



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Název projektu	Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě
Registrační číslo projektu	CZ.02.2.69/0.0./0.0/16_015/0002400

# Astronomický proseminář I a II

## Distanční studijní text

Tomáš Gráf

**Opava 2019**



**SLEZSKÁ  
UNIVERZITA**  
FILOZOFICKO-  
PŘÍRODOVĚDECKÁ  
FAKULTA V OPAVĚ

- Obor:** 053 Vědy o neživé přírodě , astronomie, astrofyzika
- Klíčová slova:** Historie zkoumání vesmíru, jednotky vzdálenosti, jednotky hmotnosti, jednotky času, jednotky zářivého výkonu, systém elementárních, záření absolutně černého tělesa, brzdné záření, cyklotronové a synchrotronové záření, kosmické záření, neutrina, gravitační vlny, charakteristiky hvězd, Harvardská klasifikace, Hertzsprungův-Russellův diagram, sférická astronomie, otočná mapka, hvězdné katalogy, atlasy, ročenky, orientace na obloze, viditelnost souhvězdí podle ročních dob, ekliptikální souhvězdí, opozice, konjunkce, elongace, Keplerovy zákony pohybu planet, dalekohledy, největší dalekohledy světa, sluneční soustava, optické jevy, vývoj hvězd, proměnné hvězdy, hvězdné soustavy, Galaxie, extragalaktické systémy, měření vzdáleností.
- Anotace:** Studijní text je určen studentům dvousemestrálního předmětu Astronomický proseminář. Předmět je koncipován jako souhrn úvodních témat do studia astronomie a astrofyziky. U studentů se předpokládá pouze základní orientace ve fyzikálních pojmech na úrovni učiva fyziky na středních školách. Na předmět pak navazují kurzy Základy astronomie a astrofyziky a také Praktická astronomie.

**Autor:** **RNDr. Tomáš Gráf, Ph.D.**

Toto dílo podléhá licenci:



**Creative Commons Uveďte původ-Zachovejte licenci 4.0**

Znění licence dostupné na:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>

## Obsah

ÚVODEM.....	7
RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY.....	8
1 HISTORIE ASTRONOMIE, FYZIKÁLNÍ KONSTANTY A JEDNOTKY POUŽÍVANÉ V ASTROFYZICE.....	9
1.1 Historie zkoumání vesmíru .....	10
1.2 Fyzikální konstanty a jednotky používané v astrofyzice .....	15
1.2.1 Jednotky vzdálenosti .....	16
1.2.2 Jednotky hmotnosti .....	17
1.2.3 Jednotky času .....	17
1.2.4 Jednotky zářivého výkonu .....	17
1.2.5 Zavedení některých pojmů.....	18
2 ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ KAMENY HMOTY A ČTYŘI FUNDAMENTÁLNÍ SÍLY.....	20
2.1 Elementární částice .....	20
2.1.1 Systém elementárních částic .....	21
2.1.2 Charakteristiky částic.....	23
2.1.3 Interakce a intermediální částice.....	23
2.1.4 Sjednocení interakcí.....	24
3 ZDROJE INFORMACÍ O VESMÍRU .....	26
3.1 Záření jako hlavní zdroj informací o vesmíru.....	26
3.1.1 záření absolutně černého tělesa.....	27
3.1.2 brzdné záření, cyklotronové a synchrotronové záření .....	30
3.2 Kosmické záření .....	30
3.3 Neutrina.....	31
3.4 Gravitační vlny .....	32
4 HVĚZDY .....	33
4.1 Základní charakteristiky hvězd .....	34
4.2 Modely hvězd.....	35
4.3 Jasnost hvězd.....	35
4.4 Harvardská klasifikace .....	36
4.5 Luminozitní třídy a Morganova-Keenanova klasifikace.....	38
4.6 Hertzsprungův-Russellův diagram .....	39

5	SFÉRICKÁ ASTRONOMIE, ČAS .....	42
5.1	Sférická astronomie.....	42
6	HVĚZDNÉ MAPY A KATALOGY, OTOČNÁ MAPKA, HVĚZDÁŘSKÁ ROČENKA .....	49
6.1	Otočná mapka.....	49
6.2	Hvězdné katalogy, atlasy, ročenky.....	50
7	DŮLEŽITÁ SOUHVĚZDÍ, VIDITELNOST SOUHVĚZDÍ PODLE ROČNÍCH DOB .....	55
7.1	Orientace na obloze .....	55
7.1.1	Obtočnová (cirkumpolární) souhvězdí .....	56
7.1.2	Viditelnost souhvězdí podle ročních dob.....	56
7.1.3	Ekliptikální souhvězdí .....	59
8	SOUHVĚZDÍ PODZIMNÍ A ZIMNÍ OBLOHY .....	62
8.1	Podzimní souhvězdí .....	62
8.2	Zimní souhvězdí .....	64
9	POHYB TĚLES VE SLUNEČNÍ SOUSTAVĚ .....	68
9.1	Opozice, konjunkce, elongace.....	68
9.2	Keplerovy zákony pohybu planet.....	69
10	ASTRONOMICKÉ PŘÍSTROJE .....	72
10.1	Dalekohledy.....	72
10.2	Vady optiky .....	74
10.3	Montáže .....	74
10.4	Největší dalekohledy světa .....	76
11	SOUHVĚZDÍ JARNÍ A LETNÍ OBLOHY .....	79
11.1	Jarní souhvězdí .....	79
11.2	Letní souhvězdí.....	83
12	PLANETY SLUNEČNÍ SOUSTAVY .....	88
12.1	Sluneční soustava .....	88
12.1.1	pozorovatelnost planet .....	89
12.1.2	Merkur.....	89
12.1.3	Venuše.....	90
12.1.4	Země .....	91
12.1.5	Mars .....	91
12.1.6	Jupiter.....	92

12.1.7	Saturn .....	93
12.1.8	Uran.....	93
12.1.9	Neptun.....	94
12.1.10	přirozené satelity planet .....	95
12.1.11	trpasličí planety .....	95
13	MALÁ TĚLESA SLUNEČNÍ SOUSTAVY .....	97
13.1	Malá tělesa sluneční soustavy.....	97
13.2	Planetky .....	98
13.2.1	Historie.....	98
13.3	Kometry .....	103
13.4	Meziplanetární látka .....	105
13.4.1	Meteory .....	105
13.4.2	Meteorický roj.....	105
14	OPTICKÉ JEVY V ATMOSFÉŘE .....	107
14.1	Optické jevy.....	107
15	PROMĚNNÉ HVĚZDY .....	112
15.1	Úvod .....	112
15.2	Historie .....	113
15.3	Mechanismy proměnnosti.....	114
16	GALAXIE.....	122
16.1	Hvězdné soustavy .....	122
16.2	Galaxie.....	125
16.3	Extragalaktické systémy .....	126
17	MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ VE VESMÍRU .....	129
17.1	Přímá měření.....	129
17.2	Nepřímé metody .....	131
18	PŘÍLOHY .....	134
18.1	Periodická tabulka prvků.....	134
18.2	Sluneční soustava .....	135
18.3	Hvězdy.....	137
18.4	Galaxie.....	139
18.5	Přehled důležitých konstant.....	140
18.6	Orientace na noční obloze .....	142

18.6.1	Poloha Slunce, Měsíce a planet sluneční soustavy .....	142
18.6.2	Tabulka českých a latinských názvů souhvězdí.....	145
LITERATURA .....		148
SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY .....		149
PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON.....		151

## ÚVODEM

Tento studijní text je určen studentům, kteří se rozhodli absolvovat předmět Astronomický proseminář. Jedná se o předmět s týdenní dvouhodinovou dotací (v prezenčním studiu), který je rozdělen do dvou semestrů a pro větší přehlednost jsou jeho semestrální části nazvány jako Astronomický proseminář I a Astronomický proseminář II.

Předmět Astronomický proseminář je koncipován jako „úvodní“, tedy nepředpokládá žádné vyšší znalosti, než odpovídají středoškolským znalostem studentů (zejména z fyziky a matematiky).

Studijní text má formu textu pro distanční vzdělávání, je tedy členěn a vybaven prvky, jak obsahovými, tak grafickými, které jsou pro tento typ studijních textů typické. Pokud to bude z nějakého důvodu nutné, je možné jednotlivé kapitoly nastudovat i samostatně, nemají totiž v sobě žádnou záměrnou návaznost, která by omezovala pochopení jejich obsahu.

Distanční studijní text je rozšířen také o LMS materiál, který je vytvořen v prostředí Moodle a v němž je možné realizovat aktivity vyžadující komunikaci nebo interakci. Je dostupný na e-learningových portálech fakulty a univerzity.

V textu jsou použity prvky typické pro distanční studijní texty, jejich přehled je na konci textu a jejich význam je zřejmý z názvosloví i použitého grafického prvku.

Jestliže při studiu naleznete nějakou chybu, budu rád, pokud mě na ni upozorníte zasláním na adresu [tomas.graf@fpf.slu.cz](mailto:tomas.graf@fpf.slu.cz), odměnou Vám bude tabulka dobré čokolády.

Děkuji kolegům z Ústavu fyziky FPF SU v Opavě a také Evropským strukturálním a investičním fondům za poskytnutí možnosti vypracovat tento studijní text.

V neposlední řadě děkuji své ženě Hance a našim synům Lukášovi a Davidovi, že mi pomáhali v mém vytrvalém boji s pokročilou prokrastinací (česky – leností).

V Opavě 14. dubna 2019, Tomáš Gráf

## RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY

Studijní text je rozdělen do 17 různě rozsáhlých kapitol, které jsou většinou koncipovány jako úvod do dané problematiky s řadou odkazů na další studijní literaturu či jiné informační zdroje.

Kapitola HISTORIE ASTRONOMIE představuje základní milníky poznávání vesmíru a je doplněna přehledem základních jednotek používaných v astronomii. V navazující kapitole ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ KAMENY HMOTY je stručný přehled informací o elementárních částicích i interakcích. Následuje kapitola ZDROJE INFORMACÍ O VESMÍRU, která se věnuje „nosičům“ astronomických informací. Kapitola HVĚZDY představuje nejen definici těchto astronomických objektů, ale také jejich základní vlastnosti.

Za úvod do klasické astronomie je možné považovat kapitoly SFÉRICKÁ ASTRONOMIE, ČAS a HVĚZDNÉ MAPY A KATALOGY. Proseminář věnuje také značnou pozornost orientaci na hvězdné obloze, což je téma několika kapitol, první z nich má název DŮLEŽITÁ SOUHVĚZDÍ, SOUHVĚZDÍ PODZIMNÍ A ZIMNÍ OBLOHY.

V kapitole POHYB TĚLES VE SLUNEČNÍ SOUSTAVĚ se studenti seznámí se zákony pohybu v naší planetární soustavě, kdežto kapitola ASTRONOMICKÉ PŘÍSTROJE shrnuje pozorovací techniku využívanou v astronomii. Další statí o orientaci na obloze je kapitola SOUHVĚZDÍ JARNÍ A LETNÍ OBLOHY. Faktografii těles naší planetární soustavy naleznou studenti v kapitolách PLANETY SLUNEČNÍ SOUSTAVY a MALÁ TĚLESA SLUNEČNÍ SOUSTAVY.

Přehled zajímavých atmosférických úkazů je nastíněn v textu OPTICKÉ JEVY V ATMOSFÉRE. Kapitola PROMĚNNÉ HVĚZDY se věnuje základům této části stelární astronomie, kdežto GALAXIE se zabývá vyššími strukturami našeho vesmíru. Ve statí MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ VE VESMÍRU je vysvětlena řada důmyslných metod měření astronomických vzdáleností a PŘÍLOHY zahrnují různé tabulky a seznamy, které přehledně doplňují informace ostatních kapitol.



# 1 HISTORIE ASTRONOMIE, FYZIKÁLNÍ KONSTANTY A JEDNOTKY POUŽÍVANÉ V ASTROFYZICE

## RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Stručná historie vývoje astronomie jako jedné z nejstarších věd je zaměřena na vývoj fyzikálně správných představ o vesmíru, které postupně vyústily do podoby astrofyziky. Kromě základních koncepčních milníků jsou zmíněny některé významné osobnosti, které se o rozvoj této vědy zasloužily.

V druhé části kapitoly je uveden přehled fyzikálních jednotek používaných v astronomii a astrofyzice, jejich vazba za jednotky SI a některé důležité převodní vztahy. Rovněž jsou definovány některé specifické pojmy.

## CÍLE KAPITOLY



- Seznámení s historií astronomie a astrofyziky
- Přehled astronomických jednotek

## ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

## KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Historie astronomie, počátky astrofyziky, význační astronomové, astronomické jednotky a konstanty.

## 1.1 Historie zkoumání vesmíru

### STAROVĚK A STŘEDOVĚK

Následující přehled není zevrubnou historií astronomických výzkumů, ale představuje základní milníky v poznávání a chápání vesmíru. V přehledu jsou rovněž uvedeni filozofové, astronomové a astrofyzikové, kteří velmi výrazně přispěli

**Thalés z Milétu** (?624–?548 př. n. l.) jako první zavedl pojem nebeských sfér a podle jeho představ se všechny hvězdy nacházely na jedné z nich.

**Démokritos z Abdér** (?340–283 př. n. l.) vypracoval si výjimečně správný pohled na vesmír, dokonce spekoval o nekonečném prostoru s mnoha „světy“ podobnými tomu našemu. Správně (intuitivně) rozpoznal povahu Mléčné dráhy, kterou popisoval jako velké množství slabých hvězd, které nerozeznáme jako jednotlivé světelné body, ale vnímáme jako rozsáhlý difúzní objekt.

**Pythagorejci** (3. stol. př. n. l.) – skupina učenců, která se sice zasloužila o matematizaci přírodních věd, ale většinou to byla jen číselná mystika. Vesmír popisovali opět jako systém sfér, ta hvězdná byla desátá (poslední). Kolem Země se otočila za jeden hvězdný den. Všeobecně bylo přijímáno, že hvězdy jsou dál než ostatní nebeská tělesa.

**Aristotelés** ze Stagieru (384–322 př. n. l.) byl nejvýznamnějším systematikem celého starověku. Hvězdy považoval za útvary na sféře, které mají vlastní kruhový a rovnoměrný pohyb. Jsou složeny z jiného prvku než pozemské substance (zavádí pojem „éter“ – věčně pohyblivý). Pro tuto substanci neplatí pozemská, ale jiná, nebeská, fyzika. Aristotelova autorita umrtvila v Evropě další a podrobnější studium hvězdného vesmíru až do novověku.



### K ZAPAMATOVÁNÍ

Neměřitelnost paralaxy hvězd byla velice dlouho jedním z nejpádnejších argumentů proti heliocentrickému náhledu na uspořádání sluneční soustavy. Nikdo totiž neočekával, že by hvězdy mohly být až tak daleko, že by paralaxa byla neměřitelná z tohoto důvodu.

Největším astronomem, pozorovatelem a konstruktérem astronomických přístrojů starověku byl **Hipparchos** z Niceji (190–125 př. n. l.). Ten se mimo jiné velmi významně zasloužil i o rozvoj hvězdné astronomie. Sestavil totiž v r. 129 př. n. l. první katalog poloh a jasností 1080 hvězd a zavedl soustavu hvězdných velikostí, která se v pozměněné podobě používá dodnes.

## POČÁTEK NOVOVĚKU

Sféru stálic však uznávali i novověcí zastánci heliocentrismu: **Mikuláš Kopernik** (1473–1543) a **Johann Kepler** (1571–1630). Ti ovšem předpokládali, že stálice jsou od nás velmi daleko: Kopernik soudil, že poloměr hvězdné sféry je minimálně 4 miliony 3600 au.

O rozdílných vzdálenostech hvězd poprvé uvažoval až **Thomas Digges** v roce 1576. Myšlenku převzal i **Giordano Bruno** (1548–1600), dominikánský mnich, který také formuloval hypotézu, že hvězdy jsou podobné Slunci a že všechny planety jsou obydleny.

**Tycho Brahe** (1546–1601) se kromě měření paralaxy hvězdám věnoval i z toho důvodu, že se snažil sestavit spolu s Vilémem Hessenským co nejpřesnější katalog stálic se změřenými souřadnicemi a hvězdnou velikostí. K této aktivitě ho inspirovala nová hvězda, která se v roce 1572 objevila ve směru souhvězdí Kasiopea. Někdy je Brahe označován jako největší pozorovatel před vynálezem dalekohledu pro svá rozsáhlá a velmi přesná měření poloh hvězd i těles sluneční soustavy (planet).

**Tím začíná historie novodobé hvězdné astronomie, která vzápětí dostala nové impulsy po zavedení dalekohledu.**

Začaly objevy proměnných hvězd, když v roce 1596 **Johann Fabricius** objevil proměnnost hvězdy Miry (v souhvězdí Velryby).

Zásadní podíl na experimentálním popření aristotelovské fyziky měl **Galileo Galilei** (1564–1642). Byl to počátek dnešního vnímání vesmíru, kdy předpokládáme, že všude ve vesmíru platí tytéž fyzikální zákony. K rozvoji astronomie však Galilei prospěl zejména tím, že jako první (v letech 1609/10) použil dalekohled k systematickým astronomickým pozorováním, která také interpretoval.

Formulaci „jednotné“ fyziky dovršil **Isaac Newton** (1642–1727) koncepcí pohybových zákonů a zejména zákona gravitačního. Podle jeho velmi dobře fungující teorie jsou gravitace a setrvačnost hlavní prvky umožňující popis dění ve vesmíru i na Zemi.

**Edmond Halley** (1656–1742) učinil první významný objev ve hvězdné astronomii, změřil vlastní pohyb hvězd (1717).

Při snaze o změření *roční paralaxy* objevil **James Bradley** (1692–1762) *roční aberaci*, která je výsledkem skládání rychlosti pohybu Země kolem Slunce a konečné rychlosti světla. Velikost aberace je na vzdálenosti nezávislá. Rovněž objevil nutační pohyb a sestavil velký katalog poloh hvězd, ve kterém byly střední chyby oproti Flamsteedově katalogu menší (méně než 4 úhlové vteřiny).

V roce 1763 vydal **Nicholas Louis Lacaille** (1713–62) katalog 10 000 hvězd do jasnosti 7, 0 magnitud s polohami změřenými na mysu Dobré naděje. Poprvé tak bylo katalogizováno více hvězd, než kolik jich je vidět očima. Ve srovnání s Bradleyho katalogem však měl menší přesnost stanovení poloh.

Nehvězdné objekty jako jsou mlhoviny, hvězdokupy a podobné objekty byly objeveny náhodně a nebyly dlouhou dobu předmětem dalšího studia. Je to vidět i z historické skutečnosti, že například jeden z prvních katalogů těchto objektů, seznam asi 110 objektů pořízený **Charlesem Messierem** (1730–1817) vznikl nikoliv kvůli studiu mlhovin, ale proto, aby nemohly být zaměňovány za komety. Tedy jako pomůcka pro astronomy, kteří se věnovali objevování nových komet.

### **POČÁTKY STELÁRNÍ ASTRONOMIE**

Na přelomu 18. a 19. století na sebe upozornil nejprve amatérský astronom, později královský astronom **William Herschel** (1738–1822), který své současníky předčil houževnatostí, s níž prováděl systematická pozorování oblohy a vynalézavostí ve způsobech, jak tato pozorování vyhodnotit a interpretovat. Herschel objevil fyzické dvojhvězdy, jako první se pokusil odvodit tvar naší Galaxie. Objevil a popsal také směr, jímž se Slunce pohybuje vůči nejbližšímu hvězdnému okolí. Shromáždil údaje o 2500 mlhovinách na obloze, z nichž mnohé rozložil na hvězdy, tedy se jednalo o hvězdokupy.

V letech 1782–1783 **John Goodricke** (1764–86) prokázal, že se jasnost hvězdy Algol (souhvězdí Persea) mění s periodou tři dní a vysvětlil tyto světelné změny tím, že se jedná o dvojhvězdu, jejíž složky se při oběhu vzájemně zakrývají. Později objevil ještě další dvě periodické proměnné hvězdy:  $\beta$  Lyr a  $\delta$  Cep. Shodou okolností se jedná o „prototypy“ dalších dvou druhů proměnnosti hvězd. V roce 1844 bylo známo pouze 7 proměnných hvězd náležejících k 6 typům proměnnosti!

Po roce 1844 se díky vystoupení **Friedricha W. A. Argelandera** (1799–1875) zvýšil zájem o výzkum proměnných hvězd, protože astronomové si uvědomili, že jejich studiem budou moci zjistit řadu vlastností hvězd samotných.

### **ZMĚŘENÍ HVĚZDNÉ PARALAXY**

**Friedrich Wilhelm Bessel** (1784–1846) způsobil převrat ve zpracování fyzikálních měření a tedy i astronomických pozorování. Chyby při měřeních považoval za určité „nutné zlo“ a odvodil pracovní postupy jak je zjistit a v možné míře i odstranit. Teprve Besselovy práce připravily astronomům půdu prokýžené změřením (určení) roční hvězdné paralaxy.

Objev, respektive první změřením paralaxy učinili prakticky současně tři nejlepší pozorovatele světa vybavenými nejlepšími přístroji té doby: F. W. Bessel, F. G. W. Struve a T. Henderson.

**Friedrich G. W. Struve** (1793–1864) systematicky prohlédl 120 000 hvězd a našel 2 200 nových dvojic. V té době řídil stavbu nové ruské (námořní) observatoře v Pulkově u Petrohradu. V oboru astrometrie, tedy přesného určování poloh astronomických objektů, byl ve své době nejlepším pozorovatelem na světě.

## OBJEV NEVIDITELNÝCH PRŮVODCŮ, VELKÉ MAPY OBLOHY

Obdobou objevu Neptunu ve sluneční soustavě bylo ve hvězdné astronomii nalezení neviditelných průvodců jasných hvězd. Zásahu na tom má také Bessel, který si v roce 1834 povšiml vlnitého vlastního pohybu Síria mezi hvězdami a poté totéž zjistil u hvězdy Prokyon. Sám vyslovil hypotézu, že jde o výsledek pohybu ve dvojhvězdě, kde druhá složka je mimo dosah našich dalekohledů. Pro průvodce Síria Bessel dráhu odvodil a vypočítal oběžnou dobu (50 let).

Rozvoj hvězdné astronomie akcentoval sestavení rozsáhlejších katalogů a podrobnějších map hvězdné oblohy. Úkolu se ujal Besselův asistent Friedrich W. A. Argelander, od roku 1837 ředitel hvězdárny v Bonnu. Za 25 let s asistentem Schönfeldem prohlédli a změřili polohy 324 000 hvězd, vznikla bonnská přehlídka oblohy (Bonner Durchmusterung). Katalog a k němu atlas vyšel v roce 1863 a obsahuje hvězdy viditelné z Bonnu do jasnosti 10,0 magnitud. Schönfeld později dílo rozšířil o dalších 133 000 hvězd viditelných z jižní polokoule. Mapování zbývajících částí oblohy kolem jižního pólu bylo provedeno v Cordobě (Argentina) fotograficky, všechny mapy obsahující 580 000 hvězd vyšly v roce 1914.

## NÁSTUP ASTROFYZIKY, ZAČÁTKY SPEKTRÁLNÍ ANALÝZY

Praktický význam astrofyziky pro fyziku historicky spočíval v tom, že astronomická pozorování na jedné straně předkládala vážné fyzikální problémy, na druhé straně je dokázala řešit. Pro fyziku představuje vesmír vlastně obrovskou laboratoř s možností vytvořit takové extrémní podmínky, jaké jsou v pozemských laboratořích zcela nenapodobitelné.

### PRO ZÁJEMCE



V roce 1825 uvedl francouzský filozof **Auguste Comte** (1798–1857) určení chemického složení hvězd jako typický příklad problému, který lidstvo nikdy ze samé podstaty věci nebude schopné vyřešit. O pouhých 10 let později se to Kirchhoffovi skvěle podařilo prostřednictvím spektrální analýzy jejich světla.

První doložené pokusy s rozkladem slunečního světla hranolem prováděl již v roce 1666 Isaac Newton a pozoroval tak „duhový pás spektrálně čistých dále nerozložitelných barev“. Rovněž zjistil, že spektrum lze opět složit v bílé světlo.

**Robert W. Bunsen** (1811–99) a **Gustav–Robert Kirchhoff** (1824–87) – zahájili systematické studium spekter pozemských látek. Kapaliny a pevné látky poskytovaly spojité spektrum, plyny vyzařují emisní čarové spektrum. Každý prvek má charakteristický soubor vlnových délek, na nichž září, což umožňuje jejich bezespornou kvalitativní identifikaci.

## **POČÁTEK HVĚZDNÉ SPEKTROSKOPIE**

**Angelo Secchi** (1818–78) pozoroval v Římě s malým přístrojem a nízkou disperzí, ale pracoval na statistice hvězdných spekter. V roce 1868 vydal katalog se 4 000 hvězdnými spektry, která rozdělil do čtyř skupin.

V roce 1842 **Johann Christian Doppler** (1803–53) na základě analogie se zvukem upozornil na to, že při radiálním vzájemném pohybu zdroje světla a pozorovatele o radiální rychlosti  $V_r$  se musí frekvence  $f$  (či vlnová délka) světla vzhledem k laboratorní frekvenci  $f_0$  měnit podle vztahu:  $f = f_0 \cdot (1 + v_r/c)$ .

## **FOTOMETRIE A FOTOGRAFIE**

První jednoduchý fotometr sestrojil John Herschel. Podařilo se mu zjistit, že poměr jasností hvězd s jednotkovým rozdílem ptolemaiovských „velikostí“ je 2,5.

V roce 1857 Norman Pogson tento poměr upřesnil na  $100^{1/5} = 2,512$ , takže rozdíl pěti magnitud odpovídá poměru jasností 1:100. V roce 1861 německý fyziolog **Gustav Fechner** (1801–87) z fotometrického zákona vyvodil důležitý psychofyzický zákon (někdy též Weberův–Fechnerův) týkající se většiny našich smyslových počitků. Smysly nevnímají přímo veličinu (jasnost, intenzitu), ale její logaritmus. Je to výsledek zpracování informace v mozku daný snahou o maximální rozsah „detektorů“ jednotlivých smyslů.

V roce 1833 **Louis–Jacques–Mandé Daguerre** (1789–1851) vyvinul první metodu zachycení obrazu na fotocitlivé vrstvě (desce) – tzv. daguerrotypie. Již v roce 1840 získal **John William Draper** (1811–82) první daguerrotypie Měsíce.

V roce 1857 Georg P. Bond použil první mokré kolódiové desky s vyšší citlivostí k fotografování Alkoru a Mizaru. Ukázal, že proměřením negativu lze dosáhnout srovnatelné přesnosti jako při měření vizuálním s mikrometrickým šroubem. Plně se začala fotografie využívat v astronomii od roku 1879, kdy byla zvládnuta technologie přípravy suchých fotografických desek. První použitelné spektrogramy se datují z roku 1876, kdy W. Huggins zkonstruoval spektrograf s křemennou optikou, která tolik nepohlcoval modré a UV záření, na něž byly tehdejší emulze citlivé.

## **PRVNÍ PŘEDSTAVY O STAVBĚ A VÝVOJI HVĚZD**

Při úvahách o povaze hvězd se snažili astrofyzikové 19. století především uplatnit své představy o Slunci mírně modifikované tak, aby se tu ještě nějak daly vysvětlit rozdílnosti vzhledu hvězdných spekter.

V té době si astronomové představovali, že hvězdy vznikají kondenzací mlhovin – například třeba tzv. Velká mlhovina v Orionu – a ve spektru mlhoviny se nacházejí čáry vodíku, hélia a hypotetického prvku „nebulia“. Když vznikne hvězda, je bílá, obsahuje jen

vodík a helium. Ochlazováním se objevují kovy v plynné fázi (jako „kovy“ označují astronomové všechny prvky s vyšším atomovým číslem než má helium). Podle tehdejších představ se začíná vytvářet silná atmosféra, která hvězdu stíní zejména ve fialové a modré části jejího spektra. Takovým „odmodráním“ se hvězda mění ve žlutou a později v červenou. Červené hvězdy musejí mít rozsáhlou a hustou atmosféru – děje se tam s jejich světlem totéž, co se Sluncem těsně nad pozemským obzorem. Domněnka dostala podporu, jakmile bylo možné z pohybu hvězd ve dvojhvězdách soudit na jejich hmotnosti. Např. vyšlo najevo, že „vývojově mladší“ Sírius je o dost řidší než Slunce. Hvězdy postupně houstnou, zmenšují se a chladnou.

Objevily se však i potíže této hypotézy, protože např. oranžový Arkturus by měl být starší než Slunce, přesto bylo zjevné, že je tato hvězda řidší než Slunce! „Vysvětlení“ se našlo a astrofyzikové začali předpokládat, že Arkturus vznikl v oblastech, kde byl nedostatek vodíku a vytvořila se tam hned kovová atmosféra, ačkoliv jde o hvězdu ve skutečnosti mladší.

Norman Lockyer již v roce 1887 našel pro hvězdu Arkturus méně krkolomné vysvětlení. Měl k dispozici hvězdná spektra spolu s laboratorními spektry pořízenými pro různé teploty. Správně tak oklasifikoval hvězdy bílé a modré jako nejteplejší a červené jako relativně chladné.

Podle Lockyera tedy vývoj začíná rozsáhlými řídkými a chladnými červenými obry, které kondenzují a zahřívají se, až přejdou v bílé hvězdy. Ty jsou jakýmsi vrcholem – jsou nejteplejší a nejzářivější, pak následuje sestupná větev vývoje – hvězdy chladnou a ztrácejí se jako malé chladné červené hvězdy. Přestože ani tato představa o vývoji hvězd není z dnešního pohledu fyzikálně správná, sehrála tato teorie ve studiu evoluce hvězd poměrně zásadní roli.

Velkým přínosem pro další vývoj představ o hvězdné evoluci byla soustavná spektrální klasifikace hvězd na Harvardově observatoři. Roku 1890 William H. Pickering a Flemingová rozšířili dosavadní třídění na posloupnost spektrálních tříd od nejteplejších bílých hvězd typu A až po nejchladnější červené hvězdy označované jako Q. Později Anthonia C. Mauryová zjistila, že některé třídy jsou nadbytečné a jiné je nutno v klasifikaci (respektující pokles teploty hvězd) přesunout jinam. Vznikla tak harvardská spektrální posloupnost (spektrální třídy O B A F G K M). Tím byly položeny základní stavební kameny astrofyziky, do které později výrazně zasáhly teorie moderní fyziky, formulované na počátku 20. století.

## 1.2 Fyzikální konstanty a jednotky používané v astrofyzice

V astronomii a astrofyzice se používají některé netradiční jednotky, které nejsou mezi hlavními jednotkami soustavy SI. V následujícím přehledu si uvedeme jejich definice i vztahy s jednotkami soustavy SI.

### 1.2.1 JEDNOTKY VZDÁLENOSTI

rovníkový poloměr Země  $1 R_z = 6378,14 \text{ km}$

poloměr Slunce  $1 R_s = 6,599 \cdot 10^8 \text{ m} = 109,1 R_z$

astronomická jednotka  $1 \text{ au} = 149\,597\,870\,700 \text{ m}$  (přesně, definiční vztah)

světelná sekunda, minuta, hodina, den a rok (vzdálenost, kterou světlo urazí ve vakuu za příslušnou časovou jednotku)

1 světelná sekunda =  $2,99 \cdot 10^8 \text{ m}$

1 světelná minuta =  $1,80 \cdot 10^{10} \text{ m}$

1 světelná hodina =  $1,08 \cdot 10^{12} \text{ m} = 7,22 \text{ au}$

1 světelný den =  $2,59 \cdot 10^{13} \text{ m} = 73,3 \text{ au}$

**1 světelný rok [ly]** =  $9,46 \cdot 10^{15} \text{ m} = 63\,240 \text{ au}$

**1 parsek [pc]** je definován jako vzdálenost, ze které vidíme rozměr jedné astronomické jednotky (1 au) pod úhlem jedné úhlové vteřiny.

$1 \text{ pc} = 206\,265 \text{ au} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m} = 3,26 \text{ ly}$

$1 \text{ kpc} = 1\,000 \text{ pc}$

$1 \text{ Mpc} = 1\,000\,000 \text{ pc}$

### PŘÍKLADY VZDÁLENOSTÍ KOSMICKÝCH OBJEKTŮ

Země – Měsíc  $3,8 \cdot 10^8 \text{ m} = 1,3 \text{ světelných sekund}$

Země – Slunce  $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m} = 8,3 \text{ světelných minut}$

Slunce – Pluto  $5,9 \cdot 10^{12} \text{ m} = 5,5 \text{ světelných hodin}$

Hvězda Proxima  $4,1 \cdot 10^{16} \text{ m} = 4,3 \text{ ly}$

střed Galaxie  $2,8 \cdot 10^{20} \text{ m} = 3,1 \cdot 10^4 \text{ ly}$

galaxie M 31  $2,2 \cdot 10^{22} \text{ m} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ ly}$

kvasar 3C-273  $2,0 \cdot 10^{25} \text{ m} = 2 \cdot 10^9 \text{ ly}$

hranice pozorovatelného vesmíru  $\text{přibližně } 1,3 \cdot 10^{26} \text{ m} = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ ly}$



### 1.2.2 JEDNOTKY HMOTNOSTI

hmotnost Země  $1 M_z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

hmotnost Slunce  $1 M_s = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 3,3 \cdot 10^5 M_z$

#### PŘÍKLADY HMOTNOSTÍ KOSMICKÝCH OBJEKTŮ

Měsíc  $7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg} = 1,23 \cdot 10^{-2} M_z$

Jupiter  $1,90 \cdot 10^{27} \text{ kg} = 317,9 M_z$

Hvězda Sírius A  $4,4 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 2,2 M_s$

Naše Galaxie  $4 \cdot 10^{42} \text{ kg} = 2 \cdot 10^{12} M_s$

### 1.2.3 JEDNOTKY ČASU

**hvězdný den** – je definován jako jedna otočka Země kolem osy vůči hvězdám

$23\text{h } 56\text{m } 04,09\text{s} = 0,997\ 270$  středního slunečního dne

**tropický rok** – je čas mezi dvěma po sobě následujícími průchody Slunce jarním bodem

$365\text{d } 5\text{h } 48\text{m } 46\text{s} = 365,24220$  dne =  $366,24220$  hvězdného dne =  $31\ 556\ 926$  s

**hvězdný rok** – je definován jako oběžná perioda Země kolem Slunce vůči hvězdám

$365\text{d } 6\text{h } 9\text{m } 10\text{s} = 365,25636$  dne =  $1,000039$  roku =  $366,2564$  hvězdného dne =  $31\ 558\ 150$  s

**Platónský rok** – je definován jako jedna perioda precesního pohybu osy Země, tedy  $25\ 770$  let

### 1.2.4 JEDNOTKY ZÁŘIVÉHO VÝKONU

zářivý výkon Slunce  $1 L_s = 3,96 \cdot 10^{26} \text{ W}$

#### PŘÍKLADY ZÁŘIVÉHO VÝKONU KOSMICKÝCH OBJEKTŮ

Hvězda Proxima  $3,2 \cdot 10^{23} \text{ W} = 0,0008 L_s$

Hvězda Sírius A  $1,2 \cdot 10^{28} \text{ W} = 30 L_s$

Hvězda Rigel  $4,8 \cdot 10^{31} \text{ W} = 120\ 000 L_s$

Galaxie  $5 \cdot 10^{36} \text{ W} = 1,3 \cdot 10^{10} L_s$

kvasar 3C-273  $5 \cdot 10^{38} \text{ W} = 1,4 \cdot 10^{12} L_s$

### 1.2.5 ZAVEDENÍ NĚKTERÝCH POJMŮ



#### DEFINICE

##### OBZOR, HORIZONT, IDEÁLNÍ HORIZONT

Z astronomického hlediska označujeme jako **obzor** (*horizont*) hranici mezi směry mířícími od pozorovatele (na povrchu Země) směrem k obloze a směry k pozemským objektům (krajina, stromy, budovy atp.).

Jako **ideální obzor** (*horizont*) pak označujeme idealizaci takového přístupu, kdy předpokládáme, že tuto hranici definuje rovina tečná k povrchu Země (jejíž tvar považujeme pro tento účel za dokonale sférický) v místě stanoviště pozemského pozorovatele.

##### OBLOHA

Pod pojmem **obloha** rozumíme množinu všech směrů, které míří nad obzor. Využitím takto zavedeného pojmu pak můžeme definovat také vztažnou soustavu spojenou pevně se stanovištěm pozorovatele (např. Slunce se během dne pohybuje po *obloze* od východu na západ).

##### HVĚZDNÁ OBLOHA

Jinou vztažnou soustavu můžeme pro pozorovatele na povrchu Země definovat tak, že se otáčí Země a **hvězdná obloha** pak tvoří jakousi „pevnou kulisu“ tohoto pohybu (např. Slunce se během roku pohybuje po *hvězdné obloze* od západu na východ, můžeme zakreslit dráhu komety, kterou urazí po *hvězdné obloze* během několika týdnů atp.).



#### SHRNUTÍ KAPITOLY

Kapitola shrnuje velmi stručně historii astronomie od antiky přes středověk až do novověku. Zvláštní pozornost je pak věnována vzniku astrofyziky v 19. století a její rozvoj ve století dvacátém. V další části této kapitoly je uveden přehled základních jednotek a konstant, které se v astronomii a astrofyzice používají. Jsou také definovány a vysvětleny pojmy *obzor*, *obloha* a *hvězdná obloha*.

**KONTROLNÍ OTÁZKY**



1. Jaký byl hlavní argument proti heliocentrické představě o uspořádání sluneční soustavy?
  2. Kdo se jako první pokusil o klasifikaci hvězd podle jejich teploty?
  3. Kým byla jako prvním změřena roční paralaxa některé z hvězd?
  4. Jak je definován *parsek*?
-

## 2 ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ KAMENY HMOTY A ČTYŘI FUNDAMENTÁLNÍ SÍLY.



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Základní a velmi stručné seznámení s elementárními částicemi hmoty a interakcemi, které mezi nimi mohou působit. Kapitola vychází ze standardního modelu.

---



### CÍLE KAPITOLY

- Seznámit se základními elementárními částicemi
  - Získat přehled o interakcích
  - Pochopit základní vlastnosti standardního modelu
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Elementární částice, standardní model, gravitace, elektromagnetická interakce, slabá jaderná interakce, silná interakce

---

### 2.1 Elementární částice

Za základní stavební kameny hmoty je možné považovat *elementární částice*. Postupně jich bylo objeveno několik set druhů, které můžeme klasifikovat podle jejich různých vlastností.

Podle spinu je dělíme na bosony a fermiony, nebo podle interakce, která na ně působí či podle jejich „povahy“ (na částice a antičástice).

## KLASIFIKACE PODLE SPINU:

### Fermiony

To jsou částice, které mají poločíselný spin, tedy všechny leptony, kvarky a baryony. Splňují Pauliho vylučovací princip a jejich chování podléhá pravidlům Fermiho-Diracovy statistiky.

### Bosony

To jsou částice, které mají celočíselný spin, tedy například mezony, foton atp. Je pro ně naopak charakteristické, že nespĺňují Pauliho vylučovací princip a jejich „chování“ se řídí Boseho-Einsteinovou statistikou

## KLASIFIKACE PODLE INTERAKCE

**Gravitační síla** – působí na všechny částice, které mají nenulovou *hmotnost*.

**Elektromagnetická síla** – může působit pouze na částice s nenulovým *nábojem*.

**Silná jaderná síla** – váže nukleony, takže působí na všechny *hadrony*, ale nepůsobí na částice označované jako *leptony*.

**Slabá jaderná síla** – působí při *beta rozpadu* a působí na všechny částice.

## HMOTA / ANTIHMOTA

Ke každé částici existuje antičástice a její klidová hmotnost a spin se shodují. Zatímco elektrický náboj, baryonové číslo, leptonové číslo a podivnost mají opačná znaménka.

