



Astronomický proseminář II

Měření vzdáleností ve vesmíru

přímá měření

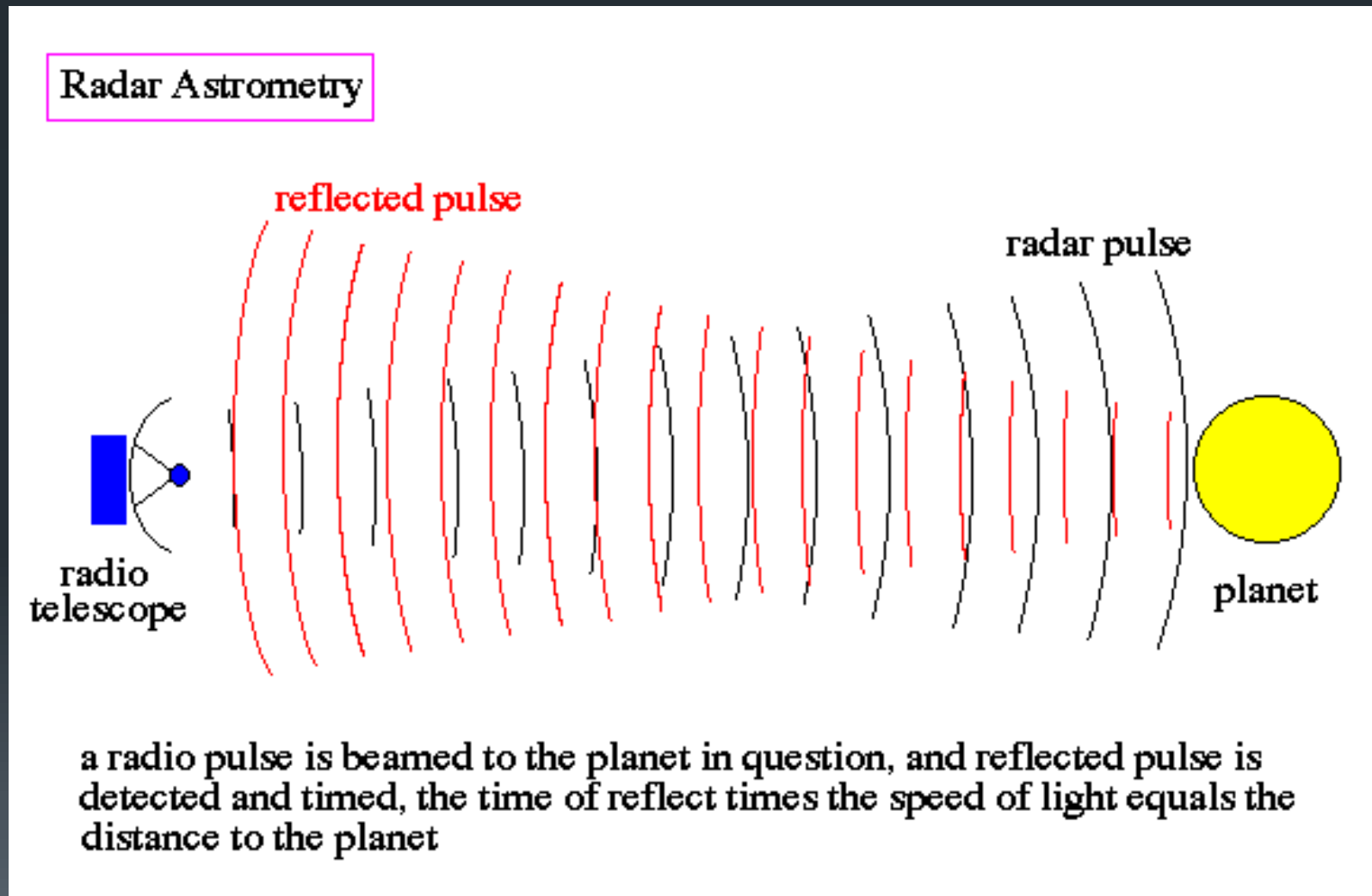
- měření radarem – vyslání rádiového pulzu a registrace jeho odrazu od jiného tělesa (Venuše, Měsíc atp.)
- pak platí $D = \tau/2c$, kde c je rychlost světla
- limitující faktory: atmosférická absorpce a malý rádiový účinný průřez σ tělesa, jehož vzdálenost měříme

