

# praktická astronomie

**vliv atmosféry Země na pozorování  
plánování pozorování**

# „nosiče“ astrofyzikálních informací

- pozorování „na dálku“
  - elmg záření
  - hmota
    - neutrina
    - elektrony
    - jádra atomů
    - meteority
  - gravitační vlny
- pozorování „in situ“ (na místě samém)

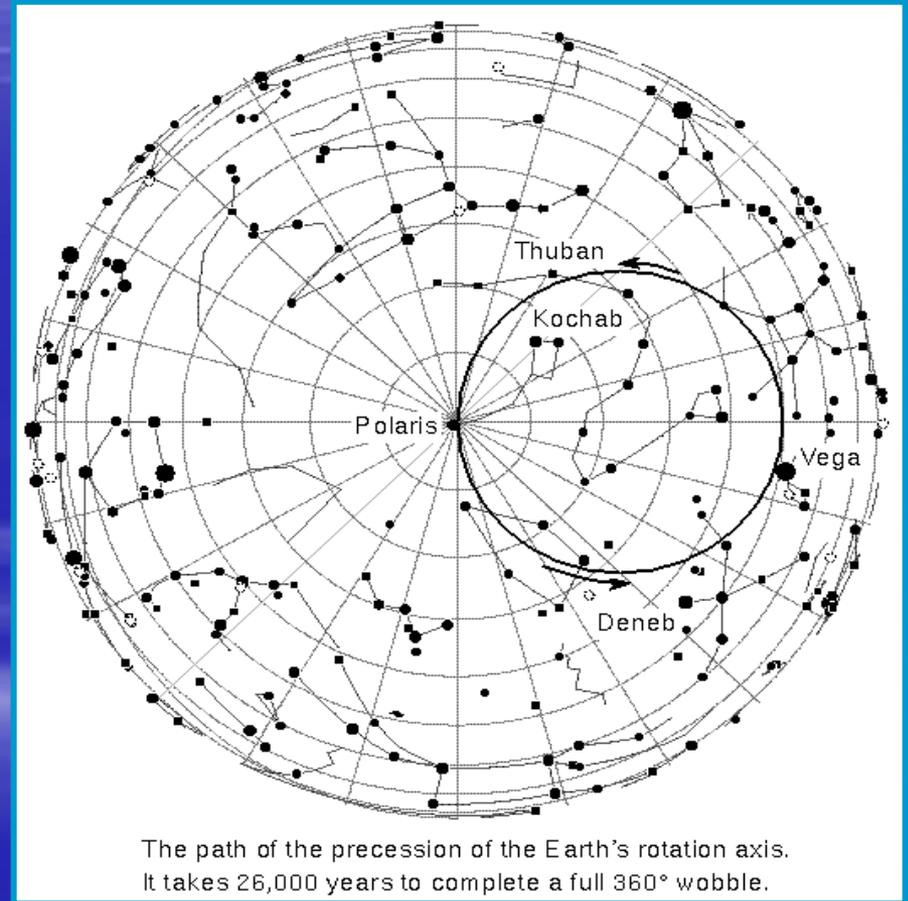
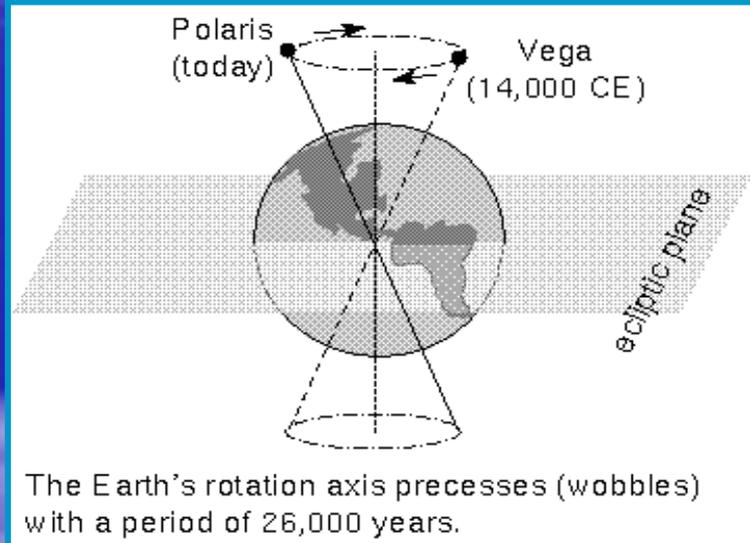
# korekce polohy astronomických objektů

- precese
- nutace
- aberace
- paralaxa
- vlastní pohyb
- refrakce
- jiné vlivy

# precese a nutace

- objev precese je přisuzován Hipparchovi, její kvantitativní určení však bylo nepřesné
- dnešní hodnota je cca  $50,256''/\text{rok}$ , čili  $1^\circ$  za 72 let
- fyzikální vysvětlení podal až Newton a jeho gravitační zákon
- Země - velký setrvačnick, na který působí rušivé síly (gravitační působení Slunce a Měsíce), osa rotace pak vykonává po plášti kužele pohyb, který závisí na momentu setrvačnosti a velikosti rušivých sil, tzv. precesní pohyb
- vliv působení gravitace Měsíce - tzv. nutace, což je „zvlnění“ precesního pohybu s periodou 19 let, perioda precese je zhruba 26 000 let
- důsledkem je také posun jarního a podzimního bodu, resp. změna orientace průsečnice roviny světového rovníku a roviny ekliptiky v prostoru
- pro změny polohy jarního bodu určujeme:
  1. *precese lunisolární*
  2. *precese planetární*
  3. *celková precese*

# precese a nutace



# precese a nutace

kvantitativně:

- 1.  $p_{ls} = 50,371''/\text{rok}$
  - 2.  $p_{pl} = -0,125''/\text{rok}$  a zmenšuje sklon ekliptiky o  $0,47''/\text{rok}$
  - 3. celková precese  $p = p_{ls} - p_{pl} \cos \varepsilon$ , kde  $\varepsilon$  je sklon ekliptiky
- 
- celková precese
    - v deklinaci  $n = p_{pl} \sin \varepsilon = 20,047''/\text{rok}$
    - v rektascenzi  $m = p_{pl} \cos \varepsilon - p_{pl} = 46,085''/\text{rok}$
  - roční změna polohy hvězdy důsledkem precese bude:
  - $\Delta \alpha/\text{rok} = m + n \operatorname{tg} \delta \sin \alpha$
  - $\Delta \delta/\text{rok} = n \cos \alpha$
  - pro přesná měření je nutno uvážit i sekulární variace  $\varepsilon$  a  $p$