### 2.1.1 SYSTÉM ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC

Rozlišujeme *fundamentální částice* (bez známé další vnitřní struktury) a *hadrony* (částice tvořené kvarky).

- Fundamentální částice můžeme dále dělit na *leptony* a *kvarky*, které mají poločíselný spin a jsou to fermiony, a částice silového působení leptonů a kvarků (mají celočíselný spin a patří mezi bosony)
- Hadrony lze také dále dělit na *baryony* tvořené třemi kvarky (jsou to fermiony a opět tvoří ještě 2 skupiny: *nukleony* a *hyperony*) a *mezony* vytvářené páry kvark-antikvark (chovají se jako bosony).

## LEPTONY

Mezi leptony se řadí především *elektron* ( $e^-$ ) s antičásticí *pozitron* ( $e^+$ ), dále tzv. těžký elektron *mion* ( $\mu^-$ ) a jeho antičástice ( $\mu^+$ ) a také „supertěžký elektron“ *tauon* ( $\tau^-$ ) (a jeho

antičástice ( $\tau^+$ ). Dále se mezi leptony řadí také *neutrino* – elektronové, mionové, tauonové ( $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ ) a jejich antičástice.

Částice	Hmotnost	Doba života	Rok objevu
elektron	0,51 MeV (1 $m_e$ )	--	1897
mion	105,7 MeV (207 $m_e$ )	$2 \cdot 10^{-6}$ s	1937
tauon	1777 MeV (3484 $m_e$ )	$3 \cdot 10^{-13}$ s	1977
elektronové neutrino	?		1956
mionové neutrino	0,07 eV		1962
tauonové neutrino	?		1999

### KVARKOVÝ MODEL

Tento model vytvořený již v 60. letech minulého století vysvětluje vlastnosti a chování *hadronů* (proton, neutron atp.), což jsou složitější částice než leptony. Podle tohoto modelu předpokládáme, že hadrony jsou tvořeny obdobnou „rodinou částic“, jakou tvoří leptony. Byly pojmenovány jako *kvarky*, jsou označovány jako **d** (*down*), **u** (*up*), **s** (*strange*), **c** (*charm*), **b** (*beauty*), **t** (*truth*) a každý z nich má také odpovídající antičástici. Jejich základní vlastnosti jsou shrnuty v tabulce:

Kvark	Spin	Baryonové číslo	Náboj	Hmotnost	Rok objevu
<b>d</b>	1/2	1/3	-1/3	7 MeV	1969
<b>u</b>	1/2	1/3	+2/3	5 MeV	1969
<b>s</b>	1/2	1/3	-1/3	150 MeV	1969
<b>c</b>	1/2	1/3	+2/3	1,4 GeV	1974
<b>b</b>	1/2	1/3	-1/3	4,3 GeV	1976
<b>t</b>	1/2	1/3	+2/3	176 GeV	1994

Kvarky mohou vytvořit dvě skupiny částic. Jedná se o *mezony* nebo *baryony*. Mezony jsou složeny z jednoho kvarku a jednoho antikvarku, kdežto baryony jsou tvořeny třemi kvarky.

### 2.1.2 CHARAKTERISTIKY ČÁSTIC

Existuje celkem osm základních veličin, kterými lze částice popsat:

**Klidová hmotnost** – hmotnost v inerciální vztažné soustavě, ve které je částice v klidu

**Klidová energie** – energie podle vztahu  $E = m \cdot c^2$  v inerciální vztažné soustavě, ve které je částice v klidu

**Elektrický náboj**

**Spin** – vlastní moment hybnosti částice

**Leptonové číslo** – kvantové číslo (+1 pro leptony, -1 pro antileptony, 0 pro ostatní)

**Baryonové číslo** – kvantové číslo (+1 pro baryony, -1 pro antibaryony, 0 pro ostatní)

**Podivnost** – kvantové číslo, které má nenulovou hodnotu pro částice obsahující podivný kvark

**Princip nerozlišitelnosti** – jakékoliv dvě totožné částice jsou nerozlišitelné, není možné je nijak „označit“ a tedy ani odlišit jednu od druhé.

### ZÁKONY ZACHOVÁNÍ

Kromě klasických zákonů zachování, které známe z fyziky „makrosvěta“ platí pro částice ještě další pravidla. Většinou popisují rovnost součtu nějakých charakteristik částic vstupujících do reakce a částic z reakce vystupujících.

A tak můžeme formulovat zákony zachování *baryonového* nebo *leptonového* čísla, *spinu* či *podivnosti*. Jedná se o empirická pravidla, podle kterých se mimo jiné posuzuje, které reakce jsou reálné, tedy uskutečnitelné. Jestliže

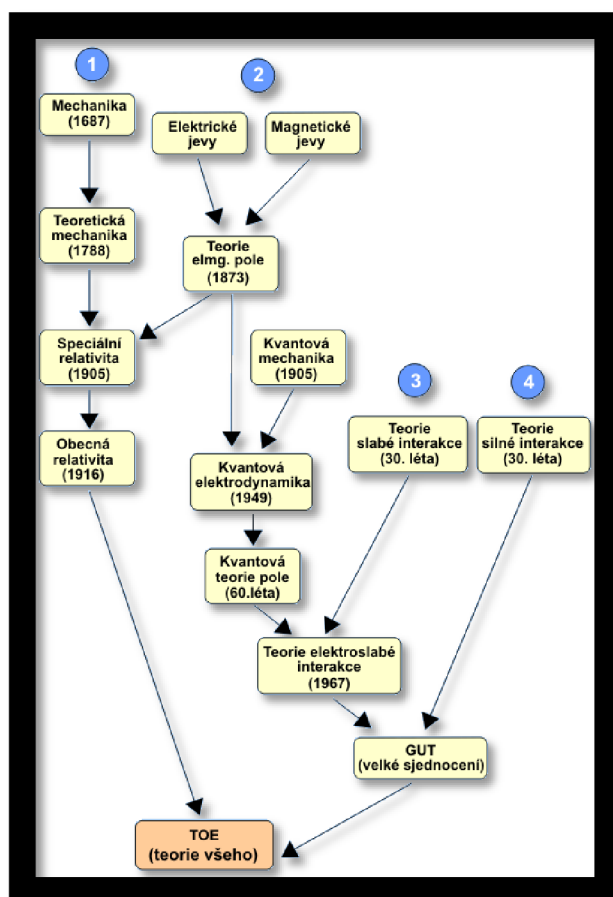
### 2.1.3 INTERAKCE A INTERMEDIÁLNÍ ČÁSTICE

Jak už bylo uvedeno, známe čtyři druhy interakcí: elektromagnetická, slabá, silná a gravitační interakce. V kvantovém pojetí je na ně možné pohlížet jako na proces, kdy si interagující částice vymění tzv. *intermediální* (polní) částici. Tabulka obsahuje přehled těchto částic:

<b>Elektromagnetická interakce</b>	foton
<b>Slabá interakce</b>	$W^+$ , $W^-$ , $Z^0$ (vektorové bosony)
<b>Silná interakce</b>	8 gluonů
<b>Gravitace</b>	graviton (hypotetická částice)

## 2.1.4 SJEDNOCENÍ INTERAKCÍ

Snaha o jednotný popis maximálního počtu fyzikálních jevů jedinou teorií vede postupně k jejich „sjednocování“. Již se podařilo elektromagnetickou a slabou interakci spojit do jediné teorie elektroslabé interakce. V současné době probíhá snaha teoretiků o zahrnutí silné interakce a gravitace. Detailnější popis těchto procesů je mimo rámec Astronomického prosemináře.



Obrázek 1: Schéma jednotlivých teorií a přehled uskutečněných nebo předpokládaných „sjednocení“<sup>1</sup>



## SHRNUTÍ KAPITOLY

Kromě systému elementárních částí a interakcí obsahuje kapitola přehled základních vlastností částic a pravidel (zákony zachování) jejich interakcí. V závěru je uvedeno schéma, které shrnuje jednotlivé fyzikální teorie, které sehrály roli při popisu „mikrosvěta“.

<sup>1</sup> Zdroj <https://docplayer.cz/14840264-Elektromagneticka-interakce.html>, upraveno



**KONTROLNÍ OTÁZKY A ÚKOLY**



1. Jaký je rozdíl mezi částicemi fundamentálními a hadrony?
  2. Uveďte přehled leptonů a jejich vlastností.
  3. Popište stručně kvarkový model.
  4. Uveďte hlavní charakteristiky částic.
  5. Jaké známe zákony zachování pro reakce mezi částicemi?
  6. Jaké známe druhy interakcí?
  7. Co to jsou intermediální částice?
-

## 3 ZDROJE INFORMACÍ O VESMÍRU



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Na rozdíl od výzkumu „světa kolem nás“, který může probíhat v přímém kontaktu se studovanou realitou, jsme v astronomii a astrofyzice většinou odkázáni na výzkum „na dálku“. Kapitola představuje základní „nositele“ informací o vesmíru a jejich základní vlastnosti. Není jistě tajemstvím, že mnohá nová „okna“ do vesmíru umíme využívat jen několik let (gravitační vlny), ale jiná používáme již tisíce let (světlo).

---



### CÍLE KAPITOLY

- Seznámení se základními nosiči astrofyzikálních informací
  - Poznat vlastnosti elektromagnetického záření
  - Role kosmického záření, částic a gravitačních vln
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

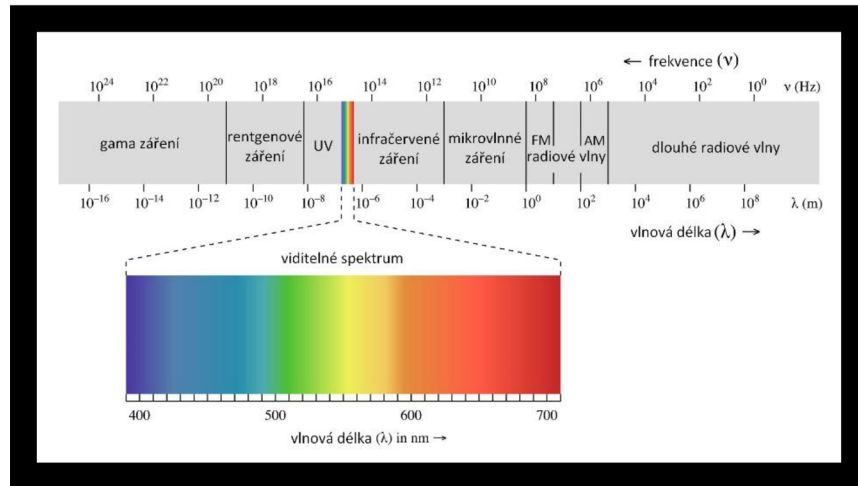
Světlo, elektromagnetické záření, kosmické záření, gravitační vlny

---

### 3.1 Záření jako hlavní zdroj informací o vesmíru

Elektromagnetické záření je možné pro pozorovatele na Zemi označit za hlavní zdroj informací o vesmíru. Podle mechanismu vzniku můžeme rozlišit tepelné záření, brzdné záření, cyklotronové a synchrotronové záření.

Obecně však jsou zdroje astrofyzikálních informací mnohem širší. Pokud se zaměříme na pozorování „na dálku“, tak „nosičem“ astronomických informací není jen již zmíněné elektromagnetické záření, ale také částice (např. neutrina, elektrony nebo jádra atomů) či dokonce materiál, který se na Zemi dostane v podobě meteoritů. Nejnovější kapitolou je pak získávání cenných informací detekcí gravitačních vln. Jestliže se neomezíme pouze na pozorování a zkoumání vesmíru ze zemského povrchu, pak s rozvojem kosmonautiky je jistě velmi cenným zdrojem průzkum „in situ“ (na místě samém), což zatím přináší informace zejména o tělesech ve sluneční soustavě.



**Obrázek 2: Schéma jednotlivých „druhů“ elektromagnetického záření<sup>2</sup>**

Elektromagnetické záření nám zprostředkovává 95 % informací o vesmíru. Jeho popis a pochopení jeho fyzikální podstaty souviselo s poznáním vlastností elektrického a magnetického pole (Maxwellovy rovnice), protože jej charakterizuje měnící se magnetické pole, které generuje elektrické pole a naopak. Jedná se o příčné vlnění, které se šíří i ve vakuu (konstantní rychlostí) a nepotřebuje „prostředí“ jak tomu je např. u zvukových vln.

Jednou ze základních charakteristik je *vlnová délka* ( $\lambda$ ) a platí vztah  $f = c/\lambda$ , kde dalšími veličinami je frekvence ( $f$ ) a rychlost světla ve vakuu ( $c$ ).

Mechanismy vzniku elektromagnetického záření dělíme na tepelné a netepelné. Kvantová povaha elektromagnetického záření byla poprvé postulována Maxem Planckem na počátku 20. století. Podle této teorie je „kvantem“ elektromagnetického záření *foton*, který si můžeme představit jako částici nesoucí energii  $E = h \cdot f$ .

### 3.1.1 ZÁŘENÍ ABSOLUTNĚ ČERNÉHO TĚLESA

Tepelné záření různých těles (objektů) je určeno dáno jeho schopností zářit, ale také záření pohlcovat a rozptylovat. Pro zjednodušení popisu tohoto procesu se používá fyzikální idealizace: *absolutně černé těleso*. Je to těleso, které pohlcuje, ale také vyzařuje

<sup>2</sup> Zdroj <http://tesla.xf.cz>

v celém rozsahu vlnových délek. V prvním přiblížení je možné za absolutně černé těleso považovat naše Slunce a tedy i jiné hvězdy.

Při určité teplotě  $T$  vyzařuje absolutně černé těleso do okolí elektromagnetické záření na různých vlnových délkách. Ale záření nemá pro každou vlnovou délku stejnou intenzitu.

Při vyšší teplotě je celková vyzářená energie ne všech vlnových délkách větší a maximum se posouvá ke kratším vlnovým délkám. Tím je vysvětlena i zkušenost, že při nižších teplotách se zahřáté těleso jeví jako červené, při vyšších má barvu bílou až modrobílou.

Vlnová délka odpovídající záření s největší intenzitou je nepřímo úměrná termodynamické teplotě absolutně černého tělesa. Tuto závislost nazýváme Wienův posunovací zákon (Wienův zákon posunu):

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$

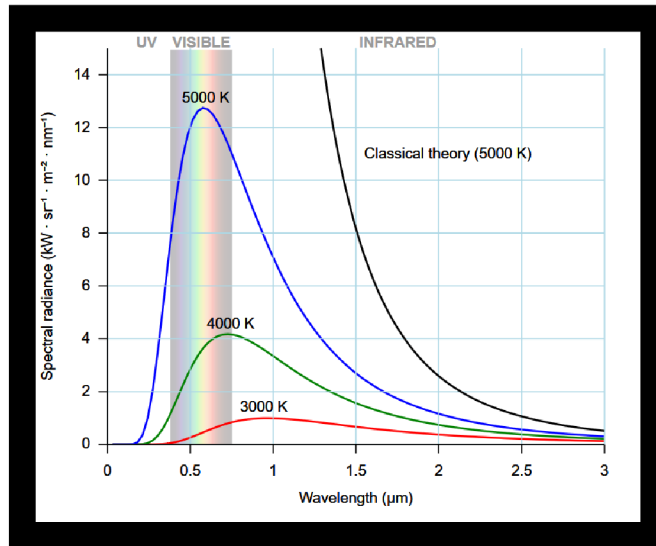
kde  $\lambda_{max}$  je vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování,  $T$  je teplota tělesa a  $b$  je tzv. Wienova konstanta, jejíž hodnota je přibližně  $b = 2,898$  [mm·K].

Vlastnosti záření absolutně černého tělesa se podařilo objasnit až na začátku 20. století německému fyzikovi Maxi Planckovi. Musel ale zavést „revoluční“ předpoklad, že absolutně černé těleso nezáří spojitě, ale po určitých kvantech.

Planckův zákon můžeme napsat v několika podobách, zde uveďme závislost vyzářené množství energie na vlnové délce záření:

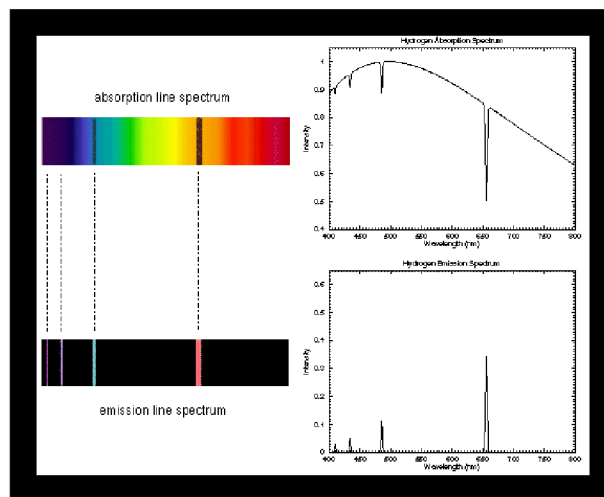
$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1},$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka,  $h$  Planckova konstanta,  $T$  je teplota,  $c$  rychlost světla a konečně  $k_B$  je Boltzmannova konstanta. Jak je ze vztahu zřejmé, je parametrem jednotlivých (planckovských) křivek popisujících množství vyzářené energie na vlnové délce právě teplota.



Obrázek 3: Záření absolutně černého tělesa <sup>3</sup>

Záření absolutně černého tělesa odpovídá *spojité spektrum*, kdy závislost množství vyzařené energie na vlnové délce přesně popisuje Planckův zákon, tedy tzv. *planckovská křivka* (viz obrázek). Jestliže takové záření prochází dalším prostředím, je možné, aby některé části spektra (planckovské křivky) byly prostředím pohlceny, pak můžeme pozorovat *absorpční spektrum*. Plynné prostředí pak může zářit pouze v diskretních vlnových délkách a tak vzniká *emisní spektrum*. Spektra většiny astronomických objektů jsou kombinací všech výše zmíněných tří typů spekter (viz obrázek).



Obrázek 4: Schéma absorpčního a emisního spektra <sup>4</sup>

<sup>3</sup> Zdroj <https://textimg.s3.amazonaws.com/boundless-physics/black-body.svg#fixme>

<sup>4</sup> Zdroj <http://www.astronomynotes.com/light/s5.htm>

Elektromagnetické záření atomu má svůj původ v procesech v elektronovém obalu, kdy dochází k interakci mezi fotony a elektrony. Výsledný vzhled spektra záleží také na geometrickém uspořádání zdroje záření, absorbujícího prostředí a pozorovatele.

### 3.1.2 BRZDNÉ ZÁŘENÍ, CYKLOTRONOVÉ A SYNCHROTRONOVÉ ZÁŘENÍ

Elektromagnetické záření nemusí být je tepelného původu, fotony mohou být emitovány také dalšími procesy. Jedním z nich je změna hybnosti elektronu nebo jiné nabitě částice a následný vznik *brzdného záření*.

Důvody změny hybnosti mohou být různé, jedním z nich může být pohyb částice v magnetickém poli, tedy emise *magnetického brzdného záření*. Působením Lorentzovy síly se dráha elektronu v magnetickém poli zakřivuje, tedy mění se hybnost, a je emitováno polarizované záření. Podle rychlosti pohybu elektronu je dále dělíme na *cyklotronové* ( $v \ll c$ ) a *synchrotronové* ( $v \leq c$ ).

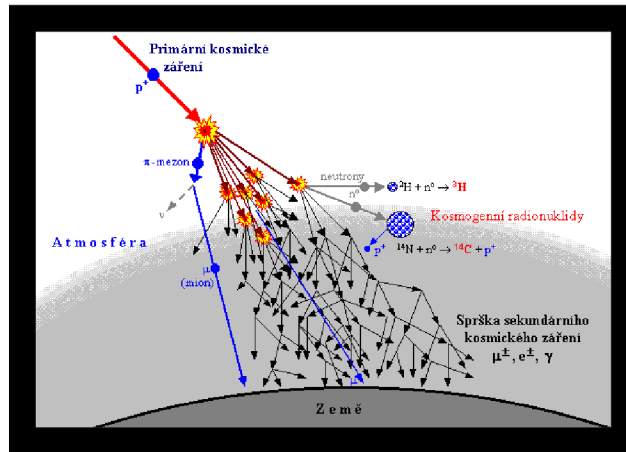
Cyklotronové záření je všesměrové a frekvence odpovídá oběhu elektronu v magnetickém poli, kdežto synchrotronové záření je úzce směrové ve směru pohybu elektronu a záření probíhá nejen v základní frekvenci, ale také v násobcích nebo může být i spojitě.

## 3.2 Kosmické záření

Kosmické záření bylo objeveno v roce 1912 rakouským fyzikem Viktorem Hessem při balónových experimentech, kdy prokázal, že s rostoucí výškou stoupala ionizace atmosféry. Jeho objev byl oceněn Nobelovu cenu za fyziku za rok 1936.

Je to vlastně proud urychlených částic vesměs neznámého původu, které k nám dopadají z vesmíru. Při srážce s atmosférou vzniká sprška milionů i miliard částic. Částice kosmického záření s nejvyšší energií, jakou se dosud podařilo změřit mají energii řádově až  $10^{20}$  eV. Sprška z takové částice zasáhne na zemském povrchu mnoha desítek  $\text{km}^2$ . Četnost výskytu částice s tak extrémní energií je asi jednou za sto let. Předpokládáme, že kosmické záření vysokých energií vzniká v supernovách, pulzarech nebo aktivních galaktických jádrech. Asi 88 % kosmického záření jsou protony, přibližně 10 % jsou jádra hélia, 1 % elektrony a pozitrony a 1 % těžké prvky.

Kosmické záření má naprosto nejširší spektrum energií ze všech dodnes známých jevů. Mnohé částice, které se dnes vědci pokoušejí nalézt v moderních urychlovačích, se mohou nacházet právě v kosmickém záření.



Obrázek 5: Schéma spršky kosmického záření.<sup>5</sup>

### 3.3 Neutrína

Neutrína můžeme považovat za zvláštní „nosiče“ astronomických informací. První úvahy o existenci těchto částic publikoval již v roce 1931 Wolfgang Pauli a vyplývaly ze snahy o řešení problémů, které se nedařilo vysvětlit při rozpadu beta. Experimentálně se existenci neutrína se podařilo prokázat až v roce 1956. Je to částice bez elektrického náboje, spin má hodnotu  $\frac{1}{2}$  a klidová hmotnost je velmi malá. S ostatními částicemi interaguje pouze slabou interakcí, tedy velmi slabě.

Existují tři různé typy neutrin a antineutrin – elektronové, mionové a tauonové. Neutrína se spolu s elektronem, mionem a tauonem řadí mezi leptony, jak označujeme částice, které neinteragují silnou interakcí. Ale od 50. let minulého století byla formulována hypotéza, že jednotlivé typy neutrin by mohly měnit na jiné. Experimentální důkaz takové vlastnosti, tedy *oscilace neutrin*, byla prokázána poprvé až v souvislosti s pozorováním neutrin, která k nám přicházejí ze Slunce. Oscilace neutrin je možná jedině v případě, že alespoň některé z nich mají nenulovou klidovou hmotnost.

Ale nyní zpět k neutrinům jako nositelům astronomických informací. Neutrína jsou ve velkém počtu generována při termonukleárních reakcích v nitru Slunce a zachycena byla také neutrína vzniklá při výbuchu supernovy. Celý prostor vesmíru je rovněž prostoupen reliktními neutrinami, která vznikla v nejranějších fázích vývoje našeho vesmíru. Tato neutrína mají velmi malou energii. Naopak neutrína s extrémně vysokými energiemi k nám přilétají spolu s kosmickým zářením. Všechna tato neutrína by nám mohla poskytnout velmi důležité informace o blízkém i vzdáleném vesmíru. Dnes také víme, že neutrína jsou produkována i při rozpadu radioaktivních prvků v různých vrstvách Země a jejich výzkumem zjistíme řadu informací o vnitřní struktuře zemského tělesa.

<sup>5</sup> Zdroj <http://katrin-inka.blog.cz/1101/kosmicke-zareni>

### 3.4 Gravitační vlny

Jedná se o periodicky se šířící zakřivení času a prostoru, které může vzniknout v okolí těles s nenulovým kvadrupólovým momentem, například kolem dvojice rotujících kompaktních hvězd. Právě tyto vlny by měly být nejběžnější a mít frekvenci od 0,1 mHz do 10 kHz. První přímá detekce gravitačních vln proběhla dne 14. září 2015. Gravitační „záblesk“ ze splynutí dvou černých děr středních hmotností ve vzdálenosti 1,3 miliardy světelných roků registrovaly oba americké přístroje LIGO.

Od té doby se detekce podařila ještě několikrát a lze tedy předpokládat, že i tento „exotický“ nositel astronomických informací začne být využíván k poznání jevů a procesů, které jsou klasickým způsobem „neviditelné“.



#### SHRNUTÍ KAPITOLY

Text této kapitoly představuje všechny známé druhy „nosičů“ astronomických informací a jejich základní vlastnosti.

---



#### KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jmenujete alespoň tři různé druhy „nosičů“ astronomických informací.
  2. Uveďte základní vlastnosti elektromagnetického záření.
  3. Co je to absorpční a co zase emisní spektrum?
  4. Čím je tvořeno kosmické záření?
  5. Kdy mohou vznikat gravitační vlny?
  6. Co znamená pojem *oscilace neutrin*?
-



## 4 HVĚZDY

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Kromě definice *hvězdy* jako fyzikálního objektu jsou v kapitole uvedeny základní charakteristiky hvězd. Podrobněji pak jsou uvedeny veličiny popisující jasnost hvězd a také jejich teplotu a zářivý výkon. Jsou vysvětleny základní vlastnosti H-R diagramu a jeho souvislost se systémem spektrální klasifikace hvězd.

---

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámení s definicí hvězdy jako fyzikálního tělesa
  - Zavedení základních charakteristik a fyzikálních veličin používaných ve stelární astrofyzice
  - Spektrální klasifikace
  - Konstrukce H-R diagramu
- 

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



3 hodiny

---

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Hvězdná velikost, barevný index, spektrální třída, H-R diagram, vztah hmotnost svítivost, barevný diagram

---

## 4.1 Základní charakteristiky hvězd

Definice většiny astronomických objektů není snadná záležitost, velmi dobře je to například vidět na zatím nekončícím procesu hledání vhodné definice pro tělesa v planetárních systémech (planety, trpasličí planety atp.). Pro hvězdy je asi nejlepší definice založená na jejich hmotnosti.



### DEFINICE

Hvězdy jsou samostatná souvislá gravitačně vázaná tělesa o hmotnostech od  $0,075 M_{\odot}$  do  $100 M_{\odot}$ .

### ROZPĚTÍ ZÁKLADNÍCH CHARAKTERISTIK

Během staletí bylo pozorováními zjištěno, že jednotlivé hvězdy se svými vnějšími i vnitřními charakteristikami výrazně liší:

**hmotnost:** od  $0,075 M_{\odot}$  (např. *červený trpaslík* Gliese 623 B) do  $60 M_{\odot}$  (*veleobři*, např. Plaskettova hvězda)

**poloměr:** od  $12 \text{ km} = 1,7 \cdot 10^{-5} R_{\odot}$  (*neutronové hvězdy*) až po  $2000 R_{\odot}$  (*červení veleobři*)

**zářivý výkon:** od  $1,5 \cdot 10^{-5} L_{\odot}$  (Gliese 623 B) až  $10^7 L_{\odot}$  ( $\eta$  Carinae)

**efektivní teplota:** od  $2500 \text{ K}$  u červených trpaslíků a obrů až po stovky tisíc kelvinů u jader planetárních mlhovin

**chemické složení:** můžeme pozorovat jen svrchní vrstvy hvězd a jejichž složení většinou není jiné, než bylo složení jejich molekulového oblaku, ze kterého vznikly, vodík i helium mají podobné relativní zastoupení jako má Slunce, rozdíly jsou v obsahu těžších prvků: od cca  $0 \%$  u nejstarších hvězd v kulových hvězdokupách až po  $5 \%$  u hvězd tzv. extrémní ploché složky Galaxie (Slunce má  $2 \%$  těžších prvků).

Slunce nemá žádné extrémní parametry. Pokud budeme hledat hodnoty pro „typickou hvězdu“, bude záležet na vzorku, který pro porovnání vybereme. Jestliže porovnáme Slunce se stovkou jemu nejbližších hvězd, zjistíme, že pak je Slunce nadprůměrná hvězda, protože jen 7 hvězd má vyšší hmotnost, poloměr a zářivý výkon. Jenže když porovnáme Slunce a 100 nejjasnějších hvězd na hvězdné obloze při pohledu ze Země, tak pouze jediná hvězda ( $\alpha$  Cen B) má zářivý výkon, hmotnost a poloměr menší.

Když budeme definovat „typickou hvězdu“ jako tu, která má medián zářivého výkonu, tak jako takovou můžeme označit například hvězdu HD 155 876 ve směru souhvězdí Herkula, vzdálenou 21 ly: její zářivý výkon je  $1/50 L_{\odot}$ , poloměr  $2/5 R_{\odot}$ , efektivní teplota 3500 K a hmotnost pouze  $1/3 M_{\odot}$ .

### VÝBĚROVÝ EFEKT

Pokud se podíváme na hvězdnou oblohu, pak většina hvězd, které vidíme pouhým okem má zářivý výkon mnohokrát větší než naše Slunce. Je to dáno tzv. výběrovým efektem, protože hvězdy s větším zářivým výkonem jsou viditelné na mnohem větší vzdálenost.

Pokusme se nyní tuto úvahu kvantifikovat. Jestliže zanedbáme mezihvězdnou extinkci a budeme předpokládat homogenní rozložení hvězd v prostoru, potom celkový objem oblasti, odkud bude možné hvězdy o absolutní jasnosti  $S$  pozorovat, bude úměrný  $S^{3/2}$ . Ihned můžeme vypočítat, že pro jasné hvězdy hvězdné oblohy ( $S \sim 55 S_{\text{Slunce}}$ ) je tento objem 400 krát větší než pro hvězdy slunečního typu a pro běžné hvězdy slunečního okolí ( $S \sim 0,004 S_{\text{Slunce}}$ ) je naopak 4 000 krát menší! Všechny statistiky, které výběrový efekt neuvažují, jsou velmi nepřesné.

Přibližné zastoupení mezi hvězdami v tzv. *okolí Slunce*: méně než 1 % obrů, 7 % bílí trpaslíci a 92 % tzv. *hvězdy hlavní posloupnosti* (z toho červení trpaslíci představují celkem 73 %).

## 4.2 Modely hvězd

Stelární astrofyzika se musí vyrovnat také se skutečností, že stavbu ani vývoj hvězd nemůžeme studovat přímo, protože mají ohromné vnitřní teploty a tlaky. Také evoluce hvězd probíhá na časové škále o pět až osm řádů větší než je délka lidského života. A tak jedinou možností, jak stavbu a vývoj hvězd studovat, je vytváření matematických modelů hvězdného nitra. Nejčastěji se tak děje formou soustav diferenciálních rovnic, které popisují všechny podstatné fyzikální skutečnosti a děje probíhající ve skutečných hvězdách.

## 4.3 Jasnost hvězd

### HVĚZDNÁ VELIKOST

Ve stelární astrofyzice je zvykem, daným historickým vývojem této vědecké disciplíny, vyjadřovat jasnost zdroje záření veličinou, která se jmenuje *hvězdná velikost*. Hodnota této veličiny se vyjadřuje v jednotkách pojmenovaných jako *magnituda*.

Veličina *hvězdná velikost* je označována jako  $m$  a je to vlastně logaritmická veličina svázaná s příslušnou jasností objektu (např. hvězdy)  $j$  tzv. *Pogsonovou rovnicí*:

$$m = -2,5 \log (j/j_0) \text{ [mag]},$$

kde  $j_0$  je tzv. referenční jasnost, kterou má zdroj s hvězdnou velikostí  $m = 0$  mag.

Podle rozsahu (části spektra), ve kterém je jasnost měřena (stanovena) pak rozeznáváme např. *vizuální hvězdnou velikost*  $m_V$ , *bolometrickou hvězdnou velikost*  $m_{bol}$ , atp. Převodní vztahy mezi *bolometrickou jasností*  $F$  a *bolometrickou hvězdnou velikostí*  $m_{bol}$  vycházejí z definice, podle které hvězda s bolometrickou hvězdnou velikostí  $m_{bol} = 0$  mag má mimo zemskou atmosféru hustotu zářivého toku  $F_0 = 2,553 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$

Pro vizuální hvězdnou velikost  $m_V$  je stanovena definiční hodnota referenční jasnosti  $j_0 = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ lm m}^{-2} = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ lux}$ , což odpovídá hustotě zářivého toku cca  $3,2 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$ . Dále je dobré vědět, že mezi bolometrickou hvězdnou velikostí a vizuální hvězdnou velikostí platí vztah:  $m_{bol} = m_V + BC$ , kde BC je tzv. bolometrická korekce, která vyjadřuje rozložení energie ve spektru zdroje, jež je v případě hvězd určeno v první řadě teplotou. Bolometrická korekce byla definována tak, aby byla nulová u hvězd o povrchové teplotě kolem 7000 K, jejichž záření má největší světelnou účinnost (hvězdy spektrálního typu F) a směrem k vyšším i nižším teplotám bolometrická korekce klesá, v extrémních případech dosahuje až několika magnitud!

Bohužel se ve stelární astrofyzice v řadě aplikací zaměřují bolometrické veličiny mnohem jednodušeji měřitelnými veličinami vizuálními. To je sice někdy výhodné, ale je třeba mít na paměti, že taková záměna někdy může zcela závažným způsobem zkreslit reálné vztahy mezi jednotlivými charakteristikami hvězd. Je to především při zkoumání procesů, které se týkají např. celkového množství vyzařené energie atp. Potom je naprosto nezbytné použít bolometrické veličiny.

## 4.4 Harvardská klasifikace

Je všeobecně známo, že prvním pokusem o systematickou spektrální klasifikaci hvězd je práce Angela Secchiho, který již v roce 1868 publikoval katalog se 4000 spektry. Rozdělil spektra podle vzhledu do čtyř skupin:

- I** – bílé hvězdy pouze s čarami vodíku (Sirius, Vega, Altair, Regulus)
- II** – nažloutlé hvězdy slunečního typu (Arcturus, Capella) se spoustou čar tzv. kovů
- III** – oranžové hvězdy s absorpčními pásy (Betelgeuze, Mira), proměnné hvězdy
- IV** – červené hvězdy s absorpčními pásy,

O několik desetiletí později (kolem roku 1890) astronomové Pickering a Flemingová vytvořili novou klasifikaci. Jejich posloupnost spektrálních tříd byla označena písmeny: od písmene A (bílé hvězdy s nejsilnějšími čarami vodíku) až po Q (červené hvězdy).

Astronomka Mauryová ve svých dalších pracích prokázala, že některé třídy jsou nadbytečné a jiné je nutno v klasifikaci přesunout jinam, vznikla tak harvardská spektrální posloupnost, kterou v dnešní podobě můžeme napsat jako: **W O B A F G K M L T**.

### K ZAPAMATOVÁNÍ



Pokud si chcete posloupnost spektrálních tříd zapamatovat, můžete využít některou z mnemotechnických pomůcek:

**Oh, Be A Fine Girl (Guy), Kiss My Lips** (základní posloupnost, původní)

**Waldemar osmý bude asi fňukat. Gustave, kup mu legračního tygříka!**

**Whisky od babičky Aničky – fantasticky geniální koupě! Moderní léčivo traumat.**

Všechna pozorovaná hvězdná spektra je možné uspořádat podle klesající teploty a kritériem pro zařazení jednotlivé hvězdy jsou relativní intenzity některých vybraných spektrálních čar, které jsou výrazně závislé právě na teplotě. Harvardská klasifikace je ve své původní podobě jednoparametrická, jako rozhodující jsou brány charakteristiky spektra, které závisí především na efektivní teplotě hvězdy

Charakteristiky jednotlivých spektrálních tříd:

**W:** Wolfovy-Rayetovy hvězdy jeví široké emisní čáry vodíku a helia.

**O:** Silné spojité spektrum, absorpční čáry ionizovaného helia.

**B:** Absorpční čáry neutrálního helia, Balmerovy série vodíku a ionizovaného kyslíku.

**A:** Silné čáry Balmerovy série vodíku a čáry ionizovaného vápníku a čáry kovů.

**F:** Čáry Balmerovy série slábnou, zesilují se čáry ionizovaného vápníku a kovů.

**G:** Silné čáry ionizovaného vápníku, slabá Balmerova série, početné čáry kovů, např. Fe.

**K:** Silné čáry kovů, slabé absorpční pásy molekul. Hvězdy mají oranžovou barvu.

**M:** Silné pásy molekul, zejména oxidu titanatého. Hvězdy mají červenou barvu.

**L:** Chladní trpaslíci, září v IR, pásy molekul FeH, CrH, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>.

**T:** Při teplotě pod 1499 K vzniká metan, typické IR čáry metanu.

Původní harvardská klasifikace byla v roce 1998 rozšířena do oblasti nižších teplot, za spektrálním typem M8 následuje typ L0 až L8 a někdy se používají rozšiřující třídy W, T, Y, D, Q, P (viz <http://www.handprint.com/ASTRO/specclass.html> )

Spektrální typy hvězd v Galaxii jsou zastoupeny velmi nerovnoměrně, navíc se opět uplatňuje výběrový efekt zvýhodňující hvězdy s vyšším zářivým výkonem:

Spektrální třída	O	B	A	F	G	K	M
Skutečná četnost	0 %	2 %	3 %	5 %	9 %	15 %	66 %
Pozorovaná četnost	0,4 %	13 %	20 %	16 %	14 %	32 %	4 %

V roce 1925 publikovala astronomka Payne-Gaposhkinová zásadní vědeckou práci, která dokazuje, že chemické složení fotosféry naprosté většiny hvězd je velmi podobné. Látka je tvořena 70 % vodíku, 28 % helia a zbytek připadá na všechny ostatní známé prvky. Pokud tento poměr převedeme na počty atomů, tak na každých 10 000 atomů vodíku připadá zhruba 1000 atomů helia, 8 atomů uhlíku, 15 atomů kyslíku, 12 atomů dusíku, 0,2 atomu křemíku atd. Je tedy podivné, že zejména ve spektrech chladnějších hvězd převládají právě čáry těžších atomů. Tento paradox je ale snadno vysvětlitelný, protože atomy těchto prvků je možné mnohem snadněji vybudit k záření, než atomy vodíku či helia.

### PŘÍKLADY JEDNOTLIVÝCH SPEKTRÁLNÍCH TYPŮ

Spektrální typ B: **Rigel** (Orion)

Spektrální typ A: **Sirius** (Velký pes)

Spektrální typ F: **Procyon** (Malý pes)

Spektrální typ G: **Slunce**

Spektrální typ K: **Arcturus** (Pastýř)

Spektrální typ M: **Betelgeuze** (Orion)

## 4.5 Luminozitní třídy a Morganova-Keenanova klasifikace

Spektrum hvězd nás informuje nejen o efektivní teplotě ( $T_{ef}$ ), ale také o povrchovém gravitačním zrychlení ( $g$ ). A protože víme, že celková hmotnost hvězd se mění v relativně malém rozmezí, může být odvozená hodnota gravitačního zrychlení také dobrou informací o poloměru hvězdy.

Například pro hvězdu spektrálního typu K0 se můžeme setkat s tím, že se může jednat o některou z následujících variant:

- a) o hvězdu hlavní posloupnosti ( $0,8 M_{\odot}$ ,  $0,85 R_{\odot}$ ), kde  $g = 1,1 g_{\odot}$
- b) o běžného obra ( $3,5 M_{\odot}$ ,  $16 R_{\odot}$ ), kde  $g = 1,4 \cdot 10^{-2} g_{\odot}$ ,
- c) o hmotného veleobra ( $13 M_{\odot}$ ,  $200 R_{\odot}$ ), kde  $g = 3,3 \cdot 10^{-4} g_{\odot}$ .

