

základy astronomie a astrofyziky

fotometrické veličiny,
atmosférická extinkce

zářivý výkon a hvězdná velikost

- hvězdy - cca izotropní zdroje elmg záření
- celkový *zářivý výkon* L , odpovídající celkové energii vyzářené ve všech vlnových délkách za jednotku času, se vyjadřuje ve wattech nebo zářivých tocích tzv. *nominálního Slunce* L_{\odot} , jehož výkon byl rozhodnutím Valného shromáždění IAU z roku 1997 definován: $L_{\odot} = 3,846 \cdot 10^{26} \text{ W}$
- *zářivost* I = *bolometrická intenzita záření*, což je zářivý tok vysílaný do prostorového úhlu o velikosti 1 steradiánu – jednotka: W sr^{-1} a pro izotropně zářící zdroj platí mezi zářivým výkonem a zářivostí: $L = 4 \pi I$
- *bolometrická jasnost* F = *hustota zářivého toku* F je tok záření, který za sekundu projde 1 m^2 plochy kolmo nastavené ke směru přicházejících paprsků, F vyjadřujeme ve W/m^2 , vzdálenost r v metrech
- pak platí: $I = r^2 F$, pro izotropní zářiče: $L = 4 \pi r^2 F$

zářivý výkon a hvězdná velikost

- základní metodou měření vzdálenosti je zjišťování tzv. *roční trigonometrické paralaxy*, což je úhlově vyjádřená velká poloosa elipsy, kterou v důsledku orbitálního pohybu Země kolem Slunce hvězdy opisují, časem byla vypracována řada dalších důmyslných metod, které nám umožňují odhadovat i vzdálenosti velice vzdálených objektů
- měření hustoty zářivého toku přicházejícího od hvězd patří k neobtížnějším astrofyzikálním úlohám, neboť tu jde zpravidla o nesmírně nízké toky, které je navíc nutno registrovat v celém rozsahu elektromagnetického spektra
- kromě instrumentálních komplikací je hlavní překážkou zemská atmosféra, která je pro řadu oborů elektromagnetického spektra prakticky nepropustná - výsledky měření je pak nutno o vliv propustnosti atmosféry opravit
- neodstranitelným vlivem zkreslujícím naše měření je zeslabení světla hvězdy působením mezihvězdné látky nacházející se mezi hvězdou a námi

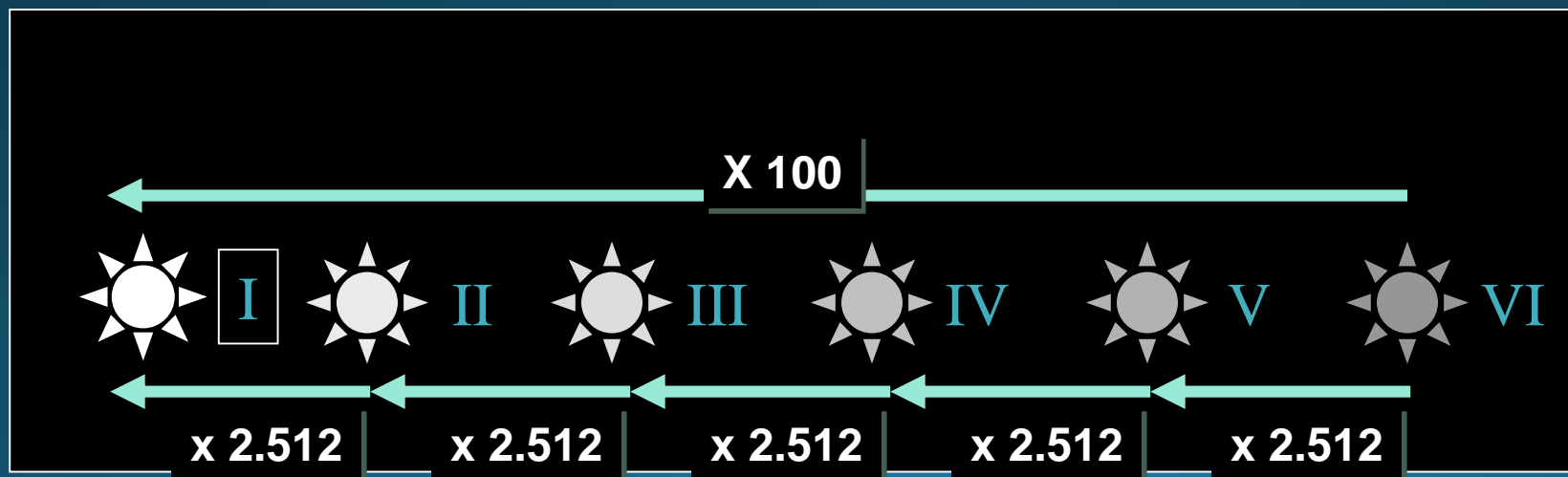
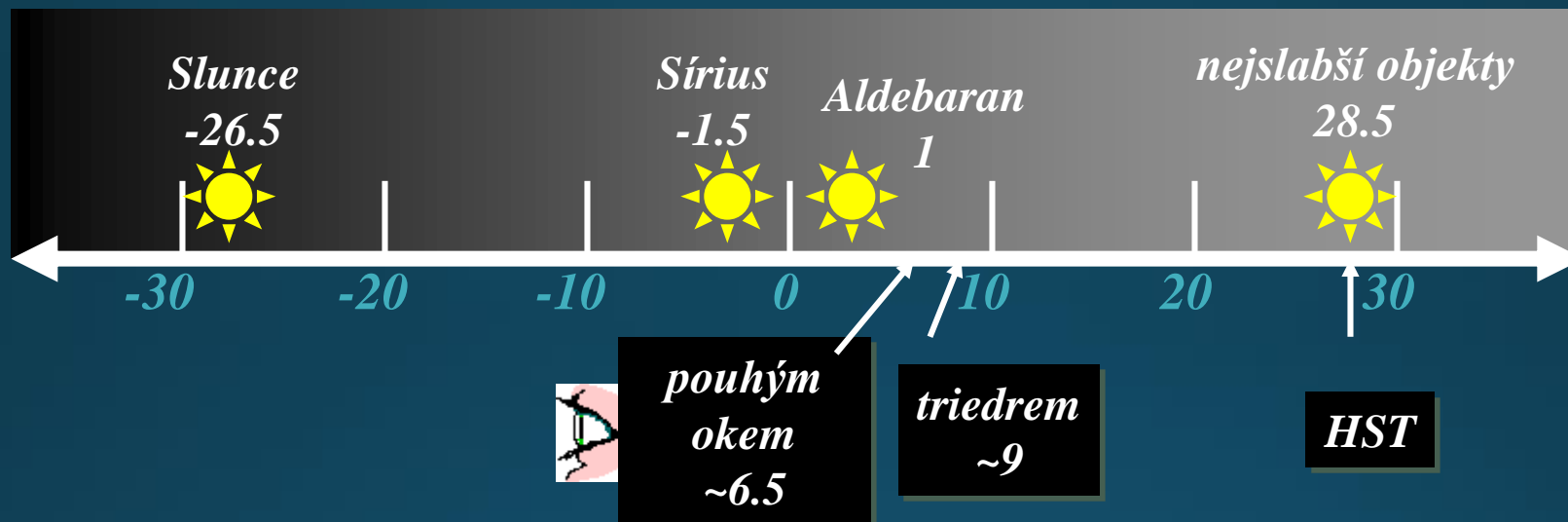
zářivý výkon a hvězdná velikost