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

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

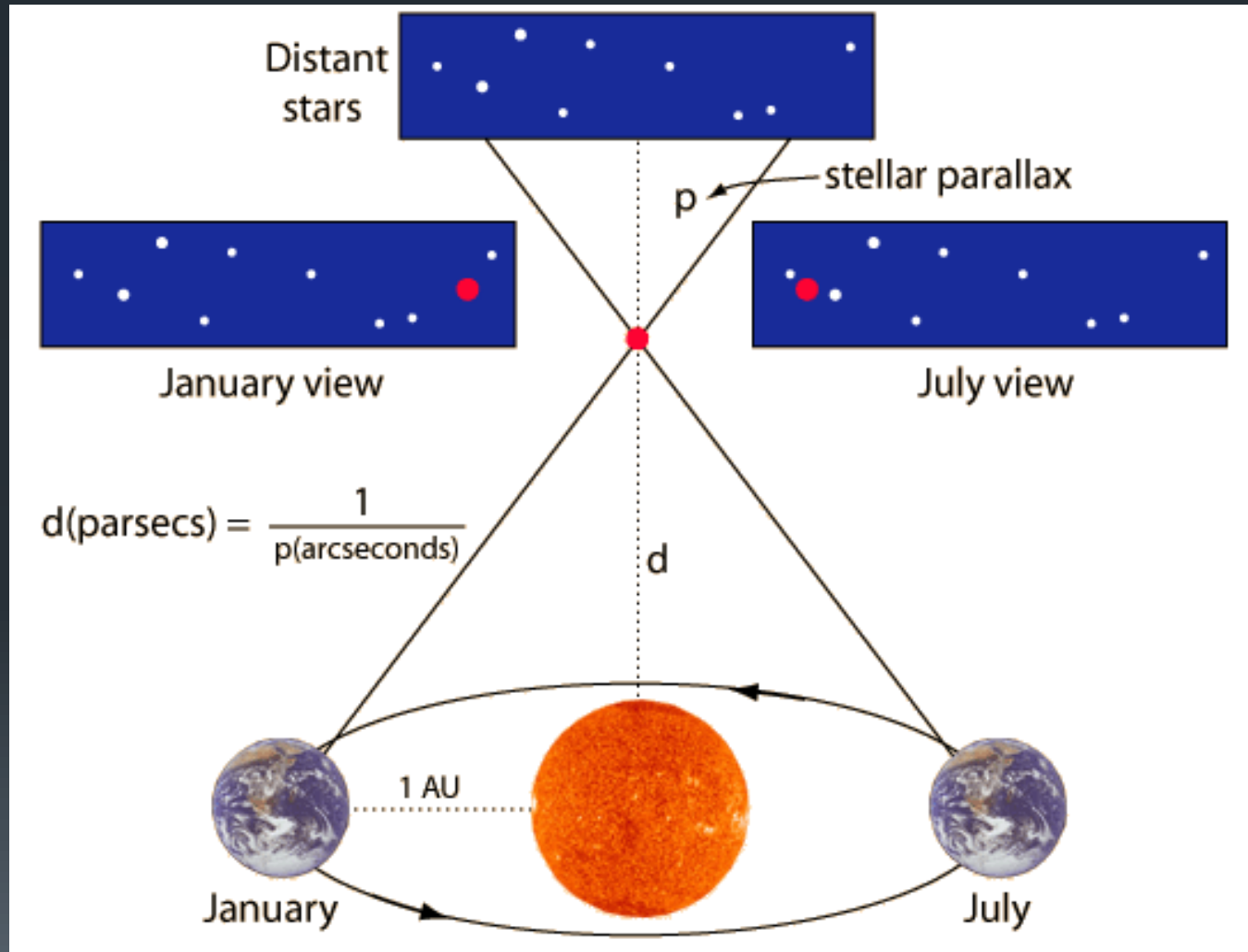
- metoda použitelná pro $D_L \leq 3 \cdot 10^{-5}$ pc (6,2 au)
- 1 AU = 149 597 870 700 \pm 3 m
- 1 au = 149 597 870 700 m (přesně, definice, IAU 2012)
- s využitím koutových odražečů na povrchu Měsíce byla jeho vzdálenost změřena lasery s přesností menší než 1 mm [více](#)

