povrchu a vytváří tzv. **pás totality**. Pás je široký až zhruba 250 kilometrů a dlouhý i několik tisíc kilometrů. Právě a jen z tohoto pásu je možné zatmění Slunce pozorovat jako úplné. Do oblasti kolem pásu totality dopadá měsíční polostín (viz obrázek 4.15). Odtud je možné pozorovat zatmění Slunce jako částečné. Někdy se ovšem Měsíc dostane na spojnici středů Země a Slunce zrovna v období, kdy je, díky výstřednosti své oběžné trajektorie, dále od Země, poblíž apogea. Pak je plný měsíční stín příliš krátký a nedosáhne až na Zemi. V takové situaci můžeme pozorovat prstencové zatmění Slunce (viz obrázek 4.17). Velmi vzácně nastává zatmění hybridní, kdy z některých míst na Zemi je vidět zatmění úplné a z některých jen jako prstencové.

¹⁰Poměrně nedávno bylo ověřeno, že nejstarší dosud známý záznam o zatmění Slunce se nachází v Irsku v lokalitě Loughcrew Cairns a mělo by ukazovat zatmění z roku 3340 př.n.l.

¹¹O přesném datování tohoto zatmění se vedou spory. Některé zdroje uvádějí 2134 př.n.l., některé dokonce 2159 př.n.l.

¹²Nejspíše jde jen o pověst, ve staré čínské literatuře se například uvádí Hsi-Ho jako jediná mytologická postava, která je někdy matkou, jindy jako vozka slunečního vozu (Littmann, Espenak & Willcox, 2009).



Obrázek 4.17: Průběh prstencového zatmění Slunce v roce 2005 v Tunisku. Zdroj: J. Polák.



Obrázek 4.18: Slunce v době úplného zatmění. Kolem temného měsíčního kotouče je vidět světlá struktura koróny. Snímek vznikl složením stovek jednotlivých snímků, které 11. 7. 2010 na atolu Tatakoto ve Francouzské Polynésii pořídili Miloslav Druckmüller, Martin Dietzel, Shadia Habbal a Vojtech Rušin.

Z výše uvedeného je zřejmé, že šance, že například Brno bude v pásu totality pro nějaké sluneční zatmění, je poměrně malá. Pokud tedy chceme úplné zatmění vidět živě, musíme se vydat na dalekou cestu anebo si počkat na rok 2135, kdy bude úplné zatmění Slunce pozorovatelné z území České republiky. Z Brna bylo úplné zatmění Slunce pozorovatelné v minulém tisíciletí jen v letech 1415 a 1485 a další uvidí obyvatelé moravské metropole až v roce 2726. Za našeho života můžeme z Brna vidět alespoň částečná zatmění.

Tabulka 4.4: Sluneční zatmění v letech 2024-2030.

Datum	Max. Délka	Typ	Svět	Česká republika			
			Viditelnost	Velikost	Max.	Výška	
8.4.2024	18:18:29	4:28	Ú	střední Pacifik, Mexiko, USA, Kanada, Severní ledový oceán	–	–	–
2.10.2024	18:46:13	7:25	P	centrální a jihovýchodní Pacifik, Chile, Argentina	–	–	–
29.3.2025	10:48:36	–	Č	SZ Afrika, Evropa, S Rusko	19,10%	12:18	43,5°
17.2.2026	12:13:05	2:20	P	Antarktida	–	–	–
12.8.2026	17:47:05	2:18	Ú	Arktida, Grónsko, Island, Španělsko	88,50%	20:11	1,0°
6.2.2027	16:00:47	7:51	P	jižní Pacifik, Chile, Argentina, Uruguay, Atlantský oceán, Pobřeží slonoviny, Ghana, Togo, Benin	–	–	–
2.8.2027	10:07:49	6:23	Ú	Maroko, Španělsko, Alžírsko, Libye, Egypt, Saúdská Arábie, Jemen, Somálsko	51,60%	11:15	50,8°
26.1.2028	15:08:58	10:27	P	Ekvádor, Peru, Brazílie, Surinam, Atlantský oceán, Španělsko, Portugalsko	–	–	–
22.7.2028	2:56:39	5:10	Ú	Indický oceán, Austrálie, Nový Zéland	–	–	–
12.6.2029	4:06:13	–	Č	Arktida, Skandinávie, Aljaška, S Asie, S Kanada	13,30%	4:53	–00,5°
1.6.2030	6:29:13	5:21	P	Alžírsko, Tunisko, Řecko, Turecko, Rusko, S Čína, Japonsko	71,00%	7:17	19,7°
25.11.2030	6:51:37	3:44	Ú	Jižní Afrika (Botswana), Indický oceán, Austrálie	–	–	–

Poznámky k tabulce: V prvním sloupci je uveden čas okamžiku maxima zatmění v UT. Typ zatmění: Ú - úplné, P - prstencové, H - hybridní, Č - částečné. Velikost udává velikost maximální fáze zatmění v procentech slunečního průměru. Max. pro Českou republiku značí čas okamžiku maxima zatmění v SEČ/SELČ dle aktuálně platného času. Výška udává úhlovou výšku Slunce v době maximální fáze zatmění. Převzato z www.astro.cz.

V době úplné fáze úplného zatmění Slunce, trvající až 7 a půl minuty, je sluneční disk zcela zakryt a odstíněn Měsícem a můžeme pozorovat slabou zářící svrchní vrstvu atmosféry Slunce – korónu. Až do poloviny 19. století přitom převládal Keplerův názor, že jde o měsíční atmosféru nasvětlenou Sluncem. Teprve tehdy se však prokázalo, že se kotouč Měsíce pohybuje během zatmění na pozadí této atmosféry. Jedny z nejlepších snímků sluneční koróny na světě pořizuje profesor brněnského VUT, matematik a astronom Miloslav Druckmüller (2021), viz například obrázek 4.18.

Meeus & Mucke (1992) a Mucke & Meeus (1992) publikovali přehled měsíčních i slunečních zatmění v období téměř čtyř a půl tisíce let. V letech –2003 až +2526 zjistili 10 774 zatmění Slunce, z toho 6 886 úplných či prstencových, a 10 936 zatmění Měsíce, z nichž 3 159 je úplných, 3 810 částečných a 3 967 polostínových.

4.4 Planety, trpasličí planety

Po Slunci a Měsíci jsou dalšími pravidelně pozorovanými nejjasnějšími objekty na obloze planety. Slovo *planeta* pochází z řeckého „planétés“, což znamená tulák nebo kolem bloudící. Docela pěkně to vystihuje podstatu pohybu planet na hvězdné obloze, kde jakoby bloudí mezi hvězdami v okolí ekliptiky. Přestože už dlouho bylo astronomům jasné, že ve vesmíru kolem jiných hvězd než Slunce také obíhají tělesa jako naše planety ve Slu-

neční soustavě¹³, na jejich objev jsme čekali až do konce 20. století. Do roku 1995 na otázku, co si představujeme pod pojmem planeta, stačilo prostě uvést definici výčtem. Děti školou povinné tak odříkávaly: Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluto. S objevy planet mimo Sluneční soustavu, tzv. **extrasolárních planet (exoplanet)** a zejména s objevy **transneptunických těles** vně trajektorie Neptuna se situace změnila. Některá z těchto nově objevených těles dokonce soupeřila s Plutem svými rozměry. Znamenalo by to, že seznam známých planet by se musel s každým novým objevem podobných těles stále rozrůstat. Jenže se ukázalo, že definovat planetu je velmi složitý problém. V roce 2006 byla na valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Praze přijata následující definice (IAU, 2006):

Planeta je vesmírné těleso, které:

- (a) obíhá kolem Slunce,
- (b) má dostatečnou hmotnost, aby se ustavila hydrostatická rovnováha a těleso nabylo přibližně kulového tvaru,
- (c) vyčistilo okolí své trajektorie.

Jaký je ale zásadní nedostatek? Definice se týká jen naší Sluneční soustavy! Otázku exoplanet vůbec neřeší. Dalším „problémem“ výše uvedené definice planety byl fakt, že Pluto přestalo být planetou! V současné době má tedy Sluneční soustava osm planet. Pluto bylo zařazeno mezi tzv. **trpasličí planety**, které jsou dle (IAU, 2006) definovány takto: Trpasličí planeta je objekt Sluneční soustavy podobný planetě, který:

- obíhá okolo Slunce,
- má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace překonala vnitřní síly a dosáhl přibližně kulového tvaru,
- během svého vývoje nepročistil své okolí, aby se stal v dané zóně dominantní,
- není satelitem.

Oficiálně je mezi trpasličí planety zařazeno (k září 2024) pět objektů: Ceres, Pluto, Makemake, Eris, Haumea. Na čekací listině je několik set objektů, mezi nimi například Orcus, Quaoar, Sedna, Salacia, Gonggong a (307261)2002 MS₄ a v budoucnu nepochybně přibudou další, zejména velká transneptunická tělesa.

4.4.1 Pozorování planet

Astronomové z doby před objevením dalekohledu a jeho využitím v astronomii znali 6 planet. Venuše, Jupiter, Saturn i Mars bývají na pozemské obloze poměrně jasné, někdy i nejjasnější jakoby hvězdné objekty. Merkur je pozorovatelný dost obtížně, jen za soumraku, krátce po západu nebo před východem Slunce. Lze ale planetu na noční obloze rozpoznat a odlišit ji od hvězd? Do jisté míry ano. Během chvilky nám pomohou některá omezení, ale bez hvězdných map bychom na potvrzení toho, že se jedná o planetu, museli počkat delší dobu. Tak především, planetu můžeme na obloze pozorovat jen

¹³Vzhledem k tomu, že planety obíhají i kolem jiných hvězd, jiných sluncí, budeme pro označení naší planetární soustavy používat označení Sluneční soustava s velkým počátečním S. Je to stejná situace jako při pojmenování našeho Měsíce nebo naší Galaxie.



Obrázek 4.19: Trpasličí planety a kandidáti.

v těsném okolí ekliptiky. Z České republiky tedy rozhodně nehledejme planetu v zenitu nebo severním směrem. Navíc, jak už jsme uvedli, některé planety jsou velmi výrazné, zejména to platí pro Jupiter a Venuši, takže v době jejich největší jasnosti si je prakticky s ničím nespletete.

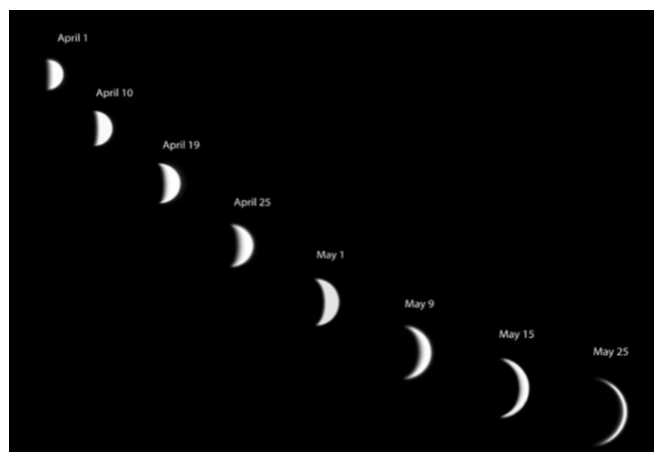
Planety se ale od jasných hvězd odlišují také tím, že svítí klidnějším, stálým světlem, zatímco obrazy hvězd se mihotají, podléhají scintilaci. Důvod je zřejmý. Planety vidíme prostýma očima jako světelné body podobně jako hvězdy. Jenže hvězdy jsou skutečné bodové zdroje, zatímco planety malé plošky, kotoučky pod rozlišovací schopností oka. A na plošném objektu se změny jasnosti působené neklidem ovzduší průměrují, vyrovnávají. I planeta tedy za silného neklidu atmosféry může jevit scintilaci, ale vždy méně než hvězda. Někdy vám ale ani všechny uvedené rady nepomohou. Pro definitivní potvrzení, že pozorovaný objekt je planeta byste jej pak museli sledovat po řadu dní, či spíše týdnů a monitorovat jeho pohyb na hvězdné obloze. Dnes je ale situace mnohem snazší než v minulosti, vždyť stačí i aplikace v chytrém telefonu namířené na oblohu a na displeji můžete sledovat identifikaci a popis objektů pozorované části oblohy včetně planet.

Pokud tedy odhalíte na obloze planetu, zkuste se zaměřit na zajímavosti, detaily, které na ní můžete v dalekohledech pozorovat. U Venuše si povšimněte jejích fází (viz obrázek 4.20). Jejich pozorování v minulosti přispělo k odmítnutí geocentrického modelu uspořádání naší Sluneční soustavy. Venuši můžeme pozorovat jen zvečera jako Večernici nebo ráno jako Jitřenku. Je to po Slunci a Měsíci třetí nejjasnější objekt naší oblohy a také třetí a poslední objekt, který za temných nocí v době, kdy je nejjasnější, osvítlí předměty natolik, že vrhají stín.

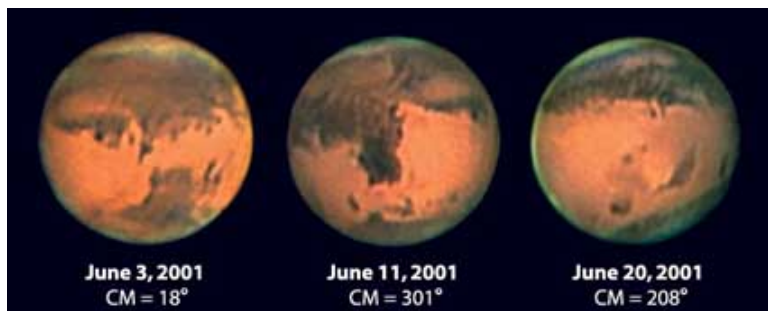
Vnější planety, tedy vzdálenější od Slunce než Země, mohou být pozorovatelné i celou noc. Na Marsu jsou pozorovatelné světlé a tmavé skvrny (obrázek 4.21). Pozorovatelé s připojením na internet mohou využít i jeden z nástrojů na stránkách časopisu Sky&Telescope¹⁴, který ukazuje jakou část povrchu Marsu můžete právě vidět ve vašem dalekohledu.