Řádové rozdíly v hodnotě povrchového gravitačního zrychlení poskytují informaci o tom, že fyzikální podmínky pro vznik spektra v atmosférách těchto různých typů hvězd musejí být značně rozdílné. Jestliže je gravitační zrychlení vysoké, pak je atmosféra hvězdy tenká a relativně hustá, dochází k častým srážkám a spektrální čáry hvězdy jsou rozšířené tlakem. Naopak, spektrální čáry hvězd s malým povrchovým zrychlením, zejména veleobrů jsou ostré a hluboké. Ze spektra tak můžeme určit hodnotu gravitačního zrychlení a také poloměr hvězdy.

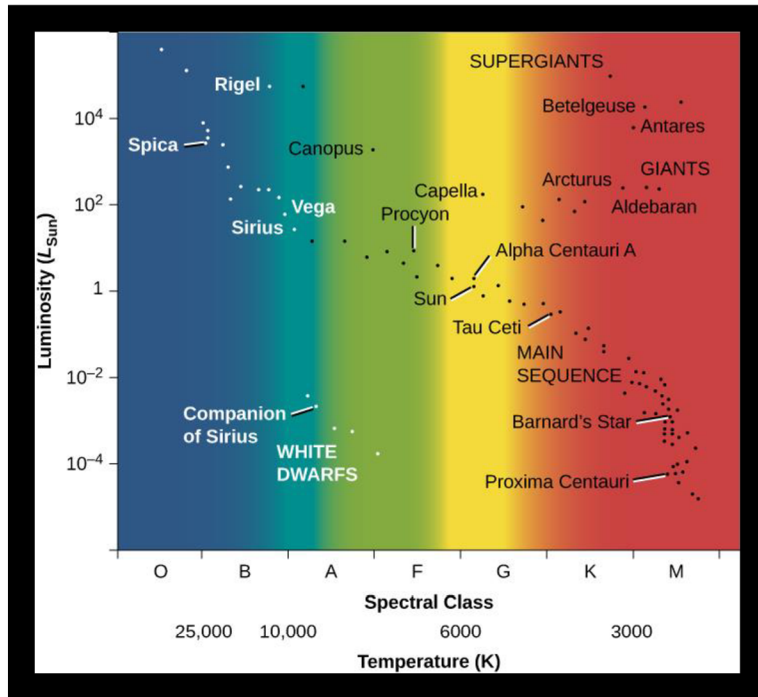
Se znalostí těchto fyzikálních skutečností se od druhé poloviny 20. století používá dvouparametrické Morganovy-Keenanovy (dále MK) spektrální klasifikace. Harvardské spektrální klasifikace je na základě rozboru vzhledu spektra hvězdy doplněna o klasifikaci tzv. *luminozitní třídy* (I – VII), která kvantifikuje zářivý výkon hvězdy (lokalizuje polohu obrazu hvězdy v HR diagramu).

<b>Ia</b> – jasní veleobři	<b>IV</b> – podobři
<b>Ib</b> – veleobři	<b>V</b> – hvězdy hlavní posloupnosti
<b>II</b> – nadobři	<b>VI</b> – podtrpaslíci
<b>III</b> – obři	<b>VII</b> – bílí trpaslíci

Pokud tedy známe spektrální klasifikaci hvězdy v MK klasifikaci, pak můžeme podle dostupných tabulek zhruba stanovit efektivní teplotu hvězdy, její absolutní hvězdnou velikost, vzdálenost, poloměr hvězdy a její vývojové stadium.

## 4.6 Hertzsprungův-Russellův diagram

Když vyneseme do grafu závislost základních charakteristik hvězd ( $M$ ,  $L$ ,  $T_e$  a  $R$ ), zjistíme, že obrazy jednotlivých hvězd v těchto diagramech nepokrývají jejich plochu rovnoměrně, ale vytvářejí určité „shluky“. Jako první z takových možných grafů byl sestrojen již na počátku 20. století diagram zachycující závislost zářivého výkonu na efektivní teplotě, později označovaný jako Hertzsprungův-Russellův diagram, zkráceně též HR diagram.



Obrázek 6: Hertzsprungův-Russellův diagram s označením některých konkrétních hvězd.<sup>6</sup>



## SHRNUTÍ KAPITOLY

Kapitola obsahuje definici hvězdy a také jejich hlavní parametry. Je vysvětlena klasifikace hvězd podle vzhledu jejich spekter a také podle jejich luminozitních tříd.

V textu je vysvětlen vliv výběrového efektu na všechny statistiky jednotlivých fyzikálních vlastností hvězd a také je vysvětlen pojem HR diagramu.



## KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Uveďte fyzikální definici hvězdy.
2. Jak je definována veličina *hvězdná velikost*?
3. Co je to Harvardská spektrální klasifikace hvězd?
4. Který další parametr byl kromě teploty využit při vytvoření MK klasifikace?

<sup>6</sup> Zdroj [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Astronomy\\_and\\_Cosmology\\_TextMaps/Map%3A\\_Astronomy\\_\(OpenStax\)/18%3A\\_The\\_Stars\\_-\\_A\\_Celestial\\_Census/18.4%3A\\_The\\_H-R\\_Diagram](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Astronomy_and_Cosmology_TextMaps/Map%3A_Astronomy_(OpenStax)/18%3A_The_Stars_-_A_Celestial_Census/18.4%3A_The_H-R_Diagram)



5. Jaké známe luminozitní třídy?
  6. Načrtněte schéma HR diagramu, popište jeho osy.
  7. Jaká je spektrální třída Slunce, Siria a hvězdy Arcturus?
  8. Zakreslete tyto hvězdy do HR diagramu.
-

## 5 SFÉRICKÁ ASTRONOMIE, ČAS



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Kapitola obsahuje definice základních druhů astronomických souřadnic a vysvětluje zavedení času a časových jednotek na základě některých astronomických periodických procesů.

---



### CÍLE KAPITOLY

- Umět používat základní astronomické souřadnice
  - Seznámení se s astronomickými a fyzikálními definicemi času
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Obzorníkové souřadnice, rovníkové souřadnice 1. a 2. druhu, hvězdný čas, pravý a střední sluneční čas, pásmový čas, atomový čas

## 5.1 Sférická astronomie

### SOUSTAVY SOUŘADNIC

Pokud zavádíme ve fyzice nějaké soustavy souřadnic, tak většinou používáme soustavy pravoúhlých souřadnic, ale někdy je mnohem výhodnější zavedení souřadnic polárních či sférických. Zavedení jakéhokoliv souřadnicového systému zahrnuje vždy definici:

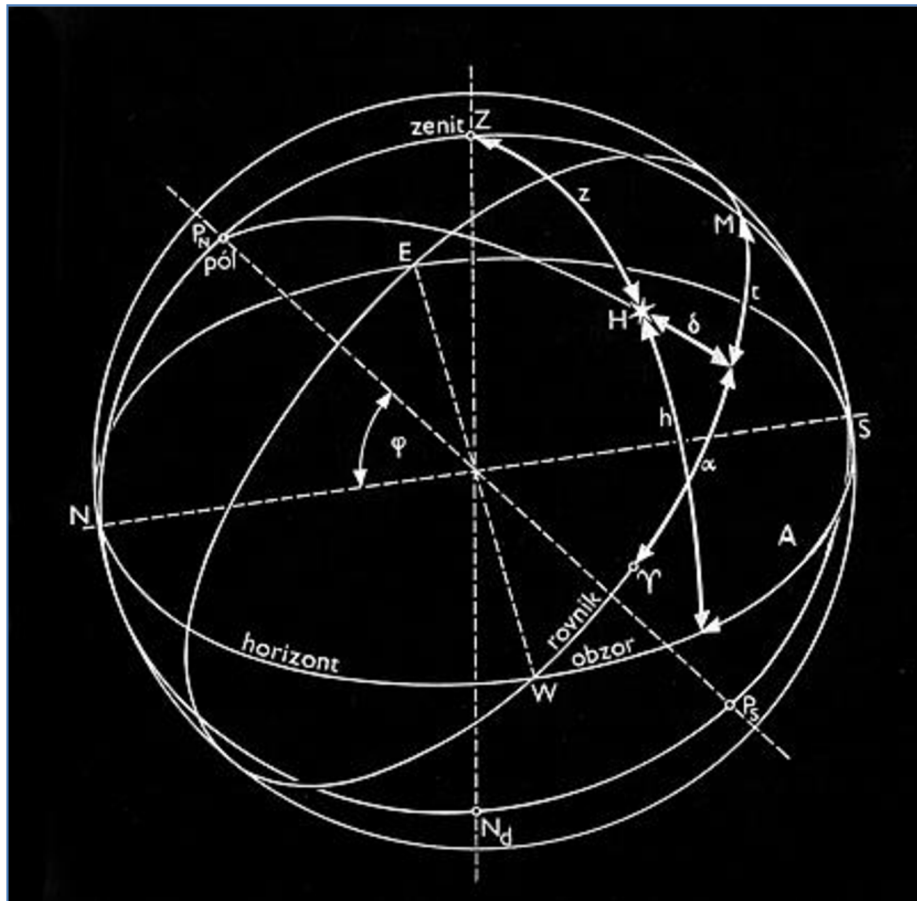
- *počátku souřadnicového systému,*
- *základní roviny (prochází počátkem této soustavy),*

- *základního směru* (polopřímka ležící v základní rovině).

Podle volby polohy počátku souřadnicové soustavy lze souřadnice používané v astronomii rozčlenit na:

- topocentrické (počátek v místě pozorovacího stanoviště)
- geocentrické (střed Země)
- heliocentrické (střed Slunce)

U všech druhů sférických souřadnic je poloha bodu určena dvěma úhly a vzdáleností bodu od počátku souřadnicové soustavy a takové souřadnice jsou vhodné mimo jiné také pro astronomické účely.



**Obrázek 7: Souřadnice horizontální a rovníkové (I. i II. druhu), význam označení vyplývá z textu kapitoly.<sup>7</sup>**

<sup>7</sup> Zdroj upraveno podle <http://physics.ujep.cz/~zmoravec/astronomie/siroky/siroky.pdf>

## OBZORNÍKOVÉ SOUŘADNICE (HORIZONTÁLNÍ)

Jejich základní rovina je definována jako rovina ideálního horizontu (tečná rovina k tělesu Země (předpokládáme sférický tvar) v místě pozorování a jako základní směr je zvolen směr k jihu.

Pak jsou souřadnicemi *výška nad obzorem  $h$*  (nabývá hodnot od  $-90^\circ$  do  $+90^\circ$ ) a *azimut  $A$*  (nabývá hodnot od  $0^\circ$  až do  $360^\circ$ ), což je úhel od jižního směru určený po směru chodu hodinových ručiček (jih odpovídá azimutu  $0^\circ$ , západ  $90^\circ$ , sever  $180^\circ$  a východ  $270^\circ$ ). Jsou to souřadnice topocentrické a také závislé na čase.

## ROVNÍKOVÉ SOUŘADNICE

Jejich základní rovina je definována rovinou světového rovníku a jako základní směr je volen směr průsečíku meridiánu a roviny světového rovníku v případě rovníkových souřadnic I. Druhu nebo směr k jarnímu bodu v případě rovníkových souřadnic II. Druhu.

### Rovníkové souřadnice I. druhu

Jedná se o souřadnice označované jako *deklinace* (označujeme jako  $\delta$ , úhel, který nabývá hodnot od  $-90^\circ$  do  $+90^\circ$ ) a *hodinový úhel* ( $t$ ). Hodnoty těchto souřadnic se mění v závislosti na čase i místě pozorování.

### Rovníkové souřadnice II. druhu

Takto jsou označovány souřadnice deklinace *deklinace* (označujeme jako  $\delta$ , úhel, který nabývá hodnot od  $-90^\circ$  do  $+90^\circ$ ) a *rektascenze* ( $\alpha$ ). Jejich hodnoty se mění pouze v závislosti na změně směru k *jarnímu bodu*.

*Jarní bod* je směr definovaný společnou přímkou roviny světového rovníku a roviny ekliptiky, tato přímka je počátkem souřadnicové soustavy rozdělena na dvě polopřímky, jedna určuje směr jarního bodu, druhá směr podzimního bodu.

*Časově – úhlová míra* je vyjádření úhlu v jednotkách, které obvykle užíváme pro čas. Vycházíme z úvahy, že  $360^\circ$  odpovídá 24 hodinám (tedy 1 hodina =  $15^\circ$ ,  $1^\circ$  = 4 minuty atd.), v těchto jednotkách se běžně udává hodnota *hodinového úhlu* i *rektascenze*.

## EKLIPTIKÁLNÍ SOUŘADNICE

Jejich základní rovina je definována rovinou ekliptiky a základním směrem je směr k jarnímu bodu. Vlastní ekliptikální souřadnice jsou *ekliptikální délka* ( $\lambda$ ), tedy úhel měřený od jarního bodu ve směru ročního pohybu Slunce a *ekliptikální šířka* ( $\beta$ ), což je vlastně obdoba deklinace používané u rovníkových souřadnic. Tato souřadnicová soustava se používá hlavně při výpočtech drah těles ve sluneční soustavě.

## GALAKTICKÉ SOUŘADNICE

Jsou definovány tak, že základní rovinou je rovina galaktického rovníku, která je definována nepřímo polohou galaktických pólů.

## HVĚZDNÝ ČAS

Veličinu *hvězdný čas* můžeme definovat také jako hodinový úhel jarního bodu a pak bude platit, že v okamžiku svrchního průchodu jarního bodu meridiánem je hodnota hvězdného času 0 hod 0 min 0 sec. Jestliže je hodnota hodinového úhlu jarního bodu  $15^\circ = 1\text{h}$ , pak místní hvězdný čas je 1 hodina a kulminují hvězdy s hodnotou rektascenze 1 hodina atd. Platí tedy vztah:

$$\text{hvězdný čas} = \alpha + t,$$

kde  $\alpha$  je rektascenze a  $t$  je hodnota hodinového úhlu (pak také:  $t = \text{hvězdný čas} - \alpha$ ).

## ČAS

Za klasické pojetí času považujeme jeho definici jako veličiny, jejíž hodnota se trvale mění a rovnoměrně narůstá. Čas je měřitelný až ve spojení s pohybem v konkrétní souřadnicové soustavě. Jako vhodný princip měření se ukázala volba vhodného periodického děje. V prvním přiblížení lze považovat například rotaci Země za rovnoměrný periodický děj a odvozovat z něj čas.

Z rotace Země je možné odvodit:

*hvězdný den* – tedy čas mezi dvěma horními kulminacemi jarního bodu

*pravý sluneční den* - čas mezi dvěma spodními kulminacemi skutečného Slunce.

Časový rozdíl mezi takto definovanými jednotkami času je 3 min 56 sec a důvodem je oběh Země kolem Slunce.

Pohyb Země však není rovnoměrný, tedy pro pozorovatele na povrchu Země vykonává Slunce jednak nerovnoměrný pohyb po ekliptice (nejrychleji se pohybuje, když je Země v periheliu a nejpomaleji, když je Země v afeliu) a další nepravidelnost vzniká tím, že Slunce se nepohybuje v rovině světového rovníku, ale v rovině ekliptiky.

Celkové rozdíly mezi časem takto odvozovaným a časem rovnoměrným jsou až 15 minut, proto bylo pravé Slunce nahrazeno fiktivním tělesem - tzv. *středním Sluncem*, které může být dvojího druhu:

1. takové, které se pohybuje po ekliptice rovnoměrně (jako by se Země pohybovala kolem Slunce po kružnici)
2. pohybuje se rovnoměrně v rovině světového rovníku

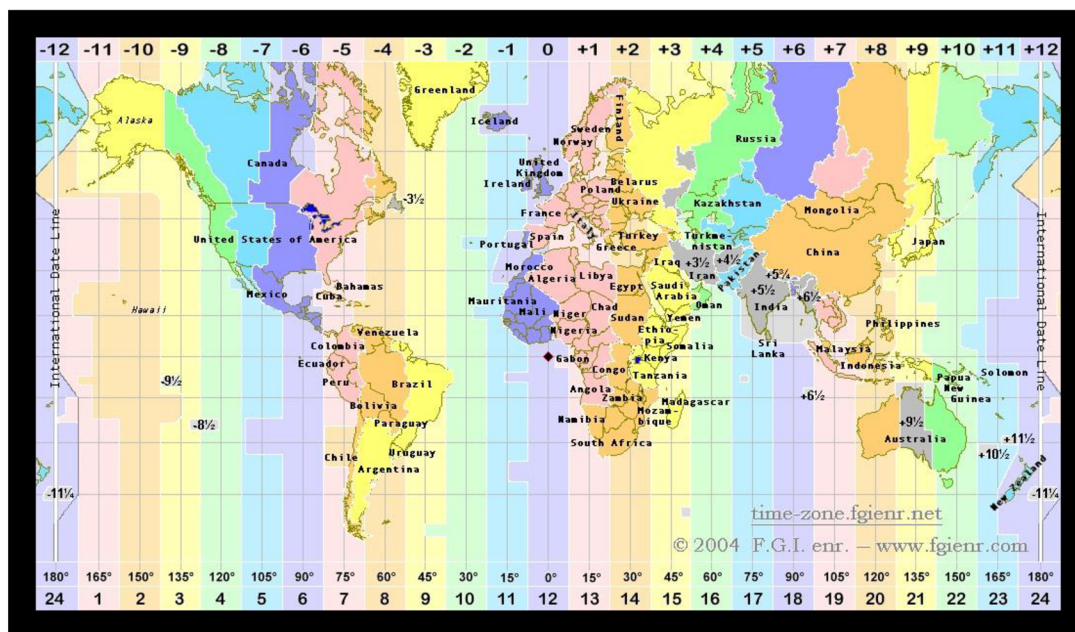
Obě střední Slunce se shodují v okamžicích jarní a podzimní rovnodennosti. Tak je možné definovat *střední čas* a také pojem *středního slunečního dne*, což je doba mezi dvěma spodními kulminacemi druhého středního Slunce. Časový rozdíl mezi slunečním časem pravým a středním udává tzv. *časová rovnice*  $R = T_v - T$ , kde  $T_v$  je pravý sluneční čas. Jako delší časová jednotka byl definován *tropický rok*, což je čas mezi dvěma následujícími průchody středního Slunce jarním bodem.

## PÁSMOVÝ ČAS

Z předchozích definic a úvah vyplývá, že každé pozorovací stanoviště má svůj tzv. *místní čas*. Ten se kdysi opravdu používal a teprve v 19. století byl postupně zaveden tzv. *pásmový čas*, který se od *světového času* (UT) liší celistvým počtem hodin. Je to tedy místní čas 15., 30., 45. atd. poledníku.

V České republice používáme *středoevropský čas* (SEČ), což je vlastně místní čas 15. poledníku východní délky (to přibližně odpovídá poloze Jindřichova Hradce). Opava má „délkovou“ korekci -12 minut. Z takového systému pásmových časů také logicky vyplývá existence tzv. *datové hranice*, která je vedena velmi málo obydleným Tichomořím.

Ve 20. století začala být zaváděna v mnoha zemích ležících v mírném pásu periodická změna na tzv. *letní čas*, což je pásmový čas plus 1 hodina (většinou v období od konce března do konce října). Naopak, experiment s tzv. *zimním časem* (pásmový čas minus 1 hodina) se nijak neujal. V rovníkových oblastech nemají takové administrativní zásahy žádný smysl, bílá část dne je tam po celý rok prakticky stejně dlouhá.



Obrázek 8: Pásmový čas – standardní časová pásma.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Zdroj <http://militarytimechart.com/time-zones-explained/>

## SYSTÉMY POČÍTÁNÍ ROKŮ, KALENDÁŘE

Všechny používané systémy počítání let je možné rozdělit na ty, které jsou odvozeny od délky oběhu Měsíce nebo Slunce. Třetí možnou bází kalendáře je kombinovaný přístup. Původ našeho evropského kalendáře je až v kalendářních systémech používaných ve starověkém Egyptě.

### Juliánská reforma

Protože délku roku (jednoho oběhu Země kolem Slunce) není možné vyjádřit celistvým počtem dnů, bylo nutné tuto situaci řešit. První taková reforma našeho kalendáře nastala již v antice a je známá pod názvem Juliánská reforma. Ta spočívala v tom, že každý 4. rok byl *přestupný* (konkrétně 24. únor měl 48 hodin!) a trval tedy 366 dnů. Taková korekce však není zdaleka dokonalá, protože rok je po ní „delší“ a rozdíl naroste za 128 let na celý jeden den.

### Gregoriánská reforma

Na konci středověku bylo nutné rozdíl mnoha dnů kompenzovat, takže v roce 1582 bylo vynecháno několik dnů (konkrétně po 4. říjnu nastal hned 15. říjen) a reforma upravila přestupnost let tak, že roky na konci století budou od toho data přestupné jen tehdy, lze-li je dělit 400 beze zbytku tj. 1600, 2000, 2400 atd, ostatní přestupné nebudou. Kalendář v této podobě se používá dodnes a je kalendářem globálně uznávaným, přestože existuje několik desítek jiných, lokálních nebo církevních kalendářních systémů.

### Juliánské datum

V astronomii a astrofyzice se používá ještě jiný kalendářní systém tzv. *Juliánské datum* (zkráceně JD), který spočívá v postupném číslování dnů a neobsahuje žádné menší (hodiny, minuty atp.) ani větší (týden, měsíc) časové jednotky. Tento systém zavedl francouzský astronom Joseph Justus Scaliger (1540-1609) a počátek celého datování zvolil na 1. leden 4713 před n. l., čili 1. leden roku mínus 4712. Den v tomto kalendáři začíná ve 12.00 hodin UT a je to velice výhodný systém pro sledování periodických jevů na delší časové bázi (např. změn jasnosti proměnných hvězd). Příklad juliánského datování: 1. leden 2020, 00.00 hodin UT odpovídá JD 2 458 849,5

## ZMĚNY ZEMSKÉ ROTACE

Bohužel s rostoucí přesností měření času (čas je v současnosti nejpřesněji měřitelná fyzikální veličina) bylo zjištěno, že ani rotace Země není dostatečně periodický jev a dochází z řady příčin ke kolísání rychlosti zemské rotace. S roční periodou a amplitudou 22 milisekund se mění rychlost rotace v důsledku pravidelných klimatických změn a s nimi souvisejícími přesuny vzdušných a vodních hmot. Přibližně půlroční periodu a amplitudu

10 milisekund mají změny v důsledku elipticity dráhy Země a tomu odpovídajícího kolísání gravitačního působení Slunce. Také excentricita měsíční dráhy má vliv s periodou 13,8 dne a 27,6 dne, ale amplitudou pouze 1 milisekundy.

### ATOMOVÝ ČAS

Velmi dlouhou dobu byla jednotka času, *sekunda*, definovaná jako 1/86 400 díl středního slunečního dne, ale vzhledem k nerovnoměrnostem v rotačním pohybu Země, nebyla tato definice již ve 20. století dlouhodobě udržitelná. A tak v roce 1960 na 11. konferenci CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures, tedy „Generální konference pro míry a váhy“) byla změněna definice sekundy, byla přijata definice Mezinárodní astronomické unie založená na přesně definovaném zlomku tropického roku. Bohužel se velmi brzy ukázalo, že definice založená na frekvenci záření při přechodu mezi dvěma hladinami v atomu či molekule by byla mnohem přesnější a znovu došlo ke změně definice sekundy v roce 1967, stalo se tak na 13. konferenci CGPM, od té doby je sekunda definována jako doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.



### SHRNUTÍ KAPITOLY

V astronomii se využívají zejména sférické souřadnice, v kapitole jsou definovány základní používané systémy, tedy souřadnice horizontální, rovníkové, ekliptikální a galaktické. Je zaveden pojem Jarního bodu, hvězdného času atp. Dále je definován čas jako fyzikální veličina a vysvětleny astronomické časové normály, pásmový čas a atomový čas.



### KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jak můžeme definovat souřadnicovou soustavu?
2. Jaký je rozdíl mezi rovníkovými souřadnicemi I. a II. druhu?
3. Co je to Jarní bod a jak je definován hvězdný čas?
4. Jaký je vztah mezi rektascenzí, hodinovým úhlem a hvězdným časem?
5. Co je to světový čas, jak je definován?
6. Vysvětlete pojem pásmového času.
7. Jak je definován atomový čas?



## 6 HVĚZDNÉ MAPY A KATALOGY, OTOČNÁ MAPKA, HVĚZDÁŘSKÁ ROČENKA

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



V astronomii a astrofyzice se poměrně často využívají specifické publikace, mezi které patří také různé katalogy, mapy a atlasy hvězdné oblohy nebo astronomické ročenky. V této kapitole jsou přehledně představeny a kromě jejich tištěných podob jsou zde uvedeny také moderní elektronické databáze dostupné většinou také na internetu.

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámení se s hvězdnými mapami a atlasy
- Zvládnutí práce s klasickými i elektronickými katalogy
- Umět používat klasickou nebo elektronickou astronomickou ročenku

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



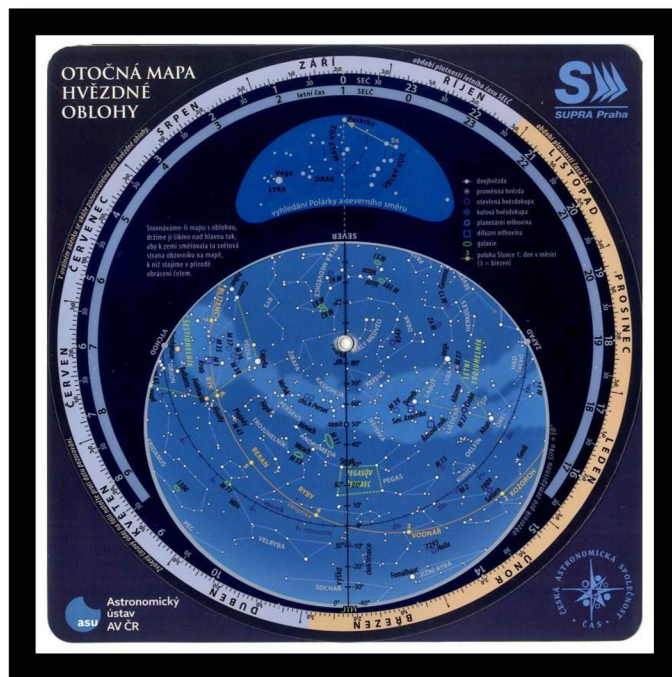
Mapa hvězdné oblohy, atlas, ročenka, katalog astronomických objektů, astronomická databáze.

### 6.1 Otočná mapka

Velmi užitečnou pomůckou k získání základních dovedností souvisejících s orientací na hvězdné obloze je otočná mapka hvězdné oblohy. Princip jejího použití je jednoduchý, na otočné části i na pevné části mapky jsou dvě škály, časová a datumová, jestliže nastavíme čas pozorování proti datu, kdy chceme pozorovat, v eliptickém výřezu pak uvidíme tu část

hvězdné oblohy, která bude na našem pozorovacím stanovišti nad obzorem. Eliptický výřez se mění také podle zeměpisné šířky pozorovacího stanoviště. U nás musíme používat otočnou mapku pro 50. rovnoběžku severní šířky.

Na internetu je pro nekomerční použití volně dostupná ke stažení tato verze otočné mapky: <https://stahuj-programy.cz/otocna-mapka?hodnoceni=4>.



Obrázek 9: Jedno z mnoha typografických provedení otočné mapky pro +50° severní šířky.<sup>9</sup>

## 6.2 Hvězdné katalogy, atlasy, ročenky

Tyto speciální astronomické publikace jsou vydávány v klasické tištěné podobě, ale také v elektronické podobě nebo jako online služby přístupné po internetu. Právě v případech elektronického provedení mohou být všechny tyto tři typy publikací integrovány do jediného prostředí (např. nějakého webového portálu). Jejich tištěná podoba má však i v dnešní době své nezastupitelné místo, protože lépe odolá extrémním povětrnostním podmínkám a předností je také nezávislost na zdroji energie.

Uvedené zdroje specifických astronomických informací nám umožňují především:

- vyhledat potřebné údaje o vlastnostech astronomického objektu,

<sup>9</sup> Zdroj <http://www.supra-dalekohledy.cz/mapa-supra-praha-otocna-oblohy-23.5x23.5cm-mesic-lunace-rukl-3-26626.html>

- určit polohu astronomického objektu na obloze,
- vyhledat astronomické objekty požadovaných vlastností,
- nalézt astronomický objekt na obloze (pokud jej chceme pozorovat).

## HVĚZDNÉ KATALOGY

### **Bonner Durchmusterung (BD) a Cordoba Durchmusterung (CD)**

Dnes již spíše historické dílo BD je výsledkem vizuálního pozorování hvězd severní hemisféry, která provedl Argelander a jeho asistenti v 19. století. Rozsáhlý katalog obsahuje všechny hvězdy do 9,5 mag a jejich polohy byly určeny s přesností 0,1 úhlové vteřiny v rektascenzi a 0,1 úhlové minuty v deklinaci. Cordoba Durchmusterung je pak výsledkem vizuálního pozorování hvězd s deklinací od  $-22^\circ$  do  $-89^\circ$  stupňů a je vlastně rozšířením katalogu BD. Výsledky byly zpracovány jak do katalogů, tak do podoby atlasů viz <http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/qcat?I/122> .

### **Henry Draper Catalog (HD)**

Tento katalog se stal základem pro spektrální klasifikaci hvězd, limitující byla tedy citlivost desek, na které se pořizovala spektra (tedy do  $m_{pg} = 9$  mag (Cannonová, Pickering, 1918 – 924) a později byl rozšířen o další vybrané oblasti (označován jako HDE, autoři Cannonová 1936 a Cannonová, Mayall 1949), podrobnější popis katalogů viz [https://en.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Draper\\_Catalogue](https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Draper_Catalogue) a není bez zajímavosti, že vznik katalogu byl financován nadací Henry Drapera, průkopníka astrofotografie.

### **Palomar Observatory Sky Survey (POSS)**

Původní unikátní projekt „National Geographic Palomar Sky Survey“ byl dokončen v roce 1954 (s využitím 48 palcová Schmidovy fotografické komory na observatoři Mt. Palomar v USA), tedy ještě v době „prekosmonautické“. Přehlídka využívala fotografické desky o ploše 14 palců čtverečních, každá pokryla  $6 \times 6$  úhlových stupňů oblohy. Původně bylo naexponováno pro deklinaci od  $+90^\circ$  do  $-24^\circ$  celkem 879 oblastí na „červenou“ i „modrou“ emulzi (hvězdy do jasnosti 22 mag), později došlo ještě k rozšíření až po deklinaci  $-42^\circ$  (<http://www.astro.caltech.edu/~wws/poss2.html> ). Nyní je vše dostupné v digitální podobě na Digitized Sky Survey (DSS) [http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss\\_form](http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss_form)

### **(Yale) Bright Star Catalog**

Bývá označován také BSC, YBSC nebo YBS a obsahuje základní informace o hvězdách jasnějších než 6,5 mag, z celkem 9110 zde katalogizovaných objektů je 9096 hvězd. Kromě označení (včetně jiných katalogových označení) jsou uvedeny: rovníkové souřadnice (B1900.0 a J2000.0), galaktické souřadnice, vlastní pohyb (J2000.0), fotometrické hvězdné velikosti UBVRi (pokud jsou známy) a také Morganova-Keenanova spektrální klasifikace. Pravděpodobně poslední tištěná verze „The Bright Star Catalogue; 4th

revised edition“ byla publikována v roce 1982, jeho elektronická verze je dostupná zde: <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/bsc5.html> . Tento katalog se stal podkladem mnohých počítačových planetárií. Atlas hvězd do 7 magnitudy, který svým rozsahem jenom o něco málo překračuje BSC je k dispozici ke stažení zde: <http://www.astro.cz/mirror/atlas/czech/>

### **Guide Star Catalogue**

Tento poměrně rozsáhlý katalog byl sestaven pro potřeby HST a obsahuje asi 14 milionů astronomických objektů

### **Hipparcos**

Katalog velmi přesných poloh hvězd sestavený na základě pozorování astrometrickou družicí Hipparcos. Celkem obsahuje 118 000 hvězd s jasností do 12,4 mag. Ze stejného pozorovacího programu pak pocházejí data pro méně přesný katalog Tycho, jenž obsahuje údaje pro 1 058 000 hvězd s jasností do 11,5 mag

### **GAIA**

Doposud nejpřesnější katalog pro zhruba 1 miliardu hvězd naší Galaxie. Jedná se o výsledek několikaletého pozorování sondy Gaia a v době psaní tohoto textu ještě nebyly publikovány všechny výsledky tohoto rozsáhlého vědeckého projektu, který navazuje na projekt Hipparcos (viz také [https://cs.wikipedia.org/wiki/Gaia\\_\(sonda\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Gaia_(sonda)) ).

### **General Catalog of Variable Stars**

Příklad jednoho z rozsáhlých, ale již specializovaných katalogů – Katalog proměnných hvězd. Je známý také pod zkratkou GCVS a je rovněž volně dostupný online, na adrese: <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>.

### **Double Star Library**

Další příklad jednoho z rozsáhlých, ale již specializovaných katalogů – Katalog dvojhvězd. Je také volně dostupný online, na adrese: <https://ad.usno.navy.mil/wds/dsl.html> .

## **MODERNÍ ASTRONOMICKÉ DATABÁZE**

Na digitální astronomické databáze lze pohlížet jako na předchůdce virtuálních observatoří (VO), jedním z nejrozsáhlejších portálů je portál Centra astronomických dat, tedy Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS, <http://cdsweb.u-strasbg.fr/CDS.html> ), který zahrnuje celou řadu „služeb“:

## **SIMBAD**

To je databáze se základními údaji o astronomických objektech mimo sluneční soustavu, obsahuje jejich označení, bibliografii a lze se dotazovat podle jména, souřadnic nebo jiných kritérií.

## **VizieR**

Jedná se o elektronickou knihovnu astronomických katalogů, seznamů a tabulek všeho druhu.

## **Aladin**

Tato služba je vlastně interaktivní atlas hvězdné oblohy, který je navíc propojen s databázemi SIMBAD, NED, VizieR atd.

## **ASTRONOMICKÉ ROČENKY**

Jedná se o speciální publikace obsahující tabulky různých astronomických údajů, jako jsou souřadnice, časy východů a západů astronomických těles atd. pro určité období. Většinou jsou v platnosti jeden rok. V minulosti byly vydávány pouze v tištěné podobě, dnes většinou s doplňky na digitálních nosičích a existují i ryze online verze.

### **Některé příklady astronomických ročenek**

- **Nautical Almanach** <https://aa.usno.navy.mil/publications/docs/asa.php>
- **Hvězdářská ročenka** (Česká republika) <http://rocenka.observatory.cz/>
- **Astronomická ročenka** (Slovensko) <http://www.suh.sk/nasa-ponuka/publikacie/periodicka-tlac/602-astronomicka-rocenka-2019>
- **Celestial Observer** <https://www.calsky.com/>
- **KAR** <http://www.hvezcb.cz/cgi-bin/kar.cgi>
- **U.S. Naval Observatory** <http://aa.usno.navy.mil/data/>

## **SHRNUTÍ KAPITOLY**



V kapitole jsou přehledně uvedeny základní katalogy, mapy hvězdné oblohy i atlasy. Obsahuje také internetové odkazy na tyto informační zdroje, které jsou specifické právě pro astronomii a astrofyziku.



## **KONTROLNÍ OTÁZKY A ÚKOLY**

1. Vysvětlete princip konstrukce otočné mapky hvězdné oblohy a postup při jejím použití.
  2. Uveďte alespoň tři katalogy/atlasy hvězdné oblohy a jejich základní charakteristiky.
  3. Jaké údaje je možné najít v astronomických ročenkách?
  4. Co obsahuje portál s názvem SIMBAD?
  5. Vytvořte si přehled pozorovatelných objektů a jevů pro zvolené pozorovací stanoviště. Využijte k tomu některou z elektronických astronomických ročenek.
-

## 7 DŮLEŽITÁ SOUHVĚZDÍ, VIDITELNOST SOUHVĚZDÍ PODLE ROČNÍCH DOB

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



V kapitole jsou postupně představena všechna základní souhvězdí pozorovatelná v průběhu celého roku ze severní polokoule. Jsou rozdělena podle jejich viditelnosti v jednotlivých ročních obdobích.

---

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámit se se základními souhvězdími
  - Pochopit změny viditelnosti jednotlivých souhvězdí
  - Získat základní dovednosti orientace na hvězdné obloze
- 

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

---

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Souhvězdí, viditelnost souhvězdí podle ročních dob, obtočnová souhvězdí, ekliptikální souhvězdí.

---

### 7.1 Orientace na obloze

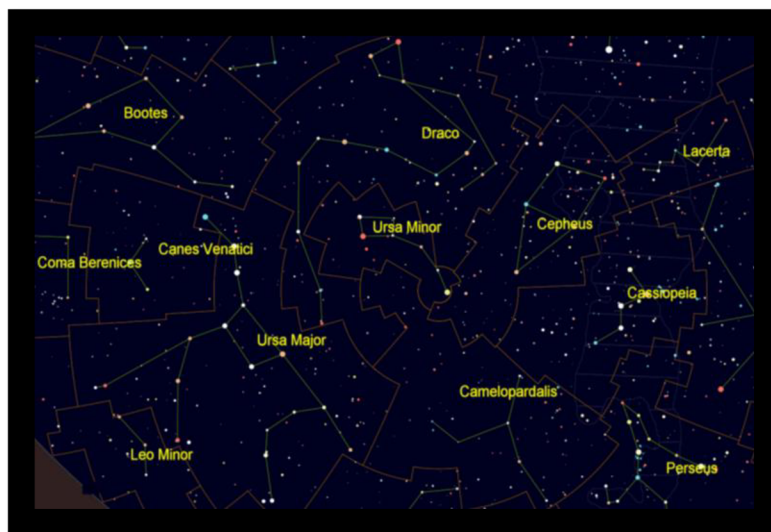
Pokud se rozhodneme systematicky pozorovat oblohu, je vhodné si najít pozorovací stanoviště. V našich zeměpisných šířkách je to vždy stanoviště na mírném svahu směrem k jihu s co nejlepším výhledem na celý obzor a co nejdále od rušivého osvětlení.

Při pohledu na noční oblohu pouhým okem budeme schopni pozorovat jen objekty do hvězdné velikosti 5 až 6,5 magnitud, podle aktuálního stavu atmosféry.

Pohyb objektů po obloze závisí na zeměpisné šířce, na pólech je denní pohyb astronomických objektů rovnoběžný s horizontem, na severní polokouli zůstává část hvězdné oblohy nad obzorem stále, denní pohyb objektů mimo tuto cirkumpolární oblast se děje po „šikmých“ drahách. Na rovníku pak všechny objekty na hvězdné obloze vycházejí a zapadají a denní pohyb se děje po drahách kolmých k horizontu.

### 7.1.1 OBTOČNOVÁ (CIRKUMPOLÁRNÍ) SOUHVĚZDÍ

Uvedme si ta nejdůležitější pro stanoviště na 50. rovnoběžce severní zeměpisné šířky.)



**Obrázek 10: Obtočnová souhvězdí Velká medvědice, Malý medvěd, Kasiopeja, Kefeus, Drak .<sup>10</sup>**

### 7.1.2 VIDITELNOST SOUHVĚZDÍ PODLE ROČNÍCH DOB

Jestliže se zaměříme na viditelnost souhvězdí v průběhu roku, pak je můžeme rozdělit do čtyř skupin, kdy každá z nich je dominantní v daném ročním období v první polovině noci.

