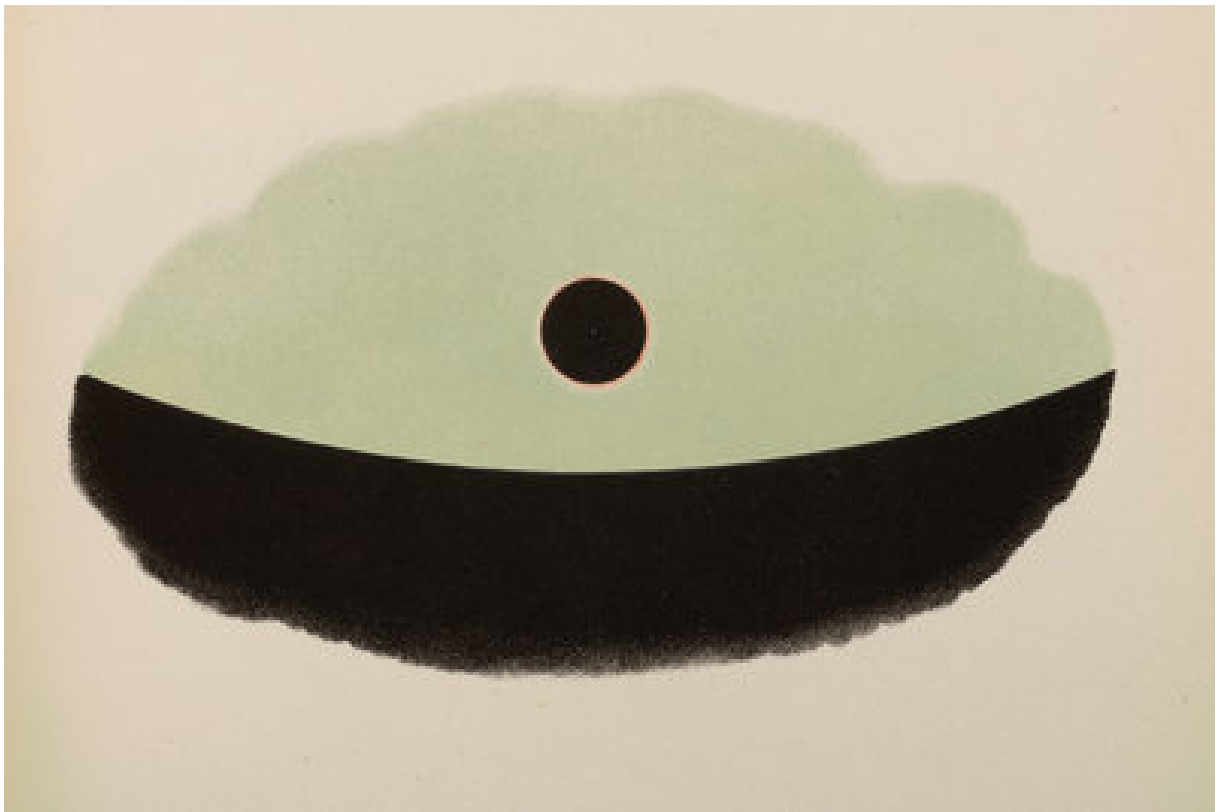


SLEZSKÁ UNIVERZITA V OPAVĚ

Praktická astronomie

Studijní text



Tomáš Gráf



Příprava tohoto studijního materiálu byla financována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR v rámci realizace projektu CZ.1.07/2.2.00/28.0271, Intenzifikace internacionálních, mezioborových a intersektorálních přístupů při studiu.

Praktická astronomie

studijní text

autor: Tomáš Gráf

tgraf@volny.cz

sazba L^AT_EX: Tomáš Gráf

© 2015 Slezská univerzita v Opavě

obrázek na titulní straně: zdroj

verze z 27. října 2015



Obsah

1	Transformace souřadnic	3
1.1	Astronomické souřadnicové soustavy	3
1.1.1	Horizontální soustava	4
1.1.2	Rovníková soustava 1. druhu	4
1.1.3	Rovníková soustava 2. druhu	5
1.1.4	Ekliptikální soustava	5
1.1.5	Galaktická soustava	6
1.1.6	Soustava ICRS	6
1.2	Transformace souřadnic	6
1.2.1	Transformace rovníkových souřadnic 1. a 2. druhu	7
1.2.2	Transformace horizontálních a rovníkových souřadnic 1. druhu	8
1.2.3	Transformace ekliptikálních a rovníkových souřadnic	8
1.2.4	Software pro transformaci souřadnic – Astro-Toolbox	8
2	Systémy měření času	9
2.1	Čas jako fyzikální veličina	9
2.1.1	Rotační časové systémy	9
2.1.2	Časové systémy definované fyzikálně	11
2.2	Kalendáře	13
2.2.1	Definice roků	13
2.2.2	Kalendářní systémy	13
3	Astronomické katalogy a atlasy	17
3.1	Katalogy	17
3.1.1	(Yale) Bright Star Catalog	17
3.1.2	Bonner Durchmusterung (BD) a Cordoba Durchmusterung (CD)	18
3.1.3	Henry Draper Catalog (HD)	18
3.1.4	SAO	18
3.1.5	Guide Star Catalogue	18
3.1.6	Další katalogy	18
3.2	Hvězdné mapy a atlasy	20
3.2.1	Mag-7 Star Atlas	20
3.2.2	Karkoschkův astronomický atlas hvězdné oblohy	20
3.2.3	Palomar Observatory Sky Survey (POSS)	21
3.2.4	Další atlasy	21
3.3	Ročenky	22

3.3.1	Tištěné ročenky	22
3.3.2	Elektronické ročenky	22
4	Astronomické databáze a virtuální observatoře	25
4.1	Databáze	25
4.1.1	Další on-line zdroje	25
4.2	Virtuální observatoře	26
5	Astronomická pozorování z povrchu Země	27
5.1	Korekce polohy astronomických objektů	27
5.1.1	Precese a nutace	28
5.1.2	Aberace	29
5.1.3	Paralaxa	29
5.1.4	Vlastní pohyb	29
5.2	Vliv atmosféry Země na pozorování	30
5.2.1	Astronomická refrakce	30
5.2.2	Atmosférická extinkce	31
5.3	Plánování pozorování	33
5.3.1	Dodatek	35
6	Pozorovací technika	37
6.1	Dalekohledy	37
6.1.1	Typy dalekohledů	38
6.1.2	Vady optiky [11]	42
6.1.3	Vývoj pozorovací techniky	43
6.1.4	Největší dalekohledy světa	43
6.1.5	Získání pozorovacího času	51
6.2	Montáže dalekohledů	53
6.2.1	Azimutální montáž	53
6.2.2	Paralaktická montáž	53
6.2.3	Automatizované montáže	54
6.3	Detektory	55
6.3.1	Oko	55
6.3.2	Fotografická emulze	56
6.3.3	Fotonásobiče	57
6.3.4	CCD detektory	58

Předmluva

Obsah předmětu „Praktická astronomie“, který několik let vyučuji na Slezské univerzitě v Opavě, byl rozdělen do dvou samostatných částí studijního textu:

- Praktická astronomie
- Metody pozorovací astronomie

Praktická astronomie

Tento díl studijního textu obsahuje základní informace o transformacích astronomických souřadnic, systémech měření času, astronomických katalogích a atlasech včetně astronomických databází. Shrnuje vliv atmosféry Země na pozorování a seznámí studenty se základními informacemi o dalekohledech a jejich montážích. Zmíněny jsou rovněž základní optické vady a poslední část je věnována detektorům používaným v astronomii.

Poděkování

Rád bych poděkoval Slezské univerzitě a Ústavu fyziky za poskytnutí možnosti vypracování tohoto studijního textu. Zejména RNDr. Petru Slanému, Ph.D. za jeho podporu a trpělivost. V neposlední řadě patří můj dík také naší rodině za vytváření zázemí, na které se mohu spolehnout.

Tomáš Gráf

Kapitola 1

Transformace souřadnic

Poustka: „Podívejte se, normálně jdu na sever a UŽ JDU NA JIH! Na sever A NA JIH!“

Šofr: „To není možné.“

Poustka: „Jestli mi nevěříš, tak si to zkus.“

Šofr: „To jsem zvědavý no jo! A zpátky zase.“

– Divadlo Jára Cimrmana, hra *Dobytí severního pólu*

1.1 Astronomické souřadnicové soustavy

Systematická astronomická pozorování se mimo jiné zabývají také určováním okamžitých poloh astronomických objektů. Tento úkol není triviální, protože pokud pozorujeme ze zemského povrchu, pak přímým pozorováním jsme schopni určit pouze směr, ve kterém se objekt nachází, vzdálenost neznáme. Další vlivy, o které je nutné pozorování opravit, je pohyb Země, vliv její atmosféry na pozorování a také důsledky konečné rychlosti světla. K tomu, abychom mohli všechny vlivy zohlednit, je však nutné mít zavedenu jednoznačnou souřadnicovou soustavu.

Podrobněji se zavedení astronomických souřadnicových soustav věnuje přednáška *Základy astronomie*. Zde si jen rekapitulujeme ty nejpoužívanější.

Podle volby základní roviny a základního směru rozlišujeme:

1. horizontální soustava - ideální horizont, místní poledník, levotočivá
2. rovníková soustava 1. druhu - světový rovník, místní poledník, levotočivá
3. rovníková soustava 2. druhu - světový rovník, směr k jarnímu bodu, pravotočivá
4. ekliptikální soustava - rovina ekliptiky, směr k jarnímu bodu, pravotočivá
5. galaktická soustava - rovina rovníku Galaxie, směr k centru Galaxie, pravotočivá
6. ICRS (International Celestial Reference System) - je založen na rovníkových souřadnicích 2. druhu vybraných kvazarů

Záleží také na volbě počátku, pak jsou možné tyto modifikace:

- topocentrická soustava - v místě pozorování
- geocentrická soustava - v těžišti Země
- heliocentrická soustava - v těžišti Slunce
- barycentrická soustava - v těžišti Sluneční soustavy

1.1.1 Horizontální soustava

Základní rovinou je v tomto systému rovina tečná k povrchu Země v místě pozorovacího stanoviště. Množina všech směrů, které leží v této rovině, vytváří tzv. *ideální horizont*. Základní směr je pak definován jižní polopřímkou průsečnice místního horizontu a roviny místního poledníku (tzv. *meridiánu*).

K jednoznačnému popisu polohy bodu používáme v této soustavě souřadnice:

- *azimut* A - úhel od základního směru měřený směrem na západ
- *výška nad obzorem* h - úhel mezi směrem k bodu a tečnou rovinou
- *vzdálenost od počátku* souřadné soustavy (není nutná, pokud nás zajímá pouze směr k bodu na obloze a ne jeho poloha v prostoru)

V některých případech je vhodnější využít souřadnici označovanou jako *zenitová vzdálenost* z , která je definována vztahem $z = 90^\circ - h$. Jako tzv. *almukantaráty* označujeme vedlejší kružnice, které jsou rovnoběžné s rovinou ideálního místního horizontu. Nevýhodou této soustavy je to, že je topocentrická.

Pro polohový vektor \vec{r} platí:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \cos h \cos A \\ r \cos h \sin A \\ r \sin h \end{pmatrix}, \text{ kde } A \in (0^\circ, 360^\circ), h \in (-90^\circ, 90^\circ), z \in (0^\circ, 180^\circ). \quad (1.1)$$

1.1.2 Rovníková soustava 1. druhu

V tomto systému je základní rovinou rovina světového rovníku a základním směrem jižní polopřímka její průsečnice s rovinou místního poledníku (tzv. *meridiánu*).

K jednoznačnému popisu polohy bodu používáme v této soustavě souřadnice:

- *hodinový úhel* t - úhel od základního směru měřený směrem na západ
- *deklinace* δ - úhel mezi směrem k bodu a rovinou světového rovníku
- *vzdálenost od počátku* souřadné soustavy (není nutná, pokud nás zajímá pouze směr k bodu na obloze a ne jeho poloha v prostoru)

V některých případech je vhodnější využít souřadnici označovanou jako *pólová distance* δ' , která je definována vztahem $\delta' = 90^\circ - \delta$. Osa z této soustavy je rovnoběžná (totožná) s osou rotace Země a míří v naší epoše do těsné blízkosti hvězdy Polárky (Severky, α UMi) v souhvězdí Malého medvěda.

Pro polohový vektor \vec{r} platí:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \cos \delta \cos t \\ r \cos \delta \sin t \\ r \sin \delta \end{pmatrix}, \text{ kde } t \in (0^h, 24^h), \delta \in (-90^\circ, 90^\circ), \delta' \in (0^\circ, 180^\circ). \quad (1.2)$$

1.1.3 Rovníková soustava 2. druhu

Jedná se jinou variantu předchozí soustavy, základní rovina je shodná, ale základní směrem je zvolen směr k tzv. *jarnímu bodu*. Ten je definován jako jedna z polopřímek průsečnice roviny světového rovníku a roviny ekliptiky.

Potom k jednoznačnému popisu polohy bodu používáme v této soustavě souřadnice:

- *rektascenze* α - úhel od základního směru měřený směrem na východ
- *deklinace* δ - úhel mezi směrem k bodu a rovinou světového rovníku
- *vzdálenost od počátku* souřadné soustavy (není nutná, pokud nás zajímá pouze směr k bodu na obloze a ne jeho poloha v prostoru)

Někdy je vhodnější využít souřadnici označovanou jako *pólová distance* δ' , která je definována vztahem $\delta' = 90^\circ - \delta$. Osa z této soustavy je také rovnoběžná (totožná) s osou rotace Země a míří v naší epoše do těsné blízkosti hvězdy Polárky (Severky, α UMi) v souhvězdí Malého medvěda. Výhodou této soustavy je to, že rotuje s hvězdnou oblohou.

Pro polohový vektor \vec{r} platí:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \cos \delta \cos \alpha \\ r \cos \delta \sin \alpha \\ r \sin \delta \end{pmatrix}, \text{ kde } \alpha \in (0^h, 24^h), \delta \in (-90^\circ, 90^\circ), \delta' \in (0^\circ, 180^\circ). \quad (1.3)$$

1.1.4 Ekliptikální soustava

Jako základní rovina je zvolena rovina ekliptiky, která je definována polohou roviny oběhu Země kolem Slunce. Základním směrem je pak směr k *jarnímu bodu*, tedy tzv. výstupnímu uzlu dráhy Země.

Pak k jednoznačnému popisu polohy bodu používáme v této soustavě souřadnice:

- *ekliptikální délka* λ - úhel od základního směru měřený směrem na východ
- *ekliptikální šířka* β - úhel mezi směrem k bodu a rovinou ekliptiky
- *vzdálenost od počátku* souřadné soustavy (není nutná, pokud nás zajímá pouze směr k bodu na obloze a ne jeho poloha v prostoru)

Rovina ekliptiky svírá s rovinou světového rovníku úhel $\epsilon = 23^\circ 27'$, což také znamená, že osa z ekliptikální soustavy není rovnoběžná s rotační osou Země a míří do směru souhvězdí Draka.

Pro polohový vektor \vec{r} platí:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \cos \beta \cos \lambda \\ r \cos \beta \sin \lambda \\ r \sin \beta \end{pmatrix}, \text{ kde } \lambda \in (0^\circ, 360^\circ), \beta \in (-90^\circ, 90^\circ), \epsilon = 23^\circ 27'. \quad (1.4)$$

1.1.5 Galaktická soustava

Pro tuto soustavu je základní rovinou rovina rovníku Galaxie, která svírá s rovinou světového rovníku úhel $i = 62,6^\circ$. Za základní směr je zvolen směr ke středu Galaxie (poloha definována jako $\alpha = 17^h 45^m 37^s$ a $\delta = -28^\circ 56' 10''$ pro ekvinokcium 2000.0).

Pak k jednoznačnému popisu polohy bodu používáme v této soustavě souřadnice:

- *galaktická délka* l - úhel od základního směru měřený směrem na východ
- *galaktická šířka* b - úhel mezi směrem k bodu a rovinou rovníku Galaxie
- *vzdálenost od počátku* souřadné soustavy (není nutná, pokud nás zajímá pouze směr k bodu na obloze a ne jeho poloha v prostoru)

Osa z galaktické soustavy míří tzv. severnímu galaktickému pólu, ten leží ve směru souhvězdí Vlasy Bereniky (souřadnice pro ekvinokcium 2000.0 jsou $\alpha = 12^h 51^m 26^s$ a $\delta = 27^\circ 07' 42''$).

Pro polohový vektor \vec{r} platí:

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} r \cos b \cos l \\ r \cos b \sin l \\ r \sin b \end{pmatrix}, \text{ kde } l \in (0^\circ, 360^\circ), b \in (-90^\circ, 90^\circ), i = 62,6^\circ \quad (1.5)$$

1.1.6 Soustava ICRS

Tento systém je zatím nejlepší realizací inerciální vztažné soustavy. Je definován souřadnicemi vybraných kvazarů a jiných mimogalaktických objektů. Přesnost souřadnic v ICRS dosahuje až $0,0002''$ a jsou nezávislé na změnách směru *jarního bodu*. Kromě jeho základní varianty ICRS je používána také dokonalejší verze ICRS2, která je založena na rozsáhlejší počtu objektů a větším množství měření.