přímá měření radarem



roční paralaxa – triangulace

- vlivem oběhu Země kolem Slunce se poloha hvězd na obloze periodicky mění, úhel je to sice velmi malý, ale moderními přístroji dobře měřitelný
- pro tento úhel, tzv. roční paralaxu, platí vztah: $\sin p = \frac{1 \text{ au}}{D_L}$ a pro malé úhly a velké vzdálenosti $p \approx \frac{1 \text{ au}}{D_L}$
- zavedením jednotky **parsek** dostaneme konečnou podobu vztahu $D_L = \frac{1}{p}$

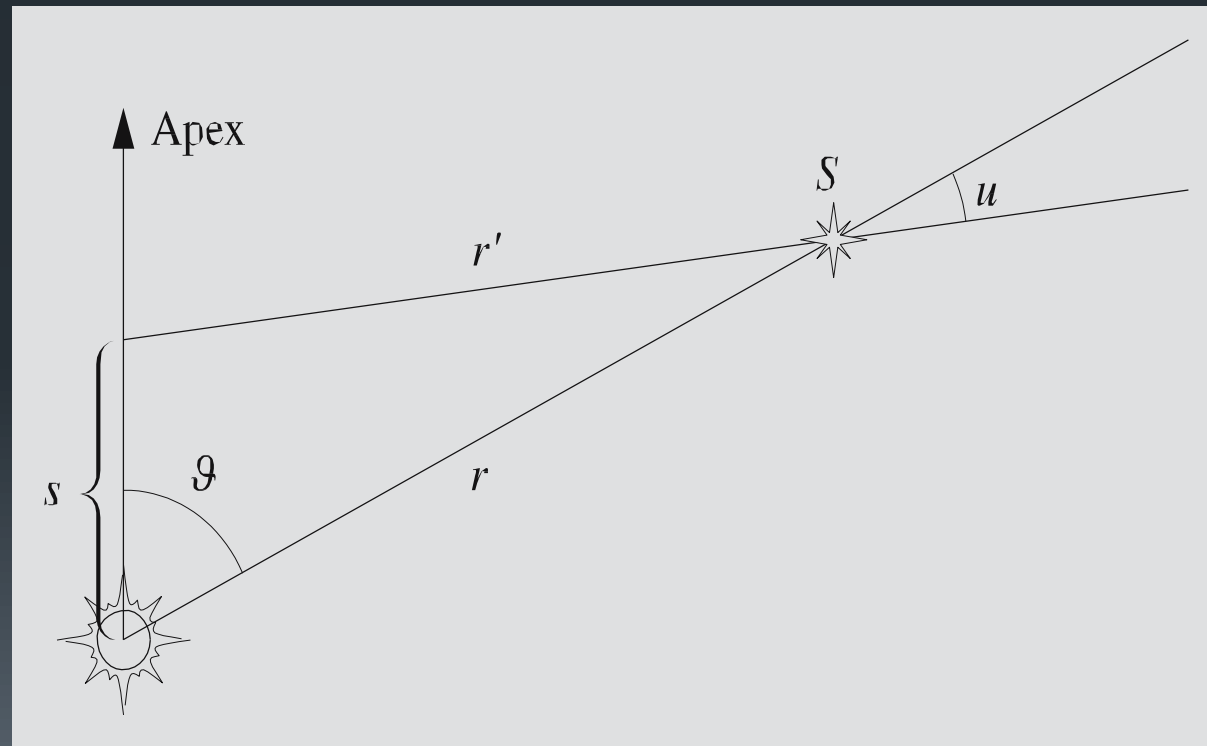


roční paralaxa – triangulace

- tato metoda byla použitelná pro vzdálenosti do 100 pc, její chyba nárůstá se vzdáleností
- družice Hipparcos – přesnost tisícín úhlové vteřiny
- nejistota je dána vztahem: $\frac{\delta D_L}{D_L} = \delta p / p^2$, kde δp je nejistota úhlu paralaxy
- družice GAIA pracovala od roku 2013 a byla schopna měřit s přesností cca 10 úhlových mikrovteřin, od dokončení projektu jsou známy roční paralaxy objektů do cca 10 kpc!

