

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Miloslav Zejda

Astronomie lidem

Skripta – verze 0.01
11. listopadu 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
5	Moderní observatoře	88
5.1	Optická astronomie – přístroje	88
5.2	Největší observatoře a teleskopy světa	90
5.3	Kosmické observatoře	92
5.4	Neoptická astronomie	96
5.4.1	Ultrafialová astronomie	97
5.4.2	Rentgenová astronomie	98
5.4.3	Astronomie gama záření	99
5.4.4	Infračervená astronomie	99
5.4.5	Radioastronomie	101
5.5	Částicová astronomie	103
5.5.1	Kosmické záření	104
5.5.2	Neutrinová astronomie	104
5.6	Gravitační vlny	106
6	Cesty do vesmíru	109
6.1	Historický úvod aneb vzhůru ke hvězdám	109
6.2	Cíl Měsíc	113
6.3	Orbitální stanice	116
6.4	Kosmické právo	119
6.5	Budoucnost kosmických letů	121
6.5.1	Bez člověka to nepůjde	121
6.5.2	Roboti jsou klíčem	122
7	Astronomické poznatky v běžném životě	124
7.1	Vzdělávání a popularizace vědy	124
7.2	Čas a kalendář	126
7.3	Navigace, GPS	126
7.4	Přenos dat, wi-fi	127
7.5	Zobrazovací technika, CCD, CMOS	127
7.6	Život na Zemi a nebezpečí z kosmu	129
7.7	Lékařství	132
7.8	Technologie	134
7.9	Mezinárodní spolupráce	135
7.10	Shrnutí, závěr	136

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. 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?

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

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

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

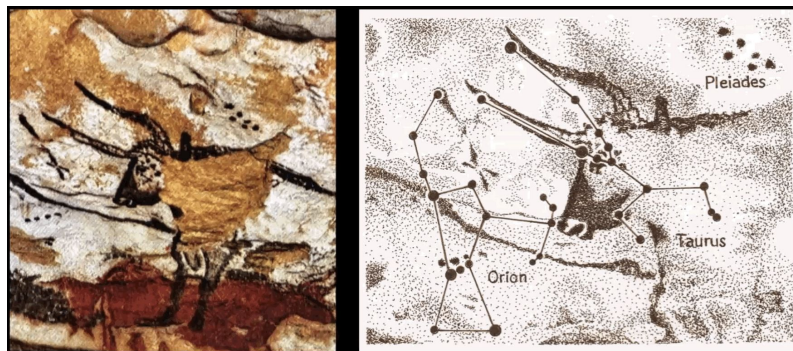
2.1 Vznik a význam astronomie

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 posetou 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.

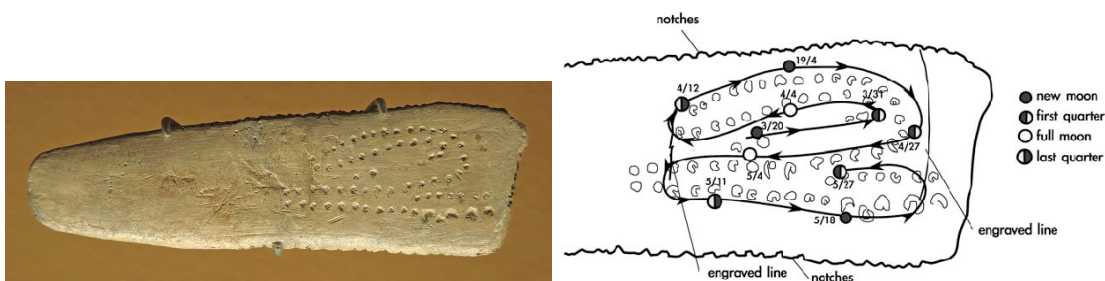


Obrázek 2.1: Pozorování oblohy se (pra)člověk věnoval už v dávných dobách. Zdroj: <http://www.space.com>, José A. Peñas/SINC.

Soubor astronomických znalostí předběhl písmo, matematiku, literaturu o desítky tisíc let! Svědčí o tom nejruznější 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 zaznamenán 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 výtvarky 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.

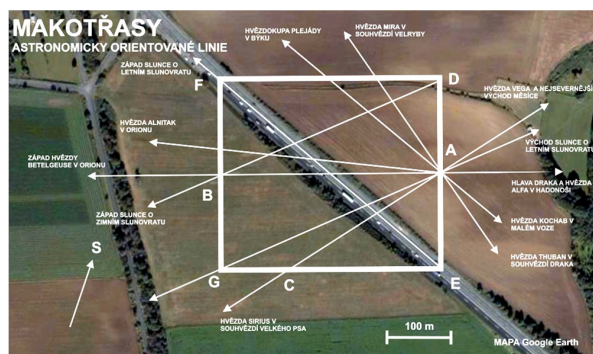
Astronomie má ale ještě jednu zvláštnost oproti jiným vědeckým odvětvím. Má zcela mimořádný potenciál v popularizaci vědy. Přestože se zkoumaných objektů nemůžeme dotknout, nemůžeme si je prohlédnout zblízka, umí astronomie zaujmout davy a přední popularizátory vědy najdeme právě mezi astronomy. U nás 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.

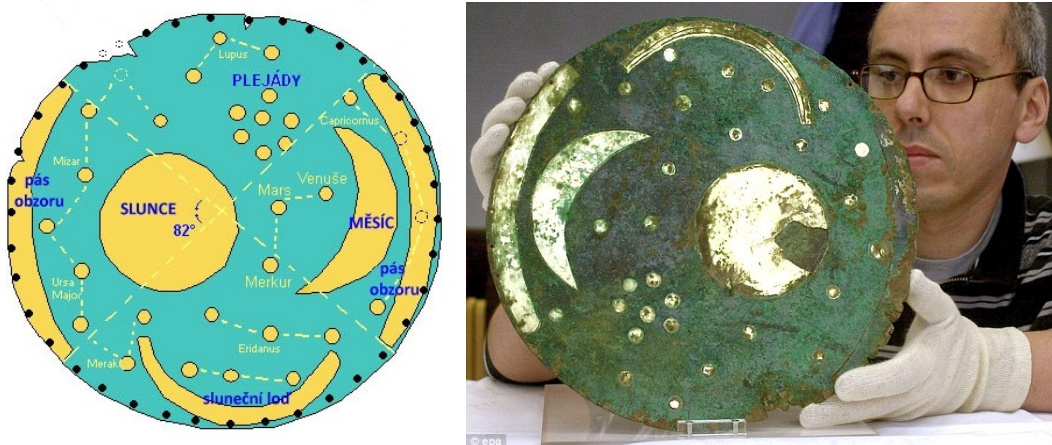
¹V českém prostředí by se možná nabízelo použití termínu „hvězdář“. Ten se ale zpravidla využívá v historickém kontextu.

- 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 zaznamenaná 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 Miletu 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 paralax 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 (daguerotypii) 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.

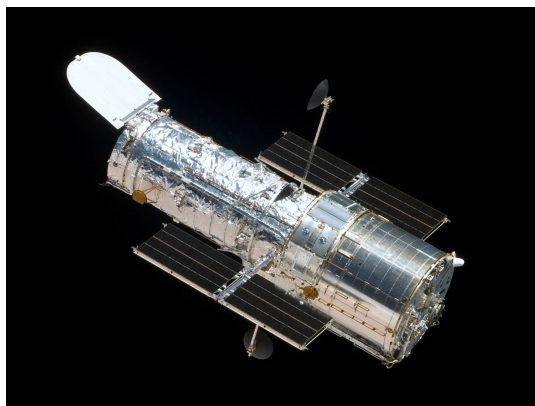
- 1911, 1913 – Ejnar Hertzsprung a Henry Norris Russell prezentují tzv. Hertzsprungův-Russellův diagram.
- 1913 – Victor Franz Hess objevil kosmické záření.
- 1915 – Albert Einstein publikoval obecnou teorii relativity, známou také jako teorii gravitace.
- 1919 – Arthur Eddington na základě pozorování 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. Neutrino 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. mnohapásmové 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 – zhroutení 300m radioteleskopu 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 Osvobozeného 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.

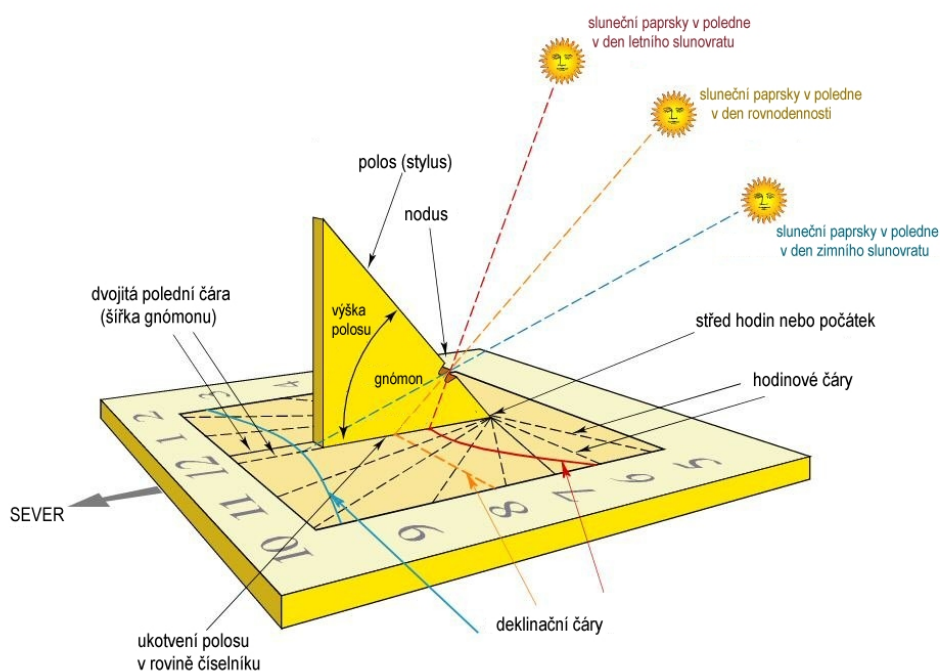
V principu lze čas měřit dvěma způsoby. Jednak přímým měřením nějakého rovnoměrného pohybu nebo jeho projevů a jednak počítáním nějakých krátkoperiodických oscilací. Do první skupiny patří i historicky nejstarší měření času podle Slunce a to i přesto, že pohyb Slunce po obloze vlastně úplně přesně rovnoměrný 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 Bego 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.

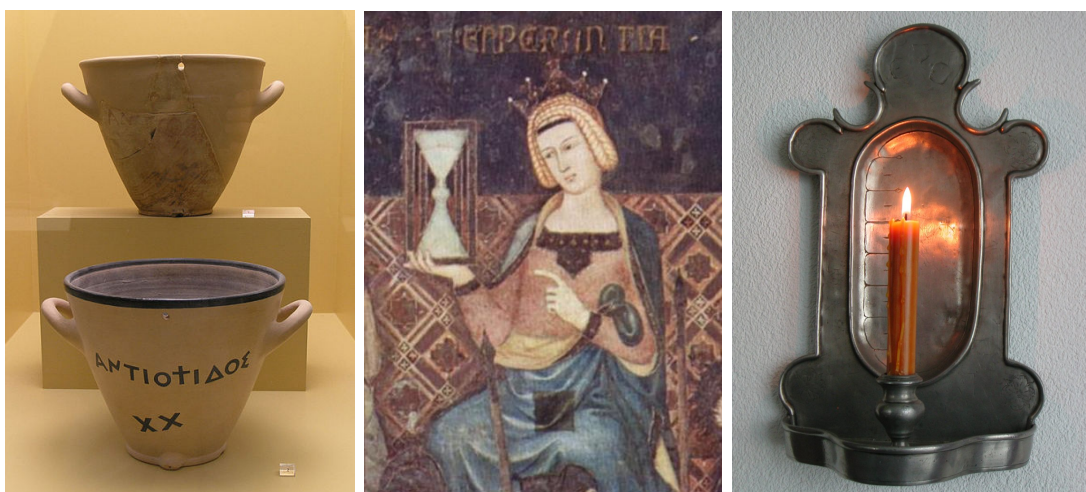
Naši předkové si jeden den zpravidla dělili na čas denní, noční a soumrak, přičemž čas denní byl dále dělen na 10 částí a k tomu případně ještě dvě soumrakové části – ranní a večerní soumrak. Noční část byla někdy chápána jako jeden celek, někdy byla také dělena na 12 dílů. Proč zrovna dvanáct? Původ 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 4 000 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. uložena 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>.

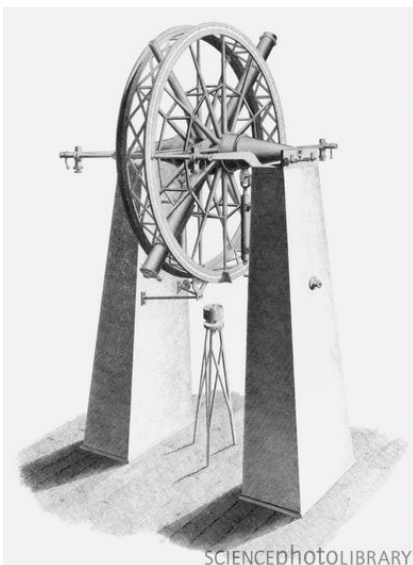
Zásadní změny se měření času dočkalo ve 20. století. Warren A. Marrison a Joseph W. Horton v Bell Telephone Laboratories sestrojili v roce 1927 první hodiny, jejichž oscilátorem byl piezoelektrický výbrus (tzv. quartz). V 60. letech se pak původně

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 Nejpresnější časový standard nyní poskytují atomové hodiny na bázi cesia 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 vztážené 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.

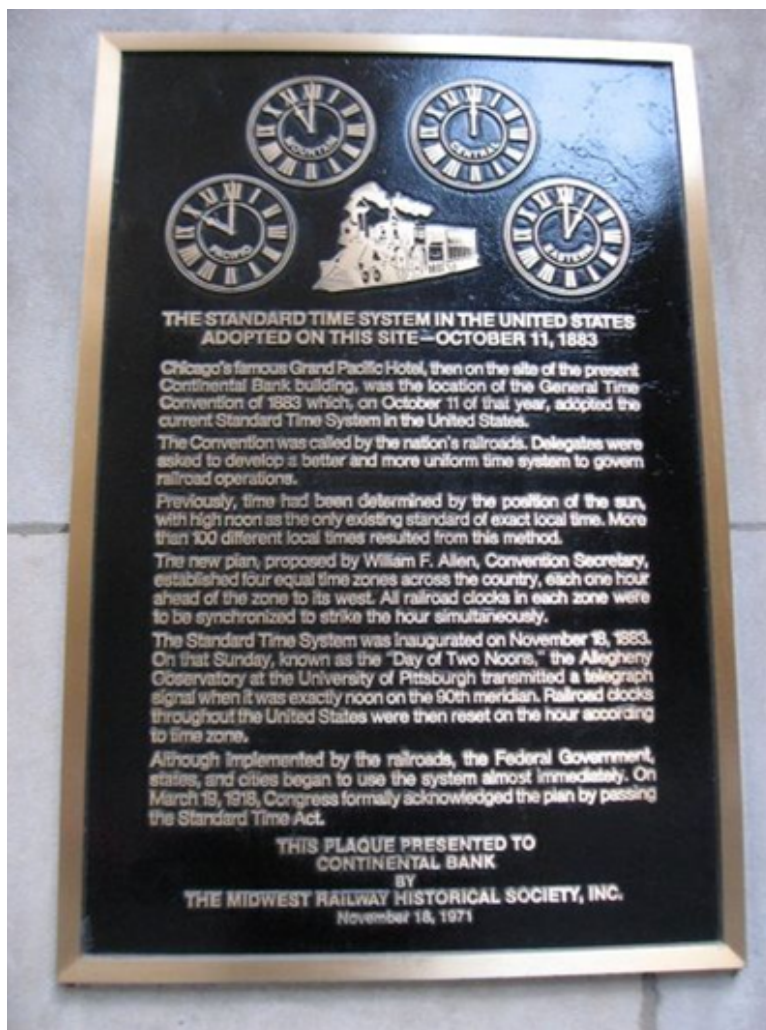
3.2 Místní a pásmový čas

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.



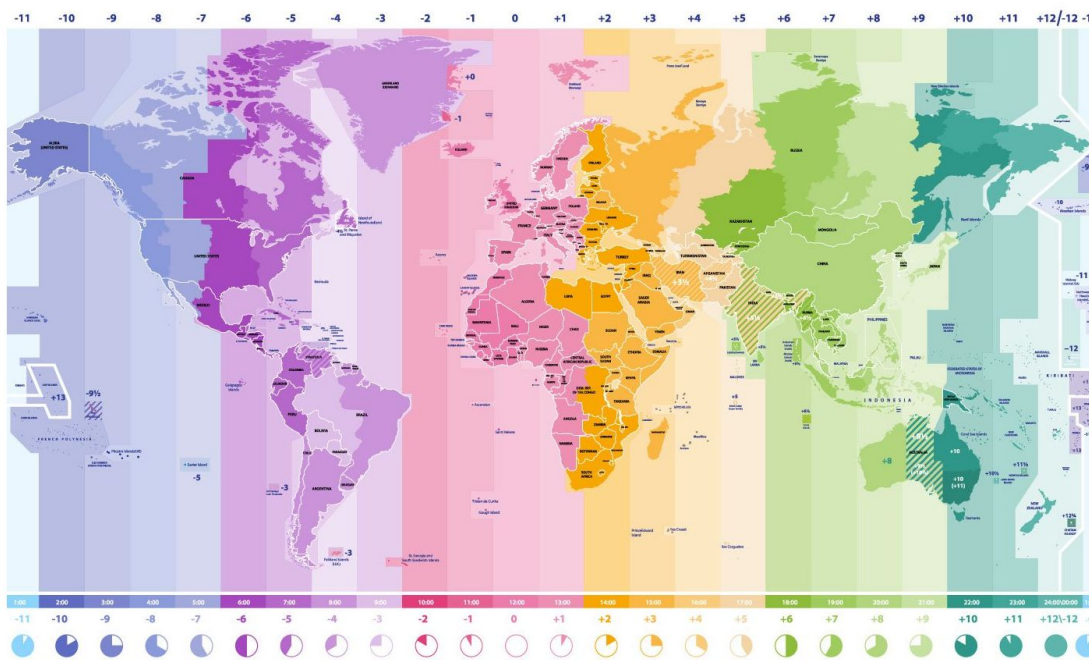
Obrázek 3.5: Pamětní deska připomínající dohodu o používání času na železnici v Severní Americe z roku 1883 (Railway General Time Convention). Zdroj: wikipedia.

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 Pennsylvánii (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 Kanadán 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.

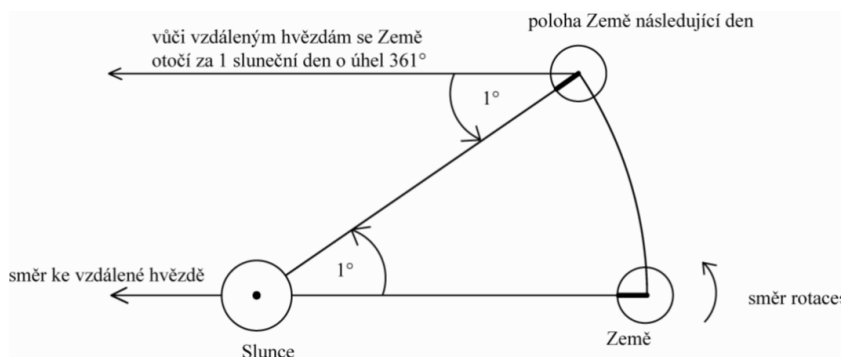
¹³Ještě starší by mělo být použití letního času Brňany v srpnu 1645. Švédové, vedení generálem Torstensonem, tenkrát oblehli Brno. Podle pověsti byl Torstenson rozmrzelý dlouhým, bezvýsledným obléháním Brna, a proto prý prohlásil, že pokud město nedobude do poledne, odtáhne s vojskem pryč. Obránci se to dověděli a tak, když už jim bylo opravdu ouzko, začali zvonit poledne už v 11 hodin. Torstenson měl pak dostat 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. Neznamená 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 vztahena 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 vztahena. 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. Prívlastek 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 pozměnil 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 nesnáží. 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. Přejít 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 matematikou, 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.

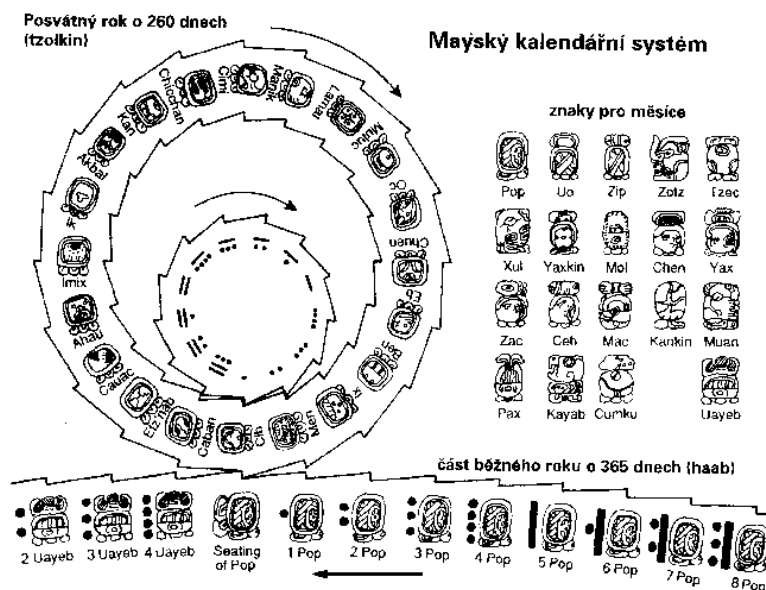
Řecký kalendář měl počátek stanovený na první den prvních olympijských her, v gregoriánském kalendáři 8. července roku 776 př.n.l. Termín „olympiáda“ znamenal tehdy čtyřleté období mezi hrami. Řecký měsíc se členil na tři dekády a den začínal východem Slunce.

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 samotě 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 pouhými 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 vídáme 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 nepochybje.

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	$1 \mathcal{R}_{\odot}^N = 6,957 \cdot 10^8 \text{ m}$	$1/5 \mathcal{R}_{\odot}^N$
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 záladnou 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 jedině to, že vám jeden neduh (poškození očí) přibude.

4.2.1.1 Slunce na obloze

Zaměřme 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 jaksi 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?

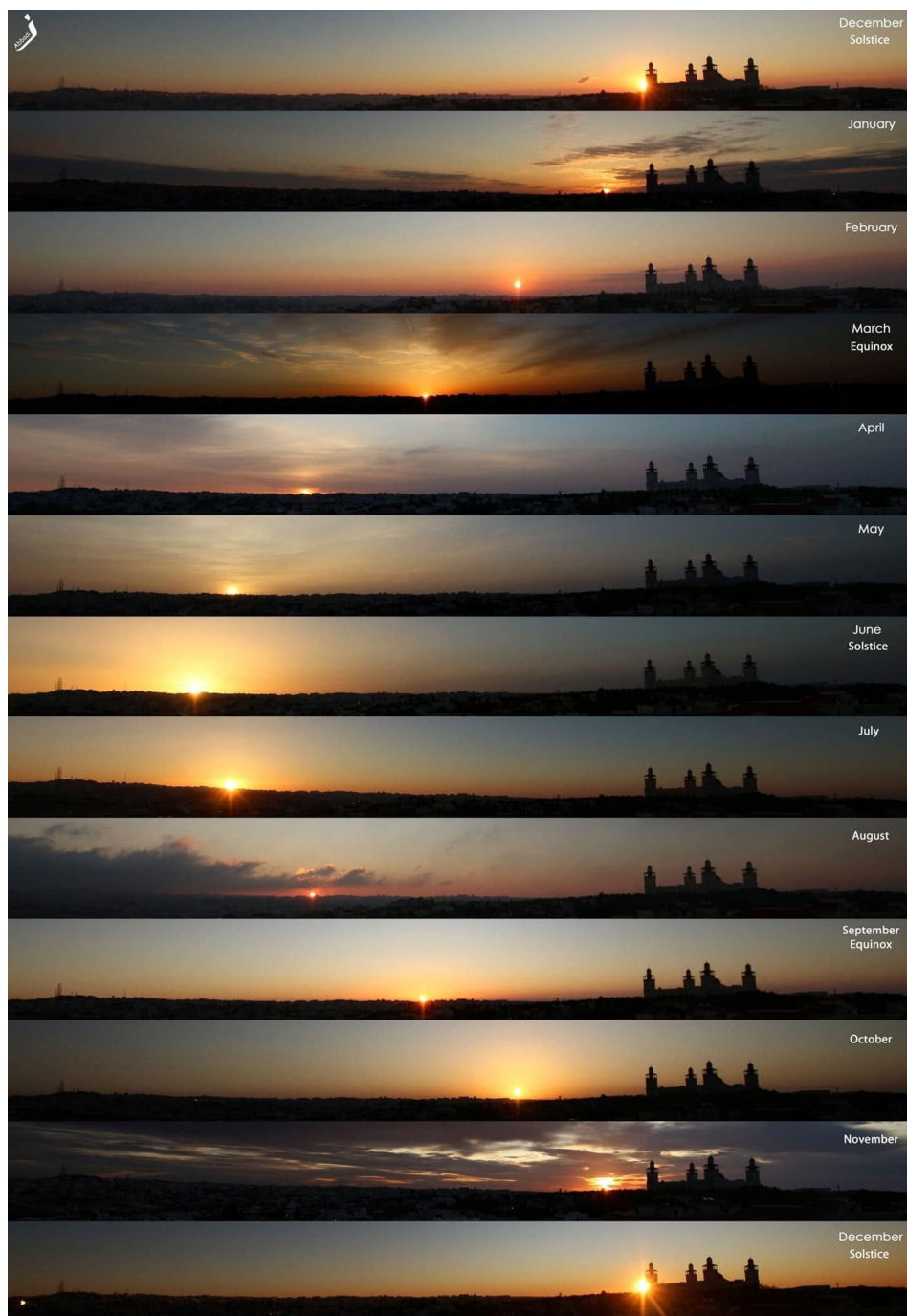
Odpovědi na tyto otázky se sice učí děti už na základní škole, ale zkušenosti bohužel ukazují, že mohou být problematické i pro vysokoškoláky. Zkusme si tedy připomenout možná kdesi zapadlé učivo a propojit je s poznatky každodenního života. Nemusíme řešit složité úlohy, počítat sluneční hodiny a podobně. Co třeba takový vysloveně letní „problém“. Chci umístit na pláži lehátko do stínu pod slunečnick 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 pohybů 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

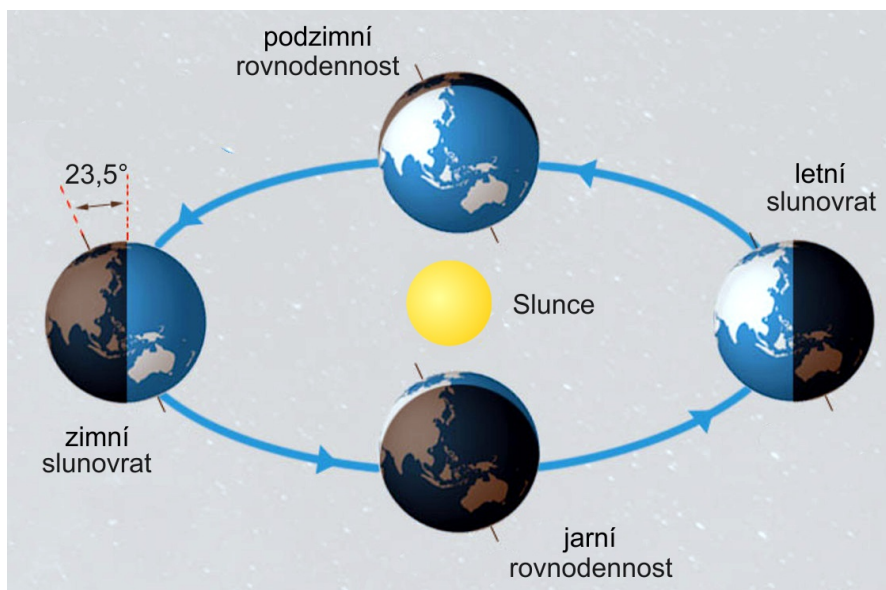
nalezneme na naší zeměpisné šířce Slunce jižním směrem na úhlové výšce zhruba 40° . Podobné je to také o jarní rovnodennosti, která nastává 20. nebo 21. března. Slunce také vychází v 6 hodin, zapadá v 18 hodin, takže noc a (bílý) den trvají po 12 hodinách a v poledne je Slunce asi 40° vysoko (nad vodorovnou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

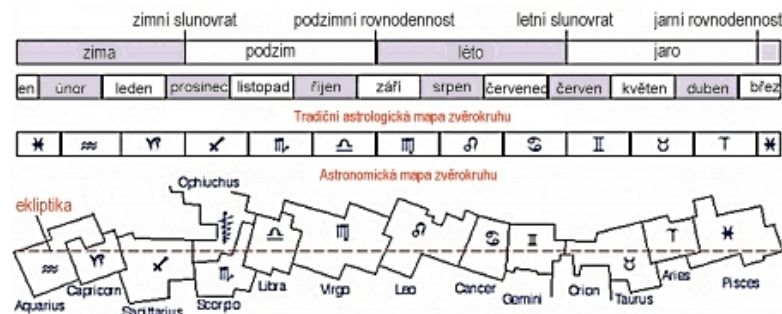


Obrázek 4.4: Střídání ročních období. Původní zdroj: <http://www.aldebaran.cz/>.

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 zvětrníku, 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 zvětrníkových 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:

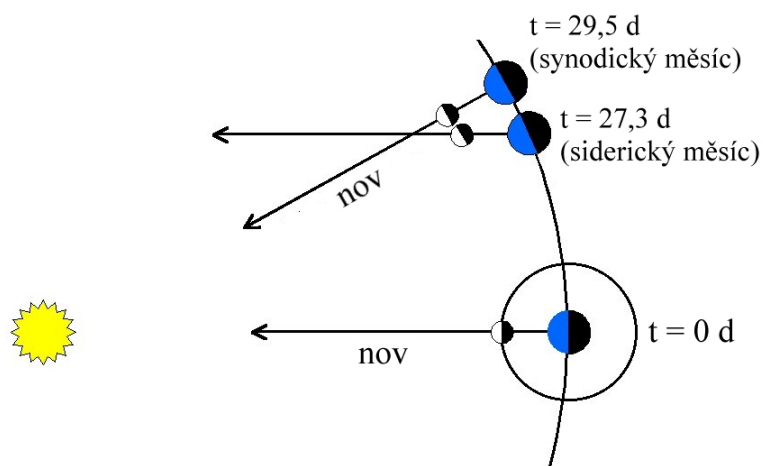
- *Obnažte svá řadra pod noční oblohou při přibývajícím Měsíci – podporuje to jejich růst.*
- *Posad'te se za úplňku holou zadnicí do čerstvě vyorané brázdy – zbavíte se tak hemoroidů.*

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° 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/>.