1.2 Transformace souřadnic

Protože neexistuje žádná univerzální astronomická souřadná soustava, ale použití každé z výše uvedených je výhodné pro jiné účely, setkáme se také s potřebou převodu souřadnic mezi různými soustavami. K tomu je výhodné využít tzv. transformačních rovnic, které zapisujeme v maticovém tvaru [3]. Obecně můžeme transformace rozdělit do tří skupin:

- posun počátku souřadné soustavy
- rotace souřadné soustavy
- zrcadlení (převod pravotočivé soustavy na levotočivou a naopak)

Při transformaci kartézských souřadnic v prostoru platí pro posun počátku soustavy o vektor $\vec{R} = (X, Y, Z)$ následující vztah:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

a tedy ve vektorovém zápisu

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{R}. \quad (1.7)$$

Nyní si odvodíme matici rotace, která nám spolu s výše uvedenou maticí posunutí (translace) umožní obecné transformace souřadnicových soustav. Můžeme tedy napsat:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{i}' \\ \vec{j}' \\ \vec{k}' \end{pmatrix} \vec{r} = \begin{pmatrix} \vec{i}' \\ \vec{j}' \\ \vec{k}' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad (1.8)$$

kde matice rotace má tvar

$$R = \begin{pmatrix} \vec{i}'\vec{i} & \vec{i}'\vec{j} & \vec{i}'\vec{k} \\ \vec{j}'\vec{i} & \vec{j}'\vec{j} & \vec{j}'\vec{k} \\ \vec{k}'\vec{i} & \vec{k}'\vec{j} & \vec{k}'\vec{k} \end{pmatrix}. \quad (1.9)$$

V matici rotace však nejsou všechny hodnoty nezávislé, ale dají se vyjádřit ze 3 parametrů, kterými jsou směrové kosiny představující rotace kolem jednotlivých tří os souřadnicové soustavy. Matice rotace kolem osy z o úhel ϕ (tedy $z = z'$ a $\vec{k} = \vec{k}'$)

$$R(\phi) = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1.10)$$

rotace kolem osy y o úhel θ

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix}, \quad (1.11)$$

a konečně rotace kolem osy x o úhel ψ

$$R(\psi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix}. \quad (1.12)$$

Obecná rotační transformace je pak kombinací těchto tří rotačních matic, mějme však na paměti, že operace rotace kolem jednotlivých os nejsou komutativní.

1.2.1 Transformace rovníkových souřadnic 1. a 2. druhu

Tyto souřadnicové soustavy mají shodnou základní rovinu a jedna jejich souřadnice, *deklínace* δ , je dokonce totožná pro obě soustavy. Transformace je tedy velmi jednoduchá a pro převod hodnot hodinového úhlu na hodnoty rektascenze můžeme využít vztahu

$$\alpha = S - t, \quad (1.13)$$

kde veličina S je tzv. *hvězdný čas*. Jeho hodnota odpovídá hodinovému úhlu jarního bodu. Hvězdný čas vlastně popisuje rotaci Země vzhledem ke vzdáleným hvězdám. Jako jeden *hvězdný den* je označována jedna otočka Země vůči hvězdám. Jeho vztah k jiným systémům měření času je podrobněji rozebrán v další kapitole.

1.2.2 Transformace horizontálních a rovníkových souřadnic 1. druhu

Hlavní roviny obou soustav svírají úhel $\theta = 90^\circ - \varphi$, kde úhel φ je zeměpisná šířka pozorovacího stanoviště. Osy y obou soustav jsou shodné, celá transformace je pouhou rotací kolem osy y . S využitím dříve odvozených vztahů můžeme transformaci zapsat v této podobě:

$$\begin{pmatrix} \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos h \cos A \\ \cos h \sin A \\ \sin h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \delta \cos t \\ \cos \delta \sin t \\ \sin \delta \end{pmatrix}. \quad (1.14)$$

Po úpravách dostaneme tyto transformační vztahy

$$\begin{aligned} \sin \varphi \cos h \cos A + \cos \varphi \sin h &= \cos \delta \cos t \\ \cos h \sin A &= \cos \delta \sin t, \\ -\cos \varphi \cos h \cos A + \sin \varphi \sin h &= \sin \delta \end{aligned} \quad (1.15)$$

ale pokud potřebujeme opačný převod, tak se jedná o rotaci o úhel $-\theta$ a analogicky platí

$$\begin{pmatrix} \sin \varphi & 0 & -\cos \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \delta \cos t \\ \cos \delta \sin t \\ \sin \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos h \cos A \\ \cos h \sin A \\ \sin h \end{pmatrix}. \quad (1.16)$$

a dospějeme ke třem transformačním vztahům

$$\begin{aligned} \sin \varphi \cos \delta \cos t + \cos \varphi \sin \delta &= \cos h \cos A \\ \cos \delta \sin t &= \cos h \sin A, \\ -\cos \varphi \cos \delta \cos t + \sin \varphi \sin \delta &= \sin h \end{aligned} \quad (1.17)$$

1.2.3 Transformace ekliptikálních a rovníkových souřadnic

Na transformaci mezi rovníkovými souřadnicemi 2. druhu a ekliptikálními souřadnicemi je možné pohlížet jako na rotaci kolem jejich identické osy x o úhel $\varepsilon = 23^\circ 27'$. Platí tedy

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & \sin \varepsilon \\ 0 & -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \beta \sin \lambda \\ \sin \beta \end{pmatrix}. \quad (1.18)$$

což nás dovede k těmto převodním vztahům

$$\begin{aligned} \cos \delta \cos \alpha &= \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \varepsilon \cos \delta \sin \alpha + \sin \varepsilon \sin \delta \sin t &= \cos \beta \sin \lambda, \\ -\sin \varepsilon \cos \delta \sin \alpha + \cos \varepsilon \sin \delta &= \sin \beta \end{aligned} \quad (1.19)$$

1.2.4 Software pro transformaci souřadnic – Astro-Toolbox

Transformaci souřadnic usnadňuje celá řada různých počítačových programů. Poměrně pokročilým nástrojem pro složitější transformace souřadnic všech různých souřadnicových systémů navzájem je Astro-Toolbox. Je možné jej využívat on-line <http://www.astro-toolbox.com/> nebo si balík podprogramů stáhnout a vytvářet si vlastní produkty podle svých aktuálních potřeb. Více informací a příklady aplikací naleznete také zde: http://www.fesg.bv.tum.de/mediadb/9825/9826/iapg_fesg_rpt_18.pdf.

Kapitola 2

Systemy měření času

„Čas si vymysleli lidé, aby věděli, od kdy do kdy a co za to“

– Jan Werich, *předscény*

2.1 Čas jako fyzikální veličina

Čas považujeme v klasickém pojetí za fyzikální veličinu, jejíž hodnota se trvale mění a rovnoměrně narůstá. Je měřitelný až ve spojení s pohybem v konkrétní vztažné soustavě. Princip měření času spočívá ve volbě vhodného periodického děje, přičemž je pro přesnost měření rozhodující stabilita délky periody. Protože jedním z takových periodických jevů je rotace Země, bylo přesné měření času po mnoho staletí právě doménou astronomie. Teprve v druhé polovině minulého století bylo nutné definovat jednotku času zcela nově s využitím mnohem stálejších fyzikálních procesů. Z toho historického hlediska je možné všechny časové systémy rozdělit do dvou skupin:

- časy odvozené z rotace Země (rotační časové systémy)
- časy definované fyzikálně

2.1.1 Rotační časové systémy

Rotační časy jsou definovány s využitím periodického rotačního pohybu Země kolem její osy. Z dnešního pohledu víme, že všechny takto definované časy jsou nerovnoměrné a mohou dnes sloužit k popisu nepravidelností rotační rychlosti Země.

Hvězdné časy

Na hvězdný čas můžeme pohlížet jako na hodnotu hodinového úhlu jarního bodu. Jeden *hvězdný den* je definován jako doba, která uplyne mezi dvěma horními kulminacemi jarního bodu. Podle způsobu redukce polohy jarního bodu rozlišujeme:

- *střední hvězdný čas* \bar{S} vážící se ke střednímu jarnímu bodu (jen vliv precese)
- *pravý hvězdný čas* S vážící se k pravému jarnímu bodu (redukce precese i nutace)

Hvězdné časy můžeme vztahovat k libovolnému poledníku, ale významné postavení má *světový hvězdný čas*, který se váže k nultému poledníku. Časy vztažené k meridiánu se označují jako *místní hvězdné časy*. Všechny hvězdné časy mají za jednotku *hvězdný den*, který je členěn na 24 *hvězdných hodin* atd.

Sluneční časy

Pokud rotaci Země budeme vztahovat ke Slunci, můžeme tak definovat sluneční čas. Rozlišujeme *pravý sluneční čas* a *střední sluneční čas*. Podle poledníku, ke kterému jsou vztaženy rozlišujeme:

- *pravý greenwichský sluneční čas* - hodinový úhel pravého Slunce zvětšený o 12^h
- *místní pravý sluneční čas* - hodinový úhel pravého Slunce vztažený k meridiánu zvětšený o 12^h .

Pravý sluneční den je pak definován jako doba mezi dvěma po sobě následujícími kulminacemi pravého Slunce. Vzhledem k nerovnoměrnému pohybu pravého (skutečného) Slunce po obloze (nepohybuje se v rovině světového rovníku, ale v rovině ekliptiky; jeho rychlost se během roku mění - nejrychleji v perihelu, nejpomaleji v afelu), není používání pravých slunečních časů příliš praktické. Proto bylo zavedeno tzv. střední Slunce, což je fiktivní těleso, které se pohybuje rovnoměrně v rovině světového rovníku. Tak je možné zavést *střední sluneční čas*.

Střední greenwichský sluneční čas (světový čas UT) je vlastně greenwichský hodinový úhel středního Slunce zvětšený o 12^h .

Místní střední sluneční čas je hodinový úhel vztažený k meridiánu zvětšený o 12^h .

Střední sluneční den je definován jako doba mezi dvěma po sobě následujícími dolními kulminacemi středního Slunce.

Vztah mezi pravým a středním slunečním časem popisuje tzv. *časová rovnice*, která bývá prezentována jako diagram ročního průběhu rozdílu hodnot obou časových systémů. V průběhu roku rozdíl dosahuje extrémních hodnot ± 16 minut a čtyřikrát je roven nule (viz obrázek 2.1).

Soustava světových časů

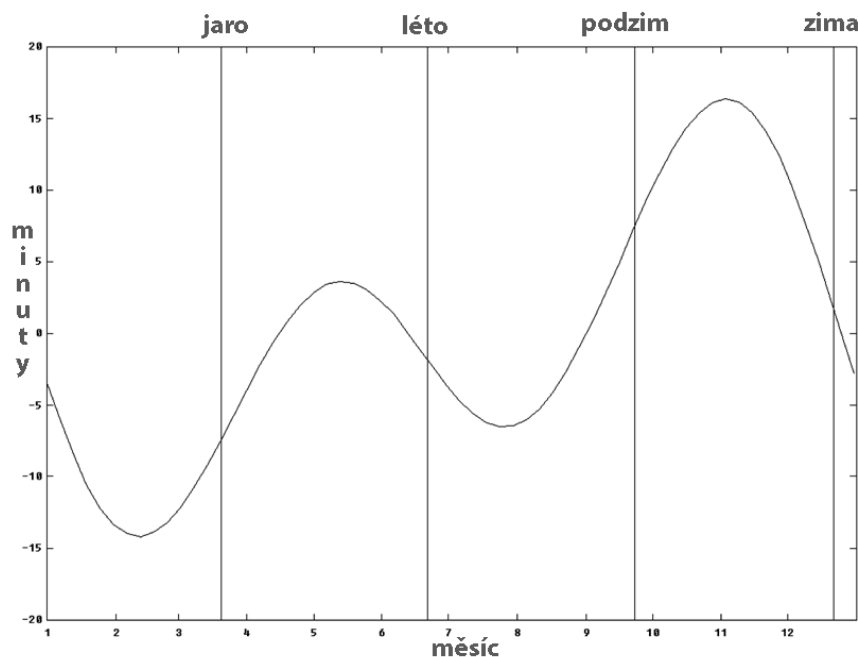
UT0 (Universal Time) je světový čas určený astronomickým měřením a platí pro dané pozorovací místo (se souřadnicemi φ_0 a λ_0).

UT1 je světový čas vázaný na rotaci Země, neplyne rovnoměrně, z UT0 se UT1 určuje redukcí na střední polohu zemského pólu.

Zaváděním oprav nerovnoměrnosti rotace Země byl z UT1 odvozován čas UT2, který byl až do roku 1972 nejpřesnějším časovým systémem. Od roku 1972 se však používá atomový čas.

Pásmový čas, datová hranice, posuny časů

Z výše uvedených definic vyplývá, že místní čas roste se zeměpisnou délkou (směrem na východ). Pro konkrétní poledník má konstantní hodnotu, ale ta je odlišná od hodnoty na jiném poledníku. Rozdíl místních časů dosáhne 1 hodiny, pokud se zeměpisná délka míst liší o 15° . Takže města s různou zeměpisnou délkou měla také různé místní časy. Na konci 19. století ve spojitosti s rozvojem dopravy bylo nutné tento problém vyřešit. Od roku 1884 se tedy začal používat tzv. *pásmový čas*. Celá zeměkoule byla rozdělena na 24 pásem, ve kterých platí vždy místní čas poledníku procházejícího středem pásma. V praxi však mohou hranice pásma kopírovat



Obrázek 2.1: Grafické znázornění časové rovnice, vygenerováno programem Astro Lab 2, graficky upraveno.

státní hranice nebo přirozená ohraničení (pobřeží atp. viz obrázek 2.2). Některé státy dokonce používají z politických důvodů čas odlišný o zlomek hodiny od času v okolních zemích.

Systém pásmových časů vede logicky k datové hranici, která je teoreticky definována poledníkem 180° , ale v praxi je vedena neobydlenými oblastmi v jeho blízkosti. Jestliže ji překročíme východním směrem, den odečteme a naopak.

V letních měsících se v řadě zemí světa zavádí tzv. *letní čas*, při kterém se přičítá k pásmovému času 1 hodina. Náš pásmový čas v České republice se označuje jako *středoevropský čas* (zkratka SEČ) a jeho letní varianta jako *středoevropský letní čas* (zkratka SELČ). Jeho zavádění obecně definuje směrnice EU, konkrétně pak Nařízení vlády ČR. Je to tedy úřední záležitost. Zpravidla se v České republice zavádí SELČ od 2 hodiny poslední neděle v březnu do 3 hodin poslední neděle v říjnu daného roku. Experimenty s tzv. *zimním časem*, kdy se v zimním období od času pásmového 1 hodina odečetla, se neujaly.

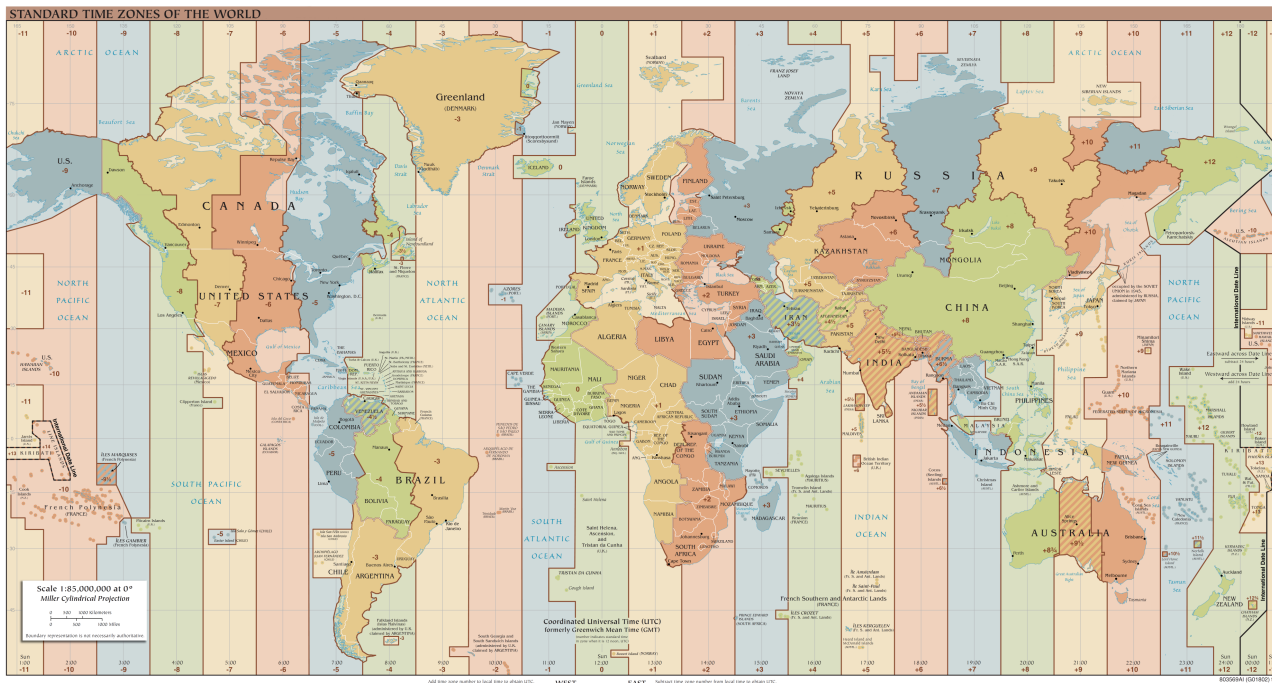
2.1.2 Časové systémy definované fyzikálně

Atomový čas

Oficiální definice atomové sekundy, která je základní fyzikální jednotkou SI:

Sekunda (zkratka s) je jednotka času; její velikost je určena číselnou hodnotou frekvence záření atomu cesia 133 v klidu při teplotě absolutní nuly při přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu, která je rovna přesně 9 192 631 770, je-li vyjádřena v jednotkách s^{-1} , což je ekvivalent jednotky Hz.

Od roku 1988 je Mezinárodní časová služba součástí Mezinárodního úřadu pro váhy a míry. Tento atomový čas, označovaný také jako *TAI*, je základním časem pro kosmickou geodézii, astrometrii a také pro GPS.