- praktická měření se provádějí pomocí tzv. *bolometrů*, hovoříme zde o tzv. bolometrických měřeních a veličinách.
- v praxi se ale používají veličiny vztahující se jen na jistý obor elmg záření vymezený zpravidla nějakým filtrem s přesně definovanou propustností
- zvláštní postavení má *vizuální obor*, definovaný filtrem V s propustností, jež odpovídá spektrální citlivosti lidského oka: maximum propustnosti filtru leží u 550 nm, efektivní šířka filtru činí 89 nm
- hustota zářivého toku v barvě V se tak přímo ztotožňuje hustotou světelného toku, nebo-li *jasností* j
- jednotkou jasnosti je v principu W/m^2 , jasnost lze ovšem též vyjadřovat ve speciálních jednotkách zavedených pro světlo:
- $[j] = 1 \text{ lumen}/m^2$
- obdobně lze zavést i další „nevizuální“ jasnosti j_s definované vždy jako hustoty zářivého toku po průchodu určitým definovaným filtrem

hvězdná velikost

- astronomové z tradičních i praktických důvodů vyjadřují jasnost zdroje záření pomocí tzv. *hvězdné velikosti* vyjadřované v jednotkách zvaných *magnitudy*
- hvězdná velikost m je logaritmická veličina svázaná s příslušnou jasností j tzv. *Pogsonovou rovnicí*: $m = -2,5 \log(j/j_0)$ [mag],
- kde j_0 je tzv. referenční jasnost, kterou má zdroj s hvězdnou velikostí $m = 0$ mag
- podle typu jasnosti rozeznáváme např. vizuální hvězdnou velikost m_v , bolometrickou hvězdnou velikost m_{bol} aj.
- převodní vztahy mezi bolometrickou jasností F a bolometrickou hvězdnou velikostí m_{bol} vycházejí z definice, podle níž hvězda s bolometrickou hvězdnou velikostí $m_{bol} = 0$ mag působí mimo zemskou atmosféru hustotu zářivého toku $F_0 = 2,553 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$

hvězdná velikost



hvězdná velikost

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

hvězdná velikost

- v astrofyzice hvězd se v řadě aplikací zaměřují bolometrické veličiny snáze měřitelnými veličinami vizuálními
- je třeba mít neustále na paměti, že taková záměna někdy může zcela závažným způsobem zkreslit reálné vztahy mezi jednotlivými charakteristikami hvězd
- všude tam, kde nám půjde např. o celkové množství energie, které hvězda vydává prostřednictvím záření, je žádoucí použít správné, tedy bolometrické veličiny

hvězdná velikost

- bolometrická jasnost F určitého zdroje o zářivosti I (výkonu L) je nepřímo úměrná kvadrátu vzdálenosti r , v níž jasnost měříme
- porovnáme-li nyní jasnosti F_1 a F_2 téhož zdroje, změřené v různých vzdálenostech r_1 a r_2 , dostaneme pro jejich poměr:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{I}{r_2^2} \frac{r_1^2}{I} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