# precese a nutace

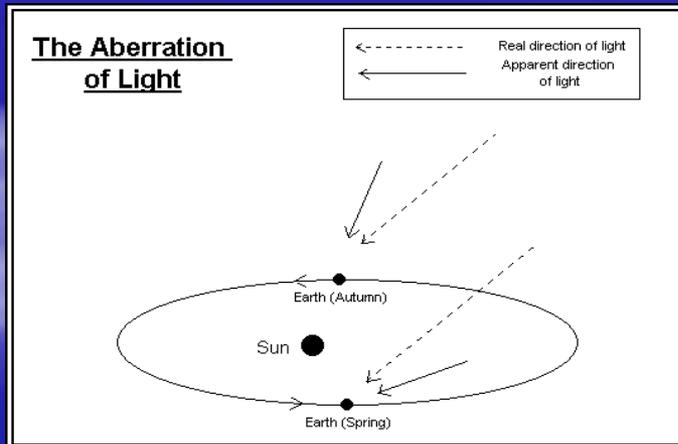
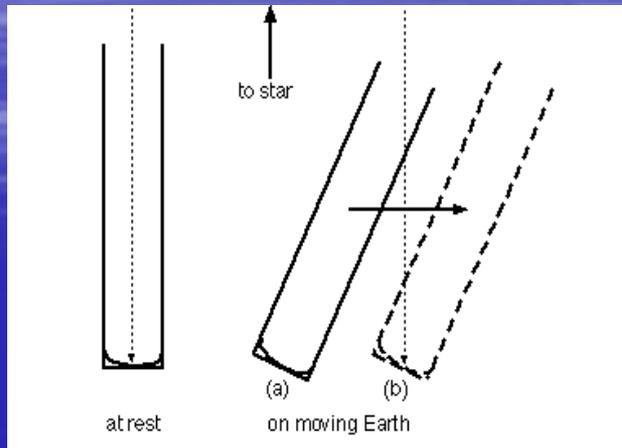
## nutace

- rovina měsíční dráhy svírá s ekliptikou úhel  $5^\circ$ , gravitační vliv Slunce způsobuje precesní pohyb této roviny s periodou 18,6 let, skutečný pól pak opisuje vlivem precese a nutace jakousi vlnovku

## polohy hvězd:

- *skutečně pozorované* - oprava o denní aberaci + refrakce
- *pravá místa* - sk. pozor. + oprava o roční aberaci a paralaxu
- *střední místa* - pravá místa + oprava o nutaci a precesi, vztaženo k jistému datu, tzv. ekvinokciu (např. J2000.0).

# aberrance



- je důsledkem konečné rychlosti světla
- jistou analogií je např. vhození tenisového míčku do otevřeného okna stojícího automobilu a automobilu, který se pohybuje určitou rychlostí nebo směr, ve kterém držíme deštník za deště pokud stojíme a směr, pokud se dáme do pohybu

