



HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM
ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

Měření vzdáleností ve vesmíru



Metody měření:

- přímá měření
- odhady vycházející z představ o vesmírných objektech



1.

Měření vzdáleností ve Sluneční soustavě

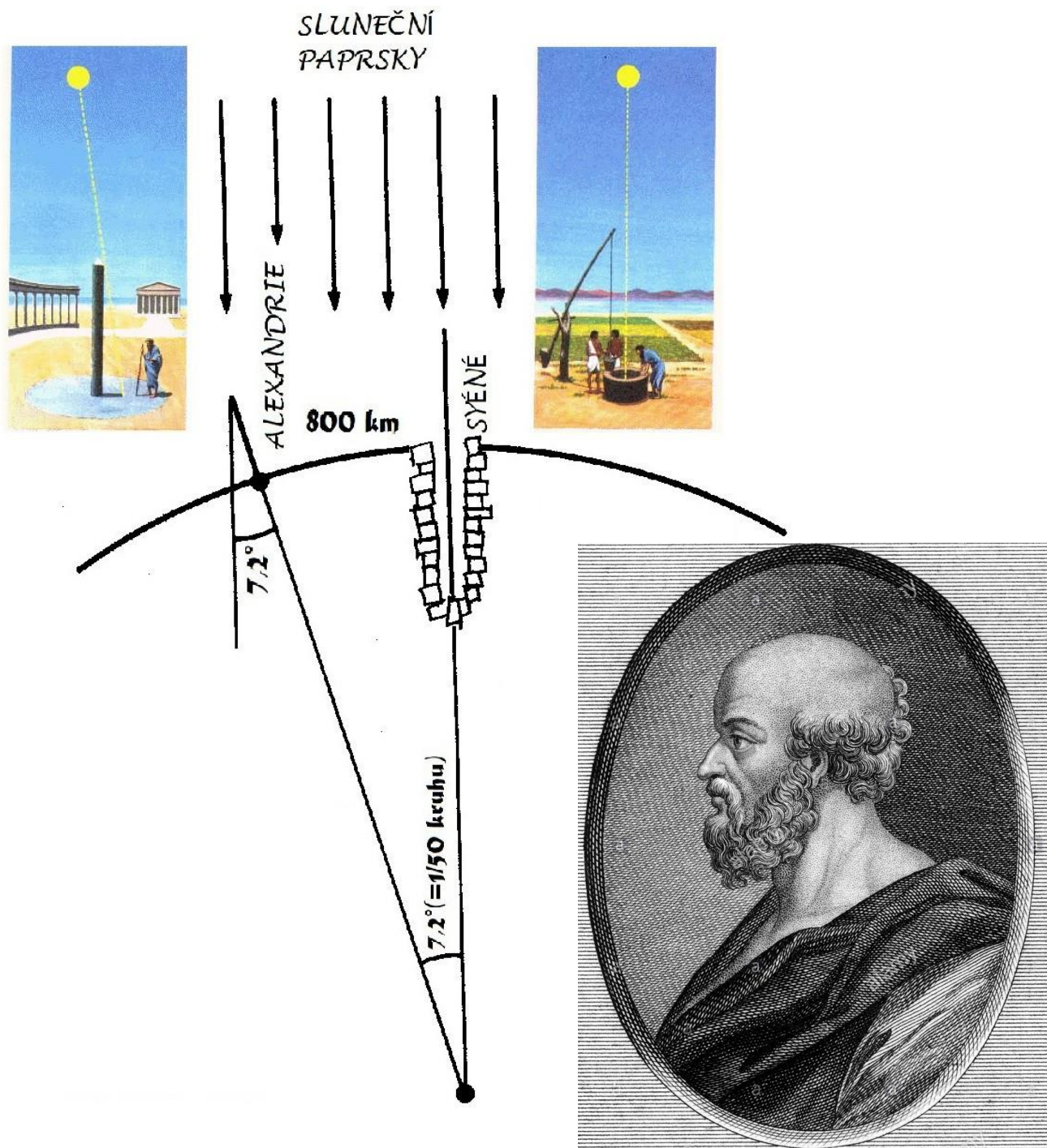


Jednotky délky:

- **Kilometr**
- **Astronomická jednotka**
- **Světelná sekunda**
- **Světelný rok**
- **Parsec**



