



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

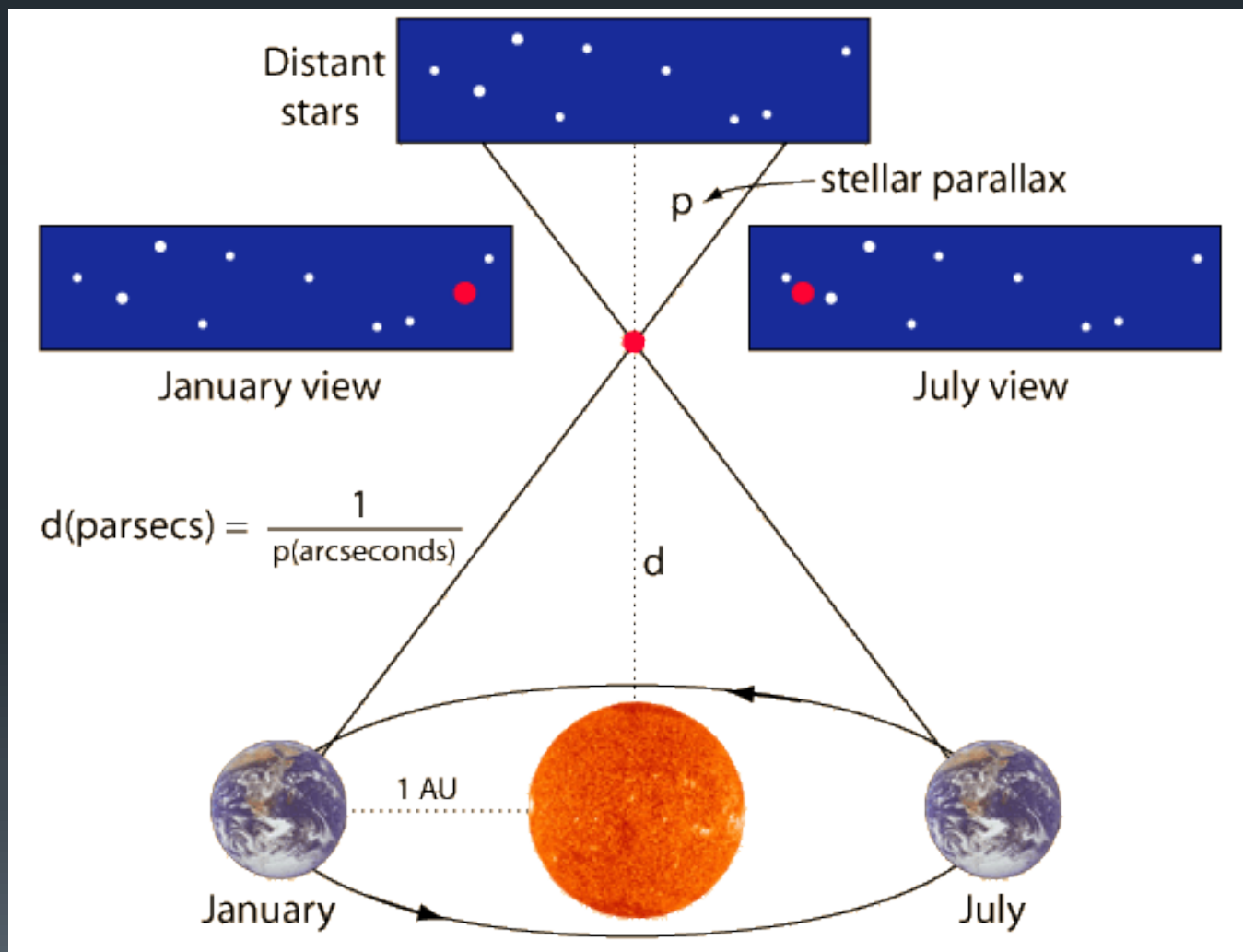
Radar Astrometry



a radio pulse is beamed to the planet in question, and reflected pulse is detected and timed, the time of reflect times the speed of light equals the distance to the planet