Obrázek 2.2: Mapa časových pásem, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Time_zone

Koordinovaný čas

V praxi není využíván z řady důvodů přímo čas TAI , ale tzv. *koordinovaný světový čas* UTC , který je odvozen z TAI a je využíván zejména pro rádiové časové signály. Proto je možné jej považovat za současný *občanský čas*. V praxi ovšem žijeme podle času $UT1$, který je vázán na skutečnou, tedy nepravidelnou rotaci Země. Proto je nutné provázat UTC s časem $UT1$. Zároveň musí být UTC v jednoduchém vztahu k atomovému času TAI .

Tyto požadavky vedly k formulaci následujících pravidel:

- Sekunda UTC je rovna sekundě TAI . Chod UTC oproti času TAI je nulový, čas UTC je naprosto rovnoměrný.
- Rozdíl $TAI - UTC = n$, kde n je počet celých kladných nebo záporných sekund. Hodnota n je dána podmínkou $|UT1 - UTC| < 0,9$ s.
- Hodnotu $DUT1 = UT1 - UTC$ je nutné určovat měřeními a podle výsledků čas UTC upravovat přičtením nebo odečtením 1 sekundy.

Přehled všech dosud vložených *přestupných sekund* nalezneme například zde:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Přestupná_sekunda .

2.2 Kalendáře

2.2.1 Definice roků

Tropický rok

Tropický rok je definován jako doba mezi dvěma po sobě následujícími průchody středního Slunce středním jarním bodem. Odpovídá 365,24218729 slunečním dnům a jeho délka se mění asi o půl sekundy za století. Začíná ve stejnou dobu pro celou Zemi.

Siderický rok

Siderický rok je doba, kterou potřebuje střední Slunce k opsání 360° , odpovídá 365,25636068 slunečním dnům. Jeho délka se mění jen o 0,01 sekundy za století a siderický rok začíná najednou pro celou Zemi.

Juliánský rok

Juliánský rok byl zaveden tak, aby století mělo celý počet středních slunečních dnů, takže odpovídá 365,25 slunečním dnům a juliánské století má 36 525 dnů. Jeho začátek i konec závisí na pásmovém čase.

Besselův rok

Besselův rok je definován jako doba, za kterou změní střední fiktivní rovníkové Slunce svou rektascenzi o 24 hodin. Jeho délka je tedy shodná s tropickým rokem. Počátek roku však Bessel zvolil do okamžiku, kdy rektascenze středního fiktivního Slunce vztažená ke střednímu jarnímu bodu dosáhne hodnoty $18^h40^m = 280^\circ$. Tento okamžik je vždy blízký počátku občanského kalendáře a je označován písmenem B před letopočtem a symbolem .0 za ním. Je shodný pro všechna místa na Zemi. Jsou k němu vázány některé astronomické katalogy, v současnosti se nepoužívá, nahradil jej Juliánský rok.

2.2.2 Kalendářní systémy

Různé systémy počítání dnů, tedy kalendáře, používá lidstvo velmi dlouho. Mohou se považovat za jeden z nejstarších vynálezů lidstva. Základní jednotkou bylo logicky střídání dne a noci, tedy *sluneční den*. U zemědělských civilizací, kde bylo důležité znát a sledovat průběh vegetačních období, se základní delší časovou jednotkou stal rok (*tropický rok*), ale pro pastevecká společenství byl důležitější jednotkou měsíc (*synodický měsíc*), protože na množství měsíčního světla záležel způsob ochrany stáda. Tak se vytvořily dvě větve kalendářů - *lunární* a *solární*. Třetím typem jsou kalendáře *lunisolární*, které oba přístupy kombinují.

Současný kalendář je vlastně solární, přestože například pohyblivé datum velikonoce lze považovat za lunisolární prvek. Podle počátku jednotlivých kalendářních systémů je můžeme rozdělit na různé *éry*. Náš letopočet (*křesťanská éra*) má svůj původ u Dionýza Exiguuse, který v roce 525 předložil návrh, aby se roky počítaly od narození Krista, které datoval (dnes víme, že nepřesně) na rok 754 od založení Říma.

Jak můžeme nalézt ve Hvězdářské ročence, například rok 2015 našeho letopočtu odpovídá:

- a) Roku 6728 Scaligerovy juliánské periody. Rok 6728 začíná 14. ledna 2015 gregoriánského kalendáře.
- b) Rokům 5775/5776 židovské éry. Rok 5775 začíná 25. září, je nepřestupný, trvá 354 dní a končí 13. září 2015. Rok 5776 začíná 14. září, je přestupný, trvá 385 dní a končí 2. října 2016.
- c) Rokům 2790/2791 olympiád, a to 2. a 3. roku 698. olympiády. Rok 2791 začíná 14. července 2015 (dle gregoriánského kalendáře).
- d) Roku 2768 ab Urbe condita (a.U.c. – od založení Říma). Začíná jako juliánský rok 14. ledna.
- e) Rokům 1436/1437 muslimské éry Hidžry. Rok 1436 má 355 dní, začíná 25. října 2014 a končí 14. října 2015. Rok 1437 trvá 354 dní a končí 2. října 2016. Ramadán v roce 1436 začíná 18. června 2015 a končí 17. července 2015.
- f) 27. roku japonské éry Heisei. Éra začala 8. ledna 1989 s nástupem japonského císaře Akihita.
- g) Rokům 1731/1732 Diokleciánovy éry (koptský kalendář). Rok 1731 trvá 366 dní, začíná 11. září 2014 a končí 11. září 2015. Rok 1732 trvá 365 dní, začíná 12. září 2015 a končí 10. září 2016.

Juliánský kalendář

Rok, který má střední délku 365,25 dnů, byl známý už ve staré Číně a o jeho zavedení se snažili i ve starém Egyptě. Ovšem známe jej jako *juliánský kalendář*, protože důsledně jeho používání zavedl Gaius Julius Caesar v roce 46 př. n. l. (Sosigenova reforma). Jeho uznání celým křesťanským světem však bylo zdlouhavé, ve své finální podobě byl od roku 525 n. l. používán přes tisíc let.

Jeho pravidla:

- běžný rok má 365 dnů, přestupný 366 dnů
- přestupné roky jsou beze zbytku dělitelné čtyřmi
- rok je členěn na 12 měsíců s různým počtem dnů (31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31)
- přestupný den se vkládá na konec druhého měsíce (února), který tak má v přestupném roce 29 dnů

Gregoriánský kalendář

Juliánský kalendář používá výhodné, ale nepřesné stanovení délky roku na 365,25 dne, přestože skutečná délka roku je 365,2422 dne. Tento rozdíl naroste za 128 let na celé jeden den a v 16. století byl už celých 10 dnů. To například znamenalo, že jarní rovnodennost nastávala 11. března atp. Ze všech návrhů na reformu kalendáře byla nakonec papežem Gregorem XIII. v roce 1582 realizována ta, kterou vypracoval Luigi Lilio.

Po čtvrtku 4. října 1582 nastal pátek 15. října 1582, tak bylo odstraněno nadbytečných 10 dnů. Dále se zavedlo nové pravidlo, že roky dělitelné beze zbytku stem budou přestupné

jen tehdy, pokud budou současně beze zbytku dělitelné čtyřmi sty. Po této úpravě je střední délka roku, z pohledu celé periody čtyř století, rovna 365,2425 dne. Rozdíl o 0,0003 dne oproti skutečné délce roku způsobí rozdíl jednoho dne až za 3 300 let. Korekce se provede v roce 4840, který nebude přestupný.

Tento *gregoriánský kalendář* se dnes liší od juliánského o 13 dnů. Některé církve tuto reformu nepřijaly dodnes a používají původní juliánský kalendář.

Juliánské datování

Univerzální datový systém, který je založen na nepřetržitém počítání dnů od určitého data, se nazývá *juliánské datum* (zkratka JD). Již v 16. století jej zavedl Josephus Justus Scaliger (1540 - 1609) a jeho počátek stanovil na 1. ledna 4713 př. n. l. ve 12.00 UT. Je to zároveň počátek astronomického kalendáře, protože se nepředpokládá, že by existovaly dřívější písemné záznamy nějakých astronomických pozorování.

Kratší časový údaj než je jeden den, je v tomto datování vyjádřen za desetinnou čárkou, tedy přepočten na příslušnou část dne. V tomto systému začíná den „v poledne“, takže celá noc má shodnou celočíselnou část datového údaje. Juliánské datum bývá tabelováno např. ve Hvězdářské ročence nebo lze využít on-line převodníky (např. <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/JulianDate.php>).

Juliánské datování je výhodné zejména při periodové analýze astronomických dějů (např. hledání period u proměnných hvězd atp.) a někdy se používá ve své modifikované verzi (MJD), kdy se od hodnoty JD odečítá 2 400 000,5 dne. Například datu 29. února 2016 v 18.00 UT odpovídá JD 2 457 448,25 a tedy MJD 57 447,75.

Kapitola 3

Astronomické katalogy a atlasy

„Ani nejpodrobnější mapa světa vás nikam nedovede, pokud nevíte, kde se právě nacházíte.“

– Zig Ziglar, *motivační řečník*

Katalogy astronomických objektů, astronomické atlasy i astronomické ročenky mohou mít jak tištěnou, tak i elektronickou podobu. V elektronické verzi mohou všechny tři typy speciálních astronomických publikací splývat, respektive mohou být součástí univerzálního počítačového programu. Jejich tištěné verze však mají nezastupitelné místo i v dnešní elektronické době, zejména pro svou nezávislost na zdroji energie a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Tyto informační zdroje nám umožňují především:

- vyhledat údaje o objektu
- určit polohu objektu na obloze
- vyhledat objekty požadovaných vlastností
- nalézt objekt na obloze (pokud jej chceme pozorovat)

3.1 Katalogy

3.1.1 (Yale) Bright Star Catalog

Katalog je označován také jako BSC, YBSC nebo YBS a je zdrojem základních informací o hvězdách jasnějších než 6,5 magnitud. Většina objektů v katalogu (9096 z 9110 celkem katalogizovaných objektů) jsou hvězdy. Kromě jejich označení (včetně jiných katalogových) jsou uvedeny: rovníkové (B1900.0 a J2000.0) a galaktické souřadnice, vlastní pohyb (J2000.0), fotometrické hvězdné velikosti UBVRi (pokud jsou známy) a také Morganova-Keenanova spektrální klasifikace.

Jeho poslední tištěnou verzí byl katalog „The Bright Star Catalogue; 4th revised edition“, D. Hoffleit, C. Jaschek, 1982 a 5. vydání je v elektronické podobě dostupné zde: <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/qcat?V/50>. Tento legendární katalog se stal podkladem mnoha počítačových planetárií (např. C88 atp.).

3.1.2 Bonner Durchmusterung (BD) a Cordoba Durchmusterung (CD)

Katalog BD je výsledkem vizuálního pozorování hvězd s deklinací od $+89^\circ$ do -01° , která provedl astronom Argelander a jeho asistenti v letech 1852-1861. Katalog obsahuje všechny hvězdy do 9,5 magnitud a jejich polohy byly určeny s přesností 0,1 sec v rektascenzi a 0,1 úhlové minuty v deklinaci. Katalog Cordoba Durchmusterung je výsledkem vizuálního pozorování hvězd s deklinací od -22° do -89° a je vlastně rozšířením katalogu BD o objekty jižní oblohy. Výsledky byly zpracovány jak do katalogů, tak do podoby atlasů viz <http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/qcat?I/122>.

3.1.3 Henry Draper Catalog (HD)

Tento katalog se stal základem pro systematickou spektrální klasifikaci hvězd, takže limitujícím faktorem byla citlivost fotografických desek, na které se pořizovala spektra. Obsahuje tedy objekty s fotografickou hvězdnou velikostí do 9 magnitud. Později byl rozšířen o další vybrané oblasti hvězdné oblohy a tento doplňkový katalog je označován HDE. Podrobnější popis katalogů naleznete zde: <http://lyra.colorado.edu/sbo/sboinfo/readingroom/hd.html>.

Vznik katalogu byl financován nadací Dr. Henry Drapera, průkopníka astrofotografie (viz také http://cs.wikipedia.org/wiki/Henry_Draper).

3.1.4 SAO

Katalog označovaný zkratkou SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory Star Catalog) vznikl na tomto pracovišti v roce 1966 jako kompilační práce využívající předchozí astrometrické katalogy. Obsahuje všechny hvězdy s hvězdnou velikostí do cca 9 magnitud, pro které byl přesně změřen jejich vlastní pohyb. Překrývá se částečně s HD katalogem, ale obsahuje více informací. K označení hvězd v katalogu se používá zkratka SAO následovaná katalogovým číslem.

3.1.5 Guide Star Catalogue

Guide Star Catalog (GSC) bývá také označován jako Hubble Space Telescope Guide Catalog (HSTGC) a byl sestaven pro potřeby provozu Hubbleova kosmického dalekohledu. Jeho verze GSC-I obsahuje asi 20 000 000 objektů s jasnostmi od 6 magnitud do 15 magnitud. Pozdější verze GSC-II obsahuje 945 592 683 objektů s jasností do 21 magnitud. Je to první celooblohový katalog sestavený pro navigaci v kosmickém prostoru.

Jeho on-line verze se nachází zde: <http://gsss.stsci.edu/Catalogs/GSC/GSC2/GSC2.htm>.

3.1.6 Další katalogy

Kromě obecných astronomických katalogů hvězd byly a jsou sestavovány specializované katalogy, které obsahují jenom určité typy objektů nebo jsou specificky zaměřené na některé parametry objektů (např. astrometrické katalogy, katalogy nehvězdných objektů, katalogy supernov atp.).

Katalog Hipparcos a Tycho (Tycho 2)

Katalogy Hipparcos a Tycho (respektive Tycho 2) jsou hlavním výsledkem měření astrometrické družice Hipparcos (projekt ESA, mise proběhla v letech 1989—1993). Katalog Hipparcos obsahuje polohy 118 000 hvězd (do 12,4 magnitudy) s přesností na 1 tisícinu obloukové vteřiny, méně přesný katalog Tycho obsahuje 1 058 000 hvězd do 11,5 magnitudy. Později vypracovaný katalog Tycho 2 obsahuje dokonce údaje o 2 540 000 hvězdách. České rozhraní pro katalog Hipparcos je zde:

<http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/hipparcos/137-katalog-hipparcos-a-simbad> .

General Catalog of Variable Stars (GCVS)

Jedná se o katalog specializovaný na údaje o proměnných hvězdách. Je neustále doplňován a rozšiřován. Jeho aktuální verze je dostupná zde: <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/> .

Double Star Library

Katalogy dvojhvězd jsou dostupné na tomto portálu

<http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/wds/dsl> .

Finding List for Observers of Interacting Binary Stars

Katalog interagujících dvojhvězd

<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/ftp-index?VI/44/> .

The Catalogue of the Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems

Specializovaný katalog dráhových elementů známých spektroskopických dvojhvězd, viz <http://sb9.astro.ulb.ac.be/> .

Messierův katalog

Messierův katalog obsahuje velmi nesourodé objekty (hvězdokupy, mlhoviny a galaxie), které spojuje snad jen jejich difuzní vzhled v malých dalekohledech. Francouzský astronom Charles Messier jej začal sestavovat v roce 1757, aby si tyto objekty nepletl s kometami, které objevoval. Katalog obsahuje 110 objektů označovaných M1 až M110 a současnou podobu získal katalog až ve 20. století, kdy se také stal populární zejména mezi astronomy amatéry.

České webové rozhraní je zde:

<http://objekty.astro.cz/messier/2008-messieruv-katalog> .

New General Catalogue

New General Catalogue (NGC) obsahuje přibližně 8 000 astronomických objektů všech typů. Jeho autorem je John Louis Emil Dreyer (ředitel observatoře v Armagh v Severním Irsku). Později vydal ještě dva doplňky - katalog IC I (Index Catalogue) s 1 529 objekty a katalog IC II (Second Index Catalogue). Katalog NGC a oba doplňky obsahují celkem 13 226 objektů.

Dreyerovy katalogy se staly základním katalogem nehvězdných objektů a jejich české webové rozhraní naleznete zde <http://objekty.astro.cz/ngc/2340-katalog-ngc> .

3.2 Hvězdné mapy a atlasy

Historie přesnějších hvězdných map není nijak dlouhá, protože ve starověku byly častěji používány glóby a katalogy. Výjimkou je reliéfní zobrazení oblohy v egyptském chrámu bohyně Isis v Denderah. Kromě symbolů egyptských bohů Slunce a Měsíce jsou zde také symboly souhvězdí Lva, Raka, Štíra, Blíženců a Býka. Reliéf z Denderah pochází asi z roku 2000 př. n. l.

Do kamene byla rovněž vytesána mapa hvězdné oblohy, která vznikla v Číně roku 1247. Jsou na ní znázorněna jednotlivá souhvězdí, Mléčná dráha, severní světový pól, světový rovník a ekliptika.

V Řecku se hvězdáři Timocharis, Aristilos a později Hipparchos a Menelaos zabývali měřením poloh hvězd a určováním jejich jasností. Klaudios Ptolemaios podstatně rozšířil údaje hvězdných katalogů a shrnul je ve známém díle *Megalé syntaxis* (*Almagest*), jenž byl počítán pro rok 138. *Almagest* byl stále doplňován a přepisován. Hvězdáři španělského krále Alfonse sestavili nový katalog pro rok 1252. Podobně arabští hvězdáři Al Sufi a později Ulugh Begh sestavili katalog k roku 1432. Známý je ještě katalog Tychona Brahe a pak katalog Edmonda Halleye z roku 1718, v němž polohy hvězd byly poprvé určeny dalekohledem.