Jupiter zaujme především pásovou strukturou pozorovaných vnějších vrstev (obrázek 4.22) a pak soustavou měsíců, z nichž čtyři největší, tzv. Galileovské družice Io, Europa,

¹⁴Mars Profiler <https://skyandtelescope.org/observing/interactive-sky-watching-tools/>.



Obrázek 4.20: Fáze Venuše v dubnu a květnu 2004. Foto: John Rummel.

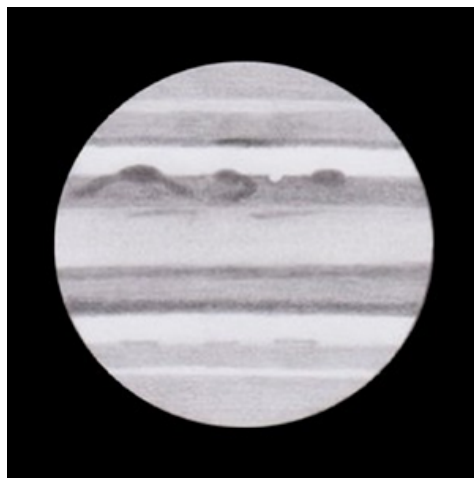


Obrázek 4.21: Snímky Marsu pořídil Ed Grafton pomocí CCD kamery SBIG ST6 a dalekohledu Celestron 14". Každý snímek na obrázku je výsledkem složení snímků přes červený, zelený a modrý filtr. CM označuje délku centrálního meridiánu Marsu. Jih je nahoře. Nápadná tmavá skvrna poblíže středu na snímku z 11. června je Syrtis Major.

Ganymed a Callisto, jsou dobře pozorovatelné i menšími přístroji. K identifikaci měsíců i předpovědím polohy tzv. Rudé skvrny lze opět využít nástrojů na již zmíněné stránce časopisu Sky&Telescope.

Poslední z prostým okem viditelných planet, Saturn, je krasavec. Jeho prstence jsou v dalekohledu opravdu nádherné. Vidět je i největší Saturnův měsíc Titan.

Uran a Neptun jsou sice planety větší než naše Země, ale jsou od nás velmi daleko, takže při pozorování běžnými dalekohledy o průměru kolem 20 cm je uvidíme jen jako nazelenalý, resp. namodralý malý kotouček. Chceme-li vidět detaily, musíme použít větší dalekohled nebo se přesunout od dalekohledu k počítači a k archivu snímků kosmických sond.



Obrázek 4.22: Kresba Jupitera Petra Skláře. 15. 8. 2009, refraktor 102/1000, zv. 166x, 250x, seeing 8-9/10, čas 22:50 - 23:05 UT (jih dole, západ vlevo). Převzato z <http://www.astro.cz>.

4.5 Planetky

Ve Sluneční soustavě se kromě planet a trpasličích planet nacházejí i menší objekty, kterým říkáme planetky¹⁵. První planetku Ceres objevil 1. ledna 1801 Giuseppe Piazzi¹⁶. Od roku 2006 a již zmíněné definice planet a trpasličích planet se Ceres přesunula do kategorie trpasličích planet. Mezi planetky nyní řadíme malá tělesa větší než zhruba 100 metrů¹⁷ obíhající kolem Slunce (případně jiné hvězdy) většinou nepravidelného tvaru. Ve Sluneční soustavě se nacházejí zejména v hlavním pásu mezi Marsem a Jupiterem a dále za dráhou Neptuna. Některé ale mohou i křížit dráhu Země a dostávat se ke Slunci blíže než naše planeta. Až roku 2020 byla objevena první planetka (2020 AV2) obíhající kolem Slunce uvnitř dráhy Venuše.

4.6 Komety

Mezi nejpůsobivější kosmické objekty pozorovatelné na naší obloze nepochybně patří komety¹⁸. V minulosti je lidé považovali za zlé znamení, které zvěstovalo nemoci, bídu, utrpení nebo války. Přesto se ale časem kometa dostala i do betlémů, kde naopak měla zvěstovat narození spasitele. Historie zápisů o kometách a výkladů jejich objevů je opravdu zajímavé a někdy i dost dobrodružné čtení, vždyť nejstarší zápisy jsou staré několik tisíciletí. Současné zápisy jsou většinou o dost prozaičtější.

Pro komety je typický jejich dlouhý zahnutý **ohon**, tvořený prachovými částicemi uvolňovanými z povrchu jádra komety, když se přiblíží ke Slunci. Pokud jsou příhodné

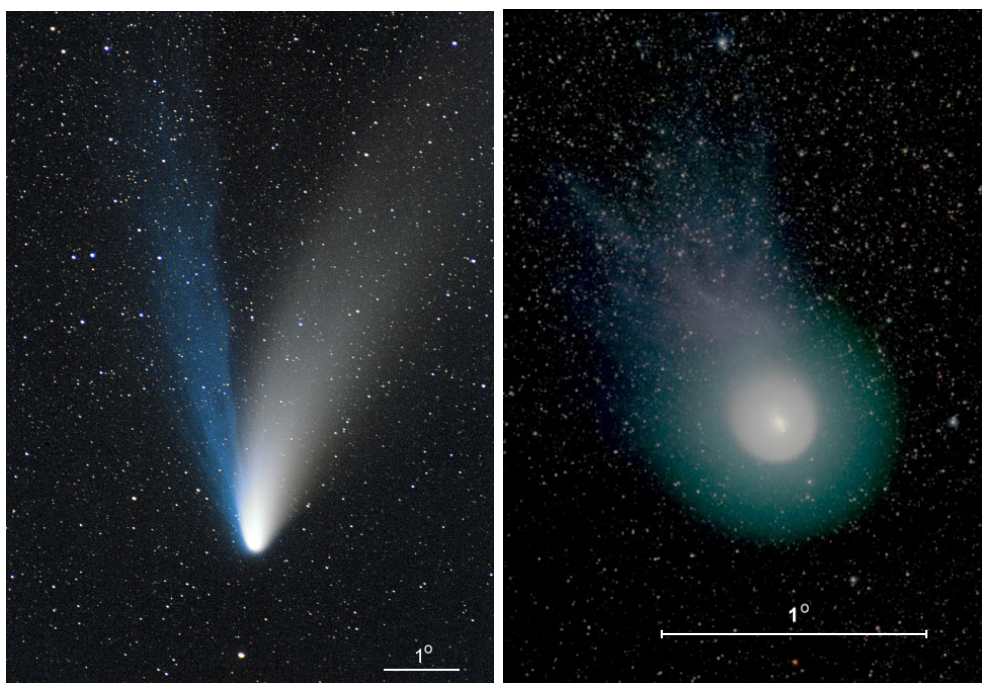
¹⁵Při objevech prvních planetek se předpokládalo, že jde o planety. Záhy se však zjistilo, že jsou to tělesa příliš malá a začala být označována v angličtině „minor planet“. Odtud český termín planetky. Stále se ale můžeme setkat i se staršími názvy asteroid (hvězdě podobný), planetoid (těleso podobné planetě).

¹⁶Podle planetky byl později pojmenován prvek cer (cerium).

¹⁷Menší tělesa se označují jako meteoroidy.

¹⁸Původ slova *kometa* lze hledat v řečtině, kde „kométés“ znamená dlouhovlasý.

podmínky, kometa je dostatečně veliká, přiblíží se ke Slunci a současně prolétá kolem Země, může na pozemské obloze její ohon dosáhnout až několik desítek stupňů. Někdy je pozorovatelný i přímý plyný (plazmový) ohon namířený od Slunce, jako v případě komety Hale-Bopp při jejím posledním průletu kolem Slunce v roce 1997 (viz obrázek 4.23 vlevo). Některé komety mají ohon nevýrazný, ale mohou se pochlubit obřím prachoplynovým obalem kolem svého jádra, tzv. **kómou**. Tou největší, dosud zaznamenanou se pyšnila kometa 17P/Holmes, jejíž kóma v listopadu 2007 svou velikostí nakrátko předčila i Slunce! V roce 2014 byla objevena kometa, která neměla ohon vůbec žádný. Jde o první bezocasou kometu. Proto je někdy označována jako Manská kometa (anglicky „comet Manx“) podle rasy bezocasých koček.



Obrázek 4.23: Vlevo: Kometa Hale-Bopp s modrým plynovým a nažloutlým prašným ohonem. Foto: Miloslav Druckmüller, 2. 4. 1997. Vpravo: Kometa 17P/Holmes s obřím kómou. Foto: AnnMarie Jones (5. 11. 2007).

Nicméně běžné komety ohon a kómu mají. Ty slabší připomínají v dalekohledu mlhovinu. Objevit takovou kometu vyžadovalo dříve velkou trpělivost a jistou dávku štěstí. K nejúspěšnějším lovcům komet patří Robert McNaught, který má na svém kontě přes osm desítek komet (a několik set planetek). Objevitelé jsou za svou námahu odměněni tím, že kometa nese jejich jméno. Mezi kometami tak můžeme najít i „české“ zástupce – komety Kohoutek, Mrkos, Tichý a další. Ale v dnešní době už objevitelé nemusí trávit mnoho hodin u dalekohledu pod hvězdnou oblohou. Stačí počítač a internet. Sluneční družice SOHO snímkuje Slunce a na snímcích se vyskytnou občas i neznámé komety. A protože snímky jsou k dispozici na internetu v reálném čase, může takto objevovat komety vlastně kdokoli. Družice SOHO se stala nejúspěšnějším lovcem komet. Kometa SOHO s pořadovým číslem 5000 byla objevena v března 2024. Ale komety se nyní nalézají i na snímcích v rámci různých přehlídkových projektů, například LINEAR nebo Catalina Sky Survey mají už na svém kontě stovky objevených komet.



Obrázek 4.24: Kometa McNaught na snímku Miloslava Druckmüllera z 28. ledna 2007.

4.7 Meteoroidy, meteory, meteority

Drobná tělíska, doslova vesmírný odpad, nejsou sice přímo pozorovatelná, ale mohou se postarat o pěknou podívanou. Máme na mysli **meteoroidy**, tělesa, která jsou menší než 100 metrů a značně větší než atomy a molekuly¹⁹. Drouboučkových milimetrových meteoroidů narazí do Země denně řádově milióny. Setkání s většími objekty jsou naštěstí vzácná, ale dochází k nim. Poslední taková událost nastala 4. září 2024. Objekt 2024 RW1 o velikosti 1 m byl objeven jen několik hodin před srážkou se Zemí. Následný bolid mohli pozorovat obyvatelé Filipín.

Jiný objekt 2008 TC₃ o velikosti 4 m byl objeven 6. října 2008 a ukázalo se, že je na kolizním kurzu se Zemí. Ke srážce došlo následujícího dne a meteoroid vybuchl ve výšce 37 km nad Súdánem (viz obrázek 4.25). Jedná se o první případ, kdy bylo těleso pozorováno před vstupem do zemské atmosféry jako meteoroid, byl zaznamenán jeho průlet atmosférou jako meteor, jeho výbuch a následně byly nalezeny úlomky, které dopadly až na zem jako meteority. Jeden z posledních případů nečekaného setkání s poslem z vesmíru je z 15. února 2013, kdy vlétlo do atmosféry těleso o rozměrech 15 až 17 metrů a odhadované hmotnosti mezi 7 až 10 tisíc tun. Těleso vybuchlo ve výšce 50 až 30 km nad zemským povrchem nad Čeljabinskem v Rusku. Tlaková vlna vyrazila skla v oknech v okruhu 100 kilometrů a připsala si na účet také zranění více než tisíce lidí.

Pozorovat na obloze takový úkaz je ale něco zcela mimořádného. Většina meteoroidů, které se setkávají se Zemí má průměr řádově milimetry. Takové tělísko způsobí při

¹⁹O přesném vymezení termínu meteoroid se stále diskutuje. Jako spodní hranice se uvádí 10 nebo 100 μm , jako horní 10 m, 50 m, případně 100 m, což je hranice, od níž považujeme tělesa ve Sluneční soustavě za planety.



Obrázek 4.25: Zbytek kouřové stopy po výbuchu meteoroidu 2008 TC₃ nad súdánskou pouští. Snímek je z videozáznamu, který na mobilní telefon pořídil Mohamed Elhassan Abdelatif Mahir.



Obrázek 4.26: Vlevo: Denní bolid nad Jižním Walesem zachytil na konci září 2003 Jonathan Burnett. Vpravo: Jeden z bolidů meteorického roje Leonidy v listopadu 1999. Snímek pořídil Arne Danielsen.

vstupu do atmosféry světelný efekt, kterému říkáme **meteor**. Při průletu atmosférou ve výškách 75 – 120 km meteoroid excituje a ionizuje molekuly atmosféry a právě ty vidíme jako meteor²⁰. Pouhýma očima vidíme meteory způsobené tělísky o hmotnostech řádově miligramy a větších. Pokud má meteoroid rozměr kolem 10 cm, způsobí velmi jasný meteor, jasnější než Venuše v době své největší jasnosti (−4 mag), který se označuje jako **bolid**²¹. Jsou tak jasné, že je možné je pozorovat i ve dne (viz obrázek 4.26 vlevo).