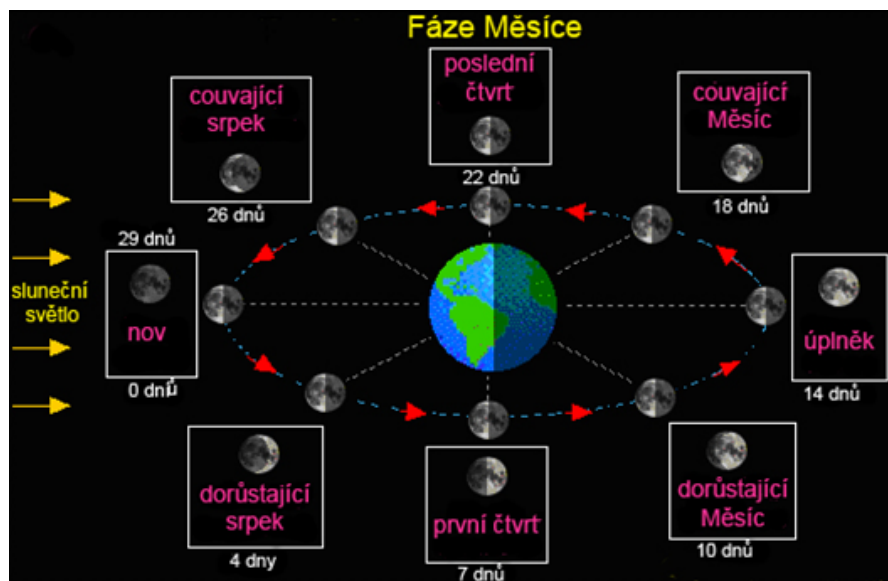
Aby Měsíc zaujal stejnou pozici vůči Zemi a Slunci, musí ještě „korigovat“ tuto změnu polohy Země (viz obrázek 4.7).

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 úplněk. 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 měsíčníana 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.

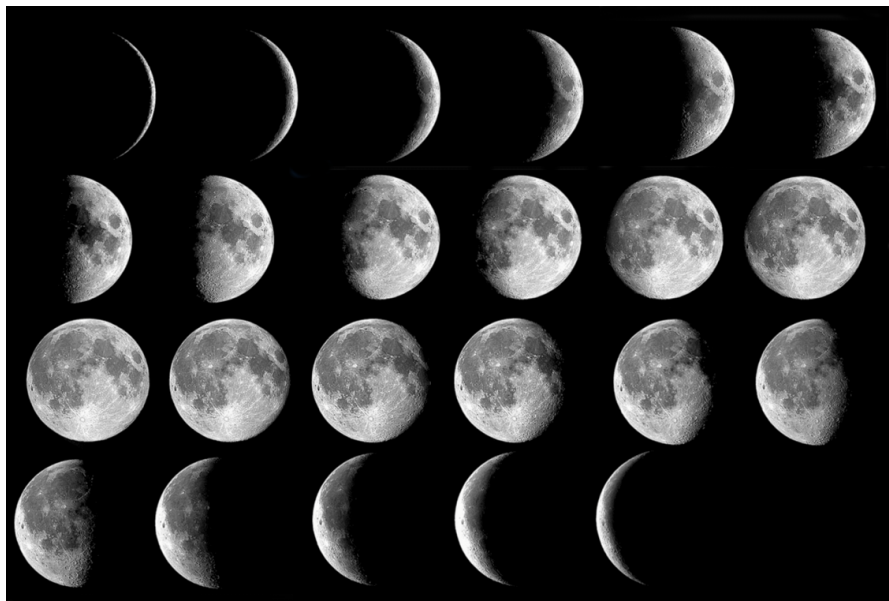
Obrázek 4.8: Vznik fází Měsíce. Zdroj: <http://leccos.com>.

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 složitějšího. 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. Cidadao.

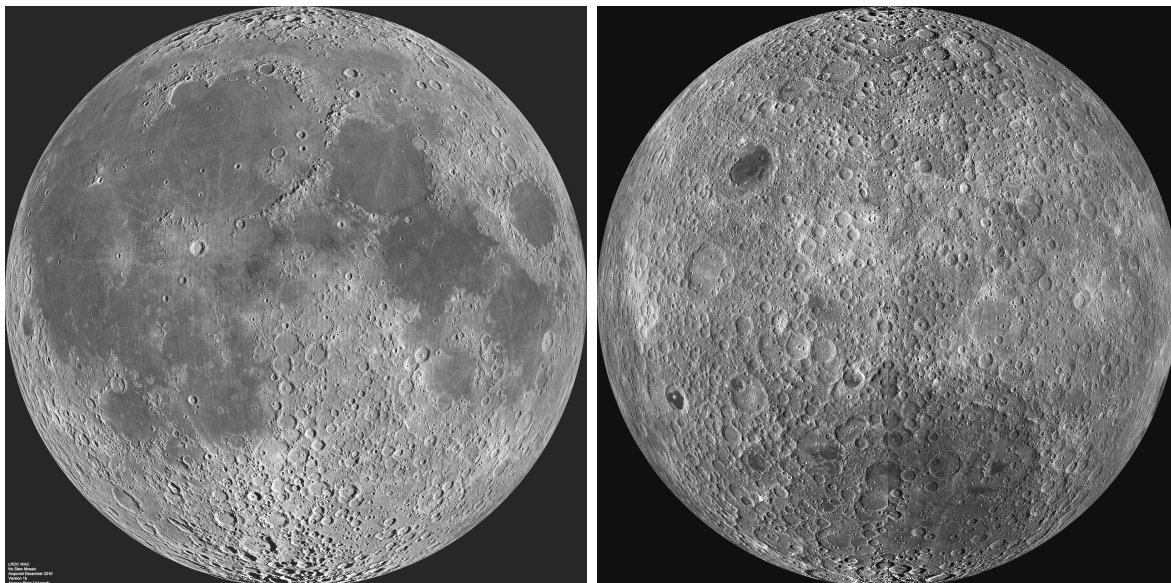
4.2.2.3 Měsíční tvář

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, pojďme 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.

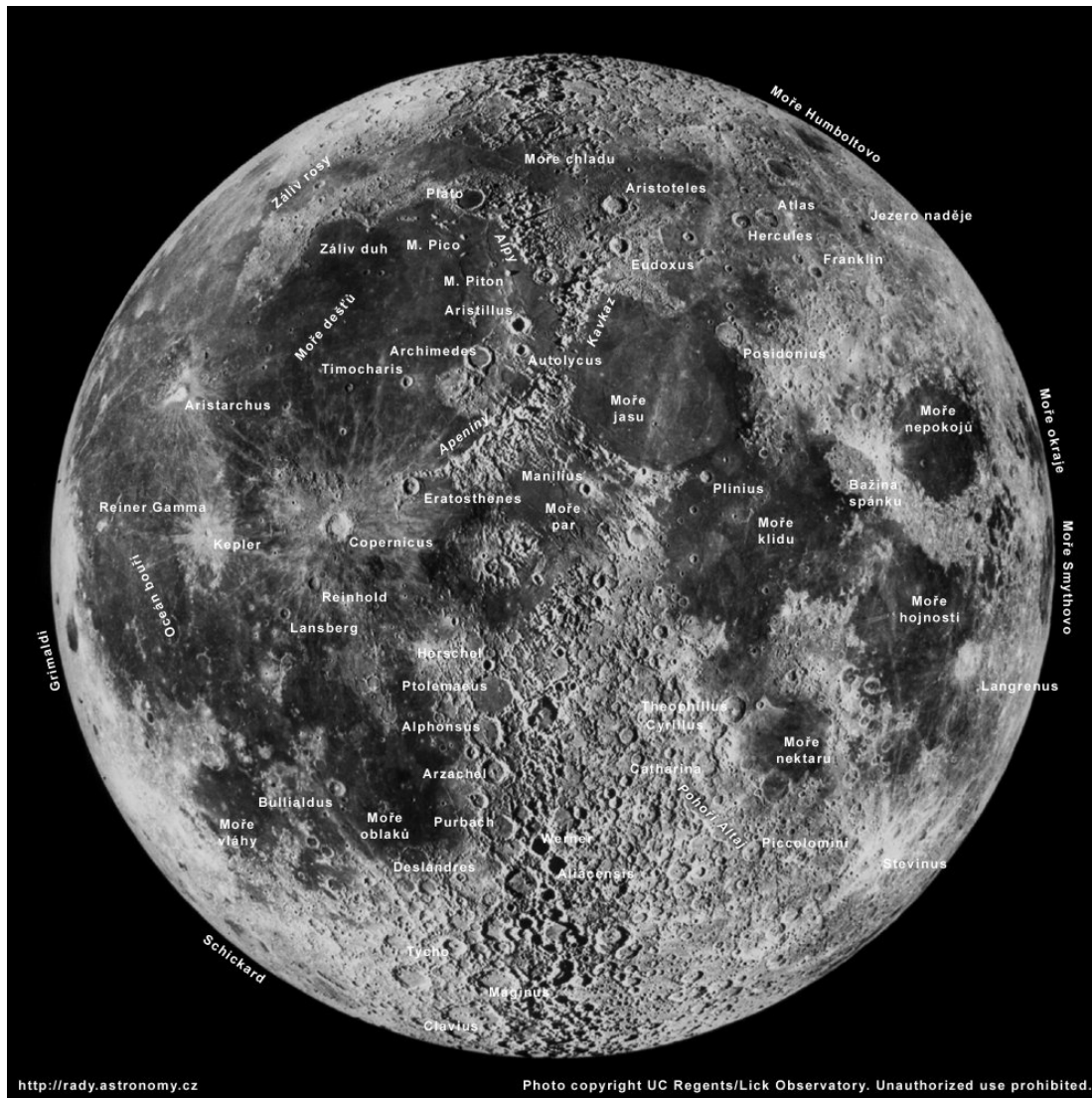
světla a stínu, tzv. **terminátoru**. Při měsíčním úplňku jsou ale tyto detaily přezářeny. Přesto začneme s orientací na Měsíci právě v této fázi (viz obrázek 4.11).

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 jasů. 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); Rükl (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/>.

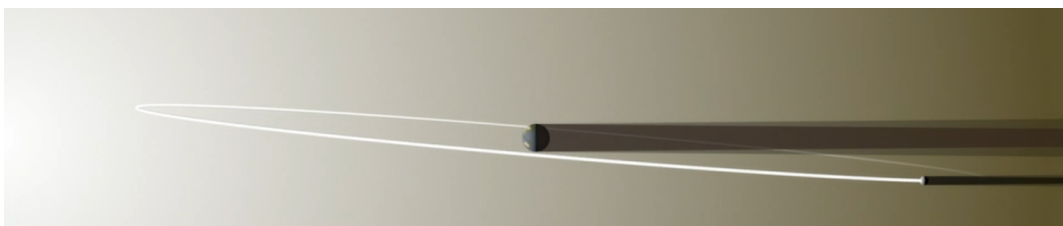
Logika velí přesně polovinu, 50 procent. Jenže díky tzv. **libracím** můžeme postupně, v průběhu času pozorovat až 59 % měsíčního povrchu. K těmto „výkyvům“ dochází jak v délce, tak i v šířce a jsou docela dobře pozorovatelné. Jsou důsledkem hned několika faktorů. Rotace Měsíce (vůči hvězdám) je rovnoměrná, 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

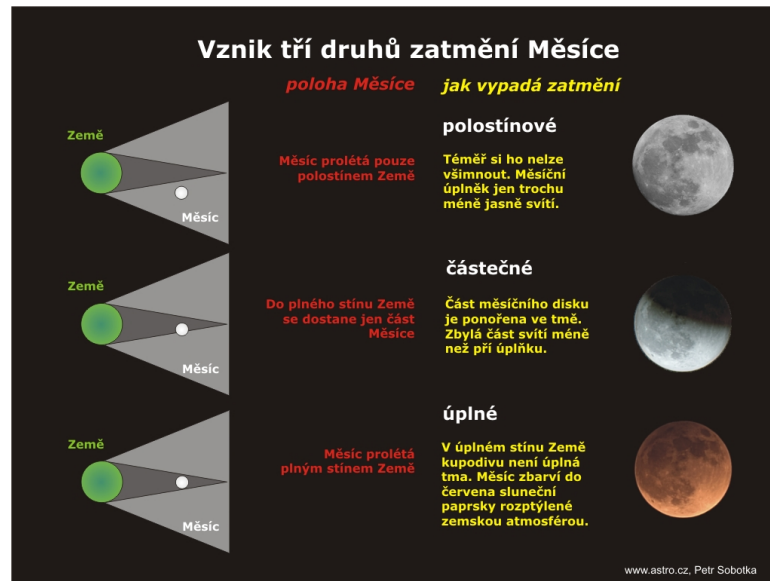
Slunce ozařuje Zemi, která vrhá do prostoru kuželovitý stín (obrázek 4.12). Jestliže do tohoto stínu vstoupí Měsíc, jinak řečeno, jestliže se Měsíc dostane na polopřímku Slunce – Země, nastane zatmění Měsíce. Vstoupí-li náš souputník jen do tzv. polostínu (viz obrázek 4.13), nastane jen polostínové zatmění 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 zbarvení 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 zbarvení 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

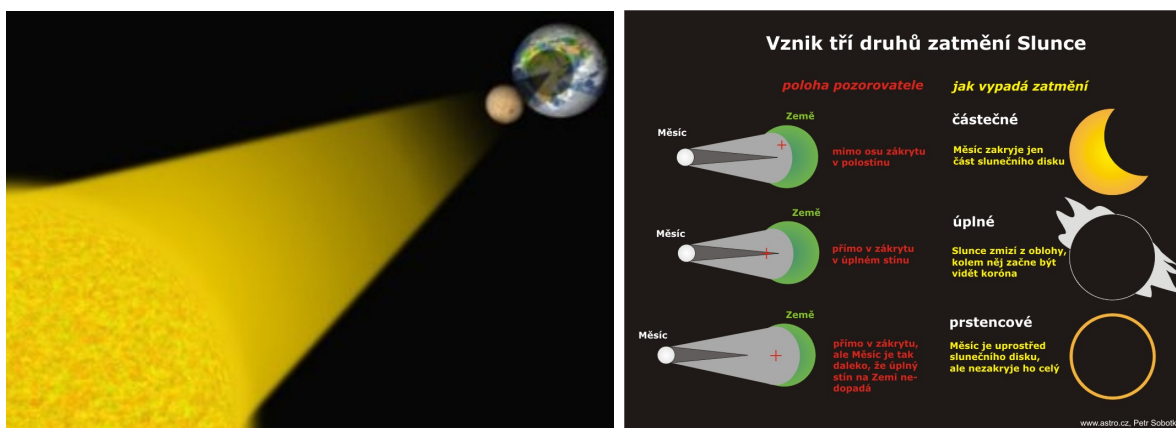
Tabulka 4.3: Zatmění Měsíce v letech 2024-2030.

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	–

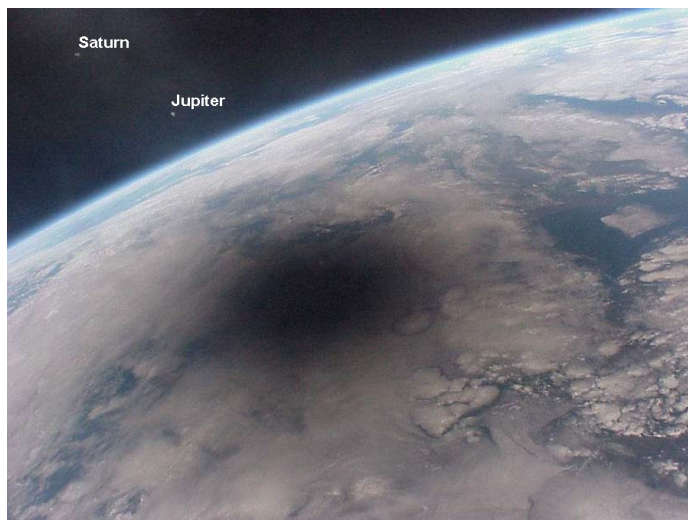
Poznámky k tabulce: * – polostínové zatmění není většinou pouhým okem pozorovatelné; ** – z našeho území spatříme jen částečnou fázi, úplná nastane pod obzorem. Délka zatmění udává dobu (v hodinách a minutách), po kterou je Měsíc ponořen v plném zemském stínu celý nebo alespoň zčásti (Č). Pokud v průběhu 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.



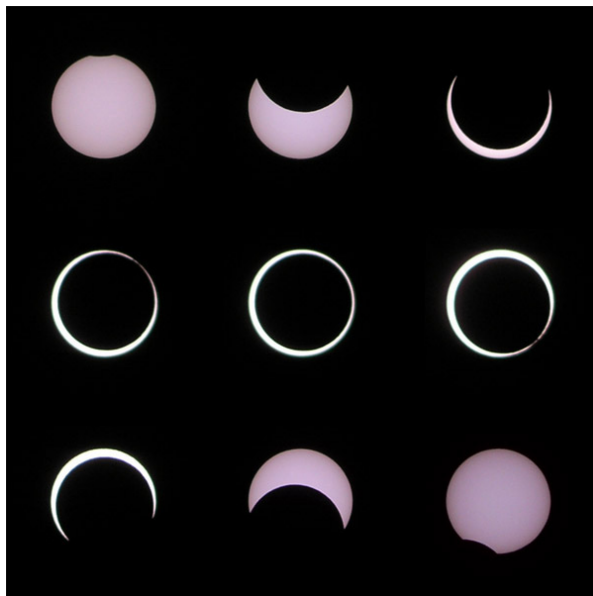
Obrázek 4.16: Stín Měsíce zatemňuje při úplném zatmění Slunce část Země. Tento stín se po Zemi pohyboval rychlostí skoro 2000 km/h. Dva jasné body vlevo nahoře jsou Jupiter a Saturn. Snímek byl pořízen posádkou orbitální stanice Mir 11. srpna 1999. Zdroj: CNES.

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 středy 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 Viditelnost	Česká republika		
				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.

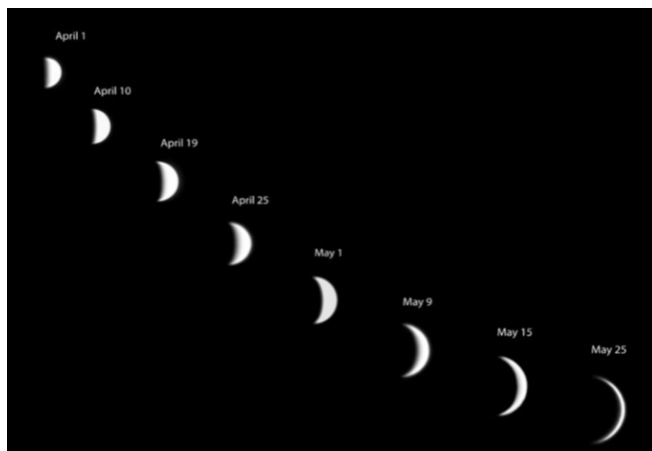
Planety se ale od jasných hvězd odlišují také tím, že svítí klidnějším, stálým světlem, zatímco obrazy hvězd se mihotají, podléhají scintilaci. Důvod je zřejmý. Planety vidíme prostýma očima jako světelné body podobně jako hvězdy. Jenže hvězdy jsou skutečné bodové zdroje, zatímco planety malé plošky, 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, osvítl předměty natolik, že vrhají stín.

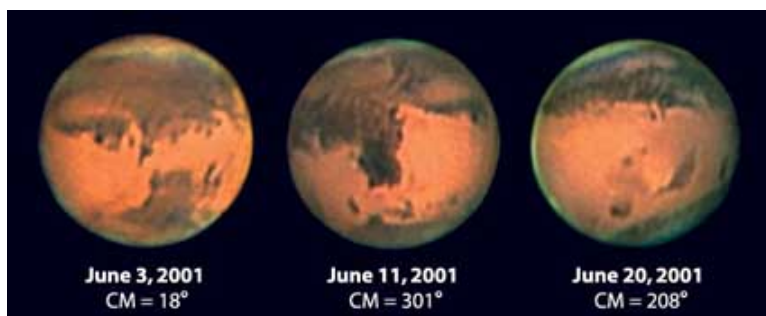
Vnější planety, tedy vzdálenější od Slunce než Země, mohou být pozorovatelné i celou noc. Na Marsu jsou pozorovatelné světlé a tmavé skvrny (obrázek 4.21). Pozorovatelé s připojením na internet mohou využít i jeden z nástrojů na stránkách časopisu Sky&Telescope¹⁴, který ukazuje jakou část povrchu Marsu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

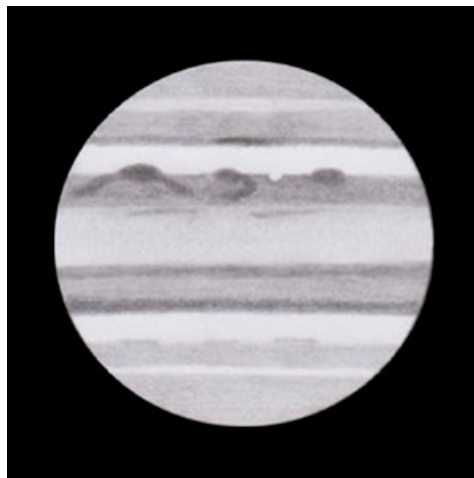


Obrázek 4.21: Snímky Marsu pořídil Ed Grafton pomocí CCD kamery SBIG ST6 a dalekohledu Celestron 14". Každý snímek na obrázku je výsledkem složení snímků přes červený, zelený a modrý filtr. CM označuje délku centrálního meridiánu Marsu. Jih je nahoře. Nápadná tmavá skvrna poblíže středu na snímku z 11.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

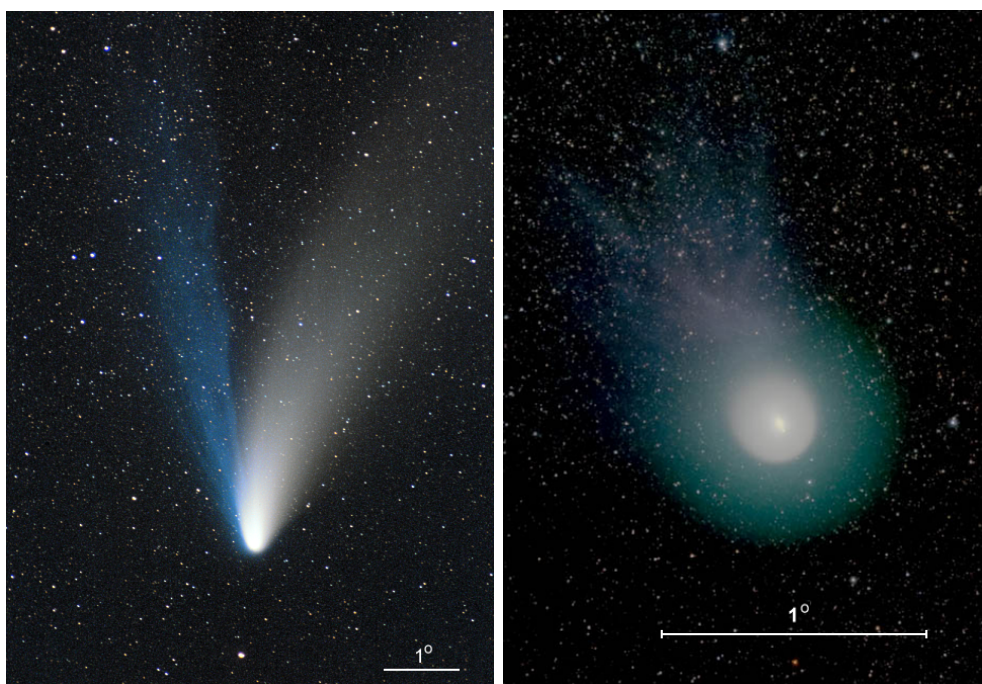
¹⁵Při objevech prvních planetek se předpokládalo, že jde o planety. Záhy se však zjistilo, že jsou to tělesa příliš malá a začala být označována v angličtině „minor planet“. Odtud český termín planetky. Stále se ale můžeme setkat i se staršími názvy asteroid (hvězdě podobný), planetoid (těleso podobné 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 plynný (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 prашným ohonem. Foto: Miloslav Druckmüller, 2. 4. 1997. Vpravo: Kometa 17P/Holmes s obřím komou. 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 našťastí 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 vletlo 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 planetky.



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 7.5 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 vylétují 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 dotuje 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).



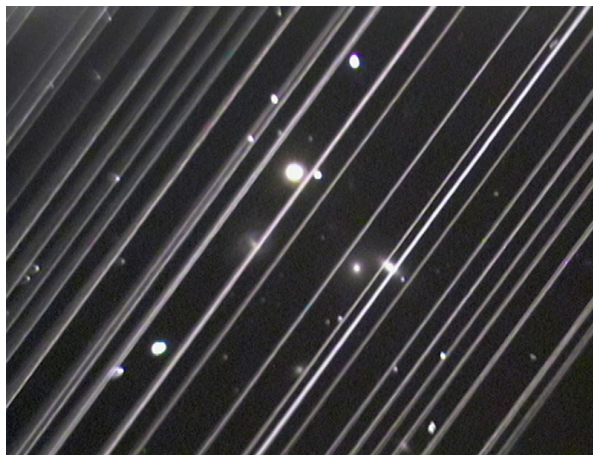
Obrázek 4.28: Meteorický déšť Leonid v roce 1833 na dobové kresbě (zdroj: Samuel J. Wormley) a snímek téhož roje Leonidy, který během maxima 16.11.1998 pořídil Juraj Toth na slovenské observatoři v Modre.



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 Kasiopeja. 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 přesevětlené 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.

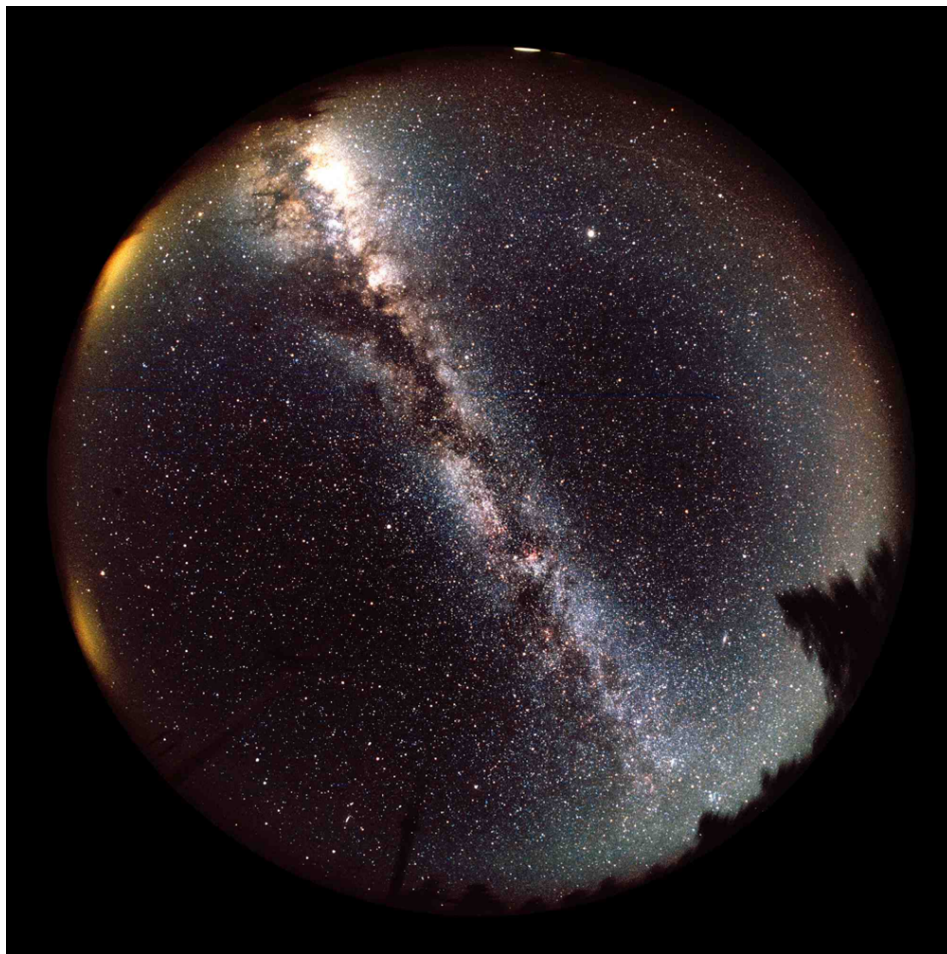
Občas je možné zachytit stopu družice i na snímku při fotografování objektů hvězdné oblohy (viz obrázek 4.29). Polohy družic a jejich pozorovatelnost v daném místě na Zemi je možné zjistit na <http://www.heavens-above.com/>. Bohužel, v posledních letech přibývá projektů, v nichž je vypouštěno na oběžnou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

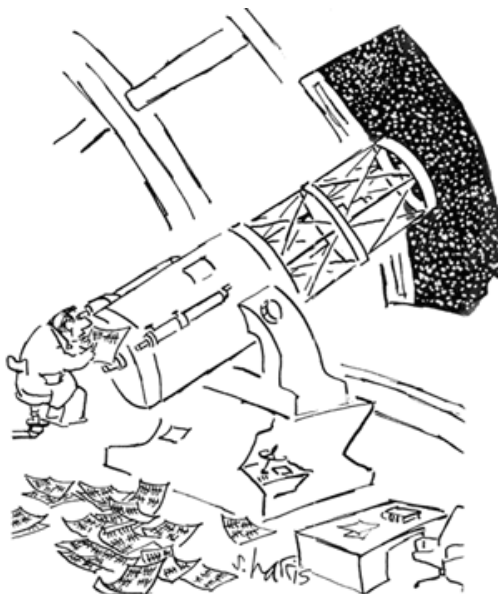


Obrázek 4.31: Hvězdné nebe. Zdroj: <http://mgpc3.as.arizona.edu/images>.