Právě z podkladů převzatých z katalogů byly kresleny hvězdné mapy a sestavovány atlasy, jichž byla celá řada. Mnohými přepisy atlasů a novými souhvězdími se během doby nahromadily četné nesrovnanosti ve vymezení hranic souhvězdí. Tato situace byla vyřešena až v roce 1930, kdy Mezinárodní astronomická unie jednoznačně definovala astronomickými souřadnicemi hranice a názvy 88 dnes používaných souhvězdí (<http://www.iau.org/public/themes/constellations/>).

3.2.1 Mag-7 Star Atlas

Tento základní atlas obsahuje hvězdy až do jasnosti 7,25 magnitudy včetně dvojhvězd a vícenásobných hvězdných systémů. Jsou do něj zahrnuty i nehvězdné objekty (celkem 550) z Messierova katalogu a katalogu NGC.

Pokud si jednotlivé mapky vytiskneme a založíme ve fóliích do vhodného pořadače, získáme s minimálními náklady dobrý atlas hvězdné oblohy. Obsahuje 20 hlavních a jednu dodatkovou mapku (11a pro oblast souhvězdí Panny a Vlasů Bereniky). Dostupné jsou dvě verze: černobílá pro použití při nočním pozorování a barevná varianta zahrnující barevně odlišené spojnice hvězd v souhvězdí, hranice souhvězdí atp.

Atlas je volně použitelný při zachování podmínek Creative Commons License a je ke stažení na adrese <http://www.astro.cz/mirror/atlas/czech/>.

3.2.2 Karkoschkův astronomický atlas hvězdné oblohy

Praktický atlas doplněný vhodnými katalogovými údaji začleněnými přímo u mapových výřezů. Je vhodný pro pozorování pouhým okem, triedrem nebo menším dalekohledem. Tento astronomický atlas obsahuje: přehledné mapy severní i jižní části hvězdné oblohy obsahující všechny hvězdy viditelné pouhým okem, vyhledávací mapky 250 zajímavých mlhovin a hvězdokup (odpovídají svou velikostí zornému poli dalekohledu, a ulehčují tak hledání objektů i začínajícím pozorovatelům), katalog s tisícem objektů, který vychází z přesných hodnot naměřených družicí Hipparcos, úhlové vzdálenosti dvojhvězd vypočítané do roku 2020, fotografie všech 250 zmiňovaných „deep sky“ objektů.

3.2.3 Palomar Observatory Sky Survey (POSS)

Původní fotografický atlas „National Geographic Palomar Sky Survey“ byl dokončen v roce 1954. K fotografování hvězdné oblohy byla využita 48 palcová Schmidtova komora na observatoři na Mt. Palomaru. Snímky byly exponovány na fotografické desky, z nichž každá pokryla oblast 6x6 úhlových stupňů oblohy. Původně to bylo 879 oblastí v rozsahu od $+90^\circ$ do -24° deklinace na „červenou“ i „modrou“ emulzi (hvězdy do 22 magnitud). Později byla fotografická přehlídka rozšířena až po deklinaci -42° .

Více informací viz <http://www.astro.caltech.edu/~wws/poss2.html> a v digitální podobě je Palomarský atlas dostupný na Digitized Sky Survey (DSS) http://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss_form.

3.2.4 Další atlasy

Sky Atlas 2000.0

Atlas vyšel postupně v několika doplňovaných vydáních, je založen na katalogu Hipparcos a obsahuje 28 listů (500x380 mm). Je vhodný pro pozorování všemi typy dalekohledů.

Uranometria 2000.0

Atlas je rozdělen do dvou dílů a obsahuje 280 035 hvězd do jasnosti 9,75 magnitudy a přes 30 000 nehvězdných objektů (většinou galaxií, mlhovin a hvězdokup).

Millenium Star Atlas

Atlas je rozdělen do tří svazků a vychází z katalogů Hipparcos a Tycho. Obsahuje přes 1 000 000 hvězd s jasností do 11 magnitudy a 10 000 nehvězdných objektů.

Atlas Coeli Skalnaté Pleso 1950.0

Je tvořen souborem 16 hvězdných map, na kterých je v měřítku $1^\circ = 0,75$ cm zobrazená celá hvězdná obloha. Obsahuje celkem 35 000 hvězd a jiných objektů. Jeho autorem je Antonín Bečvář, který sestavil také Atlas Eclipticalis, Atlas Borealis a Atlas Australis.

Atlas Eclipticalis, Atlas Borealis a Atlas Australis

Atlas Eclipticalis je soubor 32 hvězdných map oblasti oblohy s deklinací od -30° do $+30^\circ$ v měřítku $1^\circ = 2$ cm. Výběr hvězd v atlasu není omezený jasností, ale tehdejší znalostí přesných poloh a vlastního pohybu. Hvězdy jsou zobrazené v šestibarevném tisku podle šesti základních spektrálních typů.

Atlas Borealis je soubor hvězdných map oblasti severní oblohy od deklinace $+30^\circ$. Sestavil ho Antonín Bečvář stejným způsobem jako Atlas Eclipticalis. V původním vydání obsahuje 24 listů.

Atlas Australis je soubor 24 hvězdných map oblastí jižní oblohy od deklinace -30° . Sestavil ho Antonín Bečvář stejným způsobem jako Atlas Eclipticalis.

3.3 Ročenky

Jako astronomické ročenky se označují speciální publikace obsahující tabulky různých astronomických údajů (souřadnice objektů, data a časy astronomických úkazů atd.) pro určité časové období. Většinou jsou sestavovány a tištěny s platností na jeden rok, podobně jako klasické kalendáře. Dříve byla dostupná pouze tištěná podoba, dnes mají většinou i tištěné verze doplňky v elektronické podobě a existují také ročenky, které jsou pouze v on-line verzi.

3.3.1 Tištěné ročenky

The Nautical Almanach a The Astronomical Almanac

Původně britské ročenky s velmi dlouhou tradicí (vydávají se pod různými názvy od roku 1767). Dnes vychází ve spolupráci US Naval Observatory (USNO) a Her Majesty's Nautical Almanac Office (HMNAO) spolu s dalšími publikacemi.

Historie jejich vydávání je popsána zde http://en.wikipedia.org/wiki/The_Nautical_Almanac, podrobnější popis obsahu obou publikací naleznete zde <http://aa.usno.navy.mil/publications/docs/asa.php> a tady <http://aa.usno.navy.mil/publications/docs/na.php>.

Hvězdářská ročenka (Česká republika)

Astronomickou ročenku pod názvem Hvězdářská ročenka začala v roce 1921 vydávat Česká astronomická společnost. Dnes ji ve spolupráci s Astronomickým ústavem AV ČR v.v.i. vydává Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy. Tištěná část obsahuje základní informace, její elektronická verze (na přiloženém CD nebo s využitím on-line přístupu) je mnohem rozsáhlejší a umožňuje využít další softwarové nástroje (viz <http://rocenka.observatory.cz/>).

Astronomická ročenka (Slovensko)

Publikaci Astronomická ročenka vydává Slovenská ústredná hvězdáreň a kromě efemerid vztažených na polohu Bratislavy obsahuje také řadu návodů a textů vhodných pro amatérské astronomy, které mají delší platnost než je běžný rok, pro který je ročenka určena.

Astronomičeskij ježegodnik (Rusko)

Také tato ročenka má dlouholetou tradici (vydává ji od roku 1921 Ruská akademie věd), ale její tištěná verze je u nás velmi těžko dostupná. Část ročenky je však přístupná v angličtině také on-line na adrese http://www.ipa.nw.ru/PAGE/EDITION/ENG/AE/ae_1_txt.htm

3.3.2 Elektronické ročenky

KAR

Kleťská astronomická ročenka představuje zjednodušenou verzi on-line ročenky, ve které naleznete polohy i časy východů a západů planet Sluneční soustavy, Slunce a Měsíce. Je dostupná na adrese <http://www.hvezcb.cz/cgi-bin/kar.cgi> a její použití je výhodné, pokud nás tyto údaje zajímají jen pro několik dnů, neumožňuje totiž najednou zadat výpočty pro delší období.

U.S. Naval Observatory

Na tomto portálu je možné získat efemeridy a další údaje pro delší časové úseky (např. na celý rok). Vše je dostupné na adrese <http://aa.usno.navy.mil/data/> .

CalSky

Projekt výpočetního portálu CalSky byl založen v roce 1991 Arnoldem Barmettlerem jako nový způsob podpory astronomů amatérů při plánování pozorování. Dnes jej využívají i profesionálové a s jeho pomocí je možné si vygenerovat nejen klasickou ročenku, ale například také itinerář jevů pro danou pozorovací noc a další informace.

Nachází se na adrese <http://www.calsky.com/> a umožňuje osobní nastavení.

Kapitola 4

Astronomické databáze a virtuální observatoře

„Čtyřicet dva,“ oznámil Hlubina myšlení s nedostížnou důstojností a klidem.
– Douglas Adams, *Stopařův průvodce po galaxii*

4.1 Databáze

Moderní astronomické databáze reprezentuje dnes několik astronomických portálů, jedním z nich je Centrum astronomických dat (Centre de Données astronomiques de Strasbourg), které je také známé pod zkratkou CDS.

Portál se nachází na adrese <http://cdsweb.u-strasbg.fr/CDS.html> a volně nabízí celou řadu služeb. Mezi jeho nejsilnější nástroje patří tyto tři:

Simbad

Jedná se o databázi se základními údaji o astronomických objektech mimo Sluneční soustavu, jejich označení a bibliografie (vazba na ADS). Je možné se dotazovat podle jména objektu, jeho souřadnic nebo jiných kritérií.

VizieR

Elektronická knihovna astronomických katalogů, seznamů a tabulek všeho druhu.

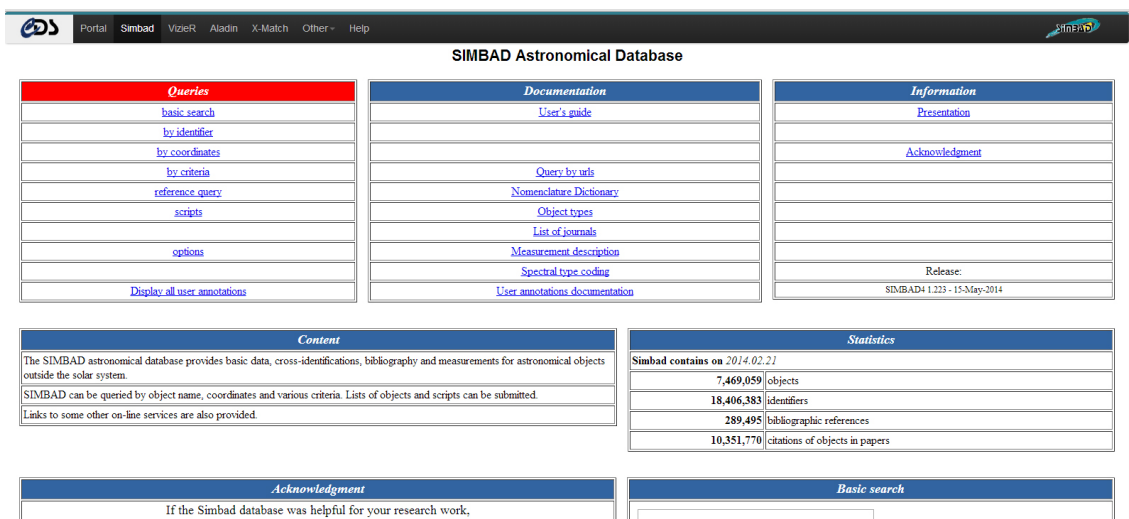
Aladin

Jedná se o interaktivní atlas hvězdné oblohy, je spojen s databázemi SIMBAD, NED, VizieR a dalšími.

4.1.1 Další on-line zdroje

Astrophysics Data Service (ADS)

Volně přístupná databáze astrofyzikální literatury a vědeckých článků. Dotazovací rozhraní se nachází na adrese http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html .



Obrázek 4.1: Vzhled vstupního formuláře databáze Simbad.

Katalog objektů

<http://lyra.colorado.edu/sbo/manuals/sbocatalog/sbocatalog.html>

Fotografie

Databáze snímků astronomických objektů (Messierovy objekty, galaxie, hvězdokupy):

<http://www.astr.ua.edu> .

Proměnné hvězdy

Portál věnovaný proměnným hvězdám a jejich pozorování, viz <http://www.aavso.org/> .

4.2 Virtuální observatoře

Jako *virtuální observatoře* (VO) se označují databáze a archivy předzpracovaných astronomických dat, které jsou vybaveny také řadou softwarových nástrojů. VO využívají výhod internetového prostředí. Stejně jako skutečnou observatoř může tvořit i několik kopulí vybavených různými dalekohledy, tak se VO se může skládat z řady datových center, která mají jedinečná astronomická data, jiné softwarové systémy a možnosti zpracování. Hlavním cílem VO je umožnit vědcům transparentní a distribuovaný přístup k datům jinak rozmístěným po celém světě.

Některé konkrétní projekty VO:

- International Virtual Observatory Alliance (IVOA) <http://www.ivoa.net/>
- The Virtual Observatory <http://www.virtualobservatory.org/>
- The European Virtual Observatory (EURO-VO) <http://www.euro-vo.org/>
- Czech Virtual Observatory <http://stelweb.asu.cas.cz/czvo/>

Kapitola 5

Astronomická pozorování z povrchu Země

„Najdu si místo, kde se dobře kouká, kde není seeing a vítr do kopule nefouká ...“
– skupina Buty, parafráze textu písně *Mám jednu ruku dlouhou*

Astronomická pozorování jsou možná jenom díky existenci různých typů „nosičů“ astrofyzikálních informací. Většinu astronomických objektů můžeme pozorovat pouze „na dálku“, pak jsou těmi zprostředkovateli informací:

- elektromagnetické záření (fotony)
- hmota
 - neutrina
 - elektrony
 - jádra atomů
 - meteority
- gravitační vlny

Přímá pozorování „in situ“ (na místě samém) jsou také možná, ale zatím se týkají pouze některých těles ve Sluneční soustavě.

5.1 Korekce polohy astronomických objektů

Jestliže pozorujeme astronomické objekty z pozorovacího stanoviště na zemském povrchu, tak musíme zohlednit řadu skutečností, pokud nás zajímá skutečná poloha daného astronomického objektu. Vlivy zemské atmosféry na pozorování jsou uvedeny v další podkapitole. Ale kromě vlivů plynného obalu naší planety, se musíme zabývat ještě dalšími korekcemi polohy astronomických objektů, které způsobuje: *precese, nutace, aberace, paralaxa, vlastní pohyb objektu*.

Polohy hvězd a dalších astronomických objektů nemusíme korigovat vždy o všechny známé vlivy, záleží na přesnosti, se kterou potřebujeme pracovat. Z toho hlediska rozlišujeme celkem tři typy korekcí:

- skutečně pozorované polohy - jsou opraveny o denní aberaci a refrakci

- pravá místa - skutečně pozorované polohy opravené navíc o roční aberaci a paralaxu
- střední místa - pravá místa opravená navíc o nutaci a precesi, jsou vždy vztažena k jistému datu, tzv. ekvinokciu (např. J2000.0).

5.1.1 Precese a nutace

Objev precesního pohybu osy rotace Země je přisuzován Hipparchovi, její kvantitativní určení však bylo nepřesné. Dnes udávaná hodnota je přibližně $50,256''$ za rok, tedy 1° za 72 let. První fyzikální vysvětlení precese podal až Newton a jeho gravitační zákon. Na Zemi je možné pohlížet jako na velký setrvačnick, na který působí rušivé síly (dominuje gravitační působení Slunce a Měsíce). Osa rotace Země pak nemá v prostoru stálou orientaci, ale vykonává po plášti kužele pohyb, který závisí na momentu setrvačnosti a velikosti rušivých sil. Tento pohyb označujeme jako tzv. *precesní pohyb*.

Jedním z důsledků precesního pohybu je také posun jarního a podzimního bodu, resp. změna orientace průsečnice roviny světového rovníku a roviny ekliptiky v prostoru. Perioda precese je zhruba 26 000 let. Pokud chceme kvantifikovat změnu polohy jarního bodu, rozlišujeme tři typy precese:

1. precese lunisolární
2. precese planetární
3. celková precese

Konkrétní hodnoty pak budou:

1. $p_{ls} = 50,371''/\text{rok}$
2. $p_{pl} = -0,125''/\text{rok}$ a zmenšuje sklon ekliptiky o $0,47''/\text{rok}$
3. $p_{celk} = p_{ls} - p_{pl}\cos\varepsilon$, kde ε je sklon ekliptiky

Celková hodnota precese v deklinaci bude $n = p_{pl}\sin\varepsilon = 20,047''/\text{rok}$ a v rektascenzi bude rovna $m = p_{pl}\cos\varepsilon - p_{pl} = 46,085''/\text{rok}$.

Můžeme také vyjádřit roční změnu polohy hvězdy důsledkem precese:

$$\Delta\alpha/\text{rok} = m + n \tan \delta \sin \alpha$$

$$\Delta\delta/\text{rok} = n \cos \alpha$$

Musíme však mít na paměti, že pro přesná měření je nutno uvážit i sekulární variace ε a p .

Nutace

Rovina oběhu Měsíce kolem Země svírá s rovinou ekliptikou úhel 5° a gravitační působení Slunce způsobuje také precesní pohyb této roviny s periodou 18,6 let. To má vliv na polohu zemské rotační osy, která s touto periodou osciluje kolem určité střední polohy. Tento jev se označuje jako *nutace*. Výsledný pohyb zemské osy, který je způsoben především precesí, je tak vlivem nutace „zvlněný“.