#### **JARNÍ SOUHVĚZDÍ**

**Rak, Lev, Panna, Pastýř, Severní koruna, Vlasy Bereniky, Malý lev, Havran, Pohár, Hydra**

---

<sup>10</sup> Zdroj program Cartes du Ciel





Poloha planet se mění s časem a obecně lze vymezit, že vždy je nalezneme úhlově blízko rovině ekliptiky, která na jaře prochází souhvězdími **Raka, Lva a Panny**.

### LETNÍ SOUHVĚZDÍ

**Labuť, Lyra, Orel, Lištička, Delfín, Šíp, Koníček, Herkules, Hadonoš, Had, Váhy, Štír, Střelec**



Poloha planet se mění s časem a obecně lze vymezit, že vždy je nalezneme úhlově blízko rovině ekliptiky, která prochází v létě souhvězdími **Štíra, Hadonoše, Střelce a Kozoroha**.

## **PODZIMNÍ SOUHVĚZDÍ**

**Pegas, Andromeda, Perseus, Ryby, Velryba**



## **ZIMNÍ SOUHVĚZDÍ**

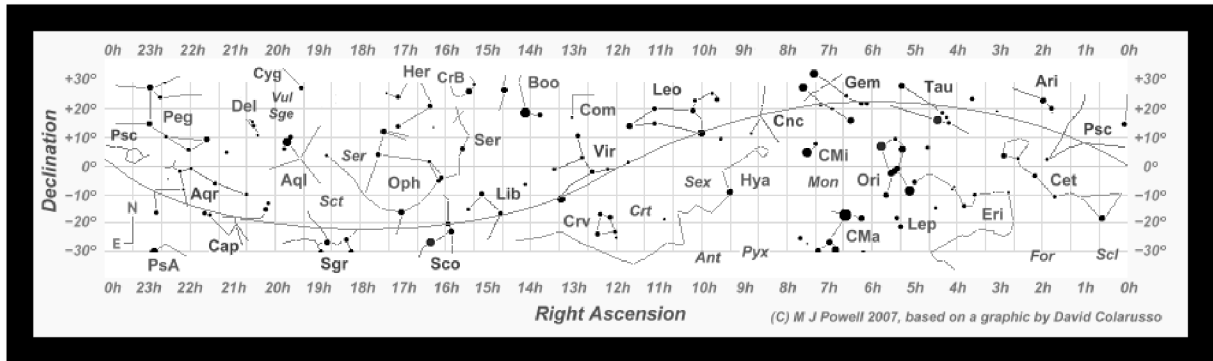
**Orion, Býk, Blíženci, Vozka, Malý pes, Velký pes**



### 7.1.3 EKLIPTIKÁLNÍ SOUHVĚZDÍ

Souhvězdí, kterými prochází rovina ekliptiky, nazýváme *ekliptikální* a patří k nim:

**Beran, Býk, Blíženci, Rak, Lev, Panna, Váhy, Štír, Hadonoš, Střelec, Kozoroh, Vodnář, Ryby**



Obrázek 11: Schéma všech ekliptikálních souhvězdí. <sup>11</sup>

#### BERAN

Jedná se o plošně menší souhvězdí. Nejjasnější hvězdou je Hamal, hvězda Mesarthim ( $\gamma$  Ari) je ve skutečnosti dvojhvězda.

#### BÝK

Velmi výrazné a plošně rozsáhlé souhvězdí, nejjasnější hvězdou je Aldebaran, z dalších objektů jsou zajímavé otevřené hvězdokupy Hyády a Plejády nebo pozůstatek po výbuchu supernovy, M 1 – Krabí mlhovina.

#### BLÍŽENCI

Plošně středně velké zimní souhvězdí s dvojicí jasných hvězd – Castor a Pollux, v tomto souhvězdí se nalézá planetární mlhovina Eskymák a otevřená hvězdokupa M 35.

#### RAK

Menší, nenápadné souhvězdí, které obsahuje málo jasných hvězd, nachází se zde otevřená hvězdokupa M 44 (Jesličky)

<sup>11</sup> Zdroj <http://www.nakedeyepanets.com/star-chart-lab-print-friendly.png>

## **LEV**

Dominantní souhvězdí s mnoha jasnými hvězdami, nejjasnější hvězdou je Regulus a za zmínku stojí také dvojhvězda Algieba ( $\gamma$  Leonis) nebo spirální galaxie M 66 a M 65.

## **PANNA**

Výrazné a plošně velké souhvězdí s nejjasnější hvězdou Spicou, kromě nádherných spirálních galaxií M 87 a M 104 se ve směru tohoto souhvězdí nalézají vzdálené kupy galaxií.

## **VÁHY**

Méně výrazné ekliptikální souhvězdí, původně bylo součástí souhvězdí Štíra,  $\alpha$  Lib (Zubenelgenubi) je dvojhvězda a  $\beta$  Lib (Zubenelschemali) je nejjasnější hvězdou souhvězdí.

## **ŠTÍR**

Plošně jej řadíme mezi větší letní souhvězdí, ale z našeho území není pozorovatelné celé. Nejjasnější hvězdou je Antares, dále se v jeho směru nalézají otevřené hvězdokupy M 6 a M 7.

## **HADONŮŠ**

Plochou rozsáhlé letní souhvězdí, nejjasnější hvězdou je Ras Alhague a v tomto souhvězdí se nachází také Barnardova hvězda, která má největší hodnotu vlastní pohybu. Za pozornost stojí také kulové hvězdokupy M 10, M 12 a M 62.

## **STŘELEC**

Větší letní souhvězdí, které od nás není pozorovatelné celé a kterým prochází Mléčná dráha. Obsahuje velký počet zajímavých objektů, například mlhoviny Laguna, Omega, Trifid nebo otevřené hvězdokupy M 21, M 24 či kulovou hvězdokupu M 28.

## **KOZOROH**

Poměrně nevýrazné souhvězdí viditelné v létě a na podzim, jeho alfa je optickou dvojhvězdou a nachází se v něm kulová hvězdokupa M 30.

## **VODNÁŘ**

Poměrně rozsáhlé souhvězdí, ale obsahuje málo jasných hvězd. Z objektů zde nalezneme kulové hvězdokupy M 2 a M 72 nebo planetární mlhoviny Slimák či Saturn.

## RYBY

Rozlohou je to sice větší podzimní souhvězdí, ale obsahuje málo jasných hvězd. Nejjasnější hvězda ( $\alpha$  Psc) se jmenuje Al Rischa.

### SHRNUTÍ KAPITOLY



V našich zeměpisných šířkách je možné rozdělit hvězdnou oblohu na část, která je viditelná během celého roku (obtočnová souhvězdí) a na část, která je v noci nad obzorem jen určitou část roku. Kromě toho je možné ze všech 88 souhvězdí vyčlenit ta, kterými prochází rovina ekliptiky. Těchto 13 ekliptikálních souhvězdí je v kapitole představeno podrobněji.

---

### KONTROLNÍ OTÁZKY



1. Uveďte alespoň pět obtočnových souhvězdí (pro pozorovací stanoviště v ČR).
  2. Jaká jsou výrazná souhvězdí pozorovatelná na podzim?
  3. Jaká jsou výrazná souhvězdí pozorovatelná v zimě?
  4. Napište seznam ekliptikálních souhvězdí v pořadí, jak jimi v průběhu roku prochází Slunce.
-

## 8 SOUHVĚZDÍ PODZIMNÍ A ZIMNÍ OBLOHY



### **RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY**

Kapitola obsahuje podrobný přehled souhvězdí, která jsou od nás viditelná na podzim a v zimě.

---



### **CÍLE KAPITOLY**

- Znalost podzimních a zimních souhvězdí
- 



### **ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU**

2 hodiny

---



### **KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY**

Souhvězdí, objekty, ekliptika.

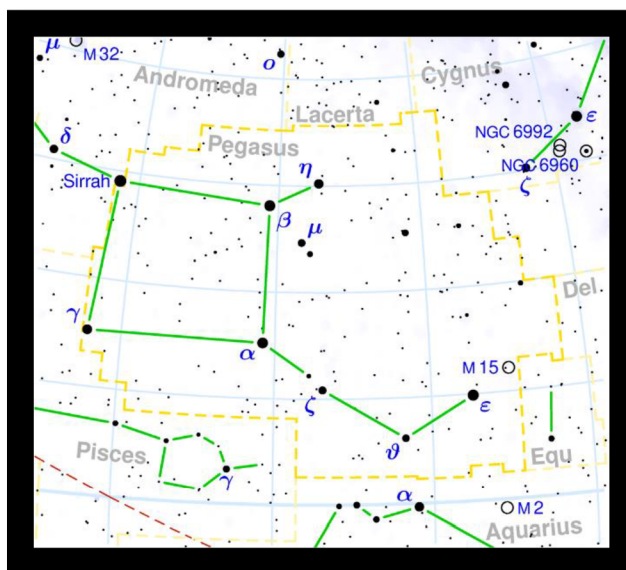
---

### 8.1 Podzimní souhvězdí

**Přehled: Pegas, Andromeda, Perseus, Ryby, Velryba**

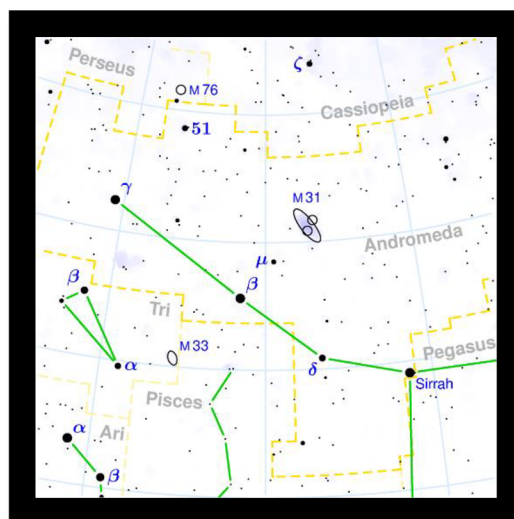
#### **PEGAS**

Tři jeho jasné hvězdy a jedna z Andromedy tvoří tzv. Pegasův čtverec, orientační útvar podzimní oblohy, jeho nejjasnější hvězdou je Enif a za pozornost stojí také kulová hvězdokupa M 15.



## ANDROMEDA

Nejjasnější hvězdou je Sirrah, hvězda Alamak je dvojhvězda a v souhvězdí se nalézají také galaxie M 31, což je vůbec nejbližší spirální galaxie naší Galaxie.

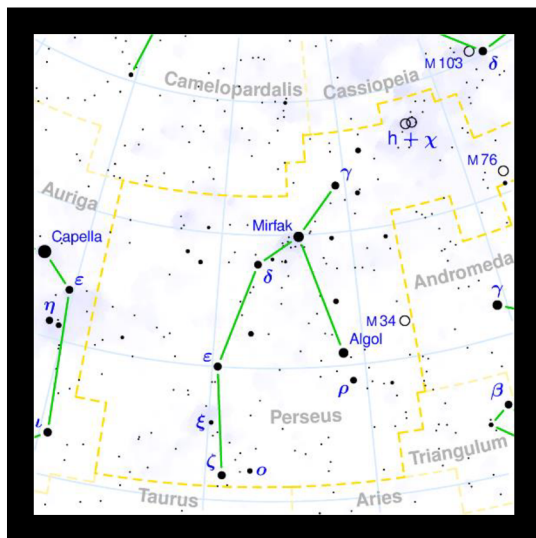


## PERSEUS

Nejjasnější hvězdou tohoto souhvězdí je Algenib, zajímavá je jedna z prvních systematicky pozorovaných proměnných hvězd – Algol. Z astronomických objektů zde nalezneme

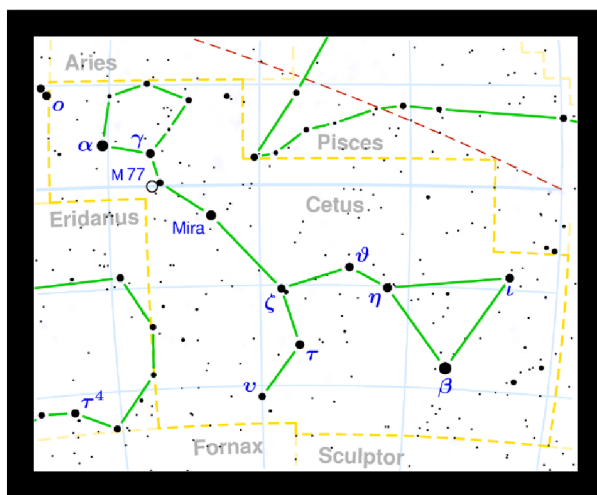
## Souhvězdí podzimní a zimní oblohy

otevřené hvězdokupy „chi“ a „h“ Persei a do souhvězdí se promítá radiant patrně nejznámějšího meteorického roje (Perseidy).



## VELRYBA

Je to čtvrté plošně největší souhvězdí, nachází se v něm proměnná hvězda Mira nebo také galaxie M 77



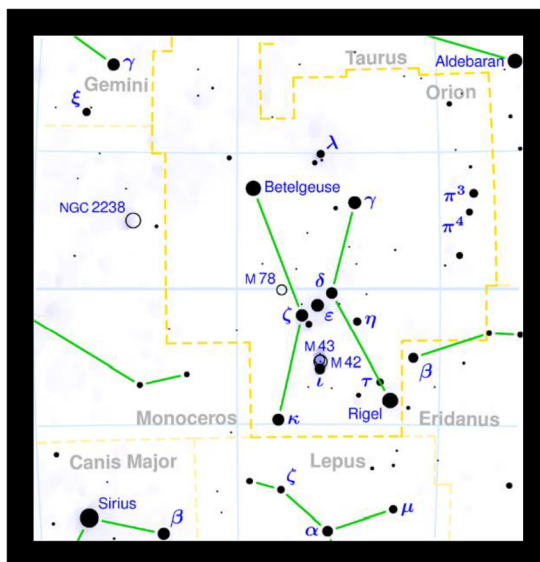
## 8.2 Zimní souhvězdí

Přehled: Orion, Býk, Blíženci, Vozka, Malý pes, Velký pes



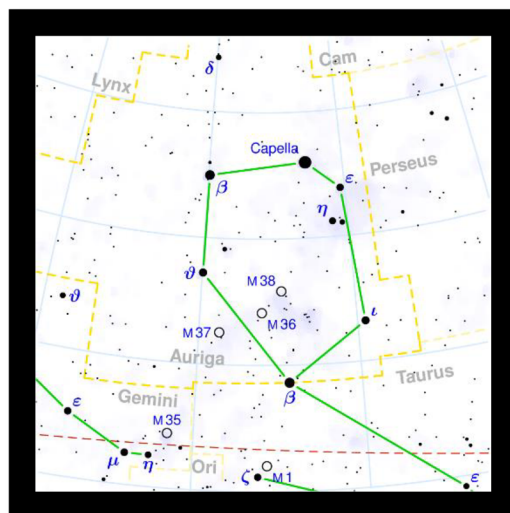
## ORION

Souhvězdí velmi bohaté na jasné hvězdy, prochází jím rovina světového rovníku. Nejjasnější hvězdou je Rigel a velmi známým objektem je Velká mlhovina v Orionu – M 42, která je jednou z nejbližších oblastí, ve které vznikají hvězdy.



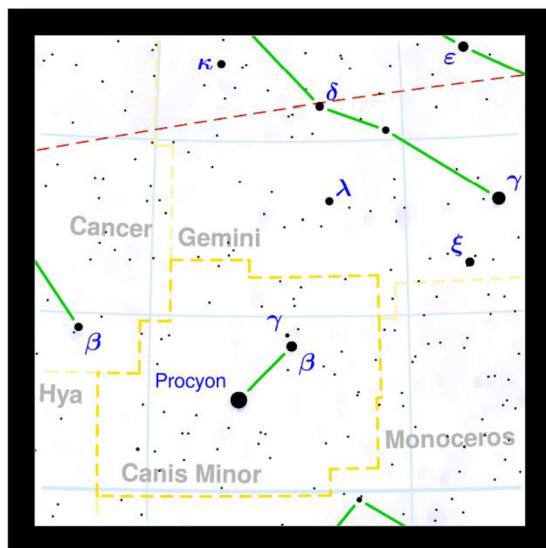
## VOZKA

Tímto souhvězdím prochází Mléčná dráha, jeho nejjasnější hvězdou je Capella a za pozornost stojí také otevřená hvězdokupa M 36.



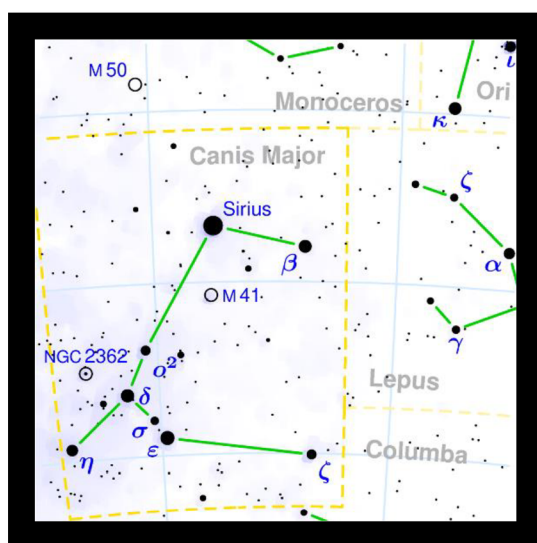
## MALÝ PES

Plošně se jedná o velmi malé souhvězdí, jeho nejjasnější hvězdou je Procyon a nenacházejí se zde žádné objekty Messierova katalogu.



## VELKÝ PES

Jedná se o plošně menší souhvězdí. Nejjasnější hvězdou je Sirius, je to po Slunci vůbec nejjasnější hvězda, kterou můžeme ze Země pozorovat. Je od nás vzdálen pouze 9 světelných let a jedná se vlastně o dvojhvězdu (druhou složkou je bílý trpaslík). Za pozornost stojí také otevřená hvězdokupa M 41.



## SHRNUTÍ KAPITOLY



V této kapitole jsou podrobněji představena některá souhvězdí viditelná u nás na podzim a v zimě.

---

## KONTROLNÍ OTÁZKY A ÚKOLY



1. Uveďte hlavní podzimní souhvězdí a výrazné objekty, které se v nich nacházejí.
  2. Uveďte hlavní zimní souhvězdí a výrazné objekty, které se v nich nacházejí.
-

## 9 POHYB TĚLES VE SLUNEČNÍ SOUSTAVĚ



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Sluneční soustava představuje nejlépe prozkoumanou část vesmíru. V kapitole jsou shrnuty zákonitosti, které se týkají pohybu těles ve sluneční soustavě. Je diskutována pozorovatelnost planet ze Země a význačné polohy, které vycházejí z geometrického uspořádání jednotlivých těles a stanoviště pozorovatele.

---



### CÍLE KAPITOLY

- Umět určit pozorovatelnost planet
  - Seznámit se s dráhovými elementy těles ve sluneční soustavě
  - Znat Keplerovy zákony
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Opozice, konjunkce, elongace, Keplerovy zákony pohybu planet, dráhové elementy, retrográdní pohyb.

---

### 9.1 Opozice, konjunkce, elongace

Planeta Země obíhá kolem Slunce v rovině ekliptiky, jež svírá s rovinou světového rovníku úhel  $\varepsilon = 23^{\circ}27'$ . Takže pro pozorovatele, který se nachází na povrchu Země se

Slunce během roku po hvězdné obloze pohybuje právě po ekliptice. Samotný pohyb planet po hvězdné obloze v průběhu roku je mnohem složitější a rozlišujeme některé významné polohy:

- 1) **konjunkce**
- 2) **opozice**
- 3) **největší elongace**

**Konjunkce** dvou těles nastává při shodné rektascenzi dvou objektů, u tzv. vnitřních planet (Venuše, Merkur) rozlišujeme konjunkci dolní (planeta je mezi Zemí a Sluncem) a horní konjunkci v opačném případě.

**Opozice** dvou těles nastává v okamžiku, kdy se jejich rektascenze liší o  $180^\circ$ , je to nejpříznivější poloha k pozorování ze zemského povrchu, protože těleso v opozici se Sluncem kulminuje pro dané pozorovací stanoviště o půlnoci. Takové geometrické uspořádání nemůže nastat pro vnitřní planety.

**Maximální elongace** je největší úhlová vzdálenost od Slunce, které dosáhne některá z vnitřních planet.

**Kvadratura** nastává pouze pro vnější planety a je definována jako elongace  $90^\circ$  od Slunce.

Pro pozorovatele na povrchu pohybující se Země tvoří dráhy planet na hvězdné obloze v průběhu roku jakési „smyčky“, což je výsledek skládání pohybů pozorovatele (Země) a planety. Za **siderickou periodu** označujeme jeden oběh planety kolem Slunce vzhledem ke hvězdám, **synodická perioda** je definována jako čas mezi dvěma po sobě následujícími konjunkcemi planety se Sluncem.

Pro vnitřní planety platí jednoduchý vztah  $T_{syn} = T_{sid}/(1 - T_{sid})$  a pro vnější planety pak  $T_{syn} = T_{sid}/(T_{sid} - 1)$ .

## 9.2 Keplerovy zákony pohybu planet

Podkladem pro Keplerovu formulaci tří empirických zákonů, které popisují pohyb těles ve sluneční soustavě, byla velmi přesná vizuální pozorování, která v 16. století učinil Tycho Brahe.

### 1. KEPLERŮV ZÁKON

**Planety se pohybují po elipsách od kruhů málo odlišných, v jejichž společném ohnisku je Slunce.**

Dráhami těles jsou kuželosečky, tedy většinou elipsy s malou excentricitou. K popisu excentricity zavádíme bezrozměrnou veličinu označovanou jako *numerická excentricita* a

platí vztah  $e = c/a$ , kde  $c$  je vzdálenost ohniska od středu elipsy, kdežto  $a$  je velikost velké poloosy. Například excentricita dráhy Země je 0,017 nebo dráhy Merkuru je 0,206.

## 2. KEPLERŮV ZÁKON

**Plochy opsané průvodičem planety za jednotku času jsou shodné.**

## 3. KEPLERŮV ZÁKON

**Dvojmoči dob oběhů mají se k sobě jako trojmoči velikých poloos.**

Což je možné matematicky zapsat jako:  $T_1^2/T_2^2 = a_1^3/a_2^3$

Přesné znění 3. Keplerova zákona však formuloval až Newton, který empirické zákony Keplera zdůvodnil fyzikálně a k jejich odvození využil svou formulaci obecnějšího zákona, kterým popsal gravitační působení těles:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \frac{(M+m_1)}{(M+m_2)},$$

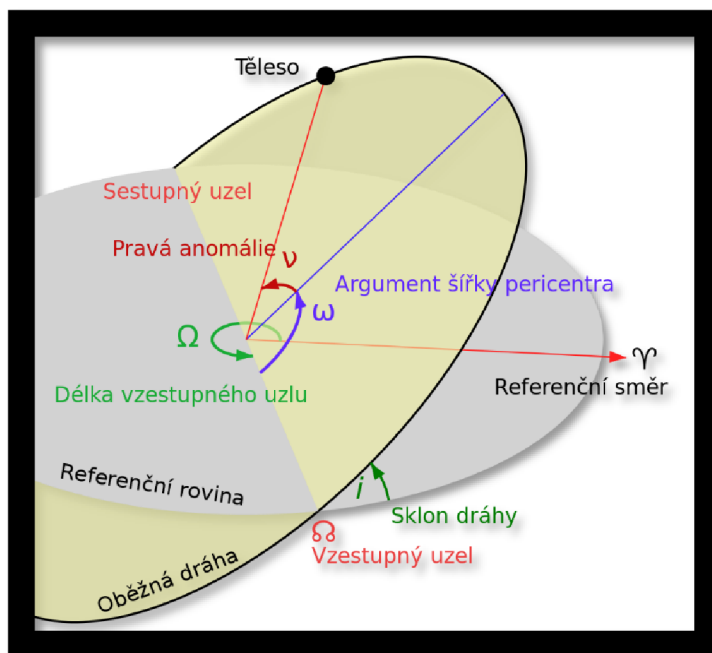
kde  $M$  je hmotnost Slunce,  $m_1$  a  $m_2$  jsou hmotnosti planet, je tedy zřejmé, že pro hodnoty  $m_{1,2} \ll M$  je možno druhý člen na pravé straně rovnice zanedbat.

## DRÁHOVÉ ELEMENTY

Pohyb tělesa v gravitačním poli Slunce je možné jednoznačně popsat dráhovými elementy, kterých je celkem sedm, ale šest z nich je nezávislých.

Velikost a tvar dráhy je určen velikostí velké poloosy ( $a$ ) a hodnotou excentricity ( $e$ ). Orientace roviny dráhy v prostoru je definována hodnotou sklonu dráhy ( $i$ ) a délkou výstupného uzlu ( $\Omega$ ). Orientaci dráhy v této rovině pak udává argument perihelia ( $\omega$ ) a polohu tělesa na dráze pak definuje okamžik průchodu perihéliem ( $T$ ). Sedmým, závislým dráhovým elementem je perioda oběhu ( $P$ ).

Jako *uzlová přímka* se označuje spojnice výstupného a sestupného uzlu, *přímka apsid* je definována jako spojnice perihélia a afélia.



**Obrázek 12: Jednoznačný popis polohy tělesa ve sluneční soustavě – dráhové elementy.**<sup>12</sup>

## SHRNUTÍ KAPITOLY



V kapitole jsou uvedeny Keplerovy zákony popisující pohyb těles ve sluneční soustavě. Rovněž jsou definovány dráhové elementy, které jednoznačně popisují polohu tělesa ve sluneční soustavě v prostoru.

## KONTROLNÍ OTÁZKY



1. Uveďte původní znění všech tří Keplerových zákonů.
2. Uveďte všechny dráhové elementy.

<sup>12</sup> Zdroj [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elementy\\_dr%C3%A1hy#/media/File:Orbit1\\_cs.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elementy_dr%C3%A1hy#/media/File:Orbit1_cs.svg)

## 10 ASTRONOMICKÉ PŘÍSTROJE



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V kapitole jsou představeny základní typy astronomických dalekohledů. Jsou definovány jejich charakteristiky a uveden přehled používaných montáží. Stručně jsou vysvětleny základní vlastnosti různých detektorů záření. Část kapitoly je věnována přehledu největších dalekohledů světa.

---



### CÍLE KAPITOLY

- Seznámení se s typy astronomických dalekohledů
  - Hlavní charakteristiky astronomické optiky
  - Získat přehled o různých typech montáží
  - Poznat základní typy detektorů záření
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Dalekohledy, refraktory, reflektory, užitečná zvětšení, optické vady, montáže, CCD kamery, spektroskopie.

---

### 10.1 Dalekohledy

Pozorování vesmíru bylo mnoho tisíc let možné pouze pouhýma očima, dalekohled byl vynalezen teprve na počátku 17. století a velmi brzy začal být využíván také k systematickému pozorování vesmíru. Jaké jsou jeho největší výhody?



- dalekohledy soustředí záření z mnohem větší plochy než naše oči,
- umožní lepší úhlové rozlišení,
- mají mírný přesah také do oblasti kratších i delších vlnových délek než odpovídá světelnému (vizuálnímu) oboru elektromagnetického záření,
- dávají možnost detektorem získat objektivní záznam pozorování, který lze archiovat.

Pokud bychom měli být přesní, je dnes je vhodnější označovat zařízení k pozorování vesmíru jako *pozorovací systémy*, které jsou složeny z několika částí:

1. dalekohled (reflektor, refraktor, katadioptrický dalekohled),
2. měřicí zařízení (fotoaparát, kamera, spektrograf, atp.),
3. detektor (oko, fotografická emulze, fotonásobič, CCD, atp.).

Samotný dalekohled se skládá z hlavního optického prvku – *objektivu*, který vytváří obraz v *ohniskové rovině* (ohnisková vzdálenost) a takto vytvořený obraz si lze (mimo jiné) prohlížet jiným optickým prvkem – *okulárem* (lupa). Při pozorování dalekohledem se obecně jedná vždy buď o *zobrazování*, kdy nás zajímá pozice nebo vzhled nějakého astronomického objektu nebo o některý z různých druhů *fotometrie*, kdy provádíme měření vlastností záření přicházejícího od astronomických objektů.

## CHARAKTERISTIKY DALEKOHLEDU

Každý optický dalekohled je možné popsat několika parametry:

- průměr hlavního objektivu (vstupní pupily)  $D$
- ohnisková vzdálenost  $f$
- světelnost dalekohledu:  $f/D$
- zvětšení:  $f_{obj} / f_{okul}$
- velikost zorného pole

### Úhlové rozlišení

Ani bodový světelný zdroj se v ohniskové rovině dalekohledu nezobrazí jako bod, ale jako kruhový difrakční obraz – tzv. Airyho disk. Touto vlastností je definováno maximální úhlové rozlišení dalekohledu (*difrakční limit*):

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D},$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka a  $D$  průměr dalekohledu. Tato hodnota úhlového rozlišení je však v praxi nedosažitelná, protože atmosférický seeing mívá vyšší hodnotu.

## 10.2 Vady optiky

Žádný optický systém, tedy ani dalekohled, nemá fyzikálně ideální vlastnosti. Nedokonalosti při zobrazování popisují a kvantifikují tzv. *optické vady*. Jejich popis je mimo rozsah tohoto úvodního předmětu, zájemci o tuto problematiku mohou naléznout velmi dobře zpracovaný text o vadách optiky zde: <http://posec.astro.cz/index.php/clanky/teorie/21-opt-basic/26-hodnoceni-optickych-pristroju-1-opticke-vady>.

## 10.3 Montáže

Optická část dalekohledu je umístěna v pevné konstrukci, kterou můžeme označit jako **tubus**, ale vzhledem k celkové hmotnosti astronomického dalekohledu je nutné vždy použít ještě další konstrukci, která umožní manipulaci s dalekohledem, jeho orientaci požadovaným směrem a také kompenzaci některých vlivů vyplývajících ze skutečnosti, že je dalekohled umístěn na povrchu Země. Takovou konstrukci (zařízení) označujeme jako **montáž** dalekohledu. Rozlišujeme několik základních typů montáží.

### AZIMUTÁLNÍ MONTÁŽ

Dalekohled na azimutální montáži je umístěn v konstrukci, která je pohyblivá kolem dvou na sebe kolmých os. Jestliže chceme sledovat objekt na obloze a korigovat tak vliv zemské rotace, musíme dalekohledem otáčet kolem obou os (různou rychlostí) této montáže. Příkladem takové montáže je běžný stativ s vidlicí nebo Dobsonova montáž. Azimutální montáže jsou využívány zejména u velkých dalekohledů, protože jejich celková hmotnost je mnohem menší než u jiných konstrukcí. Přesné sledování objektů, stejně jako přesný nasměrování dalekohledu na požadovaný objekt je řešeno s využitím výpočetní techniky.

### PARALAKTICKÁ MONTÁŽ

Konstrukce paralaktické montáže využívá skutečnosti, že pokud zvolíme jednu osu montáže rovnoběžnou s osou zemské rotace, tak potom ke korekci vlivů rotace Země stačí dalekohledem rovnoměrně otáčet v opačném směru pouze kolem této osy. Samotné nastavení orientace montáže je tedy složitější a závisí na zeměpisné šířce pozorovacího stanoviště.

**Německá montáž** – technická varianta paralaktické montáže, kdy je hmotnost tubusu kompenzována protizávažím.

**Vidlicová montáž** – varianta paralaktické montáže, kdy je tubus dalekohledu upevněn v těžišti jedním či dvěma rameny vidlice.

## HISTORICKÝ VÝVOJ

Vývoj astronomické pozorovací techniky se odehrával v etapách, které je možné charakterizovat různými technologiemi. Nejprve, v podstatě již od 17. století se zvětšovaly průměry dalekohledů, až refraktory dosáhly limitujícího rozměru (102 cm), protože optické plochy větších čoček se bortily vlastní hmotností.

Následovala mnoho desetiletí trvající etapa, kdy došlo k rozvoji reflektorů na bázi monolitického skleněného primárního zrcadla. Limitní velikosti této technologie představují dalekohledy na Mt. Palomaru (Halleův teleskop, cca 5 m) nebo ruské observatoři Zelenčukskaja (BTA, 6 m).

Větší monolitická zrcadla nebyla z technologických důvodů vyráběna, protože se odehrál „technologický zlom“ umožňující použití tenkých nebo segmentovaných primárních zrcadel. Navíc průměr primárního zrcadla přestal být jediným určujícím parametrem kvality aparatury, začala rozhodovat kvalita polovodičových (většinou CCD) detektorů.

Další etapou je vznik a financování velmi náročných projektů vysílání observatoří na oběžnou dráhu kolem Země (např. HST a další). Takové řešení je velmi nákladné, byť odstraňuje 100 % potíží při pozorování, které způsobuje zemská atmosféra a povětrnostní podmínky. Do budoucna se bude využívat patrně jen pro pozorování vesmíru v neoptických částech spektra.

Rozvoj technologií korekce obrazu přispěl k tomu, že průměr ani detektor nejsou rozhodujícími parametry, ale záleží na technologii úpravy obrazu označované jako *adaptivní optika*. Nastala znovu doba, kdy pozemské observatoře opět mohou konkurovat těm kosmickým a jejich stavba i provoz je mnohonásobně levnější.

## POROVNÁNÍ VELIKOSTÍ DALEKOHLEDŮ

Pro lepší představu si zavedme netradiční jednotku pro velikost dalekohledu. Místo lineárního průměru můžeme plochu hlavního zrcadla (nebo čočky) vyjádřit relativně k ploše lidského oka. Pak Galileo měl dalekohled odpovídající ploše 25 očí, Yerkesův má 16 kiloočí, lord Rosse 52 kiloočí, Mt. Wilson 100 kiloočí, Mt. Palomar 400 kiloočí a třeba HST jen 90 kiloočí.

## 10.4 Největší dalekohledy světa

### VERY LARGE TELESCOPE

Soustava čtyř teleskopů, každý s průměrem 8,2 m (4,2 megaočí), provozuje jej ESO, je umístěn na Cerro Paranal, mohou fungovat také jako interferometr, optická soustava Ritchey-Chretien (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ritchey-Chr%C3%A9tien>), azimutální montáž.

### KECKOVY DALEKOHLEDY

Dvojice dalekohledů, každý s ekvivalentním průměrem 9,82 m (3,06 megaočí), provozuje Caltech, je umístěn na Mauna Kea (dokončení 1991 a 1996), optická soustava Ritchey-Chretien (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ritchey-Chr%C3%A9tien>), hlavní zrcadlo je tvořeno 36 hexagonálními segmenty, azimutální montáž, hmotnost 300 tun.

### LARGE BINOCULAR TELESCOPE

Binokulární dalekohled, každá část o průměru 8,4 m (2,2 megaočí), provozuje jej celkem 12 partnerů z USA, Itálie a Německa. Umístěn je na Mt. Graham (první světlo 2008), optická soustava Gregory ([https://en.wikipedia.org/wiki/Gregorian\\_telescope](https://en.wikipedia.org/wiki/Gregorian_telescope)), azimutální montáž, hmotnost 350 tun.

### GRAN TELESCOPIO CANARIAS

Teleskop s ekvivalentním průměrem hlavního zrcadla 10,4 m (1,7 megaočí), provozuje jej Španělsko a partneři, je umístěn na ostrově La Palma (Kanárské ostrovy) a byl uveden do provozu v roce 2009, optická soustava Ritchey-Chretien (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ritchey-Chr%C3%A9tien>), hlavní zrcadlo je tvořeno 36 hexagonálními segmenty, azimutální montáž.

### HOBBY – EBERLY TELESCOPE

Dalekohled zvláštní konstrukce s ekvivalentním průměrem 9,1 m (1,3 megaočí), je provozován pěticí univerzit USA a Německa, nachází se na Mount Fowlkes (Texas) a byl uveden do provozu v roce 1997, segmentové zrcadlo má sférický tvar a montáž umožňuje pohyb pouze v azimutu, výška je fixní (55°), nízká hmotnost 100 tun.

### SOUTHERN AFRICAN LARGE TELESCOPE

Má průměr asi 10 m (1,5 megaočí), je to vlastně „dvojče“ dalekohledu HET, nachází se v Sutherlandu (JAR) a byl dokončen v roce 2005

## SUBARU

Tento dalekohled má průměr 8,2 m (1,05 megaočí), vlastníkem je Japonsko a je umístěn na Mauna Kea (Havajské ostrovy), byl dokončen v roce 1999, optická soustava Ritchey-Chretien (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ritchey-Chr%C3%A9tien>), azimutální montáž, hmotnost 500 tun, technickým unikátem je řešení, kdy s dalekohledem se v azimutu pohybuje (rotuje) celá budova.

## GEMINI (SEVER)

Hlavní zrcadlo má průměr 8,1 m (1,02 megaočí), nachází se na Mauna Kea (Havajské ostrovy) a byl dokončen v roce 2000, optická soustava Ritchey-Chretien (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ritchey-Chr%C3%A9tien>), azimutální montáž a hmotnost 342 tun.

## GEMINI (JIH)

Teleskop je technicky shodný s Gemini (sever), tedy hlavní zrcadlo má průměr 8,1 m (1,02 megaočí), spravuje jej konsorcium AURA a je umístěn od roku 2001 na Cerro Pachón (Chile), optická soustava Ritchey-Chretien (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ritchey-Chr%C3%A9tien>), azimutální montáž a hmotnost 342 tun.

## MAGELLAN

Jedná se o dvojici dalekohledů umístěných ve stejné lokalitě, každý o průměru hlavního zrcadla 6,5 m (1,3 megaočí), provozuje je USA v Las Campanas (Chile), byly dokončeny v roce 2002, optická soustava Cassegrain ([https://en.wikipedia.org/wiki/Cassegrain\\_reflector](https://en.wikipedia.org/wiki/Cassegrain_reflector)), azimutální montáž s celkovou hmotností jednoho dalekohledu 130 tun.

## PŘEHLED VELKÝCH DALEKOHLEDŮ

Aktuální přehled největších dalekohledů je zde: <http://astro.nineplanets.org/bigeyes.html>

## OBSERVATOŘE NA OBĚŽNÉ DRÁZE

Rozsáhlá problematika observatoří umístěných mimo zemskou atmosféru je mimo záběr tohoto úvodního kurzu, podrobnější informace si zájemci mohou zjistit na webových portálech jednotlivých projektů. Jmenujme jen ty nejvýznamnější: **IRAS**, **ISO**, **Spitzer Space Telescope**, **HST**, **Chandra** nebo **Compton**.

## DETEKTORY

Stručná rekapitulace vývoje detektorů záření (většinou světla) a jejich použití v astronomii:

- 1887 – astrofotografie
- 1940 – speciální emulze pro spektroskopii (Kodak)
- 1930 – použití fotoelektrických článků
- 1940 – fotonásobiče
- 1990 – CCD



## SHRNUTÍ KAPITOLY

Astronomické dalekohledy dělíme na refraktory a reflektory, případně soustavy využívající zrcadla i čočky zároveň. Každý dalekohled lze popsat několika fyzikálními charakteristikami, mezi které patří jeho průměr, ohnisková vzdálenost, zvětšení atp. Kromě samotného dalekohledu je k moderním astronomickým pozorováním potřebná také nosná konstrukce – montáž a také detektor záření se záznamovým zařízením. Na konci kapitoly je uveden stručný přehled největších dalekohledů a výčet používaných detektorů záření.

---



## KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaký je vztah pro difrakční limit daného dalekohledu?
  2. Jaké typy astronomických dalekohledů známe?
  3. Jaké detektory záření se používají při astronomických pozorováních?
  4. Jaké známe druhy montáží?
  5. Které jsou nejvýkonnější dalekohledy umístěné na povrchu Země?
-

## 11 SOUHVĚZDÍ JARNÍ A LETNÍ OBLOHY

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Kapitola obsahuje přehled souhvězdí, která jsou pozorovatelná z našich zeměpisných šířek na jaře a v létě.