- vyjádříme-li bolometrické jasnosti pomocí výše uvedené Pogsonovy rovnice bolometrickými hvězdnými velikostmi m_1 a m_2 , dostaneme důležitý vztah pro jejich rozdíl ve tvaru:

$$\left(\frac{m_2 - m_1}{1 \text{ mag}} \right) = -2,5 \log \left(\frac{F_2}{F_1} \right) = 5 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)$$

- tento vztah ovšem neplatí jen pro bolometrické hvězdné velikosti, ale zcela obecně pro jakékoli hvězdné velikosti

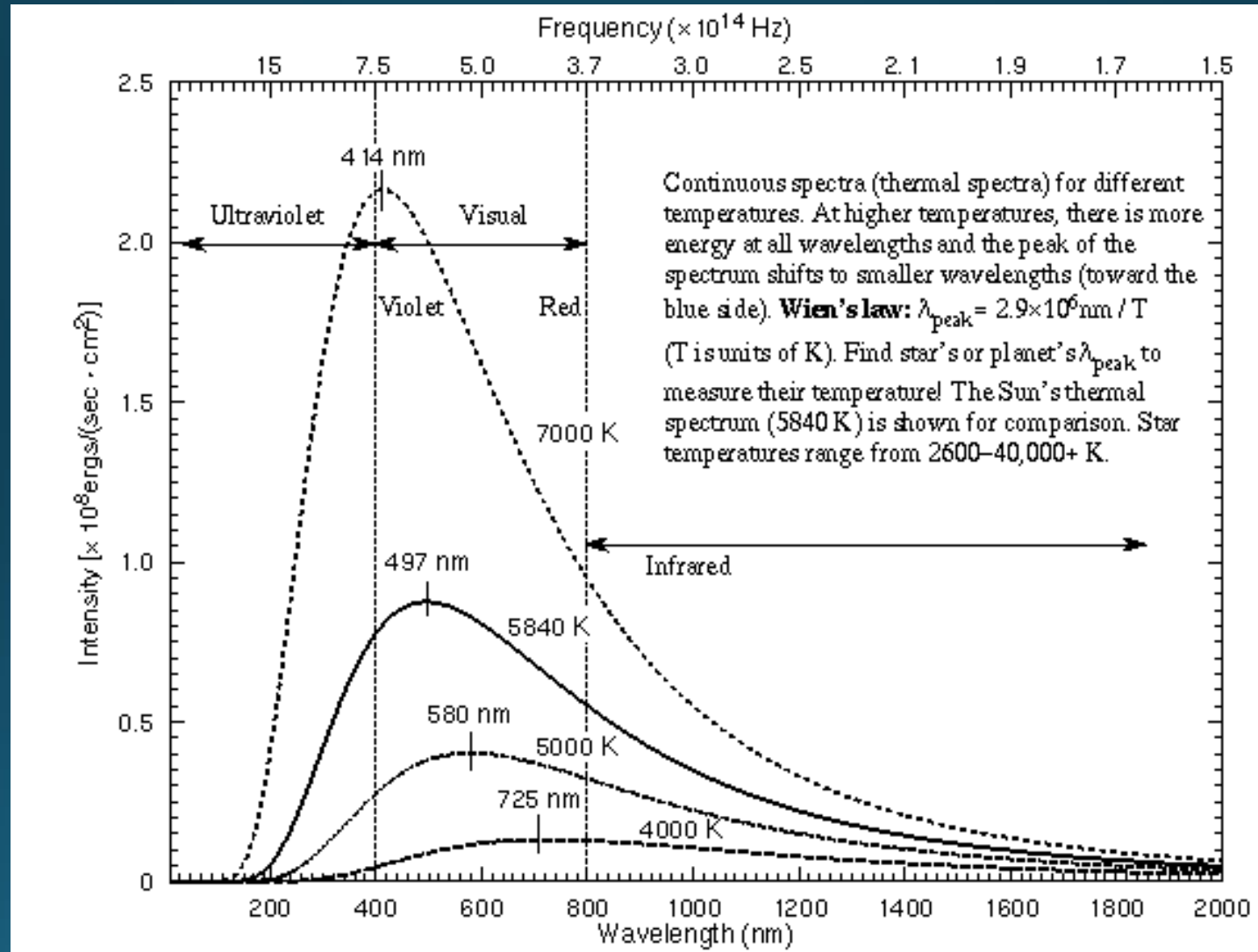
hvězdná velikost

- hvězdná velikost závisí na vzdálenosti
- je výhodné zavést pojem *absolutní hvězdná velikost* M , což je hvězdná velikost zdroje pozorovaného z jisté dohodnuté vzdálenosti r_0
- ve hvězdné astronomii byl tento „základní metr“ ztotožněn se vzdáleností $r_0 = 10$ parseků ($= 3,08568 \cdot 10^{17}$ m)
- pro tzv. *modul vzdálenosti* ($m - M$) pak plyne vztah:

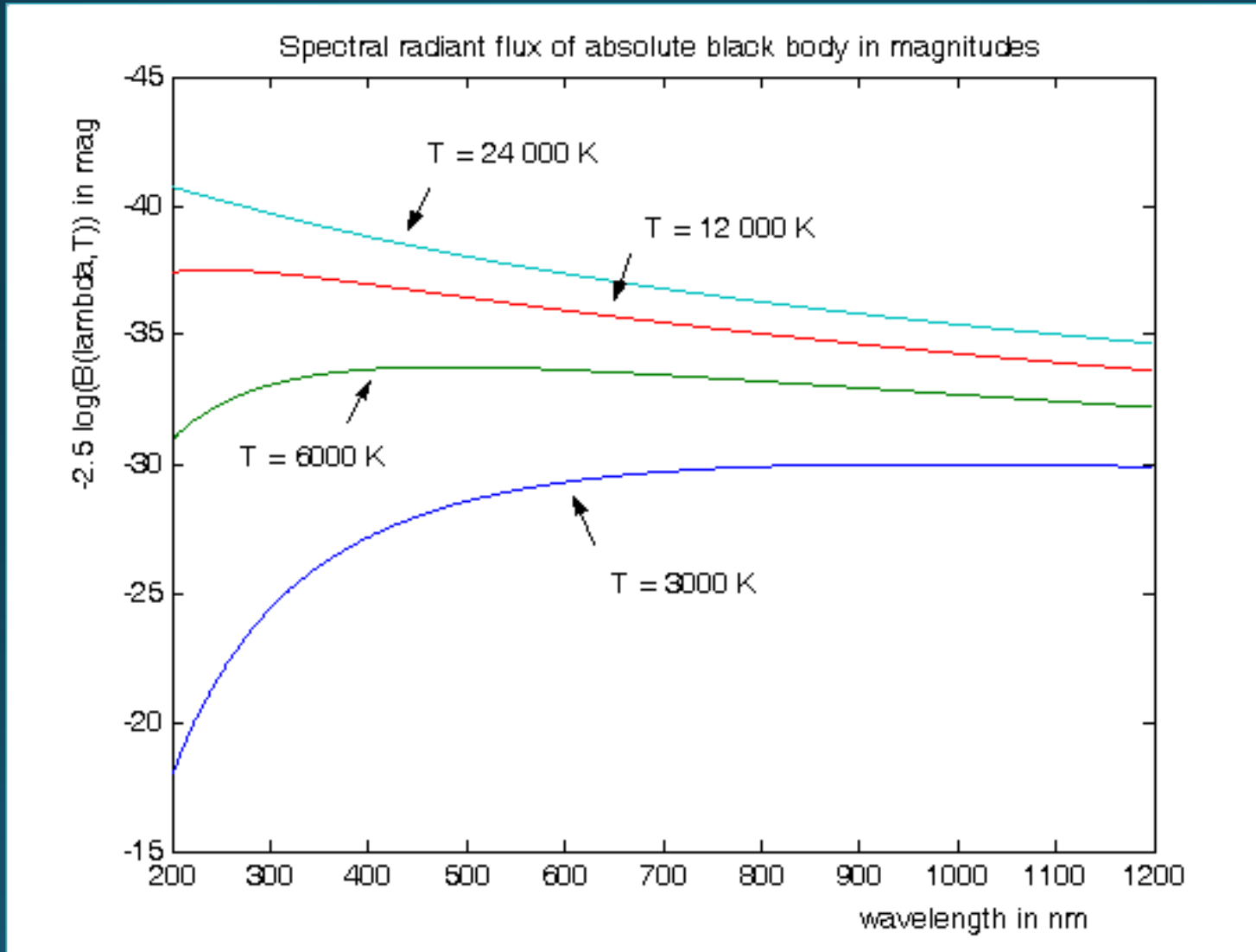
$$\left(\frac{m - M}{1 \text{ mag}} \right) = 5 \log \left(\frac{r}{1 \text{ pc}} \right) - 5 = -5 \log \left(\frac{\pi}{1''} \right) - 5$$