5.1.2 Aberace

Tento jev je přímým důsledkem konečné rychlosti světla a jejího skládání s rychlostí, kterou se spolu se Zemí pohybujeme prostorem. Jistou analogií je např. rozdíl mezi úhlem, pod kterým držíme deštník za deště pokud stojíme a úhlem, jestliže se dáme do pohybu (za předpokladu, že úhel dopadu dešťových kapek i jejich rychlost jsou stále stejné).

Onen „úhel odklonění“ (α) je závislý pouze na rychlosti pohybu chodce a deště. Ale zanechme už této analogie, obdobně to platí pro pozorovatele stojícího na pohybující se Zemi a záření, které k nám přichází od hvězdy. Jako *apex* označujeme okamžitý směr, ve kterém se Země pohybuje a velikost rychlosti Země je asi 30 km/s. Jestliže chceme, aby se vzdálená hvězda dostala do středu zorného pole dalekohledu, je nutno jej sklonit k apexu o úhel α , který je závislý na rychlosti Země v , rychlosti světla c a také na úhlu β , což je úhlová vzdálenost hvězdy od apexu.

Maximální hodnoty dosáhne aberace pro hodnotu $\beta = 90^\circ$, protože

$$\tan \alpha = \frac{v}{c} \sin \beta \quad (5.1)$$

Jestliže dosadíme hodnotu $\frac{v}{c} = 10^{-4}$, dostaneme vztah

$$\alpha = 20,47'' \sin \beta, \quad (5.2)$$

kde 20,47'' je maximální hodnota aberace.

Tuto tzv. *roční aberaci* objevil Bradley (1727) při snaze změřit roční paralaxu hvězd. Rotace Země kolem své osy má za následek *denní aberaci*, jež dosahuje maximální hodnoty pro pozorovatele na rovníku a její hodnota je přibližně 0,3''.

5.1.3 Paralaxa

Změnu polohy objektu vyvolanou změnou polohy pozorovatele v prostoru způsobenou oběhem Země kolem Slunce, nazýváme *roční paralaxa*. Při pozorování z povrchu Země totiž během roku opisuje každá hvězda na obloze malou elipsu, jejíž velká poloosa má hodnotu právě roční paralaxy. Pro hvězdy v rovině ekliptiky je tato elipsa vlastně úsečkou a pro hvězdy blízko pólu ekliptiky je to přibližně kružnice. Hodnoty roční paralaxy se udávají v úhlových vteřinách. Největší hodnotu paralaxy má hvězda Proxima v souhvězdí Kentaura (asi 0,772'', což odpovídá vzdálenosti asi 1,3 pc). Velmi mnoho přesných měření paralax bylo provedeno pomocí družice Hipparcos a v současné době je prováděno družicí Gaia (viz <http://sci.esa.int/gaia/>).

5.1.4 Vlastní pohyb

Vlastní pohyb hvězdy odpovídá jejímu pohybu v prostoru a bývá označován řeckým písmenem μ . Můžeme jej popsat třemi veličinami:

1. radiální rychlost v_r - je určována z velikosti Dopplerova posuvu
2. změna polohy hvězdy na obloze v rovině kolmé na spojnici hvězdy a pozorovatele, udává se v úhlových vteřinách za rok nebo za století
3. poziční úhel směru pohybu

V katalogích hvězd se většinou udává rozklad na vlastní pohyb v rektascenzi a vlastní pohyb v deklinaci. Vlastní pohyb zahrnuje i pohyb Slunce v prostoru. Jestliže vyloučíme z hodnoty vlastního pohybu složku způsobenou pohybem Země kolem Slunce (*paralaktický pohyb*), dostaneme skutečný pohyb hvězdy (*pekuliární pohyb*). Největší hodnotu vlastního pohybu má Barnardova hvězda a je to $10,36''$ za rok, tedy za dvě století se na obloze posune o průměr měsíčního kotouče .

5.2 Vliv atmosféry Země na pozorování

Pro pozorovatele na povrchu Země představuje její plynný obal, tedy atmosféra, zdroj celé řady omezení. S jistou mírou nadsázky bychom mohli expresivně označit atmosféru za nepřítele astronomů a pozorovací astronomie vůbec. Jenže nesmíme zapomínat na to, že nám například umožňuje dýchat nebo chrání naši DNA před kosmickým zářením. :-)

Atmosféra způsobuje hned několik problémů, které mají docela odlišnou příčinu:

- většina elektromagnetického záření je pohlcena, atmosféra propouští pouze v určitých „oknech“ (např. světlo, tedy viditelné elektromagnetické záření)
- turbulence atmosféry způsobuje *seeing* a *scintilaci*, obraz je nejen neostrý, ale není možné zaznamenat slabší objekty
- jas pozadí (jak přirozený, tak umělý)
- atmosférická extinkce (absorpce a rozptyl záření)
- působí jako optický prvek – *astronomická refrakce*

5.2.1 Astronomická refrakce

Lom světla na rozhraní dvou prostředí je velmi důležitý optický jev pro veškerá astronomická pozorování prováděná ze zemského povrchu. Jeho vliv na astronomická pozorování popisuje tzv. *astronomická refrakce* (někdy označována také jako *atmosférická refrakce*) Platí známý vztah:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (5.3)$$

kde α_1 a α_2 jsou úhly v prostředí 1 a 2 a n_1 a n_2 jsou odpovídající indexy lomu. Na atmosféru jako na celek lze pohlížet jako na vícevrstvé optické prostředí, kdy na každém přechodu dochází k lámání světla ke kolmici, protože hustota atmosféry směrem k povrchu Země roste.

Hodnota refrakce je maximální u obzoru a minimálně se projeví v zenitu. Jestliže označíme pozorovanou zenitovou vzdálenost objektu z , pak skutečná je $z_0 = z + r$, kde r je úhel refrakce. Platí rovnice

$$\sin(z + r) = n \sin z \quad (5.4)$$

a pro malé hodnoty r pak

$$\sin z \cos r + \cos z \sin r = n \sin z \quad (5.5)$$

navíc dále můžeme pro malé hodnoty r položit $\cos r = 1$ a $\sin r = r$ a pak

$$r = (n - 1) \tan z \quad (5.6)$$

Dále víme, že pro normální atmosférický tlak a teplotu atmosféry $T = 0^\circ\text{C}$ je hodnota indexu lomu vzduchu $n = 1,000293$ a jen shodou okolností platí, že $n - 1 = 0,000293$ je rovno číselně jedné úhlové minutě vyjádřené v radiánech. To umožňuje pro malé úhly upravit vztah do podoby

$$\tan z = r, \quad (5.7)$$

kde dosazujeme veličiny vyčíslené v obloukových minutách. Například pro $z = 45^\circ$ je hodnota úhlu atmosférické refrakce $r = 1$ úhlová minuta.

Velikost refrakce roste s rostoucí zenitovou vzdáleností objektu, takže vlivem refrakce se například uspíší pozorovaný východ a opozdí pozorovaný západ astronomických objektů až o několik minut. Hodnota refrakčního úhlu je také závislá na vlnové délce dopadajícího záření, takže například světlo v červené oblasti spektra je ovlivněno méně než v modré. Atmosférická refrakce má rovněž vliv i na tvar slunečního nebo měsíčního kotouče při jejich východu a západu.

Hodnoty astronomické refrakce pro různé zenitové vzdálenosti (tlak $1,013 \cdot 10^5$ Pa, nadmořskou výšku 0 m a teplotu $T = 0^\circ\text{C}$) jsou uvedeny v následující tabulce:

zenitová vzdálenost [$^\circ$]	refrakce [úhl. minuty]
0	0,0
10	0,2
20	0,4
30	0,5
40	0,8
50	1,1
60	1,7
70	2,6
80	5,3
85	9,9
90	34,4

5.2.2 Atmosférická extinkce

Pojmem *atmosférická extinkce* označujeme celkové snížení intenzity záření přicházejícího z vesmíru atmosférou Země, které může být způsobeno různými fyzikálními procesy. Hlavní podíl na atmosférické extinkci mají procesy *absorpce* a *rozptylu*. Absorpce představuje destruktivní proces, při kterém je foton pohlcen atomem (molekulou) a jeho energie například excituje elektron do vyšší hladiny.

Při rozptylu dojde ke srážce fotonu s částicí atmosféry, po které následuje změna směru pohybu fotonu a může se změnit energie fotonu i částice. Částicí může být molekula, prachové zrnko nebo kapička vody. Jestliže jsou rozptylujícími částicemi molekuly plynu, hovoříme o tzv. *Rayleighově rozptylu*, který je úměrný λ^{-4} . Známým projevem Rayleighova rozptylu je modrá barva pozemské oblohy.

Při rozptylu na aerosolu jeho závislost na vlnové délce závisí na distribuční funkci velikosti částic. Například tzv. *Mieův rozptyl*, ke kterému dochází na malých sférických částicích, je úměrný λ^{-1} .

Vzdušná hmota

Změna intenzity záření vlivem extinkce je závislá na vlnové délce, pro monochromatickou extinkci platí vztah [13]

$$dI(\lambda, h) = \kappa(\lambda, h)\rho(h)I(\lambda, h)dh, \quad (5.8)$$

kde $\kappa(\lambda)$ je absorpční koeficient na jednotku hmotnosti a $\rho(h)$ je hustota vzduchu. Absorpční koeficient v sobě zahrnuje složky absorpce dané různými procesy a závisí na složení atmosféry. Rovnici integrujeme

$$I(\lambda, h_0) = I(\lambda, h_1)e^{-\int_{h_0}^{h_1} \kappa(\lambda, h)\rho(h)dh}, \quad (5.9)$$

kde h_1 označuje vnější hranici atmosféry a h_0 odpovídá nadmořské výšce pozorovacího stanoviště. Protože nepozorujeme objekty jen v zenitu, označme si jejich zenitovou vzdálenost z , pak dráha světelného paprsku přicházejícího od daného objektu bude mít mezi hladinami atmosféry $h + dh$ a h délku $dh \sec z$ a po dosazení do rovnic 5.8 a 5.9 dostaneme

$$dI(\lambda, h) = \kappa(\lambda, h)\rho(h)I(\lambda, h) \sec z dh, \quad (5.10)$$

a

$$I(\lambda, h_0) = I(\lambda, h_1)e^{-\int_{h_0}^{h_1} \kappa(\lambda, h)\rho(h) \sec z dh}, \quad (5.11)$$

Vlivem refrakce bude zenitová vzdálenost paprsku závislá na výšce, tedy $z = z(h)$ a v prvním přiblížení můžeme předpokládat, že absorpční koeficient $\kappa(\lambda, h)$ je podél dráhy paprsku konstantní a pak bude mít rovnice tvar

$$I(\lambda, h_0) = I(\lambda, h_1)e^{-\kappa(\lambda) \int_{h_0}^{h_1} \rho(h) \sec z(h) dh}, \quad (5.12)$$

Integrál v rovnici představuje hmotnost vzduchu ve sloupci, kvádru s jednotkovou podstavou, rovnoběžném s dráhou paprsku. Tak můžeme definovat bezrozměrnou veličinu *vzdušná hmota* X jako

$$X = \frac{\int_{h_0}^{h_1} \rho(h) \sec z(h) dh}{\int_{h_0}^{h_1} \rho(h) dh} \quad (5.13)$$

Takto definovanou vzdušnou hmotu můžeme dosadit do předchozí rovnice, která pak bude mít tvar

$$I(\lambda, h_0) = I(\lambda, h_1)e^{-\kappa(\lambda)X(z) \int_{h_0}^{h_1} \rho(h) dh} = I(\lambda, h_1)e^{-\kappa(\lambda)X(z)\alpha}, \quad (5.14)$$

kde α je skutečné množství vzduchu vertikálně nad hladinou h_0 . Rovnici převedeme do logaritmického tvaru

$$\log I(\lambda, h_0) = \log I(\lambda, h_1) - (\log e)\kappa(\lambda)X(z)\alpha. \quad (5.15)$$

Dále můžeme tuto rovnici přepsat do podoby s hvězdnými velikostmi jako

$$m(\lambda, h_0) = m(\lambda, h_1) + 2,5(\log e)\kappa(\lambda)X(z)\alpha = m(\lambda, h_1) + k(\lambda)X(z), \quad (5.16)$$

kde

$$k(\lambda) = 2,5(\log e)\kappa(\lambda)\alpha \approx 1,086\kappa(\lambda)\alpha. \quad (5.17)$$

Veličina $k(\lambda)$ je *extinkční koeficient* pro vlnovou délku λ a rovnici 5.16 se říká *Bouguerův zákon*.

Měření extinkce

Jestliže chceme stanovit pro své pozorovací stanoviště aktuální hodnotu atmosférické extinkce, můžeme to udělat jedním z těchto postupů:

- měřením jasnosti jedné hvězdy neznámé hvězdné velikosti
- měřením jasnosti více hvězd se známou hvězdnou velikostí

Podrobnější postup, jak je možné extinkci určit z pozorování naleznete například zde:

<http://www.asu.cas.cz/~lenka/prednasky/318ext.htm#3> .

Turbulence atmosféry

Neustálé promíchávání vzduchu, atmosférická turbulence, má dva špatné vlivy na záření, které přichází od bodového zdroje:

1. mění konvergenci nebo divergenci vlnoplochy a tak se zvyšuje nebo snižuje jasnost zdroje, tento efekt označujeme jako *scintilace*
2. náhodně mění lokální směr přicházejícího záření, výsledkem je chaotický pohyb obrazu, tento vliv turbulence je *seeing*

Pokud se chceme s vlivem turbulence na naše astronomická pozorování nějak vypořádat, máme možnost volby lepšího pozorovacího stanoviště. Situace je lepší v některých vhodných vysokohorských lokalitách, na Antaktidě. Zcela je však vliv turbulencí odstraněn až při pozorování z oběžné dráhy nebo z povrchu Měsíce.

Jiným přístupem je pak vývoj tzv. *adaptivní optiky*, která provádí korekce vlivů turbulence. Podrobnější zmínka je v kapitole věnované astronomické pozorovací technice.

5.3 Plánování pozorování

Plánování a příprava astronomického pozorování v sobě zahrnuje pokaždé trochu jinou množinu činností. Obecně ji lze rozdělit do několika typů:

- příprava na pozorování ve volné přírodě (liší se pro známou/neznámou lokalitu)
- příprava pozorování na hvězdárně (liší se pro známou/neznámou hvězdárnu)
- příprava využití získaného pozorovacího času na observatoři

Nikdy bychom neměli podcenit znalost obecných informací, které se váží k lokalitě pozorovacího stanoviště. Patří mezi ně znalost typických povětrnostních podmínek, přístrojového vybavení a provozních zvyklostí, pokud se jedná o hvězdárnu nebo observatoř.

Dále bychom si měli připravit informace, které souvisí s datem našeho pozorování:

- časy východu a západu Slunce, časy soumraků
- časy východu a západu Měsíce, jeho fáze
- hvězdný čas o půlnoci

- Juliánské datum o půlnoci

Teprve potom bychom si měli shromáždit informace, které souvisí s druhem pozorování a pozorovanými objekty (zde se může příprava lišit podle toho, zda se jedná o pozorování pro radost, bakalářskou práci, diplomovou práci nebo vědecký projekt). Většinou zahrnuje:

- výběr objektů
- časy jejich východu a západu
- vyhledávací mapky, jsou-li potřeba
- efemeridy proměnných objektů
- itinerář nočního pozorování (pořadí objektů, činností a měření)

Přípravu může ulehčit řada nástrojů, které jsou dostupné na internetu. Zde je několik doporučení:

- otočná mapka oblohy <http://drifted.in/planisphere/index.html> ke stažení (autor Jan Tošovský)
- výpočetní program Astronomy Lab2 je velmi praktický nástroj pro přípravu pozorování s řadou jednoduchých grafických výstupů, je ke stažení na adrese:
<http://www.ericbt.com/Misc/AstronomyLab2>
- on-line ročenka <http://aa.usno.navy.mil/data/>
- on-line výpočetní programy pro pozorovací astronomii <http://imagiware.com/astro/>
- vyhledávací mapky <http://stdatu.stsci.edu/dss/>
- portály některých observatoří:
 - Kitt Peak National Observatory
<http://www.noao.edu/kpno/>
 - Mt. John University Observatory
http://www.phys.canterbury.ac.nz/research/mt_john/

5.3.1 Dodatek

Astronomická pozorování se sice nedají provádět v dešti, ale pokud je pozorovatel přímo u dalekohledu, nevyhne se nízkým teplotám. Zejména v zimě může být noční pozorování v tomto ohledu skutečně náročné. Zde je převzatý a upravený text, který obsahuje několik dobrých rad, jak na to.

Jak zůstat v teple

...

První podmínkou úspěšnosti je rovnoměrné pokrytí celého těla oblečením. Pod kalhoty si oblečte teplé vlněné spodky - nejlépe několik. Pod ně i na ně si oblečte teplé vlněné ponožky.

Druhou podmínkou je neprodyšná bunda - nejlépe péřová. Je tvořena několika vrstvami, které hned tak něco neprofoukne. Na horní část těla si oblékněte podvlékačí triko a dva až tři svetry, ale tak tenké, aby vám příliš nevadily v pohybu. Dalšími místy, která musíte chránit, jsou krk a hlava. Pokud je to možné, vezmě si teplou šálu a čepici, které pak přikryjete kapucí bundy.