---

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámit se s jarními a letními souhvězdími
- 

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

---

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



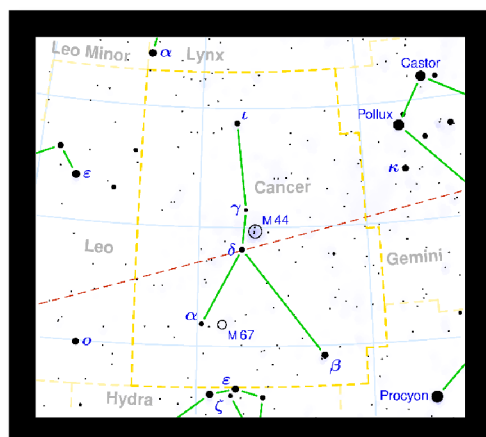
Souhvězdí, viditelnost souhvězdí v průběhu roku

---

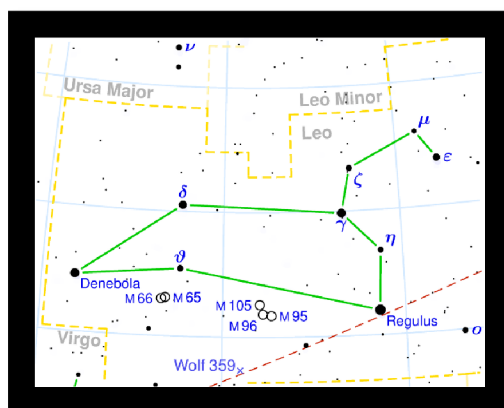
### 11.1 Jarní souhvězdí

**Přehled:** Rak, Lev, Panna, Pastýř, Severní koruna, Vlasy Bereniky, Malý lev, Havran, Pohár, Hydra

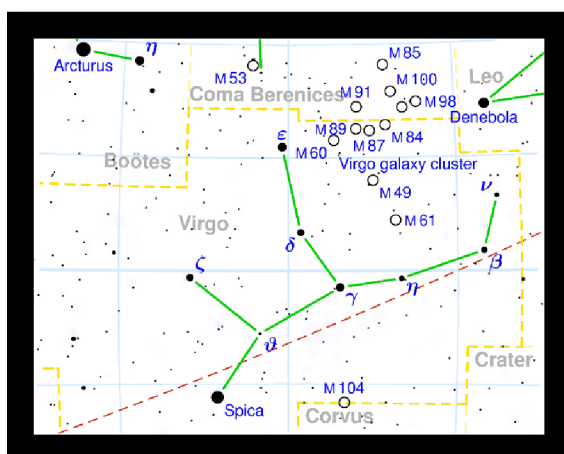
**RAK (CANCER)**



**LEV (LEO)**

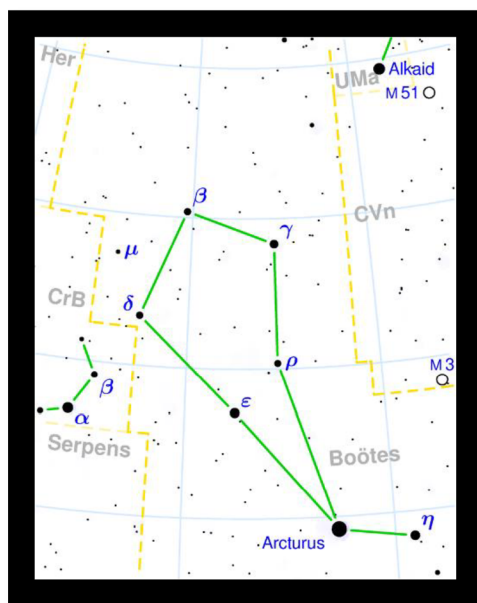


**PANNA (VIRGO)**

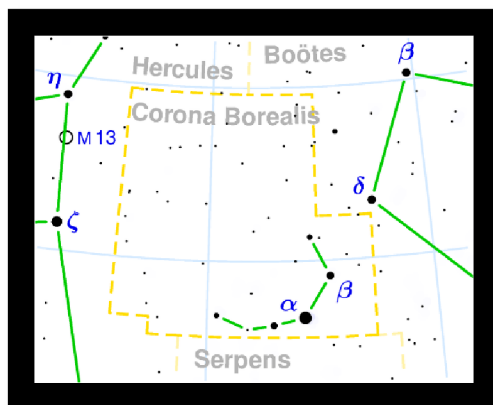




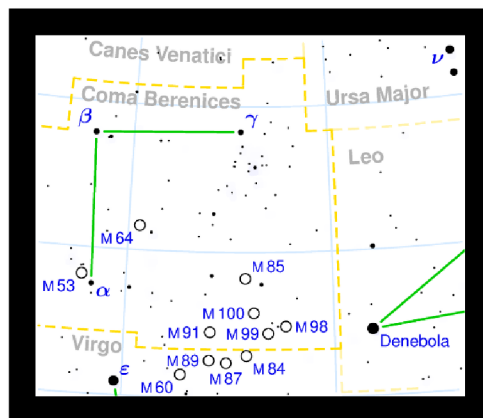
**PASTÝŘ (BOOTES)**



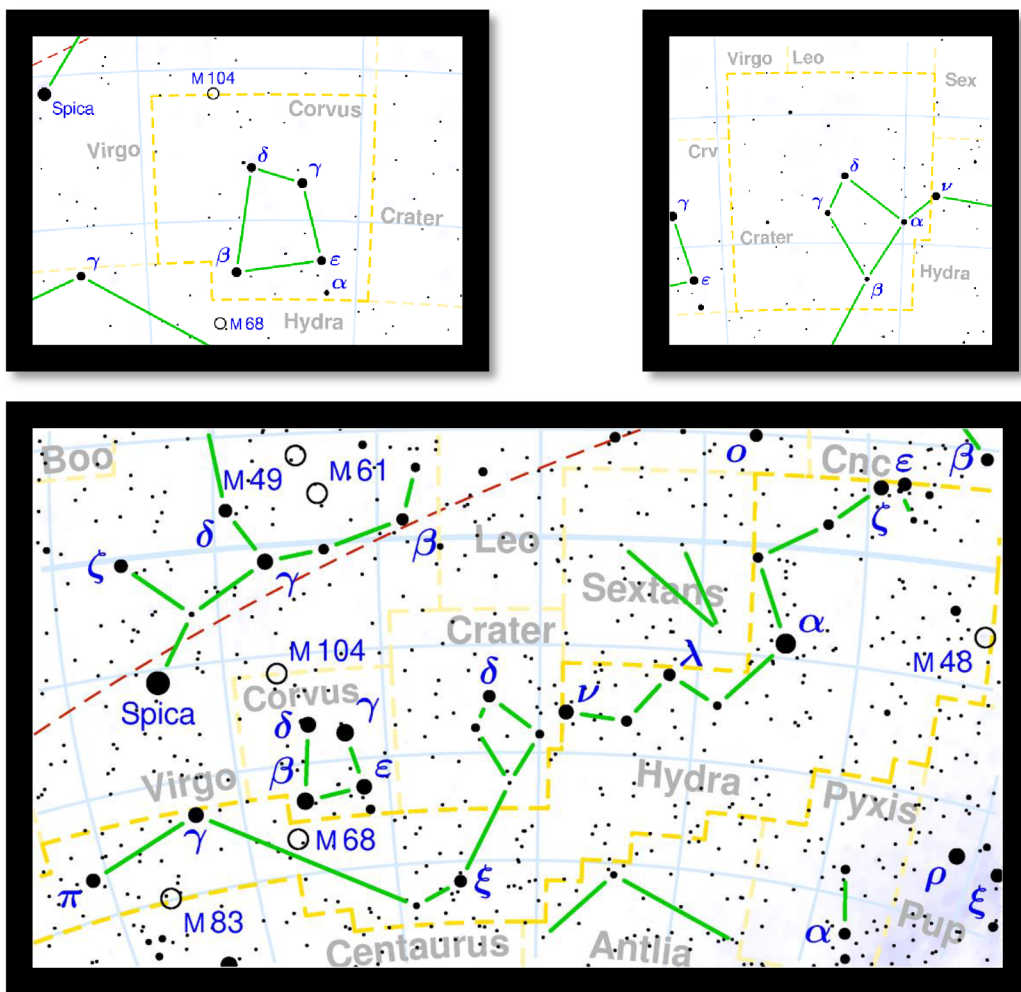
**SEVERNÍ KORUNA (CORONA BOREALIS)**



**VLASY BERENIKY (COMA BERENICES)**



**HAVRAN, POHÁR, HYDRA (CORVUS, CRATER, HYDRA)**



**POLOHA PLANET NA JAŘE**

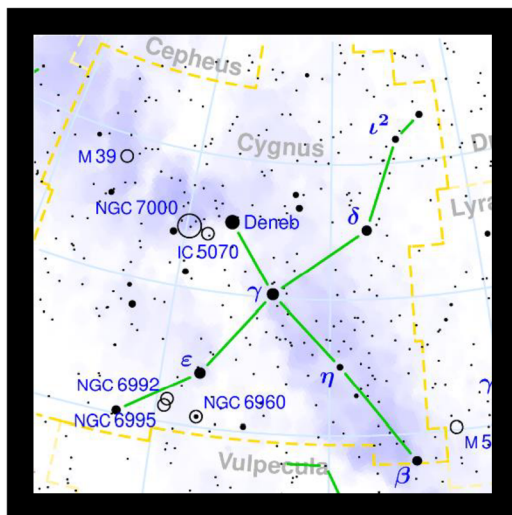
Rovina ekliptiky prochází souhvězdími Raka, Lva a Panny.



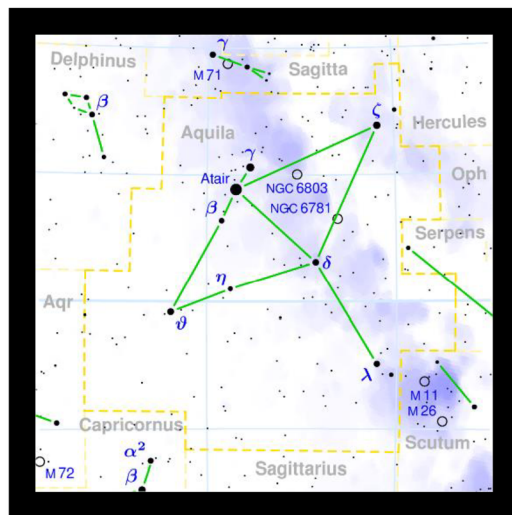
## 11.2 Letní souhvězdí

Přehled: Labuť, Lyra, Orel, Lištička, Delfín, Šíp, Koníček, Herkules, Hadonoš, Had, Váhy, Štír, Střelec

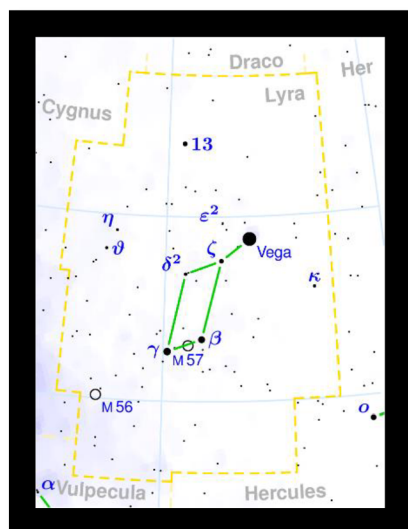
### LABUŤ (CYGNUS)



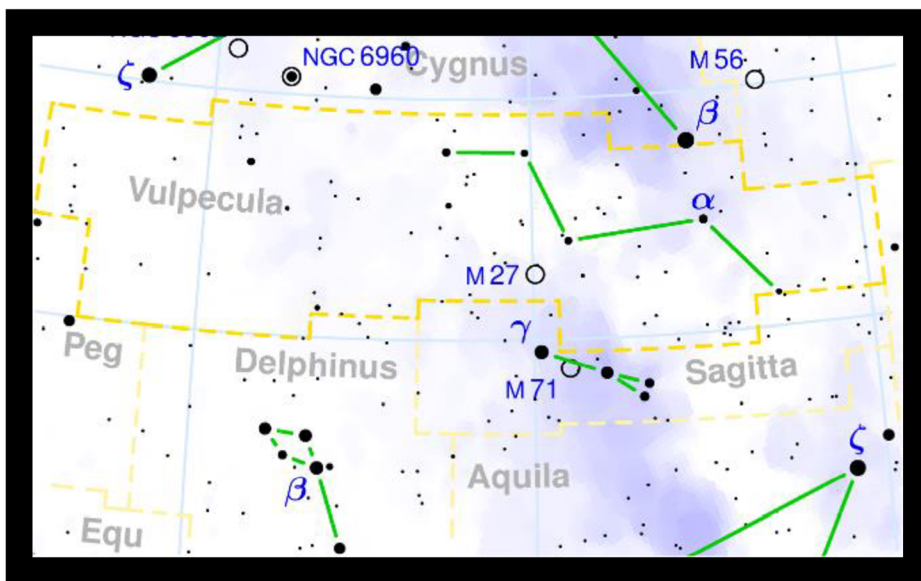
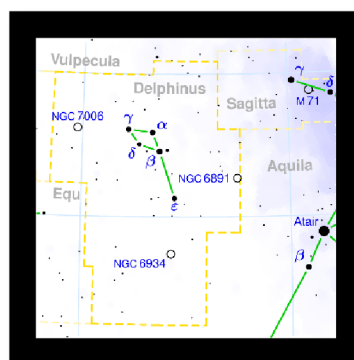
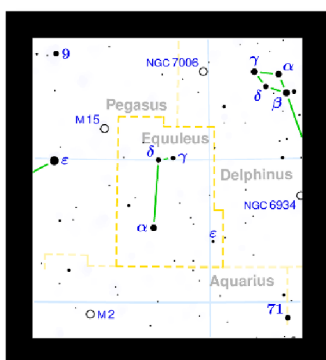
### OREL (AQUILA)



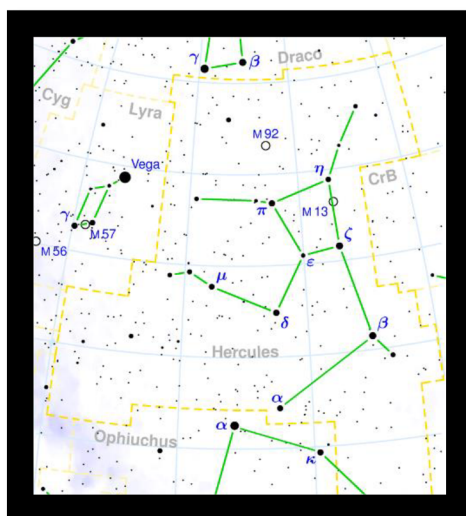
**LYRA (LYRA)**



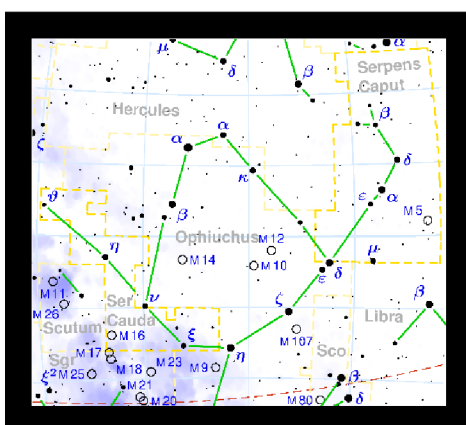
**LIŠTIČKA (VULPECULA), ŠÍP (SAGITTA), DELFÍN (DELPHINUS), KONÍČEK (EQUULEUS)**



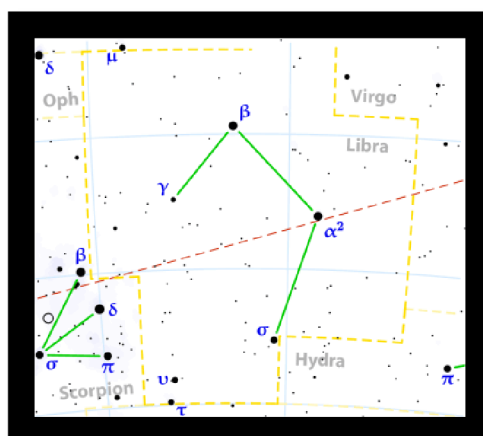
## HERKULES (HERCULES)



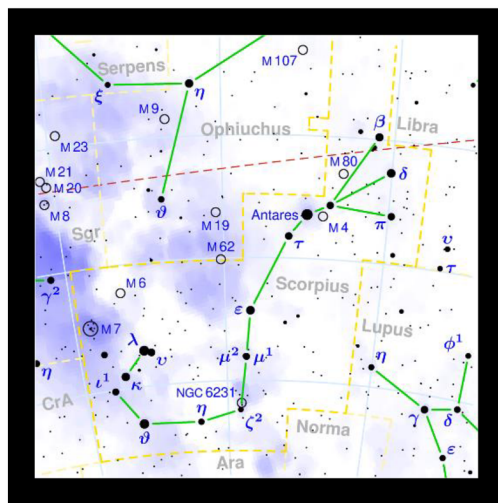
## HADONOŠ (OPHIUCHUS), HAD (SERPENS)



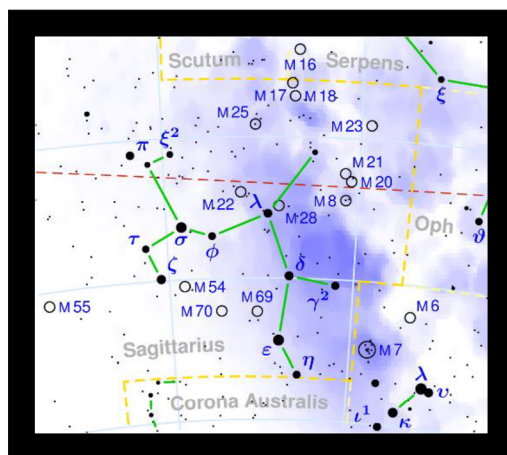
## VÁHY (LIBRA)



## ŠTÍR (SCORPIUS)

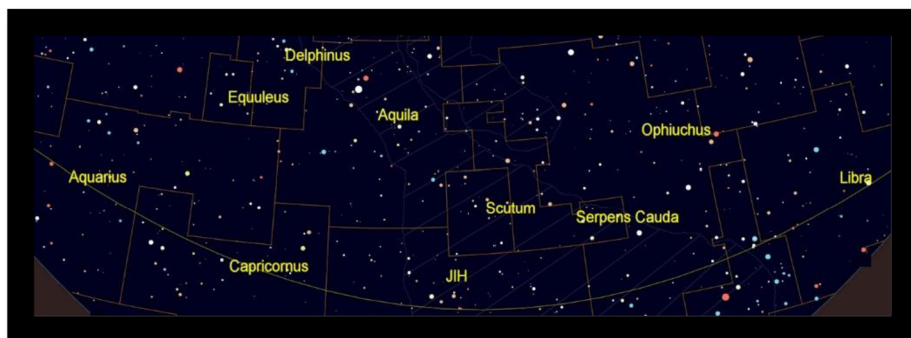


## STŘELEC (SAGITTARIUS)



## POLOHA PLANET V LÉTĚ

Rovina ekliptiky prochází souhvězdími Štíra, Hadonoše, Střelce a Kozoroha.



## SHRNUTÍ KAPITOLY



Kapitola je zaměřena na orientaci mezi letními souhvězdími.

---

## KONTROLNÍ OTÁZKY A ÚKOLY



1. Kterými souhvězdími prochází v létě rovina ekliptiky?
  2. Načrtněte hranice letních souhvězdí a jejich plochy označte českými i latinskými názvy.
-

## 12 PLANETY SLUNEČNÍ SOUSTAVY



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

V kapitole jsou definovány základní vlastnosti planet i dalších těles ve sluneční soustavě. Zároveň je uveden přehled fyzikálních vlastností jednotlivých planet

---



### CÍLE KAPITOLY

- Seznámení s faktografií naší planetární soustavy
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Planeta, trpasličí planeta, malá tělesa sluneční soustavy, přirozený satelit, dráha, hmotnost planety, rotace.

---

## 12.1 Sluneční soustava



### DEFINICE TĚLES VE SLUNEČNÍ SOUSTAVĚ

Planety a ostatní tělesa naší sluneční soustavy se dělí do tří kategorií následujícím způsobem:

**planeta** je nebeské těleso, které obíhá okolo Slunce, má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhne tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulatého) a vyčistilo okolí své dráhy,



**trpasličí planeta** je nebeské těleso, které obíhá okolo Slunce, má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhne tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulatého), nevyčistilo okolí své dráhy a není satelitem,

s výjimkou satelitů by všechny ostatní objekty obíhající okolo Slunce měly být označovány společným termínem „**malá tělesa sluneční soustavy**“.

---

### 12.1.1 POZOROVATELNOST PLANET

Planety a další tělesa v naší sluneční soustavě (kromě komet) se při pozorování z povrchu Země nacházejí vždy ve směru ekliptikálních souhvězdí (13) a jejich pozorovatelnost se v průběhu roku výrazně mění. Aktuální polohu planet je možné zjistit ve Hvězdářské ročence pro daný rok nebo také na některých webových portálech (<https://www.cal-sky.com/> )

### 12.1.2 MERKUR

Merkur byl v minulosti terčem nesmírného množství meteoritů. Malé srážky způsobily jednoduché kilometrové krátery ve tvaru mísy. Větší nárazy způsobily talířovité krátery s malým vrcholkem vyčnívajícím uprostřed. Spolu s nárazy vznikala i pohoří. Jednou z posledních katastrof v dějinách Merkura byla pravděpodobně srážka s planetkou, která měla rozměry kolem 100 kilometrů. Způsobila obrovský kráter nazvaný pánev Caloris. Náraz prorazil povrch a vytvořil kruhové pásmo horských hřbetů. Nemá atmosféru, která by ovlivňovala teplotu jeho povrchu. Ve dne je planeta vystavena spalujícímu žáru slunečních paprsků a například v pánvi Caloris, která leží poblíž Merkurova rovníku, vystoupí teplota nad 400 st. C. V noci, když se povrch od Slunce odvrátí, klesne teplota 180 st. C pod nulu.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 0,38 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 59 pozemských dní

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 88 pozemských dní

Průměr: 4878 km

Hmotnost: 18 krát menší než hmotnost Země

Gravitace: 40% pozemské gravitace, při hmotnosti 80 kg byste na Merkuru měli 32 kg

Povrchová teplota: -185 °C až 400 °C

Atmosféra: velmi řídká

Charakteristika povrchu: povrch velmi podobný měsíčnímu, nepřítomnost husté atmosféry umožňuje neustálé přímé bombardování meziplanetární látkou, velmi velké množství kráterů

Přirozené satelity (měsíce): nemá

Prstence: nemá

### **12.1.3 VENUŠE**

Venuše je Zemi nejbližší planetou. Je přibližně stejně velká jako Země a má hustou atmosféru. To vedlo k představě, že by se mohla podobat Zemi i svým povrchem. Bujná fantazie lidí osídlila krajinu na Venuši dinosaury prohánějícími se bažinami a hustým porostem přesliček. Tyto představy nemohly být po staletí ani potvrzeny ani vyvráceny, protože ještě donedávna jsme neměli prostředky, kterými bychom pod hustou Venušinu atmosféru nahlédli. Velké změny nastaly, když vědci začali používat k výzkumu Venuše radar. Radarové vlny totiž bez problémů proniknou i tou nejhustší atmosférou. Pak přišla éra kosmických sond a všechny dosavadní představy o Venuši padly. Nebylo objeveno nic, co by připomínalo život. Dokonce ani voda tam nebyla nalezena. Povrch Venuše je suché a horké „peklo“. Teplotou dosahující k 500 °C předčí i teploty na denní straně Merkura. Povrch je z 85% tvořen různými sopečnými útvary.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 0,72 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 243 pozemských dní, rotace má opačnou orientaci než je směr oběhu kolem Slunce, tzv. retrográdní rotace

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 225 pozemských dní

Průměr: 12 100 km

Hmotnost: 80% hmotnosti Země

Gravitace: 90% pozemské, při hmotnosti 80 kg byste na Venuši měli 72 kg

Povrchová teplota: 500 °C

Atmosféra: extrémně hustá, pro světlo téměř neprůhledná

Charakteristika povrchu: jednodesková tektonika, několik vyvýšených oblastí, dlouhá údolí, menší počet kráterů

Přirozené satelity (měsíce): nemá

Prstence: nemá

### 12.1.4 ZEMĚ

Průměrná vzdálenost od Slunce: 1 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 1 pozemský den

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 365,25 pozemských dní

Průměr: 12 756 km

Hmotnost:  $6 \cdot 10^{24}$  kg (to je 6 bilionů bilionů tun!)

Povrchová teplota: 14 °C

Atmosféra: dusík, kyslík

Charakteristika povrchu: jediné těleso ve sluneční soustavě, kde průkazně existuje voda v kapalném skupenství, oceány tvoří cca 70% povrchu, zemská kůra má vícedeskovou tektoniku

Přirozené satelity (měsíce): 1

Prstence: nemá

### 12.1.5 MARS

Mars byl kdysi také považován za obydlenou planetu. Takové představy o Marsu vzaly za své až v roce 1965. Tehdy kosmická sonda Mariner doletěla k Marsu a pořídila první zřetelné snímky planety. Fotografie ukazovaly pustou planinu bez života, rozrušenou jen krátery. O deset let později byl zkoumán dvojicí amerických sond Viking. Přistávací moduly nesly na své palubě biologickou laboratoř. Ani jeden z pokusů však existenci života nedokázal. Ani další sondy zatím nebyly úspěšné. Nejvyšší sopky se tyčí do závratné výšky 25 kilometrů nad okolní krajinu! V dávné minulosti bylo na Marsu ohromné množství vody – v řekách a v mělkých mořích. Kam se poděla? Vědci se domnívají, že voda je nyní zachycena převážně v ledu pod povrchem. Na severním a jižním pólu Marsu jsou ledové polární čepičky. Není to však led, který znáte ze Země. Zima na Marsu je velmi studená a při teplotách kolem  $-100^{\circ}\text{C}$  zmrzne nejen voda, ale i oxid uhličitý obsažený v atmosféře. Mars byl zřejmě v dávné minulosti vlhkou a teplou planetou. Možná, že tenkrát tam byly příznivé podmínky pro vznik života a třeba se někdy podaří najít jeho otisky alespoň ve formě fosilií.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 1,52 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 24 hodin 37 minut

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 687 pozemských dní

Průměr: 6787 km

## Planety sluneční soustavy

Hmotnost: 10% hmotnosti Země

Gravitace: 40% pozemské gravitace, při hmotnosti 80 kg byste na Marsu měli 32 kg

Povrchová teplota: -63 °C

Atmosféra: asi desetkrát řidší než na Zemi, oxid uhličitý

Charakteristika povrchu: velmi členitý, planiny, sopky, dlouhá údolí, vyschlá řečiště jako memento kdysi tekoucí vody, velký vliv větrné eroze

Přirozené satelity (měsíce): 2

Prstence: nemá

### 12.1.6 JUPITER

Jupiter je největší a nehmotnější planetou ve sluneční soustavě. Velmi rychle rotuje, otočí se kolem své osy jednou za pouhých 10 hodin! Při této rychlosti se planeta na rovníku vydouvá a dochází k rychlé rotaci svrchní atmosféry, kde se oblaka roztahují do pestře barevných pásů. Největším vírem je „velká červená skvrna“, která má průměr tři zeměkoulí. Tento obrovský vír pozorují hvězdáři už od poloviny 17. století. V hloubce kolem 1000 km zřejmě existuje oceán tekutého vodíku a pod hranicí 17 000 km je vodík tlakem „drcen“ tak, že se chová jako kov. Elektrické proudy tekoucí kovovým vodíkem vytvářejí kolem Jupitera silné magnetické pole. V nitru Jupitera je zřejmě malé železné jádro.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 5,20 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 10 hodin

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 12 pozemských let

Průměr: rovníkový 142 984, přes póly 133 708

Hmotnost: 318 hmotností Země

Gravitace: 250% pozemské gravitace, při hmotnosti 80 kg byste zde vážili 200 kg

Povrchová teplota: -153 °C

Atmosféra: vodík, helium, metan

Charakteristika povrchu: hustota látky roste plynule směrem ke středu planety, neexistuje zde rozdělení na atmosféru a pevné těleso, není možné mluvit o „povrchu planety“

Přirozené satelity (měsíce): 79

Prstence: 2

### 12.1.7 SATURN

Saturn je podobný Jupiteru. V jeho atmosféře můžeme rovněž sledovat tmavé a světlé pásy a dokonce i oválné skvrny. Jeho hustota je menší než je hustota vody. Ani tato planeta nemá pod atmosférou žádný kamenitý povrch. Nitro Saturna bude velmi podobné Jupiteru.

Nejnápadnější ozdobou Saturna jsou jeho prstence. Tisíce drobných prstýnků tvořených kousky hornin pokrytých ledem. Většina částic prstence má průměr kolem jednoho metru. Každý úlomek, každé zrníčko prstence spořádaně krouží kolem své mateřské planety. Prstence mají průměr 400 000 km, ale jejich tloušťka nepřesahuje desítky metrů!

Průměrná vzdálenost od Slunce: 9,58 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 11 hodin

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 29 pozemských let

Průměr: rovníkový 120 536 km, přes póly 108 728 km

Hmotnost: 95 hmotností Země

Gravitace: 110% pozemské gravitace, při hmotnosti 80 kg byste na Saturnu vážili 88 kg

Povrchová teplota: -185 °C

Atmosféra: vodík, helium, metan

Charakteristika povrchu: je to plynná planeta typu Jupitera, není možné hovořit o „povrchu“

Přirozené satelity (měsíce): 62

Prstence: 7 hlavních

### 12.1.8 URAN

Uran je také složen z vodíku a hélia, ale přibližně jednu sedminu atmosféry tvoří metan. Ten je příčinou namodralého zbarvení. Teplota na téhle planetě je velmi nízká. Slunce je totiž tak daleko, že odtud vypadá jen jako jasná hvězda. Pod obalem atmosféry existují mraky. Z mraků pravděpodobně prší déšť tekutého metanu a čpavku. Pod nimi se nachází jakýsi „povrch“ tvořený vrstvou zmrzlé vody, čpavku a metanu. V nitru planety je ukryto pevné jádro obsahující mnoho železa. Uran obklopují tenké prstence složené z úlomků a prachu. Jsou velmi tmavé, doslova černé jako saze.

## Planety sluneční soustavy

Průměrná vzdálenost od Slunce: 19,21 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 17 hodin

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 84 pozemských let

Průměr: 50 724 km

Hmotnost: 14,5 hmotnosti Země

Gravitace: 90% pozemské hodnoty, při hmotnosti 80 kg byste na Uranu vážili 72 kg

Povrchová teplota: - 214 °C

Atmosféra: vodík, helium, metan

Charakteristika povrchu: kamenné jádro planety je pravděpodobně obklopeno „kašovitou“ směsí metanu, amoniaku a vody

Přirozené satelity (měsíce): 27

Prstence: 11

### 12.1.9 NEPTUN

Neptun se podobá Uranu stejně jako si je Jupiter podobný Saturnu. Má modrou barvu a podobně jako Uran za to vděčí metanu. Jeho atmosféra je však mnohem zajímavější. Rovník planety je lemován pásmem kupovitých oblaků. Podobně jako na Jupiteru i tady nalezneme velký oblačný vír. „Velká tmavá skvrna“ je rozměry srovnatelná s planetou Mars. Nad ní se neustále vznášejí bílá oblaka z krystalků metanu, která se podobají pozemským oblačným řasám.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 30,06 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 16 pozemských dní

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 164 pozemských let

Průměr: 49 526 km

Hmotnost: 17,1 hmotnosti Země

Gravitace: 110% pozemské hodnoty, pokud vážíte 80 kg, na Neptunu byste měli 88 kg

Povrchová teplota: -225 °C

Atmosféra: vodík, helium, metan

Charakteristika povrchu: předpokládá se obdobná struktura jako u Urana

Přirozené satelity (měsíce): 14

Prstence: 4

### 12.1.10 PŘIROZENÉ SATELITY PLANET

Aktuální informace o počtech a jménech přirozených satelitů planet je možné vyhledat na stránce [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_natural\\_satellites](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_natural_satellites)

### 12.1.11 TRPASLIČÍ PLANETY

#### ERIS

Eris je trpasličí planeta, patří do rodiny transneptunických těles, pocházejících z Kuiperova pásu. Je doprovázena malým měsícem Dysnomia.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 67,7 au

(přísluní 37,8 au, odsluní 97,6 au)

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 557 pozemských let

Odhadovaný průměr: 2400 km

Hmotnost: 1,27x hmotnost Pluta

#### CERES

Je prvním objeveným objektem, který obíhá mezi Marsem a Jupiterem, tedy v oblasti hlavního pásu planetek.

Průměrná vzdálenost od Slunce: 2,76 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): 9 hodin

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): 4,6 pozemského roku

Odhadovaný průměr: 952 km

Hmotnost: asi 6300x menší než hmotnost Země

#### PLUTO

Průměrná vzdálenost od Slunce: 39,24 au

Délka dne (jedna otočka kolem osy): asi 6 pozemských dní

Délka roku (jeden oběh kolem Slunce): přibližně 248 pozemských let

Průměr: 2274 km

Hmotnost: asi čtyřikrát menší než je hmotnost Země

Gravitace: jen 7% pozemské hodnoty, při 80kg budete na Plutu vážit necelých 6 kg

Povrchová teplota: -228 °C

Atmosféra: řídká, obsahuje patrně dusík a metan

Charakteristika povrchu: zřejmě ledová usazenina tvořená dusíkem s příměsí metanu

Přirozené satelity (měsíce): 5

Prstence: nemá

Počet těles zařazených mezi „trpasličí planety“ se bude rozrůstat díky přesnějším pozorováním již známých těles, ale také budou objevována tělesa nová. Jejich aktuální seznam si můžete doplnit sami (viz například [https://cs.wikipedia.org/wiki/Trpasli%C4%8D%C3%AD\\_planeta](https://cs.wikipedia.org/wiki/Trpasli%C4%8D%C3%AD_planeta) ).



## SHRNUTÍ KAPITOLY

Nová definice pojmu *planeta* z roku 2006 znamenala redukci počtu planet ve sluneční soustavě na osm a zavedení nové třídy těles pod označením *trpasličí planeta*. Kapitola shrnuje základní vlastnosti všech osmi planet i trpasličí planety Pluto, kromě kvalitativní charakteristiky jsou přehledně uvedeny také údaje o fyzikálních vlastnostech planet jako je teplota, chemické složení, rotace nebo přítomnost atmosféry.

---



## KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Která planeta má nejrychlejší rotaci?
  2. Které planety označujeme jako „vnitřní“?
  3. Která z planet ve sluneční soustavě má nejdélší periodu oběhu kolem Slunce?
  4. Které planety ve sluneční soustavě nemají přirozené satelity?
  5. Které z planet ve sluneční soustavě mají prstence?
-



## 13 MALÁ TĚLESA SLUNEČNÍ SOUSTAVY

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Kapitola se věnuje zejména *planetkám* a *kometám*. Stručně jsou zmíněna i menší tělesa, tzv. meteoroidy, kdy je zvláštní pozornost věnována jejich případné interakci (srážce) se Zemí a jevy označovanými jako *meteory*.

---

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámit se s vlastnostmi malých těles ve sluneční soustavě
- 

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

---

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Planetka, kometa, meteoroid, meteor.

---

## 13.1 Malá tělesa sluneční soustavy

### PLANETKY

Mezi dráhou Marsu a Jupitera se nachází hlavní pás planetek. Planetek se známou dráhou je již více než 700 000, ale jejich skutečný počet se odhaduje na cca 1 milion. Planetky nejsou úlomky nějaké rozpadlé planety, ale jsou zřejmě složeny z původního materiálu, ze kterého se formovala sluneční soustava.

## KOMETY

Asi nejnástiněji lze popsat kometární jádro jako „špinavou sněhovou kouli“, která se pohybuje sluneční soustavou po velmi protáhlé dráze. V řadě případů se jedná o dráhu parabolickou. Pokud se komety přiblíží ke Slunci, těkavé látky se uvolní a vytvoří velmi rozsáhlý, ale řídký ohon. Zásobárnou komet je tzv. Oortův oblak, kulově symetrická oblast ve vzdálenosti 0,5 až 1,0 světelného roku od Slunce. Tam se nachází pravděpodobně asi bilion kometárních jader. Jen některá z nich se důsledkem gravitační poruchy vydají na velmi dlouhou pouť do centrálních oblastí Sluneční soustavy.

## DALŠÍ MEZIPLANETÁRNÍ HMOTA

Sluneční soustavou se pohybuje také velké množství balvanů, úlomků a prachových částic. Pokud se Země s takovými tělisky srazí, můžeme pozorovat jev zvaný meteor. Většinou se tělisko průletem atmosférou natolik zahřeje, že se zcela vypaří. Pokud se jedná o několikátunový balvan, pak zbytek – meteorit – dopadá na povrch.

## 13.2 Planetky

### 13.2.1 HISTORIE

V 18. století formuloval Johannes Daniel Tietz, empirický vzorec pro vzdálenost planet od Slunce:  $a = 0,4 + 0,3 \cdot 2n$

Srovnání:

	Podle Titia	Hodnota n	Skutečnost
<b>Merkur</b>	0,4	---	0,39
<b>Venuše</b>	0,7	0	0,72
<b>Země</b>	1,0	1	1,00
<b>Mars</b>	1,6	2	1,52
<b>???</b>	2,8	3	X
<b>Jupiter</b>	5,2	4	5,2
<b>Saturn</b>	10,0	5	9,54
<b>Uran</b>	19,6	6	19,2

V oblasti mezi Marsem a Jupiterem, kde podle empirického vzorce planeta „chyběla“ byla objevena „planeta“ Ceres, která ale nezůstala dlouho osamocená a brzy s dalšími objevy v této části sluneční soustavy bylo zřejmé, že se bude jednat o novou třídu těles později označenou jako *planetky* nebo *asteroidy*. Dnes jich známe několik set tisíc a většina z nich skutečně nachází v *hlavním pásu planetek*, který je dán rozpětím dráhových elementů:  $a = 2,1$  au až  $3,3$  au,  $e = 0,0$  až  $0,35$  a  $i=0^\circ$  až  $30^\circ$ .

### VELIKOSTI PLANETEK:

Deset rozměrově největších známých planetek:

Planetka	Poloměr (km)	Rozměry (km)	Vzdálenost od Slunce (au)
<b>1 Ceres</b>	946 ± 2	965x962x891	2,766
<b>4 Vesta</b>	525,4 ± 0,2	573x557x446	2,362
<b>2 Pallas</b>	512 ± 3	550x516x476	2,773
<b>10 Hygiea</b>	431 ± 7	530x407x370	3,139
<b>704 Interamnia</b>	326	350x304	3,062
<b>52 Europa</b>	315	380x330x250	3,095
<b>511 Davida</b>	289	357x294x231	3,168
<b>87 Sylvia</b>	286	385x265x230	3,485
<b>65 Cybele</b>	273	302x290x232	3,439
<b>15 Eunomia</b>	268	357x255x212	2,643

### TVARY PLANETEK

Největší planetky mají přibližně kulový tvar, ale pod cca 200 km v průměru mají planetky tvary často nepravidelné. To závisí na poměru gravitační síly a vnitřní soudržnosti materiálu.

Některé planetky jsou dvojitě systémy nebo mohou mít drobné satelity. Mezi první takové exempláře patří planetka (4769) Castalia, která je dvojitá a (243) Ida, která má malý satelit.

## POVRCHOVÉ CHARAKTERISTIKY PLANETEK

U planetek předpokládáme většinou povrch posetý impaktními krátery. Na povrchu může být prachová vrstva – regolit, která se vytvořila četnými dopady. U velkých planetek je pravděpodobný výskyt kondenzovaných těkavých látek u pólů a ve sníženinách.