Meteoroidy se mohou připlést Zemi do cesty víceméně nahodile, pak uvidíme osamocené, sporadický meteor. V trajektorii Země je ale několik míst, kde se Země setkává s celým houfem drobných částic. Pak můžeme sledovat roj meteorů, které vyletují z jednoho místa hvězdné oblohy, tzv. radiantu roje. Podle polohy radiantu v určitém

²⁰Lidové označení „padající hvězda“ s hvězdami samozřejmě nemá nic společného.

²¹Původ slova můžeme hledat v řečtině, kde „bolídos“ značí metací střelu.



Obrázek 4.27: Radiant meteorického roje Perseid nad Sečskou přehradou v roce 2024. Autor: Petr Horálek.

souhvězdí pak označujeme celý roj, například Leonidy, Orionidy nebo snad nejznámější Perseidy, které jsou pozorovatelné každý rok kolem 11. srpna. Shluky částic, které způsobují meteorické roje, pocházejí z komet. Ty se totiž při cestě vnitřní částí Sluneční soustavy pomalu rozpadají a ve své trajektorii zanechávají drobné zbytky. Pokud se Země dostane do míst, kudy zdrojová kometa prolétala nedávno, může být množství částic vysoké a pak může být intenzita roje tak velká, že mluvíme o meteorickém dešti. Poslední opravdu intenzivní a krásný má na svědomí kometa Tempel-Tuttle, která do-tuje roj Leonid. V letech 1998 a 1999 bylo jejich pozorování opravdovým zážitkem, frekvence meteorů byla až několik tisíc za hodinu a řada pozorovaných meteorů byla bolidy (obrázek 4.28 vpravo).



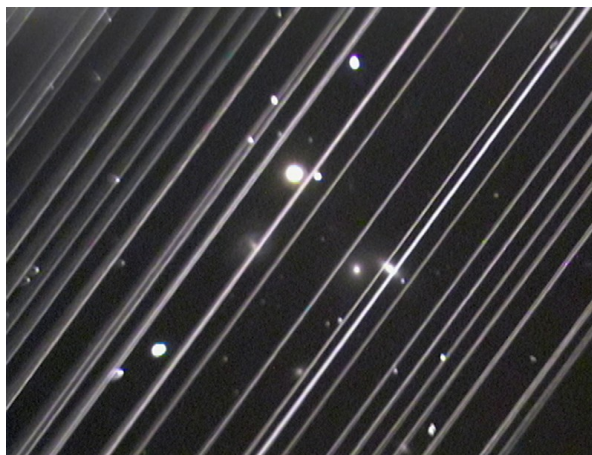
Obrázek 4.28: Meteorický déšť Leonid v roce 1833 na dobové kresbě (zdroj: Samuel J. Wormley) a snímek téhož roje Leonidy, který během maxima 16.11.1998 pořídil Juraj Toth na slovenské observatoři v Modre.



Obrázek 4.29: Mezinárodní kosmická stanice (ISS) na večerní obloze nad městečkem Tomahawk, Wisconsin, USA 9. dubna 2002 (kolem 9 pm CDT). Na snímku s 30s expozicí se ISS posunuje na východ (doprava) souhvězdím Kasiopėja. Pod ním je vidět kometa Ikeya-Zhang s malým ohonem. Foto: Carol Lakomiak.

4.8 Umělé družice

V době počátku kosmického věku sledovaly přelety prvních družic nadšené davy pozorovatelů. Dnes je v záplavě letadel a na přesvětlené městské obloze vnímá jen málokdo. Nicméně občas se stane, že je některá družice anebo dokonce přímo Mezinárodní kos-



Obrázek 4.30: Úhlopříčné čáry na snímku pořízeném na Lowellově observatoři v USA představují odražené světlo od povrchů družic projekt Starlink. Detaily v Witze (2020). Foto: Victoria Girgis/Lowell Observatory.

mická stanice ISS mimořádně jasná a lze ji dobře pozorovat. Družice vypadají na noční obloze jako jasné body, které se tiše sunou mezi hvězdami. Je zřejmé, že to, co pozorujeme v takovém případě, není vlastní světlo svítící z družice na Zemi, ale sluneční světlo odražené od lesklého povrchu družice. Někdy tak může družice díky rotaci „svítit“ i přerušovaně. Od letadel je ale většinou lze rozeznat. U nízko letících letadel je možné rozeznat červená blikající světla a i ta vysoko letící se většinou pohybují po obloze rychleji než družice.

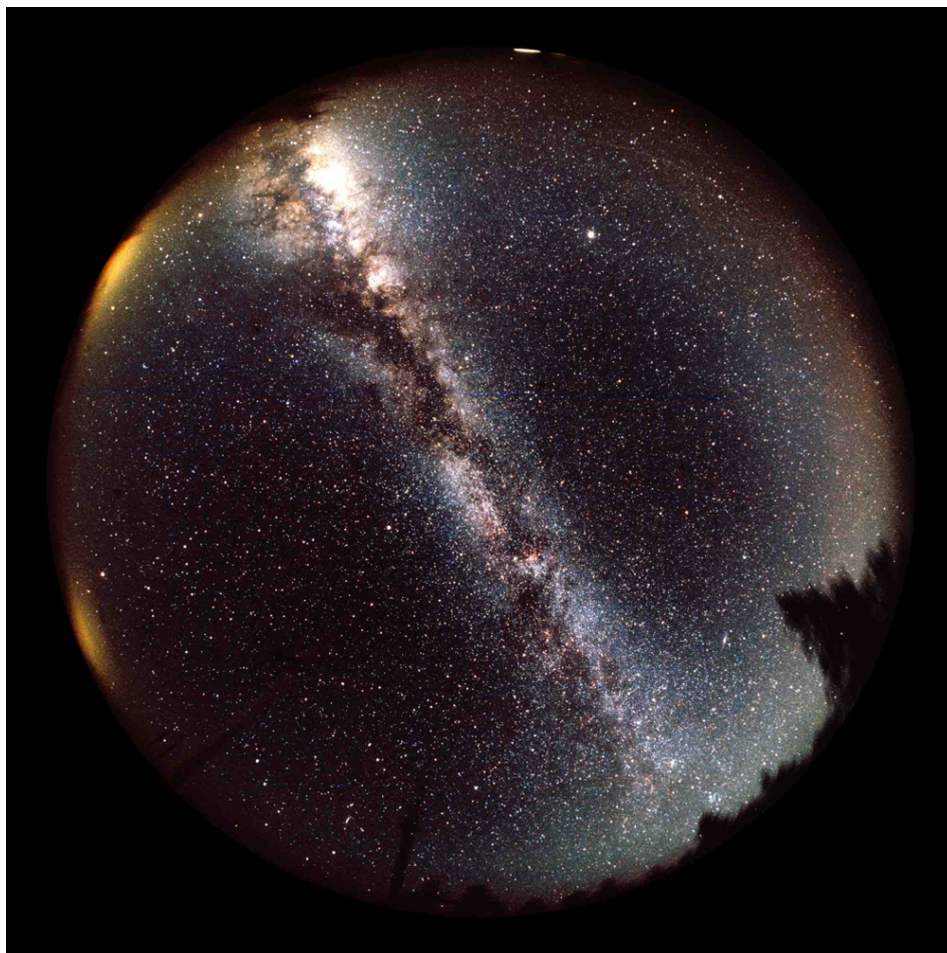
Občas je možné zachytit stopu družice i na snímku při fotografování objektů hvězdné oblohy (viz obrázek 4.29). Polohy družic a jejich pozorovatelnost v daném místě na Zemi je možné zjistit na <http://www.heavens-above.com/>. Bohužel, v posledních letech přibývá projektů, v nichž je vypouštěno na oběžnou dráhu obrovské množství malých satelitů. Ty pak způsobují astronomům nemalé problémy (viz obrázek 4.30).

4.9 Hvězdná obloha

Zřejmě nejvíce lidi přitahuje k astronomii právě pohled na temnou noční oblohu posetou hvězdami. Je to opravdu úžasný a fascinující pohled. Můžeme se jím kochat celé hodiny. Ale co to vlastně pozorujeme? Jaké jsou to objekty? Můžeme o nich zjistit něco více jen z prostého pohledu na ně? V této kapitole si stručně představíme kaleidoskop astronomických objektů nočního nebe.

4.10 Hvězdy a souhvězdí

Řekne-li se astronom, většina lidí si řekne, to je ten, co má něco společného s hvězdami. Pokud si nespletli astronoma, hvězdáře s astrologem, tvůrcem a vykladačem horoskopů, představí si člověka, který v noci pozoruje hvězdy dalekohledem a ve dne spí. Skutečnost je dnes zcela jiná. Astronom 21. století tak nepracuje, ale hvězdy jsou

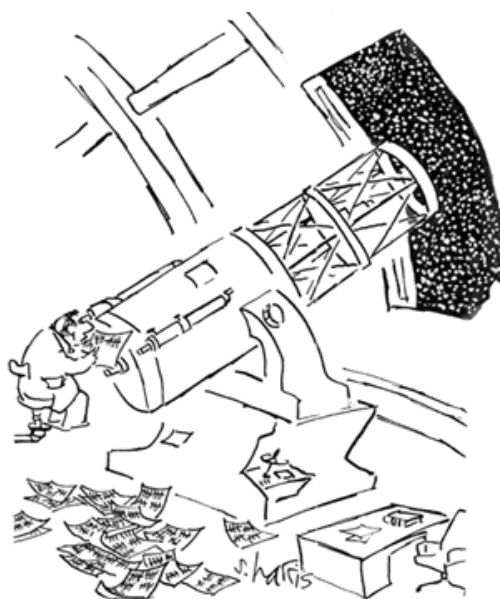


Obrázek 4.31: Hvězdné nebe. Zdroj: <http://mgpc3.as.arizona.edu/images>.

opravdu základním objektem pozorovaného vesmíru. Jenže. Co vlastně taková hvězda je? Přestože se následující definice může zdát poněkud vágní, je opravdu nejlepší, jakou můžeme použít. **Hvězda** jako vesmírný objekt je samostatné převážně kulové těleso tvořené plazmatem, udržované pohromadě vlastní gravitací, o hmotnostech v rozmezí hmotnosti $0,075 M_{\odot}$ až stovky hmotností Slunce. Spodní hranice hmotnosti odpovídá hmotnosti 78 planet Jupiter ($78 M_J$) a udává se také jako horní limit hmotnosti tzv. **hnědých trpaslíků**, objektů na pomezí mezi hvězdou a planetou²². Horní hranice se ještě na počátku století udávala v rozmezí $60-80 M_{\odot}$, ale dnes už jsou známy hvězdné objekty s podstatně větší hmotností. Nicméně přesná hranice dosud určena není.

Básníci často opěvují noční nebe poseté myriádami hvězd. Ale kolik těch hvězd na temné noční obloze je? Je to opravdu nespočetné množství nebo je můžeme spočítat? Sčítat hvězdu po hvězdě jako na obrázku 4.32 vypadá na první pohled jako bláznivý nápad. Ale proč by to nešlo? Ke konečnému číslu lze dospět i překvapivě snadno. Celé hvězdné nebe zabírá plochu 41 253 stupňů čtverečních. Vyberme si z hvězdné oblohy jednu část například o velikosti čtverce $10^{\circ} \times 10^{\circ}$. Spočteme hvězdy v této oblasti a pak

²²Spodní hranice hmotnosti hnědých trpaslíků $13 M_J$ vymezuje současně svět méně hmotných exoplanet.

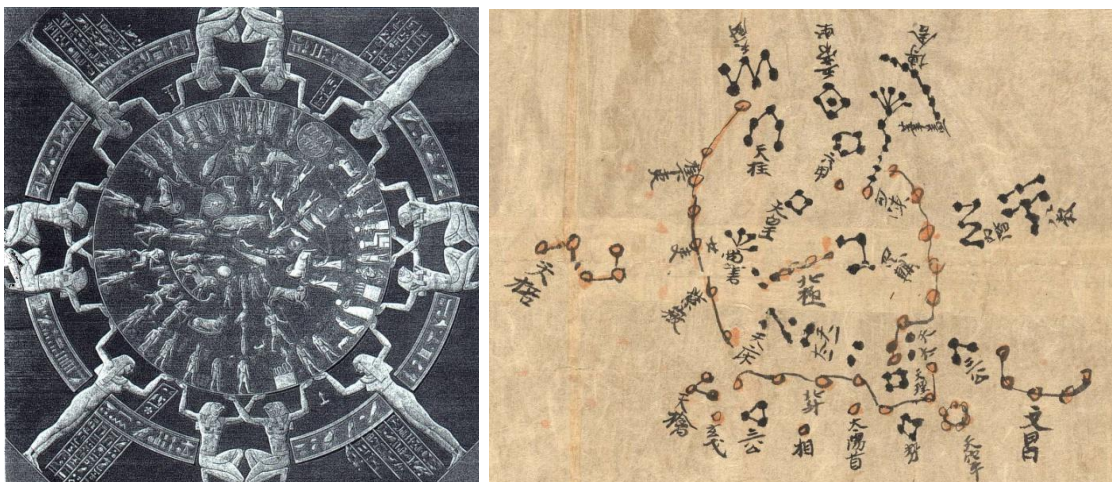


Obrázek 4.32: Takto astronom opravdu nepracuje. Autor: S. Harris.

už snadno zjistíme, kolik hvězd zhruba připadá na celou hvězdnou oblohu. V publikacích se většinou uvádí, že za ideálních podmínek je na hvězdné obloze pozorovatelných pouhýma očima bez dalekohledu jen zhruba pět až šest tisíc hvězd. Jenže k takovému výsledku by při pozorování mohl dospět jedině osamocení kosmonaut kdesi v kosmu, kde mu nic nebrání ve výhledu. Nám tady na povrchu Země vlastně právě Země samotná brání ve výhledu. Na obloze nad sebou tak můžeme za ideálních podmínek vidět jen asi dva až tři tisíce hvězd. Jedna hvězda pozorovatelná prostýma očima připadá na plochu téměř čtyřiceti měsíčních úplňků. A jak je to tedy s těmi myriádami? Je to vlastně optický klam. Při pohledu na hvězdnou oblohu nás přitahují jasné hvězdy, oči přejíždějí, doslova poskakují z jedné na druhou a mozek to vyhodnotí tak, že je tam těch hvězd plno. Jenže taková situace nastává v ideálních podmínkách. Ve městech s rušivým osvětlením a znečištěným ovzduším a za svitu Měsíce je situace ještě mnohem horší. Tam už mnohde můžeme hvězdy pozorovatelné na obloze pouhýma očima počítat jen na desítky!