Třetí podmínkou je ochrana končetin, nejvíce pak všech prstů. Velké množství tepla uniká i přes podrážky bot. Musíte je proto velmi dobře izolovat. Boty by svou výškou měly také stačit k zakrytí ponožek a neměly by být příliš těsné. Tím se totiž vytlačuje krev z prstů a ty se začínají díky nedokonalé krevní výměně ochlazovat. Totéž platí pro ruce. Zde ale narážíme na problém, protože při pozorování manipulujete s okuláry, píšete tužkou nebo listujete v atlase. Nabízejí se dvě možnosti: buď si vezmete jedny tenké rukavice a na ně jedny hrubší, tzv. palčáky, anebo si pořídte tzv. cyklistické rukavice, které mají ustrížené konce prstů a k nim samozřejmě ještě palčáky.

Na ochranu tváře doporučuji použít masku podobnou masce závodníků F1. V noci sice budete působit dojmem teroristy, ale stojí to za to. Nepořizujte si však masku bez otvoru pro ústa, protože při dýchání by se vám vodní pára obsažená ve vzduchu srážela na očích a na okuláru.

Svůj čas strávený u dalekohledu si můžete také prodloužit vhodným jídlem a pitím. Důležité je udržovat stálou hladinu cukru v krvi, což vám pomůže udržet tělesnou teplotu. Můžete proto jíst třeba hroznový cukr, ale příliš mnoho cukru působí přesně opačně.

K pití je nevhodnější horký mošt nebo jiný sladký nápoj. Káva je sice příjemná, ale kofein způsobuje zpomalování krevního oběhu a tím i únavu, ospalost a ochlazování organismu. Stejně působí tabák a alkohol, který navíc způsobuje ztráty tepla kapilárními otvory v kůži.

Pokud vás během pozorování začne bolet hlava, může to být důsledek dehydratace vašeho organismu. Způsobuje ji studený vzduch, který vdechujete. Jestliže voda opouští organismus, zpomaluje se opět krevní oběh a může dojít k omrzlinám prstů. Před pozorováním se vždy dostatečně napijte.

Nepostradatelnou částí ochrany před zimou je neustálá svěžest, kterou se snažte udržovat i v „sibiřských podmínkách“. Jestliže pocítíte chlad, začněte se pohybovat, skákat a dělat dřepy. Tím se vám opět zrychlí krevní oběh, prokrví prsty a rozhýbou klouby. Pořádným cvičením si můžete vytvořit zásobu tepla na několik hodin pozorování.

...

Podle článku Keeping Warm Under Winter Stars od Alana M. MacRoberta uveřejněného v časopise Sky and Telescope, 1993, číslo 2 na str. 28, originál je dostupný na <http://www.wwnorton.com/college/astronomy/astro21/sandt/keepwarm.html> .

Kapitola 6

Pozorovací technika

„Jedno odpoledne strávené v knihovně vám může ušetřit měsíc pozorování na hvězdárně.“
– Bailey, Slater & Slater, *Conducting Astronomy Education Research*

6.1 Dalekohledy

Systematický výklad základů geometrické a fyzikální optiky je obsahem jiných vysokoškolských přednášek. Tato kapitola zahrnuje pouze některé aspekty optiky, které jsou důležité pro astronomickou pozorovací techniku.

Většina velkých astronomických objevů souvisela s rozvojem pozorovací techniky. Stále větší a větší dalekohledy dokáží soustředit záření z větší plochy, mají lepší úhlové rozlišení, nejsou striktně omezeny jen na vizuální část elektromagnetického záření jako náš zrak a také dávají možnost detektorem získat trvalý záznam pozorování. V dnešní době je možná přesnější mluvit o „pozorovacích systémech“, které jsou složeny z několika částí:

- dalekohled (reflektor, refraktor, katadioptrický dalekohled nebo třeba parabolická anténa radioteleskopu)
- měřicí zařízení (fotoaparát, kamera, spektrograf atp.)
- detektor (oko, fotografická emulze, fotonásobič, CCD atp.)

Klasický dalekohled se skládá z hlavního optického prvku – tzv. objektivu, který vytváří obraz v ohniskové rovině. Obraz si lze prohlížet dalším optickým prvkem dalekohledu – okulárem (což je z optického hlediska vlastně lupa). Obecně pak jde vždy buď o zobrazování objektů nebo měření vlastností záření, které od nich přichází (různé typy tzv. fotometrie). Mezi základní charakteristiky každého dalekohledu patří:

- průměr hlavního objektivu (vstupní pupily) D
- ohnisková vzdálenost f
- světelnost - rovná se poměru $\frac{f}{D}$
- zvětšení - je dáno poměrem $\frac{f_{obj}}{f_{okul}}$

- velikost zorného pole

Mezní hvězdnou velikost pro daný dalekohled můžeme určit následujícím postupem. Celkový světelný tok zachycený dalekohledem vztáhneme k toku, který jsme schopni zachytit okem. V obou případech jeho velikost závisí na ploše objektivu, respektive oka. Platí

$$\frac{I_D}{I_O} = \frac{D^2}{d^2}, \quad (6.1)$$

kde I_D a I_O jsou příslušné toky, D a d jsou průměry dalekohledu a oka v metrech. Pak můžeme využít Pogsonovu rovnici ve tvaru:

$$m_D - m_O = -2,5 \log_{10} \frac{I_D}{I_O} = -5 \log_{10} \frac{D}{d}, \quad (6.2)$$

a pokud dosadíme za limitní hvězdnou velikost pro oko bez dalekohledu hodnotu 6 magnitud, průměr oka $d = 0,008$ m a odhadneme ztrátu světelného toku v optické soustavě dalekohledu na 0,5 magnitudy, obdržíme výsledný poloempirický vztah:

$$m_{lim} \cong 16 + 5 \log_{10} D. \quad (6.3)$$

Další podstatnou charakteristikou dalekohledu je jeho *úhlové rozlišení*. Žádným dalekohledem se ani dokonale bodový světelný zdroj nezobrazí jako bod, ale jako kruhový difrakční obraz – tzv. *Airyho disk*. Tak je definováno maximální možné úhlové rozlišení dalekohledu, jeho difrakční limit, který má přibližnou hodnotu:

$$\alpha = \frac{1,22\lambda}{D}, \quad (6.4)$$

kde λ je vlnová délka a D je průměr dalekohledu. V praxi se však ukazuje, že této hodnoty rozlišení není možné při pozorování ze zemského povrchu dosáhnout, protože hodnota seeingu bývá větší.

6.1.1 Typy dalekohledů

Refraktory

Dalekohledy, které mají objektiv i okulár vytvořený z čoček, tedy optických prvků, které využívají lomu světla, se nazývají *refraktory*. Docela první sestavené dalekohledy (na počátku 17. století) byly právě jednoduché refraktory, které tvořila dvojice čoček – jedna jako objektiv a druhá jako okulár. Je zřejmé, že takové dalekohledy měly celou řadu optických vad. Postupem času vznikaly složitější konstrukce, ve kterých byl objektiv i okulár složen z několika čoček. Nejčastěji byla korigována tzv. barevná vada, kterou lze potlačit, jestliže kombinujeme čočky vyrobené z různých druhů skla. Pokud použijeme dvě čočky, označujeme soustavu jako *achromát*, při použití tří čoček se jedná o dokonalejší *apochromát*. Současné běžně dostupné refraktory achromáty mají relativní otvor $f/10$ až $f/13$ (viz obrázek 6.1).



Obrázek 6.1: Refraktor achromát o průměru 102 mm ($f/11$), zdroj zde .

Reflektory

Dalekohledy, které k fokusaci nevyužívají lomu světla, ale jeho odrazu, nazýváme *reflektory* neboli zrcadlové dalekohledy. Optickými členy takových soustav jsou totiž zrcadla, původně kovová, dnes skleněná s pokovenou povrchovou vrstvou. Jednou z hlavních výhod reflektorů je skutečnost, že nemají barevnou vadu, protože úhel odrazu není závislý na vlnové délce dopadajícího světla. Navíc výroba hlavního zrcadla je spojena, na rozdíl od výroby čoček, s vytvořením pouze jedné optické plochy.

Existuje několik typů reflektorů, které se liší technickým řešením umístění hlavního zrcadla a okuláru. Patrně nejjednodušší je tzv. **Newtonův reflektor** (viz obrázek 6.2). Jeho objektiv tvoří sférické nebo parabolické zrcadlo. Svazek světla odražený od plochy zrcadla je ještě před ohniskovou rovinou odrážen mimo optickou osu rovinným zrcátkem svírajícím s optickou osou hlavního zrcadla úhel 45° . Tak se ohnisková rovina, respektive ohnisko, dostane mimo tubus dalekohledu. Obraz si pak můžeme prohlížet klasickým okulárem. Jednoduchá konstrukce a nutnost výroby pouze jediné zakřivené optické plochy učinily tento typ dalekohledu rozšířený zejména mezi astronomy amatéry. Pro větší a profesionální teleskopy však tento typ uspořádání není vhodný. Z optických vad se často projevuje koma a astigmatismus (pro parabolické zrcadlo), případně otvorová vada (pro sférické zrcadlo).

Složitější jsou technická řešení reflektoru navržená Gregorym a Cassegrainem v 2. polovině 17. století. Jejich společným znakem je otvor uprostřed primárního parabolického zrcadla.

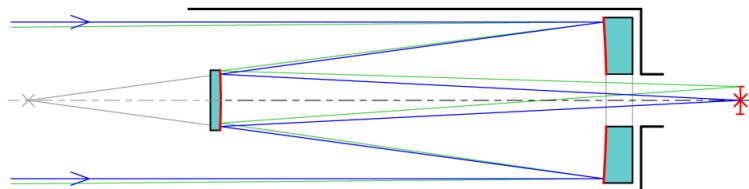
Cassegrainův dalekohled využívá jako sekundární optický prvek konvexní hyperbolické zrcadlo. Svazek světla odražený od primárního zrcadla dopadá na sekundární zrcadlo, jež změnil sbíhavost dopadajícího a posléze odraženého svazku, tak proslužuje jejich dráhu potřebnou k dosažení ohniskové roviny. Světlo prochází otvorem v hlavním zrcadle a ohnisková rovina se tedy nalézá až za ním. Ohnisko tak leží na optické ose dalekohledu. Tento systém průchodu světla optickou soustavou způsobí, že fyzicky jsou dalekohledy typu Cassegrain mnohem kratší než jakou mají ohniskovou vzdálenost (viz obrázek 6.3).

Gregoryho dalekohled má jako sekundární optický prvek konkávní (duté) zrcadlo, které je za primárním ohniskem v takové pozici, aby promítalo obraz vytvořený primárním zrcadlem za hlavní zrcadlo. Fyzický rozměr je však větší než u Cassegrainova uspořádání a dnes už se tento typ příliš nepoužívá.

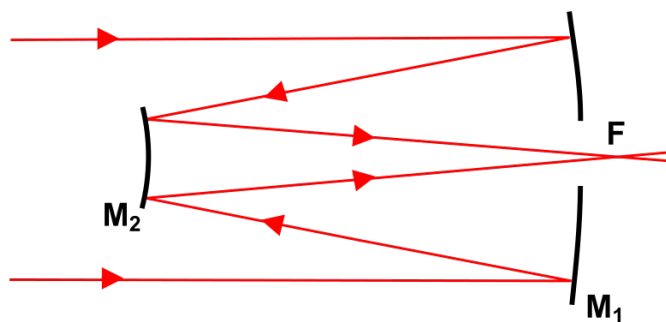
Uspořádání **Ritchey-Chrétien** se používá u velkých astronomických dalekohledů. Jedná se vlastně technické řešení typu Cassegrain, ale jak primární, tak sekundární zrcadlo mají tvar



Obrázek 6.2: Zrcadlový dalekohled typu Newton, zdroj zde .



Obrázek 6.3: Schéma dalekohledu typu Cassegrain, zdroj zde .



Obrázek 6.4: Schéma dalekohledu typu Ritchey-Chrétien, zdroj zde .

rotačního hyperboloidu (viz obrázek 6.4). Důvodem je potlačení optických vad, zejména komy a sférické vady. Nevýhodou je náročnost výroby (zejména primárního zrcadla) a tedy i vysoká cena.

Katadioptrické systémy

Katadioptrické dalekohledy využívají kombinace optických prvků používaných v refraktorech a reflektorech, tedy čoček (nebo korekčních desek) a zrcadel. Snahou konstruktéra je využít výhod obou typů zobrazovacích optických prvků tak, aby výsledný dalekohled měl potlačeny v maximální možné míře všechny optické vady. Patrně jako první použil korekční desku v zrcadlovém dalekohledu estonský optik Schmidt (1930) v dalekohledu (komoře) sestaveném pro astrofotografii. Korekční deska má velmi komplikovaný tvar a její výroba je technicky obtížná a tedy i nákladná. Zabudováním Schmidtovy desky do Cassegrainova zrcadlového dalekohledem byl vytvořen velmi dobrý optický systém, který je znám pod názvem **Schmidt-Cassegrain**. Dnešní dalekohledy typu Schmidt-Cassegrain se vyrábějí s relativním otvorem $f/10$ až $f/12$.

Jiné technické řešení vytvořil Maksutov (1941) pro astrokomoru upravenou přidáním sekundárního zrcadla do tzv. Maksutova dalekohledu. Korekční člen má v tomto případě jednodušší tvar (meniskus). Korekční deska je ale silnější, dalekohled je tedy těžší a pomaleji reaguje na změny teplot. Relativní otvor Maksutových komor je $f/12$ až $f/15$.

Aktivní a adaptivní optické systémy

Rozvoj výpočetní techniky a dalších technologií umožnil také jiná řešení velkých dalekohledů než ta, která vycházejí z klasické optiky. Jedním z nich je tzv. *aktivní optika*, která využívá prohýbání tenkého skleněného disku primárního zrcadla k dosažení optimálního tvaru jeho optické plochy. Zrcadlo leží na roštu „inteligentních podpěr“ a jeho tvar je neustále korigován výpočetní technikou. Podrobněji viz http://en.wikipedia.org/wiki/Active_optics .

Ke zcela jiné koncepci vedla snaha o odstranění vlivu atmosféry na pozorování z povrchu Země. Takové systémy by mělo být možné použít u klasických velkých dalekohledů jako přídatné zařízení, které provede potřebné korekce. Idea tzv. *adaptivní optiky* vznikla už v polovině minulého století a poprvé byla technicky realizována na konci 80. let 20. století na 360 cm teleskopu Evropské jižní observatoře v Chile. Podstatný technologický pokrok vývoje adaptivní

optiky však souvisí s odtajněním vojenských technologií v roce 1991.

Princip fungování takového systému je jednoduchý, musí zjistit všechna zkreslení v každém okamžiku a vložit analyzované vlnoploše do cesty zkreslení opačným způsobem. To všechno v reálném čase, mnohokrát za sekundu. Technické řešení je snazší pro větší vlnové délky, tedy první systémy fungovaly v oblasti infračerveného záření. K určení aktuálního zkreslení vlnoplochy se používá buď metoda fixace vlnoplochy, k čemuž je nutné mít v zorném poli poměrně jasnou hvězdu, nebo metoda umělé hvězdy, která se vytváří na horních vrstvách atmosféry speciálním laserovým svazkem. Adaptivní optika má velmi velké nároky na výpočetní techniku a náklady na její vybudování jsou vysoké, zatím je tedy vybavením jenom těch největších dalekohledů světa. Podrobněji viz například http://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_optics .

6.1.2 Vady optiky [11]

Kulová vada

Kulovou vadu neboli *sférickou aberaci* mají takové optické soustavy, ve kterých se nesoustředí všechny paprsky do jediného ohniska, ale paprsky, které dopadají do objektivu v různých vzdálenostech od optické osy soustavy se protínají v různé vzdálenosti od objektivu. Takže paprsky blíže optické ose mají své ohnisko ve větší vzdálenosti, než paprsky procházející okrajem objektivu. Výsledný obraz světelného bodu nebude bodový, ale vytvoří neostře ohraničenou plošku.

Velikost sférické aberace závisí na průměru objektivu a na relativní světelnosti. Korekce kulové vady je možná buď kombinací spojky a rozptylky nebo vybroušení optických ploch do tvaru rotačního paraboloidu. Menší kulovou chybu mají i ploskovypuklé čočky, popř. soustava dvou slabších čoček (s delšími ohniskovými vzdálenostmi) namísto jedné silné. Tato chyba se projevuje také u zrcadel (nejvíce pro kulový tvar jejich optické plochy).

Asymetrická chyba (koma)

Porušení symetrie svazku paprsků, přicházejících od světelného bodu, který je mimo optickou osu soustavy, označujeme jako *komu* nebo také jako *asymetrickou vadu*. V případě, že světlo dopadne na poloměr křivosti optického prvku ze šikma, nenastane v reálné optické soustavě v žádné rovině bodové zobrazení. Světelné paprsky dopadající šikmo na optickou plochu se rozptylují více. Celkový obraz původně bodového zdroje má tvar protáhlé čárky podobné obrazu komety. Koma je typická pro dalekohledy s velkým zorným polem. Korekci komy je možné udělat vhodnou konstrukcí objektivu, takové se pak označují jako *aplanáty*.

Astigmatismus a sklenutí obrazu

Pokud zobrazovaný předmět leží mimo optickou osu, tak světlo od něj přicházející do okrajové části objektivu kolmo se láme jinak než při šikmém dopadu. Dochází ke zkreslení označovanému jako *astigmatismus*. Obraz bodového světelného zdroje pak bude mít tvar elipsy. Jako *sklenutí obrazu* označujeme vadu, kdy daná optická soustava nemá ohniskovou rovinu, ale obrazová rovina má tvar zakřivené plochy. Pokud takovou soustavu použijeme k fotografování a detektor je „rovná plocha“, bude zaostřena jen část snímku. Soustavy s korekcí obou vad se označují jako *anastigmaty*.