Malé planetky však mohou obsahovat těkavé látky těsně pod povrchem a být tak vlastně neaktivními kometami. Barva povrchu je ve viditelném světle většinou načervenalá nebo neutrální (šedá), v závislosti na typu planetky, zejména na jejím složení a zřejmě i stáří. Odrazivá schopnost povrchu je různá, nejtmaší planetky mají albedo až 0,02 a ty nejsvětější i přes 0,4.

## SLOŽENÍ PLANETEK

**C typ** – křemičitanové, hydratované silikáty s příměsí uhlíku nebo org. sloučenin,

**D a P typ** – křemičitany, bohaté na uhlík, možný výskyt zmrzlé vody,

**S typ** – křemičitanoželezné, olivín + pyroxen + NiFe,

**M typ** – železné, NiFe s možnými inkluzemi křemičitanů a enstatitu,

**E typ** – enstatit, pyroxen nebo jiné nekovové křemičitany,

**A typ** – olivín,

**V a R typ** – pyroxen + olivín + možné příměsi.

## ROTACE A TEPLoty PLANETEK

Rotační periody planetek jsou od 2,5 hodiny do téměř 20 dnů. Typická planetka vykoná jednu otočku kolem své osy za 10 hodin. Teplota povrchu planetek závisí na vzdálenosti od Slunce, ale také na orientaci rotační osy, rychlosti rotace, tepelných vlastnostech povrchu.

## VZNIK A VÝVOJ PLANETEK,

Pravděpodobná hypotéza vzniku planetek a jejich hlavního pásu:

- 1) Na začátku vývoje existoval rozsáhlý molekulový oblak, jehož hustota se plynule měnila s rostoucí vzdáleností od protoslunce.
- 2) Kondenzují a rostou planetesimály, a to jak ve dráhách současných velkých planet, tak i v oblasti hlavního pásu.
- 3) Jupiter, Saturn atd. roste rychleji, než se akumulují (spojují) planetesimály mezi Marsem a Jupiterem.
- 4) Velké planety svým gravitačním působením zvětší vzájemnou rychlost již narostlých asteroidů (byly větší, než jsou ty dnešní) a zabrání tím jejich dalšímu nedestruktivnímu spojování do větších těles.
- 5) Planetky získávají průměrnou relativní rychlost vůči sobě kolem 5 km/s. Občasné srážky jsou již katastrofické a dochází při nich k rozbíjení planetek. Količní vývoj planetkové populace směřuje od větších k menším tělesům.

První čtyři fáze vývoje se odehrály během jednoho milionu roků, ale pátá fáze trvá dodnes, tj. cca 4,5 miliardy let. Nejrychlejší byl její průběh na začátku, nyní již je množství planetek v hlavním pásu podstatně nižší a kolizní vývoj je pomalejší.

### VZTAH MEZI PLANETKAMI A KOMETAMI

Komety vznikly z planetesimál z oblasti kolem Uranu a Neptunu. Liší se tedy složením, protože obsahují také vodu a těkavé látky.

Ale mezi známými planetkami je velmi pravděpodobně i jistý podíl neaktivních komet. Na jejich přítomnost lze usuzovat podle nepřímých důkazů jako je kometární charakter drah některých planetek (3552 Don Quixote) nebo proudy meteoroidů poblíž jejich drah (Geminidy kolem dráhy planetky 3200 Phaethon).

### SRÁŽKY PLANETEK S PLANETAMI

Nebezpečí je samozřejmě vždy od těles, která se pohybují na dráhách křížících dráhy planet. Pokud se zaměříme na Zemi, tak přibližné odhady frekvence dopadů tělesa o určitém průměru jsou: těleso o průměru 100 m asi jedenkrát za 500 let, kilometrový objekt jednou za 100 000 let a desetikilometrový jedenkrát za milion let.

### NÁZVOSLOVÍ PLANETEK

Nejprve byla používána klasická jména (Řecko, Řím, latina, mytologie) a nějakou dobu dokonce vydržela i snaha o vytváření zvláštních znaků jako je tomu u planet. To však začalo být neudržitelné už při 30 známých planetkách.

Dnes je oficiálním označením číslo v závorce, které se uvádí před jménem planetky, pokud nějaké jméno má (např. (1) Ceres. Je zřejmé, že vznikla nutnost předběžného označení.

*Standardní předběžné označení se skládá z čtyřciferného čísla, označujícího rok objevu, respektive ohlášení objevu k registraci ve středisku MPC (Minor Planet Center <https://minorplanetcenter.net/>), které je následováno mezerou (odklepem). Za touto mezerou následuje velké písmeno anglické abecedy, určující polovinu měsíce, v němž byl objev učiněn (nebo nahlášen) a to podle následující tabulky:*

<b>První písmeno označení</b>				
<i>Měsíc</i>	<i>První polovina</i>		<i>Druhá polovina</i>	
	<i>Písmeno</i>	<i>Dny</i>	<i>Písmeno</i>	<i>Dny</i>
<i>Leden</i>	<i>A</i>	<i>1-15</i>	<i>B</i>	<i>16-31</i>

Únor	C	1-15	D	16-29
Březen	E	1-15	F	16-31
Duben	G	1-15	H	16-30
Květen	J	1-15	K	16-31
Červen	L	1-15	M	16-30
Červenec	N	1-15	O	16-31
Srpen	P	1-15	Q	16-31
Září	R	1-15	S	16-30
Říjen	T	1-15	U	16-31
Listopad	V	1-15	W	16-30
Prosinec	X	1-15	Y	16-31

Za toto písmeno se připojí další písmeno anglické abecedy pro označení prvních 25 objektů objevených (ohlášených) v daném časovém rozpětí příslušné poloviny měsíce. Pokud je v daném časovém intervalu objeveno více objektů, připojí se za tuto dvojici písmen číslo jako dolní index, přičemž číslo 1 je vyhrazeno 26. až 50. objevu, číslo 2 pak 51. až 75. objevu, atd. Pokud z technických důvodů (např. při počítačovém zpracování) by zápis čísla ve formě dolního indexu činil potíže, je možno psát tato čísla v základním řádku.

**Komprimované předběžné označení** bylo navrženo z několika důvodů. Prvním byl požadavek, aby toto označení bylo vždy stejně dlouhé (to standardní předběžné označení zcela evidentně nesplňuje) a druhým, aby jednoduchým tříděním bylo možno získat pořadí, v němž byla tělesa objevena (nahlášena). Poslední požadavek (významný zejména v nedávné minulosti) byl, aby toto označení bylo co nejkratší.

Toto označení má standardní délku 7 alfanumerických znaků (byte). První znak je velké písmeno, které reprezentuje první dvojici čísel v letopočtu roku objevu a to tak, že písmeno „I“ odpovídá číslu „18“, písmeno „J“ číslu „19“ a písmeno „K“ číslu „20“ atd. Za ním následující dvě číslice odpovídají třetí a čtvrté číslici letopočtu (tedy např. letopočet „1995“ se nahradí řetězcem znaků „J95“). Jako čtvrtý znak komprimovaného označení následuje první písmeno ze standardního označení. Následující dva znaky odpovídají číselnému indexu, umístovanému na konci standardního označení, a to podle následujícího algoritmu: Pokud index vůbec chybí, vloží se řetěz „00“ (dvě nuly); pokud je index v rozmezí hodnot od 1 do 99, vloží se přímo toto číslo, ale případně doplněné na délku dvou znaků číslicí „0“ (nula) zleva, tedy „01“ (místo 1) až „99“; je-li hodnota indexu větší než 99, pak se první dvojice číslic v tříciferném čísle nahradí tak, že místo „10“ se zapíše písmeno „A“, místo „11“ se zapíše písmeno „B“, atd. (písmeno „I“ v této řadě je použito). To umožňuje zapsat ve formě „Z9“ nejvyšší možnou hodnotu indexu „359“ (tedy celkem 9000 planetek objevených během jedné poloviny měsíce). Jako poslední znak komprimovaného označení se zapíše druhé písmeno ze standardního předběžného označení.

<b>Příklad předběžného označení</b>		
<i>Standardní</i>	<i>Komprimované</i>	<i>Význam</i>
2005 HE	K05H00E	5. planetka objevená v době od 16. do 30. dubna 2005
1996 TA <sub>5</sub>	J96T05A	126. planetka objevená v době od 1. do 15. října 1996
2000 JC <sub>12</sub>	K00J12C	303. planetka objevená v době od 1. do 15. května 2000
2003 UB <sub>313</sub>	K03UV3B	7825. planetka objevená v době od 16. do 31. října 2003

O přidělení definitivního čísla rozhodne Minor Planet Center většinou po 2 opozicích, není výjimkou, že daný objekt může mít i více předběžných označení, protože byl pozorován vícekrát na různých observatořích a jeho identifikace byla provedena až později.

Jméno se planetkám dnes dává jako doplněk, MPC jej akceptuje, je-li jednoslovné, má méně než 16 znaků a není podobné předchozím.

### 13.3 Komety

#### DEFINICE



Kometa (ve starší literatuře též vlasatice) je malé astronomické těleso podobné planetce složené především z ledu a prachu. Obíhají většinou po velice excentrické eliptické trajektorii kolem Slunce

Komety bývají popisovány jako „špinavé sněhové koule“ a z velké části je tvoří zmrzlý oxid uhličitý, metan a voda smíchaná s prachem a různými nerostnými látkami. Gravitační interakci komet s planetami se jejich dráha může změnit na hyperbolickou (a mohou tak opustit sluneční soustavu) nebo na méně výstřednou. Zejména planeta Jupiter mění dráhy komet a zachycuje je na krátkých oběžných dráhách. Díky tomu existují komety, které se ke Slunci vrací pravidelně a často, například Halleyova, Hale-Bopp nebo Kohoutkova kometa.

#### STRUKTURA

**Jádro** – pevná část komety o velikosti v řádu kilometrů až desítek kilometrů. Jádro se skládá především z vodního ledu, tuhého oxidu uhličitého, oxidu uhelnatého, dalších zmrzlých plynů a prachu

**Koma** – kulová obálka kolem jádra, složena především z plynů. Koma obsahuje různé nedisociované i disociované molekuly, radikály a ionty, např. OH-, NH<sub>2</sub>-, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CN, (CN)<sub>2</sub>

**Ohon** – plyn a prachové částice směřující od Slunce (někdy je též označován jako chvost nebo ocas).

### **VLASTNOSTI KOMET**

Bylo zjištěno, že kometární jádra patří mezi nejčernější známé objekty ve sluneční soustavě, například jádro Halleyovy komety odráží a rozptyluje přibližně jen 4 % dopadajícího světla (měření sondy Giotto) a dokonce povrch komety Borrelly jen 2,4 % dopadajícího světla (pro srovnání – asfalt odráží 7 % dopadajícího světla).

Jak ukázala analýza jádra komety 73P/Schwassmann-Wachmann, které se rozpadlo na několik částí, složení svrchních a vnitřních vrstev komety je prakticky totožné.

Překvapivé zjištění z roku 1996, že komety vyzařují i rentgenové záření, bylo vysvětleno tím, že toto je generované interakcí komet se slunečním větrem. Vysokoenergetické ionty vletí do atmosféry komety a rentgenové záření vzniká při srážkách s kometárními atomy a molekulami.

### **DYNAMICKÉ VLASTNOSTI**

Komety jsou klasifikovány podle svých oběžných dob (period). Za *krátkoperiodické* komety považujeme ty, jejichž oběžné doby jsou kratší než 200 let. *Dlouhoperiodické* komety mají oběžné doby delší, ale stále zůstávají gravitačně závislé na Slunci, kdežto *jednonávratové* komety mají parabolické či hyperbolické oběžné dráhy, které je vynesou navždy mimo sluneční soustavu po jediném průletu okolo Slunce.

Za oblast původu se pro krátkoperiodické komety považuje Kuiperův pás a pro dlouhoperiodické komety zřejmě Oortovo mračno.

### **OBĚŽNÉ DRÁHY**

Z přibližně 3500 komet, které známe je 40 % komet na eliptických drahách, přičemž je z toho 16 % krátkoperiodických (perioda je menší než 200 let), 24 % dlouhoperiodických (perioda je větší než 200 let), 49% na parabolických drahách a 11% na hyperbolických drahách. Zdánlivě vysoké procento parabolických drah je zkreslující, neboť se jedná i o komety, u nichž doba pozorování byla příliš krátká na to, aby se rozhodlo, zda se pohybují po parabole, hyperbole nebo extrémně protáhlé elipse.

### **UŽITEČNÉ ODKAZY**

<http://www.cometography.com/>



<http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta>

<http://kometry.cz/>

## 13.4 Meziplanetární látka

### 13.4.1 METEORY

#### NÁZVOSLOVÍ:

Jako *meteoroid* označujeme těleso/tělisko, které se pohybuje v meziplanetárním prostoru.

Pojem *meteor* je používán k označení světelného jevu způsobeného rozzářením tělesa a jeho okolí po vniknutí do zemské atmosféry.

Označení *meteorit* se používá pro zbytek takového tělesa, který dopadne až na zemský povrch.

Většina pozorovaných meteorů je způsobena částicemi o hmotnosti od miligramu po desítky gramů. Jejich vysoká rychlost (11 - 72 km/s) odpovídá také vysoké kinetické energii (jednogramový meteoroid letící rychlostí 40 km/s má shodnou kinetickou energii jako tunový osobní automobil jedoucí rychlostí 144 km/h !)

Interakce se odehrává ve vysoké atmosféře, kdy se přilétající zrnko sráží s atomy a molekulami vzduchu, přičemž dochází k odpařování atomů zrnka a také ionizace a excitace atomů zrníčka i okolního vzduchu. Následný proces rekombinace způsobí záření. Samotné těleso nehoří. Zdrojem záření je prostor kolem tělesa, lineární rozměry jasných meteorů mohou být až desítky metrů (průměr svítícího oblaku) a většinou vzniká také *zářící stopa* za meteorem (rekombinace chvíli trvá). Právě ionizovaná stopa odráží radiové vlny, takže je možné sledovat meteory také radarem. Obvyklé výšky počátků procesu jsou 70 až 120 km nad zemským povrchem, výšky konců mohou být až 15 km (u hodně pomalých těles), pak zřejmě dopadají. Například pro meteory s jasností 3 mag je konec svítící fáze asi 10 km pod začátkem. U velmi jasných meteorů bylo pozorováno oddělování (odtavování) drobných kapiček z povrchu a vznik temné kouřové stopy (ve dne). Na viditelné záření se přemění pouze cca 1 % kinetické energie tělesa.

### 13.4.2 METEORICKÝ ROJ

Jejich původ je dán procesem, kdy se od komety oddělí prachové částice, které mají po oddělení mírně odlišnou rychlost než kometa a každé tělisko je na jiné dráze. Postupně se z prvotního oblaku vytvoří vlákno a pak proud nebo rozptýlený proud podél celé trajektorie „mateřské“ komety.

Při pohledu ze zemského povrchu pak vzniká vlivem perspektivy *radiant*. To je směr, ze kterého „vylétají“ všechny meteory patřící k danému meteorickému roji (částice rozptýleného proudu). Je to vlastně optický klam, obdobně jako „průsečík“ při pohledu do dálky na dvě kolejnice železniční trati.

Jako *sporadické meteory* označujeme ty, které nepatří do žádného roje a na obloze září v náhodných časech a směrech. Vznikají buď postupným rozptylem rojových meteorů, nebo se jedná o částice s náhodnými drahami.

Zdroj sporadických meteorů – meteoroidy obíhají kolem Slunce po eliptických drahách jako všechna ostatní tělesa a převládají dráhy s malým sklonem. V okolí Země stejné množství meteoroidů obíhá prográdně, jako retrográdně a nejvíce meteorů přilétá k Zemi ze směru tzv. apexu – směru, k němuž se pohybuje Země při oběhu okolo Slunce. Takže pro pozorovatele, který má právě ráno, apex kulminuje (je nejvýše nad obzorem) a z celého dne je pozorovatelných nejvíce sporadických meteorů. Protože apex se na obloze nachází na ekliptice, která je ráno nejvýše o podzimní rovnodennosti a nejnižší o jarní rovnodennosti, je možné vysledovat také roční variace počtu sporadických meteorů.



## SHRNUTÍ KAPITOLY

Mezi malá tělesa ve sluneční soustavě řadíme planetky, komety a meziplanetární látku, kterou registrujeme zejména jako meteory a meteorické roje. V kapitole jsou shrnuty hlavní vlastnosti těchto těles.

---



## KONTROLNÍ OTÁZKY A ÚKOLY

1. Kdy byla objevena první planetka?
  2. Vysvětlete pojem „hlavní pás planetek“ a uveďte, kolik planetek bylo zatím objeveno (řádově).
  3. Jak rozdělujeme komety podle délky jejich periody?
  4. Co je charakteristické pro dráhové elementy komet?
  5. Vysvětlete pojem „meteorický roj“. Jaké roje znáte?
-

## 14 OPTICKÉ JEVY V ATMOSFÉŘE

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Zemská atmosféra je prostředím, ve kterém mohou vznikat různé optické jevy. Kapitola je přehledně uvádí a vysvětluje jejich vznik i základní vlastnosti.

---

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámení se se základními optickými jevy
  - Rozpoznání jednotlivých jevů a jejich klasifikace
- 

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

---

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Atmosféra, duha, halo, glorie, halové jevy, noční svítící oblaka

---

### 14.1 Optické jevy

Na rozdíl od scintilace a seeingu je celá řada atmosférických optických jevů, které mohou mít i astronomové v oblibě. Pravda, většina z nich je pozorovatelná především ve dne, kdy nijak neovlivňují astronomická pozorování.



**Obrázek 13: Fotografie výrazné primární a sekundární duhy.<sup>13</sup>**

Nejnápadnějším takovým jevem jsou duhy, které mohou vzniknout po průchodu slunečního světla vrstvou atmosféry, jež obsahuje dostatečný počet vodních kapek. K rozložení světla na jednotlivé barevné složky dojde po jednoduchém nebo vícenásobném vnitřním odrazu světla od povrchu kapek.

Právě jedním odrazem vzniká hlavní duha, dvojnásobným pak vedlejší duha a ve velmi vzácných případech je možné spatřit i terciální duhu, jež se vytváří po třech vnitřních odrazech. Celkový vzhled duhy záleží na velikosti kapek deště, na kterých se tvoří. Asi nejvýrazněji působí duha vytvořená kapkami s průměrem jednoho milimetru, naopak pokud jsou kapičky menší než dvě setiny milimetru, vypadá duha jako bílý pruh.

<http://ukazy.astro.cz/duha-princip.php>

Jiným zajímavým jevem je tzv. koróna. Vypadá jako soustava barevných kroužků kolem Slunce nebo Měsíce. Opět se jedná o důsledek průchodu světla oblastí bohatou na malé vodní kapičky shodné velikosti.

Obdobně je tomu u tzv. glórie, jež není tak výrazná a projevuje se jako opačný sled barev kolem stínu vrženého postavou nebo předmětem na níže ležící oblačnost. Vzniká zpětným rozptylem na velkém množství malých vodních kapek

Pokud občas při svých pozorováních sledujete také oblačnost, docela jistě jste si povšimli, že někdy mají okraje mraků barevný nádech, v některých případech přímo „hrají“ duhovými barvami. Jedná se o tzv. irizaci, jež vzniká ohybem a interferencí slunečního světla na vodních kapičkách.

---

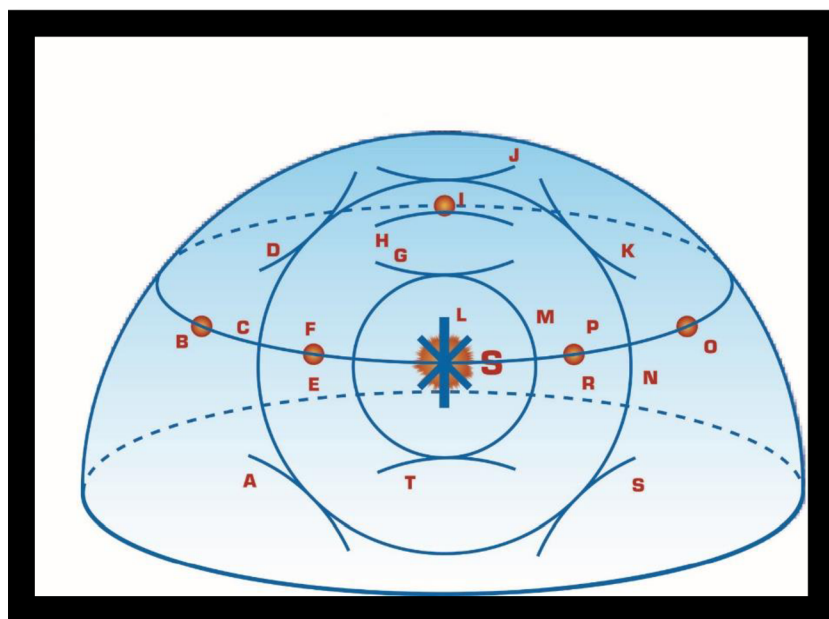
<sup>13</sup> Zdroj <http://ukazy.astro.cz/duha.php>

Velmi zvláštním a vzácným úkazem jsou noční svítící oblaky. Nacházejí se ve výšce zhruba sedmdesáti kilometrů nad povrchem Země, což umožňuje jejich osvětlení slunečním světlem ještě dlouho po západu Slunce na daném pozorovacím stanovišti. Dokonce v době kolem letního slunovratu, kdy v našich zeměpisných šířkách Slunce nezapadá níže pod obzor než 18 úhlových stupňů, mohou být vidět až do půlnoci. Tvorba takové oblačnosti je obestřena řadou nejasností. Může se jednat o shluky prachových částic z meziplanetárního prostoru, ale je také docela možné, že jsou to ledové krystalky vytvořené fotochemickými reakcemi v tak velkých výškách.

## HALOVÉ JEVY

Celá plejáda atmosférických optických úkazů vznikajících na ledových krystalcích rozptýlených ve vzduchu se skrývá pod souhrnným označením halové jevy. Tyto jevy mohou být pozorovatelné jak kolem Slunce, tak kolem Měsíce.

název halového jevu	popis, označení na obrázku	počet dní s výskytem/rok
malé halo	duhově zabarvená kružnice (nebo její část) kolem Slunce v úhlové vzdálenosti 22 stupňů od Slunce (a)	209
velké halo	obdobu malého hala, ale úhlová vzdálenost od slunečního disku je 46 stupňů (b)	18
horizontální kruh	„pruh“ ve shodné výšce nad obzorem v jaké se nalézá Slunce, jež je „rovnoběžný“ s obzorem (c)	13
halový sloup	vertikální pruh pozorovatelný nad a pod slunečním diskem (d)	34
vedlejší slunce malého hala	zřetelná zjasnění, jež se nacházejí v úhlové vzdálenosti 22 stupňů vlevo a vpravo od Slunce (e)	71
Lowitzovy oblouky	jsou orientovány od vedlejších sluncí malého hala šikmo dolů (f)	3
vedlejší slunce	zjasnění, jež se nalézají na horizontálním kruhu ve vzdálenosti 120 stupňů od slunečního kotouče (g)	1
dotykové oblouky malého hala	světlé oblouky u horní nebo u dolní části malého hala (h)	59
Parryho oblouk	nevýrazný oblouk nad malým halem (i)	
dotykové oblouky velkého hala	obdobu dotykových oblouků malého hala, jen geometrické uspořádání je jiné, spodní bývají pod obzorem (j)	1
protislunce	jedná se o vzácný případ vedlejšího slunce ve vzdálenosti 180 stupňů od skutečného slunečního kotouče (k)	1
horní cirkumzenitální oblouk	světlý pruh dotýkající se horní části velkého hala (l)	31



Obrázek 14: Schéma halových jevů, jejich názvy a četnost výskytu obsahuje tabulka umístěná výše.<sup>14</sup>

#### DALŠÍ VLIVY

Neodstranitelný vliv má na vaše pozorování také tzv. atmosférická extinkce, která zahrnuje vliv rozptylu a absorpce záření při průchodu atmosférou. Nejvíce se projevuje poblíž obzoru a je závislá i na vlnové délce záření.

Pokud si budete plánovat nějaká astronomická pozorování, pak sledujte i předpověď počasí a večer před pozorováním i snímky z meteorologických družic na internetu.

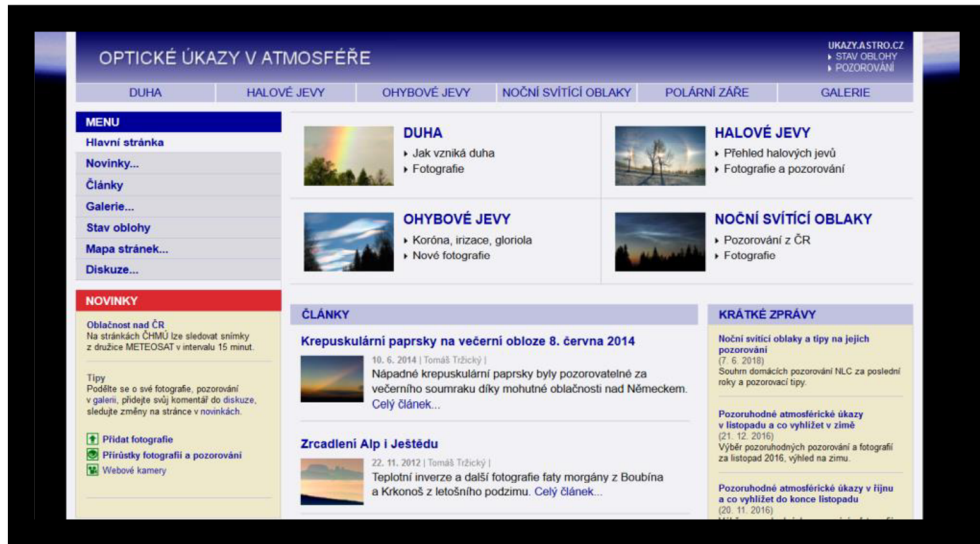
Pokud pomineme vlivy místního mikroklimatu, získáme tak docela dobrý přehled o tom, jak se počasí bude v průběhu noci vyvíjet. Jedná se především o vývoj oblačnosti, vývoj ostatních vlivů (scintilace, seeing, extinkce atd.) lze předvídat jen velmi obtížně nebo vůbec.



#### PRO ZÁJEMCE

Velmi hezká galerie fotografií optických jevů je na portále <http://ukazy.astro.cz/>.

<sup>14</sup> Zdroj T.Gráf, Se zakloněnou hlavou pozorujeme hvězdy, EAN: 9788025118214  
110



Obrázek 15: Úvodní strana portálu věnovaného optickým úkazům v atmosféře.<sup>15</sup>

## SHRNUTÍ KAPITOLY



Kromě duhy je možné pozorovat celou řadu dalších optických jevů v atmosféře. Jedná se o optické efekty způsobené přítomností kapek nebo krystalků vody v atmosféře, případně rozptýlených prachových částic. Efekty jsou v kapitole stručně popsány a jsou uvedeny i další informační zdroje.

## KONTROLNÍ OTÁZKY



1. Vysvětlíte vznik vícenásobné duhy.
2. Jak vznikají halové jevy?
3. Uveďte alespoň tři různé halové jevy.
4. Co je to zelený záblesk?
5. Vysvětlíte pravděpodobný původ nočních svítících oblaků.

<sup>15</sup> Zdroj <http://ukazy.astro.cz/>

## 15 PROMĚNNÉ HVĚZDY



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

S rostoucí přesností fotometrických a spektroskopických měření roste i podíl hvězd, které můžeme z nějakého důvodu klasifikovat jako hvězdy proměnné. V této kapitole je velmi stručně rekapitulován vývoj této oblasti pozorovací astronomie v průběhu minulých čtyř století. Je uvedena základní klasifikace proměnných hvězd a podrobněji jsou rozebrány jen některé druhy proměnnosti.

---



### CÍLE KAPITOLY

- Seznámit se s vlastnostmi proměnných hvězd
  - Ovládat jejich klasifikaci a umět „číst“ světelnou křivku
  - Získat prvotní motivaci k jejich dalšímu studiu s využitím WHOO! (observatoř Ústavu fyziky FPF SU v Opavě, <http://whoo.slu.cz/> )
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Proměnná hvězda, perioda, fáze, mirida, supernova.

---

### 15.1 Úvod

Na proměnné hvězdy se můžeme dívat jako na „dynamické systémy“, které nám umožní zjistit řadu informací o hvězdách, které bychom při studiu hvězd s konstantní jasností (a dalšími parametry) nebyli schopni určit. A tak řada vědeckých poznatků ze světa stelární astrofyziky je spojena právě s pozorováním a studiem proměnných hvězd.



**DEFINICE**

Za proměnné hvězdy považujeme takové, jejichž pozorovaná jasnost se mění v závislosti na čase.

Podle našich současných znalostí je asi 10 % hvězd možné klasifikovat jako proměnné hvězdy. Je logické, že se zlepšováním přesnosti diagnostických metod objevíme v náhodném vzorku hvězd vyšší procento proměnných hvězd.

Rozpětí pozorovaných světelných změn je od 1 milimagnitudy (0,001 mag) až do desítek magnitud a časové škály změn jsou od  $10^{-4}$  s až do časových měřítek změn daných vlivem hvězdného vývoje.

**15.2 Historie**

Mimoevropská pozorování proměnných hvězd (např. supernov) jsou doložena v kronikách čínských a korejských kultur již v době před našim letopočtem. Jedná se však většinou o jednotlivé záznamy bez jakékoliv snahy o systematické studium těchto jevů.

V Evropě je možné považovat za první systematické pozorování objev Tycha Brahe z roku 1572, kdy pozoroval „novou“ hvězdu v souhvězdí Kasiopeji. Jako první pozorovaná periodicky proměnná hvězda je uváděna *o Ceti*, jejíž proměnnost objevil již v roce 1596 David Fabricius.

Systematický výzkum v oblasti proměnných hvězd zahájili Pigott a Goodricke, kdy například Goodricke objevil světelné změny Algolu (1782-3). Když v roce 1786 astronom Pigott publikoval první katalog proměnných hvězd, obsahoval 12 exemplářů! Nebývalý rozvoj v pozorování proměnných hvězd přineslo použití fotografických metod v astronomii, zejména systematické pořizování „skleněných“ archivů fotografických desek. A tak počet známých proměnných hvězd během 20. století vzrostl ze 700 na dnešních více než 50 000 katalogizovaných proměnných hvězd. Jen astrometrická družice Hipparcos objevila asi 12 000 nových proměnných hvězd a množství hvězd objevené v rámci pozorování družice GAIA bude patrně ještě vyšší. Jako základní katalog se stále používá General Catalogue of Variable Stars.

**OZNAČOVÁNÍ PROMĚNNÝCH HVĚZD**

Bylo zavedeno specifické označování proměnných hvězd, kdy před latinským názvem souhvězdí ve 2. pádu (nebo jeho třípísmennou zkratkou) se uvádí kombinace písmen nebo čísel v tomto pořadí: R, S, T, ...Z, RR, RS, RT, ...RZ, SS, ST, ..., SZ, TT, ...ZZ, AA, AB, ...) QQ, QZ, V 343, V 344, atd. V některých souhvězdích se nenachází mnoho proměnných hvězd, ale pokud se v nich nachází směr k ramenům naší Galaxie, tedy velmi

„bohatá“ hvězdná pole Mléčné dráhy, mohou jich být tisíce, například v souhvězdí Střelce se nachází i hvězda V 3891 Sgr.

U některých typů proměnných hvězd, například pokud se jedná o rentgenové nebo radiové zdroje, tedy jejich proměnnost byla zjištěna v neoptickém oboru, se k označení používá číslo a zkratka příslušného katalogu. V takovém případě označení obsahuje také informaci o poloze objektu (zaokrouhlenou rektascenzi a deklinaci).

## 15.3 Mechanismy proměnnosti

Ze všech dosud získaných pozorovacích dat vyplývá, že můžeme rozlišit dva základní typy proměnných hvězd:

1. **geometrické**, kde se světelný tok z hvězdy nebo hvězdné soustavy nemění, mění se však množství světla (záření), které je pozorovatel schopen registrovat,
2. **fyzické**, takové proměnné hvězdy, u kterých se nějakým fyzikálním procesem skutečně mění jejich zářivý výkon

### GEOMETRICKÉ PROMĚNNÉ HVĚZDY

Detailnější dělení je založeno na odlišení mechanismů geometrických změn:

- **rotující proměnné hvězdy**
  - rotuje sledovaná hvězda
  - hvězda je členkou podvojně soustavy
- **magnetické hvězdy**
- **projevy hvězdné aktivity**
- **dvojhvězdy**
  - zákrytové dvojhvězdy
  - interagující dvojhvězdy

### FYZICKÉ PROMĚNNÉ HVĚZDY

Můžeme je dále dělit podle fyzikální příčiny změn zářivého výkonu hvězdy:

- **nestacionární děje v okolí hvězdy**
- **nestacionární děje na povrchu hvězdy**

- **pulzující proměnné hvězdy**
- **supernovy**
- **záblesky záření gama**

### **TYPY PROMĚNNÝCH HVĚZD**

Klasifikace proměnných hvězd je poměrně složitá a přesahuje rozsah tohoto předmětu, takže kromě obecného rozdělení, které bylo nastíněno výše, je možné rozdělit proměnné hvězdy také podle jejich světelných křivek a známých mechanismů proměnnosti. Některé skupiny (typy) jsou označovány zobecněným názvem podle svého prvního objeveného a popsaného představitele, převážná většina typů je však označována jako „hvězdy typu XY“, kde XY je označení nějaké konkrétní proměnné hvězdy.

Takže níže je přehled některých významných typů proměnných hvězd, jejich podrobnější charakteristiky může případný zájemce najít zde: <http://var.astro.cz/pejcha/ty-pescz.htm> .

Přehled typů proměnných hvězd:

**A)** algolidy, cefeidy, eruptivní trpaslíci, heliové proměnné hvězdy,

**B)** hvězdy typu: RS CVn,  $\alpha_2$  CVn,  $\delta$  Cephei, ZZ Ceti, R CrB, S Doradus,  $\gamma$  Doradus, BY Draconis, RR Lyrae,  $\beta$  Lyrae, YY Orionis, FU Orionis,  $\delta$  Scuti, T Tauri, RV Tauri, W UMa, W Vir a další,

**C)** miridy, novám podobné hvězdy, novy, polary, pulzary, Ap hvězdy, supernovy, symbiotické hvězdy, trpasličí novy, atp.

### **ZÁKRYTOVÉ PROMĚNNÉ HVĚZDY**

Pozorováním hvězd této skupiny proměnných hvězd se lze zabývat při práci na observatoři ústavu fyziky (WHOO!) a mohou se stát také tématem bakalářské nebo diplomové práce.

Jednotlivé složky soustavy (většinou se jedná o dvojhvězdu) jsou opticky nerozlišitelné a pouze v některých případech se dají rozlišit spektroskopicky. Aby pro pozorovatele na povrchu Země byla soustava zákrytová, musí rovina oběhu jejich složek kolem společného těžiště ležet poblíž směru definovanému spojnicí pozorovacího stanoviště a pozorované soustav. Pokud jsou složky blízko sebe, jedná se pak o těsnou dvojhvězdu, ve kterých může docházet k přetoku hmoty mezi jednotlivými složkami, což vede k zajímavým vývojovým efektům.



## DVĚ PŘÍPADOVÉ STUDIE

V následujícím textu budou uvedeny podrobnější údaje o dvou typech proměnných hvězd: o miridách a o supernovách. Budou to naše dvě „případové studie“, vlastnosti jiných typů proměnných hvězd si mohou zájemci dohledat zde: <http://var.astro.cz/pejcha/typescz.htm>.

---

### PROMĚNNÁ HVĚZDA MIRA

Změny její jasnosti zaznamenal již v roce 1596 David Fabricius a z dnešního pohledu to byl objev první proměnné hvězdy, která nebyla novou nebo supernovou. Pak nebyla velmi dlouhou dobu sledována a její znovuobjevení je přisuzováno astronomu Heveliovi (rok 1639), který ji pojmenovává Mira (česky „Podivuhodná“).



### PRO ZÁJEMCE

V roce 1997 se podařilo pořídit snímek disku Miry přístroji HST. Je na něm patrná rozsáhlá atmosféra Miry o poloměru 0,03", což při vzdálenosti 120 pc dává poloměr hvězdy úctyhodných 3,3 au. Navíc je zřejmé, že z kotoučku vybíhá plynný proud směrem k průvodci Miry, kterým je bílý trpaslík, obíhající ve vzdálenosti 70 au.

V roce 2001 byly určeny parametry průvodce proměnné hvězdy Miry, vzdálené od nás 120 pc, její průvodce má hmotnost 0,6  $M_{\odot}$  a efektivní teplotu 9000 K, jde tedy o mladého bílého trpaslíka s předpokládaným stářím 850 milionů let.

---

Samotná Mira se tak stala prototypem poměrně početné skupiny fyzických proměnných hvězd, které jsou dnes označovány jako *miridy*. Dnes víme, že se jedná o pulzující chladné obry s periodami od 100 dnů do 500 dnů. Jejich hmotnost odpovídá přibližně hmotnosti Slunce a jsou již v pokročilém vývojovém stadiu. Amplituda změny jasnosti ve fotometrickém oboru V musí být větší než 2,5 magnitudy. Katalog GCVS obsahuje přes 6000 mirid, které se dále dělí na typy:

**M** – v optické oblasti mají ve spektru pásy TiO,

**S** – ve spektru pásy ZrO, TiO,

**C** – ve spektru pásy molekul uhlíku (např. C<sub>2</sub>)

Miridy jsou rovněž důležité jako „standardní svíčky“ sloužící k určování vzdáleností naší Galaxie a také vzdáleností galaxií nejbližších (Velké a Malé Magellanovo mračno).

Obecně pak červení chladní obři a veleobři představují velice heterogenní skupinu. Miridy patří k chladným hvězdám (povrchové teploty 3500-3000 K) s velmi pravidelnou periodou a amplitudou změn jasnosti větší než 2,5 mag (definice). Tento velký interval změn jasnosti ve vizuální oblasti je částečně způsoben nízkou povrchovou teplotou těchto hvězd. Pro většinu mirid je maximum energie vyzářeno v infračervené oblasti spektra.

## SUPERNOVY

Astronom Lundmark již ve 20. letech minulého století publikoval názor, že nova pozorovaná Hartwigem v roce 1885 ve Velké mlhovině v Andromedě (M 31) se nachází v této galaxii. Pak ale její zářivý výkon musí být mnohem větší než u jiných nov.

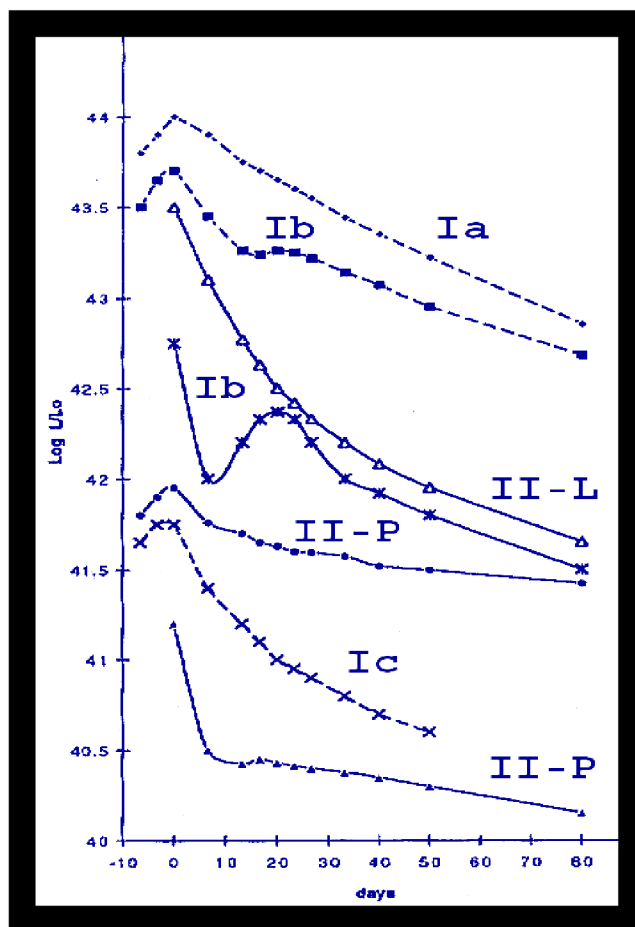
Slovo *supernova* poprvé použili Baade a Zwicky v roce 1934 a jejich charakteristika jevu zněla takto:

- celková uvolněná energie řádu  $10^{44}$  až  $10^{46}$  J,
- pozůstatek může vytvořit *neutronovou hvězdu*,
- při explozi se uvolní rozpínající se obálka ionizovaného plynu.