Samozřejmě se situace promění, když si pomůžeme dalekohledem. Malým binokulárním dalekohledem, tzv. triedrem můžeme pozorovat za dobrých podmínek až 200 000 hvězd. Se zvětšujícími se dalekohledy se zvětšuje i počet pozorovatelných hvězd, a to až o několik řádů. Otázkou ale je, proč jsou odhady laiků tak nadsazené, přemrštěné. Zřejmě hraje roli několik faktorů. Hvězdy na obloze jsou rozmístěny nepravidelně, nevidíme žádné referenční body, čáry, hranice. A nepochybně záleží také na tom, jak celý obraz noční oblohy vnímá lidská mysl. Aby se lidé na hvězdné obloze nějak vyznali, orientovali se na ní, začali pojmenovávat nejjasnější hvězdy. Absenci pozorovatelných hranic nahradili tím, že si ve svých představách seskupovali určité hvězdy do skupin a těm dávali jména. Vymýšleli k nim pěkné příběhy, které odrážely jejich život, kulturu. A tak se na hvězdné obloze ocitly báje postavy, zvířata nebo věci. Nejstarší taková vyobrazení jsou stará řadu tisíciletí (viz obrázek 2.2).

Těmto pomyslným obrazcům na hvězdném nebi se dříve říkalo souhvězdí. Každá



Obrázek 4.33: Vlevo: Souhvězdí, jak jsou vyobrazena na reliéfu v chrámu bohyně Hathor v egyptské Dendeře z 1.st. př.n.l. Zdroj: wikipedia.org. Vpravo: Mapa z Dunhuangského hvězdného atlasu, který vznikl v letech 649 – 684 n.l. Zdroj: <http://jaga-lux.livejournal.com>

kultura měla různá souhvězdí. Například čínská starobylá souhvězdí jsou obecně menší než ta evropská a představují jiné objekty (viz obrázek 4.33). Dnes se pro takové skupiny hvězd na hvězdném nebi užívá označení **asterismus**. Význam slova **souhvězdí** se změnil. Jedním z prvních úkolů Mezinárodní astronomické unie IAU bylo ve dvacátých letech minulého století jednoznačně definovat souhvězdí a tím i příslušnost různých objektů k souhvězdím.

Představte si, že se díváte na hvězdnou oblohu. U jasných hvězd, které vytvářejí nějaký obrazec, například letící labuť, je zřejmá příslušnost k tomu obrazci. Ale co třeba nějaká slabší hvězda mezi dvěma takovými uskupeními hvězd na hvězdné obloze? Kam ji přiřadit? A co teprve ty spousty hvězd pozorovatelné dalekohledy? Řešením bylo rozčlenit celé hvězdné nebe na jednotlivé části a tak nově definovat souhvězdí. „Nová“ souhvězdí však byla většinou vytvořena tak, že v nově vymezeném „území“ hvězdné oblohy se nacházejí jasné hvězdy určitého obrazce a souhvězdí tak převzalo od tohoto uskupení i svůj název. Většina dnešních souhvězdí zejména severní části hvězdného nebe má svůj původ ve starém Řecku. Na jižním hvězdném nebi pak najdeme souhvězdí inspirovaná plavbami mořeplavců v 15. až 17. století. Hranice mezi souhvězdími samozřejmě nelze na nebi pozorovat, ale jsou zakresleny v mapách a atlasech. Hranice souhvězdí jsou tak obdobou hranic mezi státy.

O nové definici souhvězdí jednala první tři valná shromáždění IAU v letech 1922, 1925 a 1928. Na posledně uvedeném byly schváleny přesné hranice pro všech 88 souhvězdí (viz tabulka 4.5) podle návrhu, který dle zadání IAU vypracoval Eugène-Joseph Delporte. Tiskem vyšla souhrnná práce včetně tabulek a mapek o něco později (Delporte, 1930).

Existují ale známé skupiny hvězd, která nedaly jméno žádnému souhvězdí – například Velký letní trojúhelník, kde každá hvězda patří do jiného souhvězdí nebo naopak velmi známá skupina sedmi hvězd Velký vůz, kde všechny hvězdy patří do rozsáhlého souhvězdí Velké medvědice. Stejně jako historická uskupení hvězd, která dala vznik oficiálním souhvězdím, je také označujeme jako asterismy.

Tabulka 4.5: Seznam souhvězdí. Každé souhvězdí má i své mezinárodní (latinské) jméno a třípísmennou zkratku, které se používají v publikacích. Jejich znalost je nezbytnou výbavou každého astronoma.

Zkratka	Český název	Latinský název	Latinský genitiv	Rozloha [čtver. stupňů]
And	Andromeda	Andromeda	Andromedae	722
Ant	Vývěva	Antlia	Antiliae	239
Aps	Rajka	Apus	Apodis	206
Aql	Orel	Aquila	Aquiliae	652
Aqr	Vodnář	Aquarius	Aquarii	980
Ara	Oltář	Ara	Arae	237
Ari	Beran	Aries	Arietis	441
Aur	Vozka	Auriga	Auriage	657
Boo	Pastýř	Boötes	Boötis	907
Cae	Rydlo	Caelum	Caeli	125
Cam	Žirafa	Camelopardalis	Camelopardalis	757
Cap	Kozoroh	Capricornus	Capricorni	414
Car	Lodní kýl	Carina	Carinae	494
Cas	Kasiopeja	Cassiopeia	Cassiopeiae	598
Cen	Kentaur	Centaurus	Centauri	1 060
Cep	Kefeus	Cepheus	Cephei	588
Cet	Velryba	Cetus	Ceti	1 231
Cha	Chameleon	Chamaeleon	Chamaeleontis	132
Cir	Kružítko	Circinus	Circini	93
CMA	Velký pes	Canis Major	Canis Majoris	380
CMi	Malý pes	Canis Minor	Canis Minoris	182
Cnc	Rak	Cancer	Cancri	506
Col	Holubice	Columba	Columbae	270
Com	Vlasy Bereniky	Coma Berenices	Comae Berenicis	386
CrA	Jižní koruna	Corona Australis	Coronae Australis	128
CrB	Severní koruna	Corona Borealis	Coronae Borealis	179
Crt	Pohár	Crater	Crateris	282
Cru	Jižní kříž	Crux	Crucis	68
Crv	Havran	Corvus	Corvi	184
CVn	Honící psi	Canes Venatici	Canum Venaticorum	465
Cyg	Labuť	Cygnus	Cygni	804
Del	Delfín	Delphinus	Delphini	189
Dor	Mečoun	Dorado	Doradus	179
Dra	Drak	Draco	Draconis	1 083
Equ	Koníček	Equuleus	Equulei	72
Eri	Eridanus	Eridanus	Eridani	1 138
For	Pec	Fornax	Fornacis	398
Gem	Blíženci	Gemini	Geminorum	514
Gru	Jeřáb	Grus	Gruis	366
Her	Herkules	Hercules	Herculis	1 225
Hor	Hodiny	Horologium	Horologii	249
Hya	Hydra	Hydra	Hydrae	1 303
Hyi	Malý vodní had	Hydrus	Hydri	243
Ind	Indián	Indus	Indi	294
Lac	Ještěrka	Lacerta	Lacertae	201
Leo	Lev	Leo	Leonis	947
Lep	Zajíc	Lepus	Leporis	290
Lib	Váhy	Libra	Librae	538

LMi	Malý lev	Leo Minor	Leonis Minoris	232
Lup	Vlk	Lupus	Lupi	334
Lyn	Rys	Lynx	Lyncis	545
Lyr	Lyra	Lyra	Lyrae	286
Men	Tabulová hora	Mensa	Mensae	153
Mic	Mikroskop	Microscopium	Microscopii	210
Mon	Jednorožec	Monoceros	Monocerotis	482
Mus	Moucha	Musca	Muscae	138
Nor	Pravítko	Norma	Normae	165
Oct	Oktant	Octans	Octantis	291
Oph	Hadonoš	Ophiuchus	Ophiuchi	948
Ori	Orion	Orion	Orionis	594
Pav	Páv	Pavo	Pavonis	378
Peg	Pegas	Pegasus	Pegasi	1 121
Per	Perseus	Perseus	Persei	615
Phe	Fénix	Phoenix	Phoenicis	469
Pic	Malír	Pictor	Pictoris	247
PsA	Jižní ryba	Piscis Austrinus	Piscis Austrini	245
Psc	Ryby	Pisces	Piscium	889
Pup	Lodní záď	Puppis	Puppis	673
Pyx	Kompas	Pyxis	Pyxidis	221
Ret	Mřížka	Reticulum	Reticuli	114
Scl	Sochař	Sculptor	Sculptoris	475
Sco	Štír	Scorpius	Scorpii	497
Sct	Štít	Scutum	Scuti	109
Ser	Had	Serpens	Serpentis	637
Sex	Sextant	Sextans	Sextantis	314
Sge	Šíp	Sagitta	Sagittae	80
Sgr	Štílec	Sagittarius	Sagittarii	867
Tau	Býk	Taurus	Tauri	797
Tel	Dalekohled	Telescopium	Telescopii	252
TrA	Jižní trojúhelník	Triangulum Australe	Trianguli Australis	110
Tri	Trojúhelník	Triangulum	Trianguli	132
Tuc	Tukan	Tucana	Tucanae	295
UMa	Velká medvědice	Ursa Major	Ursae Majoris	1 280
UMi	Malý medvěd	Ursa Minor	Ursae Minoris	256
Vel	Plachty	Vela	Velorum	500
Vir	Panna	Virgo	Virginis	1 294
Vol	Létající ryba	Volans	Volantis	141
Vul	Lištička	Vulpecula	Vulpeculae	278



Obrázek 4.34: K vysvětlení pojmu souhvězdí. Jestliže si vybereme pět našich měst a spojíme je na mapě, dostaneme písmeno "W". Výrok typu: „Toto dvojité vé je Česká republika.“ je nesmyslný. Těch pět bodů rozhodně nepředstavuje celou Českou republiku. Česká republika je tvořena územím, na němž se nachází nejen těch pět měst, ale také spousta dalších měst, městeček, vesnic. Výrok je tedy třeba pozměnit, například na: „Města, tvořící toto dvojité vé patří do České republiky.“ Úplně stejná situace je pak u seskupení hvězd, asterismů a souhvězdí.

4.10.1 Označování hvězd

Zatímco pojmenování a označování souhvězdí už je jasné, ani zdaleka to neplatí pro hvězdy. V jejich označování je doslova džungle. Ale jako se zkušený lovci vyznaží v divočině, tak se zkušený astronomové vyznaží ve jménech a označeních hvězd. Hvězdy svá jména a označení získávaly podle různých kritérií. Jedna hvězda může mít i několik desítek různých označení. Pokud vám ale někdo nabídne, že po vás nějakou hvězdu pojmenuje (zpravidla za malý obnos), nevěřte mu. Nic takového není přípustné.

Nejstarší označení hvězd jsou vlastní jména těch nejjasnějších. Například jméno nejjasnější hvězdy naší hvězdné oblohy Sírius pochází z řeckého *seirios*, což značí blikotající, jiskřící, protože pro pozorovatele ve starověkém Řecku byl pozorovatelný jako mihotající se jasný bod nízko nad obzorem. Ale stejné hvězdě se také říká Canicula, Psí hvězda nebo Aschere podle toho, z jakých zdrojů, z jaké kultury budeme vycházet. Většina současných vlastních jmen hvězd má svůj původ v arabštině (Denk & Hlad, 1996)²³. Od počátku 17. století bylo hvězdám bez vlastního jména postupně přidělováno označení malými řeckými písmeny, malými písmeny latinské abecedy a čísla. Později se přidala označení podle katalogů a přehledkových projektů. Zvláštní systém označování pak připadl proměnným hvězdám. Jen několik málo hvězd získalo jméno po astronomovi. Jedna hvězda dnes může být nositelkou až několik desítek označení.

Stručný popis pojmenování hvězd, ale i jiných astronomických objektů lze najít na stránkách Mezinárodní astronomické unie nebo v publikaci Bakich (1995). Pro praktické použití je ale důležitější znát astronomický portál SIMBAD <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>. Po zadání jména hvězdy vám ukáže různá alternativní jména a označení hvězdy a postará se tak, abyste se v džungli hvězdných názvů neztratili. Názornou ukázkou synonym označení jediné proměnné hvězdy VY Draconis uvádíme na následujících řádcích.