Zkreslení

Pokud má optická soustava zvětšení závislé na vzdálenosti zobrazovaného objektu od optické osy, pak dochází také k deformaci obrazu. Například čtverec se zobrazí se stranami prohnutými ven nebo dovnitř. Taková vada se označuje jako *zkreslení* neboli *distorze*. Obraz není neostrý, pouze zkreslený. Jestliže zvětšení vzrůstá se vzdáleností od optické osy, jedná se o tzv. poduškové zkreslení a je-li tomu naopak, pak jej označujeme jako tzv. soudkové zkreslení. Je to podstatný parametr zejména pro okuláry s velkým zorným polem. Optickou soustavu s korekcí distorze označujeme jako *ortoskopickou*.

Barevné vady

Barevné vady neboli *chromatické aberace* se týkají pouze optických soustav využívajících ke zobrazování lomu světla. Rozlišujeme chromatické aberace polohy a zvětšení. Bohužel není možná korekce obou barevných vad současně pro všechny vlnové délky. Tento neodstranitelný chromatismus se označuje jako sekundární spektrum. Barevnou vadu korigujeme kombinací různých optických skel s opačnou hodnotou disperze.

6.1.3 Vývoj pozorovací techniky

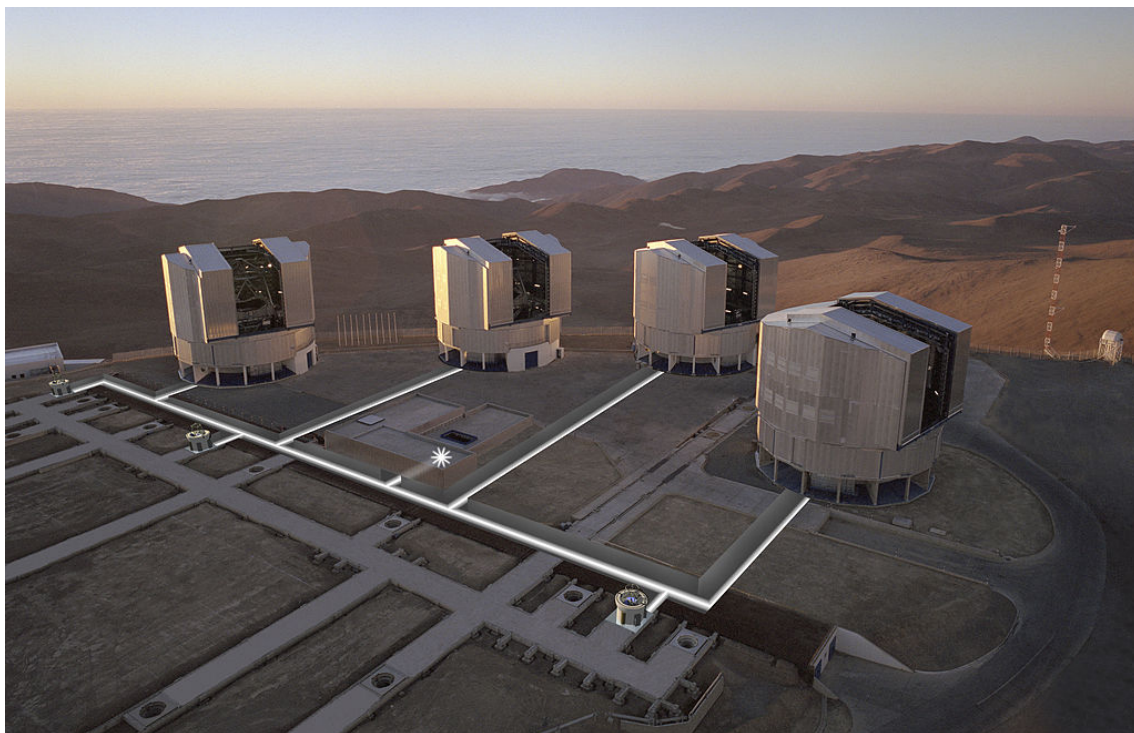
Pokud se podíváme na historický vývoj astronomické pozorovací techniky, pak můžeme vysledovat několik zásadních technologických „skoků“. Docela na počátku byl určující rostoucí průměr refraktorů a konstrukce složitějších objektivů. Jenže na konci 19. století refraktory dosáhly limitujícího rozměru (102 cm, observatoř Yerkes), a tak stavba větších dalekohledů byla možná jen na bázi reflektorů s monolitickým skleněným primárním zrcadlem. Tato technologie dosáhla svého vrcholu v podobě Haleova reflektoru (508 cm, observatoř Mt. Palomar) a reflektoru BTA6 (600 cm, observatoř Zelenčukskaja). Následoval další technologický zlom, když primární zrcadla větších rozměrů byla konstruována z menších segmentů nebo opticky dokonalý tvar relativně tenkého monolitického skleněného zrcadla vytvářel rošt počítačem řízených podpěr (tzv. *aktivní optika*). S rozvojem citlivých CCD detektorů nastalo období, kdy průměr primárního zrcadla nebyl zcela rozhodující, podstatný byl kvalitní detektor.

Další vývoj zavedl pozorovací techniku do kosmického prostoru. Z observatoří na oběžné dráze je patrně nejznámější Hubbleův kosmický dalekohled. Ve své době to byl jediný způsob, jak zcela vyřešit negativní vlivy atmosféry Země na pozorování. Byl to ale způsob nesmírně finančně nákladný. S rozvojem výpočetní techniky a dalších souvisejících technologií se postupně začala realizovat půl století stará myšlenka tzv. *adaptivní optiky*, která je schopna korigovat většinu vlivů atmosféry, zejména negativní dopady turbulence. Pozemní observatoře opět mohou konkurovat těm kosmickým a jejich stavba i provozování je o několik řádů levnější.

6.1.4 Největší dalekohledy světa

Very Large Telescope

Evropská jižní observatoř (ESO) umístila tuto čtveřici dalekohledů do lokality Cerro Paranal v Chile. Každý z teleskopů má průměr 820 cm. Jsou v provozu od roku 2001 a v současnosti mohou fungovat také dohromady jako interferometr. Z optického hlediska se jedná o systémy Ritchey - Chrétien a jsou umístěny na altazimutálních montážích. Viz obrázek 6.5 .



Obrázek 6.5: Pohled na čtveřici kopulí VLT, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Very_Large_Telescope

Keckovy dalekohledy

Každý z dvojice dalekohledů má průměr 982 cm a hlavní zrcadlo složené z 36 hexagonálních segmentů. Observatoř provozuje Caltech a je umístěna na vrcholu sopky Mauna Kea na Havajských ostrovech. Byly uvedeny do provozu v letech 1991 a 1996. Optický systém Ritchey - Chrétien, montáž altazimutální. Viz obrázek 6.6 .

Large Binocular Telescope

Tento gigantický binokulár byl uveden do provozu v roce 2004. Každé z jeho primárních zrcadel má průměr 840 cm. Jedná se o klasický Cassegrain umístěný na altazimutální montáži. Observatoř na Mt. Grahamu v Arizoně provozuje konsorcium 12 institucí z USA, Itálie a Německa. Viz obrázek 6.7 .

Gran Telescopio Canarias

S průměrem 1 040 cm je GTC největším dalekohledem na světě (k roku 2015). Observatoř je umístěna na ostrově La Palma na Kanárských ostrovech a její provoz zajišťuje Španělsko s několika zahraničními partnery. Teleskop je konstrukčně podobný Keckovým dalekohledům (systém Ritchey - Chrétien, primární zrcadlo je tvořeno 36 hexagonálními segmenty) a je v provozu od roku 2008. Viz obrázek 6.8 .



Obrázek 6.6: Pohled na kopule Keckových dalekohledů, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/W._M._Keck_Observatory

Hobby - Eberly Telescope (HET)

Teleskop s ekvivalentním průměrem 910 cm a velmi zvláštní montáží provozuje konsorcium univerzit z USA a Německa na vrcholu Mount Fowlkes v americkém státě Texas. Byl uveden do provozu v roce 1997. Jeho hlavní zrcadlo má sférický tvar a celé dalekohled se může plně otáčet pouze v horizontální rovině, výška nad obzorem je fixně nastavena na 55 stupňů. Tato nevýhoda je částečně kompenzována pohyblivým sekundárním zrcadlem. Viz obrázek 6.9 .

Southern African Large Telescope (SALT)

Dalekohled je vlastně kopií teleskopu HET, jeho velikost odpovídá průměru primárního zrcadla asi 980 cm a je umístěn v Jihoafrické republice v Sutherlandu. Byl uveden do provozu v roce 2005. Viz obrázek 6.10 .

Subaru

Japonský dalekohled Subaru je umístěn na Mauna Kea, má průměr 820 cm a optický systém Ritchey - Chrétien na altazimutální montáži. Byl uveden do provozu v roce 1999 a jeho technickou zajímavostí je řešení otáčení v horizontální rovině, kdy s dalekohledem rotuje celá budova observatoře. Viz obrázek 6.11 .

Gemini (sever a jih)

Dvojice dalekohledů Gemini je umístěna ve dvou od sebe velmi vzdálených lokalitách. Severní teleskop je na Mauna Kea na Havajských ostrovech a ten jižní na vrcholu Cerro Pachón v Chile.



Obrázek 6.7: Otevřená kopule s největším binokulárem na světě, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Large_Binocular_Telescope



Obrázek 6.8: Pohled na kopuli GTC na Kanárských ostrovech, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Gran_Telescopio_Canarias



Obrázek 6.9: Kopule dalekohledu HET, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Hobby-Eberly_Telescope



Obrázek 6.10: Večerní snímek budovy dalekohledu SALT, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Southern_African_Large_Telescope



Obrázek 6.11: Dalekohled Subaru a jeho netradiční „kopule“, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Subaru_Telescope



Obrázek 6.12: Budova dalekohledu Gemini sever při západu Slunce, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Gemini_Observatory

Primární zrcadla mají průměr 810 cm, optický systém Ritchey - Chrétien na altazimutální montáži. Byly uvedeny postupně do provozu v letech 2000 a 2001 a provozuje je mezinárodní konsorcium institucí (USA, GB, Kanada, Chile, Austrálie, Argentina, Brazílie). Viz obrázek 6.12 .

Magellan

Jedná se o dvojici dalekohledů, každý o průměru 650 cm, které provozuje několik univerzit z USA, ale jsou umístěny na Las Campanas v Chile. Jsou to klasické optické soustavy Cassegrain na altazimutální montáži a fungují od roku 2002. Viz obrázek 6.13 .

Dalekohledy v České republice

Největším dalekohledem v České republice je od roku 1967 zrcadlový dalekohled o průměru 200 cm (viz obrázek 6.14), který dnes nese jméno Luboše Perka. Provozuje jej Astronomický ústav AV ČR v.v.i. a nachází se na observatoři v Ondřejově. Je využíván především ke spektroskopii horkých hvězd. Druhý největší je pak dalekohled KLENOT s průměrem primárního zrcadla 106 cm, který je umístěn na Kleti na Šumavě a slouží především k objevování planetek.

Cesta k pozorování skutečně velkými dalekohledy vede jedině přes získání pozorovacího času v grantových soutěžích. Od roku 2007 je sice Česká republika řádným členem ESO, ale paradoxně to českým vědcům nepřináší žádné výhody v přidělování pozorovacího času.



Obrázek 6.13: Noční snímek budov dalekohledu Magellan, zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Magellan_Telescopes

Další velké dalekohledy

Více informací o velkých dalekohledech s průměry primárního zrcadla většími než 300 cm naleznete na této adrese:

http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_reflecting_telescopes .

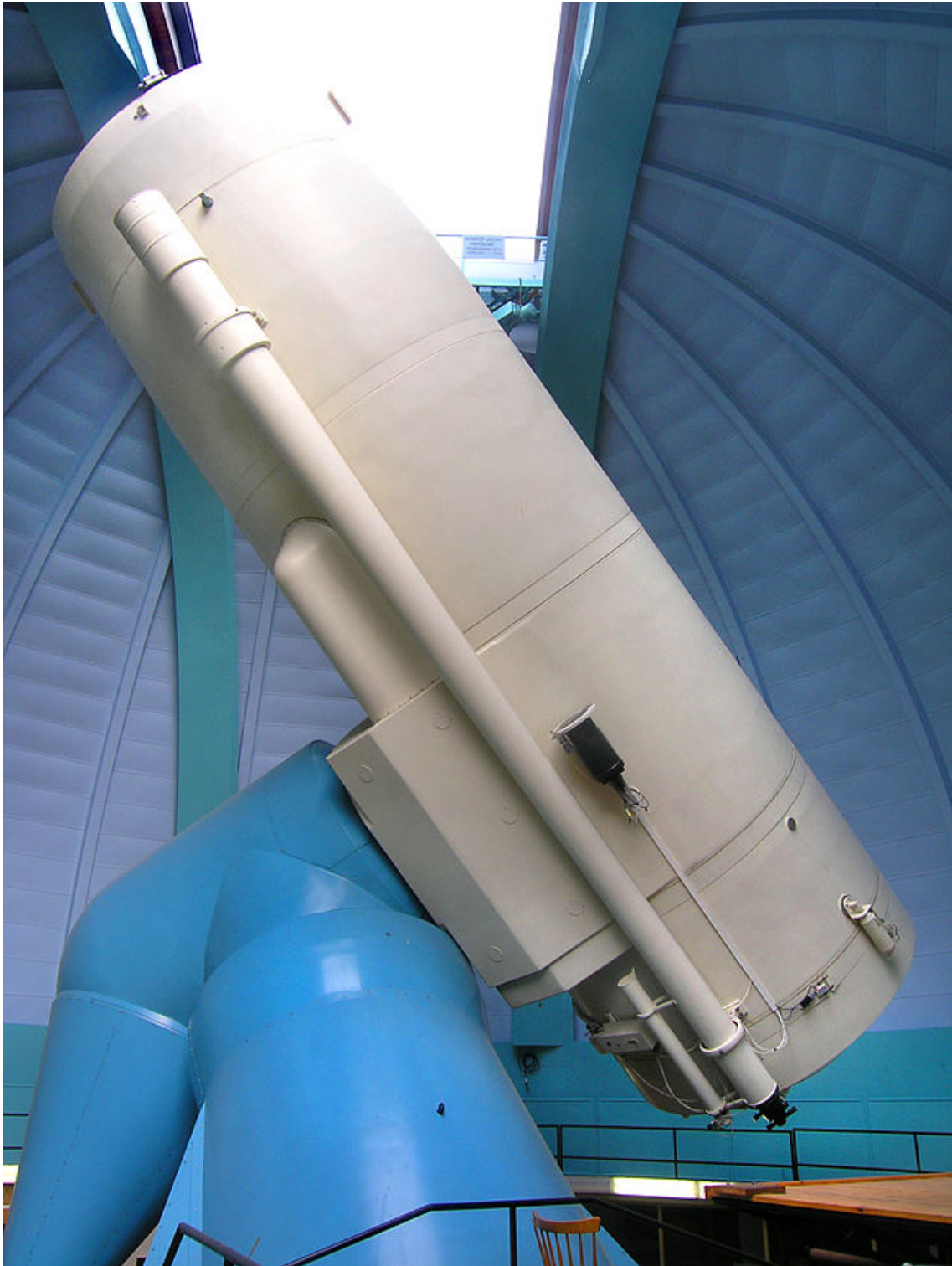
6.1.5 Získání pozorovacího času

Samozřejmě, že neexistuje žádný zaručený postup, jak získat pozorovací čas u velkého dalekohledu. Pokud se rozhodnete věnovat se astronomickým pozorováním na profesionální úrovni, pak je vhodné se zapojit do již existujících vědeckých projektů, tak se můžete dostat i k pozorovacímu času na skutečně velkých dalekohledech. Někdy však velikost dalekohledu není tak podstatná jako doba, kterou jím můžete pozorovat. Velmi dobrých výsledků lze dosáhnout také dlouhodobými systematickými pozorováními menším přístrojem. Záleží na vhodné volbě pozorovacího programu. Samotné pozorování dnes může probíhat mnoha způsoby. Ten klasický představuje pozorování astronomem přímo na observatoři. Často se však může jednat o tzv. vzdálené pozorování automatizovaným dalekohledem (tak je například Astronomickým ústavem provozován tzv. Dánský dalekohled (průměr 154 cm) na La Silla, viz také <http://allsky-dk154.asu.cas.cz/> .

Nejefektivnější využití pozorovacího času a všech jasných nocí však představuje pozorování prováděné profesionální obsluhou dalekohledu (plánování systémem „fronta“).

Přehled robotických dalekohledů je například zde:

<http://www.astro.physik.uni-goettingen.de/~hessman/MONET/links.html> .



Obrázek 6.14: Tubus Perkova dalekohledu v Ondřejově, zdroj http://cs.wikipedia.org/wiki/Dvoumetrový_dalekohled_v_Ondřejově



Obrázek 6.15: Dobsonova montáž pro dalekohled s větším průměrem zdroj zde

6.2 Montáže dalekohledů

Pro astronomická pozorování je nutné, aby dalekohled byl umístěn na tzv. *montáži*. Je to mnohdy, zejména u velkých teleskopů, zařízení složitější než samotná optická soustava. Měla by umožňovat snadné nastavení dalekohledu do polohy potřebné k pozorování a také jeho setrvání v této poloze. Dokonalejší montáže sledují pozorovaný objekt (kompenzují rotaci Země) či dokonce samy nastaví dalekohled do příslušného směru podle zadaného jména či souřadnic objektu

6.2.1 Azimutální montáž

Azimutální montáž je svým principem podobná běžnému fotostativu. Dalekohledem na azimutální montáži lze otáčet kolem dvou os. Pohybem v horizontální rovině (měníme *azimut*) a pohybem ve vertikální rovině (změna *výšky nad obzorem*). Výhodou je její jednoduchost a snadné ovládání i pokud ji využíváme v manuálním režimu. Nevýhodou je to, že při kompenzaci rotace Země musíme vždy otáčet dalekohledem kolem obou os a navíc se obraz v zorném poli stáčí, což je problematické při delších expozicích.