### Historické supernovy v Galaxii

rok	rektascenze	deklinace	souhvězdí
185	14h 32m	-60	Kentaur
393	17h 11m	-38	Štír
1006	14h 59m	-41	Vlk
1054	05h 31m	+22	Býk
1181	02h 02m	+64	Kasiopeja
1572	00h 22m	+64	Kasiopeja
1604	17h 27m	-21	Hadonoš

## Světelné křivky a klasifikace supernov



Obrázek 16: Klasifikace supernov podle vzhledu světelné křivky<sup>16</sup>

Ia – ve všech typech galaxií i starých populacích

Ib – mladé populace, silné He čáry

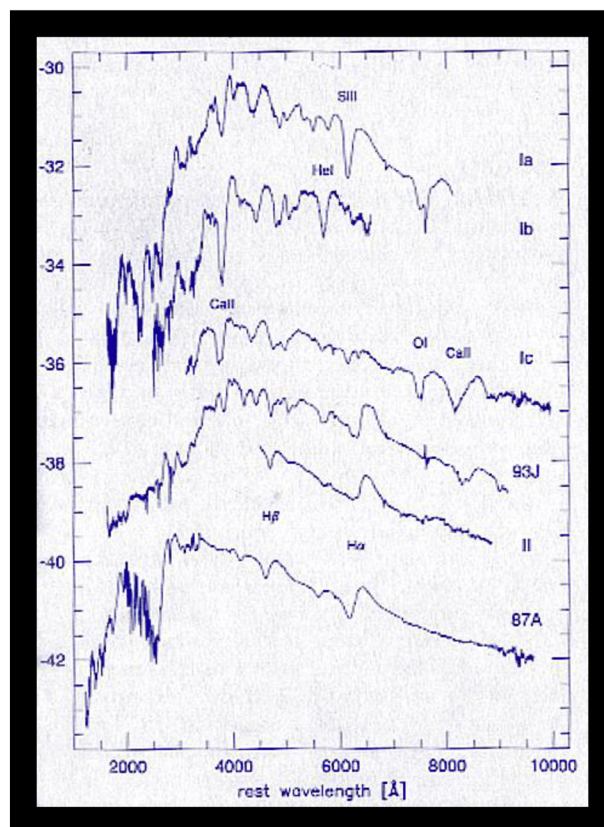
Ic – mladé populace, bez He čar,

II-P – spojena s populací I, po maximu zůstane L dlouho téměř konstantní

II-L – po maximu L klesá lineárně

<sup>16</sup> Zdroj: Vanbeveren, D., Van Rensbergen, W., De Loore, C.: The Brightest Binaries, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-5155-X

## Spektra supernov



**Obrázek 17: Klasifikace supernov podle vzhledu spektra.**<sup>17</sup>

Ia – ve všech typech galaxií i starých populacích

Ib – mladé populace, silné He čáry

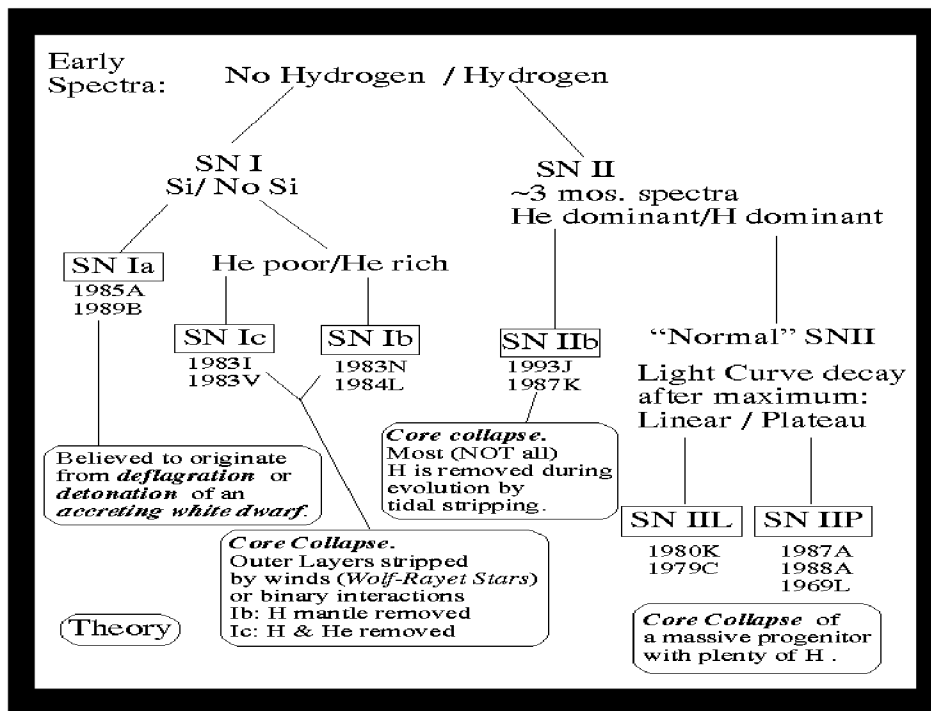
Ic – mladé populace, bez He čar,

II-P – spojena s populací I, po maximu zůstane L dlouho téměř konstantní

II-L – po maximu L klesá lineárně

<sup>17</sup> Zdroj: Vanbeveren, D., Van Rensbergen, W., De Loore, C.: The Brightest Binaries, Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-5155-X

## Klasifikační strom



## Podstata supernov

Vývoj velmi hmotných hvězd ve svém závěru spěje k posloupnosti procesů, které souhrnně označujeme „výbuch supernovy“. Na supernovy lze pohlížet jako na specifický druh proměnných hvězd, kdy mechanismem proměnnosti jsou odezvy na rychlé děje v centrálních oblastech v důsledku hvězdné evoluce. Taková proměnnost je „na jedno použití“, protože po „výbuchu“ se totiž hvězda kvalitativně zcela změní. Buď se zcela rozplyne, nebo se stane neutronovou hvězdou či černou dírou.

## Objevování supernov

Supernovy patří k nejžádanějším novým astronomickým objektům a tak se stále zdokonalují technické prostředky k jejich vyhledávání. Objevená supernova se označuje rokem jejího objevu a velkým písmenem abecedy odpovídajícím pořadí objevu v daném roce (např. „SN 1987A“ je první SN objevenou v roce 1987), pokud velká písmena nestačí, používá se dvojice malých písmen: [rok] aa .. az, ba .. bz, atd; např. „SN 2004bk“. Velmi rozsáhlý katalog a tedy i aktuální stav objevených a pozorovaných supernov je na portále <https://sne.space/>.



## PŘÍKLADY POZŮSTATKŮ PO SUPERNOVÁCH

### Krabí mlhovina (M 1)

Krabí mlhovina je pozůstatkem po supernově z roku 1054, nachází se 6000 světelných roků daleko, v centru jasné mlhoviny je rychle rotující neutronová hvězda, pulzar, který emituje pulzy záření s frekvencí 30 Hz

### Supernova Cas A

Poslední známé vzplanutí supernovy v naší Galaxii, vzplanula někdy kolem r. 1680, zůstal po ní radiový zdroj Cas A, který je nejsilnějším radiovým zdrojem mimo sluneční soustavu. Družice Chandra měřila rázové vlny v pozůstatku po supernově a odtud plyne vzdálenost na 11 000 ly.

### Supernova 1987A

Vzplanula 24. února 1987 ve Velkém Magellanově oblaku, tedy ve vzdálenosti 165 000 ly. Poprvé byla zachycena neutrina generovaná supernovou pozemskými detektory. Vznikl systém tří prstenců zářícího plynu, který SN 1987A obklopuje.

## SHRNUTÍ KAPITOLY



Proměnné hvězdy je možné rozdělit do dvou skupin, na geometrické a fyzické. Podle jejich dalších vlastností jsou pak děleny do několika desítek různých typů. Podrobněji jsou v kapitole představeny dva typy: miridy a supernovy.

## KONTROLNÍ OTÁZKY



1. Uveďte definici proměnné hvězdy.
2. Jaké jsou dva hlavní mechanismy jejich proměnnosti?
3. Co to jsou zákrytové proměnné hvězdy?
4. Jaké vlastnosti jsou typické pro miridy?
5. Vysvětlete jev vzplanutí supernovy.
6. Jak supernovy klasifikujeme? Uveďte příklady.

## 16 GALAXIE



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Většina hvězd je součástí složitějších struktur. Tvoří dvojhvězdy, vícenásobné hvězdné systémy, hvězdokupy a konečně jsou také podstatnou složkou galaxií. V této kapitole jsou shrnuty základní vlastnosti hvězdných soustav.

---



### CÍLE KAPITOLY

- Seznámení se vlastnostmi vícenásobných hvězdných soustav
  - Pochopení struktury Galaxie
  - Znalost různých typů galaxií
- 



### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

2 hodiny

---



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Dvojhvězda, hvězdná soustava, asociace, hvězdokupa, Galaxie, galaxie.

---

## 16.1 Hvězdné soustavy

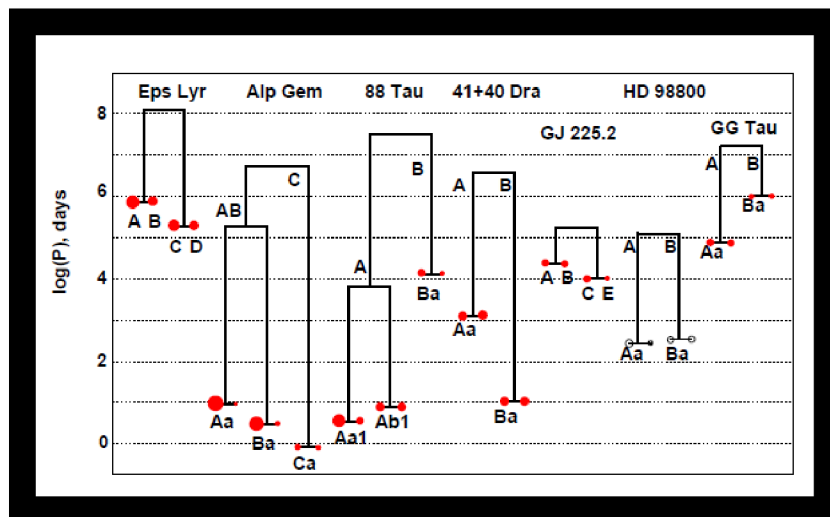
### VÍCENÁSOBNÉ HVĚZDNÉ SOUSTAVY

Jako vícenásobný hvězdný systém označujeme malý počet hvězd, které obíhají kolem společného těžiště, jsou tedy vázány gravitační silou. Počet hvězd je natolik malý, že lze relativně přesně definovat dráhy jednotlivých členů soustavy. Za vícenásobné hvězdné soustavy se nepovažují exoplanetární systémy a pokud počet členů soustavy přesáhne řádově desítky, označujeme takový systém jako *hvězdnou asociaci* nebo *hvězdokupu*.

Z pozorování víme, že geometrické uspořádání vícenásobných hvězdných soustav může být různé, zejména u soustav s vyšším počtem členů.

**Příklady:**

- **dvojhvězdy** – např. Sirius, Prokyon, Mira
- **trojhvězdy** – Polárka
- **čtyřhvězdy** – Mizar,  $\epsilon$  Lyr
- **pětihvězdy** – 91 Aql,  $\delta$  Ori
- **šestihvězdy** – Castor, Alcor (s Mizarem)
- **sedmihvězdy** – AR Cas



**Obrázek 18: Schémata geometrického uspořádání některých vícenásobných hvězdných soustav<sup>18</sup>**

**PRO ZÁJEMCE**



Více informací včetně možných hierarchií uspořádání členů soustav je možné najít v katalogu vícenásobných hvězdných soustav (autor Tokovinin, dostupné na webových stránkách <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/stars/intro.html>)

<sup>18</sup> Zdroj: <http://astronomy.swin.edu.au/sao/story/downloads.xml>

## HVĚZDNÉ ASOCIACE

Jedná se o skupiny hvězd s poměrně malým počtem členů a mohou vznikat buď rozpadem gravitačně nestabilních hvězdokup, nebo při procesu formování nově vznikajících hvězdokup, kdy hvězdy mají podobné trajektorie v prostoru.

Takové skupiny označujeme jako *pohybové asociace* a příkladem mohou být: asociace ve Velké medvědici (od souhvězdí UMa přes Cep až po souhvězdí TrA), Hyády nebo Jesličky. Skutečně *hvězdné asociace*, které nejsou jen pohybovými skupinami, jsou většinou tvořeny hvězdami ve stejném nebo velmi podobném evolučním stadiu. Podle toho jsou pak dále děleny do několika skupin:

- O asociace (v souhvězdí Ori)
- OB asociace (v souhvězdí Sco nebo Cen)
- R asociace (střední hmotnost hvězd, obsahují i zbytky původní látky – Mon R2)
- T asociace (hvězdy typu T Tauri)

## OTEVŘENÉ HVĚZDOKUPY

Jsou to gravitačně vázané struktury charakteristické svým nepravidelným tvarem a většinou obsahují řádově stovky hvězd. V naší Galaxii je pro ně typický výskyt u roviny galaktického rovníku a proto často obsahují kromě hvězd také rozptýlený mezihvězdný prach a plyn. Jedná se tedy o relativně mladé hvězdy a jejich seskupení je gravitačně nestabilní. Za typické příklady otevřených hvězdokup lze považovat Plejády, Hyády, Jesličky atd.



## KULOVÉ HVĚZDOKUPY

Jsou to rovněž gravitačně vázané struktury se silnou koncentrací hvězd směrem ke středu celého útvaru. Počet hvězd je mnohem vyšší než u otevřených hvězdokup, pohybuje se v řádech stovek tisíc až jednoho milionu členů. Kulové hvězdokupy jsou gravitačně velmi stabilní útvary a v naší Galaxii patří mezi nejstarší struktury vůbec, jejich stáří je určeno na cca 10 miliard let. Nacházejí se většinou v *galaktickém halu*, tedy sférické složce Galaxie.

**Základní údaje o hvězdokupách**

	<b>Asociace</b>	<b>Otevřené h.</b>	<b>Kulové h.</b>
<b>Tvar</b>	<b>nepravidelný</b>	<b>nepravidelný</b>	<b>sférický</b>
<b>Počet členů</b>	<b>desítky až stovky</b>	<b>stovky až tisíce</b>	<b>statisíce až milion</b>
<b>Koncentrace</b>	<b>výjimečně</b>	<b>slabá</b>	<b>silná</b>
<b>Lokace v Galaxii</b>	<b>spirální ramena</b>	<b>rovina rovníku G.</b>	<b>galaktické halo</b>
<b>Poloha v HR diagramu</b>	<b>jako u mladých hvězd</b>	<b>populace I</b>	<b>populace II</b>

**16.2 Galaxie**

Naše Galaxie, resp. její spirální ramena jsou dobře viditelná jako *Mléčná dráha*, světlý pás, který zasahuje do značné části hvězdné oblohy. Její výraznější partie můžeme od nás pozorovat v létě, ale mnohem impozantnější část Mléčné dráhy je viditelná z jižní polokoule. Rovněž všechny ostatní hvězdy, které jsou viditelné pouhým okem, patří do systému naší Galaxie, kterou celkově tvoří několik set miliard hvězd, velké množství mezihvězdné látky a patrně i *skryté hmoty*.

V centrální části Galaxie se prokazatelně (doloženo pozorováním pohybu hvězd v její blízkosti) nachází velmi hmotná černá díra. Při pohledu „z boku“ z mimogalaktického prostoru by měla Galaxie plochý tvar (jako dva talíře přiklopené na sebe), ale pohled „shora“ by ukázal spirálovitou strukturu s centrální příčkou. Rotace Galaxie je poměrně složitá, vnitřní části rotují téměř jako pevné těleso, pohyb hvězd na periferii je keplerovský. Naše Slunce se nachází ve 2/3 vzdálenosti poloměru Galaxie od jejího středu a jeden oběh vykoná přibližně za 240 milionů let

Určení vlastností Galaxie, zejména jejího tvaru, bylo velmi obtížné, protože se nacházíme „uvnitř“ systému, který chceme zkoumat. Docela první model Galaxie sestavil ze svých pozorování William Herschel již v 18. století a byl zatížen mnoha chybami, protože předpokládal shodný zářivý výkon všech hvězd, jejich konstantní prostorovou hustotu a nebyly známy hodnoty mezihvězdné extinkce. Výsledkem byl model Galaxie o průměru 3

kpc se Sluncem uprostřed. Dokonalejší model sestavil v roce 1922 Kapteyn, který již uvažoval různé zářivé výkony, ale také zanedbal extinkci. Výsledkem byl elipsoid 8500 krát 1700 pc s polohou Slunce 650 pc od středu disku.

## STRUKTURA GALAXIE

Struktura Galaxie je dána rozložením jejích jednotlivých složek, tedy hvězd, mezihvězdné látky a skryté hmoty. Potom rozlišujeme kulovou složku (halo), diskovou složku, plochou složku a jádro Galaxie.

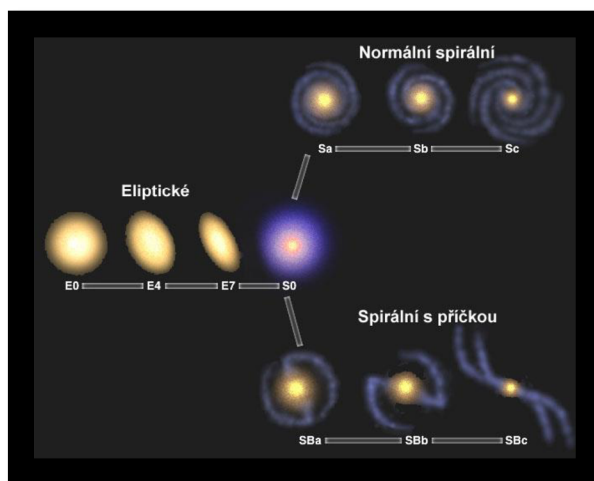
## 16.3 Extragalaktické systémy

První novodobý objev nějakého extragalaktického systému je spojován se zámořskými objevnými plavbami v 16. století a popisem Magellanových mračen, která je možné pozorovat z jižní polokoule. Dnes je známo přibližně 100 miliard jiných galaxií, některé statistické studie uvádějí počty ještě o řád vyšší.

### HUBBLEOVA KLASIFIKACE (PODLE VZHLEDU)

Je to pravděpodobně nejznámější klasifikační systém, ale do jisté míry je již překonán, protože klasifikuje galaxie pouze podle jejich vzhledu.

V původní Hubbleově klasifikaci bylo 13 % galaxií eliptických (E), 62 % spirálních (S), asi 9 % mělo čočkovitý tvar (S0) a nepravidelných byla pouze 3 %. Přibližně 13 % galaxií se z této klasifikace vymyká, jedná se o *aktivní galaxie*, které jsou dále členěny na Seyferťovy galaxie, rádiové galaxie a kvasary (QSO – quasi stellar object)

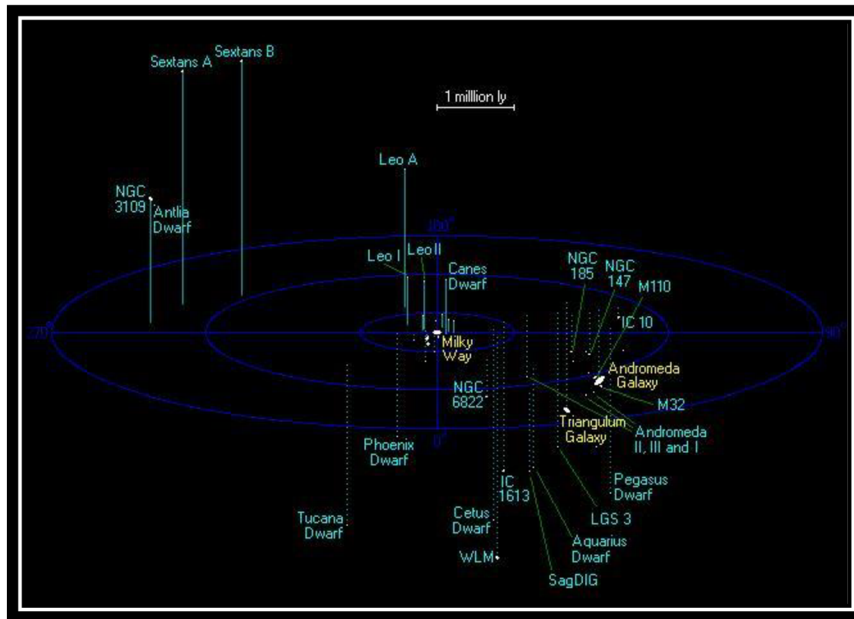


Obrázek 19: Hubbleova klasifikace galaxií (morfoloická)<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Zdroj: <http://objekty.astro.cz/galaxie/1968-klasifikace-galaxii>

## VELKOŠKÁLOVÉ STRUKTURY

Galaxie vytvářejí také vyšší celky, většinou jsou v prostoru v gravitačně vázaných skupinách, příkladem může být *Místní skupina galaxií*, která je tvořena naší Galaxií, galaxiemi M 31 a M 33, Velkým a Malým Magellanovým mračnem a také dalšími nepravidelnými galaxiemi soustředěnými v prostoru o průměru 800 kpc. Nejvyšší známá struktura se označuje jako *buněčná struktura* vesmíru a její rozměry jsou řádu setin až desetin rozměrů pozorovatelného vesmíru.



Obrázek 20: Schéma Místní skupiny galaxií<sup>20</sup>

## SHRNUTÍ KAPITOLY



Kapitola představuje vyšší struktury, které vytvářejí jednotlivé hvězdy. Přehledně jsou zde uvedeny vlastnosti vícenásobných hvězdných soustav, různých hvězdokup a hvězdných asociací. Zvláštní pozornost je pak věnována větším strukturám, kterými jsou především galaxie. Podrobně je vysvětlena struktura naší Galaxie a uvedena základní klasifikace jiných galaxií. Krátce je zmíněna také velkoškálová struktura vesmíru.

## KONTROLNÍ OTÁZKY



1. Které vícenásobné soustavy jsou gravitačně stabilní?

<sup>20</sup> Zdroj: [https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADstn%C3%ADskupina\\_galaxi%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADstn%C3%ADskupina_galaxi%C3%AD)

## *Galaxie*

2. Definujte pohybovou hvězdnou asociaci.
  3. Jaký je rozdíl mezi hvězdnou asociací a hvězdokupou?
  4. Jak je klasifikována naše Galaxie?
  5. Které další typy galaxií znáte?
  6. Jak se označují vyšší struktury než jsou samostatné galaxie?
-



## 17 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ VE VESMÍRU

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Jestliže chceme získat správné představy o struktuře vesmíru, ve kterém žijeme, nevystačíme pouze s určením směrů, ve kterých můžeme dané objekty pozorovat. Potřebujeme znát také vzdálenosti těchto objektů, teprve pak je naše informace úplná. Objevování různých metod měření vzdáleností a jejich zpřesňování bylo a je velmi důležitou specializací astronomie, respektive astrofyziky. V této kapitole je uveden přehled metod měření vzdáleností astronomických těles používaných v rámci sluneční soustavy, Galaxie, ale také objektů toho nejvzdálenějšího vesmíru.

### CÍLE KAPITOLY



- Seznámit se s metodami měření astronomických vzdáleností

### ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU



2 hodiny

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



Radarová měření, roční paralaxa, spektroskopická paralaxa, metody „standardních svíček“.

### 17.1 Přímá měření

#### RADAROVÁ MĚŘENÍ

Za přímá měření lze považovat měření radarem, tedy vyslání rádiového pulzu a registrace jeho odrazu od jiného tělesa (Venuše, Měsíc atp.). Jestliže budeme předpokládat, že signál se pohybuje ve vakuu, pak platí  $D=\tau/2c$ , kde  $D$  je vzdálenost tělesa,  $\tau$  představuje časový interval mezi vysláním signálu a registrací jeho odrazu a  $c$  je rychlost světla.

Mezi faktory, které omezují využití této přímé metody, patří především atmosférická absorpce a malý rádiový účinný průřez  $\sigma$  tělesa, jehož vzdálenost měříme.

Celkový výkon pulzu, který se „vrátí“ k povrchu Země je:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 D_L^4},$$

a jestliže dosadíme technicky dosažitelné výkony současných radarů, je tato metoda použitelná pro  $D_L \leq 3 \cdot 10^{-5}$  pc, tedy asi 6,2 au.

Připomeňme si v této souvislosti, že střední vzdálenost Země od Slunce, kterou označujeme jako 1 AU má hodnotu  $149\,597\,870\,700 \pm 3$  m. Na základě této skutečnosti byla nově definována hodnota *astronomické jednotky*: 1 au = 149 597 870 700 m (přesně, přijato na GA IAU v Pekingu v roce 2012).

S využitím koutových odražečů na povrchu Měsíce byla jeho vzdálenost změřena lasery s přesností menší než 1 mm a je tak nejpřesněji změřenou vzdáleností nějakého astronomického objektu od Země.

### ROČNÍ PARALAXA – TRIANGULACE

Vlivem oběhu Země kolem Slunce se poloha blízkých hvězd na obloze periodicky mění vůči hvězdnému „pozadí“, tvořenému vzdálenějšími objekty. Úhel změny je sice velmi malý, ale moderními přístroji dobře měřitelný.

Pro tento úhel, tzv. *roční paralaxu*, platí vztah:

$$\sin p = \frac{1 \text{ au}}{D_L},$$

který pro malé úhly a velké vzdálenosti lze přepsat do podoby  $p \approx \frac{1 \text{ au}}{D_L}$  a zavedením jednotky *parsek* dostaneme konečnou podobu vztahu  $D_L = \frac{1}{p}$ , kde je pak vzdálenost vyjádřena právě v *parsecích*.

Tato metoda byla dříve použitelná pro vzdálenosti do cca 100 pc a její chyba narůstá se vzdáleností. Měření družicí Hipparcos – přesnost dosahovala tisícín úhlové vteřiny.

Nejistota určení vzdálenosti je dána vztahem:  $\frac{\delta D_L}{D_L} = \delta p / p^2$ , kde  $\delta p$  je nejistota úhlu paralaxy.

Zatím nejpřesnější měření hodnot roční paralaxy provádí astrometrická družice GAIA, která je ve vesmíru od roku 2013 a je schopna měřit s přesností cca 10 úhlových mikrovteřin, po dokončení projektu budou známy roční paralaxy objektů do cca 10 kpc!

## 17.2 Nepřímé metody

### SEKULÁRNÍ A STATISTICKÁ PARALAXA

Zásadní omezení měření velikosti roční paralaxy je dáno také velikostí báze, která je 2 au. Větší základnu poskytuje vlastní pohyb Slunce, resp. sluneční soustavy prostorem, protože to je asi 4 au/rok.

Tato metoda však neumožňuje přímý výpočet vzdálenosti jednotlivých hvězd, ale pro členy hvězdokupy je jejich střední vlastní pohyb je dán pohybem Slunce, tedy je možné určit vzdálenost hvězdokupy. Průměrná sekulární paralaxa kupy je dána vztahem:

$$\bar{\pi}_{sec}'' = \frac{4,74 \langle v \sin \lambda \rangle}{v_{\odot} \langle \sin^2 \lambda \rangle},$$

kde  $v$  je složka vlastního pohybu pro danou hvězdu podél hlavní kružnice spojující hvězdu a apex,  $\lambda$  je úhlová vzdálenost mezi hvězdou a směru k apexu a  $\langle \rangle$  označuje průměrnou hodnotu všech členů hvězdokupy.

Podobná metoda, *statistická paralaxa*, používá k určení paralaxy hvězdokupy statistiku. Za předpokladu, že pro statisticky dostatečně velký vzorek hvězd (tj. členy hvězdokupy), jsou průměrné radiální a tangenciální složky ( $v_r$  a  $v_t$ ) prostorové rychlosti shodné. Radiální rychlosti  $v_r$  (určíme z Dopplerova efektu ze spekter jednotlivých hvězd kupy) lze kombinovat s údaji o vlastním pohybu hvězd a jejich sekulárními paralaxami a určit tak průměrnou vzdálenost kupy. Statistická paralaxa  $\bar{\pi}_{stat}''$  (v úhlových vteřinách) je pak určena vztahem:

$$\bar{\pi}_{stat}'' = \frac{4,74 \langle |\tau| \rangle}{\langle |v_r + v_{\odot} \cos \lambda| \rangle}$$

kde  $|\tau|$  je modul složky vlastního pohybu kolmou na rychlost  $v$  pro danou hvězdu.

Z hodnot  $\bar{\pi}_{sec,stat}''$  je možné vypočítat průměrnou vzdálenost hvězdokupy podle vztahu:

$$D_{L,sec,stat} = \frac{L_{\odot}}{\bar{\pi}_{sec,stat}''}$$

kde  $L_{\odot}$  je délka základny (báze) použité pro výpočet paralaxy (v pc). Chyba určení  $\bar{\pi}_{sec,stat}''$  je úměrná  $N^{-1/2}$ , kde  $N$  je počet hvězd použitých k výpočtu. Sekulární a statistická paralaxa mohou být použity na určení vzdálenosti do  $\sim 500$  pc, ale lze použít pouze k určení průměrné vzdálenosti hvězdokup jako celků.

### SPEKTROSKOPICKÁ PARALAXA

Za touto metodou se neskrývá měření paralaxy v pravém slova smyslu, ale jedná se o postup, kdy můžeme využít k určení hodnoty *absolutní hvězdné velikosti* (tedy *zářivého*

výkonu) hvězdy znalost její spektrální klasifikace. A potom z rozdílu mezi  $M$  (absolutní hvězdné velikosti) a  $m$  (pozorované hvězdné velikosti) je možné určit vzdálenost podle známého vztahu:

$$m - M = 5 \log_{10} \frac{D}{10 \text{ pc}}.$$

Tato metoda je použitelná pro objekty, které jsou dostatečně jasné pro získání spekter umožňujících provedení spektrální klasifikace, tedy do vzdáleností několika desítek kpc.

### METODY „STANDARDNÍCH SVÍČEK“

Jako *standardní svíčky* označujeme hvězdy (objekty), které mají zářivý výkon odvoditelný nebo určitelný z jiné měřitelné veličiny.

Pro takovou metodu určování vzdáleností jsou vhodné například *cefeidy*, což jsou proměnné hvězdy s dobře definovanou závislostí periody změn a velikostí jejich zářivého výkonu. Rozlišujeme dva typy (populace I a populace II):

$$\text{Typ I: } M_V = -1,304 - 2,786 \log P \text{ nebo } M_B = -1,007 - 2,386 \log P,$$

$$\text{Typ II: } M_V = 0,05 - 1,64 \log P \text{ nebo } M_B = 0,31 - 1,23 \log P.$$

Dosah této metody je 30 až 40 Mpc s přesností pod 10 %.

Obdobně je možné jako standardní svíčky využít proměnné hvězdy typu RR Lyrae, které se nacházejí v kulových hvězdokupách, patří do populace II a mají hmotnost 0,5  $M_{\odot}$ . Mají periodu světelných změn v rozsahu hodin až jednoho dne a platí pro ně vztah:

$$M_I = 0,839 - 1,295 \log P + 0,211 \log Z,$$

kde  $Z$  je metalicita hvězdy:

$$Z = \log_{10} \left( \frac{n_{Fe}}{n_H} \right) - \log_{10} \left( \frac{n_{Fe}}{n_H} \right)_S.$$

S využitím hvězd tohoto typu můžeme určovat vzdálenosti až do 1 Mpc.

### TULLYHO – FISHERŮV VZTAH

Jedná se o empirický vztah mezi zářivým výkonem spirálních galaxií  $L$  a jejich maximální rotační rychlostí  $v_{max}$ . V praxi je pak maximální rotační rychlost určována měřením emisní čáry HI s vlnovou délkou 21 cm.

Platí tedy:  $L \propto \Delta v^{\Gamma}$ , kde exponent  $\Gamma = 2,5 \pm 0,3$  byl určen experimentálně. Vztah je kalibrován cefeidami a chyba je 15 % (nepřesnost vnáší více faktorů).

**FABEROVÉ – JACKSONŮV VZTAH**

Jedná se vlastně o analogii T-F vztahu (viz výše) s tím, že vztah se týká eliptických galaxií a je to závislost zářivého výkonu  $L$  galaxie a disperze rychlosti hvězd v centrální oblasti galaxie  $\sigma$ :  $L \propto \sigma^\alpha$ , kde exponent  $\alpha$  je určen empiricky a má hodnotu  $\sim 4 \pm 1$ .

Do vztahu se někdy zavádí parametr luminozitní průměr galaxie  $D_n$  a pak má vztah podobu:  $D_n \propto \sigma^\gamma$ , kde exponent  $\gamma=1,20 \pm 0,10$  je určen empiricky

**DALŠÍ METODY****Rozpínání fotosféry**

Vzdálenost určíme ze vztahu  $D_L = \frac{R_f}{\theta} = \frac{v_f(t-t_0)+R_0}{\theta}$  a tato metoda má přesnost přibližně 10 %.

**Vzplanutí supernovy typu Ia**

Metoda využívá jako *standardní svíčku* vzplanutí bílého trpaslíka s hmotností 1,4  $M_\odot$ , absolutní hvězdná velikost je pak  $M_B \approx M_V \sim -19,3 \pm 0,3$  magnitud a k finálnímu výpočtu použijeme empirický Phillipsův vztah  $M_{max,B} = -21,726 + 2,698\Delta m_{15,B}$ , kde  $\Delta m_{15,B}$  je změna jasnosti v době 15 dnů po maximu jasnosti vzplanutí.

**SHRNUTÍ KAPITOLY**

Na mnoha místech tohoto studijního textu jsou uváděny vzdálenosti různých astronomických objektů. Tato kapitola přehledně rekapituluje většinu metod, které se k určování nebo měření vzdáleností v astronomii používají. Je tak možné vybudovat pomyslný *žebrík vzdáleností*, který je správně „normován“ objekty, pro které je možné k určení jejich vzdálenosti použít dvě a více nezávislých metod.

**KONTROLNÍ OTÁZKY**

1. Jaké znáte přímé metody měření vzdáleností astronomických objektů?
2. Vysvětlete metody využívající „princip standardní svíčky“.