$$(m - M)_{\odot} = -31,5721 \text{ mag}$$

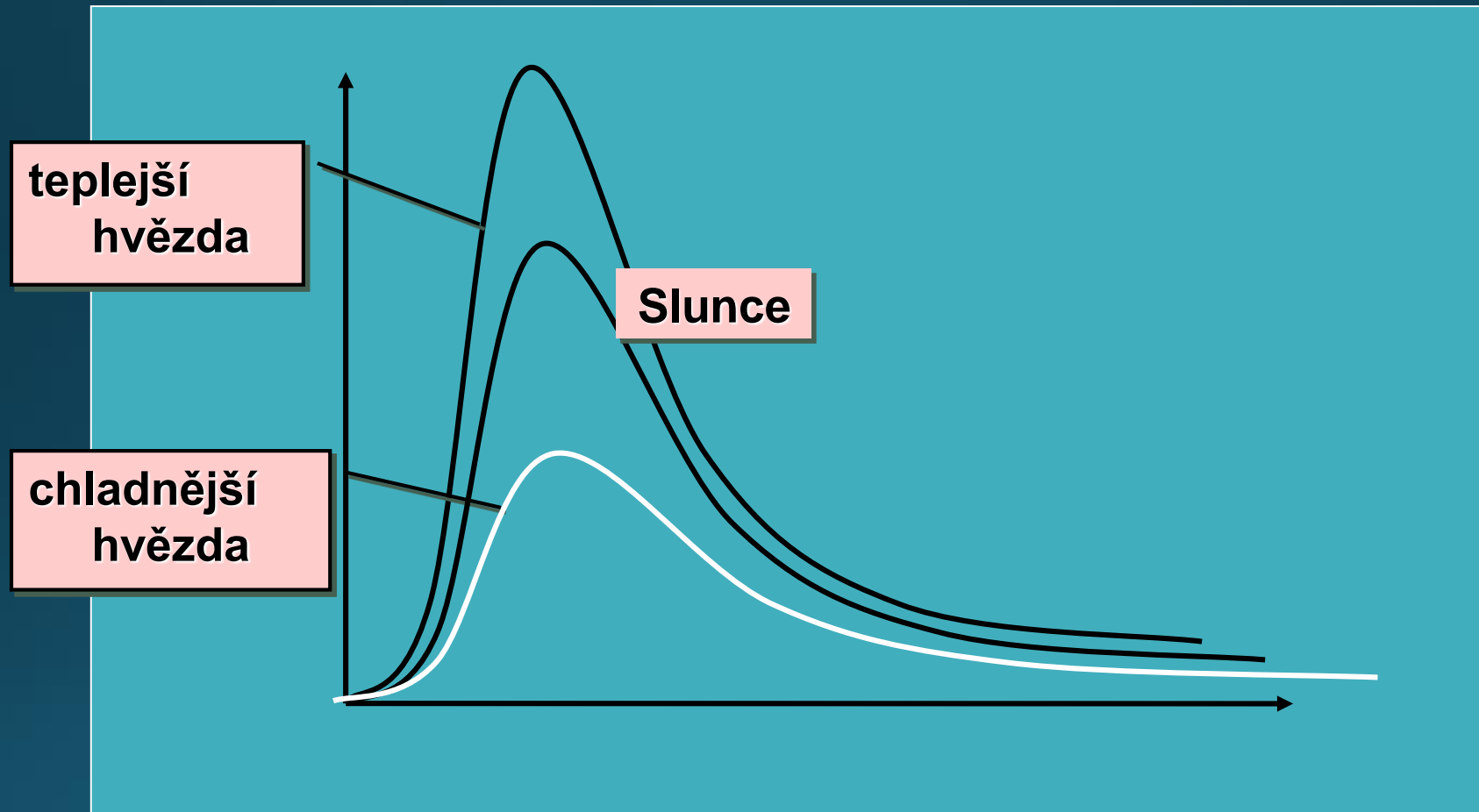
záření AČT



záření absolutně černého tělesa



záření absolutně černého tělesa



rozložení energie ve spektru, absolutní spektrofotometrie

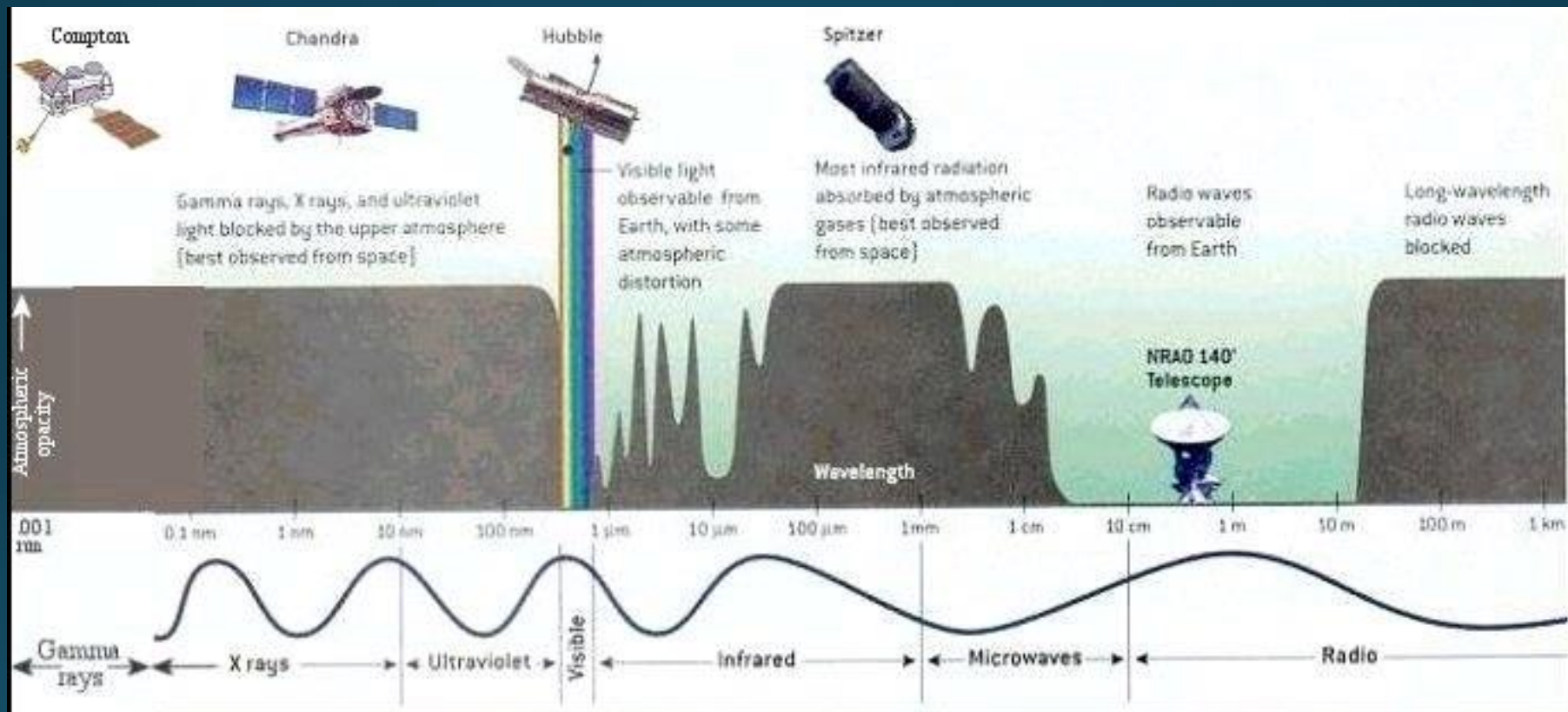
- skripta doc. Zdeňka Mikuláška



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“, obraz je nejen rozmazaný, ale není možné měřit slabší objekty**