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 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$. Spočtème hvězdy v této oblasti a pak

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

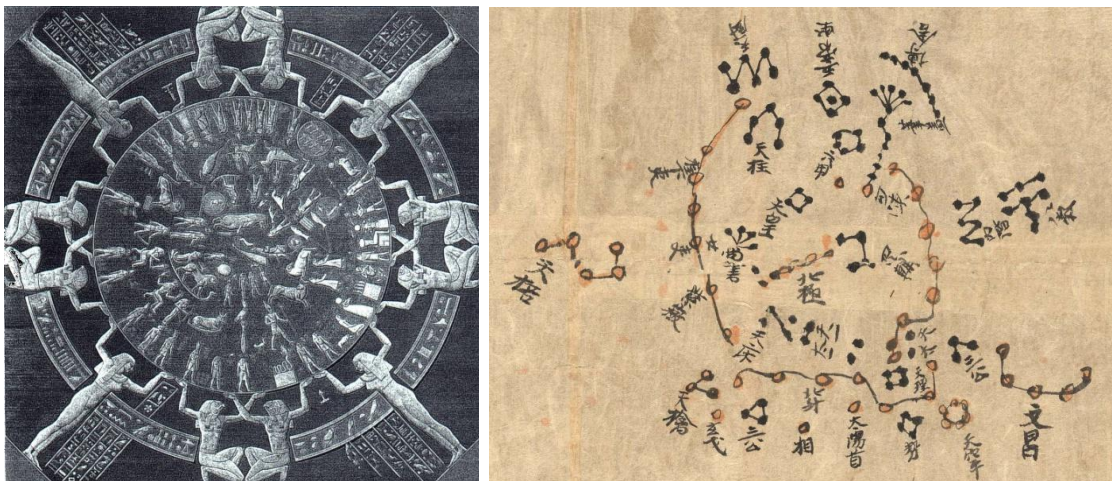


Obrázek 4.32: Takto astronom opravdu nepracuje. Autor: S. Harris.

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 osamocený 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 Denderě 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.

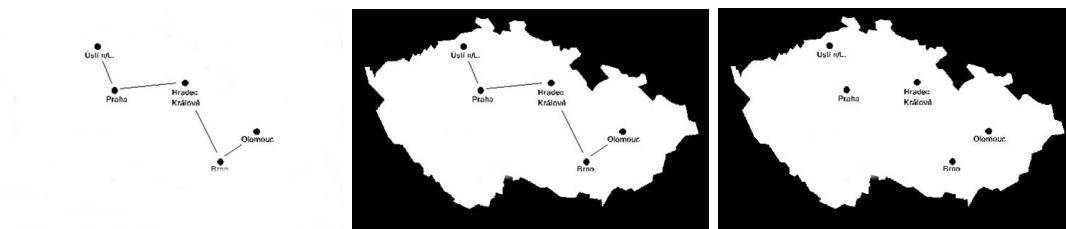
O nové definici souhvězdí jednala první tři valná shromáždění IAU v letech 1922, 1925 a 1928. Na posledně uvedeném byly schváleny přesné hranice pro všech 88 souhvězdí (viz tabulka 4.5) podle návrhu, který dle zadání IAU vypracoval Eugène-Joseph Delporte. Tiskem vyšla souhrnná práce včetně tabulek a 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	Antliae	239
Aps	Rajka	Apus	Apodis	206
Aql	Orel	Aquila	Aquilae	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	Honicí 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	Malř	Pictor	Pictoris	247
PsA	Jižní ryba	Piscis Austrinus	Piscis Austrini	245
Psc	Ryby	Pisces	Piscium	889
Pup	Lodní zádř	Puppis	Puppis	673
Pyx	Kompas	Pyxis	Pyxidis	221
Ret	Mřřzka	Reticulum	Reticuli	114
Scl	Sochař	Sculptor	Sculptoris	475
Sco	řtřr	Scorpius	Scorpii	497
Sct	řtřt	Scutum	Scuti	109
Ser	Had	Serpens	Serpentis	637
Sex	Sextant	Sextans	Sextantis	314
Sge	řřp	Sagitta	Sagittae	80
Sgr	řtřelec	Sagittarius	Sagittarii	867
Tau	Břk	Taurus	Tauri	797
Tel	Dalekohled	Telescopium	Telescopii	252
TrA	Jižní trojřhelnřk	Triangulum Australe	Trianguli Australis	110
Tri	Trojřhelnřk	Triangulum	Trianguli	132
Tuc	Tukan	Tucana	Tucanae	295
UMa	Velká medvřdice	Ursa Major	Ursae Majoris	1 280
UMi	Malř medvřd	Ursa Minor	Ursae Minoris	256
Vel	Plachty	Vela	Velorum	500
Vir	Panna	Virgo	Virginis	1 294
Vol	Lřtajřřcř ryba	Volans	Volantis	141
Vul	Lřřtřřka	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 *seírios*, 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 jméno postupně přidělováno označení malými řeckými písmeny, malými písmeny latinské abecedy a čísla. Později se přidala označení podle katalogů a přehlídkových 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.

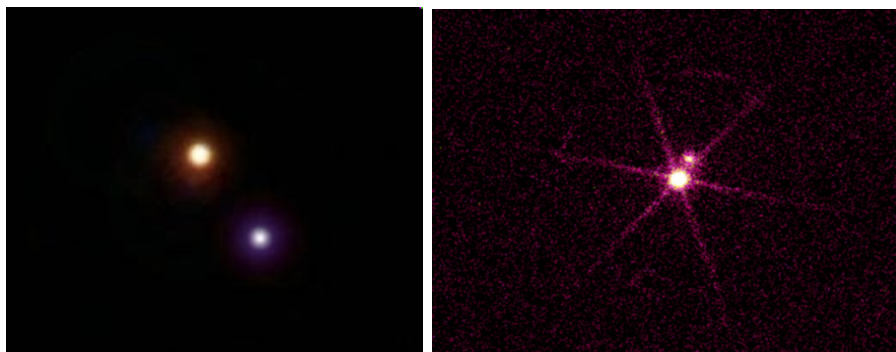
²³Pěkný přehled o moderním názvosloví hvězd a jeho původu lze najít v Kunitzsch & Smart (2006).

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 dvojicím 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 Georgey 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

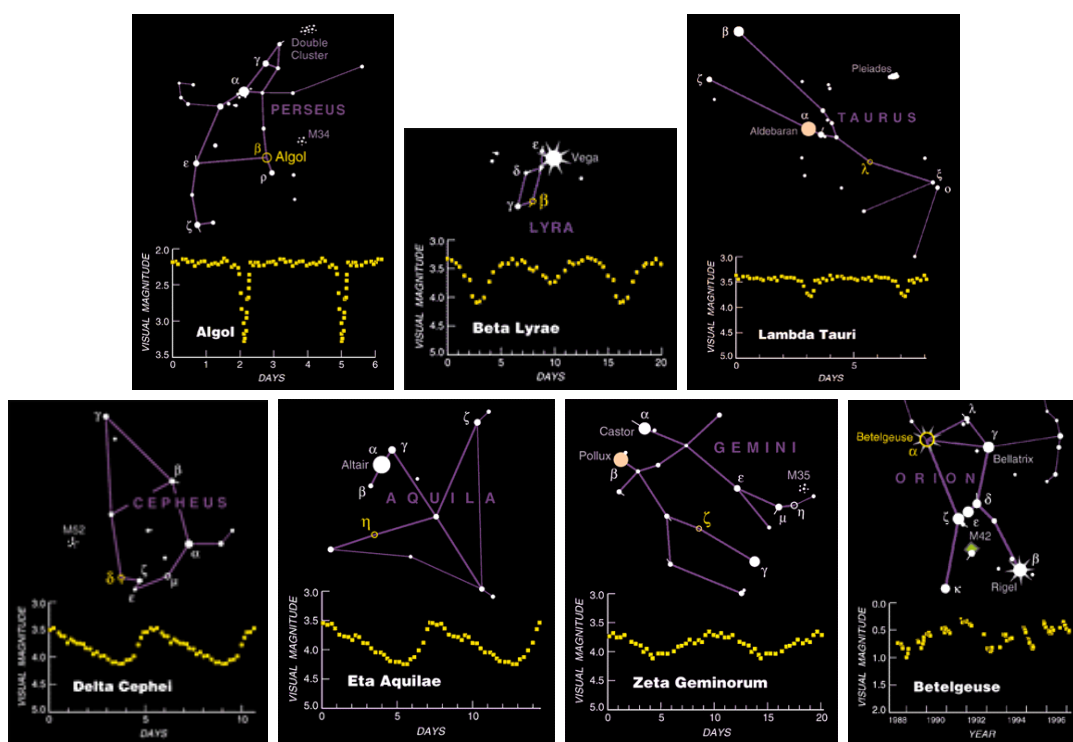
Při pozorování noční oblohy poseté hvězdami se neubráníte dojmu, že se hvězdy mění, mihotají, poblikávají. Jde o tzv. *scintilaci*, která je způsobena neklidem zemského ovzduší. Příčina proměnnosti tedy tkví v průchodu světla hvězd zemským ovzduším, přesněji řečeno jde o změny lomu světla procházejícího 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 pouhými 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/>.

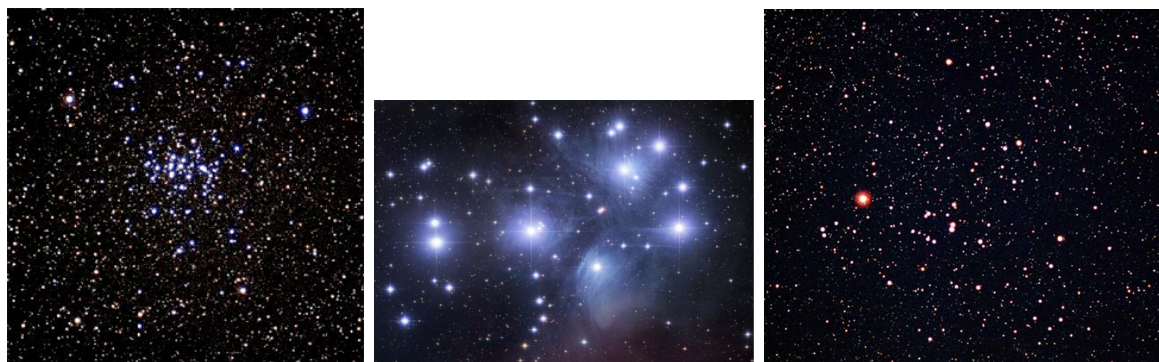
Pro pozorování dalších hvězdokup a zejména jejich rozlišení na jednotlivé hvězdy bylo zapotřebí dalekohledu. Galileo Galilei nejen rozlišil hvězdy v Mléčné dráze, ale zamířil dalekohled na některé mlhavé skvrny zmiňované Ptolemaiem a zjistil, že jsou to ve skutečnosti skupinky hvězd. U známých hvězdokup 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 h 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	Divoká kachna	Cyg	4,6	30'	T	
M11		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
		Hyády	Tau	0,5	330'	O
M35	Gem	5,0	25'	T		
M36	Aur	6,0	10'	D		
M37	Aur	5,6	14'	D		
M38	Aur	6,4	20'	D		
M41	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 nejznámější 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!



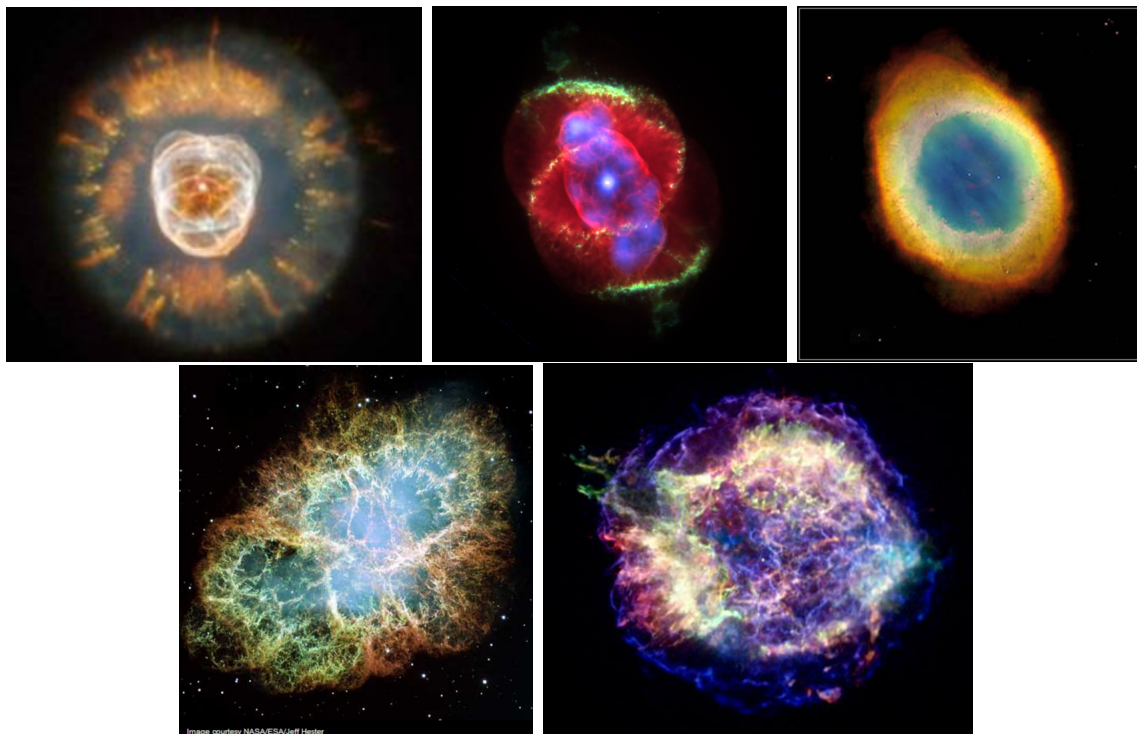
Obrázek 4.40: Mlhoviny tvořené mezihvězdným materiálem. Zleva: Temná mlhovina Dýmka v souhvězdí Hadonoše, temná mlhovina Koňská hlava (IC 434) v Orionu a emisní mlhovina M42 v Orionu. V centru mlhoviny M42 můžeme navíc pozorovat hvězdokupu Trapez. Zdroj: <http://www.atlasoftheuniverse.com/>, Hubble Heritage.

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. Uhelný 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 Kasiopěji. 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	Sou- hvězdí	Typ	Úhlové rozměry	Hv. veli- kost [mag]	Vidi- telnost
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 - pouhýma očima, T - v triedru, D - v dalekohledu, N - z České republiky nepozorovatelná.



Obrázek 4.42: Okouzující 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 Honicích 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 přičkou (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 označení 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 přívlástek „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.

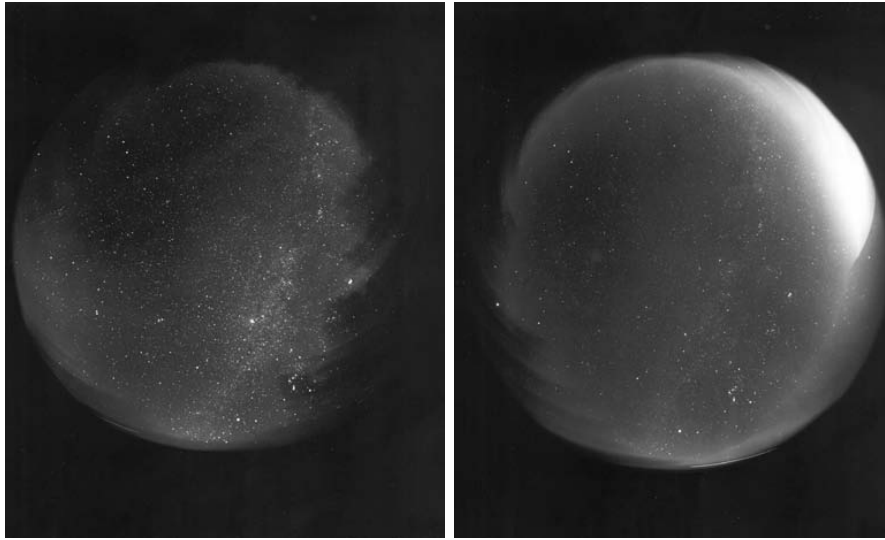
Je třeba si ale uvědomit, že v horším seeingu, například v důsledku vysoké relativní vlhkosti ovzduší bude obraz hvězdy větší, více zeslabený, ale relativně stabilní. Při malé průhlednosti atmosféry je obraz hvězdy slabší, ale velikost obrazu hvězdy tím obecně není nijak dotčena.

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 cirkadiálních 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, Délimitation 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, Connoissance 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

5 Moderní observatoře

5.1 Optická astronomie – přístroje

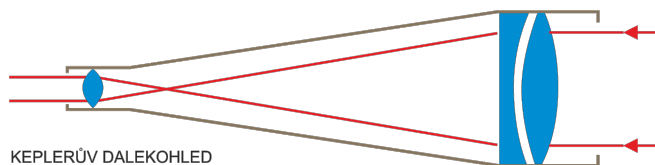
Optická astronomie se zabývá sledováním vesmírných objektů zejména ve vizuální oblasti elektromagnetického spektra záření. Po celá tisíciletí byl základním přístrojem astronoma jeho zrak. Teprve v novověku začal člověk zrak „posilovat“ použitím čoček, dalekohledů. Navíc začal od 19. století používat i různá záznamová zařízení – fotografické desky, fotometry, CCD a CMOS čipy.

Optické přístroje je dnes možné využívat i pro pozorování v oblasti blízkého infračerveného a blízkého ultrafialového záření, takže rozsah využívaných vlnových délek je zhruba 330 nm až 1 μm . Většina pozorování je prováděna na zemském povrchu. Vzdušný oceán nad námi a našimi přístroji však pozorování silně ovlivňuje a někdy dokonce znemožňuje. Proto se nejlepší observatoře staví vysoko v horách a nebo se umísťují ještě výše – až do kosmického prostoru. Ale než se dostaneme ke kosmickým observatořím, seznámíme se základními principy fungování jednoduchých astronomických přístrojů.

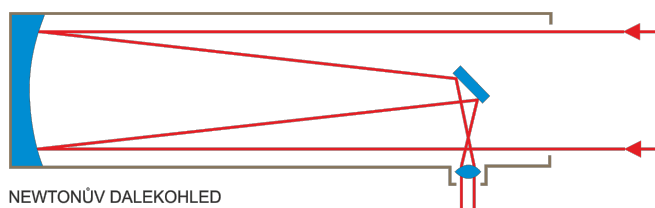
Dalekohled má v podstatě dvě základní funkce. Sbírá světlo od pozorovaného objektu a zvyšuje rozlišovací schopnost. Je zřejmé, že čím větší bude plocha onoho sběrače (objektivu), tím slabší objekty bude možné pozorovat. U dalekohledu je tedy zásadním parametrem průměr objektivu, čočky nebo zrcadla. Rozhodně to není zvětšení.

Historie dalekohledů je velice spletitá. Dlouho se tradovalo, že dalekohled vynalezl v roce 1609 Galileo Galilei, ale není to úplně pravda. Ano, sestavil nezávisle dalekohled, ale teprve na základě zprávy, že to dokázal jistý Holanďan. Sám Galilei o tom píše v knize *Hvězdný posel* (Galilei, 1610). Zmiňovaný Holanďan byl optik Hans Lippershey (Johann Lippershey nebo Lipperhey), který 2. října 1608 podal žádost o patentování dalekohledu – asi 50 cm dlouhé trubky, na jejímž jednom konci byla čočka vydutá a na druhém vypuklá. Dalekohled zvětšoval třikrát až čtyřikrát. Byl však odmítnut, protože dalekohled je prý už znám. Historici se zaměřili na objev dalekohledu před rokem 2009, kdy se mělo slavit 400 let od jeho vynálezu. Jenže se ukázalo, že vlastně nevíme kdo a kdy první dalekohled sestavil. Situaci se snažili zachránit tím, že Galilei údajně jako první obrátil dalekohled vzhůru ke hvězdám. Bohužel i to bylo vyvráceno objevem zápisů pozorování Thomase Harriota. Nicméně, Galileimu přesto jedno prvenství zřejmě zůstalo. Byl asi první, kdo o svých pozorováních veřejně informoval ve své korespondenci a knihách a dokonce dalekohled předváděl benátským zákonodárcům.

Objektivem Galileiho dalekohledu byla spojná čočka a okulárem rozptylka. Takový dalekohled se dnes v astronomii nepoužívá a můžete se s ním potkat maximálně v podobě divadelních kukátek. Jiný věhlasný učenec té doby Johannes Kepler v roce 1611 popsal ve své knize *Dioptrica* optické vlastnosti čoček a navrhl nový typ astronomického dalekohledu se dvěma spojkami (viz obrázek 5.1). Není ale známo, že by dalekohled sám vyrobil. Dalekohledy tohoto typu sestrojili až roku 1630 Christopher Scheiner a Antonín Maria Šírek (Schyrll, Schyrleus) z Reity. Pokud se dnes bude jednat o astronomický čočkový dalekohled (refraktor), půjde zřejmě o dalekohled Keplerova typu. Jenže velikost takového dalekohledu je limitována. Největší čočkový dalekohled světa, který byl použit pro astronomická pozorování je na Yerkesově observatoři. Jeho objektiv má průměr 102 cm. Stavbě větších čočkových dalekohledů brání gravitace a použitý materiál. Velké



Obrázek 5.1: Schéma Keplerova dalekohledu. Převzato ze stránek <http://www.aldebaran.cz>.

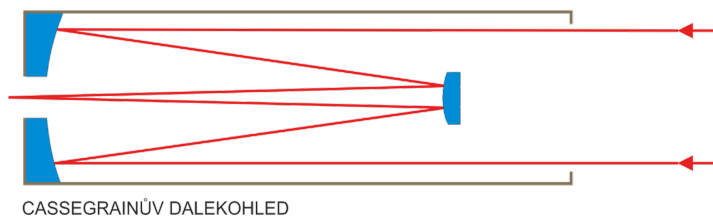


Obrázek 5.2: Schéma Newtonova dalekohledu. Zdroj: <http://www.aldebaran.cz>.

objektivy se totiž deformují vlastní vahou i v důsledku změn teploty.

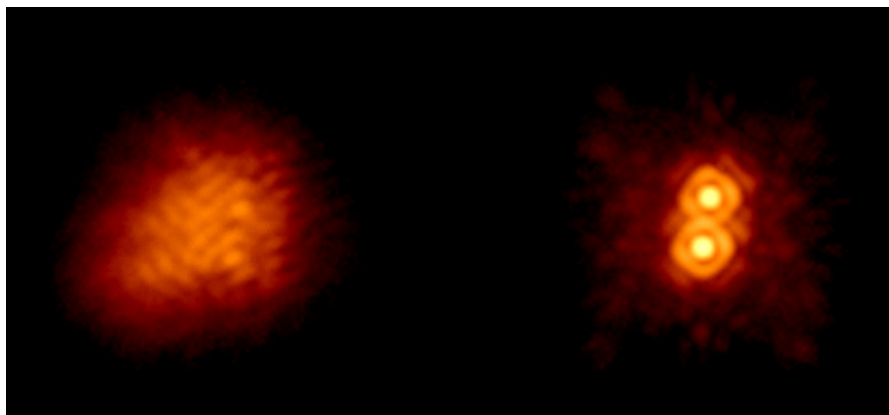
Jiným typem dalekohledů jsou tzv. reflektory, které využívají pro soustředění paprsků odraznou plochu. Objektívem je tedy duté zrcadlo a okulárem spojná čočka. I v tomto případě není zcela jasné prvenství, ale první funkční zrcadlový dalekohled měl v roce 1668 sestavit Isaac Newton. Objektívem bylo kovové zrcadlo o průměru 3,25 cm. Od něj paprsky směřovaly na rovinné sekundární zrcátko, které pak posílalo dopadající paprsky do okuláru na boku tubusu. James Gregory navrhl v knize *Optica Promota* (1663) zrcadlový dalekohled, který měl uprostřed parabolického zrcadla otvor, kam směřovaly paprsky po odrazu od sekundárního dutého eliptického zrcátka. Bohužel vyrobit tento typ dalekohledu se podařilo až roku 1674 Robertu Hookovi. Při astronomických pozorováních byl dokonce použitelný až dalekohled, který postavil roku 1721 John Hadley. Roku 1672 sestavil funkční dalekohled podobné konstrukce francouzský mnich Laurent Cassegrain. Dalekohled měl ale sekundární zrcátko vypuklé, hyperbolické.

Dalekohledy typu Newton a Cassegrain jsou dnes nejrozšířenější zejména mezi astronomy amatéry. Profesionální přístroje na observatořích dnes také využívají jako hlavní optický člen zrcadlo, ale optická sestava bývá složitější než původní plány Newtona či



Obrázek 5.3: Schéma Cassegrainova dalekohledu. Převzato ze stránek <http://www.aldebaran.cz>.

Cassegraina. Ty největší přístroje pak mají hlavní zrcadlo sestavené ze segmentů a bývají vybaveny adaptivní a aktivní optikou. Adaptivní optika je schopna korigovat změnu obrazu působenou turbulencí v atmosféře nad observatoří ve směru k pozorovanému objektu, přičemž korekce se provádí až několikrát za sekundu (obrázek 5.4). Aktivní optika zase vyrovnává změny tvaru zrcadla v důsledku deformace dalekohledu gravitací při různém natočení, teplotní roztažností a podobně. Zrcadla jsou poměrně tenká a jsou podepřena soustavou pístů a díky nim lze v reálném čase tyto drobné korekce tvaru zrcadla provádět.

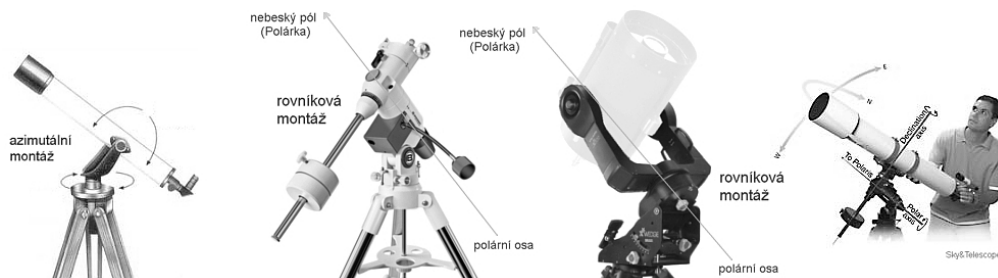


Obrázek 5.4: Dvojhvězda IW Tau pozorovaná pomocí 5m Haleova dalekohledu na Mt. Palomaru. Vlevo: snímek dvojhvězdy bez použití adaptivní optiky; vpravo: odhalené složky dvojhvězdy vzdálené jen 0.3" po využití adaptivní optiky. Převzato z <http://www.astro.caltech.edu/palomar/AO/>.

Nedílnou součástí dalekohledu je montáž, která má několik funkcí. Předně má otáčecím dalekohledu kolem dvou vzájemně kolmých os zajistit nastavení zvoleného objektu do zorného pole dalekohledu. Montáž má být dostatečně stabilní a tuhá, aby se dalekohled nechvil a poskytoval klidný obraz, a případně také umožnil sledování objektu vyrovnáváním denního pohybu objektů na obloze v důsledku rotace Země. Nároky na kvalitu a preciznost montáží se od dob vizuálního pozorování výrazně zvýšily. První astrofotografové, kteří exponovali snímek i několik hodin, museli celou dobu u dalekohledu kontrolovat jeho zamíření a korigovat drobné nepřesnosti montáže. Nyní už jsou montáže velmi přesné a pokud přece jen dochází k drobným odchýlkám v chodu denního pohonu dalekohledu, počítač příslušné korekce zvládne sám. Elektronicky řízené GoTo montáže dnes umožňují také rychlý nájezd dalekohledu na zadaný objekt.

5.2 Největší observatoře a teleskopy světa

V minulosti se i velké profesionální observatoře stavěly poblíž velkých měst nebo přímo ve městech. Noční život měst nijak nevedl astronomickému pozorování. Dnes je ale situace zcela odlišná. Ve městech se staví planetária a případně jen malé hvězdárny pro veřejnost. Profesionální pracoviště byla donucena odejít v podstatě do vyhnanství. Stačí se podívat na mapu světelného znečištění. A když k tomu přidáte ještě znečištění ovzduší



Obrázek 5.5: Montáže dalekohledů. Převzato z <https://www.dalekohledy-mikroskopy.cz/>.

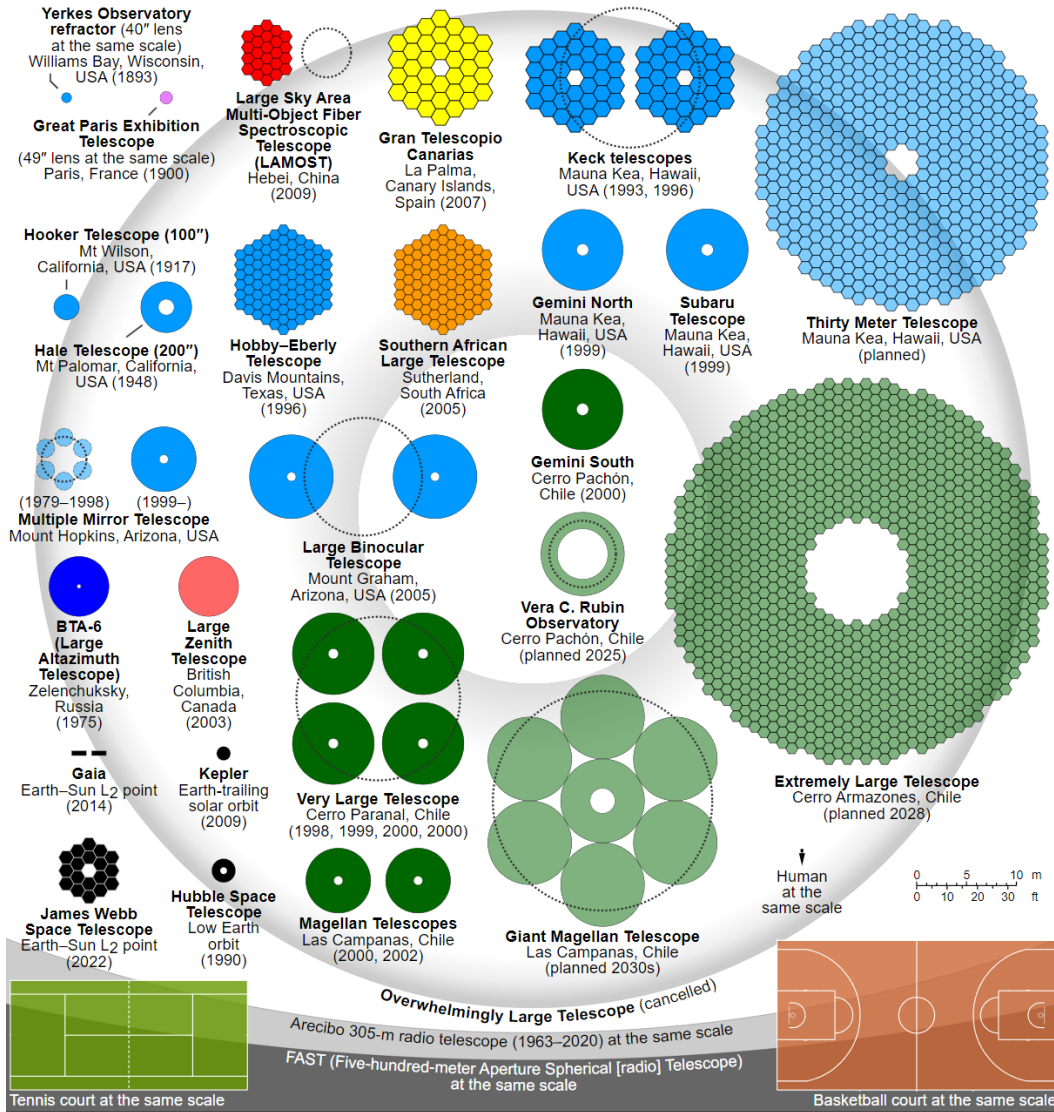
způsobené průmyslem a dopravou, je zřejmé, že astronomové se museli přestěhovat do nejméně obydlených končin světa. Nové lokality velkých observatoří musí splňovat řadu požadavků, ale mezi ty s největší vahou patří:

- dostatečně temné nebe, tedy žádné nebo jen minimální světelné znečištění,
- klidné ovzduší (neklid ovzduší tzv. seeing jen do zhruba 1"),
- nízká vzdušná vlhkost,
- velký počet jasných (fotometrických) nocí.

