

Hudba sfér

Pozorování nebe

Filip Hroch

ÚTFA, MU

September 2014

Nebeský plán

Základní orientace — hvězdy ve Stellariu a na mapách

Fotometrie — okem, bolometricky, digitálně, magnitudy

Dalekohledy — principy, základní parametry a typy

Pro profíky — souřadnice (obzorníkové, rovníkové, . . .)

Měření na obloze — vizír, Jakubova hůl, theodolit, dalekohledy

Pasážníky — měření času a poloh

Souhvězdí

- ▶ původně obrazce (mytologie), dnes sektory (cca od 1922)
- ▶ Stellarium
- ▶ prakticky: obloha večer (souhvězdí, jasné hvězdy, planety, ...)

Zajímavosti

- ▶ Slunce, Měsíc
- ▶ Planety (Merkur — Neptun) — některé jsou vidět i ve dne
- ▶ Komety, meteory a prach
- ▶ Hvězdy (dvojhvězdy, barevné hvězdy, proměnné hvězdy)
- ▶ Hvězdná seskupení (hvězdokupy a asociace)
- ▶ Mlhoviny (plynové, prachové, emisní a absorpční)
- ▶ Mléčná dráha
- ▶ Galaxie

Stellarium

Příprava večerního pozorování

- ▶ Nastavení na večerní datum a pozorovací místo.
- ▶ Vyhledání nejjasnějších hvězd, opěrných bodů.
- ▶ Orientace podle světových stran.
- ▶ Nalezení výrazných souhvězdí
- ▶ Vyhledání zajímavých objektů (Měsíc, všechny planety (!), komety, mlhoviny, Mléčná dráha).
- ▶ východy a západy během noci

Praktická úloha I.

Stellarium

Úkoly

1. Zjistěte polohy všech planet nad obzorem. Je možné je spatřit volným okem? V jakých souhvězdích? Kdy budou vycházet a zapadat?
2. Nalezněte všechny mlhavé objekty (hvězdokupy, galaxie a mlhoviny) viditelné pouhým okem či triedrem.
3. Identifikujte pás Mléčné dráhy. Přes která souhvězdí se táhne?
4. Své poznatky pečlivě zaznamenejte a za příznivého počasí ověřte.

Tímto postupem by jsme měli získat představu o nočním nebi nad námi.

Fotometrie

Fotometrie je nauka o měření množství světla.

- ▶ Energie nesená světelnou vlna $E = E_0 \cos \omega(t - x/c)$,
- ▶ přes jednotkovou plochu a čas je intenzita

$$I = \epsilon_0 c \langle E^2 \rangle.$$

v jednotkách $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$.

	I [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
Slunce	1400
žárovky, zářivky	10
úplněk	1
Vega	10^{-8}
limit oka	10^{-11}
Pluto	10^{-15}
HST ¹ limit	10^{-19}

Table: Běžné světelné zdroje

¹Hubble Space Telescope

Fotony

- ▶ Světelné vlny s frekvencí

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

se emitují nebo absorbují po kvantech energie

$$e = h\nu$$

Pro viditelné světlo s $\lambda \approx 550$ nm je $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Hz. Energie jednoho fotonu je $4 \cdot 10^{-19}$ W. Fotonový tok je

$$\Phi = \frac{I}{h\nu}$$

počet za jednotku času na jednotkovou plochu.

Magnitudy

Z historických a praktických důvodů se používají také magnitudy:

$$m = -2.5 \log_{10} \frac{I}{I_{\text{Vega}}}$$

	I [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	Φ [$\sim\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$]	m
Slunce	1400	10^{22}	-26
žárovky, zářivky	10	10^{20}	-15
úplněk	1	10^{20}	-12
Vega	10^{-8}	10^{10}	0
limit oka	10^{-11}	10^8	5
Pluto	10^{-15}	10^4	15
HST limit	10^{-19}	1	25

Table: Běžné světelné zdroje

Detektory světla

- ▶ Kalorimetry měří množství absorbované energie do materiálu s tepelnou kapacitou C za čas prostřednictvím teploty T

$$\Delta E = C \Delta T$$

Příklad: bolometr

- ▶ Fotonové detektory přímo měří počty fotonů jednotlivých frekvencí

$$\Delta E = n_1 h\nu_1 + n_2 h\nu_2 + \dots + n_\infty h\nu_\infty$$

Příklad: CCD (digitální fotoaparát)

Praktická úloha II.