 - **jas pozadí (přirozený + umělý)**
 - **atmosférická extinkce (absorpce + rozptyl)**
 - **působí jako optický prvek – atmosférická refrakce**

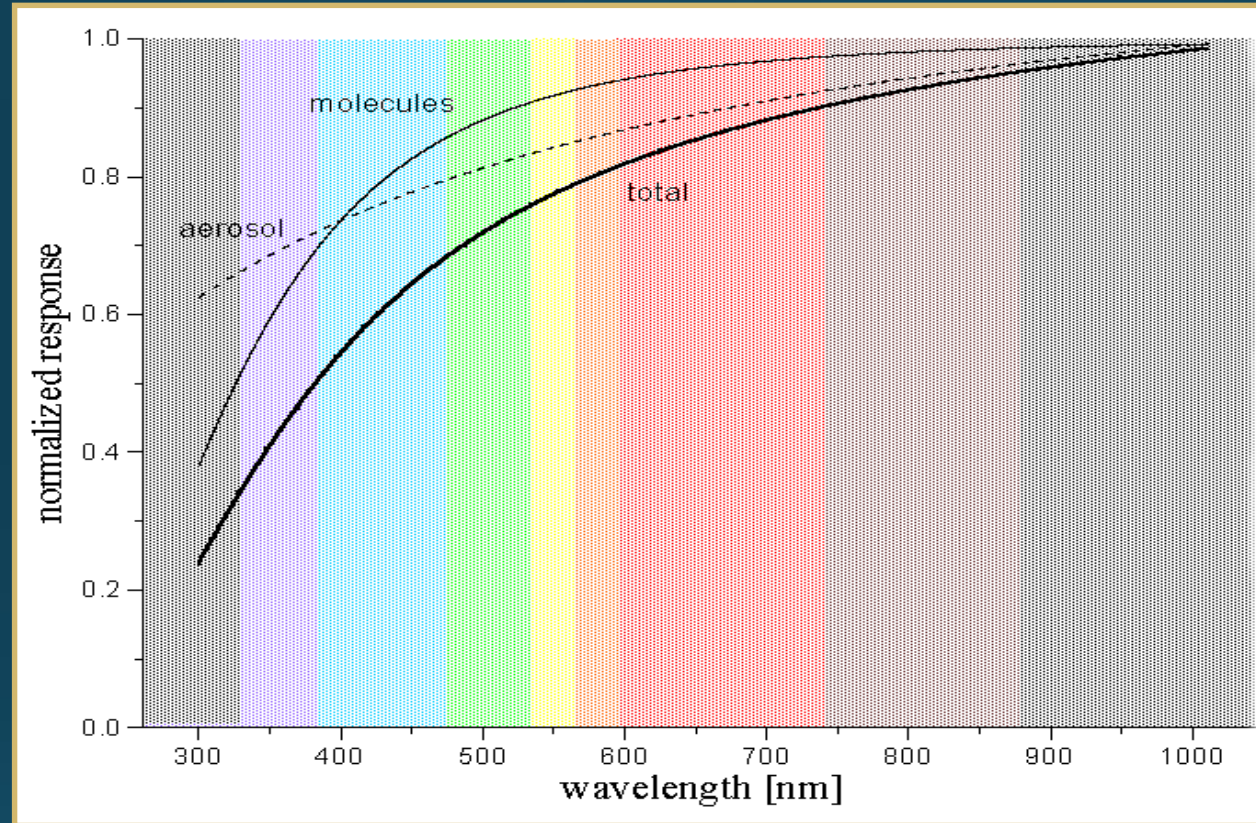
atmosférická „okna“



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 λ^{-4}
 - *rozptyl na aerosolu* jeho závislost na vlnové délce závisí na distribuční funkci velikosti částic
 - *například Mieův rozptyl* (na malých sférických částicích) je úměrný λ^{-1}