Výsledkem je, že nejlepší místa pro astronomické observatoře současnosti leží vysoko v horách, v pouštích, daleko od civilizace, například v horských oblastech Kanárských ostrovů, v jihovýchodní části Austrálie, v poušti Atacama v Chile, ve Skalnatých horách v americké Arizoně nebo vysoko na vrcholcích hor na Havajských ostrovech. Tam najdeme největší současné dalekohledy světa. Jejich aktuální přehled je v tabulce 5.1. Některé dalekohledy jsou využívány jako součást interferometrického systému, jako například dalekohledy VLT, Keck nebo soustava CHARA (Center for High Angular Resolution Astronomy) či NPOI (Navy Precision Optical Interferometer).

Ještě na konci minulého století se za velký dalekohled obecně považoval teleskop o průměru větším než dva metry. Vždyť ondřejovský dvoumetr (Perkův dalekohled) patřil v době uvedení do provozu v roce 1967 mezi deset největších dalekohledů světa. Dnes se propadl do kategorie středních nebo dokonce i menších dalekohledů. Průměr největších dalekohledů se totiž zhruba každých 45 let zdvojnásobuje. Dnešní desetimetrový dalekohled sbírá světlo plochou $5 \cdot 10^6$ krát větší než je plocha lidského oka. A budují se dalekohledy podstatně větší (viz tabulka 5.2). Je třeba si ale uvědomit, že s rostoucím průměrem přístroje roste i jeho pořizovací cena. Použitím stávajících technologií jsou náklady na stavbu dalekohledu úměrné $D^{2.6}$, kde D je průměr teleskopu. Nejambicióznější je zatím projekt Evropské jižní observatoře, která staví dalekohledu o průměru 39,3 metru. První světlo v dalekohledu se očekává v roce 2027.¹

¹Ani tento projekt se neubráníl škrtům, původně zamýšlený teleskop měl mít průměr neuvěřitelných 100 metrů!



Obrázek 5.6: Srovnání velikostí zrcadel největších dalekohledů světa. Zdroj: wikipedia.

5.3 Kosmické observatoře

Pozemské observatoře mají své výhody i nevýhody. Ve srovnání s přístroji na družicích jsou pozemské dalekohledy srovnatelné velikosti podstatně levnější. Na druhou stranu je tu výrazné omezení působené zemskou atmosférou. I nad observatořemi s nejlepšími podmínkami se občas zatáhne a mraky znemožní pozorování. Vzdušný obal Země navíc nepropouští některé oblasti elektromagnetického spektra. Tím sice chrání život na naší planetě, ale pro astronomy to znamená, že mohou okolní vesmír ze zemského povrchu pozorovat jen v určitých oknech², jak je vidět na obrázku 5.7. Náš pohled do okolního vesmíru je tím zkreslený. Je to podobné, jako kdyby pianistovi někdo zakryl části klavi-

²V roce 1981 odvysílala tehdejší Československá televize na svou dobu unikátní seriál Okna vesmíru dokořán, jehož hlavním protagonistou byl Jiří Grygar.

Tabulka 5.1: Největší současné dalekohledy světa.

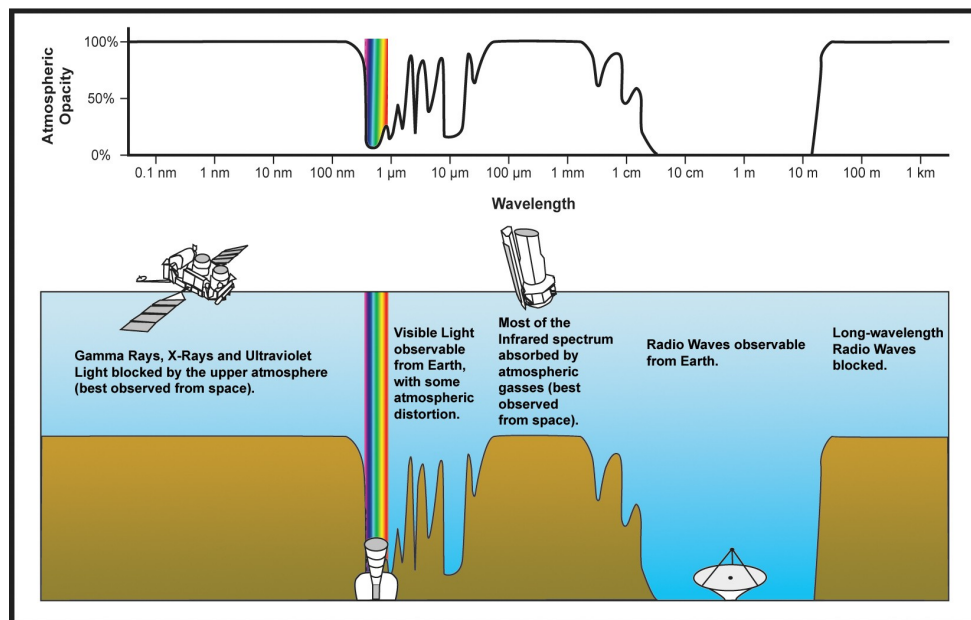
Název	Efekt. průměr	Typ zrcadla	Stát / Partneři	Umístění	V provozu
Large Binocular Telescope (LBT)	11,9 m	2×8,4 m	USA, Itálie, Německo	Mt. Graham Internat. Observatory, USA	2005
Gran Telescopio Canarias (GTC)	10,4 m	36 částí	Španělsko (90%), Mexiko, USA	Kanárské ostrovy, Španělsko	2009
Keck 1	10 m	36 částí	USA	Mauna Kea, Hawaii, USA	1993
Keck 2	10 m	36 částí	USA	Mauna Kea, Hawaii, USA	1996
Southern African Large Tel.(SALT)	9,2 m	91 částí	Jižní Afrika, USA, UK, Německo, Polsko, Nový Zéland	SAAO, Jižní Afrika	2005
Hobby-Eberly Telescope (HET)	11×9,8 m	91 částí	USA, Německo	McDonald Obs., USA	1997
Subaru (JNLT)	8,2 m	jediné	Japonsko	Mauna Kea, Hawaii, USA	1999
VLT UT1 (Antu)	8,2 m	jediné	země ESO, Chile	Paranal, Chile	1998
VLT UT2 (Kueyen)	8,2 m	jediné	země ESO, Chile	Paranal, Chile	1999
VLT UT3 (Melipal)	8,2 m	jediné	země ESO, Chile	Paranal, Chile	2000
VLT UT4 (Yepun)	8,2 m	jediné	země ESO, Chile	Paranal, Chile	2001
Gemini North (Gillett)	8,1 m	jediné	USA, UK, Kanada, Chile, Austrálie, Argentina, Brazílie	Mauna Kea, Hawaii, USA	1999
Gemini South	8,1 m	jediné	USA, UK, Kanada, Chile, Austrálie, Argentina, Brazílie	Cerro Pachón (CTIO), Chile	2001
MMT	6,5 m	jediné	USA	F. L. Whipple Obs., USA	2000
Magellan 1 (Walter Baade)	6,5 m	jediné	USA	Las Campanas Obs., Chile	2000
Magellan 2 (Landon Clay)	6,5 m	jediné	USA	Las Campanas Obs., Chile	2002
BTA-6	6 m	jediné	SSSR/Rusko	Spec.Astroph.Obs., Rusko	1975
Large Zenith Telescope (LZT)	6 m	tekuté	Kanada, Francie, USA	Maple Ridge, Kanada	2003
Hale Telescope	5,08 m	jediné	USA	Palomar Observatory, USA	1948

Tabulka 5.2: Dalekohledy ve výstavbě, se schválenou realizací, plánované.

Název	Průměr [m]	Rok dokončení	Poznámka
European Large Telescope	39.3 m	2027	ve výstavbě
Thirty Meter Telescope	30 m	2028	
Giant Magellan Telescope	7x8.4 m zrcadel	2025	= 24.5 m průměr, první světlo 2029
Vera Rubin Observatory	8.4 m	2023	2025 první světlo
Pan-STARRS	4 x 1.8 m		2 už kompletní
Magdalena Ridge Observatory Telescope Array	10 x 1.4 m		

atury a on měl zahrát nějakou skladbu. Abychom měli obrázek okolního vesmíru komplexní, musíme se vydat do kosmu. Teprve kosmické observatoře nám umožnily sledovat vesmír v celém rozsahu elektromagnetického spektra. Teprve díky nim máme všechna okna do vesmíru otevřená.

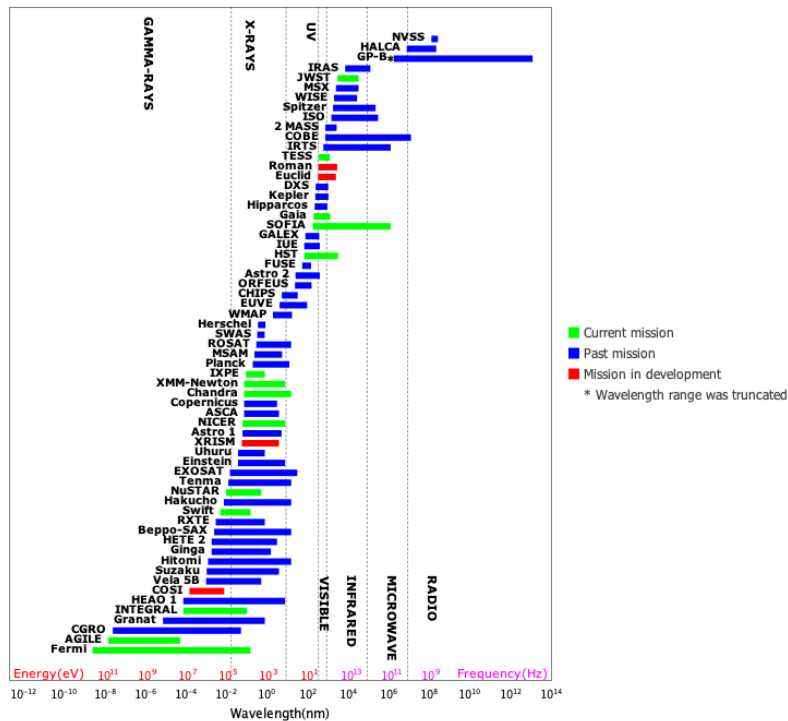
Jedním z prvních, kdo si uvědomil výhody kosmické astronomické observatoře, byl Hermann Oberth (1923). Detailní rozbor možností observatoří v kosmu připravil ale až Lyman Spitzer (1946). Ve svých návrzích pracoval s kosmickými dalekohledy o rozměrech 0,25 až 15 metrů a to v době, kdy na oběžné dráze kolem Země nebyla žádná družice. Lidstvo díky válečnému rozvoji raketové techniky jen nakouklo do kosmického prostoru při vrcholových fázích letu německých balistických raket V-2 ukořistěných po



Obrázek 5.7: Atmosférická okna do vesmíru. Zdroj: NASA.

2. světové válce spojenci. Jedním z průkopníků v této oblasti byl Richard Tousey, který 10. října 1946 zahájil éru kosmických pozorování astronomických objektů. Podařilo se mu získat ultrafialové spektrum Slunce spektrometrem umístěným v hlavici rakety V-2. Později, v šedesátých letech se Tousey v čele týmu zasloužil o sedm malých družic OSO (Orbiting Solar Observatory) pro výzkum Slunce. Ale ani Spitzer nezmezil ze scény. Po nepochopení a výsměchu v poválečném období na své cíle nerezignoval. V roce 1958 navrhl pro NASA družicovou astronomickou observatoř OAO (Orbiting Astronomical Observatory) se zrcadlovým dalekohledem o průměru až 1,5 metru. Úspěšně nakonec pracovaly dvě OAO s dalekohledy o průměru od 20 do 80 cm. Spitzer ale stále prosazoval realizaci velkého kosmického teleskopu. NASA o něm začala reálně uvažovat v roce 1962. Průměr uvažovaného dalekohledu se zejména z finančních důvodů neustále zmenšoval, ale konečně byl projekt i za spoluúčasti Evropské kosmické agentury v roce 1977 schválen. Dalekohled³ o průměru primárního zrcadla 2,4 metru byl připraven k vypuštění v roce 1986. Havárie raketoplánu Challenger vypuštění zpozdila. Když se konečně v dubnu 1990 dostal Hubbleův kosmický dalekohled na oběžnou dráhu, ukázalo se, že hlavní zrcadlo bylo špatně vybroušeno s odchylkou několik tisícín milimetrů. Nepřesné vybroušení se podařilo korigovat zařízením COSTAR v roce 1993. HST už několikrát „prošel servisem“ na oběžné dráze (posledním v roce 2009) a pokud vše půjde dobře, měl by být provozován až do třicátých let 21. století. Jeho význam pro astronomii je zcela zásadní. Dokládá to i počet článků využívajících dat z HST v re-

³Dalekohled nejprve nesl označení LST – Large Space Telescope (Velký Kosmický Dalekohled), ale mnozí zkratku četli jako Lyman Spitzer Telescope. Proto se hledal jiný název a některé byly zajímavé. Například, pokud by dalekohled byl označen Velké Orbitální Zařízení, Great Orbital Device, pak by nad námi obíhal GOD („Bůh“). Nakonec byl zvolen název Hubble Space Telescope (HST), protože jeho hlavním úkolem mělo být upřesnění Hubbleovy konstanty.



Obrázek 5.8: Významné astronomické observatoře v kosmu. Zdroj: wikipedia



Obrázek 5.9: Hubbleův kosmický dalekohled. Základní data: tvar válce o délce 13 m, šířce 4,3 m a hmotnosti téměř 12 tun. Optický systém Ritchey-Chrétien (typ Cassegrain) s primárním zrcadlem 2,4 m, sekundárním zrcadlem 30 cm. Cena 1,5 mld dolarů. Na snímcích vpravo nahoře je možné srovnat obraz galaxie M100 před korekcí obrazu a po ní. Převzato z wikipedia.

cenovaných časopisech, který v roce 2023 překročil překročil 21 000!⁴ Data i nádherné snímky jsou k dispozici na řadě internetových serverů⁵. HST pracuje zejména v optické oblasti elektromagnetického spektra, ale také v ultrafialové nebo infračervené oblasti.

⁴Aktuální stav lze najít na <https://archive.stsci.edu/hst/bibliography/pubstat.html>.

⁵Snímky z HST lze najít například na <http://www.nasa.gov/hubble/>, <http://hubble.nasa.gov/>, <http://hubblesite.org/>, <http://www.spacetelescope.org/>

Nástupcem HST se stal Vesmírný dalekohled Jamese Webba (JWST; James Webb Space Telescope) se zrcadlem o velikosti 6,5 metru. Po řadě odkladů byl vypuštěn v prosinci 2021. Na rozdíl od HST, který krouží kolem Země, je JWST umístěn do tzv libračního Langrangeova bodu L_2 do vzdálenosti 1,5 milionu kilometrů. Už první snímky předčily očekávání.⁶ JWST pracuje už zcela v oblasti infračerveného elektromagnetického záření nedostupného pro pozorování ze Země.

V uplynulých desetiletích bylo do vesmíru vysláno mnoho astronomických družic (obrázek 5.8). Mezi ty nejznámější, pracující zejména ve viditelné oblasti spektra, patří astrometrická družice Hipparcos, případně fotometrické družice MOST, CoRoT a zejména satelit Kepler, který výrazně rozšířil naše znalosti o exoplanetách i proměnných hvězdách. Současným velkým projektem Evropské kosmické agentury je družice GAIA se dvěma zrcadly $1,45 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$, která má poskytnout velmi přesná měření jasnosti a polohy obrovského množství hvězd. První takřka kompletní fotometrickou přehlídku hvězdné oblohy v kosmu nyní provádí od r. 2018 družice TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite).

Do seznamu kosmických observatoří bychom ale měli zahrnout nejen družice na oběžné dráze kolem Země. Některé jsou umístěny v oblastech, kde se vyrovnává gravitační působení Země a Slunce, v tzv. Lagrangeově bodě L_2 , jako například JWST. Na Měsíci už řadu let pracuje ultrafialový dalekohled LUT Čchang-e 3 na čínské sondě. Ale je třeba také vzít v úvahu sondy vyslané na výzkum Slunce, planet nebo menších těles ve Sluneční soustavě.

Seznam těchto sond je velmi dlouhý a obsahuje dnes už nejen výtvořky kosmických velmocí jako USA nebo Rusko (dříve Sovětský svaz), ale také Evropské kosmické agentury i dalších zemí Číny, Indie, Japonska, Izraele, Spojených arabských emirátů a dalších. Některé z nich mají své unikátní příběhy. Například sondy Voyager, které startovaly v roce 1977, jsou i po téměř půl století stále v provozu a jsou nejvzdálenějším vyslanecem lidstva ve vesmíru. Signál k nim putuje rychlostí světla téměř celý jeden den!

5.4 Neoptická astronomie

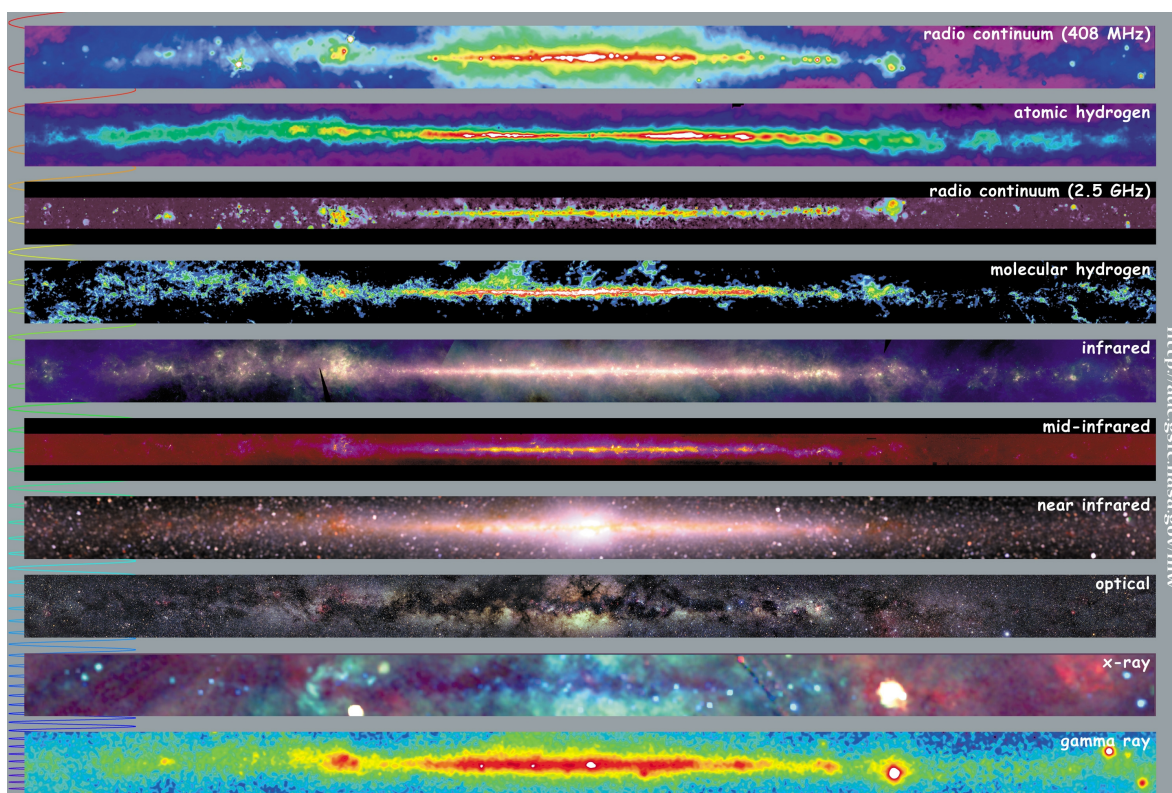
Optické okno do vesmíru není sice největší (naopak, je velmi úzké), ale je nám nejbližší. V optické oblasti spektra člověk okolní vesmír zkoumá nejdéle. Existence dalších částí elektromagnetického spektra byla odhalována postupně. Nejprve si roku 1800 William Herschel všiml, že rtuťový teploměr vložený do slunečního spektra ukazuje zvýšené hodnoty i za viditelným červeným okrajem spektra. Když se o rok později o Herschelově objevu dozvěděl mladý německý chemik a fyzik Johann Wilhelm Ritter, napadlo ho zkusit, zda není nějaké neviditelné záření také na opačném, fialovém konci spektra. Pomocí chloridu stříbra záhy objevil ultrafialové (UV) záření. Jak Herschel, tak i Ritter rozšířili naše znalosti o spektru elektromagnetického záření jen o malé části přimykající se k optické oblasti. K podstatnému rozšíření poznané oblasti spektra přispěl až o desítky let později v roce 1887 Heinrich Hertz, který ve své laboratoři generoval záření o vlnových délkách řádově desítky až stovky metrů. Lidstvo poznalo rádiové vlny.

Na konci 19. století celá řada fyziků studovala záření ve vakuovaných trubicích emi-

⁶Detaily celé mise a snímky jsou k dispozici na adrese <https://webb.nasa.gov/>

tované na elektrodě. Nicméně jako oficiální objevitel paprsků X je uváděn Wilhelm Röntgen, který o nich publikoval souhrnnou studii na sklonku roku 1895⁷. Záhy začali fyzikové tyto paprsky po objeviteli označovat jako rentgenové. Mozaiku objevitelů ještě doplníme jménem francouzského fyzika a chemika Paula Ulricha Villarda, který roku 1900 objevil záření nepodléhající magnetickým silám. V roce 1914 Ernest Rutherford a Edward Andrade prokázali, že jde o druh elektromagnetického záření a prvně jmenovaný jej také označil jako záření γ .

Do neoptické astronomie ale zahrnujeme nejen výzkum v neoptické oblasti elektromagnetického spektra. Významnou roli hraje i částicová astrofyzika a její detektory, například detektory neutrin, kosmického záření a neposlední řadě také detekce gravitačních vln.



Obrázek 5.10: Snímky pásu Mléčné dráhy (části hvězdné oblohy do vzdálenosti 10° od roviny Galaxie) v různých oblastech spektra elektromagnetického záření. Zdroj: NASA.

5.4.1 Ultrafialová astronomie

Astronomie využívající oblast elektromagnetického záření přibližně mezi 10 až 320 nm se označuje jako ultrafialová. Záření kosmických objektů v blízké UV oblasti je sice možné pozorovat i z pozemských vysokohorských observatoří, případně využít balóny, ale těžiště práce leží na družicových observatořích. Pomineme-li počáteční krátkodobé

⁷V roce 1901 se Röntgen stal prvním laureátem Nobelovy ceny za fyziku.

experimenty, pak skutečným tahounem této oblasti astronomie byla družice IUE (International Ultraviolet Explorer), která byla aktivní na oběžné dráze v letech 1978-1996. Z pozdějších významných zdrojů UV dat jmenujme EUVE (Extreme Ultraviolet Explorer, 1992-2001), přístroje HST nebo družice FUSE (1999-2007), GALEX (2003-2013), Astrosat (2015-). Za zmínku zcela jistě stojí i ultrafialový dalekohled LUT pracující na Měsíci jako součást čínské sondy Čchang-e 3 od ledna 2014.

Ultrafialová astronomie je velmi důležitou součástí zkoumání vesmíru. Většina hvězd patří mezi relativně chladné objekty, které nejvíce září v optické, resp. infračervené části spektra. V ultrafialové oblasti se nejvíce projevují horké mladé hvězdy, obnažená jádra starých hvězd nebo tzv. kilonovy⁸ krátce po svém vzniku. Rozborem UV pozorování můžeme zjišťovat chemické složení, hustoty a teploty těchto objektů (respektive jejich povrchových vrstev), mezihvězdného materiálu, ale také získávat informace o vývoji naší i dalších galaxií.

Tým profesora Wenera z Masarykovy univerzity připravuje první český kosmický dalekohled. Družice QUVIK s dalekohledem o průměru 33 cm má pracovat právě v ultrafialové oblasti spektra. Start je plánován na rok 2029.

5.4.2 Rentgenová astronomie

Historie rentgenové astronomie se začala psát až po druhé světové válce. Zemská atmosféra vůbec nepropouští rentgenové záření vesmírných zdrojů v rozmezí frekvencí od přibližně 50 PHz ($= 5 \cdot 10^{16}$ Hz) do 50 EHz ($= 5 \cdot 10^{19}$ Hz), což odpovídá intervalu vlnových délek (8 pm - 8 nm).⁹ Měření v rentgenovém oboru spektra, v intervalu energií přibližně 0,12 keV až 120 keV je tak nutné provádět ve vysokých hladinách zemské atmosféry, ale nejlépe až nad ní, v kosmickém prostoru. První rentgenová pozorování ve vesmíru využívala vrcholu trajektorie raket, ale pozorování trvalo jen několik minut. K vynesení detektorů (Geigerových-Müllerových počítačů) do vyšších vrstev atmosféry se využívalo i atmosférických balónů. Při podobných experimentech bylo možné zjišťovat jen intenzitu přicházejícího rentgenového záření. Pro získání přesnějších údajů byl zkonstruován speciální rentgenový dalekohled. Jeho konstrukce je dosti náročná, protože rentgenové paprsky se téměř nelámou a odráží se jen pod úhlem dopadu větším než 85°. Odrazné plochy jsou proto opatřeny tenkou vrstvou kovu s vysokou elektronovou hustotou jako nikl, zlato, platina nebo iridium. Hladkost jejich povrchu je 1 nm. I když se nám ale podaří rentgenové záření soustředit na malou plošku, není možné jej podobně jako u gama záření detekovat přímo. Do ohniska rentgenového dalekohledu se umístí luminiscenční destička a za ni CCD kamera, která pozoruje světélkování desky po dopadu částic rentgenového záření.

V posledních desetiletích byla vypuštěna řada úspěšných rentgenových družic jako například ROSAT (1990-2011), Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE, 1995-2012), Chandra (1999-), X-ray Multi-Mirror Mission-Newton (1999-), nebo již dříve zmiňované družice INTEGRAL (2002-) a Neil Gehrels Swift Observatory (2004-). Jejich dalekohledy zkoumaly celou škálu zdrojů rentgenového záření, od našeho Slunce, rentgenových

⁸Kilonova je astronomická událost, která vzniká splynutím dvou velmi malých ale velmi hustých neutronových hvězd případně neutronové hvězdy a černé díry.

⁹Rentgenové záření je v elektromagnetickém spektru vymezeno ultrafialovým zářením a na straně vyšších energií gama zářením.

dvojhvězd až po vzdálené rentgenové galaxie, aktivní galaktická jádra, kvasary nebo kupy galaxií a další.

5.4.3 Astronomie gama záření

Počátky astronomie gama záření spadají do šedesátých let minulého století. První vysokoenergetické fotony gama záření byly registrovány zařízením pro jejich detekci na palubě družice Explorer 11 v roce 1961. V 60. a 70. letech minulého století vrcholila studená válka mezi světovými mocnostmi a tak se do vesmíru vysílaly družice, které měly pomocí detektorů gama záření monitorovat pokusné jaderné výbuchy na zemi. To byl případ i družic Vela. Ukázalo se však, že zaznamenávají mnohem častěji záblesky záření gama přicházející z vesmíru než ze zemského povrchu. Odhalené kosmické úkazy se označují prostě jako **gama záblesky**¹⁰. Je zřejmé, že takové výrony vysoce energetických částic doprovázejí největší kataklyzmata ve vesmíru jako výbuchy supernov, hypernov, vznik černých děr, pád hmoty do černé díry, splynutí neutronových hvězd, reakce hmoty s anti-hmotou a podobně. Pro pochopení těchto jevů je nezbytné mít k dispozici dostatek pozorovacích dat. Proto bylo do kosmu na přelomu 20. a 21. století vysláno několik gama observatoří, například CGRO (Compton Gamma-Ray Observatory, 1991-2000), BeppoSAX (1996-2002), INTEGRAL (2002-), Neil Gehrels Swift Observatory (dříve Swift Gamma-Ray Burst Mission, 2004-), Fermi Gamma-ray Space Telescope (FGST, dříve GLAST, 2008-) a další. Mezi nejmenší v této rodině těchto satelitů patří nanosatelity GRBAlpha a GRBBeta, na jejichž přípravě se významně podílel tým prof. Wenera z Masarykovy univerzity. První GRBAlpha startoval na jaře 2021.

Pokud vysokoenergetické fotony gama záření z vesmíru interagují s částicemi atmosféry, vyvolají emisi sekundárních fotonů doprovázenou vznikem Čerenkovova záření, které lze v noci zachytit optickými dalekohledy jako světelný záblesk. Specializovaných observatoří a optických dalekohledů na taková pozorování je celá řada, například H.E.S.S., VERITAS, MAGIC, CANGAROO III nebo HEGRA. Nově k nim v r. 2021 přibýly i dva dalekohledy SST (Small-Sized Telescope) o průměru primárního zrcadla 4,3 metru na Astronomickém ústavu v Ondřejově. Jedná se o jeden z prototypů pro budoucí observatoř Cherenkov Telescope Array (CTA) budovanou v Chile a na Kanárských ostrovech.