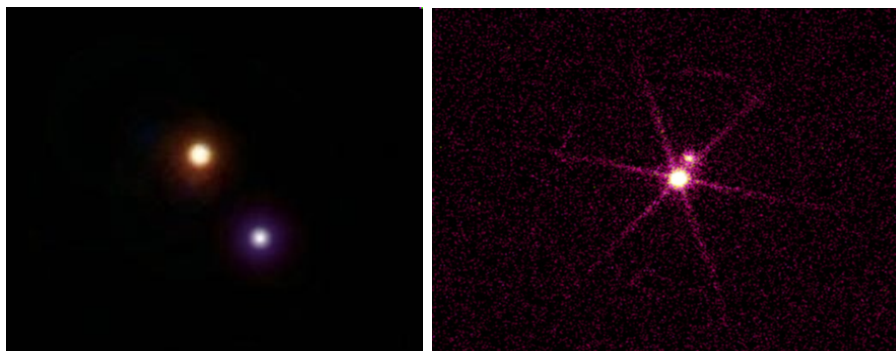
²³Pěkný přehled o moderním názvosloví hvězd a jeho původu lze najít v Kunitzsch & Smart (2006).

V* VY Dra	GC 21098	[HFE83] 1132	TYC 4185-1512-1
AG+64 737	GSC 04185-01512	PPM 19536	2MASS J15395049+6439423
AGKR 14008	HIC 76709	SAO 16806	AAVSO 1538+64
AN 4.1922	HIP 76709	SKY# 28335	Gaia DR1 1641316495126440832
BD+65 1069	IRAS 15391+6449	TIC 202300346	Gaia DR2 1641316499421966848

4.10.2 Dvojhvězdy

Při pohledu na hvězdné nebe prostýma očima a poté i při pohledu do dalekohledu můžete někdy pozorovat dvě hvězdy těsně vedle sebe. Na rozdíl od našich předků ale víme, že tyto hvězdy nemusí být ve stejné vzdálenosti od Země, protože nejsou umístěny na nebeské sféře. Ne všechny pozorované dvojice jsou skutečnými gravitačně vázanými hvězdnými páry. Některé dvojice vznikly prostou projekcí. Jejich složky spolu souvisí jen tím, že se nalézají takřka ve stejném směru od nás. Takovým hvězdným dvojcím říkáme **optické dvojhvězdy**. Gravitačně vázané dvojice hvězd obíhající kolem společného těžiště označujeme jako **fyzické dvojhvězdy**. Populární publikace většinou tvrdí, že je jich ve vesmíru mnohem více než osamocených hvězd jako naše Slunce. Pravdou je, že přesný podíl neznáme. Mnoho studií určuje výskyt fyzických dvojhvězd vždy jen v určité skupině hvězd a tak jsou celkové výsledky dost zkreslené. V každém případě představují hvězdné páry významné procento hvězdné populace.

Pokud je možné pozorovat pouhýma očima nebo v dalekohledu obě složky takové fyzické dvojhvězdy, označujeme ji jako **vizuální dvojhvězda**. Příkladem je Mizar ze souhvězdí Velké medvědice. Mizar se slabším společníkem Alcorem najdeme v oji Velkého vozu. Od nepaměti se tato dvojice používala pro testování kvality zraku. Vidíte-li obě hvězdy za dobrých podmínek bez potíží, máte zrak v pořádku, ale stačí krátkozrakost nebo dalekozrakost jedné dioptrie a Alcor od Mizaru již nerozlišíte. Když si astronomové na tuto dvojici „posvítili“, nestačili se divit. Postupně vyšlo najevo, že jde o složitý vícehvězdný systém tvořený dokonce šesti hvězdami. Třináct vybraných dvojhvězd a vícenásobných soustav pro pozorování okem a v malém dalekohledu je uvedeno v tabulce 4.6.



Obrázek 4.35: Ukázky dvojhvězd: vlevo Albireo (snímek Georgy Lilley), vpravo Sirius v rentgenovém oboru (28. 10. 1999 družice Chandra, NASA/SAO/CXC).

Tabulka 4.6: Vybrané dvojhvězdy pro pozorování.

Označení	Jméno	Typ	Barvy	Hv. veli- kosti[mag]	Úhlová vzdálenost	Rozli- šení
ζ UMa + + 80 UMa	Mizar a Alcor	viz	obě bílé	2,4+4,0	11,8'	O
ζ UMa	Mizar	viz	obě bílé	2,4+4,0	14,4''	D
α Cap	Algiedi	opt	obě žluté	4,2+3,6	6,4'	O
ε Lyr	"Double double"	viz	všechny bílé	(4,7+6,2)+ +(5,1+5,5)	(2,6'')-3,5'- -(2,3'')	O
β Cyg	Albireo	opt	oranžová a modrá	3,1+5,1	34,3''	T
α CVn	Cor Caroli	viz	obě bílé	2,9+5,6	19,3''	D
θ Ori	Trapez	viz	všechny bílé	5,4+6,8+ +8,0+6,3	19'' až 9''	D
γ And	Alamak	viz	oranžová a modrozelená	2,13+4,84	9,6''	D
γ Ari	Mesarthim	viz	obě bílé	4,58+4,64	7,61''	D
γ Leo	Algieba	viz	oranž. a žlutá	2,28+3,51	4,24''	D
74 UMa+ + 75 UMa	M40	opt	obě bílé	5,4+6,1	20'	D

Poznámky k tabulce: O - rozlišení pouhýma očima, T - rozlišení v triedru, D - dalekohledem.
* - na jižní hvězdné obloze.

4.10.3 Proměnné hvězdy

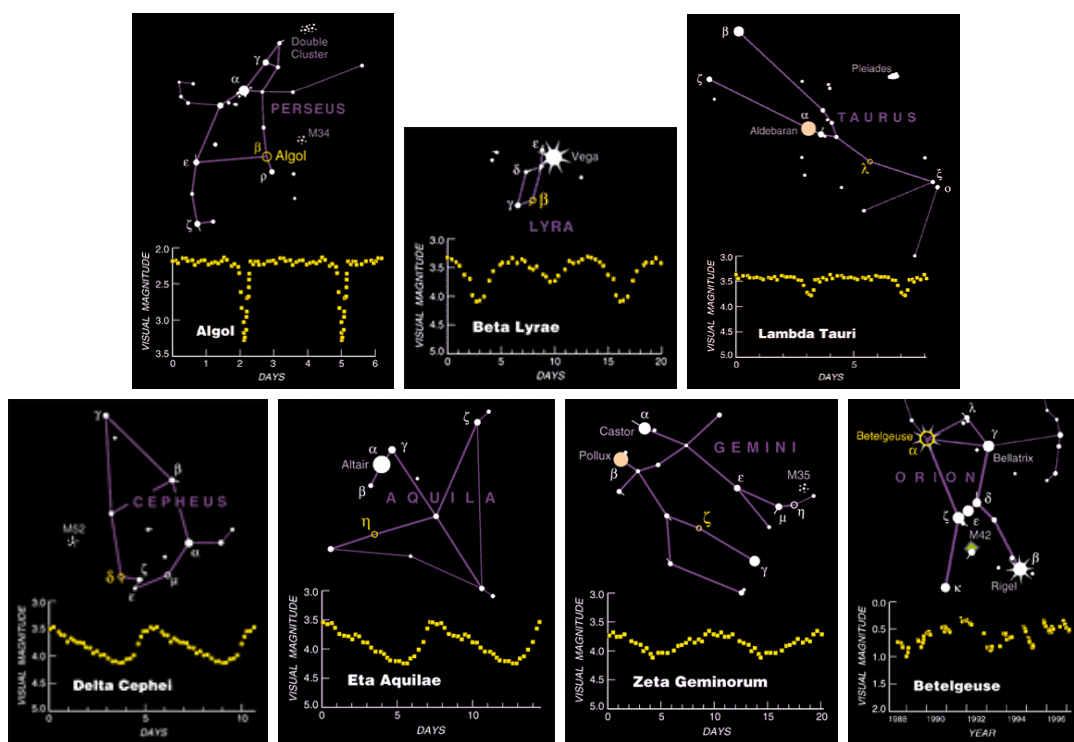
Při pozorování noční oblohy poseté hvězdami se neubráníte dojmu, že se hvězdy mění, mihotají, poblikávají. Jde o tzv. *scintilaci*, která je způsobena neklidem zemského ovzduší. Příčina proměnnosti tedy tkví v průchodu světla hvězd zemským ovzduším, přesněji řečeno jde o změny lomu světla procházejícího daným směrem zemskou atmosférou. Existují ale hvězdy, které se skutečně samy mění. Mění se jejich hvězdné velikosti. Takovým hvězdám říkáme proměnné hvězdy. Změny hvězdných velikostí mohou být v rozsahu od řekněme tisícín magnitudy až po několika magnitud a to na časových škálách zlomků sekund až desítek let. Graf závislosti hvězdné velikosti na čase pak nazýváme *světelná křivka*. V současnosti je známo několik miliónů proměnných hvězd. Přes dva milióny proměnných hvězd a hvězd podezřelých z proměnnosti obsahuje VSX (Watson et al., 2016)²⁴.

V takovém množství proměnných hvězd lze najít řadu skupin hvězd se společnými vlastnostmi i charakterem změn jasnosti. Změny jasnosti mohou být důsledkem prosté geometrie nebo může jít o fyzické změny hvězd.

U **geometrických proměnných hvězd** (angl. *extrinsic variable stars*) je pozorovaná změna jasnosti vyvolaná změnou geometrie hvězdy nebo soustavy hvězd. Například jde o rotující proměnné hvězdy, které mají na svém povrchu jednu nebo více skvrn a jak rotují, natáčejí k nám jasnější nebo temnější stranu, což se projeví změnou jasnosti.

²⁴Aktuální katalog proměnných hvězd lze najít na <https://www.aavso.org/vsx/>.

Podobně se může měnit jasnost hvězdy, pokud její tvar není kulový, ale elipsoidální a při otáčení k nám se mění velikost plochy, která září ve směru k nám. Mezi geometrické proměnné hvězdy řadíme i zákrytové dvojhvězdy. Většinou jde o těsné dvojhvězdy obíhající kolem společného těžiště. Na rozdíl od vizuálních dvojhvězd tady jednotlivé složky dvojhvězdy nerozlišíme. Celý systém je příliš daleko, ale jeho rovina oběžné trajektorie je skloněna tak, že zorný paprsek ze Země leží v této rovině nebo se od ní jen mírně odklání. To pak znamená, že se nám hvězdy při svém vzájemném oběhu zcela nebo částečně zakrývají. Při zákrytu pak místo plného společného světla obou hvězd pozorujeme jen záření z jedné hvězdy a z nezakryté části druhé hvězdy. V každém případě dojde k poklesu celkové jasnosti. Podobně se projevuje i přechod planety přes disk mateřské hvězdy, jen pozorovaný pokles jasnosti se zpravidla projeví změnou hvězdné velikosti menší než několik setin magnitudy.



Obrázek 4.36: Světelné křivky a mapky pro několik nejjasnějších proměnných hvězd na naší obloze. Převzato z <http://www.skyandtelescope.com>.

Ke geometrickým proměnným objektům můžeme počítat i takové, kde jsou změny jasnosti způsobené (mikro)čočkováním. Při něm se mezi námi a pozorovaným vzdáleným objektem nachází jiný objekt, který svým gravitačním polem zakřivuje paprsky od zdroje podobně jako spojná čočka. Gravitační čočkou mohou být různé objekty od hvězd po galaxie a kvasary. V případě hvězdných čoček mluvíme o mikročočkách.

Na druhou stranu existuje velká skupina hvězd – **fyzicky proměnné hvězdy** (angl. *intrinsic variable stars*), kde se v důsledku fyzikálních procesů mění parametry těchto hvězd a tím i jejich jasnost. Nejpočetnější je skupina pulsujících hvězd, které v čase mění svoji velikost a teplotu povrchu a tím i zářivý výkon. Mezi fyzické proměnné hvězdy patří i hvězdy, kde dochází k různým erupcím, od relativně malých vzplanutí

na povrchu hvězdy až po zcela devastující výbuchy supernov, které hvězdu zčásti nebo úplně rozmetají do okolního prostoru.

Řadu dnes již klasických proměnných hvězd můžeme pozorovat na noční obloze i pouhýma očima bez dalekohledu. Jsou to například zákrytové dvojhvězdy β Per (Algol) a β Lyr (Sheliak) nebo pulsující proměnné hvězdy α Cep (Mira) nebo δ Cep. Proměnná je třeba i Polárka, ale u ní nejsou změny jasnosti příliš dobře patrné. Na obrázku 4.36 je uvedeno několik jasných proměnných hvězd s vyznačením jejich polohy v mateřském souhvězdí a také pozorovanou světelnou křivkou.

4.11 „Nehvězdné“ objekty ze světa hvězd

Trochu zvláštní název. Jistě. Ale zcela vystihuje obsah následující kapitoly. Budeme se věnovat katalogům, které obsahují zejména hvězdokupy, mlhoviny a galaxie. Většina z nich se jeví v malém dalekohledu jako mlžinka, malá mlhovinka, a právě proto, aby je pozorovatelé snadno odlišili od dalších mlžinek – komet, vznikly specializované katalogy. První seznam sestavil italský astronom Giovanni Battista Hodierna²⁵ v roce 1654. Jeho práce bohužel upadla v zapomnění a byla objevena až relativně nedávno (Serio et al., 1985). Není tedy ani zřejmé, zda o ní věděl Charles Messier, když v letech 1757–1771 pracoval na svém katalogu. *Messierův katalog* obsahuje 110 objektů (mlhovin, hvězdokup, galaxií), označovaných M1–M110. Ale obsahuje i dvě výjimky, dvojhvězdu M40 a čtyřhvězdu M73. Messierův pokračovatel John Louis Emil Dreyer²⁶ sestavil katalog objektů s názvem *New General Catalogue* NGC (1888), který obsahuje 7 840 objektů. Později jej doplnil o dva dodatky *Index Catalogue* IC1 v roce 1895 a IC2 v roce 1908 (tiskem až 1910), které obsahovaly 5 386 objektů. Katalogy byly několikrát revidovány, např. Revised NGC/IC (Steinicke 2021) udává 13 957 objektů.