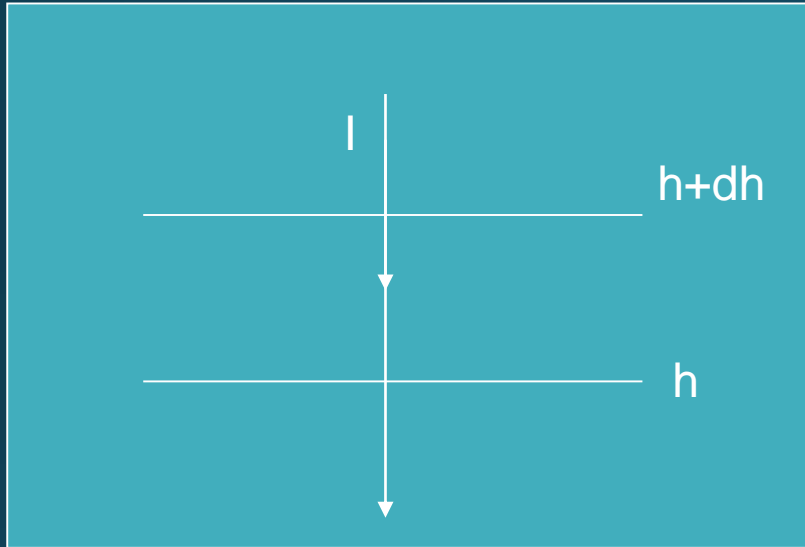
atmosférická extinkce



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 měřením 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