5.4.4 Infračervená astronomie

Infračervená oblast spektra (v intervalu 0,75 až 300 mikrometrů) sousedí s optickou oblastí, takže je možné v principu pro pozorování využívat i optické dalekohledy. Zemská atmosféra navíc infračervené záření v několika oknech propouští. Jenže na druhou stranu, je potřeba dostatečně citlivý detektor infračerveného záření pro sledování hvězd a ten se podařilo se vyvinout až počátkem 20. století. Skutečné počátky praktické infračervené astronomie spadají až do prvních let po druhé světové válce. Mimo jiné je třeba dostatečné chlazení měřicí aparatury, aby její vlastní teplo nepůsobilo při měření rušivě. Pro vzdálenější infračervenou oblast spektra pak bylo nutné vyvinout speciální daleko-

¹⁰V literatuře se setkáte také se zkráceným označením GRB vycházejícím z anglického „gamma ray burst“.

hledy (jako například James Clerk Maxwell Telescope na hoře Mauna Kea na Havajských ostrovech). Obecně pro infračervená pozorování platí, že je nutné odstěhovat příslušné dalekohledy na vysoko položená místa s malou relativní vlhkostí nebo je umístit na palubu družic. Při pozemských pozorováních totiž vadí vodní pára v zemské atmosféře i samotná atmosféra, která v infračervené oblasti také vyzařuje. Mezi nejlepší místa pro infračervenou astronomii tak patří například Mauna Kea Observatory (4 205 m n.m.), Atacama Large Millimeter Array (ALMA, 5 059 m n.m.) či observatoře v Antarktidě. Některé infračervené dalekohledy jsou začleněny do astronomických interferometrů. Při použití společně s adaptivní optikou mohou infračervené interferometry dosáhnout vysokého úhlového rozlišení. Největšími dalekohledy pracujícími i jako součástí interferometru jsou dva 10metrové dalekohledy na Keckově observatoři nebo čtyři 8,2metrové dalekohledy ESO na Paranal.



Obrázek 5.11: Snímky části mlhoviny NGC 3372 pořízené Hubbleovým dalekohledem a dalekohledem Jamese Webba. Zdroj: NASA.

Z kosmických projektů infračervené astronomie jmenujme alespoň satelity a přístroje nové generace jako HST/NICMOS (2009-), SIRTf (Space Infrared Telescope Facility), dnes Spitzer Space Telescope (2003-2020), nebo WISE/NEOWISE (Wide-field Infrared Survey Explorer, 2009-2024)¹¹ a Herschel Space Observatory (2009-2013). Nejvýkonnějším přístrojem, který pracuje v infračervené oblasti je dnes JWST. Observatoř s prů-

¹¹Družice byla v rozmezí únor 2011 až červenec 2013 hibernována. Od srpna 2013 znovu pracovala pod označením NEOWISE až do 31. července 2024.

měrem zrcadla 6.5 metru startovala o vánocích 2021 a brzy poté, co se usadila v bodě L2 ve vzdálenosti jeden a půl milionu kilometrů od Země, začala posílat úchvatné záběry kosmických objektů v dosud nevídaném rozlišení (viz obrázek 5.11).

Infračervené observatoře se zaměřují na studium chladnějších vesmírných objektů. Hned první infračervená družice IRAS například detekovala v okolí ekliptiky meziplanetární prach, který odráží infračervené záření Slunce. Studují se ale i prachové disky v okolí hvězd, plynoprachová mračna v oblastech vzniku hvězd a další. Studium těchto útvarů v infračervené oblasti spektra je možné zkoumat vznik a vývoj hvězd, vznik planetárních soustav nebo strukturu a evoluci galaxií, včetně té naší případně zkoumat strukturu a chemické složení vesmíru. Velkým odvětvím, kde se výrazně uplatňují infračervené družice, je i výzkum exoplanet. Ty mají být konec konců i jedním z hlavních cílů pro JWST.

5.4.5 Radioastronomie

Nejvýznamnější oblastí neoptické astronomie je radioastronomie. Tuto kapitolu astronomie otevřel v roce 1931 americký fyzik s českými kořeny Karl Guthe Jansky vlastně náhodou. Původně hledal pro firmu Bell možné zdroje poruch rádiového vysílání. Odhalil ale rádiové signály přicházející ze středu naší Galaxie, od zdroje dnes označovaného jako Sgr A. První parabolickou anténu sestrojil v roce 1937 amatérský zájemce o astronomii a rádio Američan Grote Reber, který byl vlastně po zhruba deset let jediným amatérským radioastronomem světa. Velký rozvoj rádiové techniky je spojen s obdobím druhé světové války. Po ní se rádiová technika uplatnila i v astronomii. Velkou výhodou radioastronomie je její nezávislost na počasí a denní či noční době. Naproti tomu výsledek měření je třeba nejdříve vizualizovat, nevidíme jej přímo jako třeba v optické astronomii. Podle způsobu využití rádiových vln můžeme radioastronomii rozdělit na:

- pasivní, která jen analyzuje pasivně přijímané rádiové vlny z vesmíru. Tímto způsobem lze studovat jak tělesa Sluneční soustavy (např. Slunce, Jupiter), tak i hvězdy, dvojhvězdy, mlhoviny, zbytky supernov, planetární mlhoviny, molekulová oblaka nebo galaxie, galaktická jádra i vzdálené kvazary.
- aktivní (radarová astronomie). Rádiový signál se nejprve vyšle směrem ke studovanému objektu a po odrazu od cíle se přijímá a analyzuje. Takový postup je ale velmi silně omezen na Zemi a její nejbližší okolí, takže mezi studovanými objekty jsou polární záře, meteory, zemská atmosféra (přesněji zemská ionosféra), Slunce, Měsíc, Merkur, Venuše nebo blízké planety.

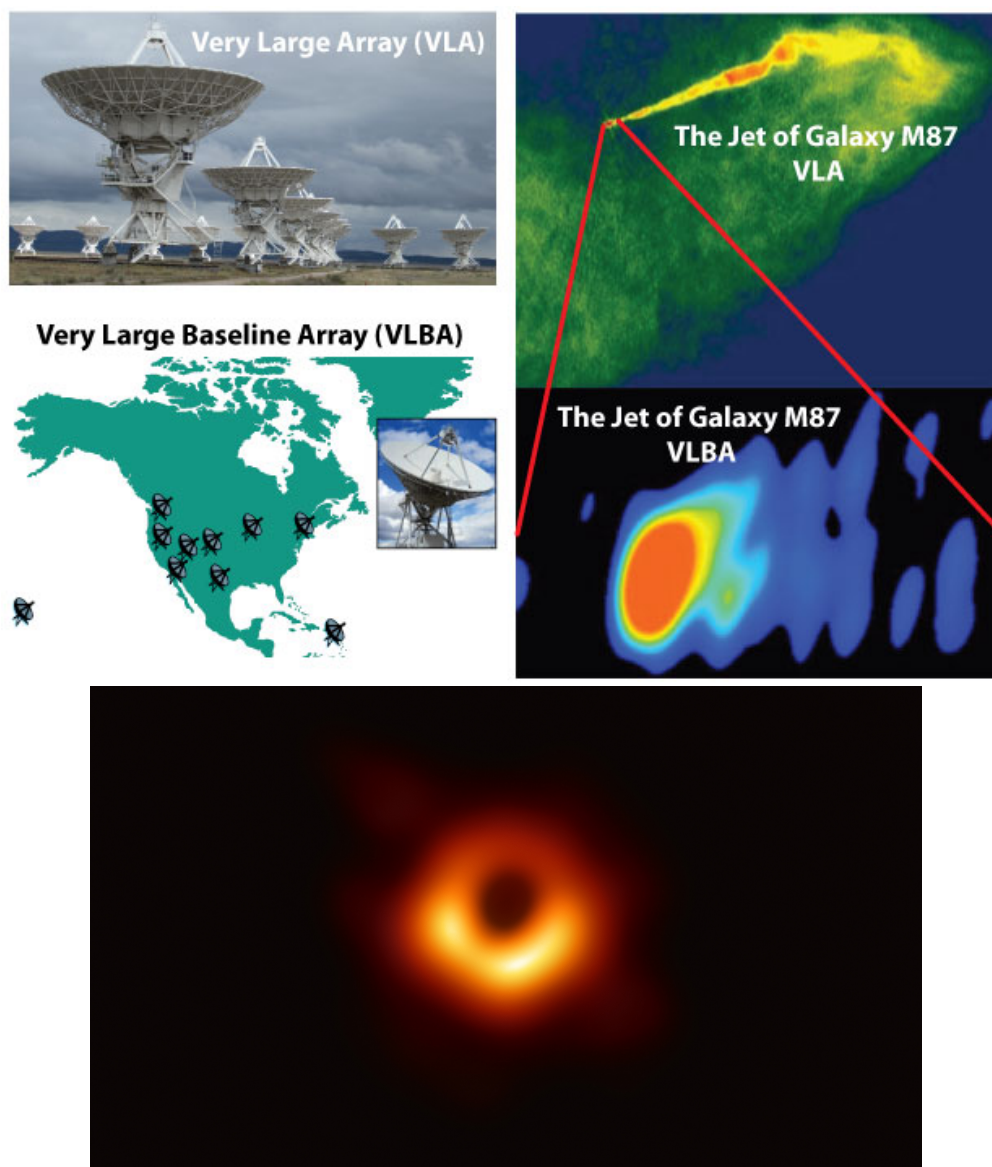
Základními přístroji jsou radioteleskopy, rádiové interferometry, spektrografy a radary. Největší plně pohyblivé radioteleskopy jsou Robert C. Byrd Green Bank Telescope (součást National Radio Astronomy Observatory NRAO, USA) s anténou 100×110 metrů (obrázek ??) a 100metrový radioteleskop v Effelsbergu (Německo). Největší nepohyblivá celistvá anténa měla do roku 2016 průměr 305 metrů. Nacházela se v Arecibu na Portoriku (obrázek 5.12a). Bohužel 1. prosince 2020 došlo ke zhroucení konstrukce a zničení celého ikonického přístroje, který „si zahrál“ i v jednom z filmů o agentu 007.

Zničenému radioteleskopu v Arecibu se podobá radioteleskop FAST (Five hundred meter Aperture Spherical Telescope) o průměru 500 metrů, který zprovoznili na jihovýchodě Číny v roce 2016 (obrázek 5.12b). Největší samostatný radioteleskop světa RATAN 600 o průměru 576 m pracuje v Rusku (obrázek 5.12c). Je ale sestaven z 895 panelů po obvodu kruhu, takže efektivně odpovídá rozměru radioteleskopu v Arecibu.

V roce 1946 vyvinuli Martin Ryle, Joseph Lade Pawsey a Ruby Payne-Scottová postup, jak skládat rádiová zařízení přijímaná ve stejném čase různými radioteleskopy, vznikla rádiová interferometrie. Výsledkem aperturní syntézy je velká rozlišovací schopnost celé sestavy interferometru. Nezáleží přitom na tvaru antén. Největším takovým přístrojem je soustava nezávislých radioteleskopů rozmístěných po celém světě nazvaná Event Horizon Telescope. Výsledkem společného téměř dvouletého úsilí byl první obrázek černé díry představený na tiskové konferenci v roce 2019.



Obrázek 5.12: Vlevo: Radioteleskop Observatoře Arecibo na ostrově Portoriko. Převzato z <http://www.naic.edu>. Vpravo: Čínský radioteleskop FAST v provincii Kuej-čou. Zdroj: <http://gbtimes.com/>. Dole: Radioteleskop RATAN 600 Ruské akademie věd na Kavkaze. Zdroj: <http://space-memorial.narod.ru/astro2/kajdanovskij.html>.



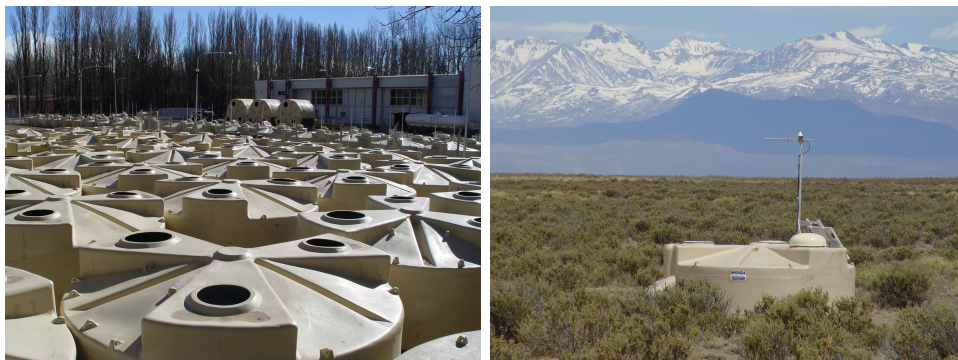
Obrázek 5.13: Nahoře vlevo: radioteleskopy použité v interferometrické soustavě VLA, respektive VLBA. Nahoře vpravo: porovnání výsledků při pozorování výtrysku z galaxie M87. Zdroj: <http://www.erau.edu/>. Dole: První snímek černé díry v centru galaxie M87 pořízený EHT. Zdroj: ESO.

5.5 Částicová astronomie

Částicová astronomie je založena na výsledcích experimentů v urychlovačích částic i na pozorováních proudů částic z vesmíru. Urychlovače, detektory kosmického záření nebo neutrin patří k největším a nejdražším fyzikálním přístrojům nebo chcete-li, laboratořím světa. Díky nim se však rozvoj částicové fyziky včetně astrofyziky výrazně zrychlil. Představit všechny tyto přístroje je dalece nad rámec této publikace, připomeňme si však alespoň stručně ty nejvýznamnější.

5.5.1 Kosmické záření

Zdroj kosmického záření není zatím zcela jasný. Víme jen, že jeho částice s nejvyšší energií pochází z oblastí mimo naši Galaxii. Největším projektem pro studium kosmického záření je mezinárodní Observatoř Pierra Augera vybudovaná v Argentině. Zakládajícím členem příslušného konsorcia byla i Česká republika. Observatoř je schopna detekovat částice kosmického záření s ultravysokou energií nad 10^{20} eV, což je pro představu energie, jakou má tenisový míček při rychlosti 80 km/h, jenže míček je zhruba 40bilionkrát větší. Podle teoretických předpokladů má dopadnout jedna taková částice na 1 km^2 za jedno století. Proto jsou detektory Observatoře Pierra Augera rozmístěny na ploše větší než 3000 km^2 . 1600 tanků s vodou slouží jako detektory Čerenkovova záření, které vzniká při průchodu vysoce energetické částice vodou. Na observatoři jsou dále speciální fluorescenční dalekohledy, radioteleskopy. Část získaných dat je okamžitě k dispozici všem zájemcům na adrese <https://opendata.auger.org/>.



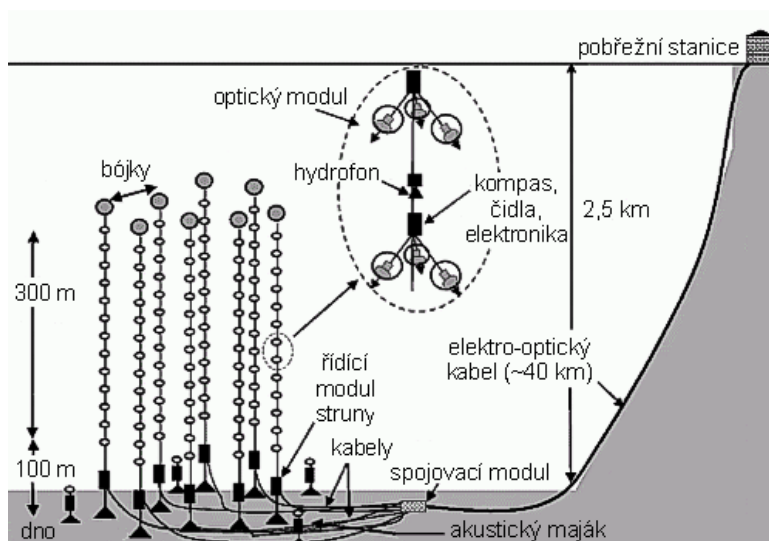
Obrázek 5.14: Observatoř Pierra Augera. Vlevo: Tanky na vodu při přípravě. Vpravo: Jeden z tanků na vodu už zapuštěný do země a připravený k činnosti. Zdroj: <http://www.auger.org>.

5.5.2 Neutrinová astronomie

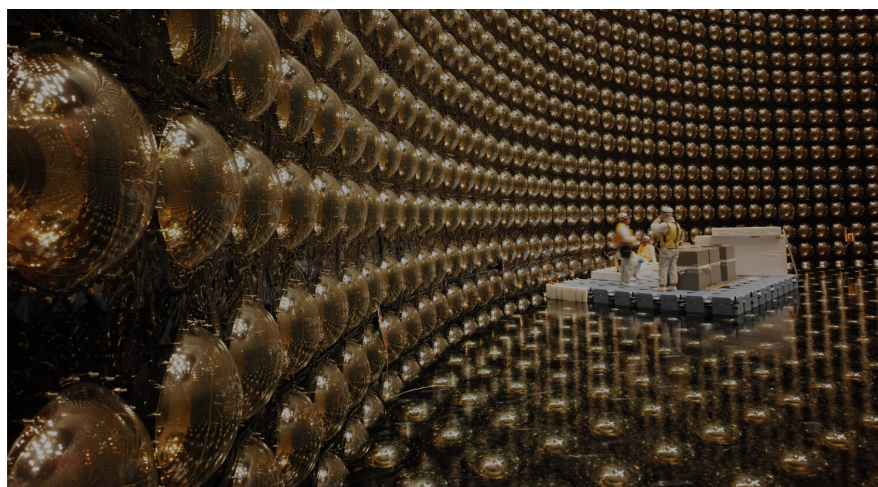
Neutrino patří mezi lehké elementární částice (leptony). Jejich existenci předpověděl Wolfgang Pauli roku 1931. Experimentálně se neutrino podařilo prokázat až o čtvrt století později. Nejprve elektronové (Cowan et al., 1956), pak mionové (Lederman, Schwartz a Steinberger, 1962) a nakonec tauonové (tým DONUT, Fermilab 2000). Neutrina mají velmi malou hmotnost (i ve srovnání s ostatními elementárními částicemi), ale nulový elektrický náboj.

Neutrina vznikají zjednodušeně řečeno při jaderných reakcích, kterým se říká beta rozpad. V současné době je známo pět zdrojů neutrin. Může jím být kolaps hvězdy při výbuchu supernovy, ale také běžné jaderné reakce ve hvězdách. Na Zemi vznikají při interakcích kosmického záření s atomy atmosféry nebo rozpadem radioaktivních hornin v zemských útrobách. A nezapomeňme také na lidskou produkci neutrin v jaderných elektrárnách.

Neutrina neovlivní silná ani elektromagnetická interakce, netečná jsou i vůči gravitaci. Částečně se podvolí jen slabé interakci. Mají velmi malý účinný průřez a nízkou



Obrázek 5.15: Schéma neutrinového vodního detektoru v rámci projektu ANTARES. Převzato z <http://www.aldebaran.cz>.



Obrázek 5.16: Japonská neutrinová observatoř Super-kamiokande. Zdroj: <https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/sk/>.

reaktivnost, takže prakticky bez odporu prochází látkou. Například jedním centimetrem čtverečním naší kůže projde asi 100 miliard neutrin za sekundu bez jakéhokoli vlivu na nás nebo naše okolí. Z toho všeho ovšem vyplývá pro nás nepříjemná vlastnost neutrin. Jsou velmi obtížně detekovatelná. K jejich detekci se využívá toho, že velmi slabě interagují s některými látkami a přitom vzniká Čerenkovovo záření, které následně detekujeme. Nejznámější a nejstarší jsou observatoře Sudbury Neutrino Observatory v Kanadě a japonský projekt Super-Kamiokande (Super-Kamioka Neutrino Detection Experiment). Kanadský projekt¹² využívá nádrž s jednou kilotunou těžké vody v hloubce 2 kilometry

¹²<https://sno.phy.queensu.ca/>

pod zemí. Japonci v projektu Super-Kamiokande¹³ používají v jednom kilometru pod zemí nádrž s průměrem 41 metrů obsahující 50 kilotun superčisté vody. Stěny nádrže jsou pokryty 11 146 fotonásobiči. Jako detekční tekutina se využívá také neon, xenon, galium, helium, tetrachloretylen a další (experimenty SAGE, BOREXINO, DUNE, JUNO a další). V provozu je i několik projektů, které využívají přirozené nádrže. V rámci podmořských experimentů jako ANTARES, DUMAND, NESTOR, NEMO, KM3NET se do hloubky až několika kilometrů umístí na lanech řetězce senzorů (viz obrázek 5.15), které zaznamenají případnou reakci neutrino s prostředím. Na podobném principu jsou založeny i projekty AMANDA nebo The IceCube Neutrino Observatory (prostě „Ledová kostka“ IceCube). Do antarktického ledu je vyhloubena série děr, do nichž jsou až do hloubky 2 450 metrů umístěny fotonásobiče.

Většina dosud detekovaných mimozemských neutrin pochází ze Slunce. Dalšími zdroji jsou pak výbuchy supernov (např. SN1987A), zvláštní typy galaxií tzv. blazary nebo jsou přímo součástí kosmického záření.

5.6 Gravitační vlny

Existenci gravitačních vln předpověděl Albert Einstein v obecné teorii relativity. Velmi zjednodušeně řečeno, má jít o chvilkové deformace prostoročasu v důsledku rychlých změn gravitačního pole. Tímto způsobem by se tedy měly projevovat děje probíhající u neutronových hvězd, černých děr, při výbuchu supernovy nebo hypernovy či krátce po velkém třesku.

Průkopníkem v oblasti detekce gravitačních vln byl Joseph Weber. V roce 1972 sice ohlásil úspěšnou detekci gravitačních vln, ale jeho výsledky byly rozporuplné a nebyly přijaty (více například v Ullmann, 1986). První všeobecně uznávané známky existence gravitačních vln tak byly jen nepřímé. Hulse & Taylor (1975) interpretovali zkracování oběžné doby binárních pulsarů¹⁴, například PSR 1913+16 právě pomocí gravitačních vln. V roce 1993 byli za tento objev odměněni Nobelovou cenou za fyziku.

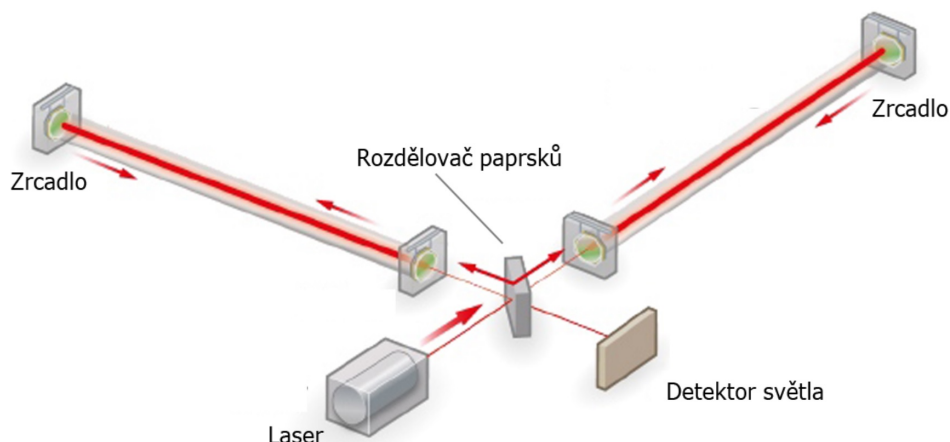
V současné době je v činnosti několik detektorů gravitačních vln, které využívají interferometrická měření (obrázek 5.17c). Jsou tvořeny dvěma na sebe kolmými vzduchoprázdnými tunely, na jejichž koncích jsou umístěna zrcadla. Ta odrážejí vysílané laserové paprsky, které se vrací na úroveň vysílače a tam se skládají, interferují. Při příchodu gravitační vlny se nepatrně změni poloha jednoho zrcadla, což se projeví změnou interferenčního obrazce. Největším detektorem gravitačních vln je dnes americký LIGO (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) sestávající ze dvou detektorů vzdálených 3 000 km. Oba přístroje mají ramena dlouhá 4 km. V Evropě mu sekundují italský experiment VIRGO a německo-britský GEO 600 a v Japonsku TAMA. Právě aparatura LIGO zaznamenala 14. září 2015 první gravitační vlnu z vesmíru GW150914 (Abbott et al., 2016). V případě úkazu GW170817 se dokonce poprvé podařilo detekovat nejen gravitační vlnu, ale také zjasnění v různých oblastech spektra elektromagnetického záření. V této souvislosti se hovoří o počátku mnohopásmové

¹³<https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/sk/>

¹⁴Binární pulsar je dvojhvězdný systém, jehož jednou složkou je pulsar, tedy rychle rotující neutronová hvězda.

V observatoři LIGO je laserový paprsek rozdělen na dva. Ty pak putují dvěma 4 km dlouhými na sebe kolnými tunely.

Oba paprsky se pak vrátí a setkají se na detektoru světla.



Obrázek 5.17: Způsob detekce gravitačních vln. Převzato z Idnes.cz.

astronomie (multi-messenger astronomy).¹⁵

Observatoř na detekci gravitačních vln má být zbudována i ve vesmíru. V roce 2015 byla vypuštěna družici LISA Pathfinder, která v letech 2016 až 2017 v oblasti bodu L_1 testovala možnosti detekce gravitačních vln. Výsledky předčily očekávání a tak se snad dočkáme i velké vesmírné observatoře na detekci gravitačních vln.

Použitá a doplňující literatura

- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., et al. 2016, Physical Review Letters, 116, 061102
- Baker, A. E. 1925, Proc. RAS Edinburgh, 45, 166
- Boguszaková, J. 2003, Světlo, No. 4, online: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23169
- Bessell, M. S. 1990, PASP, 102, 1181
- Cousins, A.W.J., 1976, MNRAS, 81, 25
- Cowan, C. L., Jr., Reines, F., Harrison, F. B., Kruse, H. W., & McGuire, A. D. 1956, Science, 124, 103
- Cowen, R. 2011, October 5, "Comets take pole position as water bearers". Nature.doi:10.1038/news.2011.579
- Dendy, P. P., & Heaton, B., 1999, Physics for Diagnostic Radiology. USA: CRC Press. p. 12. ISBN 0-7503-0591-6
- Johnson, H. L., 1965, ApJ, 141, 923
- Johnson, H. L., Morgan, W.W., 1953, ApJ, 117, 313

¹⁵Přehled detekcí lze nalézt například na https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_gravitational_wave_observations

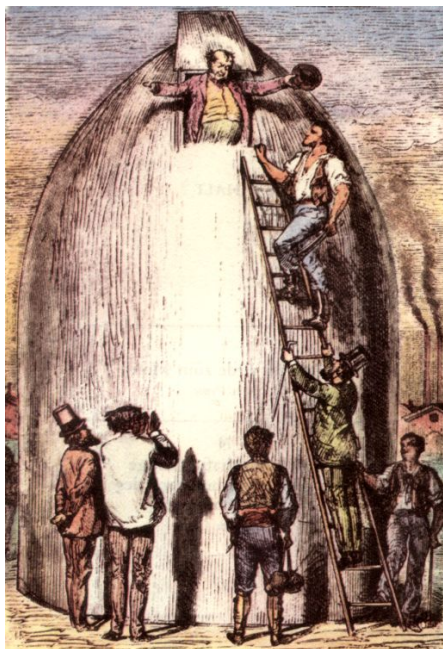
- Galilei, G. 1610. Sidereus nuncius magna, longeque admirabilia spectacula pandens lunae facie, fixis innumeris, lacteo circulo, stellis nebulosis, ... Galileo Galileo : nuper a se reperti beneficio sunt observata in apprime vero in quatuor planetis circa Iovis stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeritate mirabili circumvolutis ... atque Medicea sidera nuncupandos decrevit. Sidereus nuncius magna, longeque admirabilia spectacula pandens ... Galileo Galileo : nuper a se reperti beneficio sunt observata in lunae facie, fixis innumeris, lacteo circulo, stellis nebulosis, apprime vero in quatuor planetis circa Iovis stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeritate mirabili circumvolutis ... atque Medicea sidera nuncupandos decrevit, by Galilei, Galileo, 1610.. doi:10.3931/e-rara-695
- Grygar, J., Horský, Z., Mayer, P., 1979, Vesmír, Mladá fronta, Praha
- Habel, J. 2005, Světlo, No. 5, str. 53
- Harmanec, P. 2010, AST007.pdf - učební texty
- Hearnshaw, J. B. 1996, The Measurement of Starlight: Two Centuries of Astronomical Photometry, Cambridge University Press
- Herschel Space Observatory 2011, "Herschel Finds Oceans of Water in Disk of Nearby Star" (Press release). October 20, 2011. ID nhsc2011-018
- Hulse, R. A. & Taylor, J. H., 1975, Astrophysical Journal 195, L51-L53
- Kleczek, J. 2002, Velká encyklopedie vesmíru, Academia Praha, 582 str.
- Mikulášek, Z., Pokorný, Z., 1993, Záludné otázky z astronomie, díl 2., Rovnost, Brno
- Moro, D., Munari, U., 2000, A&A Suppl. 147, 361
- Oberth, H. 1923, v "Die Rakete zu den Planetenräumen" (Raketou k planetám)
- Reichhardt, T. 2003, Nature 421, 308-309
- Řehoř, Z. 2012, <http://astro.posec.cz>, část Teorie
- Spitzer, L. jr. 1946, Astronomical Advantages of Extra-terrestrial Observatory (Výhody mimozemské observatoře pro astronomii)
- Young, A. T., Irvine, W. M. 1967, Astron. Journal 72, 945-950
- Ullmann, V. 1986, Gravitace, černé díry a fyzika prostoročasu, ČAS ČSAV Ostrava 1986
- Vítek, A., Pacner, K. 2008, Jak lidstvo otvíralo okno do vesmíru. Exkluzivní seriál o dobývání kosmu. http://technet.idnes.cz/jak-lidstvo-otviralo-okno-do-vesmiru-exkluzivni-serial-o-dobyvani-kosmu-1qg-/tec_vesmir.aspx?c=A071231_192624_tec_vesmir_vse
- Zajonc, I. 2012, Teleskopie, <http://www.jiast.cz/category/teleskopie>
- Zamarovský, P., 2009, Pokroky matematiky, fyziky a astronomie 54, č. 2, 94
- Zejda, M., a kol. 1994, Pozorování proměnných hvězd I, HaP MK Brno

6 Cesty do vesmíru

6.1 Historický úvod aneb vzhůru ke hvězdám

Pravděpodobně už nikdy nezjistíme, kdo jako první začal uvažovat o tom, že by bylo možné se „odlepit“ od Země a vydat se k Měsíci, Slunci a hvězdám. Zmínky o této bujně fantazii nalezneme i v poměrně starých spisech. Například prorok Eliáš byl podle Bible (Druhé knihy královské 2:3-9) vzat do nebe v ohnivém voze. Podle Koránu také Mohamed cestoval na okřídleném koni do nebes. V antické literatuře najdeme spis Lúkiana ze Samosaty (120-180 n.l.) *Pravdivé příběhy*, v němž líčí, jak jsou lidé odneseni na Měsíc vichřicí, setkájí se s podivnými tvory, kteří tam žijí, a objeví válečný konflikt mezi královstvím Slunce a královstvím Měsíce.