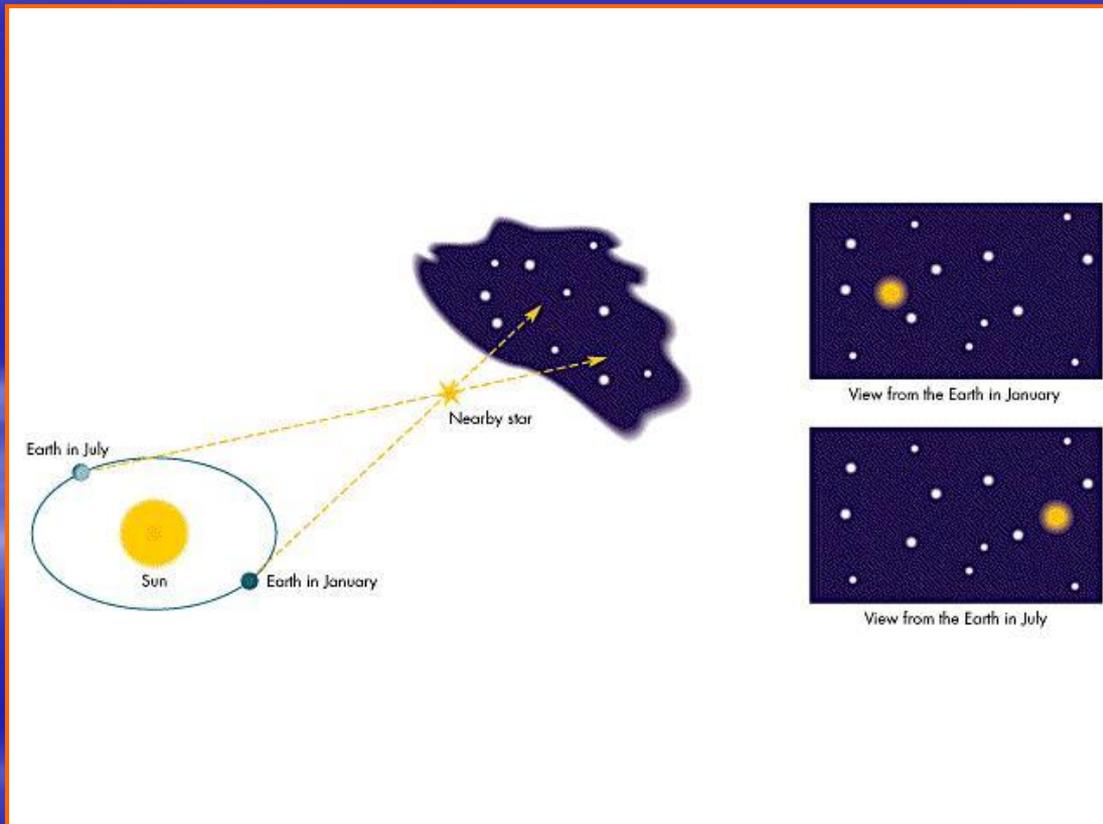


# aberrace

- „úhel odklonění“,  $\alpha$ , je závislý pouze na rychlosti pohybu míčku a auta nebo chodce a deště, obdobně to platí pro pozorovatele stojícího na pohybující se Zemi a záření, které k nám přichází od hvězdy
- apex - je okamžitý směr, ve kterém se Země pohybuje, velikost rychlosti - cca 30 km/s.
- aby se tedy hvězda dostala do středu zorného pole dalekohledu, je nutno jej sklonit k apexu o úhel  $\alpha$ , jež je závislý na:
  - rychlosti Země  $v$
  - rychlosti světla  $c$
  - úhlu  $\beta$ , což je úhlová vzdálenost hvězdy od apexu
- maximum nastane pro  $\beta = 90^\circ$ , protože  $\tan \alpha = (v/c) \cdot \sin \beta$
- numericky pak  $v/c = 10^{-4}$  a pak  $\alpha = 20,47'' \cdot \sin \beta$ , kde  $20,47''$  je maximální hodnota aberrace
- tuto tzv. roční aberraci objevil Bradley (1727) při snaze změřit paralaxu
- rotace Země kolem své osy má za následek denní aberraci, jež dosahuje maximální hodnoty pro pozorovatele na rovníku (asi  $0,3''$ )

# paralaxa

- změnu polohy objektu vyvolanou změnou polohy pozorovatele v prostoru (v důsledku oběhu Země kolem Slunce) nazýváme *roční paralaxa*



# vlastní pohyb

- bývá označován řeckým písmenem  $\mu$
- pohyb hvězdy lze popsat 3 veličinami:
  - *radiální rychlost*  $v_r$  je určována z velikosti *Dopplerova posuvu*
  - *změna polohy hvězdy* na obloze v rovině kolmé na spojnici hvězdy a pozorovatele, v úhlových vteřinách za rok nebo za století
  - *poziční úhel* směru pohybu
- katalogy - rozklad na *vlastní pohyb v rektascenzi* a *vlastní pohyb v deklinaci*
- vlastní pohyb zahrnuje i pohyb Slunce v prostoru
- vyloučíme-li z vlastního pohybu složku způsobenou pohybem Země kolem Slunce (paralaktický pohyb), dostaneme skutečný pohyb hvězdy (pekuliární pohyb)
- největší vlastní pohyb má *Barnardova hvězda*, 10,36" za rok, na obloze se tak posune za dvě století o měsíční průměr
- pohyb Barnardovy šipky
- pohyb 61 Cyg

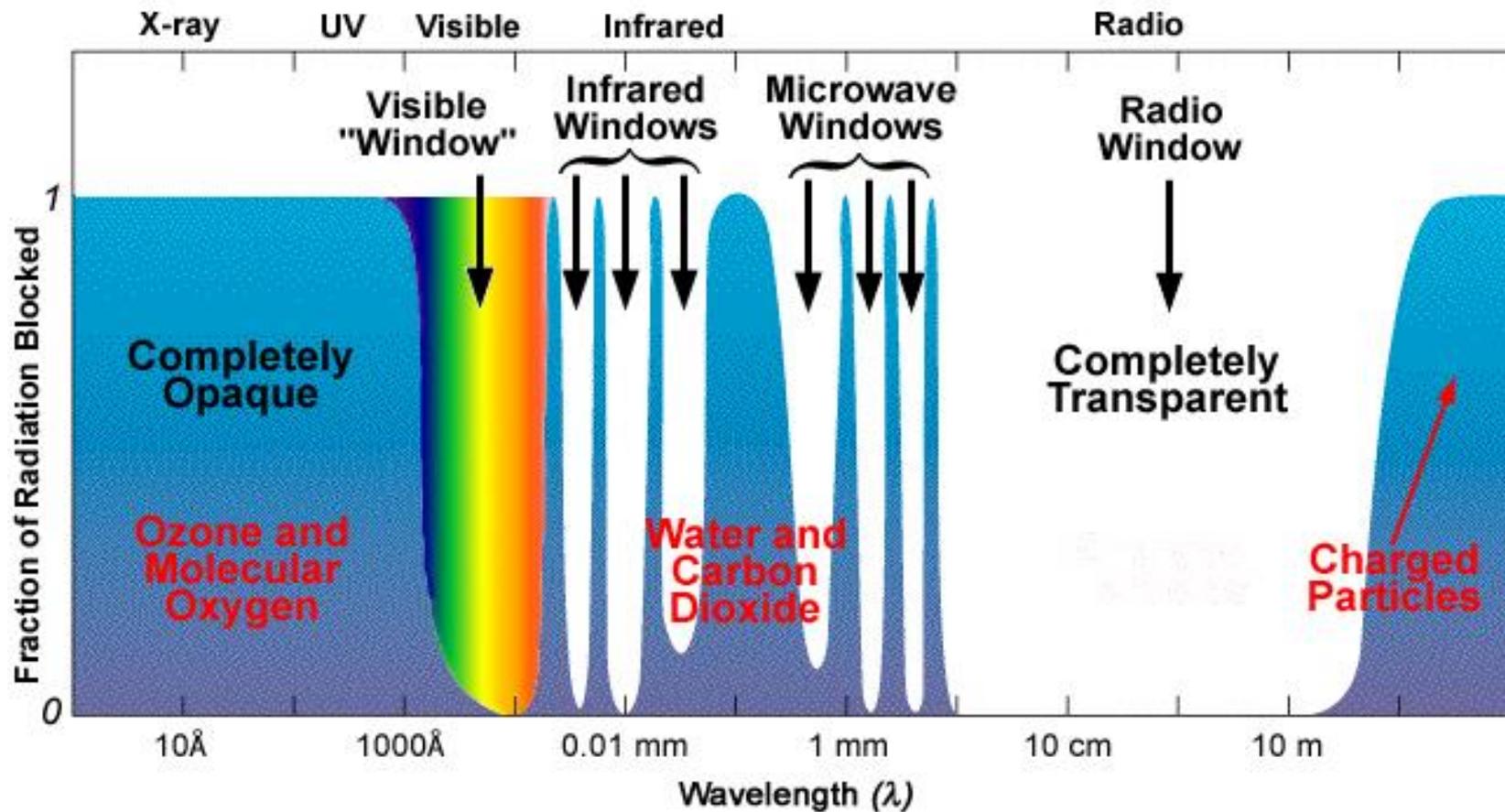
# vliv atmosféry Země na pozorování

atmosférická „okna“  
refrakce  
atmosférická extinkce  
scintilace  
seeing

# atmosféra – nepřítel astronoma?

- pokud pomineme, že nám umožňuje dýchat a chrání naši DNA, pak odpověď zní: „Ano!“
- způsobuje hned několik problémů, které mají docela odlišný „původ“:
  - malá „okna“, většina elmg záření neprojde
  - turbulence způsobuje „seeing“ a „scintilaci“, obraz je nejen rozmazaný, ale není možné měřit slabší objekty
  - jas pozadí (přírozený + umělý)
  - atmosférická extinkce (absorpce + rozptyl)
  - působí jako optický prvek – atmosférická refrakce