18 PŘÍLOHY

18.1 Periodická tabulka prvků

**Periodická tabulka prvků** www.prvky.com

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																		
I.A	II.A	III.B	IV.B	V.B	VI.B	VII.B	VIII.B	VIII.B	VIII.B	I.B	II.B	III.A	IV.A	V.A	VI.A	VII.A	VIII.A																		
1 1,0079 0,0899 <b>1 H</b> 2,2 1766 7 2 <b>Vodík</b> Hydrogenium																	4,0026 0,1785 <b>2 He</b> 3,89 1895 8 2 <b>Helium</b> Helium																		
II 6,941 534 <b>3 Li</b> 0,98 1817 12 2 <b>Lithium</b> Lithium		II 9,0121 1,850 <b>4 Be</b> 1,57 1798 15 1 <b>Beryllium</b> Beryllium		III.V-VII.-I.-III 30,9737 1,820 <b>15 P</b> 2,19 1669 23 1 <b>Fosfor</b> Phosphorum		- oxidáční stavy ve sloučeninách - relativní atomová hmotnost - hustota při 20°C [g.m <sup>-3</sup> ] - protonové číslo, chemická značka, elektronegativita [Pauling] - rok objevení, celkový počet izotopů, počet stabilních izotopů - český název - mezinárodní název		alkalické kovy vzácné plyny polokovy		kovy alk. zemin vnitřní přech. nekovy		kovy přech. prvky halogeny		II, III 10,811 2,940 <b>5 B</b> 2,0 1808 14 2 <b>Bor</b> Borium		III.IV-IV 12,0107 2,620 <b>6 C</b> 2,55 1808 14 2 <b>Uhlík</b> Carbonum		III.III-III.IV.V 14,0067 1,251 <b>7 N</b> 3,04 1772 17 2 <b>Dusík</b> Nitrogenium		I.-I-III 15,9994 1,429 <b>8 O</b> 3,5 1774 17 3 <b>Kyslík</b> Oxygenium		-I 18,9984 1,696 <b>9 F</b> 3,98 1866 19 1 <b>Fluor</b> Fluorum		IV 20,1797 0,899 <b>10 Ne</b> 3,67 1898 19 3 <b>Neon</b> Neon											
I 22,9897 971 <b>11 Na</b> 0,93 1807 22 1 <b>Sodík</b> Natrium		II 24,305 1,740 <b>12 Mg</b> 1,31 1808 22 3 <b>Hořčík</b> Magnesium		skupenství za normálních podmínek:		g		l		s		?		IV-IV 26,9815 2,700 <b>13 Al</b> 1,61 1825 25 1 <b>Hliník</b> Aluminium		III.VII.-I.-III 30,9737 2,070 <b>14 Si</b> 1,8 1824 25 3 <b>Křemík</b> Silicium		III.VI-IV 32,065 2,96 <b>15 P</b> 2,19 1669 23 1 <b>Síra</b> Sulphur		I,II,III.V.VII 35,453 2,96 <b>16 S</b> 2,58 1774 17 2 <b>Chlor</b> Chlorum		IV 39,948 1,78 <b>17 Ar</b> 3,3 1894 25 3 <b>Argon</b> Argon													
I 39,0983 860 <b>19 K</b> 0,82 1807 28 2 <b>Drasník</b> Kalium		II 40,078 1,550 <b>20 Ca</b> 1,0 1808 24 5 <b>Vápník</b> Calcium		III 44,9559 3,100 <b>21 Sc</b> 1,36 1879 37 1 <b>Skandium</b> Scandium		III.IV 47,867 4,500 <b>22 Ti</b> 1,54 1791 28 5 <b>Titan</b> Titanium		III.IV.V 50,9415 5,880 <b>23 V</b> 1,63 1830 32 1 <b>Vanad</b> Vanadium		III.IV.V.VI 51,9961 7,190 <b>24 Cr</b> 1,66 1797 28 4 <b>Chrom</b> Chromium		III.IV.VI.VII 54,938 7,430 <b>25 Mn</b> 1,55 1774 33 1 <b>Mangan</b> Manganum		III.IV.VI 55,845 7,870 <b>26 Fe</b> 1,83 1739 40 1 <b>Železo</b> Ferrum		III.IV.VI 58,9331 8,800 <b>27 Co</b> 1,88 1751 39 5 <b>Kobalt</b> Cobaltum		III.IV.VI 58,9331 8,800 <b>28 Ni</b> 1,91 1751 39 5 <b>Nikl</b> Niccolum		II 63,546 8,960 <b>29 Cu</b> 1,9 1838 45 1 <b>Měď</b> Cuprum		II 65,409 7,140 <b>30 Zn</b> 1,7 1807 40 5 <b>Cinek</b> Zincum		III 69,723 5,910 <b>31 Ga</b> 1,81 1875 38 2 <b>Gallium</b> Gallium		III.IV-IV 72,64 5,350 <b>32 Ge</b> 2,01 1866 44 4 <b>Germanium</b> Germanium		III.V-III 74,9216 5,720 <b>33 As</b> 2,18 1866 44 4 <b>Arzen</b> Arsenicum		III.V-III 78,96 4,790 <b>34 Se</b> 2,55 1818 39 5 <b>Selen</b> Selenium		I,II,III.V.VII 79,904 3,130 <b>35 Br</b> 2,96 1826 47 2 <b>Brom</b> Bromum		IV 83,798 3,44 <b>36 Kr</b> 3,0 1896 42 6 <b>Krypton</b> Kryptonum	
I 85,4678 1,530 <b>37 Rb</b> 0,82 1861 50 1 <b>Rubidium</b> Rubidium		II 87,62 2,600 <b>38 Sr</b> 0,95 1789 40 4 <b>Stroncium</b> Strontium		III 88,9058 4,470 <b>39 Y</b> 1,22 1789 58 1 <b>Ytřium</b> Yttrium		III.IV 91,224 6,510 <b>40 Zr</b> 1,33 1789 58 1 <b>Zirkon</b> Zirconium		III.IV.V 92,9063 10,200 <b>41 Nb</b> 1,6 1801 58 1 <b>Niob</b> Niobium		III.IV.V.VI 95,94 10,200 <b>42 Mo</b> 2,16 1781 56 1 <b>Molibden</b> Molybdaenum		III.IV.V.VI.VII 97,907 11,500 <b>43 Tc</b> 1,9 1869 43 7 <b>Technecium</b> Technetium		III.IV.V.VI.VII 101,07 12,200 <b>44 Ru</b> 2,2 1844 41 7 <b>Ružička</b> Ruthenium		III.IV.V.VI.VII 102,9055 12,400 <b>45 Rh</b> 2,28 1803 54 1 <b>Rhodium</b> Rhodium		III.IV.V.VI.VII 106,42 12,000 <b>46 Pd</b> 2,2 1803 45 6 <b>Palladium</b> Palladium		III.IV.V.VI.VII 107,8682 10,600 <b>47 Ag</b> 1,93 1807 47 1 <b>Stříbro</b> Argentum		III.IV.V.VI.VII 112,411 10,500 <b>48 Cd</b> 1,69 1863 85 1 <b>Kadmium</b> Cadmium		III 114,818 7,310 <b>49 In</b> 1,78 1863 85 1 <b>Indium</b> Indium		III.IV-III 118,71 7,300 <b>50 Sn</b> 1,96 1831 82 2 <b>Cín</b> Stannum		III.V-III 121,76 6,690 <b>51 Sb</b> 2,05 1831 82 2 <b>Antimon</b> Stibium		I,II,III.V.VII 126,9044 4,940 <b>52 Te</b> 2,1 1782 56 5 <b>Tellur</b> Tellurium		I,II,III.V.VII 127,60 6,240 <b>53 I</b> 2,66 1811 51 1 <b>Jod</b> Iodum		I,II,III.V.VII 126,9044 4,940 <b>54 Xe</b> 2,6 1896 50 9 <b>Xenon</b> Xenonum	
I 132,9054 1,870 <b>55 Cs</b> 0,79 1860 68 1 <b>Cesium</b> Caesium		II 137,327 3,510 <b>56 Ba</b> 0,89 1808 49 7 <b>Baryum</b> Baryum		III 138,9054 6,700 <b>57 La</b> 1,1 1839 52 1 <b>Lanthan</b> Lanthanum		III.IV 178,49 13,100 <b>72 Hf</b> 1,3 1923 55 5 <b>Hafnium</b> Hafnium		III.IV.V 180,9478 16,600 <b>73 Ta</b> 1,5 1802 64 1 <b>Tantal</b> Tantalum		III.IV.V.VI 183,84 19,300 <b>74 W</b> 2,36 1783 43 5 <b>Wolfram</b> Wolframium		III.IV.V.VI.VII 186,207 21,000 <b>75 Re</b> 1,9 1925 55 1 <b>Rhenium</b> Rhenium		III.IV.V.VI.VII 190,23 22,660 <b>76 Os</b> 2,2 1804 42 6 <b>Osmium</b> Osmium		III.IV.V.VI.VII 192,217 22,660 <b>77 Ir</b> 2,2 1804 68 2 <b>Iridium</b> Iridium		III.IV.V.VI.VII 195,084 21,450 <b>78 Pt</b> 2,28 1735 47 5 <b>Platina</b> Platinum		III 196,9665 19,300 <b>79 Au</b> 2,54 1861 78 2 <b>Zlato</b> Aurum		III 200,59 13,530 <b>80 Hg</b> 2,2 1861 78 2 <b>Rtuť</b> Hydrargyrum		III 204,3833 11,800 <b>81 Tl</b> 2,04 1861 78 2 <b>Thallium</b> Thallium		III.V-III 207,20 11,300 <b>82 Pb</b> 2,33 1838 82 2 <b>Olovo</b> Plumbum		III.V-III 208,9804 9,800 <b>83 Bi</b> 2,02 1838 82 2 <b>Bismut</b> Bismutum		I,II,III.V.VII 208,982 9,400 <b>84 Po</b> 2,0 1840 53 0 <b>Polonium</b> Polonium		I,II,III.V.VII 209,987 9,73 <b>85 At</b> 2,2 1840 53 0 <b>Astat</b> Astatium		I,II,III.V.VII 222,017 9,73 <b>86 Rn</b> 2,0 1898 46 0 <b>Radon</b> Radonum	
I 223,01 1,873 <b>87 Fr</b> 0,7 1839 43 0 <b>Francium</b> Francium		II 226,025 10,700 <b>88 Ra</b> 0,97 1898 43 0 <b>Radium</b> Radium		III 227,027 10,700 <b>89 Ac</b> 1,1 1899 25 0 <b>Aktinium</b> Actinium		IV 261,108 23,000? <b>104 Rf</b> Rutherfordium		V 262,114 ~ <b>105 Db</b> Dubnium		VI 263,118 ~ <b>106 Sg</b> Seaborgium		VII 264,12 ~ <b>107 Bh</b> Bohrium		VIII 265,13 ~ <b>108 Hs</b> Hassium		IX ~ [268] <b>109 Mt</b> Meitnerium		X ~ [271] <b>110 Ds</b> Darmstadtium		XI ~ [272] <b>111 Rg</b> Roentgenium		XII ~ [285] <b>112 Cn</b> Copernicium		XIII ~ [286] <b>113 Uut</b> Ununtrium		XIV ~ [289] <b>114 Fl</b> Flerovium		XV ~ [289] <b>115 Uup</b> Ununpentium		XVI ~ [293] <b>116 Lv</b> Livermorium		XVII ~ [294] <b>117 Uus</b> Ununseptium		XVIII ~ [294] <b>118 Uuo</b> Ununoctium	
III.IV 140,116 6,670 <b>58 Ce</b> 1,12 1803 52 4 <b>Cer</b> Cerium		III.IV 140,9076 6,770 <b>59 Pr</b> 1,13 1865 54 1 <b>Praseodym</b> Praseodymum		III.IV 144,242 7,000 <b>60 Nd</b> 1,14 1825 51 5 <b>Neodym</b> Neodymium		III.IV 144,913 6,475 <b>61 Pm</b> 1,13 1879 50 5 <b>Promethium</b> Promethium		III.IV 150,36 7,536 <b>62 Sm</b> 1,17 1945 57 0 <b>Samarium</b> Samarium		III.IV 151,964 7,890 <b>63 Eu</b> 1,2 1901 51 2 <b>Europium</b> Europium		III.IV 157,25 7,890 <b>64 Gd</b> 1,2 1860 46 6 <b>Gadolium</b> Gadolinium		III.IV 158,925 8,540 <b>65 Tb</b> 1,2 1866 47 7 <b>Terbium</b> Terbium		III.IV 162,5 8,540 <b>66 Dy</b> 1,22 1866 47 7 <b>Dysprosium</b> Dysprosium		III.IV 164,9303 8,780 <b>67 Ho</b> 1,23 1878 64 1 <b>Holm</b> Holmium		III.IV 167,259 9,050 <b>68 Er</b> 1,24 1843 45 6 <b>Erbium</b> Erbium		III.IV 168,9342 9,330 <b>69 Tm</b> 1,25 1878 58 1 <b>Thulium</b> Thulium		III.IV 173,054 6,980 <b>70 Yb</b> 1,25 1878 46 7 <b>Ytterbium</b> Ytterbium		III.IV 174,967 9,840 <b>71 Lu</b> 1,27 1907 71 1 <b>Lutecium</b> Lutecium									
IV 232,038 11,720 <b>90 Th</b> 1,3 1828 33 0 <b>Thorium</b> Thorium		IV 231,0358 15,370 <b>91 Pa</b> 1,5 1917 32 0 <b>Protaktinium</b> Protactinium		III.IV.V.VI 238,0289 18,970 <b>92 U</b> 1,38 1789 32 0 <b>Uran</b> Uranium		III.IV.V.VI 237,048 20,480 <b>93 Np</b> 1,36 1940 30 0 <b>Neptunium</b> Neptunium		III.IV.V.VI 244,064 13,670 <b>94 Pu</b> 1,28 1940 30 0 <b>Plutonium</b> Plutonium		III.IV.V.VI 247,07 13,510 <b>95 Am</b> 1,3 1944 27 0 <b>Amerikium</b> Americium		III.IV.V.VI 247,07 14,780 <b>96 Cm</b> 1,3 1944 27 0 <b>Kurium</b> Curium		III.IV.V.VI 247,07 15,100 <b>97 Bk</b> 1,3 1949 36 0 <b>Berkelium</b> Berkelium		III.IV.V.VI 251,07 15,100 <b>98 Cf</b> 1,3 1950 23 0 <b>Kalifornium</b> Californium		III.IV.V.VI 252,083 15,370 <b>99 Es</b> 1,3 1952 30 0 <b>Einsteinium</b> Einsteinium		III.IV.V.VI 257,095 20,480 <b>100 Fm</b> 1,3 1952 30 0 <b>Fermium</b> Fermium		III.IV.V.VI 258,098 19,740 <b>101 Md</b> 1,3 1955 31 0 <b>Mendelevium</b> Mendelevium		III.IV.V.VI 259,101 19,740 <b>102 No</b> 1,3 1957 23 0 <b>Nobelium</b> Nobelium		III.IV.V.VI 260 13,670 <b>103 Lr</b> 2,29 1961 23 0 <b>Lawrencium</b> Lawrencium									

© 2013 www.prvky.com

## 18.2 Sluneční soustava

**Tabulka 1: Základní fyzikální vlastnosti Slunce, všech planet a dvou trpasličích planet naší sluneční soustavy.**

Název	Poloměr (km)	Poloměr (R <sub>Země</sub> )	Hmotnost (kg)	Hmotnost (M <sub>Země</sub> )	Průměrná hustota (g/cm <sup>3</sup> )	Povrchová gravitace (Země= 1)	Úniková rychlost
Slunce	695 000	109	$1,99 \cdot 10^{30}$	333 000	1,41	27,5	--
Merkur	2440	0,382	$3,30 \cdot 10^{23}$	0,055	5,43	0,38	4,43
Venuše	6051	0,949	$4,87 \cdot 10^{24}$	0,815	5,25	0,91	10,4
Země	6378	1,000	$5,97 \cdot 10^{24}$	1,000	5,52	1,00	11,2
Mars	3397	0,533	$6,42 \cdot 10^{23}$	0,107	3,93	0,38	5,03
Jupiter	71 492	11,19	$1,90 \cdot 10^{27}$	317,9	1,33	2,36	59,5
Saturn	60 268	9,46	$5,69 \cdot 10^{26}$	95,18	0,70	0,92	35,5
Uran	25 559	3,98	$8,66 \cdot 10^{25}$	14,54	1,32	0,91	21,3
Neptun	24 764	3,81	$1,03 \cdot 10^{26}$	17,13	1,64	1,14	23,6
Pluto	1187	0,186	$1,31 \cdot 10^{22}$	0,0022	1,86	0,06	1,21
Eris	1163	0,183	$1,67 \cdot 10^{22}$	0,0028	2,52	0,08	1,38

**Tabulka 2: Vlastnosti rotace a oběžných drah Slunce, všech planet a dvou trpasličích planet naší sluneční soustavy.**

Název	Vzdálenost od Slunce (au)	Vzdálenost od Slunce ( $10^6$ km)	Oběžná doba (roky)	Sklon roviny oběhu (stupně)	Excentricita dráhy	Siderická doba rotace (pozemské dny)	Sklon rotační osy (stupně)
Slunce	--	--	--	--	--	25,4	7,25
Merkur	0,387	57,9	0,2409	7,00	0,206	58,6	0,0
Venuše	0,723	108,2	0,6152	3,39	0,007	-243,0	177,3
Země	1,00	149,6	1,0	0,00	0,017	0,9973	23,45
Mars	1,524	227,9	1,881	1,85	0,093	1,026	25,2
Jupiter	5,203	778,3	11,86	1,31	0,048	0,41	3,08
Saturn	9,54	1427	29,5	2,48	0,056	0,44	26,73
Uran	19,19	2870	84,01	0,77	0,046	-0,72	97,92
Neptun	30,06	4497	164,8	1,77	0,010	0,67	29,6
Pluto	39,48	5906	248,0	17,14	0,248	-6,39	112,5
Eris	67,67	10,120	557	44,19	0,442	15,8	78



## 18.3 Hvězdy

**Tabulka 3: Vlastnosti 15 nejbližších hvězd.**

Hvězda	Vzdálenost (ly)	Spektrální typ	Luminozitivní třída	Rektascenze		Deklinace		Zářivý výkon ( $L/L_{\odot}$ )
				h	m	stupně	minuty	
Slunce	0,000016	G2	V	--	--	--	--	1,0
Proxima	4,2	M5	V	14	30	-62	41	0,0006
$\alpha$ Cen A	4,4	G2	V	14	40	-60	50	1,6
$\alpha$ Cen B	4,4	K0	V	14	40	-60	50	0,53
Barnardova hvězda	6,0	M4	V	17	58	+04	42	0,005
Wolf 359	7,8	M5	V	10	56	+07	01	0,0008
Lalande 21185	8,3	M2	V	11	03	+35	58	0,03
Sirius A	8,6	A1	V	06	45	-16	42	26,0
Sirius B	8,6	DA2	BT	06	45	-16	42	0,002
BL Ceti	8,7	M5	V	01	39	-17	57	0,0009
UV Ceti	8,7	M6	V	01	39	-17	57	0,0006
Ross 154	9,7	M3	V	18	50	-23	50	0,004
Ross 248	10,3	M5	V	23	42	+44	11	0,001

**Tabulka 4: Vlastnosti nejjasnějších hvězd:**

Hvězda	Sou- hvězdí	Rek- tascenze		Deklinace		Vzdá- lenost (ly)	Spektrální typ	Lumino- zitní třída	Hvězdná velikost (mag)	Zářivý výkon (L/L <sub>s</sub> )
		h	m	stupně	mi- nuty					
Sirius	CMa	6	45	-16	42	8,6	A1	V	-1,46	26
Canopus	Car	6	24	-52	41	313	F0	Ib - II	-0,72	13 000
α Cen	Cen	14	40	-60	50	4,4	G2	V	-0,01	1,6
							K0	V	1,3	0,53
Arcturus	Boo	14	16	+19	11	37	K2	III	-0,06	170
Vega	Lyr	18	37	+38	47	25	A0	V	0,04	60
Capella	Aur	5	17	+46	00	42	G0	III	0,75	70
							G8	III	0,85	77
Rigel	Ori	5	15	-08	12	772	B8	Ia	0,14	70 000
Procyon	CMi	7	39	+05	14	11,4	F5	IV-V	0,37	7,4
Betelgeuze	Ori	5	55	+07	24	643	M2	Iab	0,41	120 000
Achernar	Eri	1	38	-57	15	144	B5	V	0,51	3600
Hadar	Cen	14	04	-60	22	525	B1	III	0,63	100 000
Altair	Aql	19	51	+08	52	17	A7	IV-V	0,77	10,5
Acrux	Cru	12	27	-63	06	321	B1/B3	IV/V	1,4/1,9	22000/7500

## 18.4 Galaxie

Tabulka 5: Vlastnosti vybraných členů Místní skupiny galaxií.

Název	Vzdálenost (Mly)	Rektascenze		Deklinace		Typ galaxie	Zářivý výkon (miliony L <sub>s</sub> )
		h	m	stupně	minuty		
Galaxie	--	--	--	--	--	Sbc	15 000
WLM	3,0	00	02	-15	30	Irr	50
IC 10	2,7	00	20	+59	18	dIrr	160
NGC 147	2,4	00	33	+48	30	dE	131
NGC 185	2,0	00	39	+48	20	dE	120
NGC 205	2,7	00	40	+41	41	E	370
And VIII	2,7	00	42	+40	37	dE	240
M 32	2,6	00	43	+40	52	E	380
M 31	2,5	00	43	+41	16	Sb	21 000
SMC	0,19	00	53	-72	50	Irr	230
M 33	2,7	01	34	+30	40	Sc	2 800
LMC	0,16	05	24	-69	45	Irr	1 300
NGC 3109	4,1	10	03	-26	09	Irr	160
NGC 6822	1,6	19	45	-14	48	Irr	94
IC 5152	5,2	22	03	-51	18	dIrr	70

## 18.5 Přehled důležitých konstant

### ASTRONOMICKÉ VZDÁLENOSTI

$$1 \text{ AU} \approx 1,496 \cdot 10^8 \text{ km} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$1 \text{ světelný rok (ly)} \approx 9,4 \cdot 10^{12} \text{ km} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ parsec (pc)} \approx 3,09 \cdot 10^{13} \text{ km} \approx 3,26 \text{ ly}$$

$$1 \text{ kiloparsec (kpc)} = 1000 \text{ pc} \approx 3,26 \cdot 10^3 \text{ ly}$$

$$1 \text{ megaparsec (Mpc)} = 10^6 \text{ pc} \approx 3,26 \cdot 10^6 \text{ ly}$$

### FYZIKÁLNÍ KONSTANTY

$$\text{Rychlost světla: } c = 3,00 \cdot 10^5 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Gravitační konstanta: } G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$$

$$\text{Planckova konstanta: } h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{s}$$

$$\text{Stefanova-Boltzmannova konstanta: } s = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ watt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

$$\text{Hmotnost protonu: } m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost elektronu: } m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost Slunce: } 1M_S \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$\text{Poloměr Slunce: } 1R_S \approx 696\,000 \text{ km}$$

$$\text{Zářivý výkon Slunce: } 1L_S \approx 3,8 \cdot 10^{26} \text{ wattů}$$

$$\text{Hmotnost Země: } 1M_Z \approx 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{Poloměr Země (rovníkový): } 1R_Z \approx 6378 \text{ km}$$

$$\text{Gravitační zrychlení na povrchu Země: } g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Úniková rychlost pro povrch Země: } v = 11,2 \text{ km/s} = 11\,200 \text{ m/s}$$

### JEDNOTKY ČASU

1 sluneční den = 24h

1 hvězdný den  $\approx 23\text{h } 56\text{m } 4,09\text{s}$

1 synodický měsíc  $\approx 29,53$  slunečních dnů

1 siderický měsíc  $\approx 27,32$  slunečních dnů

1 tropický rok  $\approx 365,242$  slunečních dnů

1 siderický rok  $\approx 365,256$  slunečních dnů

### DALŠÍ JEDNOTKY

Energie: 1 joule = 1 (kg·m<sup>2</sup>)/s<sup>2</sup>

Výkon: 1 watt = 1 joule/s

Elektronvolt: 1 eV = 1,60·10<sup>-19</sup> joule

## 18.6 Orientace na noční obloze

### 18.6.1 POLOHA SLUNCE, MĚSÍCE A PLANET SLUNEČNÍ SOUSTAVY

Ke zjištění aktuální polohy Slunce, Měsíce, planet nebo dalších těles ve sluneční soustavě je vhodné využít Hvězdářskou ročenku na daný rok nebo některý z níže uvedených odkazů.

#### KLEŤSKÁ ASTRONOMICKÁ ROČENKA

Jedná se o jednoduchou online ročenku, která je praktická, pokud potřebujete údaje pro jeden konkrétní den: <http://www.hvezdarnacb.cz/cgi-bin/kar.cgi>

**Polohy planet, Slunce a Měsíce**

Poloha:  $\lambda = +18^{\circ}00'00''$   $\phi = +50^{\circ}00'00''$   $h = 260$  m.n.m.  
 Čas: UT = 2019-04-13 19:08:00 JD = 2458587.29722 TT = 2458587.29826 LAST = 09:46:43

	rektascenze	deklinace	delta	r	průměr	fáze	Elon	mag	t	Azi	h
	hh mm.m	+ss mm	AA.UUUUU	AA.UUUUU	vv.v	f.ff	ssss	mm.m	hh mm.m	sss	+ss
<b>Merkur</b>	23:49.1	-03 39	0.89869	0.46502	7.5	0.51	28Z	0.3	09:57.7	141	-37
<b>Venuše</b>	23:31.6	-04 33	1.35036	0.72817	12.4	0.84	32Z	-3.9	10:15.1	145	-39
<b>Mars</b>	04:28.2	+22 46	2.11721	1.58275	4.4	0.95	45V	1.5	05:18.5	98	24
<b>Jupiter</b>	17:35.4	-22 41	4.75612	5.31840	38.8	0.99	119Z	-2.4	16:11.3	265	-34
<b>Saturn</b>	19:27.6	-21 30	9.94794	10.05514	15.1	1.00	93Z	1.2	14:19.1	237	-51
<b>Uran</b>	02:00.0	+11 43	20.84139	19.85010	3.3	1.00	8V	5.9	07:46.7	118	-7
<b>Neptun</b>	23:15.6	-05 49	30.74181	29.93705	2.2	1.00	36Z	7.9	10:31.1	150	-42

[Zpět na zadání](#) [Vývrtítky](#)

	rektascenze	deklinace	delta	průměr	fáze	Elon	t	Azi	h
	hh mm.m	+ss mm	km	mm.mm	f.ff	ssss	hh mm.m	sss	+ss
<b>Měsíc</b>	08:36.6	+19 20	369491.9	32.34	0.61	103V	01:10.1	31	56

[Zpět na zadání](#) [Vývrtítky](#)

	rektascenze	deklinace	delta	průměr	t	Azi	h
	hh mm ss	+ss mm vv	AA.UUUUU	mm.mm	hh mm.m	sss	+ss
<b>Slunce</b>	01:27:15	+09°08'57"	1.00271	31.90	08:19.5	123	-14

[Zpět na zadání](#) [Vývrtítky](#)

K výpočtu je užito Planetárních a lunárních elementů DE405/LE405 spravovaných Jet Propulsion Laboratory  
 KAR F.31 (2011-21-61) sams6-Ú  
 Klet'ská astronomická ročenka on-line je určena pouze pro nekomerční využití  
 © Klet's Observatory 2007-2010

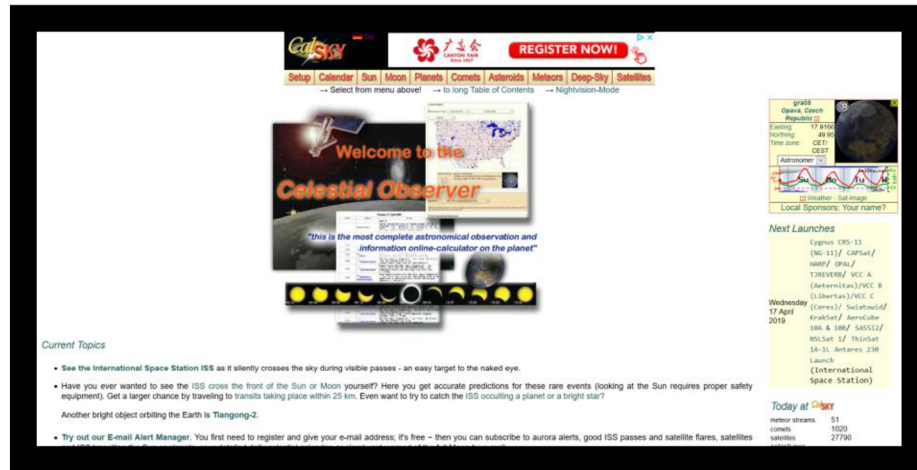
Obrázek 21: Ukázka výstupu z Klet'ské astronomické ročenky.<sup>21</sup>

#### CELESTIAL OBSERVER

Portál CalSky umožňuje generovat textovou nebo grafickou podobu astronomické ročenky. Je to pouze jedna z jeho palety služeb, které astronomům poskytuje na adrese:

<https://www.calsky.com/>

<sup>21</sup> Zdroj: <http://www.hvezdarnacb.cz/cgi-bin/kar.cgi>



Obrázek 22: Titulní strana portálu Celestial Observer.<sup>22</sup>

## ASTRONOMICAL APPLICATIONS DEPARTMENT OF THE U.S. NAVAL OBSERVATORY

Pravděpodobně nejkvalitnější efemeridy, které jsou přístupné online naleznete na portálu U.S. Naval Observatory na adrese: <https://aa.usno.navy.mil/data/index.php>

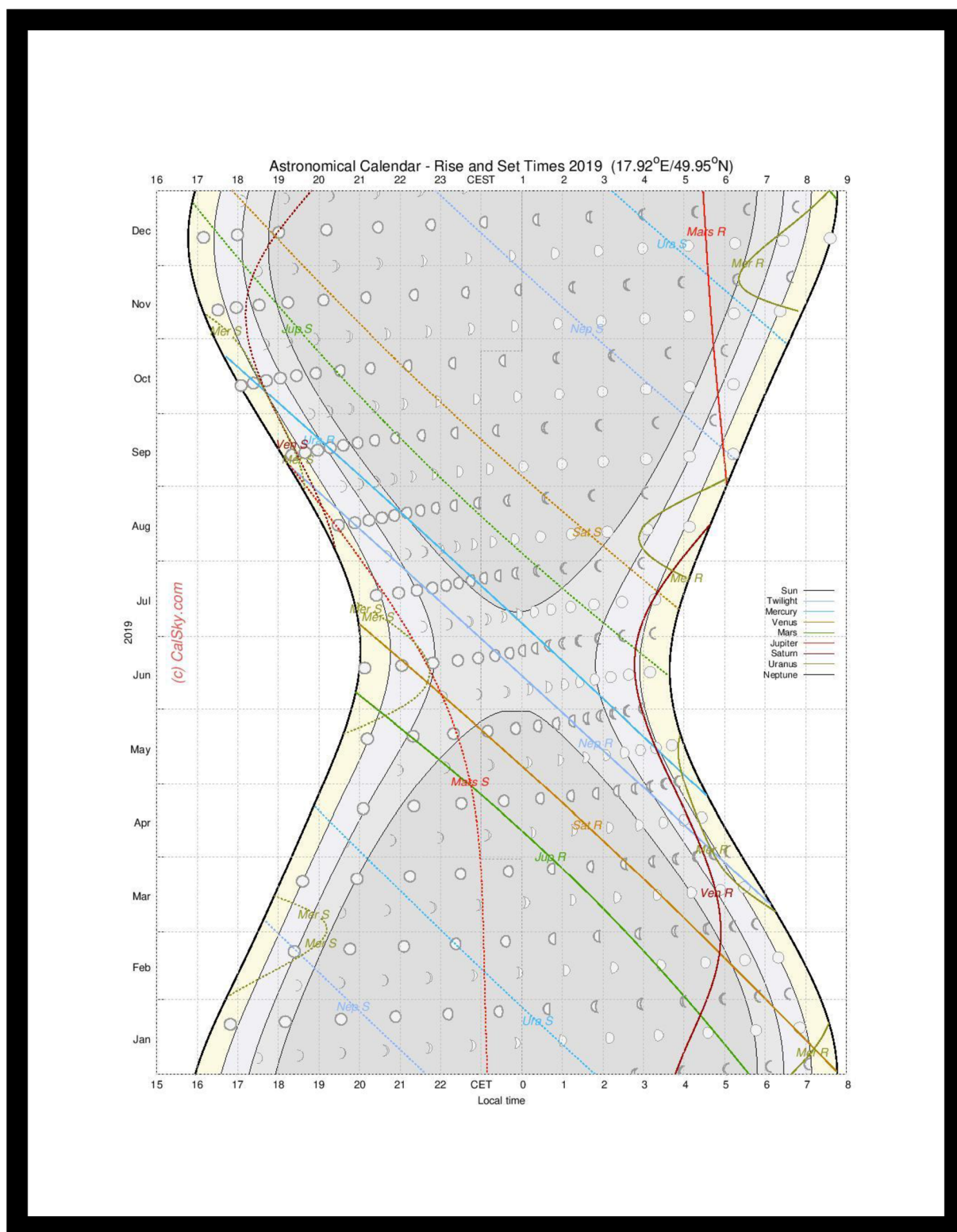


Obrázek 23: Titulní strana portálu U.S. Naval Observatory.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Zdroj: <https://www.calsky.com/>

<sup>23</sup> Zdroj: <https://aa.usno.navy.mil/data/index.php>

Obrázek 24: Korzetový diagram pro polohu Opavy a rok 2019.<sup>24</sup>



<sup>24</sup> Zdroj: <https://www.calsky.com/>



**18.6.2 TABULKA ČESKÝCH A LATINSKÝCH NÁZVŮ SOUHVĚZDÍ**

Latinský název	genitiv	zkratka	překlad
Andromeda	Andromedae	And	Andromeda
Antlia	Antliae	Ant	Vývěva
Apus	Apodis	Aps	Rajka
Aquartus	Aquarii	Aqr	Vodnář
Aquila	Aquilae	Aql	Orel
Ara	Arae	Ara	Oltář
Aries	Arietis	Ari	Beran
Auriga	Aurigae	Aur	Vozka
Bootes	Bootis	Boo	Pastevec, Pastýř
Caelum	Caeli	Cae	Rydlo
Camelopardalis	Camelopardalis	Cam	Žirafa
Cancer	Cancri	Cnc	Rak
Canes Venatici	Canum Venaticorum	CVn	Honící psi
Canis Maior	Canis Majoris	CMa	Velký pes
Canis Minor	Canis Minoris	CMi	Malý pes
Capricornus	Capricorni	Cap	Kozoroh
Carina	Carinae	Car	Lodní kýl
Cassiopea	Cassiopeiae	Cas	Kasiopeja
Centaurus	Centauri	Cen	Kentaur
Cepheus	Cephei	Cep	Kefeus
Cetus	Ceti	Cet	Velryba
Chameleon	Chamaeleontis	Cha	Chameleon
Circinus	Circini	Cir	Kružítko
Columba	Columbae	Col	Holubice
Coma Berenices	Comae Berenices	Com	Vlasy Bereniky
Corona Australis	Coronae Australis	CrA	Jižní koruna
Corona Borealis	Coronae Borealis	CrB	Severní koruna
Corvus	Corvi	Crv	Havran
Crater	Crateri	Crt	Pohár
Crux	Crucis	Cru	Kříž, Jižní kříž
Cygnus	Cygni	Cyg	Labuť
Delphinus	Delphini	Del	Delfín

Dorado	Doradus	Dor	Mečoun
Draco	Draconis	Dra	Drak
Equuleus	Equulei	Equ	Koníček
Eridanus	Eridani	Eri	Eridanus
Fornax	Fornacis	For	Pec
Gemini	Geminorum	Gem	Bliženci
Grus	Gruis	Gru	Jeřáb
Hercules	Herculis	Her	Herkules
Horologium	Horologii	Hor	Hodiny
Hydra	Hydrae	Hya	Hydra
Hydrus	Hydri	Hyi	Malý vodní had
Indus	Indi	Ind	Indián
Lacerta	Lacertae	Lac	Ještěrka
Leo	Leonis	Leo	Lev
Leo Minor	Leonis Minoris	LMi	Malý lev
Lepus	Leporis	Lep	Zajíc
Libra	Librae	Lib	Váhy
Lupus	Lupi	Lup	Vlk
Lynx	Lyncis	Lyn	Rys
Lyra	Lyrae	Lyr	Lyra
Mensa	Mensae	Men	Tabulová hora
Microscopium	Microscopii	Mic	Mikroskop
Monoceros	Monocerotis	Mon	Jednorožec
Musca	Muscae	Mus	Moucha
Norma	Normae	Nor	Pravítko
Octans	Octantis	Oct	Oktant
Ophiuchus	Ophiuchi	Oph	Hadonoš
Orion	Orionis	Ori	Orion
Pavo	Pavonis	Pav	Páv
Pegasus	Pegasi	Peg	Pegas
Perseus	Persei	Per	Perseus
Phoenix	Phoenicis	Phe	Fénix
Pictor	Pictoris	Pic	Malíř
Pisces	Piscium	Psc	Ryby

Piscis Austrinus	Piscis Austrini	PsA	Jižní ryba
Puppis	Puppis	Pup	Lodní záď
Pyxis	Pyxidis	Pyx	Kompas
Reticulum	Reticuli	Ret	Mřížka
Sagitta	Sagittae	Sge	Šíp
Sagittarius	Sagittarii	Sgr	Střelec
Scorpius	Scorpii	Sco	Štír
Sculptor	Sculptoris	Scl	Sochař
Scutum	Scuti	Sct	Štít
Serpens	Serpentis	Ser	Had
Sextans	Sextantis	Sex	Sextant
Taurus	Tauri	Tau	Býk
Telescopium	Telescopii	Tel	Dalekohled
Triangulum	Trianguli	Tri	Trojúhelník
Triangulum Australe	Trianguli Australis	TrA	Jižní trojúhelník
Tucana	Tucanae	Tuc	Tukan
Ursa Maior	Ursae Maioris	UMa	Velká medvědice
Ursa Minor	Ursae Minoris	Umi	Malý medvěd
Vela	Velorum	Vel	Plachty
Virgo	Virginis	Vir	Panna
Volans	Volantis	Vol	Létající ryba
Vulpecula	Vulpeculae	Vul	Lištička

## LITERATURA

- [1] T. Gráf, *Se zakloněnou hlavou pozorujeme hvězdy*, CP Press Brno, EAN: 9788025124864,
- [2] J. Janík, Z. Mikulášek, *Obecná astronomie*, MU Brno, <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F3170.pdf>, 2017,
- [3] M. G. Minnaert, *Praktická astronómia*, Obzor, ISBN neuvedeno, 1979,
- [4] Z. Mikulášek, M. Zejda, *Proměnné hvězdy*, MU Brno, <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F5540.pdf>, 2013,
- [5] P. Moore (Ed.), *The Observational Amateur Astronomer*, Springer, ISBN 3540198997, 1995,
- [6] P. Moore (Ed.), *The Modern Amateur Astronomer*, Springer, ISBN 3540199004, 1995,
- [7] A. J. Norton, *Observing the Universe*, Cambridge University Press, ISBN 0521603935, 2004,
- [8] Z. Řehoř, *Základy optiky*, portál ČAS, <http://posec.astro.cz/index.php/clanky/teorie>, 2013,
- [9] M. Wolf a kol., *Astronomická příručka*, Academia, ISBN 802000467X, 1992,
- [10] M. Zejda, *Základy astronomie 1*, MU Brno, <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F1251.pdf>, 2013,

## SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY

Text této studijní opory by měl zájemcům o studium předmětu Proseminář z astronomie (I a II) usnadnit orientaci v tématech, kterými se zmíněný dvousemestrální kurz zabývá. Jednotlivé kapitoly jsou zaměřeny na různé oblasti astronomie a jsou koncipovány jako úplný úvod do této problematiky. V textu jsou použity prvky typické pro distanční studijní texty, jejich přehled je na konci textu a jejich význam je zřejmý z názvosloví i použitého grafického prvku.

Studijní opora má také svou ELM nadstavbu v prostředí Moodle, kterou mohou zájemci najít na univerzitním nebo fakultním e-learningovém portálu (<https://elearning.slu.cz/>).

### Přehled kapitol:

1 HISTORIE ASTRONOMIE, FYZIKÁLNÍ KONSTANTY A JEDNOTKY POUŽÍVANÉ V ASTROFYZICE - obsahuje historii zkoumání vesmíru, zavedení fyzikálních konstant a jednotek: jednotky vzdálenosti, hmotnosti, času, zářivého výkonu, a také zavedení některých pojmů,

2 ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ KAMENY HMOTY A ČTYŘI FUNDAMENTÁLNÍ SÍLY – shrnuje systém elementárních částic a jejich charakteristiky, interakce a intermedieální částice, sjednocení interakcí,

3 ZDROJE INFORMACÍ O VESMÍRU – představuje záření jako hlavní zdroj informací o vesmíru (záření absolutně černého tělesa, brzděné, cyklotronové a synchrotronové záření, kosmické záření, neutrina, gravitační vlny,

4 HVĚZDY – kapitola představuje základní charakteristiky hvězd, modely hvězd, zavádí veličiny popisující jasnost hvězd, definuje Harvardskou klasifikaci, luminozitivní třídy a Hertzsprungův-Russellův diagram,

5 SFÉRICKÁ ASTRONOMIE, ČAS – kapitola obsahuje úvod do sférické astronomie a představuje základní časové systémy,























6 HVĚZDNÉ MAPY A KATALOGY, OTOČNÁ MAPKA, HVĚZDÁŘSKÁ ROČENKA – obsahuje vysvětlení používání otočné mapky a také základní informace o katalozích a atlasech hvězd i využití astronomických ročenek,

7 DŮLEŽITÁ SOUHVĚZDÍ, VIDITELNOST SOUHVĚZDÍ PODLE ROČNÍCH DOB – seznámení s orientací na hvězdné obloze, pozornost je věnována zejména ekliptikálním souhvězdím.

8 SOUHVĚZDÍ PODZIMNÍ A ZIMNÍ OBLOHY,

- 9 POHYB TĚLES VE SLUNEČNÍ SOUSTAVĚ – vysvětlení pojmů opozice, konjunkce, elongace a Keplerovy zákony pohybu planet,
- 10 ASTRONOMICKÉ PŘÍSTROJE – přehled typů dalekohledů, vad optiky a montáží,
- 11 SOUHVĚZDÍ JARNÍ A LETNÍ OBLOHY,
- 12 PLANETY SLUNEČNÍ SOUSTAVY – základní pravidla pozorovatelnosti planet a přehled jejich vlastností, přirozené satelity planet a trpasličí planety,
- 13 MALÁ TĚLESA SLUNEČNÍ SOUSTAVY - planetky, komety, meziplanetární látka, meteory,
- 14 OPTICKÉ JEVY V ATMOSFÉŘE,
- 15 PROMĚNNÉ HVĚZDY – historie, nomenklatura, mechanismy proměnnosti,
- 16 GALAXIE – hvězdné soustavy, Galaxie a extragalaktické systémy,
- 17 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTÍ VE VESMÍRU – přímá měření, nepřímé metody,
- 19 PŘÍLOHY – periodická tabulka prvků, další přehledové tabulky: sluneční soustava, hvězdy, Galaxie, poloha Slunce, Měsíce a planet sluneční soustavy a také seznam českých a latinských názvů všech 88 souhvězdí hvězdné oblohy.

## PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON

	Čas potřebný ke studiu		Cíle kapitoly
	Klíčová slova		Nezapomeňte na odpočinek
	Průvodce studiem		Průvodce textem
	Rychlý náhled		Shrnutí
	Tutoriály		Definice
	K zapamatování		Případová studie
	Řešená úloha		Věta
	Kontrolní otázka		Korespondenční úkol
	Odpovědi		Otázky
	Samostatný úkol		Další zdroje
	Pro zájemce		Úkol k zamyšlení

Název: **Astronomický proseminář I a II**

Autor: **RNDr. Tomáš Gráf, Ph.D.**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě  
Filozoficko-přírodovědecká fakulta v Opavě

Určeno: studentům SU FPF Opava

Počet stran: 152

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.