sekulární a statistická paralaxa

- omezení měření roční paralaxy je dáno také velikostí báze, ta je 2 au
- jinou základnu poskytuje vlastní pohyb Slunce/Sluneční soustavy prostorem – cca 4 au/rok



sekulární a statistická paralaxa

- tato metoda neumožní přímý výpočet vzdálenosti hvězdy
- pro členy hvězdokupy však jejich střední vlastní pohyb je dán pohybem Slunce, tedy je možné určit vzdálenost hvězdokupy
- průměrná sekulární paralaxa kupy je:

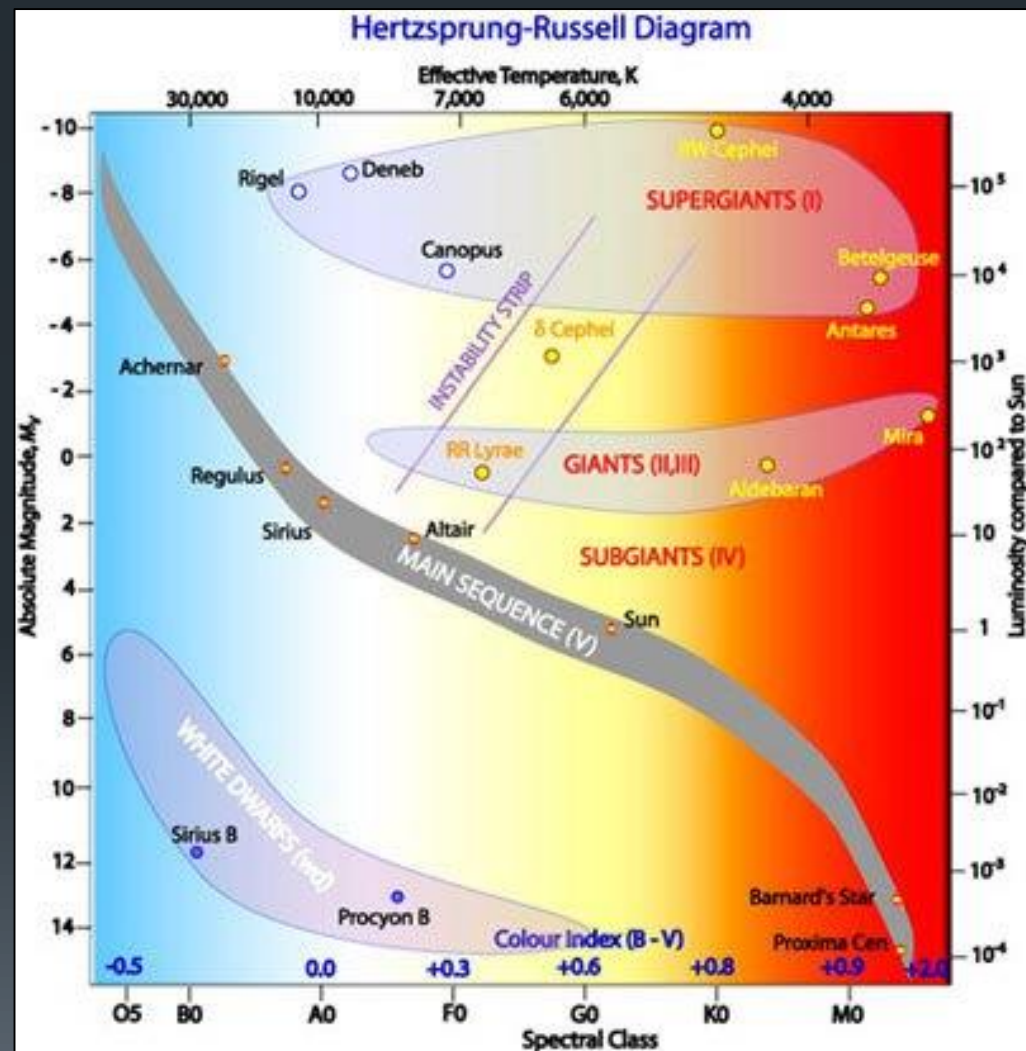
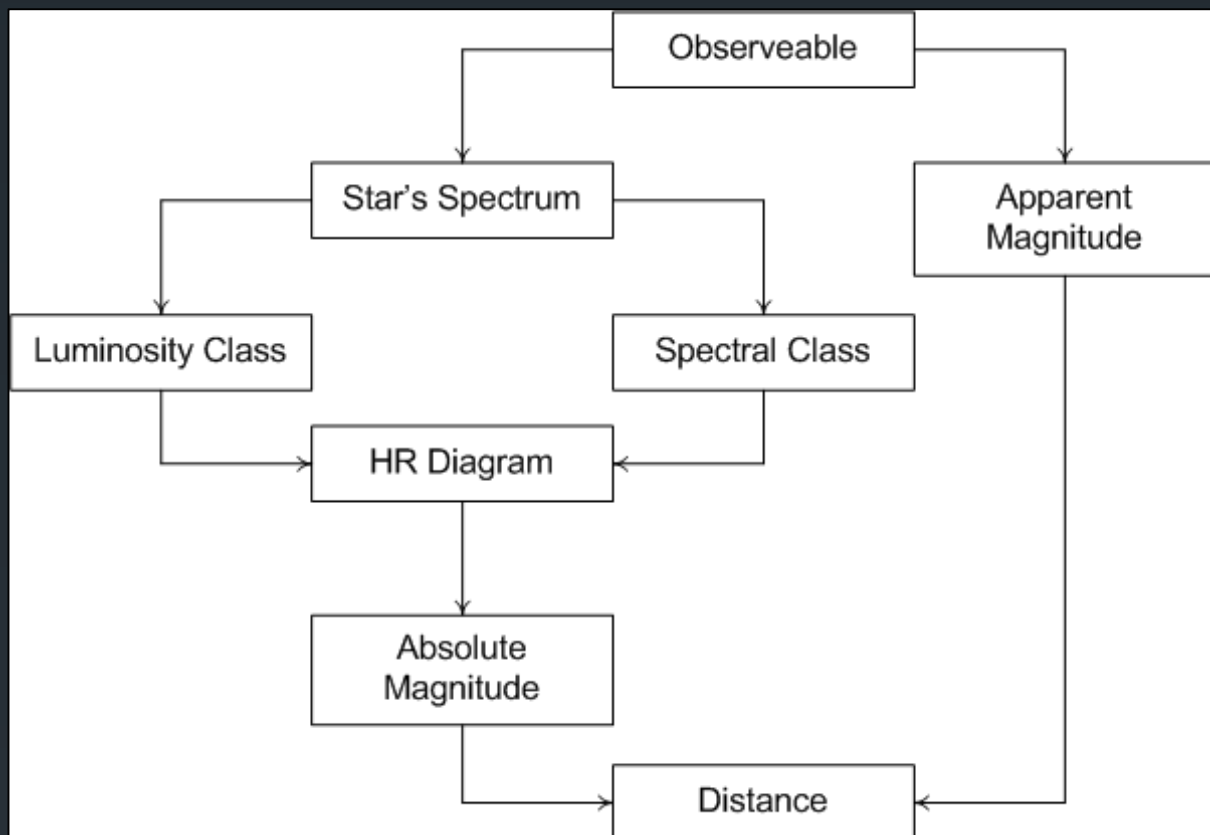
$$\bar{\pi}_{sec}'' = \frac{4,74 \langle v \sin \lambda \rangle}{v_{\odot} \langle \sin^2 \lambda \rangle}$$

spektroskopická paralaxa

- nejedná se o „paralaxu“ v pravém smyslu
- princip – využití určení absolutní hvězdné velikosti (zářivého výkonu) hvězdy z její spektrální klasifikace
- z rozdílu mezi M a m je možné určit vzdálenost:

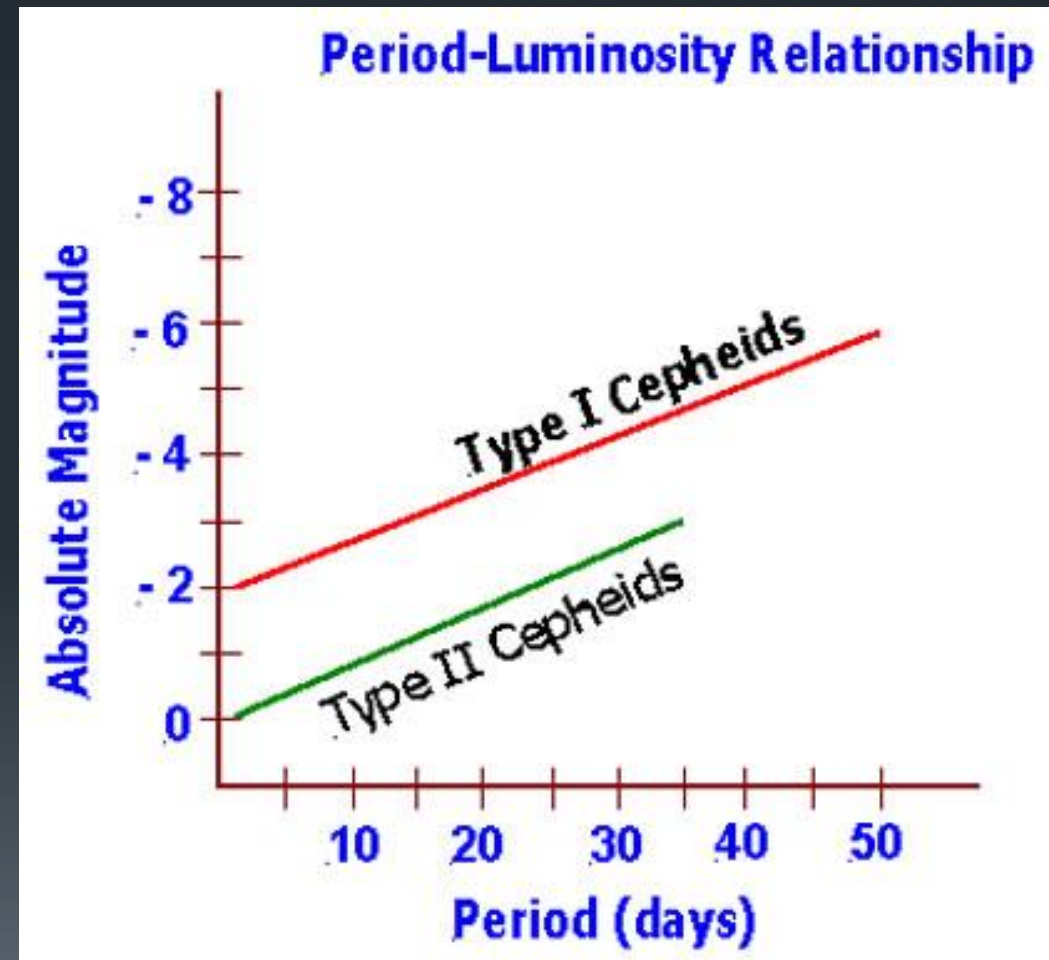
$$m - M = 5 \log_{10} \frac{D}{10 \text{ pc}}$$

- metoda je použitelná pro objekty, které jsou dostatečně jasné k získání spekter, tedy do vzdáleností několika desítek kpc



metody „standardních svíček“

- **cefeidy** – proměnné hvězdy s dobře definovanou závislostí periody změn a jejich zářivého výkonu
- 2 typy (populace I a populace II):
 - typ I: $M_V = -1,304 - 2,786 \log P$ nebo $M_B = -1,007 - 2,386 \log P$
 - typ II: $M_V = 0,05 - 1,64 \log P$ nebo $M_B = 0,31 - 1,23 \log P$
- dosah – 30 až 40 Mpc s přesností pod 10 %