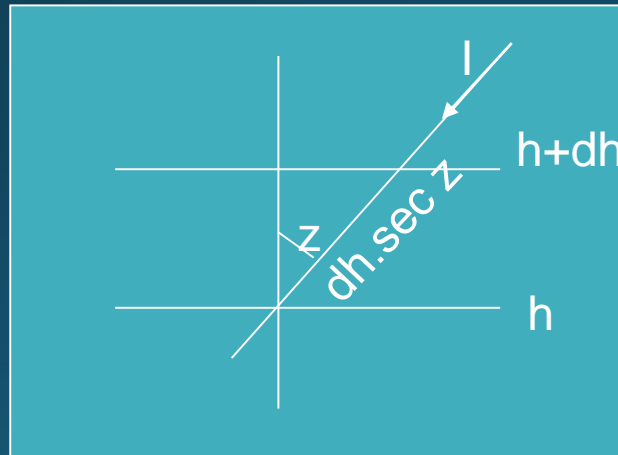
hustota atmosféry

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

atmosférická extinkce

- definice pojmu „vzdušná hmota“

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



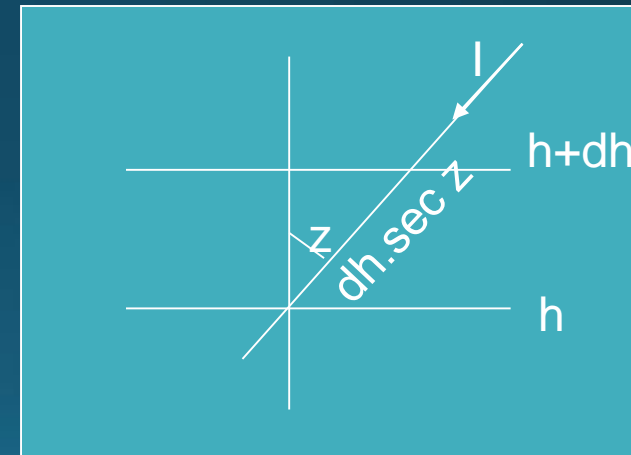
atmosférická extinkce

- 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

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

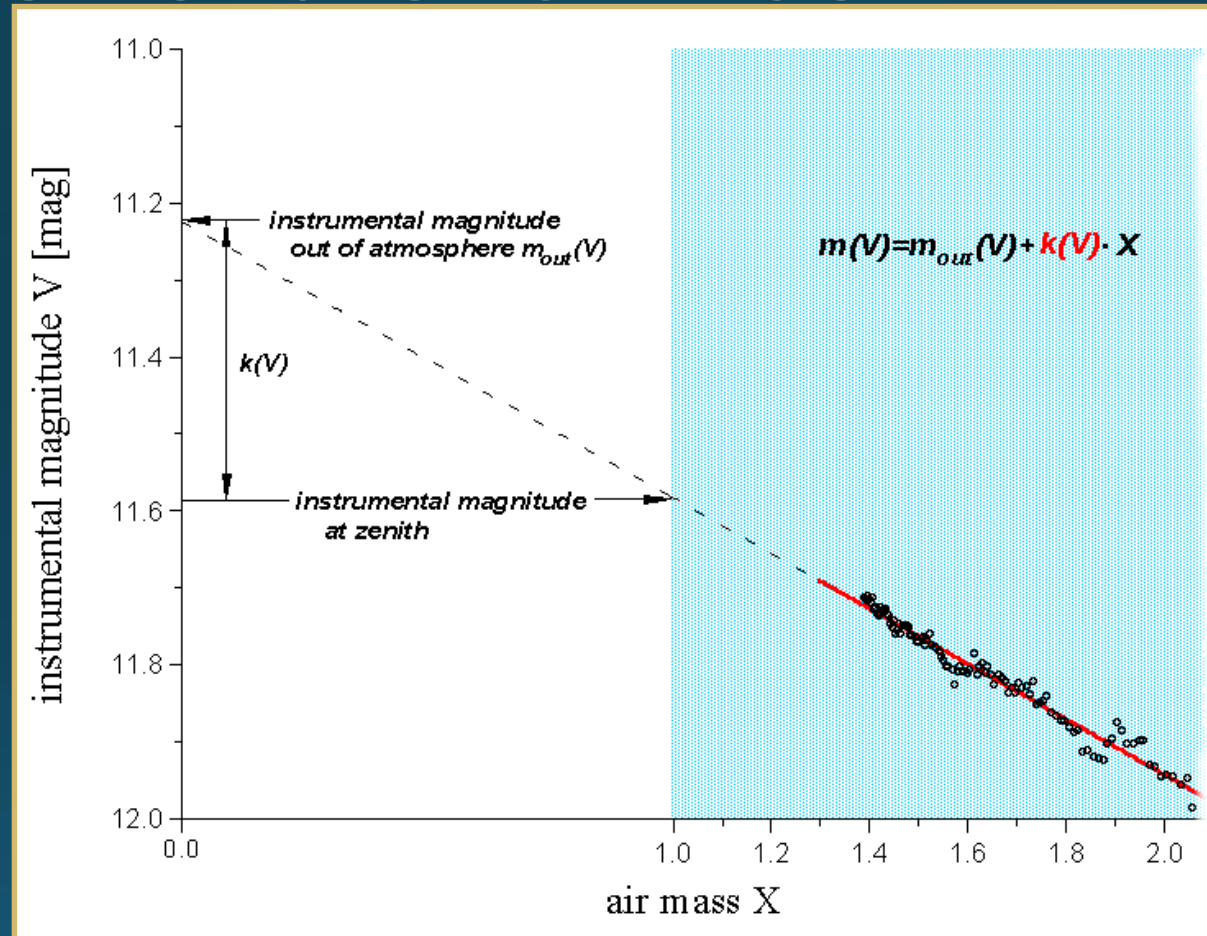
s opravou
zakřivení

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

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

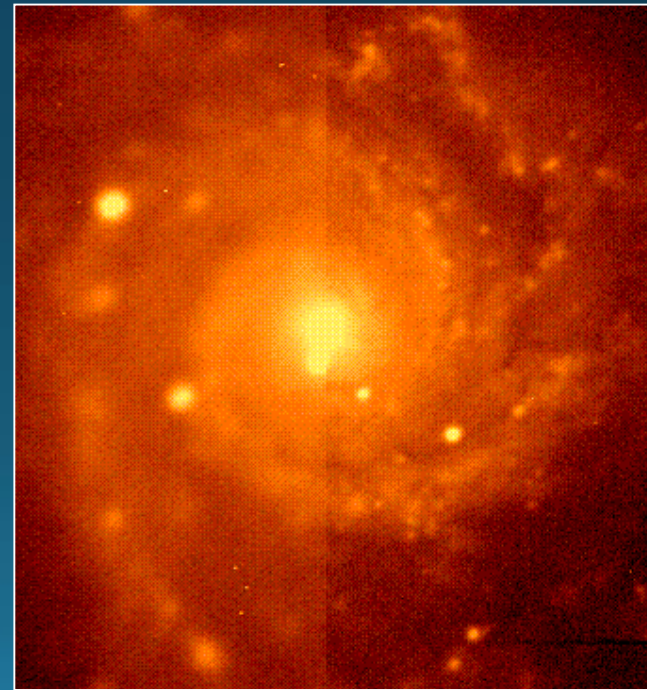
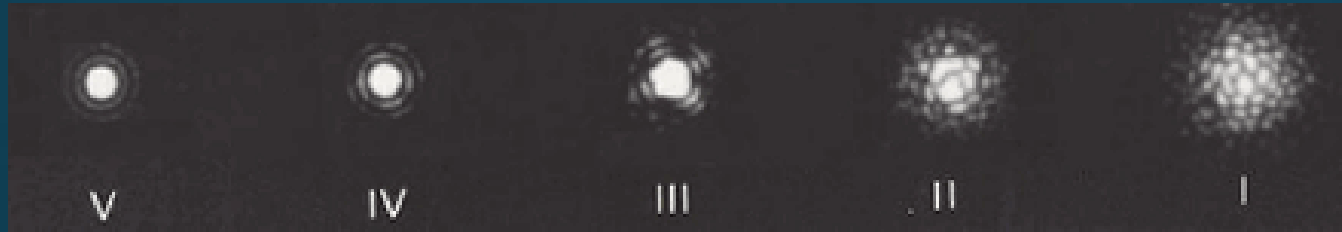


Extinkční koeficient je směrnicí přímky proložené závislostí instrumentální hvězdné velikosti objektu o konstantní mimoatmosférické jasnosti na optické hmotě. Atmosféra musí být homogenní a extinkce časově stálá.

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
- oběžná dráha
- povrch Měsíce

- adaptivní optika

... finito ...