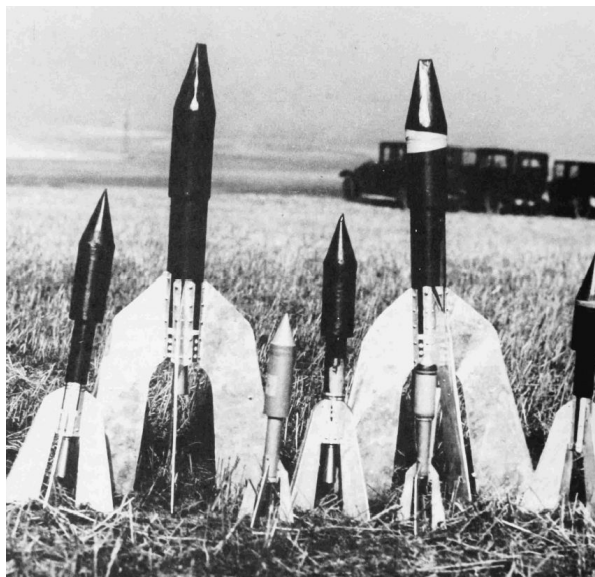
Cesta do nebes je popsána i v Danteho *Božské komedii* (1320). Nicméně to byly jen fantastické výjevy. Tyto příklady lze jen těžko z moderního pohledu označit jako „cestování do vesmíru“. Počátek moderních popisů cest do vesmíru lze položit na začátek 17. století do doby Galilea Galileiho. Kepler ve svém díle *Sen neboli Měsíční astronomie* popisuje, jak Země vypadá z Měsíce, podle cestovatele, který odtud přiletěl¹. Znamější je román Cyrana de Bergerac z roku 1657, který popisuje cestu ze Země na Měsíc. Později se tématu cest do vesmíru věnovali například Voltaire (*Micromegas*, 1752), Jules Verne (*Cesta ze Země na Měsíc*, 1865), Svatopluk Čech (*Výlet páně Broučkův do Měsíce*, 1886) nebo Jan Neruda (*Písně kosmické*, 1878).



Obrázek 6.1: Původní ilustrace Henriho de Montauta k románu Julese Verne: Ze Země na Měsíc. Zdroj: wikipedia.

Jedním z prvních vědců, kteří se zabývali cestou do vesmíru, byl skotský astronom a přírodovědec William Leitch. V 1861 navrhoval raketu jako jediný prostředek pro cesty v prostředí vesmírného vakua. Principy raketové techniky tak popsal o téměř čtyři desetiletí dříve než dnes mnohem známější Konstantin Eduardovič Ciolkovskij (1903). Mezi průkopnické práce raketové techniky a tak i kosmonautiky se řadí také publikace Roberta Esnault-Pelterieho (1913), Roberta H. Goddarda (1919), Hermanna Obertha (1919) nebo Hermanna Noordunga (vlastním jménem Hermana Potočnika), který v roce 1928 kromě základů raketové techniky popsal i kosmickou stanici. K rozvoji oboru přispěl i český vědec a vynálezce Ludvík Očenášek, který prováděl pokusy s raketovými pohony na konci 20. let minulého století.

¹Z latinského originálu *Somnium seu Opus posthumum de astronomia Lunari*, vydaného v Zahání a Frankfurtu 1634 (Johannes Kepler, *Gesammelte Werke XI/2*, ed. V. Bialas a H. Grössing, München, C. H. Beck 1993), přeložili, edičně připravili, poznámkami a doslovem opatřili Alena a Petr Hadravovi.



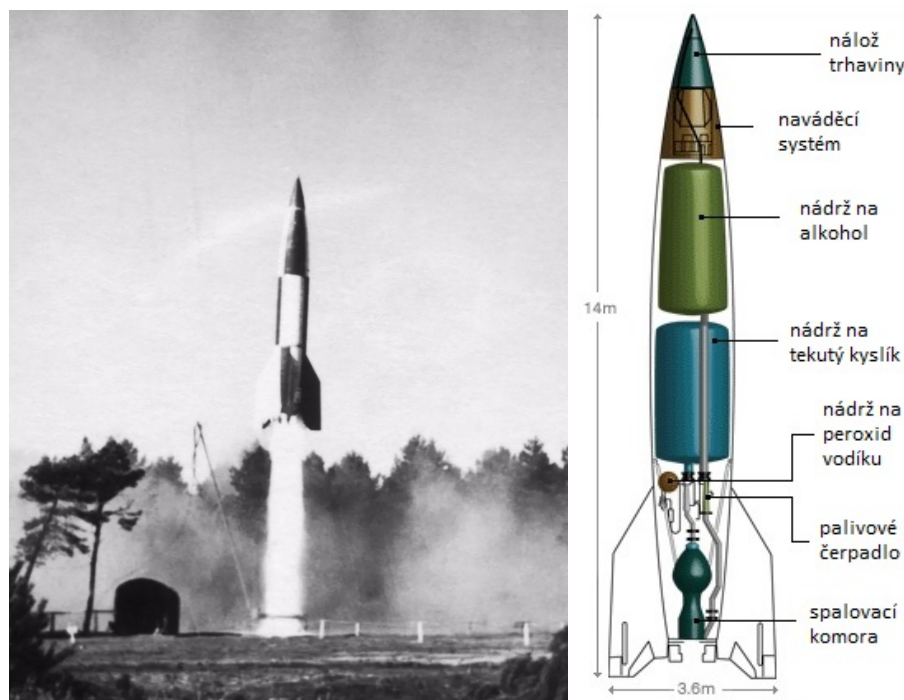
Obrázek 6.2: Rakety českého vědce Ludvíka Očenáška měly velké řídicí plochy. Zdroj: locenasek.webnode.cz.

K významnému pokroku ve vývoji raketové techniky došlo zejména v Německu v době 2. světové války. Znamé jsou například sovětské raketometry Kaťuša nebo německé rakety Orkan. Hitler a velení německé armády vidělo v masivním nasazení raketové techniky potenciál k vítězství ve válce a tak velice podporovalo vývoj rakety V-2. Právě raketa V-2 se také jako první dostala do kosmického prostoru. 20. června 1944 dosáhla při vertikálním zkušebním letu výška 174.6 km. Důležitost raketové techniky si uvědomovaly i nakonec vítězné mocnosti – Sovětský svaz a Spojené státy americké. Na sklonku války se obě mocnosti snažily získat rakety V-2 i jejich konstruktéry. Úspěšnější v tomto soupeření byly nakonec USA, kterým se podařilo zajmout řadu klíčových konstruktérů v čele s Wernherem von Braunem² a ukořistit zhruba 100 raket V-2.

S vývojem a použitím jaderných zbraní důležitost raketových nosičů ještě vzrostla. Vývoj tedy přednostně podporovala armáda. Potenciál raketové techniky pro výzkum v kosmu si ale uvědomovali i vědci. V roce 1946 vypracoval astronom Lyman Spitzer poměrně ambiciózní koncept astronomických observatoří na oběžné dráze kolem Země. Jenže v té době nebyly k dispozici žádné rakety, které by takovou observatoř dostaly na oběžnou dráhu. Astronomové v té době jen „nakoukli“ do vesmírného prostoru. Upravené ukořistěné rakety V-2 při vrcholu balistického letu nakrátko překročily hranici kosmického prostoru. První

Úspěch ve vývoji raketové techniky znamenal nejen vojenskou a technologickou převahu, ale i prestiž. Nevyhlášené závody o vývoj raketové techniky se rozběhly už na sklonku 2. světové války. Za oficiální začátek, vyhlášení závodů o dobývání kosmického prostoru lze považovat 2. srpen 1955, kdy Sovětský svaz odpověděl na americké oznámení o plánu na vypuštění umělé družice zprávou, že vypustí svou vlastní družici. Výsledkem soupeření byl vývoj vojenských raket od ráže kolem 50 mm po několikastupňové me-

²Plným jménem Wernher Magnus Maximilian svobodný pán von Braun (23.3.1912-16.6.1977).

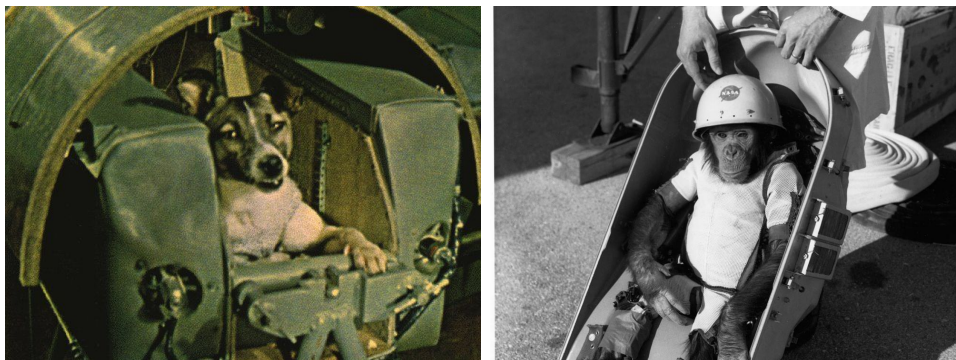


Obrázek 6.3: Německá raketa V-2. Zdroj: ČT24 a www.daviddarling.info/.

zikontinentální balistické střely, nosné rakety pro vynášení družic pro vojenské i nevojenské účely, ale také rakety pro pilotované lety na oběžnou dráhu Země, k Měsíci i vypuštění meziplanetárních sond. Zatímco Američané vsadili na německého konstruktéra von Brauna, Sověti na Sergeje Pavloviče Koroljova. Koroljov měl výjimečné schopnosti konstruktéra a designéra, ale jeho přednosti se ukázaly také v oblasti organizace práce a strategickém plánování. Sovětský svaz tak v počátečních fázích letů do kosmu sbíral jedno prvenství za druhým. Kosmický věk lidstva začal 4. října 1957, kdy SSSR vypustil první umělou družici Sputnik 1. Sověti pak 3. listopadu dostali na palubě Sputniku 2 na oběžnou dráhu Země prvního živočicha, psa Lajku³. 2. ledna 1959 vypustili Lunu 1, první raketu, která opustila oběžnou dráhu Země, 12. září 1959 první raketu, která dosáhla povrchu Měsíce, 4. října 1959 sondu Luna 3, která se dostala na oběžnou dráhu Měsíce a poslala k Zemi první fotografii odvrácené strany Měsíce. Američané v té době stihli „jen“ vypustit na oběžnou dráhu první družici Explorer 1 (31. ledna 1958), díky níž byly objeveny radiační Van Allenovy pásy kolem Země, první komunikační satelit SCORE (2. prosince 1958), první meteorologickou družici Explorer 6 (2. srpna 1959), která získala první snímky Země z kosmu.

K tomu nejvýznamnějšímu kroku se však teprve schylovalo. 19. srpna 1960 vypustili Sověti Sputnik 5 se psy Bělkou a Strelkou, prvními živočichy, kteří se dostali na oběžnou dráhu a vrátili se z kosmu živí. Američané odpověděli nejprve vysláním šimpanze Hama 31. ledna 1961 na suborbitální let. 29. listopadu 1961 vyslali na oběžnou dráhu šimpanze Enose. Oba šimpanzi své lety zvládli. I zde ale byl vidět odlišný přístup. Zatímco

³Prvním živým organismem v kosmu byly octomilky vynesené do kosmu Američany pomocí rakety V-2 20. února 1947. Po nich 22. července 1951 úspěšně absolvovali suborbitální let i psi Dezik a Cigan.



Obrázek 6.4: První živočichové na oběžné dráze. Pes Lajka a šimpanz Ham.



Obrázek 6.5: Zleva: Jurij Gagarin a Sergej Koroljov. Vpravo: Wernher von Braun.

Američané vysílali jako pokusné objekty primáty, Sověti dávali přednost využívání toulavých psů, kteří byli poslušnější a vzhledem k životu na ulici se zdáli být lépe vybaveni pro zvládnutí extrémních podmínek.

Prvním člověkem ve vesmíru se stal 12. dubna 1961 sovětský kosmonaut⁴ Jurij Alexejevič Gagarin (9. 3. 1934 - 27. 3. 1968). Na palubě Vostoku 1 obletěl Zemi (k úplnému obletu chybělo cca 1200 km) a po téměř dvouhodinovém letu se úspěšně vrátil na Zemi. První Američan Alan Shepard se dostal do kosmu 5. května 1961. Jeho let po balistické křivce ale trval jen 16 minut. Američané na počátku zmíněných kosmických závodů ztráceli.

Přestože prvním Američanem na oběžné dráze byl astronaut John Glenn (20. února 1962), sovětský kosmonaut German Stěpanovič Titov ještě v létě 1961 strávil na oběžné dráze více než jeden den. A Sověti pokračovali: 16. června 1963 vyslali do vesmíru první

⁴Američané začali diskutovat už na konci 50. let o označení pro vesmírné cestovatele. Ve hře byly dva termíny, s nimiž se setkáváme dodnes – astronaut a kosmonaut. Zástupce vedení NASA navrhoval využít termín kosmonaut převzatý z ruštiny, protože jde o cesty do kosmu, zatímco astronaut spíše znamená cestovatele ke hvězdám. Byl však přehlasován, a tak zatímco ve východním socialistickém bloku se používalo slovo kosmonaut v ostatních zemích převládá termín astronaut. V české jazyce to dnes vnímáme jako synonyma. Poté, co v roce 2003 Čína vyslala do vesmíru astronauta, objevil se i termín tchajkonaut.

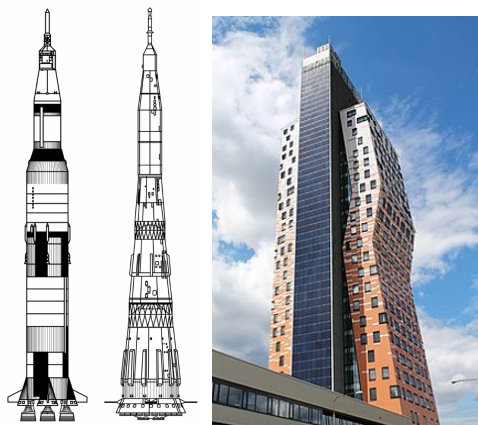


Obrázek 6.6: Průkopníci letů do vesmíru. Zleva: Jurij Gagarin, Alan Shepard, John Glenn, Alexej Leonov. Zdroj: wikipedia.

ženu Valentinu Vladimirovnu Těreškovovou, 18. března 1965 Alexej Archipovič Leonov jako první člověk vystoupil z lodě do kosmického prostoru. Sovětský svaz na počátku kosmické éry prostě jasně dominoval.

6.2 Cíl Měsíc

Spojené státy americké rychlý nástup Sovětů v kosmických závodech překvapil. Odpovědí, která měla nepříznivý vývoj zvrátit, byl plán na „dobyetí“ Měsíce. Americký prezident John F. Kennedy 25. května 1961 vyhlásil ambiciózní program Apollo, jehož cílem bylo dopravit bezpečně člověka na Měsíc a zpět na Zemi. Američané svěřili projekt Apollo nové organizaci The National Aeronautics and Space Administration (NASA), kterou založili 1. října 1958. Na sovětské straně byla přípravou měsíčního programu pověřena konstrukční kancelář S. Koroljova, která spadala pod Ministerstvo všeobecného strojírenství. Jenže v polovině 60. let se začaly v sovětském kosmickém programu objevovat problémy, které gradovaly po nešťastné smrti hlavního konstruktéra Koroljova.



Obrázek 6.7: Srovnání velikostí raket měsíčních programů. Vlevo americký Saturn 5 (výška 110.6 m), vpravo sovětská raketa N-1 (105 m). Nejvyšší brněnská budova se střechou ve výšce 111 m. Zdroj: wikipedia.

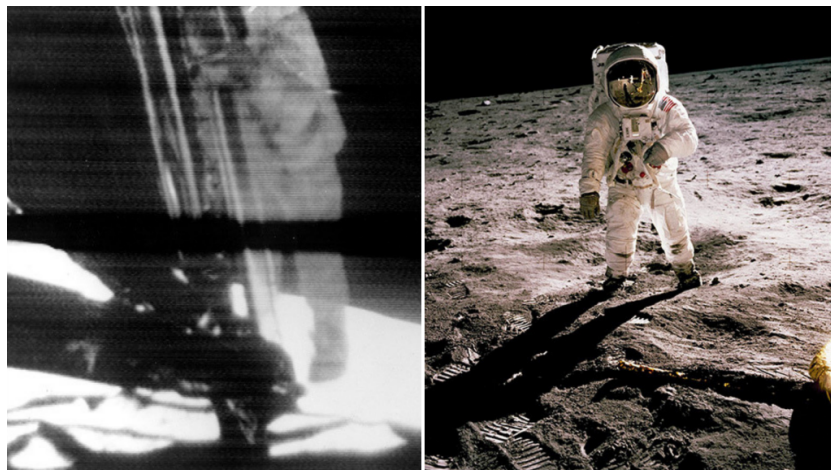
Přípravy cesty na Měsíc výrazně poznamenaly tragické nehody. Dne 27. ledna 1967 došlo při simulovaném startu lodi Apollo 1 k nehodě, při níž uhořeli 3 astronauti Virgil Grissom, Edward White a Roger Chaffee. Sověti zase ztratili 24. dubna 1967 kosmonauta Vladimira Komarova, který se v kosmické lodi Sojuz 1 zřítil do orenburské stepi. NASA se z tragédie poučila a na vánoce 1968 už byla schopná poslat posádku Apollo 8 (Frank Borman, James Lovell a William Anders) na oblet Měsíce. 16. července 1969 odstartovalo Apollo 11, jehož posádku tvořili Neil Armstrong, Buzz Aldrin a Michael Collins. O čtyři dny později Armstrong a Aldrin přistáli na Měsíci v oblasti Moře klidu. 21. července 1969 ve 2 hodiny 56 minut světového času vystoupil Neil Armstrong na povrch Měsíce a pronesl historickou větu: „Je to jen malý krok pro člověka, ale velký skok pro lidstvo.“. Stal se prvním člověkem, který stanul na jiném kosmickém tělese! Americký triumf sledovali lidé po celém světě. Program Apollo pokračoval ještě šesti dalšími lety. Nejznámější z nich je nepochybně Apollo 13. Pro pověřivé, smolná třináctka. Astronauti Lovell, Swigert a Haise si ale start naplánovali na 11. dubna 1970 ve 13 hodin 13 minut místního času. Druhý den letu došlo k elektrickému zkratu a výbuchu jedné z kyslíkových nádrží. Technikům NASA a astronautům se po 87 hodinách podařilo ukončit drama šťastným přistáním na mořské hladině⁵.



Obrázek 6.8: Posádka Apollo 11. Zleva Neil Armstrong, Michael Collins, Edwin E. "Buzz" Aldrin. Zdroj: NASA.

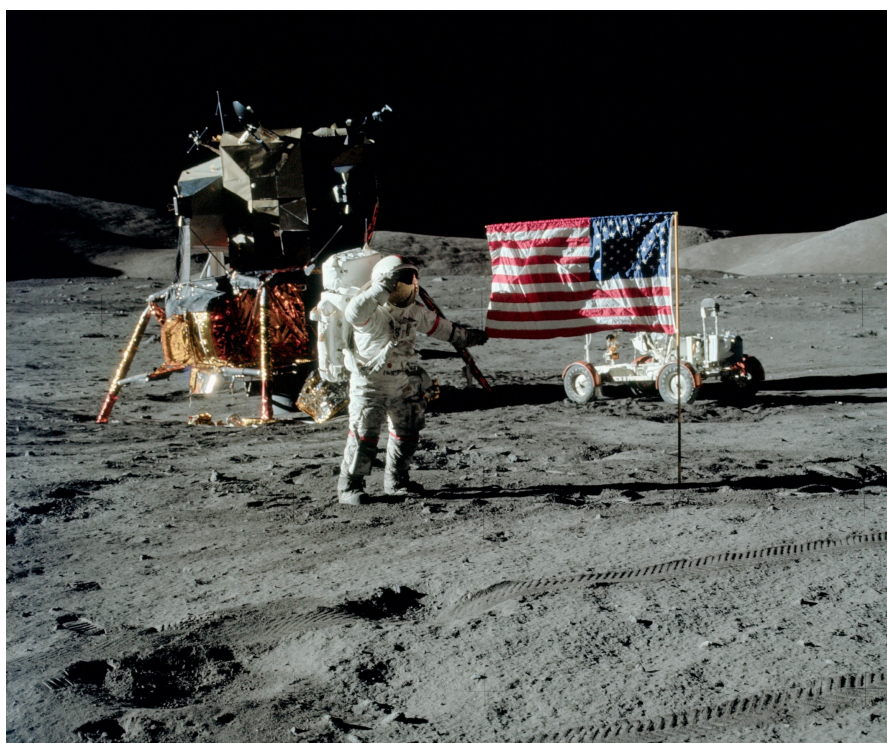
První plně vědeckou expedicí bylo Apollo 15 ve složení David R. Scott, Alfred M. Worden, James B. Irwin. Měli s sebou i první měsíční vozítko Rover. Přestože celý program měl skončit letem Apollo 20, bylo rozhodnuto, že Apollo 17 bude poslední. Americký Kongres na počátku 70. let vydával velké finanční prostředky na válku ve Vietnamu a navíc se v kosmickém programu objevily nové projekty, v nichž bylo možné znovu soupeřit se Sověty - projekt stálé vesmírné stanice a projekt raketoplánu. Závod o Měsíc už byl přece rozhodnut. Velitelem poslední posádky, která přistála na Měsíci,

⁵Celý příběh je poutavě zpracován ve filmu Apollo 13, který měl premiéru v roce 1995. Tom Hanks ztvárnil postavu velitele Jima Lovella, u něhož lze vystopovat československé předky.



Obrázek 6.9: Vlevo Armstrong vystupuje na měsíční povrch. Vpravo: Buzz Aldrin na snímku Neila Armstronga. Zdroj: NASA.

byl Eugene Cernan - po otci Slovák, po matce Čech, pilotem lunárního modulu geolog Schmitt, původem Němec, a ryzí Američan Evans pilotoval velitelskou sekci. Před odletem odhalil Cernan plaketu s nápisem: "Na tomto místě skončil první průzkum Měsíce člověkem v prosinci léta páně 1972. Necht' mír, s nímž jsme přišli, se zobrazí v životě všech národů na Zemi."



Obrázek 6.10: Eugene Cernan u lunárního modulu. Zdroj: NASA.

Při pozdějším hodnocení celého projektu se přímo ve Spojených státech objevily hlasy, že byl přeceněním, omylem. Vždyť při jeho realizaci zahynuli tři astronauté, další tři byli v bezprostředním nebezpečí života. I když se všechny těžkosti při samotných letech dařilo překonávat, skutečnost, že při čtyřech ze sedmi letů se objevily vážnější problémy, je přece jen zarážející. Na realizaci projektu byly vynaloženy obrovské prostředky, ale „účetní uzávěrka“ programu Apollo skončila velkým plusem. Hlavní cíl projektu se podařilo úspěšně splnit. Člověk z planety Země přistál na Měsíci! Spojené státy alespoň v této oblasti kosmických závodů porazily tehdejší Sovětský svaz.

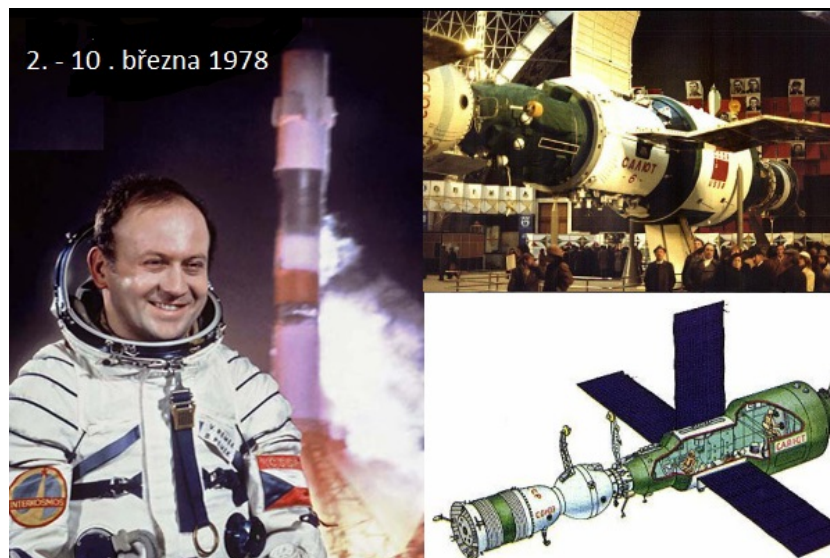
Člověk se poprvé dostal na jiné kosmické těleso, procházel se po Měsíci. Dnes, více než půl století po této události se zdá, jako by se na ni pomalu zapomnělo. Cesta na Měsíc zůstala v análech pozemské techniky, kosmické geologie, navigace, ale marně hledáme její dopad na filozofii, etiku, na naše nazírání na pobyt člověka zde, na naše sebeuvědomění. Jako bychom na tu podivnou zkušenost nebyli připraveni, nebyli dost zralí...

Sovětský svaz se marně pokoušel o vyslání „měsíční“ rakety N1. Její testy byly neúspěšné i v letech 1969–1972, kdy už Američané na Měsíc létali. A tak byl celý sovětský měsíční program zrušen.

6.3 Orbitální stanice

Po přistání Američanů na Měsíci a zrušení vlastního měsíčního programu se Sovětský svaz soustředil na stavbu kosmické stanice. V dubnu 1971 Sověti úspěšně vyslali na oběžnou dráhu Země vesmírnou stanici Saljut 1. Bohužel jediná posádka, která na stanici pracovala – kosmonauté Georgij Dobrovolskij, Viktor Pacajev a Vladislav Volkov, při návratu na Zemi zemřeli. Sověti se však rozhodli pokračovat v budování orbitálních stanic. V letech 1974–1991 následovaly stanice Saljut 3, 4, 6 a 7. Američané vyslali do vesmíru jen jednu orbitální stanici Skylab 1 v květnu 1973, na které do roku 1979 pracovaly tři tříčlenné výhradně americké posádky. Nicméně v 70. letech 20. století se podařilo dojednat spolupráci kosmických velmocí. Aktem, který měl znamenat oficiální konec vesmírných závodů i začátek nové éry v dobývání kosmu, bylo 15. července 1975 spojení kosmických lodí Apollo a Sojuz na oběžné dráze a první mezinárodní potřesení rukou v kosmu mezi veliteli Tomem Staffordem a Alexejem Leonovem. Nicméně tichý soubor pokračoval. Po řadě přípravných jednání začal v 70. letech také fungovat program Interkosmos, který inicioval Sovětský svaz pro své spřátelené země. V rámci programu se do kosmu a na orbitální stanice Saljut 6, 7 a Mir dostali i kosmonauté dalších států. Třetím státem, který měl svého kosmonauta v kosmu, bylo tehdejší Československo. V březnu 1978 se jím stal Vladimír Remek na palubě kosmické lodi Sojuz 28 a stanice Saljut 6. Na Saljutu 6 se následně vystřídali ještě kosmonauté Polska, Německo (NDR), Bulharska, Maďarska, Vietnamu, Kubu, Mongolska a Rumunska a stanice Saljut 7 hostila i kosmonauty z Francie a Indie.

Spojené státy původně plánovaly vlastní orbitální stanici Freedom, ale po skončení studené války se dohodly se Sověty na programu Shuttle–Mir a svými raketoplány pomohly dobudovat orbitální stanici Mir. Na stanici v rámci různých programů pracovaly mezinárodní posádky. Své první kosmonauty si tak zapsaly Sýrie, Afghánistán, Velká Británie, Rakousko, Německo (SRN) nebo Slovensko. Internacionalizace pokračovala



Obrázek 6.11: Čkoslovenský kosmonaut Vladimír Remek a orbitální stanice Saljut 6. Zdroj: Český rozhlas.

i s pomocí USA, další národnosti se například účastnily letů raketoplánů. Od 80. let minulého století můžeme mluvit o mezinárodním společném úsilí o dobývání kosmu. Zrodil se projekt Mezinárodní vesmírné stanice (International Space Station, ISS). Zásadní části dodaly USA a SSSR, ale k projektu se připojily i Kanada, Japonsko, Evropská kosmická agentura (ESA). Stanice je v provozu od listopadu 2000. Dnes je ISS rozsáhlou sestavou modulů, která může hostit stálou posádku 7 osob. Celý komplex má hmotnost téměř 420 tun. Výměnu posádek zajišťují ruské lodě Sojuz a americké Crew Dragon od americké soukromé společnosti SpaceX. Zásobování zajišťují ruské Progressy, americké Cargo Dragons a japonské HTV. Zatím se počítá s financováním provozu do roku 2030. I když po ruské agresi na Ukrajinu jsou vzájemné vztahy mezi USA a Ruskem v podstatě na bodu mrazu, spolupráce v kosmu zatím pokračuje.

Na oběžné dráze kolem Země ale krouží i další orbitální stanice. Po dvou malých stanicích Tchien-kung 1 a 2 přistoupila Čína k výstavbě velké stanice Nebeský palác (Tiangong Space Station, TSS). Její velikost je dnes srovnatelná s tehdejší stanicí Mir, ale bude se ještě dále rozšiřovat. První posádka se ke stanici připojila v červnu 2021. Přestože Čína vyslala svého prvního tchajkonauta Jang Li-weje do vesmíru až roku 2003, je třeba říci, že to bylo vlastními silami a to se předtím podařilo jen USA a SSSR. Za dvě desetiletí se ale Čína stala největší kosmickou velmocí světa. Ruský kosmický program trpí v době války na Ukrajině nedostatkem peněz a důsledky mezinárodních sankcí. NASA zase přesunula řada aktivit na komerční subjekty – například společnosti SpaceX, Blue Origin či Boeing.

V 21. století je člověk ve vesmíru zastoupen prakticky nepřetržitě. Lety do vesmíru už ale nejsou jen doménou vědců nebo vojáků státních kosmických agentur nebo armád. Místo v raketě a na kosmické stanici už si mohou koupit i vesmírní turisté. A tento segment zcela nepochybně poroste. Už nyní pomáhá vesmírná turistika financovat standardní kosmický program některých kosmických agentur. Svou šanci na zisk zde cítí



Obrázek 6.12: Mezinárodní kosmická stanice ISS. Zdroj: NASA.

i soukromí investoři. Do vývoje a provozu kosmických stanic jsou investovány obrovské peníze. Vyplatí se nám to vůbec? Odpověď je jednoznačná – ano! Svědčí o tom například i zájem soukromých společností. Americké firmy Voyager Space spolu se SpaceX, ale také Blue Origin chtějí do roku 2030 postavit a provozovat vlastní orbitální stanice Starlab. Na palubě orbitálních stanic se pěstují rostliny, provádějí biologické pokusy, testy látek pro farmaceutický průmysl, testy nových materiálů, různých senzorů, fyzikální experimenty, pozorování. Orbitální stanice by také měly usnadnit návrat člověka na Měsíc a cestu na Mars.