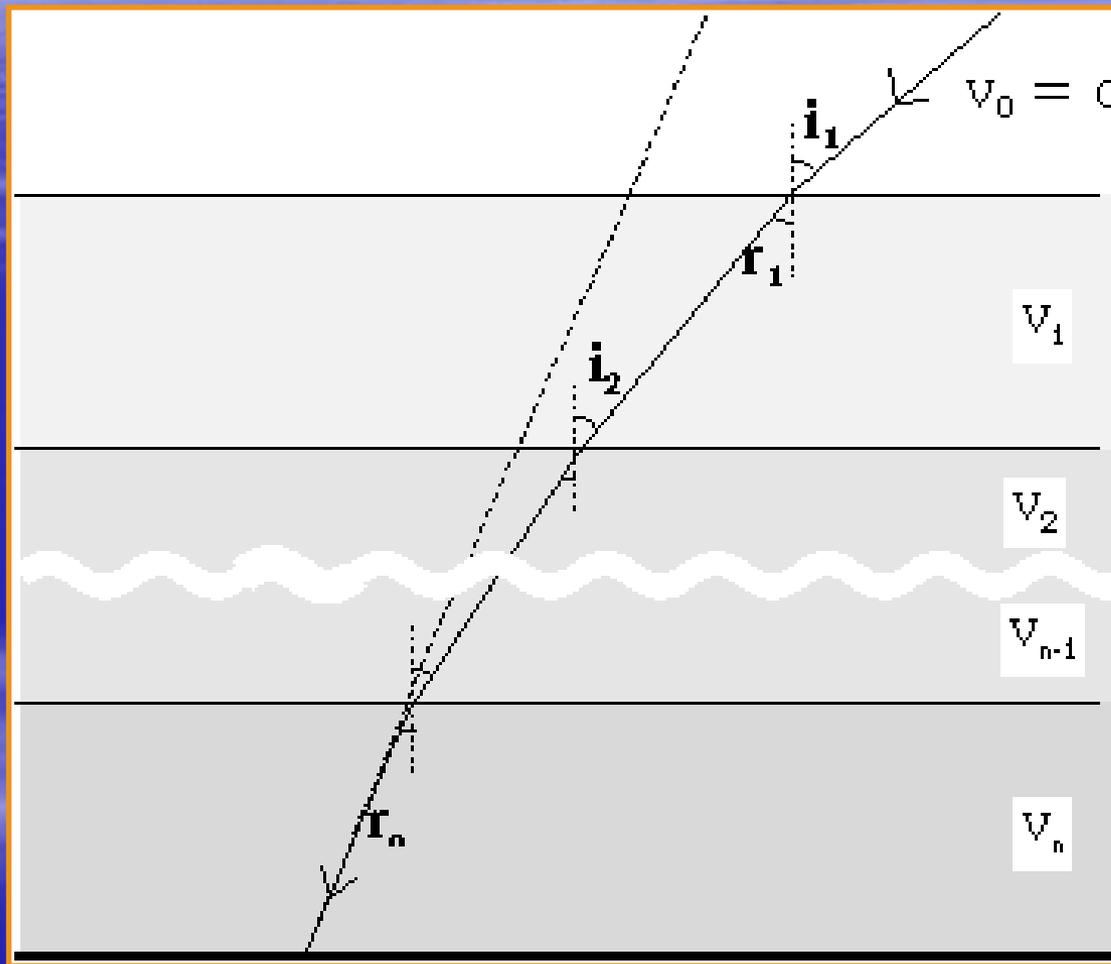
# atmosférická „okna“



# atmosférická refrakce

- lom světla na rozhraní dvou prostředí - důležitý jev pro veškerá astronomická pozorování prováděná ze zemského povrchu
- platí známý vztah:  $(\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2) = (n_2 / n_1)$ , kde  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  jsou úhly v prostředí 1 a 2 a  $n_1$  a  $n_2$  příslušné indexy lomu
- pro průchod atmosférou platí, že na ni lze pohlížet jako na vícevrstevné prostředí, kdy na každém přechodu dochází k lámání světla ke kolmici, protože hustota atmosféry směrem k povrchu Země roste, jev se nazývá astronomická refrakce