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 $D_L = \frac{1}{p}$

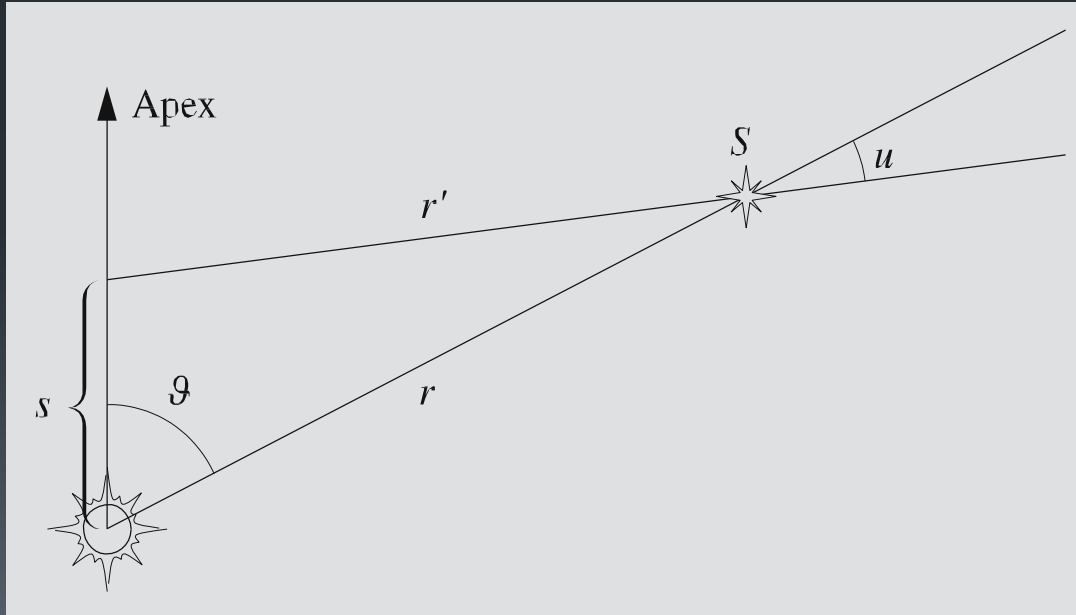


roční paralaxa – triangulace

- 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 pracuje od roku 2013 a je schopna měřit s přesností cca 10 mikro úhlových vteřin, po dokončení projektu budou 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:

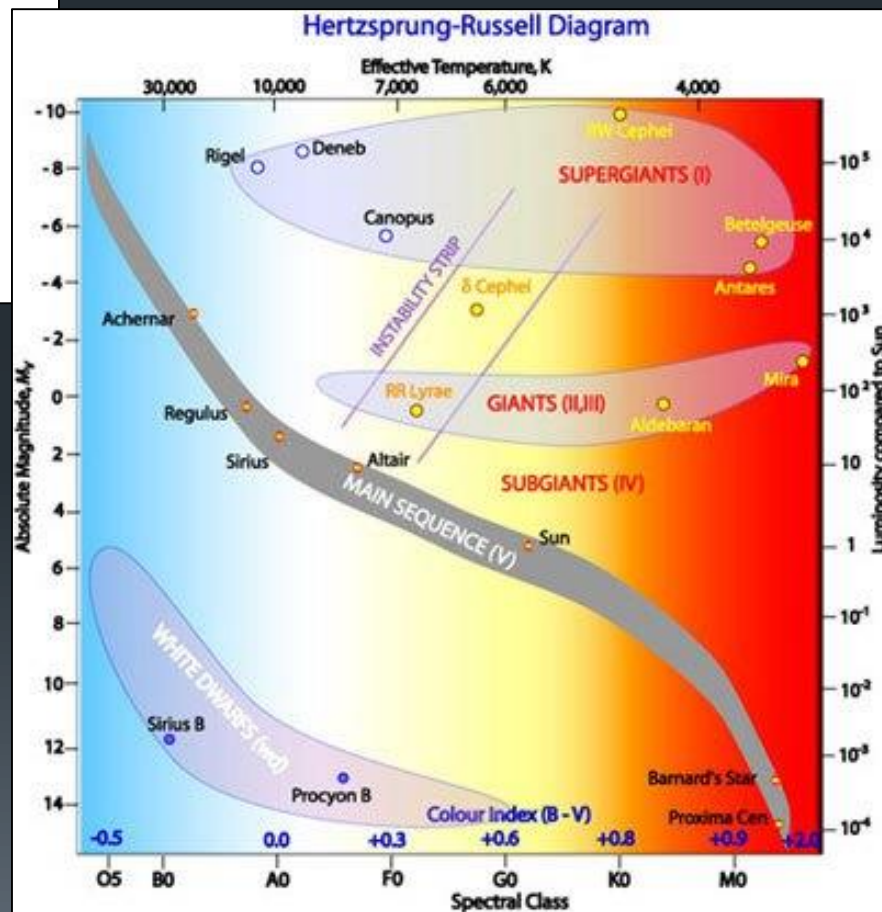
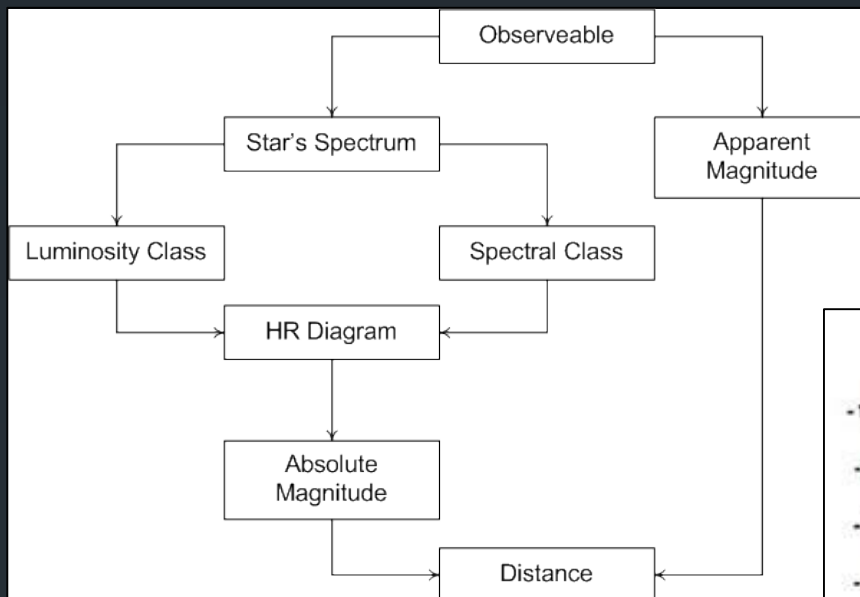
$$\bar{\pi}_{sec} = \frac{4,74 \langle v \sin \lambda \rangle}{v_{\odot} \langle \sin^2 \lambda \rangle}$$

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:

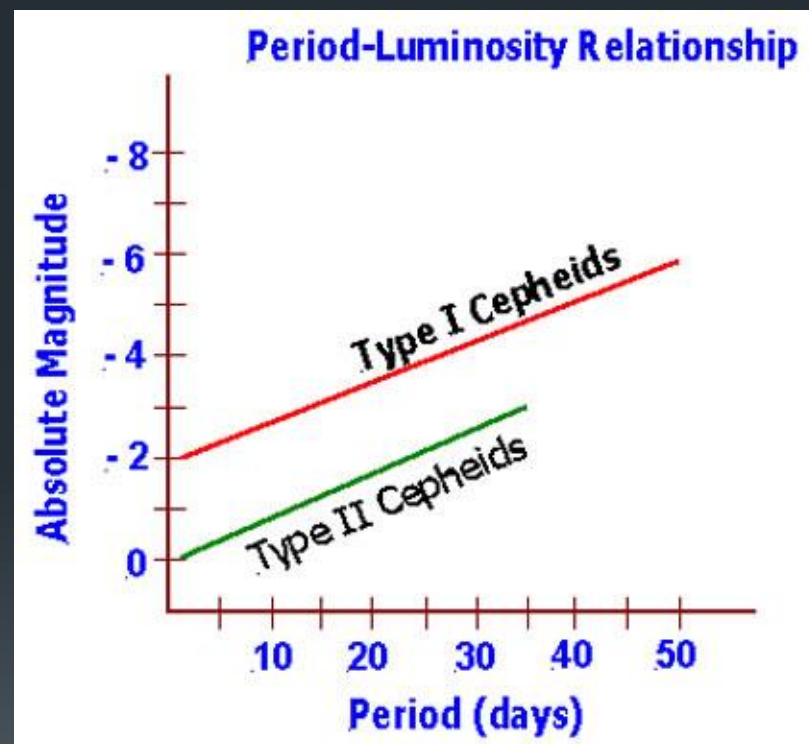
$$m - M = 5 \log_{10} \frac{D}{10 \text{ pc}}$$