Velikost Země

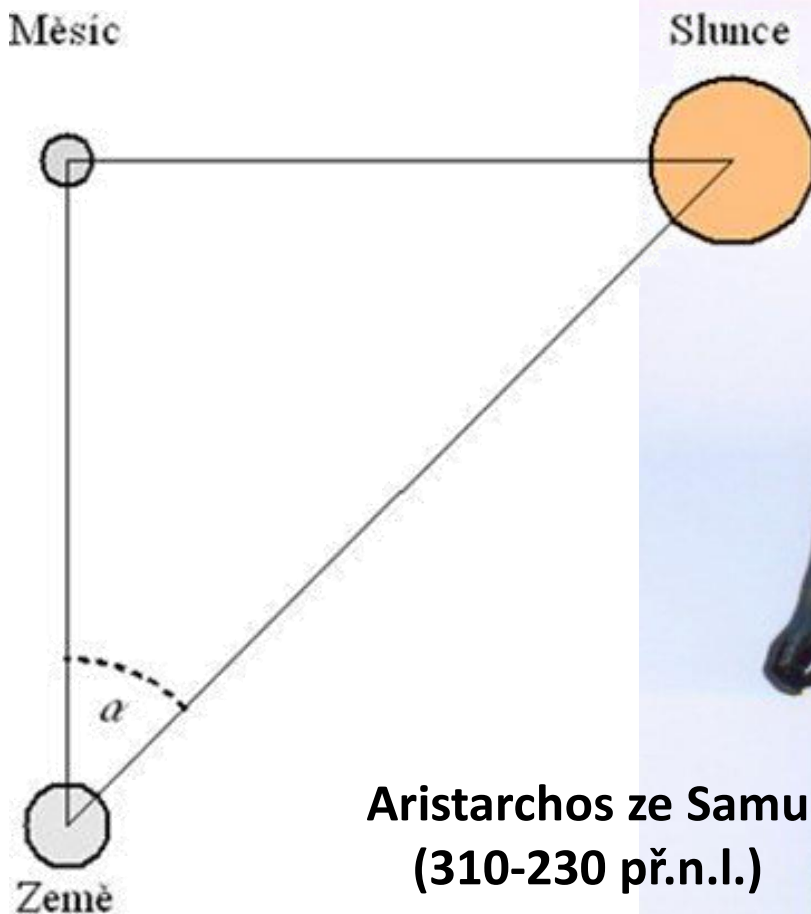


Touto metodou Eratosthenés z Kyrény (276 – 194 př.n.l.) zjistil obvod naší planety s 2% odchylkou od skutečné hodnoty.



Velikost a vzdálenost Měsíce

Aristarchova metoda určení poměru vzdáleností Slunce od Země a Měsíce od Země:



Aristarchos ze Samu
(310-230 př.n.l.)



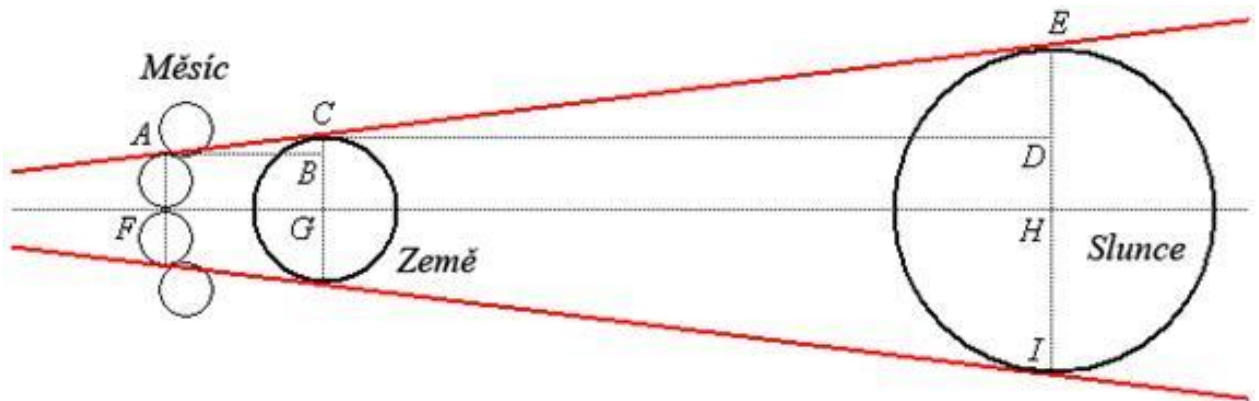
Aristarchos $\alpha = 87^\circ$ (skutečnost = $89^\circ 51'$)

vzdálenost Země – Slunce : Země – Měsíc

Aristarchos pouze 19:1 (skutečnost = 390:1)



Velikost a vzdálenost Měsíce



Pomocí zatmění Měsíce určil Archistarchos také poměr velikostí Země, Měsíce a Slunce

Aristarchos $r_{\odot} = 19 r_M = 6,67 r_Z$ (skutečnost $r_{\odot} = 109 r_Z$)

Určil vzdálenosti:

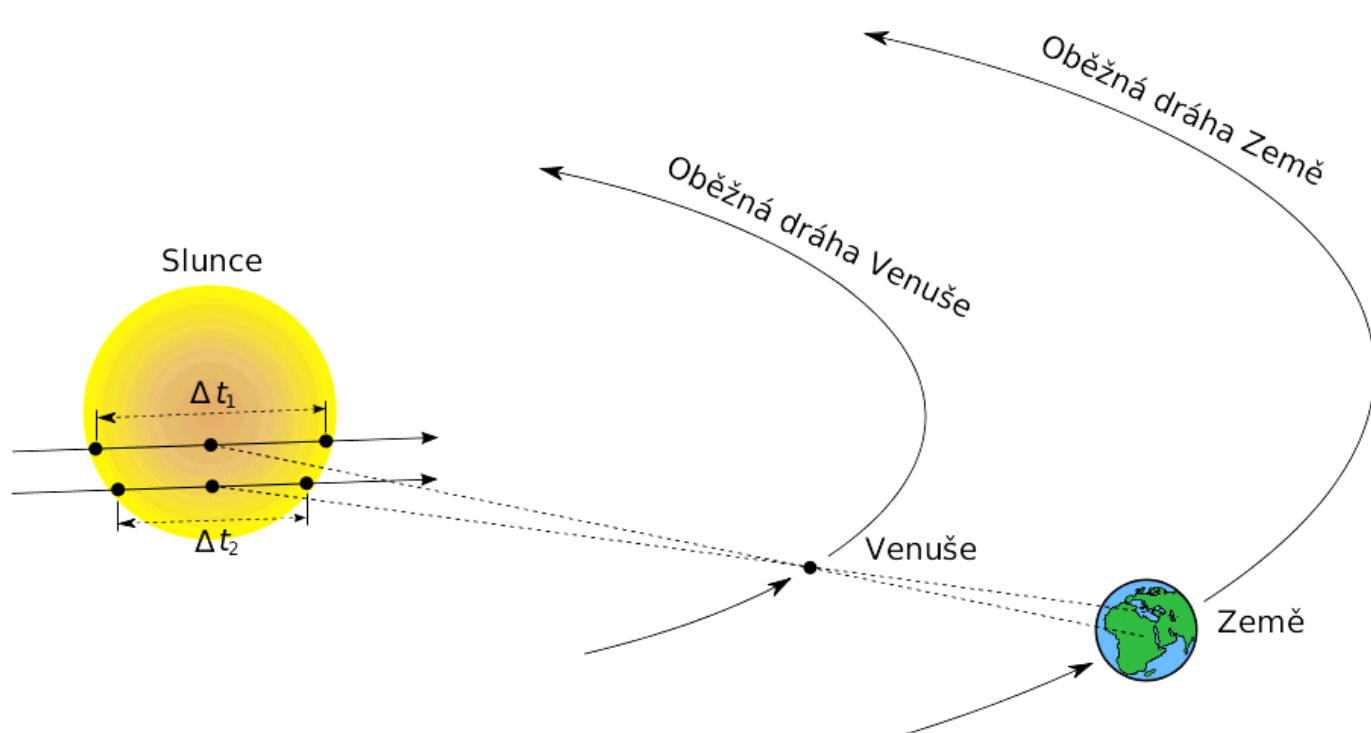
Země – Slunce = 720 průměrů Země (skutečnost 11726)

Země – Měsíc = 38 průměrů Země (skutečnost 30,2)



Vzdálenost Slunce

Pomocí přechodů Venuše přes sluneční disk byla také zjištěna Sluneční paralaxa (úhel, pod kterým by byl pozorován rovníkový poloměr Země ze středu Slunce = vzdálenost 1 AU). Její hodnota je 8,764 148".