Dnešní situace se od počátku kosmického věku výrazně liší. Tenkrát to byly celonárodní organizace, ať už americká NASA nebo sovětské instituce soustředěné v Ministerstvu všeobecného strojírenství (pozdější ruský Roskosmos). Dnes se v kosmickém průmyslu etablují nejen silné soukromé firmy jako například SpaceX, Blue Origin, Boeing, desítky čínských soukromých firem, státní kosmické agentury dalších zemí, z nichž nejsilnější je právě ta čínská, která jako třetí dokázala vlastními silami dostat na oběžnou dráhu své zástupce. O podobný úspěch se ale snaží například i Indie. Významné kosmické projekty mají i další země, například Japonsko, Kanada, Izrael, Saudská Arábie, Mexiko, Jižní Korea, Spojené arabské emiráty, Turecko, Írán, Brazílie nebo evropské země sdružené v Evropské kosmické agentuře.

Česká republika se snaží dostat do „prestižního kosmického klubu“, ale zatím se „jen“ podílí na různých mezinárodních projektech. V červnu roku 2024 byl představen plán vlády Česká cesta do vesmíru. Součástí plánu má být i vyslání druhé českého kosmonauta do vesmíru. Aleš Svoboda uspěl v roce 2022 v konkurzu Evropské kosmické agentury a stal se členem záložního týmu astronautů. Následujícího roku oslovila soukromá společnost Axiom několik evropských zemí, které měly záložní astronauty v ESA včetně České republiky. Aleš Svoboda dostal možnost letět na ISS v lodi Crew Dragon

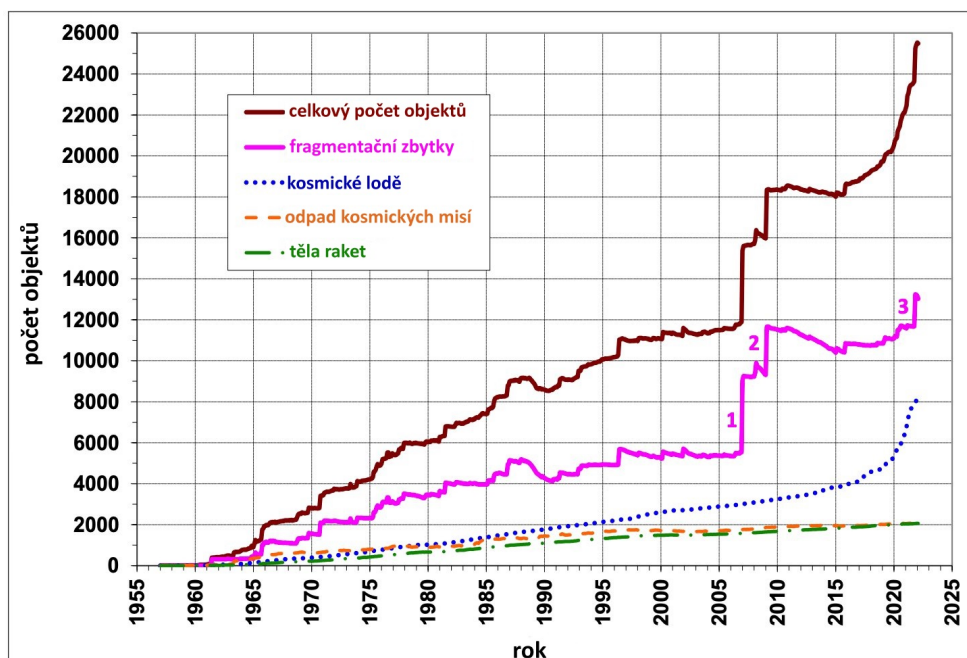
v rámci dvoutýdenní soukromé mise Axiom III. Letenka ale nebyla zdarma, podmínkou účasti bylo spolufinancování mise zhruba jednou miliardou korun. Česká republika na konci roku 2023 účast na misi odmítla z důvodu nedostatku financí. Pozdější opakovaná nabídka už ale byla přijata. V rámci programu Česká cesta do vesmíru budou na Mezinárodní kosmické stanici prováděny nejrůznější experimenty pro průmyslové firmy, vědecké ústavy a univerzity. Část nákladů tak pokryjí právě příspěvky firem. Propočty ukazují, že jedna koruna investovaná do kosmického výzkumu se vrátí až osminásobně. Program bude také využit pro popularizaci vědy a přírodovědných a technických oborů. Připomeňme, že Česká cesta do vesmíru není jen o letu Aleše Svobody. Velmi aktivní je v oblasti kosmického výzkumu Masarykova univerzita. Tým profesora Wenera se významnou měrou podílí na projektech nanosatelitů pro detekci kosmických záblesků gama záření a je hlavním vědeckým řešitelem projektu prvního českého kosmické dalekohledu. Projekt QUVIK byl schválen vládou ČR i Evropskou kosmickou agenturou a družice by měla startovat v roce 2029. O družicích a kosmických observatořích jsme ale mluvili v předchozí kapitole, vraťme se nyní k letům člověka do vesmíru.

Co vlastně znamená let do vesmíru? Kdy se jedná „jen“ o výškový let a kdy o skutečný let do kosmu? Jinak řečeno, kdy se z člověka stane astronaut, kosmonaut nebo chcete-li tchajkonaut? Všeobecně se za hranici kosmického prostoru považuje výška 100 km nad mořskou hladinou, což je tzv. Kármánova linie. Tak ji definuje Mezinárodní letecká federace FAI. Ve Spojených státech byli do roku 2022 astronautskými křídélky oceněni lidé, kteří se dostali nad 50 mil (80 km). Celosvětový seznam vesmírných cestovatelů dnes obsahuje více než 600 jmen ze 40 zemí. Rozrůstá se i seznam komerčních astronautů. Prvním na tomto seznamu byl Mike Melvill na palubě lodi SpaceShipOne v roce 2004. Jedná se ale většinou o suborbitální lety. Kosmická loď se dostane do kosmického prostoru, ale nedokončí oblet Země, po balistické křivce se vrátí zpět. Jen dva astronauté letěli do kosmu sedmkrát - Američané Jerry Ross a Franklin Chang-Diaz. Rekord v celkové délce pobytu na oběžné dráze drží ruský kosmonaut Oleg Kononěnko v délce 1110 dní. Mezi ženami je rekordmankou Američanka Peggy Whitsonová, která strávila v kosmu 675 dní. Nejdelší let do kosmu má za sebou ruský kosmonaut Valerij Poljakov, který při svém druhém letu do vesmíru strávil v kosmu necelých 438 dní.

6.4 Kosmické právo

Jak jsme již uvedli jako začátek kosmického prostoru se ve smlouvách o vesmíru a pro vedení leteckých záznamů se běžně používá Kármánova linie, tedy výška 62 mil (100 km) nad hladinou moře. Do této hranice se hovoří o nadmořské výšce. Některé části horní stratosféry a mezosféry se někdy označují jako „blízký vesmír“. V roce 1963 přijalo Valné shromáždění Organizace spojených národů *Deklaraci právních zásad činnosti států při výzkumu a využívání kosmického prostoru*. Z této deklarace vyšel základní dokument pro mezinárodní vesmírné právo Smlouva o vesmíru, která vstoupila v platnost 10. října 1967⁶. Smlouva zahrnuje podmínky legálního využívání kosmického prostoru národními státy a zahrnuje do své definice kosmického prostoru Měsíc a další nebeská tělesa. Smlouva uvádí, že vesmír je volný pro všechny národní státy k prozkoumání a nepodléhá nárokům

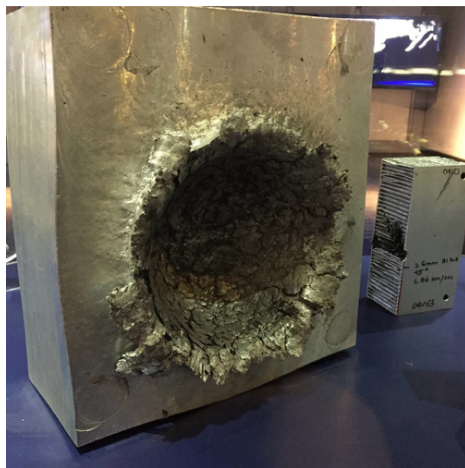
⁶Detaily o kosmickém právu i samotné Kosmické smlouvě lze najít přímo na stránkách OSN <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/index.html>



Obrázek 6.13: Růst počtu sledovatelných objektů v kosmu. Tři velké nárůsty jsou: 1) Čínský test protidružicové zbraně v r. 2007 (rozstřelení družice). 2) Srážka družic Iridium 33 a Cosmos 2251 v roce 2009. 3) Ruský test protidružicové zbraně v r. 2021. Zpracováno dle Jonathana Amose a Orbital Debris Quarterly News NASA.

národní suverenity, a mimo jiné zakazuje rozmisťování jaderných zbraní ve vesmíru. Vesmír je ve smlouvě označován jako „provincie celého lidstva“. Smlouvu zatím neratifikovaly všechny členské země OSN. V roce 1979 následovala Smlouva o Měsíci, která předala jurisdikci všech nebeských těles (včetně oběžných drah kolem nich těles) mezinárodnímu společenství. Bohužel smlouvu dosud neratifikoval žádný stát, který v současnosti provozuje lety do vesmíru.

Od počátku kosmického věku byl vesmír předmětem mnoha rezolucí OSN. Více než 50 z nich se týkalo mezinárodní spolupráce při mírovém využívání vesmíru a předcházení závodům ve zbrojení ve vesmíru. Bohužel stále neexistuje žádný právní zákaz rozmisťování konvenčních zbraní ve vesmíru a tak protidružicové zbraně úspěšně testovaly USA, SSSR, Čína a v roce 2019 i Indie. Výsledkem těchto pokusů bylo mimo jiné i výrazné zvýšení počtu vesmírného odpadu (viz obrázek 6.13). Možné důsledky vesmírného odpadu pro kosmické lety a orbitální stanice ukázaly v dramatické podobě američtí filmaři ve snímku Gravitace z roku 2013. V každém případě vesmírný odpad je vážný problém. Sledují se tělesa větší než 10 cm, kterých je kolem Země zhruba 25 tisíc. Odhadované množství úlomků s velikostí mezi 1 a 10 cm je kolem půl milionu a částec s velikostí řádově milimetry více než 100 milionů. Přitom i malé tělíčko může napáchat velké škody (obrázek 6.14). Na počátku roku 2022 byla hmotnost kosmického odpadu na oběžné dráze kolem Země odhadována na 9 tisíc tun.



Obrázek 6.14: Simulace srážky malého platového úlomku o hmotnosti 15 g s blokem hliníku. Úlomky na oběžné dráze se běžně pohybují rychlostmi kolem 10 km/s. Zdroj: <https://www.biospheresustainable.com/en/blog/14/space-debris-how-does-it-affect-us>.

6.5 Budoucnost kosmických letů

6.5.1 Bez člověka to nepůjde

Když v roce 1962 americký prezident ohlašoval program Apollo, zaznělo v jeho projevu: „...rozhodli jsme se v tomto desetiletí letět na Měsíc a dělat ostatní věci ne proto, že by byly snadné, ale proto, že jsou těžké, protože tento cíl poslouží k organizaci a měření našich nejlepších energií a dovedností, protože tato výzva, kterou jsme ochotni přijmout, výzva, kterou nejsme ochotni odložit, výzva, kterou hodláme vyhrát, a ty ostatní také.“ Do značné míry to ilustruje snahu člověka o překonávání hranic poznání. I když v té době byla značnou hnací silou konkurence se Sovětským svazem, která napomohla realizovat největší technologický úspěch lidstva. Je základní potřebou a přirozeností člověka vidět to, co se skrývá za dalším horizontem. A nejde jen o to jednoduše vidět, ale skutečně se toho dotknout. Proto nás lákají cesty zpět na Měsíc, jeho osídlení, cesty na Mars nebo k bezpočtu planetek. Člověk je jednoduše řečeno zvědavý, a abychom tu zvědavost uspokojili, musíme být přímými účastníky. Lidé ve vesmíru poskytují provozní flexibilitu, inspiraci a nativní inteligenci. Jenže za vysokou cenu. Lidé jsou těžcí, křehcí, zranitelní, zamoření nejrůznějšími mikroorganismů. Mají nízkou toleranci k prostředí ve vesmíru (tj. vysokoenergetické záření, extrémní horko a chlad atd.). Potřebují určité životní prostředí, potřebují dýchat, jíst, pít. Zajištění základních životních potřeb člověka ve vesmíru vyžaduje obrovské množství peněz na zaplacení doplňkového inženýrství a vícenásobných redundantních systémů, které požadujeme, abychom snížili riziko pro astronauty a také pro mnohem větší posádky potřebné k hlídání všech aspektů každodenního života během pilotované vesmírné mise. Delší vesmírná cesta současnou technikou by v konečném důsledku znamenala ztrátu kostní hmoty, svalovou atrofii, či smrt z ozáření. A když už se dostanou do cíle a přistanou na nějakém „panenském“ světě, začnou jej zkoumat, hledat na něm stopy života, ale současně jej také hned kontaminovat a zamořovat pozemským odpadem.

Vysílání člověka na vesmírné objevitelské cesty je celkově mnohem obtížnější a nákladnější než vyslat robotické sondy nebo kosmické lodě s androidy. Jenže i vyslání robotů je drahé a tak otázkou, zda by společnost souhlasila s vysokými náklady na vyslání stroje, když by nešlo o překonání dalšího mylníku člověkem.

6.5.2 Roboti jsou klíčem

V současnosti zatím nemusíme volit mezi jen robotickým a lidským průzkumem vesmíru. Oba způsoby jsou synergické a vzájemně závislé. Už době projektu Apollo předcházely letům s lidskou posádkou robotický průzkum. Tenkrát to byl vzhledem k stupně rozvoje techniky spíše dálkově řízený, (polo)automatický průzkum prostředí, mapování povrchu Měsíce. Dnešní sondy s prvky umělé inteligence jsou schopny se samostatně rozhodovat a provedou nezbytný průzkum, poskytnou zásadní kritické informace a tím sníží rizika pro pozdější cesty lidské posádky. I tak jsou ale cesty člověka zatím omezeny jen na nejbližší okolí Země. Pro cesty do vzdálenějších oblastí Sluneční soustavy nebo dokonce mimo ni, můžeme vyslat jen robotické průzkumníky.

Oproti 20. století je tu ale ještě jedna změna. Tenkrát byl kosmický výzkum hnán kupředu soupeřením světových mocností, dnes se do výzkumu kosmu zapojují i silné soukromé společnosti. Krátkodobé fyzické průzkumné mise zaměřené na získávání nových informací o Sluneční soustavě tak plánují a vyhledávají národní i soukromé organizace. Právě soukromé společnosti mají být tím pravým nástrojem na snížení nákladů na cesty do vesmíru. Příkladem může být společnost Elona Muska SpaceX a jeho opakovatelně použitelné rakety. Taková úspora nákladů se samozřejmě promítne i při plánovaném osídlení Měsíce případně Marsu a umožní podnikat tyto cesty a osidlování dříve než to bude přinášet i ekonomický zisk z výroby materiálů, léků v nízké nebo nulové gravitaci nebo těžbě nerostných surovin.

Už dnes existují ale konkrétní projekty na cesty ke hvězdám. V roce 2015 založil izraelský miliardář Yuri Milner společnost Breakthrough Initiatives se třemi hlavními projekty. Ten poslední Breakthrough Starshot byl představen v roce 2016 v Londýně za účasti takových osobností vědy jako Stephen Hawking, Martin Reese, Frank Drake a dalších. Má jít o vyslání flotily světelných plachetnic, které by se měly vydat pětinou rychlostí světla k nejbližší hvězdě od Slunce - Proximě Centauri. Samozřejmě bez lidské posádky. Na cestování rychlostí světla jako v řadě vědecko-fantastických seriálů si musíme ještě počkat.

Použitá a doplňující literatura

- Kepler, J., 1634. *Somnium seu Opus posthumum de astronomia Lunari*. (Johannes Kepler, *Gesammelte Werke XI/2*, ed. V. Bialas a H. Grössing, München, C. H. Beck 1993), překlad, ediční úprava, komentáře Alena a Petr Hadravovi, Praha a Litomyšl, 2004, nakladatelství Paseka, ISBN 80-7185-634-7, ISBN 80-7037-124-2, 152 stran.
- Ciolkovskij, K. E., 1903, Výzkum kosmických prostorů pomocí reaktivních zařízení, *The Science Review* (v ruštině), archivováno z originálu 19. října 2008
- Esnault-Pelterie, R., 1930, *L'Astronautique*, Paris, A. Lahure

- Esnault-Pelterie, R., 1913, Considerations sur les resultats d'un allegement indefini des moteurs, Journal de physique theorique et appliquee, Paris
- Goddard, R.H., 1919, A Method of Reaching Extreme Altitudes, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 71, No. 2
- Oberth, H., 1923, Die Rakete zu den Planetenräumen. Oldenburg, Mnichov, Německo
- Noordung, H. (Potočník, H.), 1928 Das Problem der Befahrung des Weltraums - der Raketen-Motor, R.C.Schmidt, Berlin

7 Astronomické poznatky v běžném životě

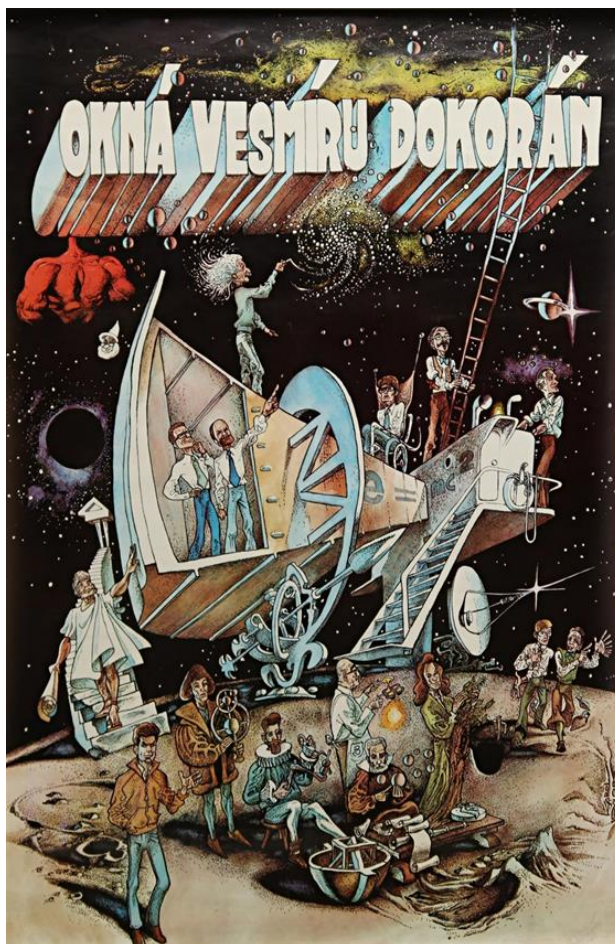
Poznatky vědy mění každodenní život člověka i celé společnosti. Uvést konkrétní poznatky a objevy, které nejvíce ovlivnily náš život, je docela obtížný úkol. Jedním z vědeckých odvětví, kterému se to daří nejlépe, je astronomie. Většina lidí si uvědomuje, že astronomie stála u zrodu měření času a vzniku kalendáře a pomáhala mořeplavcům při navigaci. To je však jen zlomek toho, čím astronomie opravdu přispěla lidstvu. Představa astronoma jako tichého podivína, který ve dne spí a v noci pozoruje hvězdy je stále živá, nicméně už hodně vzdálená od reality. Astronom nemá „hlavu v oblacích“, ale musí řešit spoustu záležitostí „běžného“ života - od vědeckých otázek, přes technické a technologické problémy, vzdělávání a popularizaci až po administrativu grantových žádostí na podporu svého výzkumu.

7.1 Vzdělávání a popularizace vědy

Přínos astronomie a potažmo kosmického výzkumu lze najít v celé řadě někdy i překvapivých oblastí a nejde jen o konkrétní, hmatatelný, průmyslový či technologický výsledek, ale neméně významný je i duchovní rozvoj člověka i celé společnosti. Astronomie byla od počátku existence lidského rodu součástí vytváření světonázoru v různých kulturách. Představy o podobě našeho světa, jeho stvoření a místě člověka a Země v něm byly inspirovány pozorováním objektů na denní i noční obloze. Rané kultury ztotožňovaly nebeské objekty (Slunce, Měsíc, planety) s bohy. Obrazcům z hvězd na hvězdné obloze přidělovaly jména postav a příběhy bájí. Hvězdná obloha sloužila jako „pohádková kniha“, do níž jsou vepsány oblíbené příběhy, báje a legendy.

Lidé se od nepaměti snažili odpovědět zásadní otázky své existence. Odpovědi na otázky „Kdo jsme?“ „Kde jsme se tu vzali?“ „Kde se vzal náš vesmír?“ byly původně spojeny bezprostředně s pozorováním noční či denní oblohy. Astronomická pozorování pomáhala formulovat odpovědi, vytvářet modely světa a jeho uspořádání. Dnes se o odpovědi snaží vědci a filozofové na základě poznatků moderní vědy z nejrůznějších oblastí. Konečné řešení sice dosud neznáme, ale jedno je jisté - osudy člověka neurčují hvězdy a planety a jejich postavení, jak nám v horoskopech vykládají astrologové. To nemá s vědou nic společného. Spojení člověka a hvězd spočívá v něčem jiném. Naše těla jsou tvořena po chemické stránce zejména z vodíku, kyslíku, uhlíku, vápníku a fosforu. Jenže počátečními prvky ve vesmíru byly vodík a hélium. Znamená to, že atomy v našem těle byly v minulosti součástí nějaké hvězdy. Jsme tedy stvořeni z hvězd, jsme doslova děti hvězd.

Mezi všemi vědami má astronomie zcela nezastupitelné místo. Dokáže zaujmout i lidi, kteří se jinak o vědu nezajímají. Jména jako Carl Sagan, Stephen Hawking nebo u nás Jiří Grygar zná široká veřejnost. Jejich knihy, rozhlasové nebo televizní seriály patří mezi nejpopulárnější vzdělávací nebo popularizační díla vůbec. Například československý seriál Okna vesmíru dokořán, kterým v 80. letech provázel Jiří Grygar, má v Československé filmové databázi hodnocení 89 % (obrázek 7.1). Stephen Hawking napsal i přes svůj fyzický handicap několik bestsellerů, které lidem pomohly pochopit, jak funguje vesmír. Carl Sagan je znám jako autor knižních bestsellerů a vynikajícího televizního seriálu Cosmos. V knize Pale Blue Dot se zamýšlí nad postavením člověka



Obrázek 7.1: Plakát k televiznímu seriálu Okna vesmíru dokořán. Autor: Kája Saudek.

a naší Země ve vesmíru. Ona Bledě modrá tečka je fotografie Země pořízená 14. února 1990 vesmírnou sondou Voyager 1 ze vzdálenosti přibližně 6 miliard kilometrů¹. Země je na ní menší než jeden pixel, je tedy jen jako zrnko prachu v obrovském vesmírném prostoru a ukazuje jak nepatrné a pomíjivé místo má lidstvo v kosmu. Grygar, Hawking či Sagan mají velké množství pokračovatelů. Jejich dílo dokázalo přiblížit vědu a vědecké poznatky široké veřejnosti, ukázat potřebu a nutnost financování základního výzkumu. Často také poutavě napsaná populárně naučná kniha nebo vytvořené audiovizuální dílo inspirovalo talentované děti, aby se začaly věnovat přírodním vědám.

Jedním z příkladů vlivu astronomie na profesní orientaci mladých je program pozorování krátko-periodických zákrytových dvojhvězd, který u nás běží od 60. let 20. století. Změny jasnosti těchto dvojhvězd jsou způsobeny vzájemným zakrýváním jejich složek obíhajících kolem těžiště při pohledu ze Země. Za několik desítek let se do programu zapojilo téměř jeden a půl tisíce zejména mladých lidí, studentů. Většina z pozorovatelů, kteří se do programu zapojili, se poté věnovala studiu přírodních věd, medicíny nebo techniky. Často vzpomínali, jak jim poznatky a dovednosti získané během této činnosti pomohly v dalším studiu a práci. Tato osobní zkušenost odpovídá i závěrům americké Národní rady pro výzkum, která uvedla, že žáci, kteří se na základní nebo střední škole zapojí do vzdělávacích aktivit

¹Pro srovnání vzdálenost Země od Slunce je 40krát menší, „jen“ 150 milionů kilometrů

souvisejících s astronomií, mají větší pravděpodobnost, že se budou věnovat kariéře ve vědě a technice a udrží si krok s vědeckými poznatky a nejnovějšími objevy.

Jiným příkladem praktického využití astronomické práce mohou být demonstrátoři lidových hvězdáren. Ne, nepořádají demonstrace za něco nebo proti někomu, ale provázejí návštěvníky hvězdáren noční oblohou. Zkušenosti mnoha desetiletí ukazují, že demonstrátor si osvojí techniku prezentací poznatků, diskutuje s návštěvníky a tyto dovednosti jsou pak velmi užitečné při obhajobě závěrečných prací, výsledků výzkumu nebo pohovorech o zaměstnání.

7.2 Čas a kalendář

Čas a kalendář bývá nejčastěji zmiňovaným „darem“ astronomie lidské společnosti. Detailně jsme se tomu věnovali v předchozí kapitole 3. Tisíce let lidé používali k měření času Slunce, Měsíc, hvězdy, ale používané metody se s příchodem moderní astronomie výrazně zlepšily a zpřesnily. Navíc měření času a časový standard je dnes už výsadou fyziků a laboratorních atomových hodin. Přesné měření času se nyní provádí pomocí stovek vysoce přesných atomových hodin rozestých po celém světě. Satelity globálního polohového systému (GPS)² obsahují své vlastní atomové hodiny a všechna tato měření musí být synchronizována s oběžnou dráhou Země kolem Slunce a vlastní rotací Země kolem její osy. Tady ještě hrají roli i samotní astronomové, kteří tyto pohyby velmi přesně měří vzhledem k nesmírně vzdáleným objektům, tzv. kvasarům. Astronomové se také zapojují do současné debaty o (ne)užívání přestupné sekundy.

7.3 Navigace, GPS

Dávným mořeplavcům stačila k navigaci znalost noční oblohy. Podle jasných hvězd a známých asterismů se dokázali orientovat. Dnes pro přesnou navigaci potřebujeme nejen přesný čas, který zajišťují atomové hodiny, ale také přesné souřadnice všech objektů na hvězdné obloze. K jejich určení se využívalo například zařízení Navy Precision Optical Interferometer v americké Arizoně, které umožňovalo měřit pozice hvězd s přesností na tisícinu úhlové vteřiny. Dnes jsou to ale zejména data z družice GAIA. Ta pracuje v kosmu od konce roku 2013 (pravděpodobně do roku 2025) a měří přesné polohy a jasnosti miliard hvězd³. Získané informace mimo jiné slouží k přesné orientaci satelitů nejen družicových polohových systémů GPS. Satelity na oběžné dráze dnes pomáhají v obrovské škále oblastí. Podílejí se na šíření televizního a rozhlasového vysílání, internetu, zajišťují spojení, jsou využívány v bankovníctví, monitorují počasí, stav vegetace, lesní požáry a tak dále. A všechny tyto satelity potřebují pro svou navigaci přesné souřadnice hvězdných objektů. Astronomie tak zasahuje prakticky do všech oblastí dnešního života. Asi nejběžnější je ale pro běžného člověka využití určování polohy, které dnes má každý chytrý telefon.

²Globální družicové polohové systémy se často označují jen zkratkou GPS (Global Positioning System), ale je dobré si uvědomit, že jde vlastně o název amerického systému. Své vlastní systémy tohoto druhu má Rusko (Glonass), Čína (BeiDou) i Evropská unie (Galileo) a rozšíření na globální systémy je v plánu pro japonský QZSS nebo indický IRNSS.

³Pro hvězdy s hvězdnou velikostí do 12 mag je přesnost určení polohy z měření družice GAIA lepší než 7 milióntin úhlové vteřiny

7.4 Přenos dat, wi-fi

Fenoménem dnešní doby jsou mobilní telefony. Řada lidí si život bez nich už ani nedokáže představit. Mnoho funkcí dostupných v mobilu má svůj původ v astronomii. Už jsme zmínili určování polohy pomocí sítě satelitů GPS. Je tu ale i jiná oblast ve světě mobilů a počítačů, kde lidé zcela běžně používají výsledky práce astronomů, aniž by o tom věděli. Spojení mobilního telefonu s okolním světem zajišťuje jednak rádiový signál sítě mobilního operátora na daných frekvencích kolem 1 GHz a (v místech, kde je dostupná,) také bezdrátová síť Wi-Fi.

Počátky internetu jsou spojeny s agenturou amerického ministerstva obrany ARPA (později DARPA). V roce 1969 vznikla počítačová síť ARPANET, která spojovala počítače na 4 amerických univerzitách. Síť se pomalu rozrůstala. O čtyři roky později bylo propojeno 40 počítačů v USA, ale také v Norsku nebo Velké Británii. Dostala se také na Havaj, jenže tamní astronomové potřebovali připojit nejen počítač v budově univerzity, ale také na observatoři vysoko v horách. Tým pod vedením Normala Abramsona k tomu účelu vyvinul bezdrátovou síť ALOHAnet a poprvé připojil k síti počítač prostřednictvím satelitního spojení.

V roce 1977 publikovali Hamaker, O'Sullivan a Noordam (1977) článek „Ostrost obrazu, Fourierova optika a interferometrie s redundantními mezerami“. O téměř 20 let později se John O'Sullivan stal vedoucím týmu na australském CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) a s využitím principů popsaných v článku vyvinul techniku pro snížení vícecestného rušení rádiových signálů přenášených v počítačových sítích. Zrodila se WLAN (tedy bezdrátová počítačová síť) a protokol 802.11, který se k její práci využívá dodnes. Až budete tedy příště připojovat svůj mobilní telefon, tablet nebo notebook na síť wi-fi, vzpomeňte si, že za to vděčíte mimo jiné astronomům.



Obrázek 7.2: CMOS kamera z produkce firmy Moravské přístroje ze Zlína. Zdroj: www.gxccd.com.

7.5 Zobrazovací technika, CCD, CMOS

V předchozích částech jsme zmiňovali mobilní telefony. Jejich vliv na život dnešního člověka spočívá i v tom, že je jeho prostřednictvím jsou neustále v kontaktu na sociálních sítích a to nejen v podobě jednoduchých zpráv, ale také pomocí fotografií, které dnes lze s mobilem pořizovat ve vysoké kvalitě. I tady hráli roli astronomové. Ale začněme od začátku.