Měření světla

Úkoly

1. Změřte množství energie dopadající na $1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ze Slunce (pozor na oči!). Přepočtete na magnitudy. Vypočtete fotonový tok.
2. Pomocí digitálního fotoaparátu nebo CCD změřte kolik fotonů k nám přichází od Vegy.
3. Vypočtete kolik fotonů dopadá do lidského oka od hvězdy s $m = 5$.
4. Vypočtete intenzitu elektrického pole E z intenzity ve $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ (Volty na metr) (astro-fyzikové)

Cílem je praktické měření světla.

K čemu je nám dalekohled?

Astronomické cheatování

Dalekohledy používáme ke zlepšení našich smyslů:

- ▶ Aby jsme viděli slabší objekty — zvětšujeme plochu objektivu
- ▶ Aby jsme viděli úhlově bližší objekty — zvětšujeme obraz
- ▶ Aby jsme viděli nejen v optickém oboru — stavíme radioteleskopy a družice.

Anatomie dalekohledu

Objektiv Před kterým se nám jeví objekt.

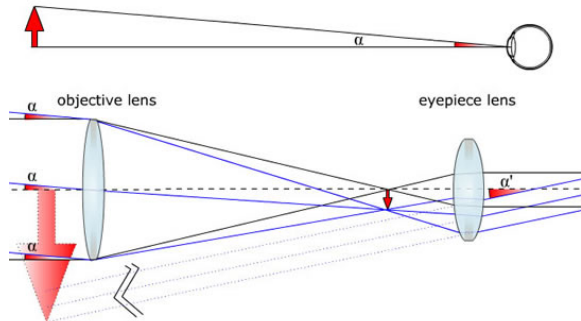
Okulár Kterým se díváme na obraz vytvořený objektivem.

Montáž Nese dalekohled, navadí na objekty, hodinový stroj.

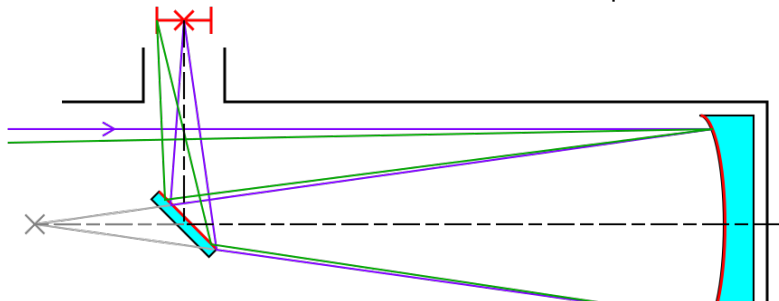
Principy:

- ▶ Zákon odrazu $\alpha_1 = \alpha_2$
- ▶ Zákon lomu $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}$

Typy dalekohledů



Keplerův



Parametry dalekohledu

Plocha objektivu o poloměru R

$$\pi R^2$$

Zvětšení s objektivem o ohniskové vzdálenosti F a okulárem f

$$\frac{F}{f}$$

Úhlová rozlišovací schopnost na vlnové délce λ :

$$0.6 \frac{\lambda}{R}$$

(omezení pochází z difrakce).

Praktická úloha III.

Měření parametrů dalekohledu

Úkoly

1. Zjistěte průměr objektivu, zvětšení a rozlišovací schopnost dalekohledu.
2. Zjistěte průměr zorničky lidského oka a jeho rozlišovací schopnost. Porovnejte s dalekohledem a jeho zvětšením.
3. Změřte velikost zorného pole, zjistěte dosah dalekohledu v magnitudách.
4. Na dvojhvězdách ověřte rozlišení dalekohledu.
5. Do skici zakreslete okolí Jarního bodu a vyznačte jeho polohu.

Tímto postupem získáme představu o možnostech našich dalekohledů.