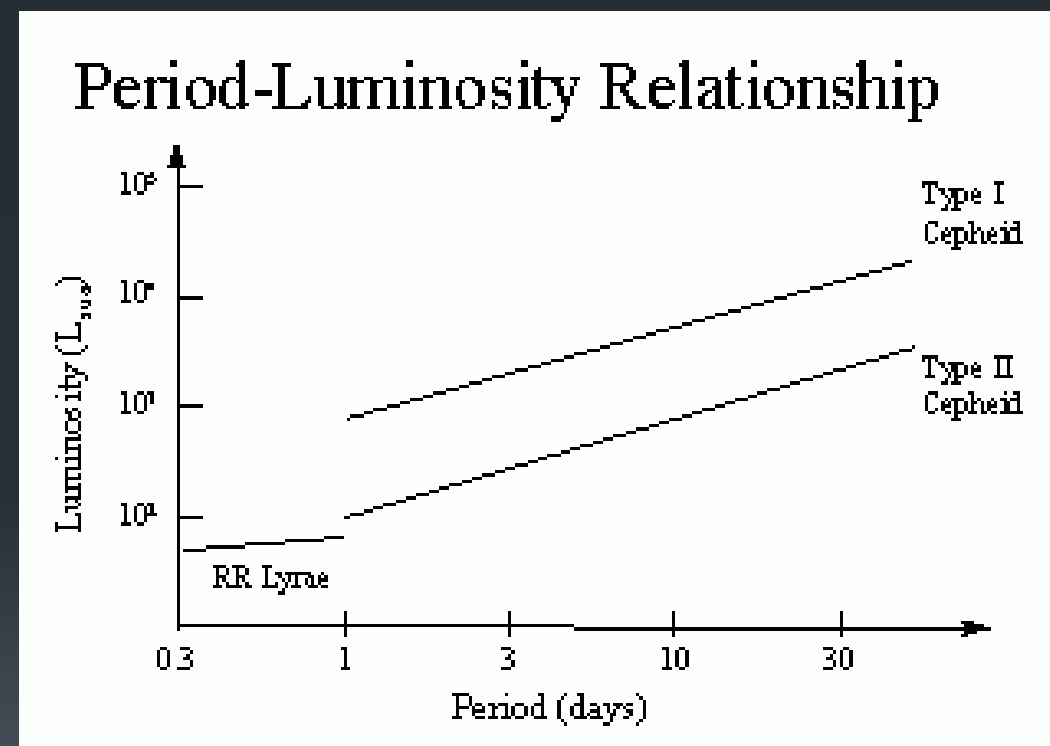


metody „standardních svíček“

- **RR Lyrae** – proměnné hvězdy v kulových hvězdokupách, populace II, hmotnost 0,5 M Slunce
- perioda hodiny až cca 1 den
- platí $M_I = 0,839 - 1,295 \log P + 0,211 \log Z$
kde Z je metalicita hvězdy:

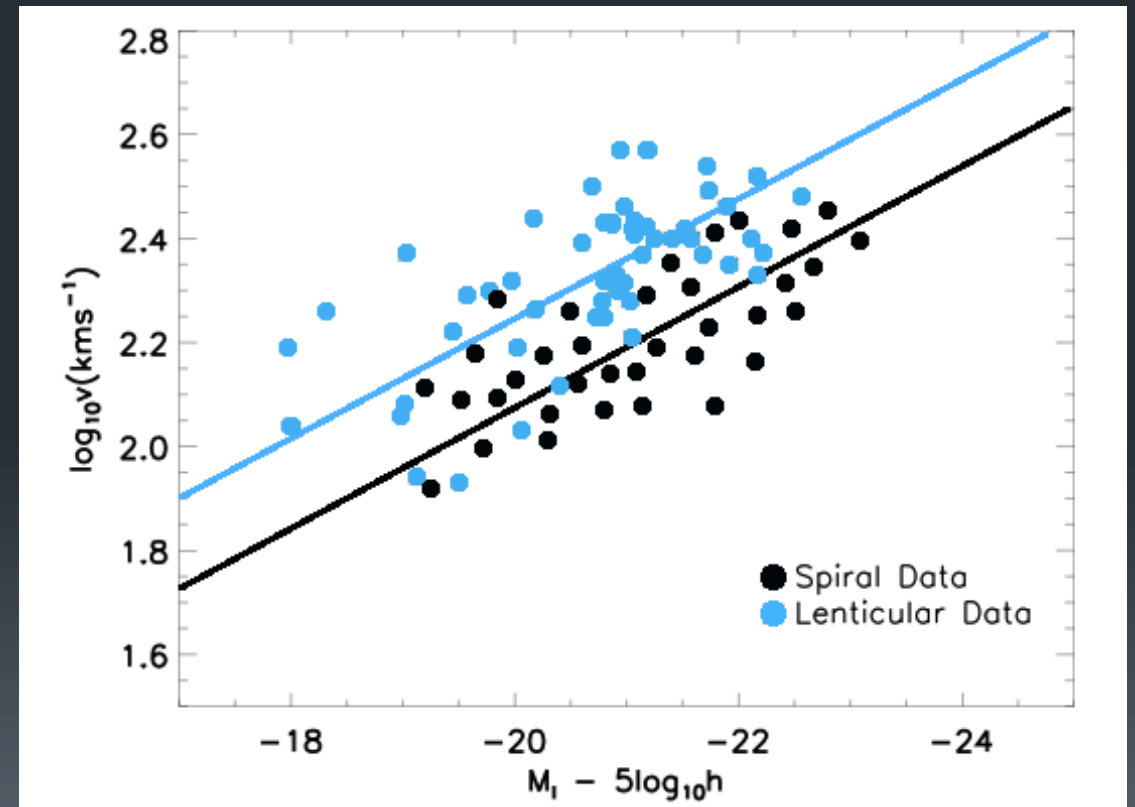
$$Z = \log_{10} \left(\frac{n_{Fe}}{n_H} \right) - \log_{10} \left(\frac{n_{Fe}}{n_H} \right)_S$$

- dosah cca 1 Mpc



Tullyho – Fisherův vztah

- empirický vztah mezi zářivým výkonem spirálních galaxií L a jejich maximální rotační rychlostí V_{max}
- v praxi je V_{max} určována měřením emisní čáry HI s vlnovou délkou 21 cm
- platí tedy: $L \propto \Delta v^\Gamma$, kde exponent $\Gamma = 2,5 \pm 0,3$ byl určen experimentálně
- vztah je kalibrován cefeidami
- chyba je 15 % (nepřesnost vnáší více faktorů)



Faberové – Jacksonův vztah

- obdoba TF vztahu, FJ vztah se týká eliptických galaxií, je to závislost zářivého výkonu L galaxie a disperze rychlosti hvězd v centrální oblasti galaxie σ :

$$L \propto \sigma^\alpha,$$

kde exponent α je určen empiricky $\sim 4 \pm 1$

- někdy se zavádí parametr luminozitní průměr galaxie D_n a pak má vztah podobu:

$$D_n \propto \sigma^\gamma,$$

kde exponent $\gamma = 1,20 \pm 0,10$ je určen empiricky

další metody

- rozpínání fotosféry

$$D_L = \frac{R_f}{\theta} = \frac{v_f(t - t_0) + R_0}{\theta}$$

přesnost cca 10 %

- SN typu Ia
 - výbuch BT s hmotností $1,4 M_{\odot}$, tedy je to „standardní svíčka“
 - absolutní hvězdná velikost je pak $M_B \approx M_V \sim -19,3 \pm 0,3$
 - empirický Phillipsův vztah $M_{max,B} = -21,726 + 2,698\Delta m_{15,B}$, kde $\Delta m_{15,B}$ je změna jasnosti za 15 dnů po maximu

Extragalactic Distance Ladder