- 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 %

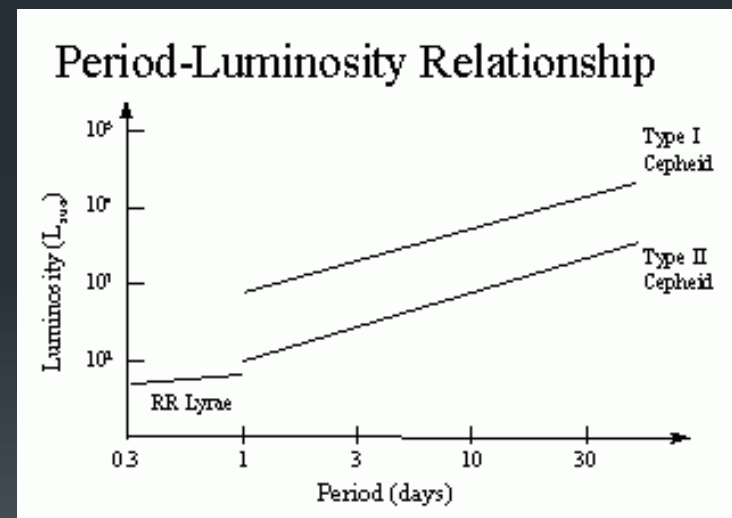


metody „standardních svíček“

- **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:

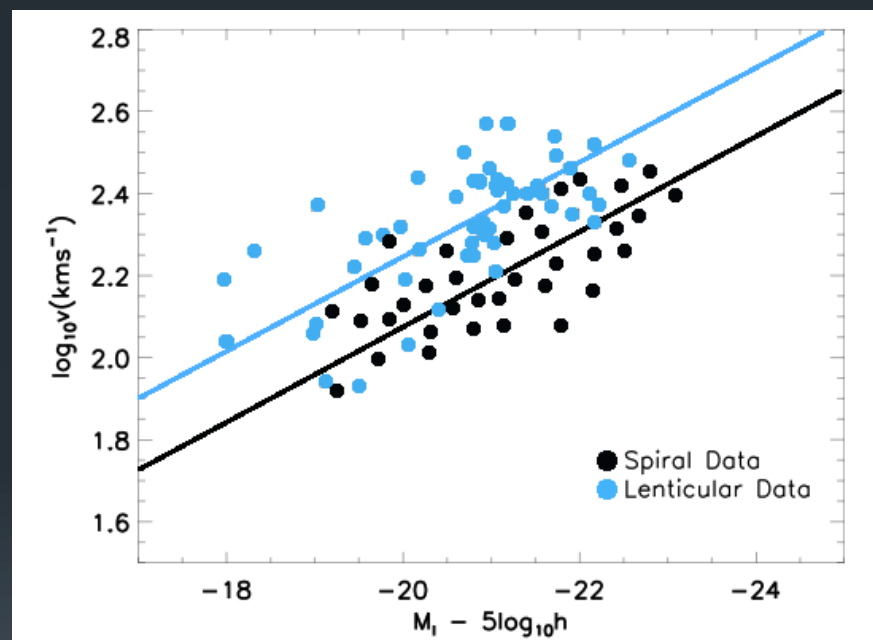
$$Z = \log_{10} \left(\frac{n_{Fe}}{n_H} \right) - \log_{10} \left(\frac{n_{Fe}}{n_H} \right)_S$$

- 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