Specifickým případem technického řešení azimutální montáže je tzv. *Dobsonova montáž*, která je výhodná zejména pro zrcadlové dalekohledy typu Newton. Je tvořena nízkou základnou, do které je vložena tubus a která je umístěna na otočné desce. Takové řešení může zajistit levnou montáž i pro dalekohledy větších průměrů (viz obrázek 6.15).

6.2.2 Paralaktická montáž

Jestliže pro vizuální pozorování představuje azimutální montáž velmi dobré řešení, v okamžiku potřeby fotografování nebo jakýchkoliv odbornějších pozorování je však tento typ montáže nevhodný. Pak je mnohem výhodnější použít tzv. *paralaktickou montáž*, která má jednu osu rotace rovnoběžnou s osou rotace Země. Její sklon k rovině ideálního horizontu sice závisí na zeměpisné



Obrázek 6.16: Vidlicová paralaktická montáž (řešená paralaktickým klínem), zdroj zde

šířce pozorovacího stanoviště, ale ke kompenzaci zemské rotace pak stačí otáčet dalekohledem právě jenom kolem této *polární osy*. Dokonalejší paralaktické montáže jsou vybaveny také tímto pohonem, který je označován jako *hodinový stroj*. Tento druh montáže nám umožňuje vyhledat astronomické objekty přímo podle jejich rovníkových souřadnic (rektascenze a deklinace).

Nejčastější technická provedení paralaktické montáže jsou tzv. *vidlicová* a tzv. *německá*. Montáž vidlicová je velmi podobná azimutální montáži, jen má skloněnou polární osu. Některé montáže dokonce umožňují přecházet mezi oběma typy použitím tzv. *paralaktického klínu* (viz obrázek 6.16). Německá paralaktická montáž má dalekohled upevněn na jedné straně a na druhé je protizávaží (viz obrázek 6.17). Taková montáž je sice stabilnější a lépe rozložitelná na jednotlivé díly, ale je podstatně hmotnější (protizávaží).

6.2.3 Automatizované montáže

Nalezení astronomického objektu na obloze, zejména pokud se jedná o slabší objekty, není docela jednoduché. Proto byly postupně vyvíjeny různým způsobem automatizované montáže. Za nejdokonalejší lze považovat dnes již běžně komerčně dostupné montáže vybavené GPS, rozsáhlými databázemi objektů a především automatickým nastavováním dalekohledu, které bývá označováno jako tzv. GoTo systém. Profesionální astronom by však měl zvládnout jak manuální nastavení dalekohledu podle mapy hvězdné oblohy nebo speciální vyhledávací mapky, tak práci s automatizovanými dalekohledy.



Obrázek 6.17: Německá paralaktická montáž, zdroj zde

6.3 Detektory

Ještě dlouhou dobu po vynálezu dalekohledu bylo stále jediným astronomickým detektorem oko pozorovatele a jediným záznamovým zařízením jeho schopnost pořídit co nejdokonalější zápis nebo kresbu toho, co vidí v dalekohledu. Přes veškerou snahu o dokonalost se nemohlo jednat o objektivní záznamy. Na ty si museli astronomové počkat až do druhé poloviny 19. století. Dnes hrají detektory světla (a jiného elektromagnetického záření) spolu se záznamovou, tedy výpočetní, technikou velmi významnou roli v pozorovací astronomii a astrofyzice. Bez nich a bez potřebné automatizace procesu sběru a pořizování trvalého objektivního záznamu by nemohly vznikat rozsáhlé astronomické přehledky oblohy a digitální databáze, ze kterých budou moci získávat nové a nové informace ještě následující generace astrofyziků [16].

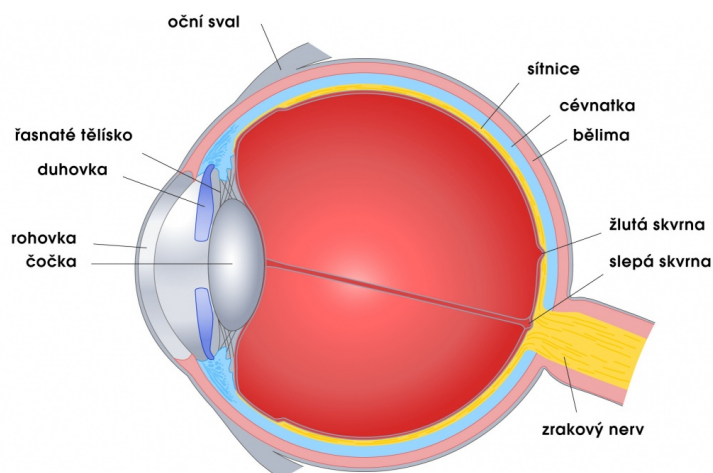
Časový přehled počátků využití různých druhů detektorů pro účely pozorovací astronomie:

rok	typ detektoru
1887	fotografická emulze
1940	speciální fotografická emulze pro spektroskopii (Kodak)
1930	fotoelektrický článek
1940	fotonásobič
1990	polovodičové detektory světla (např. CCD atp.)

6.3.1 Oko

Lidské oko je v mnoha ohledech, zejména pro světlo, velmi dokonalým detektorem. Jeho struktura je přizpůsobena potřebě zaostřit paprsek světla na sítnici a tedy části oka, kterými světlo prochází, jsou průhledné. Právě rohovka a čočka pomáhají paprsek světla zaostřit na zadní stěnu oka – sítnici. Dopadající světlo pak způsobuje chemické přeměny ve světločivných buňkách, které vysílají nervové impulsy zrakovým nervem do mozku.

Světlo přichází do oka přes rohovku, do části vyplněné komorovou vodou, a dopadá na čočku



Obrázek 6.18: Lidské oko a jeho hlavní části, zdroj zde

přes panenku. Ta funguje jako clona, protože se díky svalům dokáže roztáhnout nebo smrštit a tak regulovat množství procházejícího světla. Jiné svaly zajišťují regulaci tvaru čočky, která zaostřuje paprsky na sítnici, kde vzniká převrácený obraz. Oční čočka je optický prvek jehož přední plocha je zakřivena méně než zadní, má průměr 9 až 10 mm. Její optická mohutnost je 17 až 20 dioptrií.

Na sítnici jsou dva typy receptorů: čípky (cca 130 milionů, tři druhy) pro vnímání barvy a tyčinky (7 milionů, jeden druh) registrující pouze jas. Nejedná se ovšem jen o pouhé detektory. Tyčinky i čípky jsou napojeny na nervové buňky a dohromady vytvářejí unikátní biologickou jednotku na zpracování obrazu. Takto předzpracované informace odcházejí do mozku. Oko samotné totiž nevidí, protože zrakový vjem vzniká až v mozku, který oko celkově řídí.

Při dostatečném osvětlení vidíme barevně (*fotopické vidění*). Citlivost očí je závislá na vlnové délce světla a maximum je přibližně pro vlnovou délku 555 nm (žlutá barva). Pokud se světelné podmínky zhorší (např. se již začne stmívat), převezmou funkci receptorů světla tyčinky, jež reagují i na velmi slabé osvětlení. Jejich maximum citlivosti leží u 510 nm (modrá barva). Až nastane tma, budou naše zrakové vjemy pouze černobílé a nebudeme schopni dokonale zaostřit (*skotopické vidění*), protože se zorničky docela otevřely a světlo do oka vstupuje i okrajovými částmi čočky. Ty totiž mají jinou ohniskovou vzdálenost než střed čočky.

Plná adaptace na noční vidění trvá přibližně 40 minut. V první fázi se během pár sekund zvětší zornička a asi deset minut roste citlivost čípků. Ve druhé fázi se pak během půl hodiny regeneruje rhodopsin v tyčinkách, protože ten se přes den rozložil. Při pozorování je pak vhodné si tuto adaptaci zachovat, tedy používat jen tlumené červené světlo (baterku).

6.3.2 Fotografická emulze

Využití fotografické emulze v pozorovací astronomii znamenalo velký pokrok. Fotografie byla pro astronomii velmi cenná hned ze tří důvodů:

1. umožnila poprvé v historii vytvořit trvalý objektivní záznam astronomického pozorování,
2. je to kumulativní (integrální) detektor, dlouhé expozice umožňují získat fotografický záznam mnohem slabších objektů než je možné stejným dalekohledem vidět očima,



Obrázek 6.19: Pohled do historie astronomie - výměna fotografické desky v primárním ohnisku dalekohledu, zdroj zde

3. je citlivá na širší oblast elektromagnetického záření než oko.

Různé druhy fotografických emulzí byly v astronomii dominantně využívány zhruba od roku 1900 do roku 1990. V současnosti se už pro vědecké účely nepoužívají. Fotografický proces je založen na fyzikálním principu interakce záření (fotonů) s pevnou látkou, na tzv. *fotoelektrickém jevu*, při kterém dochází k emisi elektronů dopadajícími fotony (mimořádně - Albert Einstein obdržel Nobelovu cenu právě za vysvětlení fotoelektrického jevu). Fotografická emulze bývá nanášena na skleněné desce nebo plastickém pásu a elektrony vyraženy po dopadu fotonů jsou v ní zachyceny malými krystalky bromidu stříbrného (například). Po skončení expozice je tzv. latentní obraz chemickým procesem zesílen (tzv. vyvolání a ustálení snímku) do podoby stříbrných zrněk vytvářejících již trvalý záznam.

Nevýhodou fotografické emulze je její nelineární reakce při malých nebo naopak velkých světelných tocích, obtížná kalibrace, její nízká účinnost (1 % až 3 %) a nejasný proces stárnutí fotografického záznamu. Samotný fotografický proces je velmi složitý komplex chemických reakcí, který také není do detailů zcela prozkoumán.

6.3.3 Fotonásobiče

Zejména nelineární odezva na dopadající proud fotonů byla pro fotografickou emulzi omezující při jejím využití k přesnému měření jasnosti hvězd (fotografická fotometrie). Astronomové hledali detektor, který by na počet dopadajících fotonů reagoval lineárně. Tento jejich požadavek splnily až *fotonásobiče*, které se staly hlavními detektory tzv. *fotoelektrické fotometrie*. Tato metoda dominovala přesnému měření jasnosti astronomických objektů od 50. do 80. let minulého století. Fyzikálním principem detekce je *fotoelektrický jev*, při kterém fotony po svém dopadu uvolňují na fotokatodě elektrony, jejichž proud je kaskádou dynod mnohonásobně zesílen a je dobře měřitelný. Fotonásobiče umožňují měření jasnosti s přesností na milimagnitudy s časovým rozlišením v řádu milisekund. Při měření a jeho zpracování je však nutné brát v potaz tzv.



Obrázek 6.20: Trubice fotonásobiče, zdroj zde

temný proud, který vzniká ve fotonásobiči jako důsledek tepelného pohybu elektronů na anodě a dynodách, a od naměřeného signálu jej musíme odečíst. Registrace je rušena také detekcí částic kosmického záření, závisí na úhlu dopadu světla, jeho polarizaci i orientaci fotonásobiče v magnetickém poli Země. Redukce měření fotonásobičem je možná, pokud během pozorovací noci provádíme kalibrační měření.

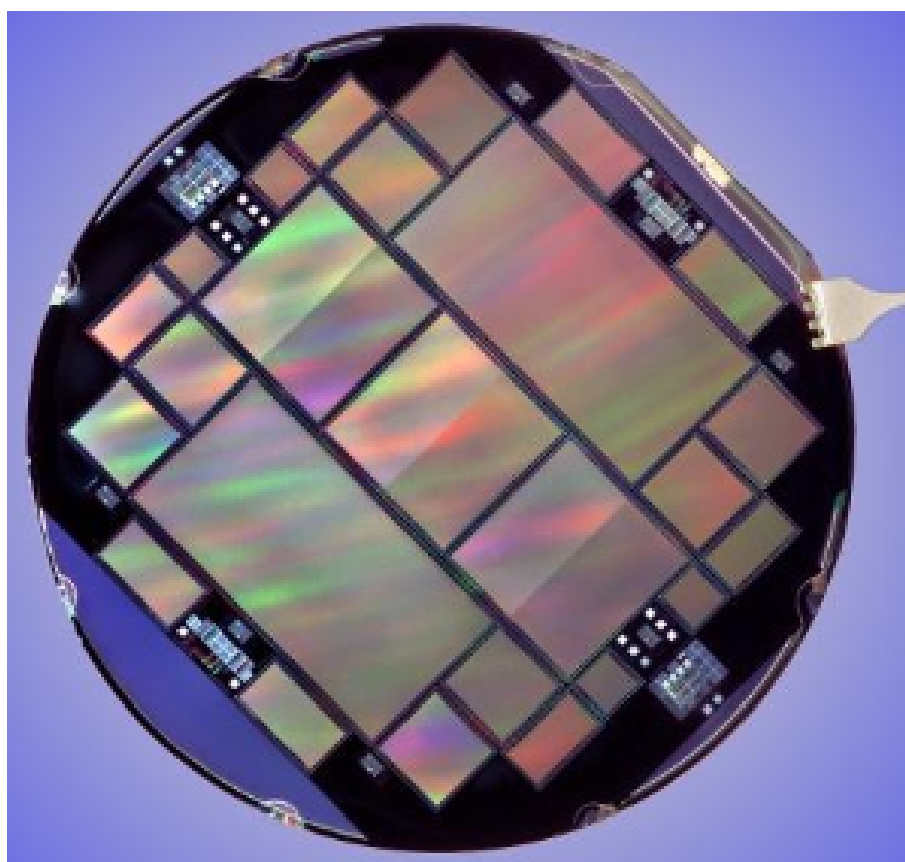
6.3.4 CCD detektory

Polovodičové detektory CCD (charge-coupled devices) sice byly vyvinuty již v 70. letech minulého století, ale jejich širší použití pro astronomická pozorování nastalo až v 90. letech 20. století. Také zde je fyzikálním principem detekce *fotoelektrický jev*, který nastává po dopadu světla na křemíkovou destičku, jež je členěna na menší části (pixely) a tvoří vlastně obrazovou matici. Během expozice se uvolněné elektrony na každém obrazovém prvku kumulují, teprve po ukončení exponování se postupně adresně načtou do počítače a jsou rovněž změřeny hodnoty na jednotlivých pixelech.

Pro astronomická pozorování mají CCD detektory hned několik velkých výhod:

- jsou velmi citlivé, kvantová účinnost může být přes 80 %, expozice mohou být mnohem kratší než pro fotografickou emulzi,
- mají přesně lineární odezvu a mohou být kalibrovány,
- jejich výstup je možné ihned digitalizovat a dále analyzovat počítačovými programy pro zpracování obrazu.

Není tedy divu, že v současné době tento typ detektorů v profesionální astronomii téměř úplně nahradil fotografickou emulzi. S klesající cenou CCD detektorů a výpočetní techniky je tato technologie v posledních letech dostupná i pro astronomy amatéry (např. pro pozorování proměnných hvězd). Pro profesionální využití je snad jedinou technickou komplikací nutnost potlačení teplotního šumu, takže špičkové CCD detektory musí být chlazeny na velmi nízké teploty. Aby se také velikostí detekční plochy vyrovnaly fotografickým deskám, sestavují se z jednotlivých CCD chipů větší snímací mozaiky.



Obrázek 6.21: Mozaika sestavená z mnoha CCD chipů, zdroj zde

Literatura

- [1] D. S. Birney, *Observational Astronomy*. Cambridge University Press, ISBN 0521381991, 1991.
- [2] H. Bradt, *Astronomy Methods: A Physical Approach to Astronomical Observations*. Cambridge University Press, ISBN 0521535514, 2004.
- [3] J. Janík, Z. Mikulášek, *Obecná astronomie*. MU Brno, <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F3170.pdf>, 2013.
- [4] C. R. Kitchin, *Astrophysical Techniques*. Institute of Physics Publishing London, ISBN 0750309466, 2003.
- [5] P. Lena, F. Lebrun, F. Mignard, S. Lyle, *Observational Astrophysics*. Springer, ISBN 3540634827, 1998.
- [6] M.G. Minnaert, *Praktická astronómia*. Obzor, ISBN neuvedeno, 1979.
- [7] P. Moore (Ed.), *The Observational Amateur Astronomer*. Springer, ISBN 3540198997, 1995.
- [8] P. Moore (Ed.), *The Modern Amateur Astronomer*. Springer, ISBN 3540199004, 1995.
- [9] A. J. Norton, *Observing the Universe*. Cambridge University Press, ISBN 0521603935, 2004.
- [10] W. Romanishin, *An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs*. na adrese http://www.physics.csbsju.edu/370/photometry/manuals/OU.edu_CCD_photometry_wrccd06.pdf, 2006.
- [11] Z. Řehoř, *Základy optiky*. portál ČAS, <http://posec.astro.cz/index.php/clanky/teorie>, 2013.
- [12] R. C. Smith, *Observational Astrophysics*. Cambridge University Press, ISBN 0521278341, 1995.
- [13] Chr. Sterken, J. Manfroid, *Astronomical Photometry: A Guide*. Kluwer Academic Publishers, ISBN 0792316533, 1992.
- [14] G. Walker, *Astronomical Observations*. Cambridge University Press, ISBN 0521339073, 1987.
- [15] M. Wolf a kol., *Astronomická příručka*. Academia, ISBN 802000467X, 1992.
- [16] M. Zejda, *Základy astronomie 1*. MU Brno, <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F1251.pdf>, 2013.