V roce 1969 vynalezli Willard Boyle a George E. Smith v Bellových laboratořích nový typ paměťového registru⁴. Záhy se ukázalo, že hlavní využití bude jiné. Elektronická součástka CCD (charge-couple device) neboli zařízení s vázanými náboji našla uplatnění jako snímač světla a způsobila revoluci nejen v astronomii, ale ve všech snímacích zařízeních – digitálních fotoaparátech, kamerách, skenerech, faxech a jinde. První digitální fotoaparát vznikl v roce 1975 a měl rozlišení 0,01 megapixelu (100×100 px). O rok později byla CCD kamera se stejným rozlišením poprvé použita pro astronomické účely. Fotoaparáty v současných mobilních telefonech mají rozlišení i více než 100 megapixelů a největší astronomická CCD kamera dokonce 3,2 gigapixelů! Je ale třeba upřesnit, že ve většině elektronických zařízení dnes už nejsou CCD, ale CMOS čipy. Na konci 60. let minulého století se začalo experimentovat s polovodičovou architekturou MOS (metal-oxide semiconductor) a následně CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) mimo jiné jako základem pro nový typ zobrazovacího zařízení. CMOS vynalezli v roce 1963 Frank Wanlass and Chih-Tang Sah. Wanlass v roce 1967 získal na CMOS patent. Dnes se touto technologií vyrábí naprostá většina logických integrovaných obvodů včetně mikroprocesorů, jednočipových počítačů a elektronických pamětí, ale také analogových obvodů, jako jsou snímače obrazu, datové konvertory, zesilovače a transceivery používané v telekomunikacích. S nástupem technologie CMOS si pracovníci Jet Propulsion Laboratories (JPL) NASA v Pasadeně v Kalifornii uvědomili, že mohou vytvořit v jedné monolitické CMOS struktuře jak zobrazovací zařízení, tak i nezbytné doplňkové obvody pro čtení signálu a jeho převod z analogové podoby na digitální. To u CCD nebylo možné, snímací pole CCD vyžadovalo doplňkové čipy CMOS pro sběr, počítání a přenos elektronů do zbytku obvodu kamery. Členka týmu z JPL Sabrina Kemery odešla v roce 1995 z JPL a založila společnost Photobit, která komercializovala novou technologii. Vznikla řada aplikací, od lékařských zobrazovacích zařízení až po webové kamery. Na systém CMOS postupně přešly všechny firmy vyrábějící digitální zobrazovací techniku.

Zavedení CCD a CMOS zobrazovacích čipů znamenalo doslova revoluce nejen v astronomii. Například malé, miniaturní kamery už nejsou jen námětem ze světa vědecké fantazie nebo špionážní techniky, ale můžeme se s jejich využitím setkat v běžném životě. V medicíně pomáhají při nejrůznějších vyšetřeních nebo operativních zákrocích. Na světě je dokonce už několik tzv. eyeborgů, lidí s kamerou na místě oka. Biologové mohou nyní připevňovat tato zařízení na živočichy a sledovat jejich život v přirozeném prostředí. A astronomii samotná? Do konce 20. století převažovala jako záznamové médium fotografie. Jenže fotografický proces nebyl úplně jednoduchý, zpracování pozorování zdlouhavé, fotografické desky nebyly levné a navíc jejich kvantová účinnost byla malá, jinak řečeno využily jen několik málo procent dopadajícího světla. S nástupem elektronického záznamu obrazu se situace radikálně změnila. Kvantová účinnost CCD a CMOS čipů se dostává i přes 90 %. Pořizovací cena od prvních čipů výrazně poklesla, takže dnes si speciální astronomické kamery může pořídit i kdejaký amatérský astronom. Najednou tu nebylo jen několik desítek profesionálních observatoří, které prováděly přesná měření jasností hvězd, ale desítky tisíc nadšenců. Ti mohou měřit kdykoli mají možnost a při tom přesnost jejich měření je srovnatelná s výsledky profesionálů. Množství pozorovaných objektů i samotných měření narostlo geometrickou

⁴Boyle a Smith za tento počín dostali v roce 2009 Nobelovu cenu za fyziku.

řadou. Jenže nejde jen o hardware. Je třeba mít dispozici i uživatelsky příjemný, kvalitní a přesný software pro vyhodnocení měření nebo zpracování astrofotografie. Takové softwarové produkty lze dnes běžně koupit a některé i velmi kvalitní jsou poskytovány dokonce zdarma. Profesionální astronomové používají pro zpracování fotometrických i spektroskopických pozorování softwarový balík IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) vytvořený na Národní optické astronomické observatoři (NOAO) v USA. Jenže se ukázalo, že je možné jej efektivně použít i jinak. Společnost AT&T používá IRAF pro analýzu počítačových systémů a grafiku ve fyzice pevných látek (Rosenberg et al., 2024). Dalším příkladem úspěšného programu je VISAR (Video Image Stabilization and Registration), který dokáže stabilizovat obraz videa porušený v důsledku pohybu kamery. Uplatnění už našel v nejrůznějších aplikacích pro stabilizaci obrazu v mobilních platformách, domácích videích, robotických systémech, letadlech, kosmických lodích nebo při vyšetřování zločinu. Jiné aplikace založené na pozorování hvězd a modelech hvězdných atmosfér se používají například k odlišení obláčků raketových zplodin od kosmických objektů nebo se nyní testují pro použití v systémech včasného varování. Astronomové mimo jiné vyvinuli sluneční clonu pro fotonový čítač – zařízení, které může měřit částice světla z určitého zdroje i během dne, aniž by bylo zahlceno částicemi přicházejícími ze Slunce. Takový systém se v současnosti používá k detekci ultrafialových fotonů vycházejících z trysek raket a umožňuje provozovat varovný systém s minimem falešných poplachů. Stejná technologie může také být použita k detekci toxických plynů.



Obrázek 7.3: Rob Spence si po ztrátě oka nechal na jeho místo voperovat miniaturní kameru. Stal se eyeborgem. Zdroj: <https://www.linkedin.com/pulse/ive-got-my-eye-you-eyeborg-david-j-katz/>.

7.6 Život na Zemi a nebezpečí z kosmu

Uvedli jsme už řadu příkladů, jak astronomie zasahovala a zasahuje do života jednotlivce i celé společnosti. Uvědomme si ale, že také pomáhá řešit otázku další existence lidstva. Pomineme-li nebezpečí, že se lidstvo samo postará o svůj zánik v důsledku globálního vojenského konfliktu nebo nevratného poškození životního prostředí (biosféry), pak nejhorší globální katastrofy může způsobit zásah z kosmu. Například naše Slunce je životodárné, ale dnešní technologické civilizaci může způsobit i vážné problémy. Když v

roce 1859 zasáhl Zemi mohutný výtrysk slunečních částic, vcelku nic vážného se nestalo. Lidé mohli pozorovat polární záři i ve velmi malých zeměpisných šířkách. Podobně jsme mohli zaznamenat velmi intenzivní polární záři i v Česku na jaře roku 2024. Dnes ale nejde jen o fascinující podívanou. Proud nabitých částic ze Slunce má výrazný vliv na všechna elektronická zařízení na družicích nebo kosmických stanicích. Jenže intenzivní sluneční vítr může způsobit problémy i na Zemi. A nejde jen o dočasné poruchy spojení nebo krátkodobé výpadky elektrického proudu. Stačí si připomenout totální kolaps elektrické rozvodné sítě na jaře 1989 v kanadském Quebecu. Proto je nesmírně důležité sledovat kosmické počasí a na příchod případné vlny částic ze Slunce se připravit.



Obrázek 7.4: Polární záře. Zdroj: <https://www.radynacestu.cz/magazin/polarni-zare/>.

Podobně je dobré si uvědomit, že lidstvo dnes už sice disponuje prostředky, kterými může odvrátit srážku Země s nějakou kometou nebo asteroidem, ale zcela zásadní je vědět o možné srážce dostatečně dopředu. Varováním v tom ohledu mohla být událost v ruském Čeljabinsku v roce 2013. Nad městem tehdy explodoval malý asteroid. Nezpůsobil závažné škody na majetku a zraněno bylo asi tisíc obyvatel. Jenže o tomto tělese se vědělo jen krátce před jeho přiletem a navíc, v těsném závěsu bylo podobně velké těleso, které bylo zjištěno až když míjelo Zemi ve vzdálenosti pouhých 26 tisíc kilometrů (pro srovnání střední vzdálenost Země – Měsíc je 384 tisíc kilometrů). Astronomové se samozřejmě snaží zmapovat všechna tělesa Sluneční soustavy, která by se mohla se Zemí srazit. Pokud takové těleso objeví, varují před ním dostatečně včas, aby bylo možné zakročit.

Astronomie hraje významnou roli nejen v ochraně Země před nebezpečím „zvenčí“, ale také při ochraně prostředí přímo na Zemi. Při průzkumu planet ve Sluneční soustavě i extrasolárních planet obíhajících kolem jiných hvězd než Slunce se můžeme mnoho dozvědět i o naší domovské planetě. Velikostí nejbližší Zemi je Venuše. Podmínky na ní, ale připomínají spíše peklo než ráj. Povrchová teplota +500 stupňů, obrovský tlak, mraky s kyselinou sírovou atd. Venuše nám prostě ukazuje, co může s planetou udělat silný skleníkový efekt a proč bychom měli přírodní prostředí na Zemi více chránit.

V posledních desetiletích se sice udělal výrazný pokrok v ochraně ovzduší, snažíme se



Obrázek 7.5: Velmi jasný bolid nad ruským Čeljabinskem. Zdroj: <https://www.stoplusjednicka.cz/proc-nikdo-nevidel-celjabinsky-meteoroid-hrozi-nam-neco-podobneho-znovu>.

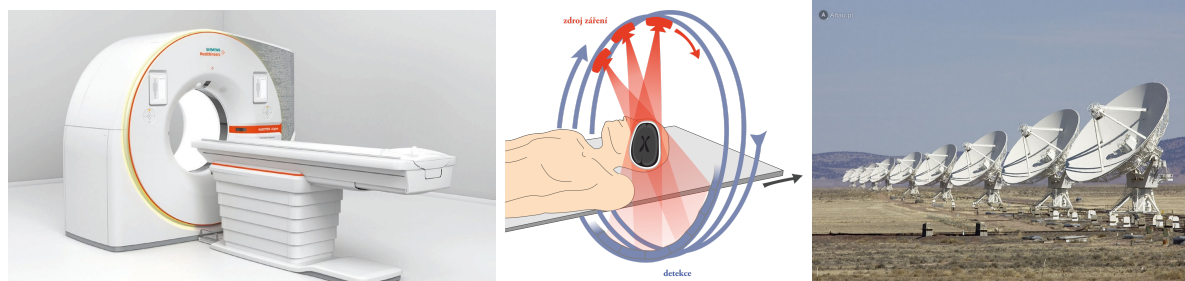
snižovat emise látek, které poškozují ochrannou ozónovou vrstvu, snižujeme emise skleníkových plynů i prachu a prachových částic, ale zavádění ochranných opatření neprobíhá dostatečně rychle. Největšími znečišťovateli ovzduší jsou výfukové zplodiny z aut, kouř z lokálních topenišť rodinných domů i průmyslových podniků a uhelných elektráren. Řešením může být přechod na elektromobilitu, vodíkové motory, výměna kotlů a nasazení nových technologií pro filtraci kouře z továren a elektrárenských komínů. Nicméně revolučním řešením by bylo nahradit všechny uhelné, plynové elektrárny jinými zdroji energie. Výzkum v tomto směru probíhá už desítky let, v podstatě od chvíle, kdy astrofyzikové odhalili, jaké procesy probíhají v nitru hvězd. Právě ony jsou inspirací pro řešení zvyšující se poptávky po čistém zdroji energie. Jaderné reakce v centrálních oblastech většiny hvězd spojují 4 atomy vodíku na atom hélia. Jedná se tedy o jadernou fúzi, syntézu vodíku, nikoli jaderné štěpení uranu, které se využívá v současných jaderných elektrárnách. První zařízení, která se snaží napodobit procesy ve hvězdách, tzv. stellarátory nebo tokamaky už pracují, ale teprve nedávno se podařilo získat ze syntézy prvků více energie, než bylo třeba pro zažehnutí reakce. Na běžné komerční využití si musíme ještě počkat.

Jiný aspekt čistoty ovzduší představuje tzv. světelné znečištění (viz kapitola 4.13.3). Ještě před několika lety bylo toto téma pro širokou veřejnost vlastně neznámé a pokud už se o něm mluvilo, pak se většinou jeho vážnost bagatelizovala. Vždyť to, že se v noci svítí, vadí jen hrstce astronomů. Ale skutečnost je jiná. Astronomové byli první, kdo na tento problém poukazovali. Nejde jen o to, že ve městech už v noci nejsou vidět hvězdy, ale přemíra světla v noci narušuje přirozený řád přírody, biorytmus organismů, takže to vadí lidem, živočichům i rostlinám. Navíc se tak zbytečně plýtvá energií za nemalé peníze. Velmi snadno lze nalézt negativní příklady. Světla pouličního osvětlení mnohdy míří nahoru, místo, aby osvětlovala prostor pod sebou. Pro osvětlení země je pak nutné mnohem vyšší výkon svítidel, než kdyby mířila správně k zemi. Některé památky jsou nasvětleny reflektory příliš intenzivně, takže oslňují vozidla projíždějící kolem a podobně. Česká republika se díky našim astronomům stala průkopníkem v boji proti světelnému znečištění.

7.7 Lékařství

Asi každý z nás se během svého života ocitne v rukou lékařů, kteří se za pomoci moderních přístrojů snaží odhalit, co nás trápí. Jen málokdo by právě tady hledal vliv astronomie. Ale podobnost zde nalezneme třeba v tom, že se můžeme na určitý objekt jen podívat a zkoumat ho, aniž bychom se ho dotkli. Astronomické objekty jsou zapadlé v hlubinách vesmíru a lidské orgány zase ukryté v lidském těle. Obě disciplíny ale vyžadují přesné, detailní obrázky s vysokým rozlišením.

Zřejmě nejvýraznějším příkladem přenosu znalostí z astronomie do medicíny je užití metody aperturní syntézy. Jejím autorem je sir Martin Ryle, zakládající ředitel Mullardovy RadioAstronomické Observatoře (MRAO), britský královský astronom a nositel Nobelovy ceny za fyziky (1974). Ryle byl průkopníkem rádiové interferometrie. Jeho metoda využívá signál zachycený řadou menších antén tak, jako kdybychom pozorovali jen jednou velkou anténou. Tato technologie se dnes využívá v nejrůznějších lékařských diagnostických přístrojích jako jsou například počítačové tomografy, magnetické rezonance, pozitronové emisní tomografie. Tyto přístroje využívají konstrukční prvky vyvíjené původně pro astronomické přístroje pozemských observatoří a zejména družic pracujících v oboru vysokých energií. Optiku těchto přístrojů lze po malé modifikaci používat například pro léčbu nádorových onemocnění. Proud vysokoenergetických částic je tak přesně zaměřen na nádor, zničí jej, aniž by došlo k poškození okolní tkáně. Jiné využití představuje například nukleární magnetická rezonance. Vědci z Centra pro astrofyziku na Harvardu se podílejí na vývoji přístroje pro nukleární magnetickou rezonanci s nízkou intenzitou magnetického pole, které by bylo možné využít při skenování lidského těla, zejména lidského mozku.



Obrázek 7.6: Zleva: Výpočetní tomograf (CT), schéma práce CT. Vpravo: Soustava radioteleskopů VLA. Zdroj: Technický týdeník; Wikiskripta; wikipedia.

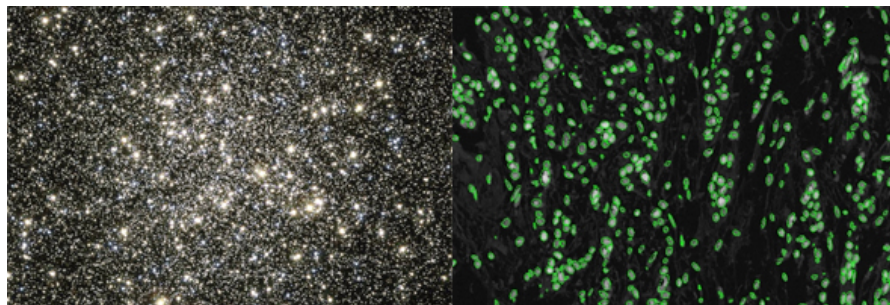
Pro celou řadu přístrojů a zpracování získaných údajů se používají aplikace vyvinuté na základě softwarových balíčků původně určených pro astronomii. O IRAF jsme se už zmiňovali, ale připomeňme v této souvislosti ještě programovací jazyk IDL (Interactive Data Language), jehož vývoj začal v 70. letech minulého století v Laboratoři atmosférické a kosmické fyziky na University of Colorado v americkém Boulderu.

Někdy je však transfer metod a technologií i opačný. Právě software vyvinutý původně pro zobrazení lidského mozku využívají astronomové k zobrazení zbytků po výbuchu supernovy. Materiál po výbuchu hvězdy můžeme sledovat v podstatě z jednoho místa a měřit jeho rychlost a určit, zda se k nám přibližuje nebo od nás vzdaluje. S pomocí

původně lékařského softwaru je možné vytvořit 3D mapu materiálu ze supernovy, kterou lze prohlížet z různých směrů a navíc i vytisknout její 3D model. Medicína nám tak v podstatě umožnila držet v ruce mrtvou hvězdu.

Ještě jeden aspekt bychom měli zmínit. Výroba astronomických družic, zejména vesmírných dalekohledů musí nezbytně probíhat v extrémně čistém prostředí, aby se zabránilo tomu, že nějaké prachové částice zakryjí nebo dokonce zablokují zrcátka nebo nástroje na dalekohledech. Vyvinutá zařízení a postupy pro čisté prostory se nyní používají také v nemocnicích nebo farmaceutických laboratořích. Zmínili jsme jen několik příkladů, využití astronomických poznatků a metod v medicíně je však nečekaně mnoho. Připojujeme proto jen stručný výčet několika dalších (Rosenberg et al., 2024):

- Astronomický ústav v britské Cambridge (IAC) provozuje zařízení pro automatické skenování fotografických desek (Cambridge Automatic Plate Measuring Facility). Spolupráce mezi farmaceutickou společností a IAC umožňuje analyzovat rychleji krevní vzorky od pacientů s leukémií a tím zajistit přesnější a rychlejší medikaci.
- Radioastronomové vyvinuli metodu, který se nyní používá jako neinvazivní způsob pro odhalení nádorů. Kombinace této a jiných, tradičních metod, zajišťuje mimořádně vysokou úspěšnost v odhalení rakoviny prsu.
- Malé tepelné senzory původně vyvinuté k ovládání teplot u přístrojů připojených k dalekohledům se nyní používají k ovládání vytápění na neonatologických jednotkách při péči o novorozence.
- Algoritmy vyvinuté pro klasifikace hvězd katalogu družice GAIA byly využity pro klasifikaci nádorových buněk.
- V NASA byl vyvinut nízkoenergetický rentgenový skener, který se v současné době používá pro ambulantní pacienty chirurgie, při sportovních úrazech nebo na klinikách třetího světa. Americký Úřad pro potraviny a léčiva (FDA) s jeho pomocí zkoumal, zda některé pilulky nebyly kontaminovány.
- Na základě softwaru pro zpracování satelitních snímků byl vytvořen program Alz-Tools 3d Slicer, který nyní pomáhá v plošném screeningu Alzheimerovy choroby.
- Na velkých pozemských dalekohledech se zpravidla používá adaptivní optika, což znamená, že hlavní zrcadlo, resp. jeho části jsou schopny v reálném čase drobnou deformací korigovat změny signálu z pozorovaného objektu způsobené turbulencemi v zemské atmosféře. Pozorování přes turbulentní vzdušný obal Země je v principu podobné pohledu živého člověka přes oko naplněné tekutým sklivcem. Adaptivní optiku tak lze použít pro zobrazení sítnice žijících pacientů ke studiu nemoci jako makulární degenerace a pigmentová retinopatie v jejich raných fázích.



Obrázek 7.7: Vlevo: Hvězdy z naší Galaxie. Vpravo: Obrázek vzorku z biopsie pacienta s rakovinou plic. „Hvězdy“ jsou buněčná jádra obarvená tak, aby indikovala přítomnost klíčových proteinů. Zdroj: <https://phys.org/news/2015-02-astronomy-image-analysis-algorithms-cancer.html>.

7.8 Technologie

Od dob prvního využití dalekohledu v astronomii na počátku 17. století uběhlo více než 400 let. Tehdy byl dalekohled z dnešního pohledu velmi jednoduchá záležitost – ladipárně řečeno „z obou stran zasklená trubka“. Dnešní astronomické přístroje a observatoře patří k největším a nejdražším vědeckým přístrojům vůbec. Stačí připomenout třeba stavbu největšího dalekohledu světa se zrcadlem o průměru téměř 40 metrů nebo podzemní lapače neutrin nebo gravitačních vln. Pro techniky a inženýry jsou stavby těchto observatoří a přístrojů mimořádnou výzvou. Technologie vyvinuté při realizaci těchto projektů jsou pak použitelné i jinde.

Už jsme zmínili vliv astronomie na vývoj zobrazovací techniky. Výsledkem masivního nasazení CCD a CMOS kamer jsou produkce obrovského množství dat. Dalekohled Vera Rubin Observatory s největším čipem světa 3.2 Gpx má produkovat odhadem 200 000 snímků ročně, což představuje 1,28 PB (10^{15} bajtů). Snímky je třeba zpracovávat v reálném čase a pokud se na nich objeví něco zajímavého, okamžitě informovat astronomickou komunitu. To vše vyžaduje obrovskou kapacitu úložiště i výpočetní sílu. To je však je jeden přístroj z mnoha. Už v minulosti astronomové čelili obrovským nárokům na rychlost zpracování dat. Využili proto myšlenku sdílených výpočtů (tzv. grid computing) a zasloužili se o její zpopularizování. Ústav pro hledání mimozemských civilizací (SETI Institute) spustil v roce 1999 projekt SETI@home. Dobrovolníci z celého světa si stáhli šetřič obrazovky, který v době, kdy uživatel počítač nevyužíval, zpracovával balíček dat z radioteleskopu v Arecibu, který si sám stáhl, a hledal v něm signály mimozemských civilizací. Od tohoto průkopnického projektu se využití gridových výpočtů značně rozšířilo nejen v astronomii, ale i do jiných oborů.

Příklady technologické spolupráce astronomie a technických oborů je celá řada, některé už jsme zmínili v jiných částech této kapitoly, v následujícím přehledu uvádíme několik dalších (Rosenberg et al., 2024):

- Ropné společnosti Texaco a BP používají k analýze vzorků z okolí ropných polí i pro obecný výzkum v oboru jazyk IDL. Jazyk IDL využívá například také společnost General Motors pro analýzu dat z havarovaných automobilů.

- Spolupráce IBM a vědců projektu radioteleskopů SKA (Square Kilometer Array) vedlo k vývoji 3D DRAM pamětí používaných v HBA čípech grafických karet pro trénování umělé inteligence.
- Australská společnost Ingenero vyvinula sluneční kolektory až do průměru 16 metrů, což je možné jen s využitím grafitového kompozitního materiálu vyvinutého pro družice na oběžné dráze.
- První patenty na techniku pro detekci gravitačních vln získala společnost, která je využila pro určení stability podzemních nádrží na pohonné hmoty.
- Technologie navržená pro zobrazování rentgenových paprsků v rentgenových dalekohledech je odlišná od té, které využívají optické dalekohledy. Slouží však ke sledování jaderné fúze, kde se dvě lehká atomová jádra spojí a vytvoří těžší jádro. Jde o součást snahy ovládnout proces jaderné fúze a vyrábět tak čistou energii.
- Technologie rentgenové observatoře je používána na letištích při rentgenové kontrole zavazadel.
- Plynový chromatograf původně navržený pro misi na Mars je určen pro separaci a analýzu sloučenin. Používá se na letištích ke kontrole zavazadel a testu na drogy a výbušniny.
- Policie používá ruční fotometry, kterými kontroluje průhlednost oken aut a určuje, zda míra zatmavení skel nepřesáhla zákonný limit.
- Spektrometr gama záření původně určený k analýze měsíční půdy se používá pro neinvazivní způsob, jak zkontrolovat strukturální zeslabení historických budov, případně jak obhlédnout pozadí křehkých mozaik jako například té v Bazilice svatého Marka v Benátkách.

7.9 Mezinárodní spolupráce

Vědecké a technologické úspěchy mohou poskytnout velkou konkurenční výhodu které-mukoli národu. V dávné minulosti jsme byli svědky toho, jak si třeba Čínská říše střežila tamní objevy a technologie. V dnešním globálním světě je situace jiná. Nové poznatky a technologie jsou patentovány a velmi rychle se rozšiřují. Navíc v moderních vědeckých ústavech pracují zpravidla mezinárodní týmy vědců. A jak s tím souvisí astronomie?

V minulosti byla jednotlivá astronomické pracoviště rozeseta po světě a spojení mezi nimi zajišťovala klasická pošta. Bylo pak jen otázkou komunikativních schopností a dovedností vedoucího takového pracoviště, jak se mu dařilo propojovat vědce různých institucí. Příprava nějaké mezinárodní kampaně nebo mezinárodního projektu byla velmi náročná a zdlouhavá. Jednotlivé observatoře hájily v podstatě národní nebo soukromé zájmy. Výhodu tak měli vědci ve státech se silnou ekonomikou, které dokázaly postavit a financovat provoz observatoří a jejich přístrojů. Astronomové ale nemohou postavit observatoře kdekoli. Velké investice musí směřovat do míst, kde budou maximálně využity. Pro velké dalekohledy se tedy hledají místa se stabilním počasím, nízkou vzdušnou vlhkostí daleko od světelného znečištění. Takových optimálních míst na Zemi příliš není

a tak se na nich astronomové a jejich observatoře přirozeně soustřeďují. Příkladem mohou být například observatoře v chilských Andách, na Havaji nebo Kanárských ostrovech. Kromě toho, pokud chtějí sledovat celou hvězdnou oblohu, potřebují mít observatoře na severní i jižní polokouli. Budovat v současné době velké dalekohledy na odlehlých místech na Zemi a nebo posílat velké observatoře do kosmu je velice drahé. Proto je většina projektů současných i plánovaných observatoří mezinárodní. Asi nejznámější astronomickou „firmou“ je v tomto smyslu Evropská jižní observatoř (ESO), která vznikla v roce 1962 a sdružuje 16 zemí včetně České republiky. Dalšími velkými společnými projekty jsou ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), kde spolupracují ESO, americká NRAO (National Radio Astronomy Observatory), japonská NAOJ (National Astronomical Observatory of Japan) a Chile, SKA (Square Kilometre Array) sdružující 16 zemí z Evropy, Afriky, Asie a Austrálie.



Obrázek 7.8: Kopule Evropské jižní observatoře na hoře Paranal v Chile. Zdroj: <https://www.eso.org/>.

Příkladem velmi úspěšné mezinárodní spolupráce je projekt Event Horizon Telescope. Společné úsilí několika rádiových observatoří z celého světa přineslo první snímek supermasivní černé díry v centru galaxie M87 a posléze i v centru naší Galaxie.

7.10 Shrnutí, závěr

Je jasné, že astronomie a s ní související obory jsou v popředí vědy a techniky, hledají odpovědi na zásadní otázky, jsou hnací silou inovací. Na druhou stranu, přestože jsme v podstatě každý den svědky toho, že jsou dosaženy nové meze, rekordy jako jsou objevy nejhmotnějších, nebo nejvzdálenějších objektů, těles s nejvyšší teplotou, zachycení známek nejsilnější vesmírné exploze, stále je v astronomii mnoho nezodpovězených

otázek. Investice do jejich řešení není plýtváním nebo vyhazováním peněz. Prospěch z takového výzkumu může mít nakonec celá společnost.

Použitá a doplňující literatura

- Aitken R. G., 1933, *Astronomical Society of the Pacific Leaflets*, Vol. 2, No. 59, str.33
- Bode, Cruz & Molster, 2008, *The ASTRONET Infrastructure Roadmap: A Strategic Plan for European Astronomy*, <http://www.eso.org/public/archives/books/pdfsm/astronet.pdf>, Retrieved August 2013
- Boston Micromachines Corporation, http://www2.bostonmicromachines.com/Portals/1703/docs/A0_101_White_Paper.pdf, 2010
- Clark, H., 2012, Modern-day cleanroom invented by Sandia physicist still used 50 years later, https://share.sandia.gov/news/resources/news_releases/cleanroom_50th, Retrieved June 2013
- ESA 2013, Identifying Alzheimer's using space software, http://www.esa.int/Our_Activities/Technology/TTP2/Identifying_Alzheimers_using_space_software, Retrieved July 2013
- Finley, D., 2013, Value of Radio Astronomy, <http://www.nrao.edu/index.php/learn/radioastronomy/radioastronomyvalue>, Retrieved November 2013
- Gruman, J. B., 2011, Image Artifacts-Telescope and Camera Defects, http://stereo.gsfc.nasa.gov/artifacts/artifacts_camera.shtml, Retrieved August 2013
- Hamaker, J. P., O'Sullivan, J. D., Noordam, J. E., 1977, *J. Opt. Soc. Am.*, 67 (8): 1122–1123, Image sharpness, Fourier optics, and redundant-spacing interferometry
- International Astronomical Union, 2010, International Year of Astronomy 2009 Reached Hundreds of Millions of People: Final Report Released, <http://www.astronomy2009.org/news/pressreleases/detail/iya1006>, Retrieved August 2013
- International Astronomical Union 2012, IAU Astronomy for Development Strategic Plan 2010–2012. http://iau.org/static/education/strategicplan_2010-2020.pdf, Retrieved June 2013
- Kiger, P., English, M., 2011, Top 10 NASA Inventions, <http://www.howstuffworks.com/innovation/inventions/top-5-nasa-inventions.htm>, Retrieved June 2013
- Markowitz, W. et al., 1958, Frequency of cesium in terms of ephemeris time, *Physical Review Letters* 1, 105
- National Research Council 1991, *Working Papers: Astronomy and Astrophysics Panel Reports*, (Washington, DC: The National Academies Press)
- Paris N., 2007, Hawking to experience zero gravity, *The Daily Telegraph*, <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/1549770/Hawking-to-experience-zero-gravity.html>
- Renée James, C., 2012, What has astronomy done for you lately?, *www.astronomy.com*, May 2012, 30–35
- Rosenberg, M.J.F., Russo, P. Bladon, G., Christensen, L.L., 2014 *Astronomy in Everyday Life*, CAPjournal, No. 14, January 2014
- Rosenberg, M. et al., 2024, *CAP Journal*, No. 14
- Shasharina, S. G. et al. 2005, GRIDL: high-performance and distributed interactive

- data language, High Performance Distributed Computing, HPDC-14. Proceedings. 14th IEEE International Symposium, 291–292
- Truman, H. 1949, Inaugural Presidential Speech, http://www.trumanlibrary.org/whistlestop/50yr_archive/inagural20jan1949.htm, Retrieved June 2013
- Wikipedia contributors 2013, Technical Pan, http://en.wikipedia.org/wiki/Technical_Pan, Retrieved April 2013