K čemu jsou souřadnice?

- ▶ udávání poloh objektů (objevy, kreslení map, ...)
- ▶ pojmenování: dle základní roviny
- ▶ budování respektu u veřejnosti
- ▶ úhlové souřadnice ! (měříme úhly nikoli vzdálenosti)

Obzorníkové souřadnice

- ▶ rovina je tečná k povrchu zemskému, průsečík se sférou je horizont
- ▶ azimut A , počátek směrem k jihu, $0 \leq A < 360^\circ$
- ▶ výška nad obzorem h , měřená od obzoru $0 \leq h < 90^\circ$

Rovníkové souřadnice I. druhu

- ▶ rovina je průmět rovníku na nebeskou sféru
- ▶ hodinový úhel t , počátek směrem k jihu, $0 \leq t < 24$ h
($0 \leq t < 360^\circ$)
- ▶ deklinace δ , měřená od rovníku $-90 \leq \delta \leq 90^\circ$

Rovníkové souřadnice II. druhu

- ▶ rovina je průmět rovníku na nebeskou sféru
- ▶ rektascense α , počátek směrem k Jarnímu bodu,
 $0 \leq \alpha < 24 \text{ h}$ ($0 \leq \alpha < 360^\circ$)
- ▶ deklinace δ , měřená od rovníku $-90 \leq \delta \leq 90^\circ$

Ekliptikální souřadnice

- ▶ rovina je totožná s rovinou ve které obíhá Země kolem Slunce
- ▶ ekliptikální délka λ , počátek směrem k Jarnímu bodu,
 $0 \leq \alpha < 360^\circ$
- ▶ ekliptikální šířka β , měřená od ekliptiky $-90 \leq \delta \leq 90^\circ$

Praktická úloha IV.

Polohy planet

Úkoly

1. Zjistěte rovníkové souřadnice α, δ pro všechny planety. Jak se tyto souřadnice změní ze dne na den?
2. Vypočtete vzdálenost mezi vybranou jasnou planetou a blízkou hvězdou. Spočítejte vzdálenost pro dva objekty o souřadnicích α_1, δ_1 a α_2, δ_2

$$\cos d = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)$$

Zároveň ověřte, že klasická Pythagorova věta

$$d^2 = (\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2$$

dává jiný výsledek. Rozhodněte který výsledek je blíže měřením úhломěrem (sextantem).

3. Zjistěte ekliptikální souřadnice všech planet, Měsíce i Slunce.

Džungle časů

Střední sluneční — normální čas, který ukazují běžné hodiny

Pravý sluneční — odvozený z průchodu Slunce meridiánem

Hvězdný — odvozený z průchodů Jarního bodu (zvolené hvězdy) meridiánem

Juliánský den

Počet dnů od 1. ledna 4173 před. kr. Začíná v poledne!

1. leden 2014	2 456 658.5
1. únor 2014	2 456 689.5
1. březen 2014	2 456 717.5
1. duben 2014	2 456 748.5
1. květen 2014	2 456 778.5
1. červen 2014	2 456 809.5
1. červenec 2014	2 456 839.5
1. srpen 2014	2 456 870.5
1. září 2014	2 456 901.5

Table: Juliánské dny tohoto roku

Je praktický vzhledem k tomu, že rotace Země není násobkem doby oběhu (365.25 dne)

Úhly nejen v rovině

Praktická úloha V.

Průměr Slunce a Měsíce

Úkoly

- 1.

Praktická úloha VI.

Výpočet Stonehenge

Úkoly

1. Navrhněte rozměry stavby, předpokládejte přesnost měření času na 1 s a úhlové rozlišení oka (případně jej změřte).
2. Navrhněte rozložení kamenů tak, aby se daly přesně určovat roční období.
3. Navrhněte výšku kamenů tak, aby se jimi dalo přesně určovat poledne či průchody hvězd. Lze použít i jiný materiál?
4. Sestrojte model Stonehenge.
5. Pomocí tohoto modelu změřte den po dni časy průchodu Slunce a vybrané jasné hvězdy přes meridián.
6. Zvyšte přesnost měření pomocí vhodného optického přístroje.