4.11.1 Hvězdokupy

Messier při svém pátrání po mlhavých objektech zaznamenával i zvláštní seskupení hvězd. Z řady jeho mlhovin se po použití větších dalekohledů vyklubala seskupení hvězd, tzv. hvězdokupy. V podstatě rozlišujeme hvězdokupy otevřené a kulové. Jak už název napovídá, liší se svým vzhledem. Zatímco **kulové hvězdokupy** mají většinou souměrný tvar koule, v dalekohledu kotoučku, kde koncentrace hvězd směrem k centru roste, **otevřené hvězdokupy** mají nepravidelný tvar a jsou tvořeny zpravidla jen desítkami až stovkami hvězd, na rozdíl od kulových, které mohou obsáhnout desetitisíce až milióny hvězd. Odlišností je ale více.

K nejstarším vyobrazením otevřené hvězdokupy můžeme řadit malbu Plejád v jeskyni Lascaux (obr. 2.2), případně známý disk z Nebry (obrázek 2.6) z 16.–17. století př.n.l. z doby bronzové. Ptolemaios uvádí kolem roku 150 n.l. v *Almagestu* například Praesepe nebo dvojitou hvězdokupu v Perseovi. Perský astronom Abd al-Rahman al-Sufi (Azophi) publikoval v roce 964 poutavou knihu o astronomii, v níž mimo jiné píše o pozorování hvězdokupy Omikron Velorum (IC 2391) (Moore & Rees, 2011).

²⁵Někde též Giovan Battista Odierna.

²⁶Narodil se v Kodani jako Johan Ludvig Emil Dreyer.



Obrázek 4.37: Objekty Messierova katalogu. Zdroj: <http://prancer.physics.louisville.edu/>.

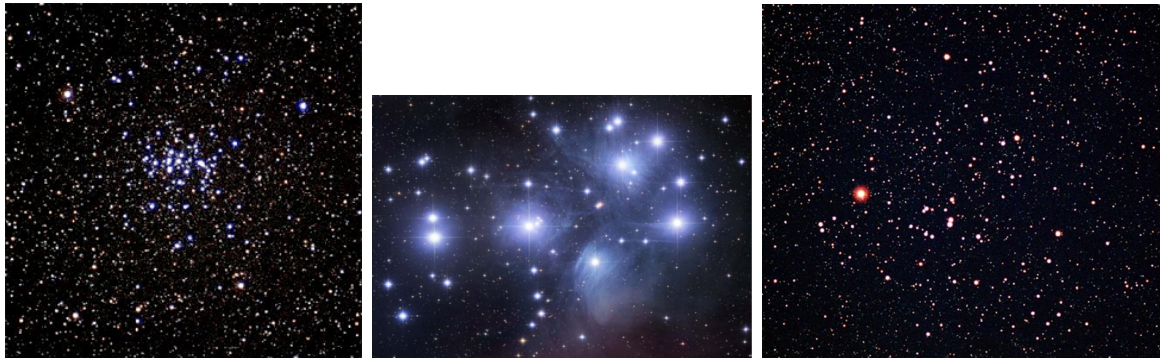
Pro pozorování dalších hvězdokup a zejména jejich rozlišení na jednotlivé hvězdy bylo zapotřebí dalekohledu. Galileo Galilei nejen rozlišil hvězdy v Mléčné dráze, ale zamířil dalekohled na některé mlhavé skvrny zmiňované Ptolemaiem a zjistil, že jsou to ve skutečnosti skupinky hvězd. U známých hvězdokup pak zvýšil počet jejich pozorovaných členů, například místo 6-7 jich v Plejádách našel 50 (Maran & Marschall, 2009). Pravděpodobně prvním objevitelem nových otevřených hvězdokup dalekohledem ale byl už zmiňovaný sicilský astronom Giovanni Battista Hodierna (Jones, 1986).

V současnosti známe v naší Galaxii zhruba 2 100 otevřených hvězdokup. Jsou to vesměs nestabilní útvary, které se postupně rozpadají. Jejich stáří se pohybuje průměrně v řádech desítek milionů let, jen zcela výjimečně dosáhnou miliardy let. Mezi nejznámější otevřené hvězdokupy patří Plejády, Hyády, Praesepe nebo dvojitá hvězdokupa η a χ Persei (viz tabulka 4.7).

Tabulka 4.7: Zajímavé otevřené hvězdokupy pro pozorování.

Označení	Jméno	Souhvězdí	Celková hvězdná velikost [mag]	Úhlové rozměry	Viditelnost	
M44	Praesepe (Jesličky)	Cnc	3,1	70'	O	
M67		Cnc	6,9	25'	D	
M39		Cyg	4,6	30'	T	
M11		Divoká kachna	Sct	5,8	13'	T,D
M23			Sgr	5,5	30'	T
M25			Sgr	4,6	30'	T
M52			Cas	6,9	15'	D
NGC 457			Cas	6,4	20'	D
NGC 7789			Cas	6,7	25'	D
NGC 869,884		χ , h ; dvojitá	Per	4,3+4,4	30'+30'	O
M45	Plejády (Kuřátka)		Tau	1,2	120'	O
M35		Hyády	Tau	0,5	330'	O
M36	Gem		5,0	25'	T	
M37	Aur		6,0	10'	D	
M38	Aur		5,6	14'	D	
M41	Aur		6,4	20'	D	
		CMi	4,5	40'	T	

Poznámky k tabulce: Viditelnost O - pouhýma očima, T - v triedru, D - v dalekohledu.



Obrázek 4.38: Otevřené hvězdokupy. Zleva Jesličky (M44), Plejády (M45) a Hyády.

Nejstarší pozorování kulové hvězdokupy je připisováno německému amatérskému astronomovi. Johann Abraham Ihle objevil v roce 1665 ve Střelci objekt M22 (Sharp, 2006). Následovaly další objevy – Edmond Halley objevil v roce 1677 ω Centauri, roku 1714 hvězdokupu M13 v Herkulovi a Gottfried Kirch roku 1702 M5 v Hadovi. Teprve v polovině 18. století se ale podařilo rozlišit první hvězdy v kulových hvězdokupách. Takové privilegium se připisuje Messierovi při pozorování kulové hvězdokupy M4.

Katalog kulových hvězdokup v naší Galaxii (Harris, 2010) obsahuje 157 záznamů. (Vasiliev & Baumgardt, 2021) udávají na základě výsledků družice GAIA 170 kulových hvězdokup.

Na rozdíl od otevřených hvězdokup patří ty kulové mezi velmi staré vesmírné útvary



Obrázek 4.39: Nejjasnější kulová hvězdokupa na hvězdné obloze ω Centauri (NGC 5139) a detail její centrální oblasti z HST. Převzato z <http://heritage.stsci.edu>.

Tabulka 4.8: Zajímavé kulové hvězdokupy pro pozorování.

Označení	Souhvězdí	Hv.velikost [mag]	Úhlové rozměry	Viditelnost
M3	CVn	6,2	18'	T,D
M13	Her	5,8	20'	O,T
M22	Sgr	5,1	32'	T
M4	Sco	5,9	26'	D
M15	Peg	6,2	18'	T,D
M2	Aqr	6,3	16'	D
M5	Cnc	6,6	23'	D
ω Centauri	Cen	3,9	36,3'	O,N

Poznámky k tabulce: Viditelnost: O - pouhýma očima, T - v triedru, D - v dalekohledu, N - z České republiky nepozorovatelná.

obsahující staré hvězdy. Jejich stáří se zpravidla pohybuje v řádu miliard let. Mezi nejnámější a nejlépe pozorovatelné kulové hvězdokupy patří již zmiňovaná M13 v souhvězdí Herkula nebo na jižní hvězdné obloze ω Centauri. Další lze najít v tabulce 4.8.

4.11.2 Mlhoviny

Na první pohled by se mohlo zdát, že prostor mezi hvězdami je úplně prázdný. Ale při bližším pohledu zjistíme v některých místech hvězdné oblohy mlžinky, které nelze ani v největších dalekohledech rozlišit na jednotlivé hvězdy. Ukazuje se, že jde o rozsáhlé prostorové útvary – mlhoviny, tvořené mezihvězdným plynem a prachem. Jejich hustota je v pozemských měřítkách opravdu nicotná. Dala by se poměřovat snad jen s hustotou vakua dosaženého v nejlepších pozemských laboratořích²⁷, ale v astronomii hrají

²⁷Hustota mlhovin se udává v rozmezí 100-10 000 částic/cm³, mezihvězdný plyn má zhruba 1 částici v 1 cm³. Pro srovnání vzduch má 10¹⁹ částic/cm³. Nejlepší laboratorní vakuum, tzv. extrémně vysoké

mlhoviny zcela zásadní roli. Mlhoviny mohou být místem vzniku nových hvězd, doslova hvězdnými porodnicemi, ale také mohou na druhé straně ukazovat místo, kde nějaká hvězda relativně nedávno zanikla.

Nejen samotné mlhoviny ale i rozptýlená mezihvězdná látka vydatně pohlcuje procházející světlo, a tak jsou všechny objekty, nacházející se za ní, výrazně utlumeny. Zeslabování světla, neboli v tomto případě **mezihvězdná extinkce** je samozřejmě největší ve směru do centra naší hvězdné soustavy, naší Galaxie. Tam jde ve vizuálním oboru o více než 30 magnitud!



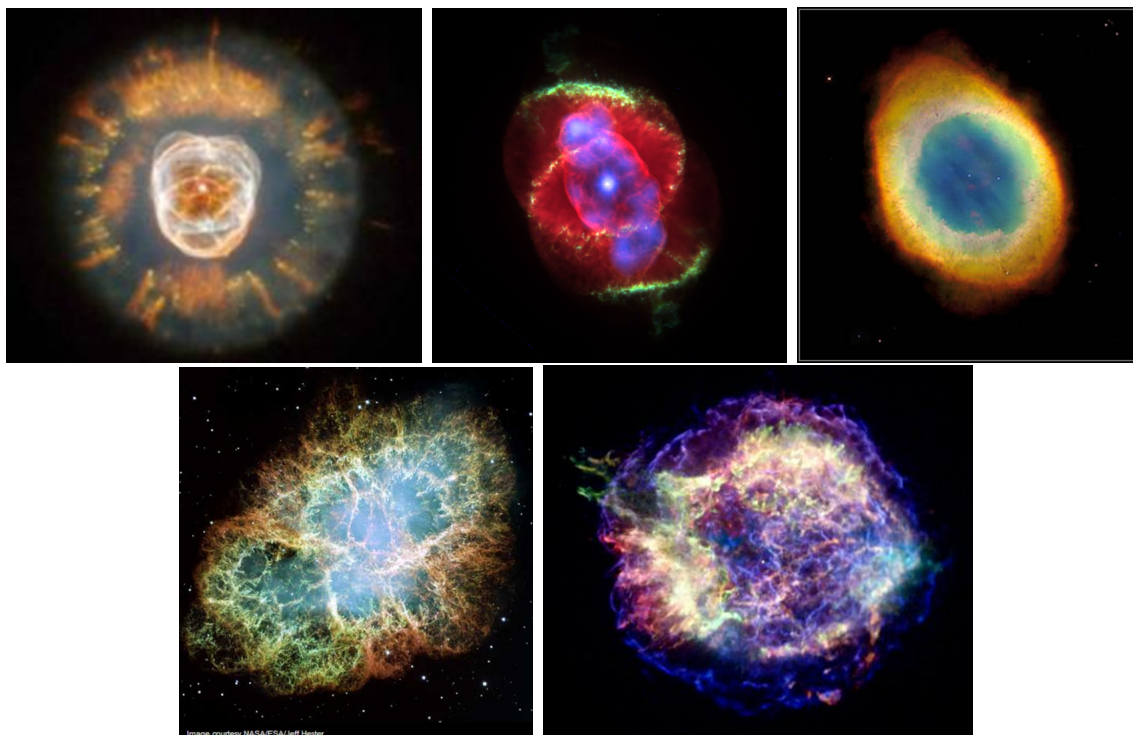
Obrázek 4.40: Mlhoviny tvořené mezihvězdným materiálem. Zleva: Temná mlhovina Dýmka v souhvězdí Hadonoše, temná mlhovina Koňská hlava (IC 434) v Orionu a emisní mlhovina M42 v Orionu. V centru mlhoviny M42 můžeme navíc pozorovat hvězdokupu Trapez. Zdroj: <http://www.atlasoftheuniverse.com/>, Hubble Heritage.

Kdo první pozoroval na obloze nějakou mlhovinu už zřejmě nikdy nezjistíme. Jeden z nejstarších záznamů o pozorování pěti „mlhavých hvězd“ lze najít v Ptolemaiově *Almagestu* z období kolem roku 150 n.l. Zmiňuje se také o mlhavém útvaru mezi Velkou medvědicí a Lvem, který nebyl spojen s nějakou hvězdou. Abd al-Rahman al-Sufi v 10. století popsal své pozorování „mlhoviny“ v Andromedě na místě galaxie M31. Po vynálezu dalekohledu zaznamenal první pozorování mlhoviny, a to mlhoviny v Orionu (M42), 26. listopadu 1610 Nicolas-Claude Fabri de Peiresc. První detailní studii téže mlhoviny pak uskutečnil až roku 1659 Christian Huygens²⁸. První minikatalog šesti mlhovin sestavil Edmund Halley v roce 1715.