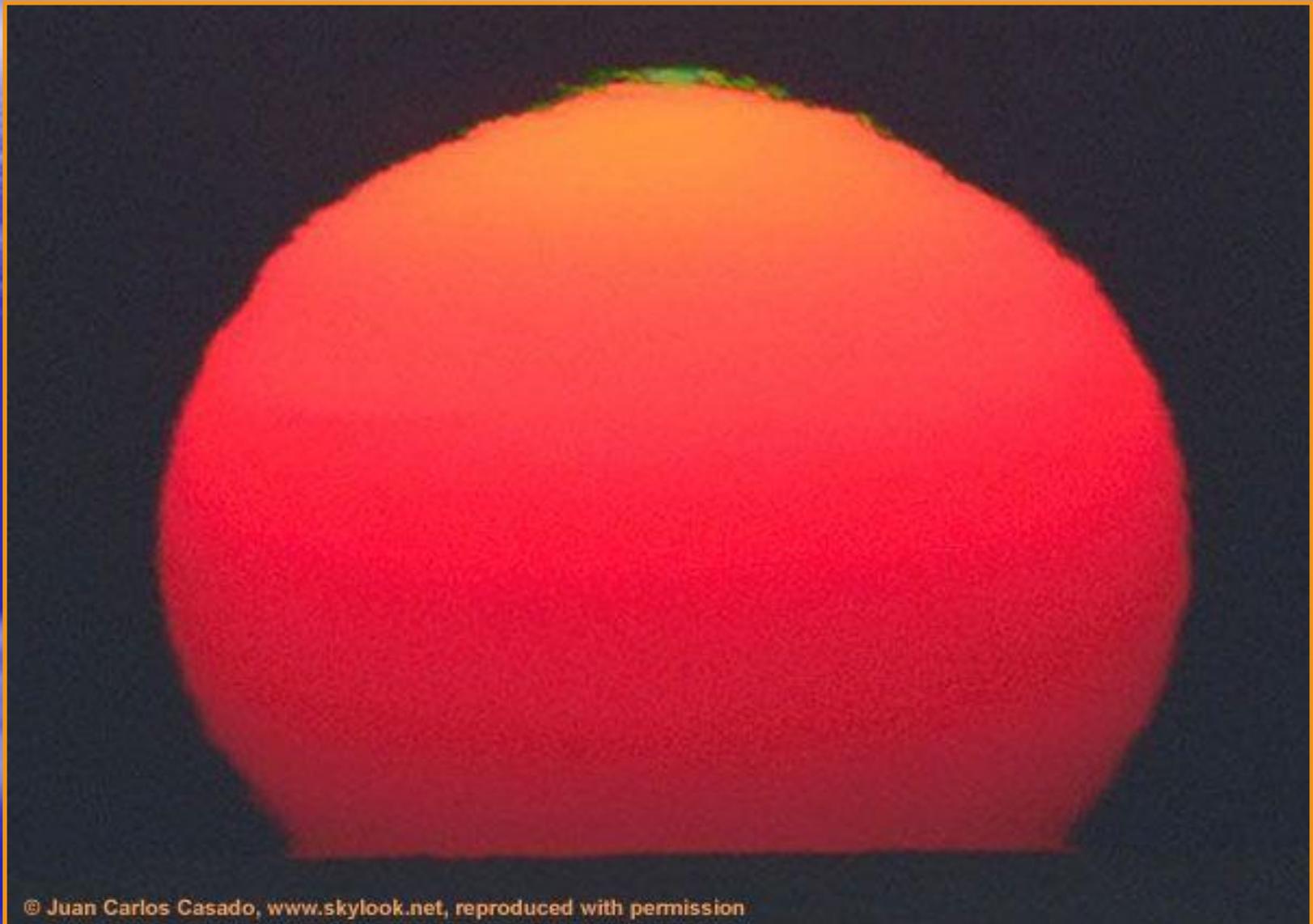
# astronomická refrakce





# astronomická refrakce

- maximální vliv je u obzoru, minimálně se projeví v zenitu, pokud označíme pozorovanou zenitovou vzdálenost objektu  $z$ , pak skutečná je  $z_0 = z + r$ , kde  $r$  je úhel refrakce
- platí  $\sin(z+r) = n \cdot \sin z$  a pro malá  $r$  pak  $\sin z \cdot \cos r + \cos z \sin r = n \sin z$
- navíc můžeme položit  $\cos r = 1$  a  $\sin r = r$
- čili pak  $r = (n-1) \cdot \text{tg } z$
- pro normální atmosférický tlak a  $T = 0^\circ \text{ C}$  je index lomu vzduchu  $n = 1,000\,293$  a pouhá náhoda dává shodu, že  $n - 1 = 0,000\,293$  je rovno číselně  $1'$  vyjádřené v radiánech, což umožňuje pro malé úhly
- $\text{tg } z = r$  v obloukových minutách, čili pro  $z = 45^\circ$  je  $r = 1'$ .
- refrakce uspoší východ a opozdí západ objektů o několik minut!
- nutno uvážit, že  $r = f(n) = f(\lambda)$ , červené světlo je ovlivněno méně
- refrakce má vliv i na tvar slunečního nebo měsíčního kotouče při V nebo Z



© Juan Carlos Casado, [www.skylook.net](http://www.skylook.net), reproduced with permission

# astronomická refrakce

Tabulka:

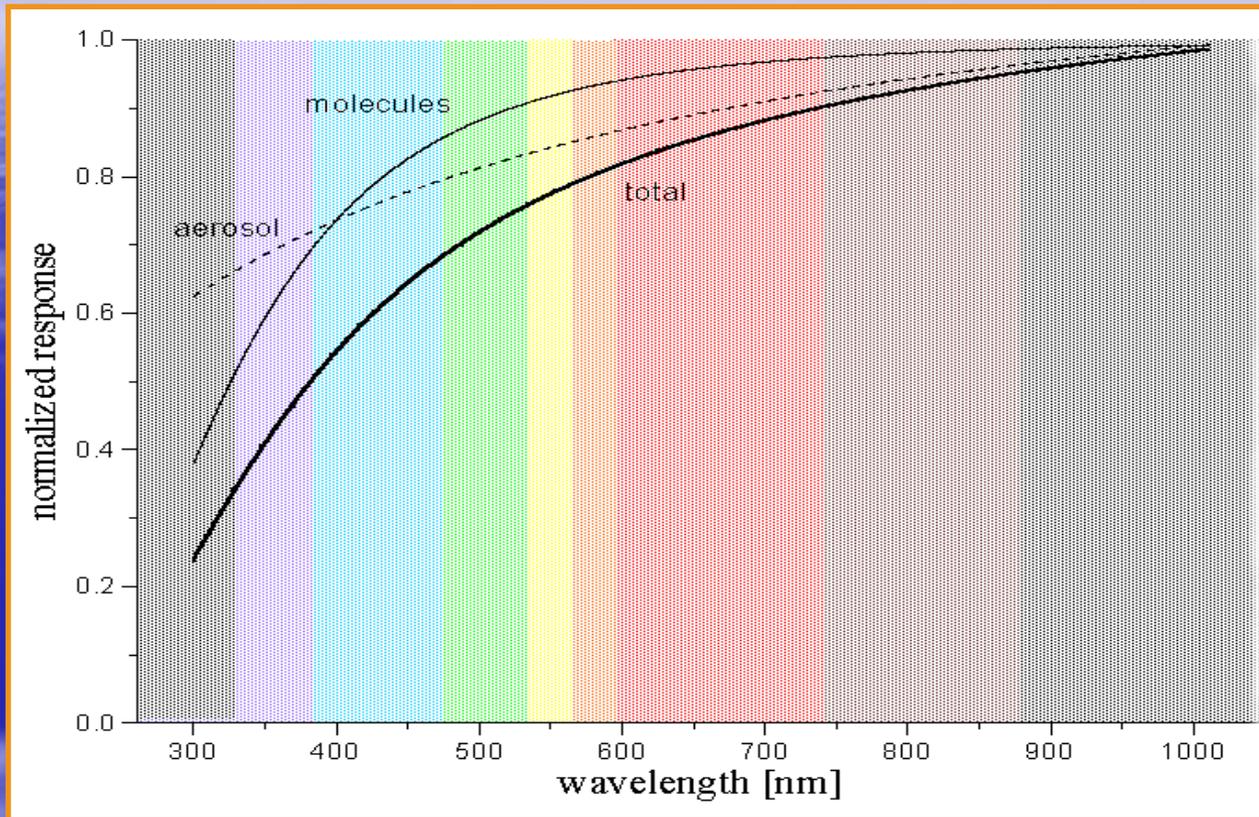
	zenitová vzdálenost ( $90^\circ - h$ )	refrakce
■	$0^\circ$	$0,0'$
■	$10^\circ$	$0,2'$
■	$20^\circ$	$0,4'$
■	$30^\circ$	$0,5'$
■	$40^\circ$	$0,8'$
■	$50^\circ$	$1,1'$
■	$60^\circ$	$1,7'$
■	$70^\circ$	$2,6'$
■	$80^\circ$	$5,3'$
■	$85^\circ$	$9,9'$
■	$90^\circ$	$34,4'$