Mlhoviny historicky rozdělujeme na temné a svítící. O přítomnosti **temné mlhoviny** svědčí jen to, že zakrývá světlejší pozadí nebo prostě v určité části hvězdné oblohy „chybí“ hvězdy. Příkladem může být mlhovina Koňská hlava v Orionu (obrázek 4.40 uprostřed) nebo tzv. Uhelny pytel, kterého si pozorovatel snadno povšimne na jižní hvězdné obloze v Mléčné dráze kousek od Jižního kříže. Naproti tomu **svítící mlhoviny** samy září do okolního prostoru. Zdroj záření ale může být různý. Některé mlhoviny září díky rozptýlenému nebo odraženému světlu nějaké blízké hvězdy, u některých dojde k vybuzení vlastního záření přítomností blízké horké hvězdy. Příkladem takové emisní mlhoviny je mlhovina M42 v Orionu (obrázek 4.40 vpravo).

vakuum má méně než 10^4 molekul/cm³.

²⁸Huygens se také domníval, že právě on objevil mlhovinnou povahu tohoto objektu.



Obrázek 4.41: V horní řadě snímků jsou planetární mlhoviny, zleva Eskymák (NGC 2392), Kočičí oko (NGC 6543) a Prstencová mlhovina (M57) v Lyře a v dolní řadě Krabí mlhovina (M1) v Býku a pozůstatek supernovy v souhvězdí Kasiopeji. Zdroj: Hubble Heritage.

Současný mezihvězdný materiál ve vesmíru je tvořen zejména pozůstatky předchozích generací hvězd. Hvězdy mohou v určitých fázích svého vývoje vytvářet mlhoviny a ty se tak nacházejí v jejich bezprostředním okolí nebo na místě, kde byl dříve jejich původce. K takovým mlhovinám patří tzv. **planetární mlhoviny** a pozůstatky po výbuchu supernovy. Kataklyzmickým výbuchem supernovy končí život velmi hmotné hvězdy nebo v něj může vyústit soužití dvou hvězd. Hvězda při něm může být doslova rozervána na kusy a postupně se rozplynout do okolí v podobě mlhoviny. To se roku 1054 stalo i supernově, která dala vzniknout dnešní Krabí mlhovině (obrázek 4.41). Naproti tomu vznik planetární mlhoviny není pro hvězdu příznakem smrti. Vzniká v poměrně krátkém období, kdy hvězda odhazuje svou vnější obálku, která je pak pozorovatelná v podobě prstence, prstýnku kolem mateřské hvězdy. Při pozorování se prvním objevitelům a pozorovatelům jevila jako kotouček planety, proto ten zavádějící přívlastek „planetární“, přestože s planetami opravdu nic společného nemá. Jedna z nejkrásnějších planetárních mlhovin M57 se nachází v souhvězdí Lyry (obrázek 4.41 vpravo nahoře).

4.12 Naše a cizí galaxie

Když se v létě za ideálních podmínek podíváme na temnou noční oblohu posetou hvězdami, neujde naší pozornosti stříbrný pás, který se vine celou oblohou. Jde o pás Mléčné dráhy.

Tabulka 4.9: Zajímavé mlhoviny na pozorování.

Označení	Jméno	Souhvězdí	Typ	Úhlové rozměry	Hv. velikost [mag]	Viditelnost
M57	Prstencová	Lyr	PN	230'' × 230''	8,8	D
M27	Činka (Dumbell)	Vul	PN	8,0' × 5,6'	7,5	D
M42	Mlhovina v Orionu	Ori	RN,EN	65' × 60'	4,0	O,T
NGC2023	Košská hlava	Ori	DN	8' × 6'		D
M1	Krabí	Tau	SR,EN	420'' × 290''	8,4	D
M76	Malá činka	Per	PN	2,7' × 1,8'	10,1	D
NGC1499	Kalifornia	Per	EN	2,5°	6,0	D
NGC2237–39	Rozeta	Mon	EN	1,3°	9,0	D
NGC3242	Jupiterův duch	Hya	PN	45'' × 36''	7,7	T,D
NGC7023	Kosatec (Iris)	Cep	RN	18'	7,0	T,D
M97	Soví	UMa	PN	3,4' × 3,3'	9,9	D
NGC7000	Severní Amerika	Cyg	EN	120' × 100'	4	T
NGC6960	Řasy	Cyg	EN	3°	5,0	D
NGC7293	Helix	Aqr	PN	20'	7,6	D
NGC3372	eta Car	Car	PN	120'	3,0	O,N
	Uhelný pytel	Cru	DN	7° × 5°		O,N

Poznámky k tabulce: Typ: DN - temná mlhovina, PN - planetární mlhovina, SR - pozůstatek po supernově, RN - reflexní mlhovina, EN - emisní mlhovina. Viditelnost: O - pouhýmá očima, T - v triedru, D - v dalekohledu, N - z České republiky nepozorovatelná.



Obrázek 4.42: Okouzluující pás Mléčné dráhy. V levé části snímku Luise Argeriche jsou vidět dva malé mlhavé obláčky – Magellanova mračna. Zdroj: <http://www.luisargerich.com>.

Za to, že jej vidíme na obloze, může podle staré řecké báje záletný Zeus, který si tentokrát vyhlédl královnu Alkménu a vzal na sebe podobu jejího manžela, krále Amfytrióna. Po čase se Alkméně narodil Hérakles (Herkules), který byl ale jen smrtelným polobohem. Aby Zeus zajistil Héraklovi nesmrtnost přiložil jej tajně k prsu své ženy Héry, aby se napil mléka nesmrtnosti a stal se skutečným bohem. Héra se však při nechtěném krmení vzbudila a prudkým pohybem cizí dítě odhodila. Při tom se ale její mléko rozstříklo po temném nebi a vytvořila se Mléčná dráha.

Z řeckého výrazu pro Mléčnou dráhu „galaxias“ ($\gamma\alpha\lambda\alpha\xi\iota\alpha\sigma$) vzniklo označení galaxie. **Galaxie** představuje obrovský gravitačně vázaný, vnitřně strukturovaný a organi-

zovaný útvar tvořený hvězdami, mezihvězdným plynem a prachem a nezářivou látkou. Počet takových útvarů ve viditelném vesmíru se odhaduje na 170-200 miliard (Gott et al., 2005). V jedné takové soustavě se samozřejmě nachází i naše Slunce. Tu naši soustavu jsme pojmenovali Galaxie a píšeme ji tedy s velkým počátečním písmenem, podobně jako měsíc obíhající kolem planety Země se v češtině označuje Měsíc. Hvězdy v naší Galaxii jsou seskupeny do útvaru připomínajícím v prvním přiblížení plochý disk. Při pohledu zevnitř takové soustavy se hvězdy na hvězdné obloze koncentrují do pásu – Mléčné dráhy. Mléčná dráha je tedy označení pouze pro ten nádherný mlhavý pás na nebeské klenbě, je to „boční“ pohled na naši Galaxii, nikoli celá hvězdná soustava²⁹. Prvním, kdo rozlišil Mléčnou dráhu na jednotlivé hvězdy a zjistil tak její podstatu, byl Galileo Galilei. V roce 1610 popsal svá zjištění v díle *Hvězdný posel* (Sidereus Nuncius).



Obrázek 4.43: Galaxie zleva M31 v Andromedě (autor: Christof Angerer), M51 Vírová v Hocičích psech (zdroj: STScI, NASA) a dole Velký Magellanův oblak (autor: Stéphane Guisard).

Vzdálené galaxie se odlišují vzhledem a tvarem. Nejběžnější jsou galaxie, v nichž se hvězdy seskupují do spirál, případně spirál s příčkou (viz obrázek 4.43). Můžeme se ale setkat i s eliptickými nebo zcela nepravidelnými galaxiemi. Konec konců nepravidelné jsou i dvě cizí galaxie, které jsou nejjasnější na naší hvězdné obloze, ale bohužel pozorovatelné jen v jižních zeměpisných šířkách – Velké a Malé Magellanovo mračno³⁰ (obrázek 4.42). V našich končinách můžeme pozorovat pouhýma očima jen méně nápadnou galaxii v Andromedě (M31). Jedná se ale o nejvzdálenější objekt, jaký můžeme na hvězdné obloze spatřit bez dalekohledu. Světlo z této hvězdné soustavy k nám putuje zhruba

²⁹Termíny „Mléčná dráha“ a Galaxie je vhodné striktně odlišovat. V tomto směru si nelze brát jako vzor anglicky psanou literaturu, kde většinou používají jediný termín „Milky Way“.

³⁰V češtině se používá i označený Malý a Velký Magellanův oblak. V angličtině Small and Large Magellanic Clouds, ve zkratkách SMC a LMC.

Tabulka 4.10: Pozorovatelné galaxie.

Označení	Jméno	Souhvězdí	Hvězdná velikost [mag]	Úhlové rozměry	Viditelnost
M104	Sombrero	Vir	9,0	8,7' × 3,5'	D
M81	Bodeho galaxie	UMa	7,9	26,9' × 14,1'	D
M82	Doutník	UMa	8,41	11,2' × 4,3'	D
M51	Vírová galaxie	CVn	8,40	10,8' × 6,6'	D
M31	gal. v Andromedě	And	4,36	190' × 63'	O,T
M33	gal. v Trojúhelníku	Tri	5,72	70,8' × 41,7'	T,D
M94	Kočí oko	Tri	8,99	11,2' × 9,1'	D
SMC	Malé Magellanovo mračno	Tuc,Hya	2,7	5°20' × 3°5'	O,N
LMC	Velké Magellanovo mračno	Dor,Men	0,9	10.75° × 9.17°	O,N
NGC253	Sochař (Silver Coin)	Scl	8,0	27,5' × 6,8'	D,N

Poznámky k tabulce: Viditelnost: O - pouhýma očima, T - v triedru, D - v dalekohledu, N - z České republiky nepozorovatelná.

dva a půl miliónu let. V malých dalekohledech je pak možné pozorovat například galaxii M33 v Trojúhelníku, dvojici M81 a M82 ve Velké medvědici a další (viz tabulka 4.10).

4.13 Atmosférické vlivy na astronomická pozorování

Pozorovatel na zemském povrchu má dosti nesnadnou úlohu. Svá pozorování provádí na dně vzdušného oceánu. Zemská atmosféra nejen určuje co je a co není možné pozorovat, ale i tam, kde pozorování umožní, výsledky pozmění, zkreslí. Nyní se budeme zabývat jen optickým „oknem“ do vesmíru. O různých oblastech elektromagnetického spektra, které zemská atmosféra (ne)propouští, si řekneme později.

4.13.1 Vlivy při pozorování

Zemská atmosféra funguje svým způsobem jako filtr, který každé propuštěné záření zeslabí. Absorpce a rozptyl záření na částicích vzdušného obalu Země, molekulách plynu i prachových částicích se obecně nazývá **atmosférická extinkce**³¹. Její velikost je závislá na vlnové délce dopadajícího záření a vlastnostech atmosféry ve směru pozorovaného objektu. Kromě zeslabení signálu (úbytku energie dopadající do detektorů) způsobuje také zčervenání pozorovaných objektů. Extinkce roste s rostoucí délkou dráhy světelného paprsku daného objektu atmosférou.

K extinkci přispívají i drobné kapičky vodní páry v ovzduší, ale jen v určitých oblastech spektra. Změny obrazu při pozorování v dalekohledu se mohou měnit spíše vlivem vodních par tvořících tenké mraky. Ty nemusí být na první pohled viditelné, ale mohou přecházet oblohou právě ve směru našeho pozorování a tak ovlivňovat kvalitu našeho pohledu do vesmíru a znehodnocovat případná měření jasnosti.

³¹Tam, kde je zcela zřejmé, že jde o zeslabení světla působené zemskou atmosférou, se přívlastek „atmosférická“ vynechává. Obecně je ale nezbytný, abychom tuto extinkci odlišili od té mezihvězdné.

4.13.2 Seeing

Astronomická pozorování na zemském povrchu bezprostředně ovlivňují nejrůznější meteorologické jevy. Nicméně, i když bude jasná obloha bez mraků, stále budeme hvězdy pozorovat přes neklidnou atmosféru, v níž se mísí vrstvy různých teplot a tedy i různých indexů lomu. Projevem tohoto neklidu je i poblikávání hvězd na obloze, tzv. **scintilace**. Obrazy hvězd na snímku se rychle proměňují, jsou deformovány i více než stokrát za sekundu. Místo ideálního, bodového obrazu tak dostaneme obraz rozmazaný do koutůček. Jejich velikost určuje tzv. **seeing**, který vyjadřuje míru neklidu vzdušných mas v atmosféře. U nás se velikost seeingu běžně pohybuje kolem 2"-5", ale na nejlepších pozorovacích místech světa může klesnout až k 0,4". Velikost seeingu se samozřejmě může měnit i v průběhu jedné noci.