pro  $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $0 \text{ m n.m.}$  a  $T = 0^\circ \text{ C}$

# atmosférická extinkce

- je to souhrnné označení pro snížení intenzity záření přicházejícího z vesmíru atmosférou Země
- *absorpce* – destruktivní proces, foton je pohlcen atomem (molekulou), např. jeho energie excituje elektron do vyšší hladiny
- *rozptyl* – srážka fotonu s částicí atmosféry, následná změna směru pohybu fotonu a energie fotonu i částice, částicí může být molekula, prach nebo kapička vody
  - *Rayleighův rozptyl* je úměrný  $\lambda^{-4}$
  - *rozptyl na aerosolu* jeho závislost na vlnové délce závisí na distribuční funkci velikosti částic
    - *například Mieův rozptyl* (na malých sférických částicích) je úměrný  $\lambda^{-1}$

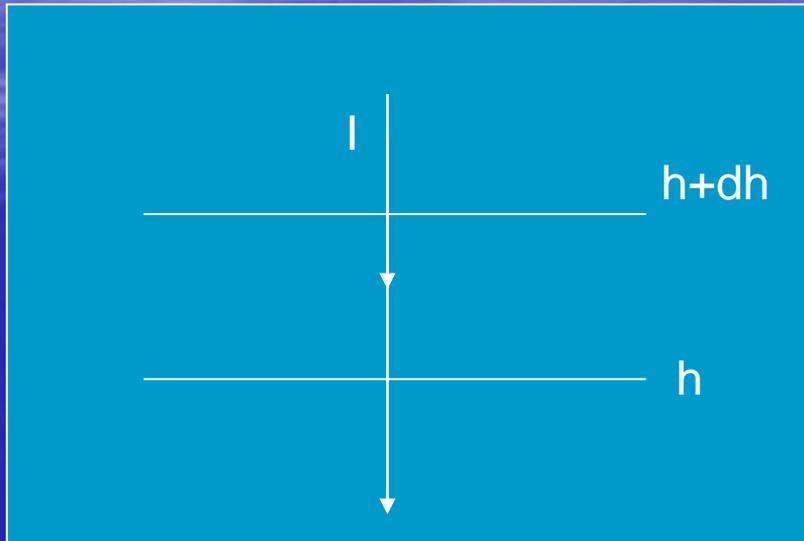
# atmosférická extinkce



Celková extinkce se dá rozdělit do dvou složek - Rayleighova rozptylu na molekulách, který je stálou vlastností atmosféry, a rozptylu na větších pevných a kapalných částicích (aerosolech), který je velmi proměnný; na obrázku je zachycena situace, která odpovídá měření na 65cm dalekohledu Astronomického ústavu Ondřejov za poměrně kvalitních podmínek s vyšší průzračností atmosféry. Absorpce není brána v úvahu.

# atmosférická extinkce

## monochromatická extinkce



absorbční koeficient na jednotku hmotnosti

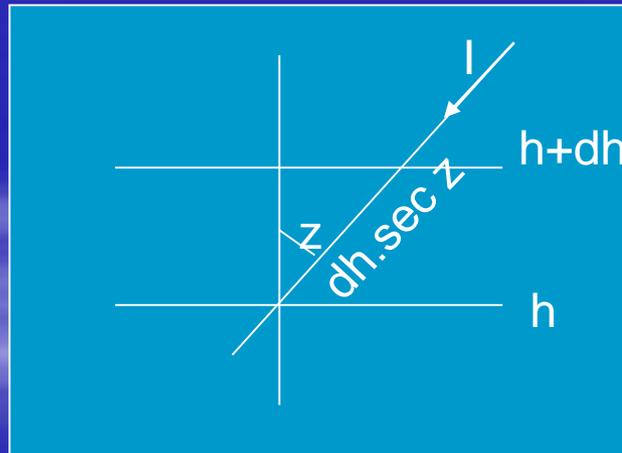
hustota atmosféry

$$dL(\lambda, h) = \kappa(\lambda, h) \rho(h) L(\lambda, h) dh$$

# atmosférická extinkce

- definice pojmu „vzdušná hmota“

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



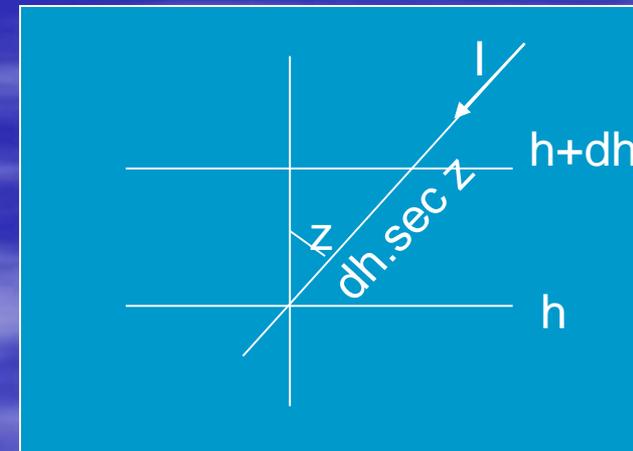
# atmosférická extinkce

- po úpravách

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

množství vzduchu ve sloupci rovnoběžném se světelným paprskem

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



takto je definován pojem „vzdušná hmota“, bezrozměrná veličina



# atmosférická extinkce

- v praktičtějším tvaru pak:

$$m(\lambda, h_0) = m(\lambda, h_1) + k(\lambda)X(z)$$

kde

$$\alpha = \int_{h_0}^{h_1} \rho(h) dh$$

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

výpočet vzdušné hmoty pak pro polohu u zenitu:

$$X = \sec z - \Delta X$$

$$\sec z = \frac{1}{\cos z}$$

dále

$$\sec z = \frac{1}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t}$$

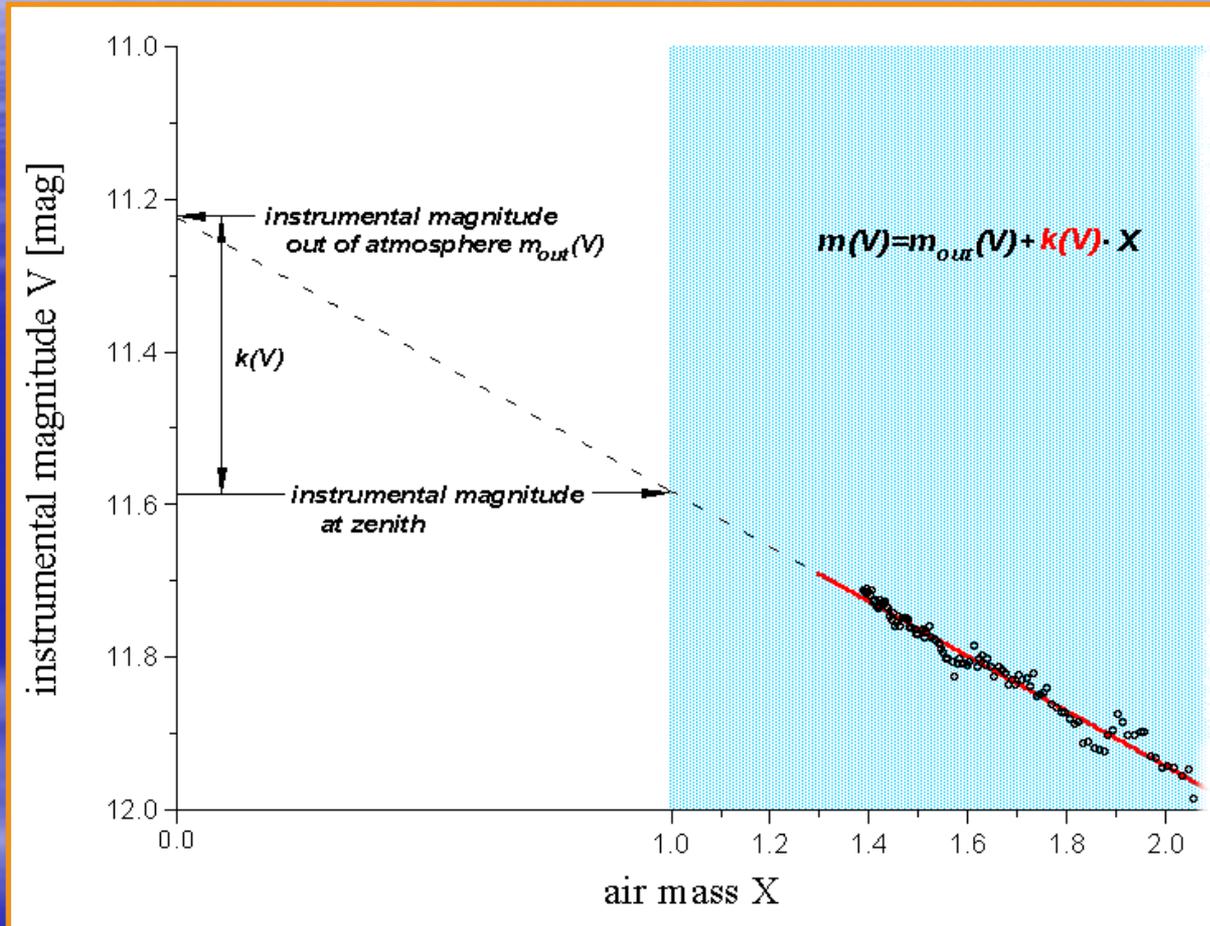
s opravou  
zakřivení

$$X = \sec z - 0,0018167(\sec z - 1) - 0,002875(\sec z - 1)^2 - 0,0008083(\sec z - 1)^3$$

# atmosférická extinkce

- jak ji lze měřit?
  - měřením jasnosti jedné hvězdy neznámé hvězdné velikosti
  - měřením jasnosti více hvězd se známou hvězdnou velikostí
  - metoda „kouknu a vidím“
- podrobnější postup

# atmosférická extinkce

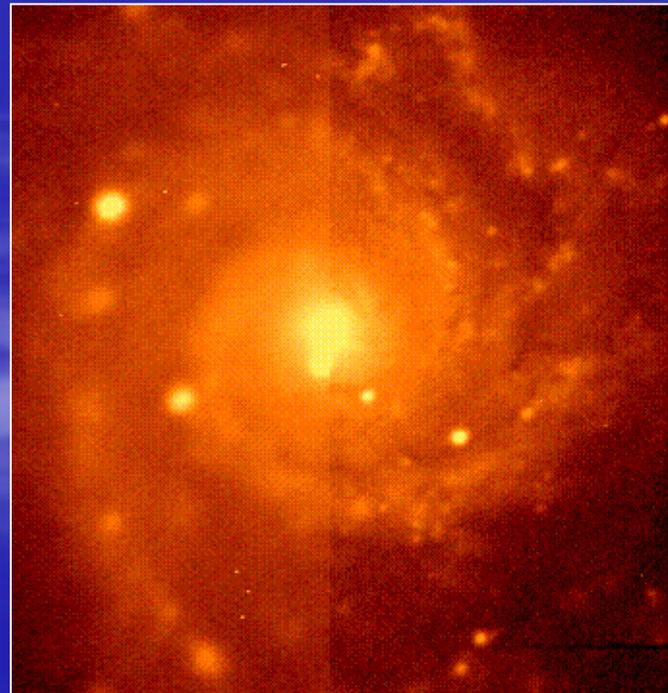


Extinkční koeficient je směrnicí přímky proložené závislostí instrumentální hvězdné velikosti objektu o konstantní mimoatmosférické jasnosti na optické hmotě. Atmosféra musí být homogenní a extinkce časově stálá.

# turbulence atmosféry

- má dva špatné vlivy na bodový zdroj záření
  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 náhodný pohyb obrazu, tento vliv turbulence je *seeing*

# turbulence atmosféry



... najdu si místo, kde se dobře kouká, kde není seeing a vítr do kopule nefouká ... (Buty)

- vysokohorské lokality
- Antarktida
- oběžná dráha
- povrch Měsíce
  
- adaptivní optika

# **plánování pozorování, základní pravidla**

# „ ... připravený není překvapený...“

- plánování pozorování obnáší pokaždé trochu jinou „množinu“ činností, obecně se liší:
  - pozorování ve volném terénu (známý x neznámý)
  - pozorovatelná, hvězdárna (známá x neznámá)
  - získaný pozorovací čas na observatoři
- obecné informace (váží se k lokalitě pozorování)
  - typické povětrnostní podmínky
  - přístrojové vybavení
  - další zařízení a provozní zvyklosti



# „ ... připravený není překvapený...“

- informace, které souvisí s datem pozorování
  - V a Z Slunce, časy soumraků
  - V a Z Měsíce, jeho fáze
  - hvězdný čas o půlnoci
  - JD o půlnoci
- informace, které souvisí s druhem pozorování a pozorovanými objekty (zde se příprava liší – pozorování pro radost, seminární práce, BP, DP, vědecký projekt ...)
  - výběr objektů
  - časy jejich V a Z
  - vyhledávací mapky
  - efemeridy proměnných objektů
  - plán nočního pozorování (pořadí objektů)

# pár adres a PC programů

- Astro Lab - program
- <http://calsky.com>
- <http://aa.usno.navy.mil/data/>
- vyhledávací mapky <http://stdatu.stsci.edu/dss/>
  
- Kitt Peak National Observatory  
<http://www.noao.edu/kpno/>
- Mount John University Observatory, Lake Tekapo, New Zealand  
<https://www.canterbury.ac.nz/science/facilities/field-and-research-stations/mount-john-observatory/applying-for-telescope-time/>

# **cvičení**

**práce s dalekohledem  
určení atmosférické extinkce  
sestavení „itineráře“ nočního pozorování  
praktické rady**

# praktické návyky

- radý

# radly přímo „od americké maminky“

## Jak se připravit na zimní pozorování

podle časopisu Sky and Telescope

- Hluboká, modrá, zimní obloha, studené pozdní odpoledne - to vše je příslibem nádherného zimního pozorování klenotů z pokladnice Oriona, Blíženců, Vozky, Persea a Kasiopeji. Přesto však většina amatérů nevyběhá ze svých teplých pelíšků a jejich mnohdy těžce nabyté přístroje zahálají. Dokonce snad slyším hlasy, které říkají, že toto období je vhodné spíše pro čtení o astronomii než na její skutečné hledání v hlubinách vesmíru.
- Běhá vám při tomto pomyšlení mráz po zádech? Myslíte, že se opravdu musíte dívat na Orion se zmrzlými prsty na ruku i na nohou? Toho všeho se můžete samozřejmě vyvarovat. Ale musíte si před tím přečíst těchto pár řádků a dodržet několik dobře míněných rad.
- 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 podvlékací triko a dva až tři svetry, ale tak, aby vám příliš nevadily v pohybu. Dalšími místy, která musíte chránit, jsou krk a hlava. Pokud je to možné, použijte teplou šálu a čepici, které pak přikryjte kapucí naší bundy.

# radý přímo „od americké maminky“

- Třetí podmínkou je ochrana končetin, nejvíce pak jejich konců, tzn. prstů. Velké množství tepla totiž utíká přes podrážky vašich 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, či listujete v atlase. Nabízejí se dvě možnosti: buď si vezmete jedny tenké rukavice a na ně jedny hrubší, tzv. palčáky, anebo si pořídíte tzv. cyklistické rukavice, které mají ustřižené konce prstů a k nim samozřejmě ještě palčáky.
- Na ochranu tváře doporučuji použít masku podobnou masce závodníků Formule 1. V noci sice budete působit dojmem teroristy, ale stojí to za to. Neberte 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 pozor - příliš mnoho cukru působí právě obráceně.

# radly přímo „od americké maminky“

- K pití je nejvhodnější horký mošt nebo jiný sladký nápoj. Káva dává jisté uspokojení, ale kofein v ní obsažený způsobuje zpomalování krevního oběhu a tím i únavu, ospalost a ochlazování organismu. Stejně tak působí tabák a alkohol, který navíc způsobuje ztráty tepla kapilárními otvory v kůži.
- Pokud vás během pozorování začne bolet hlava, nebo vám není dobře, vězte, že je to 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. Proto než odejdete ven pozorovat, dobře se 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 až na 6 dalších hodin pozorování! Není proto na škodu, když si před pozorováním trochu zacvičíte (ale pozor na přílišnou únavu)!
- A ještě jedna rada pro motorizované astronomy. Pokud máte strach, že by se vám v té zimě nepodařilo nastartovat auto, až skončíte pozorování, nezoufejte. Jestliže oželíte trochu benzínu, nastartujte každou hodinu svůj vůz a nechte běžet motor 5 - 10 minut. To by mělo baterii udržet při životě. Pokud tedy splníte všechny podmínky, bude pro vás noční pozorování nezapomenutelným zážitkem a budete z něj mít nejen velkou radost a užitek, ale hlavně ten správný pocit.

... finito ...