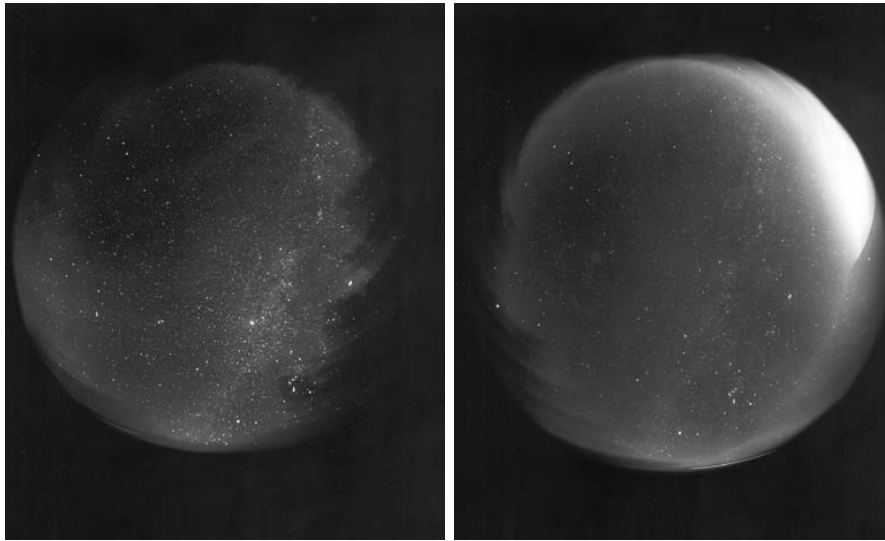
Je třeba si ale uvědomit, že v horším seeingu, například v důsledku vysoké relativní vlhkosti ovzduší bude obraz hvězdy větší, více zeslabený, ale relativně stabilní. Při malé průhlednosti atmosféry je obraz hvězdy slabší, ale velikost obrazu hvězdy tím obecně není nijak dotčena.

4.13.3 Světelné znečištění

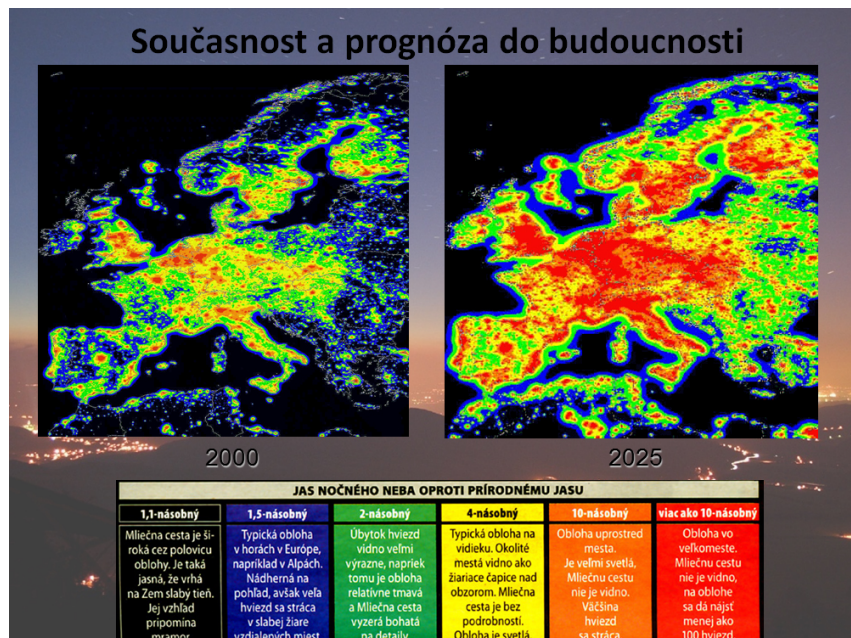
V dnešní době je v hustě osídlených oblastech už poměrně obtížné najít vhodné místo pro noční astronomická pozorování, kde by nic nerušilo krásu noční hvězdné oblohy. Samozřejmě neutečeme před přirozenými zdroji světelného znečištění noční oblohy jako je zejména Měsíc nebo blíže polárních oblastí třeba mohutné polární záře. Více starostí nám ale v poslední době dělají umělé zdroje světla, zejména městské osvětlení, které, pokud je provedeno necitlivě, může působit světelné znečištění i na velmi velkou vzdálenost. Pod pojem **světelné znečištění** ale zahrnujeme veškeré světlo přidané do nočního prostředí, které může někoho obtěžovat nebo někomu vadit. K většímu rušivému efektu přispívá i množství prachu v ovzduší, na němž se světlo rozptyluje. Zvýšené koncentrace prachu jsou většinou spojeny s městy, průmyslovou výrobou, tedy tam, kde najdeme i ony rušivé světelné zdroje.

Na první pohled by se mohlo zdát, že světelné znečištění vadí jen hvězdářům, ale tak to rozhodně není. Ono má totiž závažné důsledky ekonomické a zdravotní pro všechny. Nesprávné pouliční osvětlení (například lampy ve tvaru koulí nebo kuželů obrácených vzhůru) neosvětluje cestu, jak by měly. Aby plnily svůj účel, musí tato nesprávně navržená svítidla svítit více, což znamená více elektrické energie a větší náklady na provoz. Je zřejmé, že pokud v některých oblastech doslova měníme noc v den, narušujeme přirozené biorytmy přírody, zvířat a také nás samotných. Naše vnitřní hodiny jsou silně synchronizovány s přirozeným střídáním dne a noci a důsledky narušení těchto circadiálních cyklů mohou být vážné – od nespavosti, neurologických potíží až po vznik rakoviny.

Astronomové si jako první začali uvědomovat vážnost situace a začali proti světelnému znečištění bojovat. Srovnávací snímky z různých míst ukazují bohužel postupující světelné znečištění. To je vidět i na obrázku 4.44, kde je zachycena změna situace v okolí naší největší astronomické observatoře v Ondřejově (30 km od Prahy). A neradostné jsou i pohledy z kosmu (obrázek 4.45). Nicméně hnutí za temné noční nebe přece jen sílí a má za sebou i první úspěchy – legislativní změny v zákonech několika zemí, vznik



Obrázek 4.44: Fotografie byly pořízeny tzv. celooblohovou kamerou na Astronomickém ústavu AV ČR v Ondřejově. Vlevo: Snímek z roku 1977 zachycuje výrazně více hvězd na tmavší obloze. Vpravo: Snímek z roku 2004 – po 27 letech je zřetelně vidět světelné znečištění. Oba snímky jsou shodně orientovány. Převzato z letáku České astronomické společnosti „Proč se zabývat světelným znečištěním?“.



Obrázek 4.45: Světelné znečištění v Evropě. Srovnání stavu v r. 2000 s prognózou pro rok 2025. Převzato z webu ČAS.

přírodních oblastí tmavé oblohy a další (více na <http://www.astro.cz/znecesteni> nebo <http://www.darksky.org/>). Bohužel, nové „ekonomické“ zdroje světla a jejich dostupnost celou situaci ve světelném znečištění rychlým tempem zhoršují.

Použitá a doplňující literatura

- Argelander F. W. A., 1859-62, Bonner Sternverzeichniss, erste bis dritte Sektion, Astronomischen Beobachtungen auf der Sternwarte des Koeniglichen Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universitaet zu Bonn, Bände 3-5
- Bakich, M. E. 1995, The Cambridge Guide to the Constellations, Cambridge University Press; New York, NY, USA
- Bečvář, A. 1962, Praha: Nakl. Československé akademie věd, 1962, edit. Mohr, J.M. ; Mayer, P.
- Bečvář, A. 1962, Praha: Nakl. Československé akademie věd, 1962, edit. Mohr, J.M. ; Mayer, P.
- Bečvář, A. 1964, Praha: Nakl. Československé akademie věd, 1964, 2. vyd., edit. Mohr, J.M. ; Mayer, P.
- Bečvář, A. 1964, Praha: Nakl. Československé akademie věd, 1964, edit. Mohr, J.M. ; Mayer, P.
- Bečvář, A. 1965, Praha, Nakl. Československé akademie věd, 19 [Vyd 4., doplněné, NČSAV]
- Boyd, R. N. 2008, An Introduction to Nuclear Astrophysics, by Richard N. Boyd. ISBN 978-0-226-06971-5 (HB). Published by the University of Chicago Press, Chicago, IL USA, 2008
- Brown, M. 2016, <http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/dps.html>
- Delporte, E. 1930, Délimination scientifique des constellations (tables et cartes). Cambridge, IAU, at the University press.
- Denk, Z., Hlad, O., 1996, Hvězdy s arabskými názvy, Hvězdárna a planetárium hlavního města Prahy, Praha
- Dias, W. S., Alessi, B. S., Moitinho, A., & Lépine, J. R. D. 2002, A&A, 389, 871
- Dias W. S. et al. 2012, <http://www.astro.iag.usp.br/~wilton/>
- Dreyer, J. L. E. 1888, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 49, 1
- Dreyer, J. L. E. 1895, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 51, 185
- Dreyer, J. L. E. 1910, Memoirs of the Royal Astronomical Society, 59, 105
- Druckmüller, M., 2021, <http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/>
- Dušek, J., 2005, Nebeský cestopis, Computer Press, Brno, 164 str.
- International Energy Agency 2019, Key World Energy Statistics 2018
- Gabzdyl, P., 1997, Měsíc v dalekohledu, Hvězdárna Valašské Meziříčí, 68 str.
- Gabzdyl, P., 2002, Pod vlivem Měsíce. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně.
- Gabzdyl, P., 2006, Měsíc. Aventinum.
- Gabzdyl, P., 2013, Měsíc známý i tajemný. Aventinum.
- Galilei G., 1610, Sidereus nuncius. doi:10.3931/e-rara-695
- Gott, J. R., III, Jurić, M., Schlegel, D., et al. 2005, ApJ, 624, 463
- Gráf, T. 2009, "Se zakloněnou hlavou pozorujeme hvězdy", Computer Press, Brno, 2. vydání, 174 str.
- Halley, E. 1714–16. "An account of several nebulae or lucid spots like clouds, lately discovered among the fixt stars by help of the telescope". Philosophical Transactions XXXIX: 390–2.
- Harmanec, P. 2010, AST007.pdf - učební texty
- Harris, W. E. 2010, arXiv:1012.3224

- Hlad, O., Hovorka, F., Sojka, P., Weiselová, J. 1998, Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy a ETC publishing, s. r. o., Praha
- Hopkin, M., 2007, Nature, doi:10.1038/news.2007.261
- Horálek, P., 2015, Tajemná zatmění, Cpress, 248 stran
- IAU, 2006, General Assembly (International Astronomical Union), Praha http://www.iau.org/static/resolutions/Resolution_GA26-5-6.pdf
- Jones, K. G. 1986, Journal for the History of Astronomy, 17, 187
- Karkoschka, E. 2007, "Karkoschkův astronomický atlas hvězdné oblohy", Computer Press, Brno, 160 str.
- Kondziolka, J. 2008, "Světelné znečištění. Co to je?" Leták ČAS, Praha
- Kleczek, J. 2000, "Naše souhvězdí", Albatros, Praha, 411 str.
- Kleczek, J. 2002, Velká encyklopedie vesmíru, Academia Praha, 582 str.
- Kleczek, J. 2007, "Naše souhvězdí", Albatros, Praha, CD-ROM
- Kunitzsch, P., & Smart, T. 2006, Wiesbaden: Harrassowitz, 2. vydání
- Littmann, M., Espenak, F., Willcox, K. 2008, Totality: Eclipses of the Sun, Oxford University Press, 3. vydání, 296 stran
- Maran, Stephen P.; Marschall, Laurence A. (2009), Galileo's new universe: the revolution in our understanding of the cosmos, BenBella Books, p. 128, ISBN 1-933771-59-3
- Meeus, J., & Mucke, H. 1992, Canon of lunar eclipses: -2002 to +2526., by Meeus, J.; Mucke, H.. Astronomisches Büro, Wien (Austria), 166 stran
- Messier, Ch. 1781, Connaissance des Temps for 1784, p. 227-267, 227
- Moore, P., & Rees, R. 2011, Patrick Moore's Data Book of Astronomy by Patrick Moore and Robin Rees. Cambridge University Press, 2011. ISBN: 9780521899352
- Mucke, H., & Meeus, J. 1992, Canon of solar eclipses: -2003 to +2526., Astronomisches Büro, Wien (Austria), 508 str.
- Phillips. T, 2005, NASA Science News, <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa>
- Příhoda, P. 2000, Průvodce astronomií, 1. vyd., Praha, Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy
- Rappenglück, M. A., 1996, The Pleiades in the "Salle des Taureaux", Grotte de Lascaux (France). Does a Rock Picture in the Cave of Lascaux Show the Open Star Cluster of the Pleiades at the Magdalénien Era, ca. 15.300 B.C.? Actas del IV Congreso de la SEAC/Proceedings of the IVth SEAC Meeting "Astronomy and Culture". C. Jaschek and F. Atrio Barandela (eds.). Salamanca, 1996, pp. 217-225.
- Ridpath, I. 1988, New York: Universe Books, 1988, 52 (online <http://www.ianridpath.com/startales/durer.htm>)
- Rükl, A. 1991, Atlas Měsíce, Aventinum, 224 str.
- Rükl, A. 1997, "Minimum o hvězdách", Olympia, Praha (elektronicky na <http://mladez.astro.cz/?p=86>)
- Sadil, J., 1953, Orbis, 241 str.
- Samus, N. N., Durlevich, O. V., et al. 2014, VizieR Online Data Catalog, 1, 2025
- Serio, G. F., Indorato, L., Nastasi, P. 1985, Journal for the History of Astronomy, 16, 1
- Sharp, N. A. 2006, "M22, NGC6656". REU program/NOAO/AURA/NSF. Retrieved 2006-08-16.
- Stifter A., 1842, Zatmění Slunce 8. července 1842 ve Wiener Zeitschrift für Kunst, Li-

- teratur und Mode, červenec 1842. Plný překlad J. Mědílek v katalogu Státní galerie výtvarného umění v Náchodě 1996. Zkrácený překlad I. Vykoupilová v Z. Pokorný: Vademecum, Brno 2006
- Tirion, W. 1981, Cambridge: Sky Publishing Co. and University Press, 1981, Deluxe edition
- Vasiliev E., Baumgardt H., 2021, MNRAS, 505, 5978. doi:10.1093/mnras/stab1475
- Watson, C., Henden, A. A., & Price, A. 2016, VizieR Online Data Catalog, 1, 2027
- Witze, A. 2020, Nature 577, 303