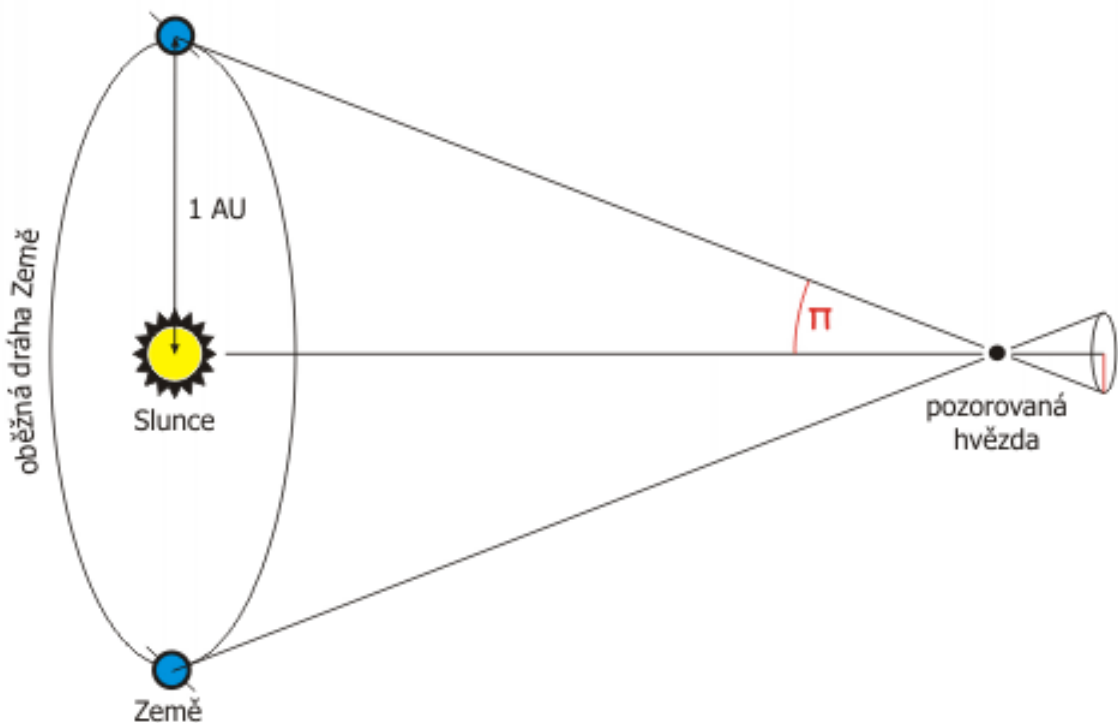
Z Keplerových zákonů pak vyplývá i vzdálenost Země od Slunce:

$$1 \text{ AU} = 149\,597\,870,70 \text{ km}$$



Převod na jiné jednotky

- 1 AU = 149 597 870,7 km \approx 8,317 světelných minut
- 1 světelná sekunda \approx 0,002 AU
- 1 světelná minuta \approx 0,120 AU
- 1 světelná hodina \approx 7,214 AU
- 1 světelný den \approx 173 AU
- 1 světelný rok (ly) \approx 63 241 AU
- 1 parsec (pc) \approx 206 265 AU



Parsec (pc) je převrácenou hodnotou paralaxy

$$1 \text{ pc} \leftrightarrow 1''$$
$$1000 \text{ pc} \leftrightarrow 0,001'' \leftrightarrow 1 \text{ kpc}$$

$$1 \text{ pc} \approx 3,262 \text{ ly} \approx 30 \text{ bilionů km}$$



Současné přesné metody

Poměrně malé vzdálenosti uvnitř sluneční soustavy měříme pomocí radaru nebo laseru.

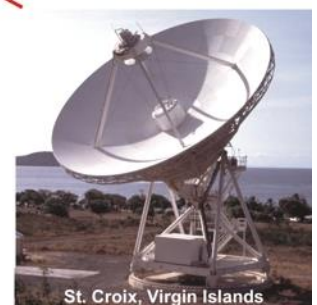
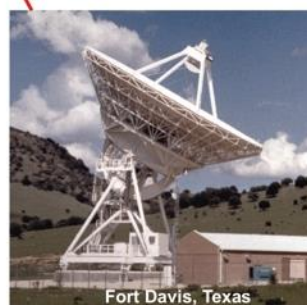
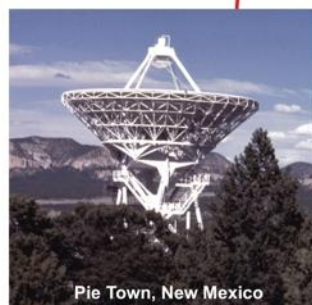
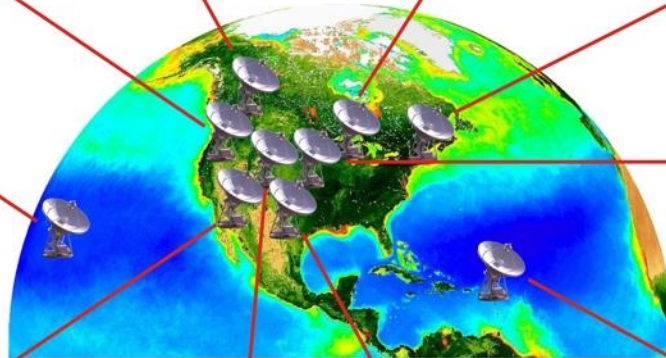
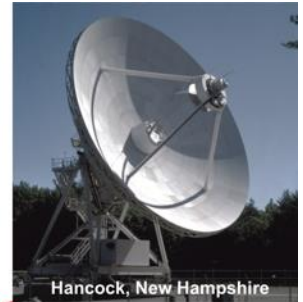


Very Large Array (VLA) Nové Mexiko, USA

- Přímé měření odrazem (např. planety)
- Zjišťování objektů v prostoru a určování jejich polohy a parametrů pohybu pomocí elektromagnetických vln



VLBA (Very Long Baseline Array)



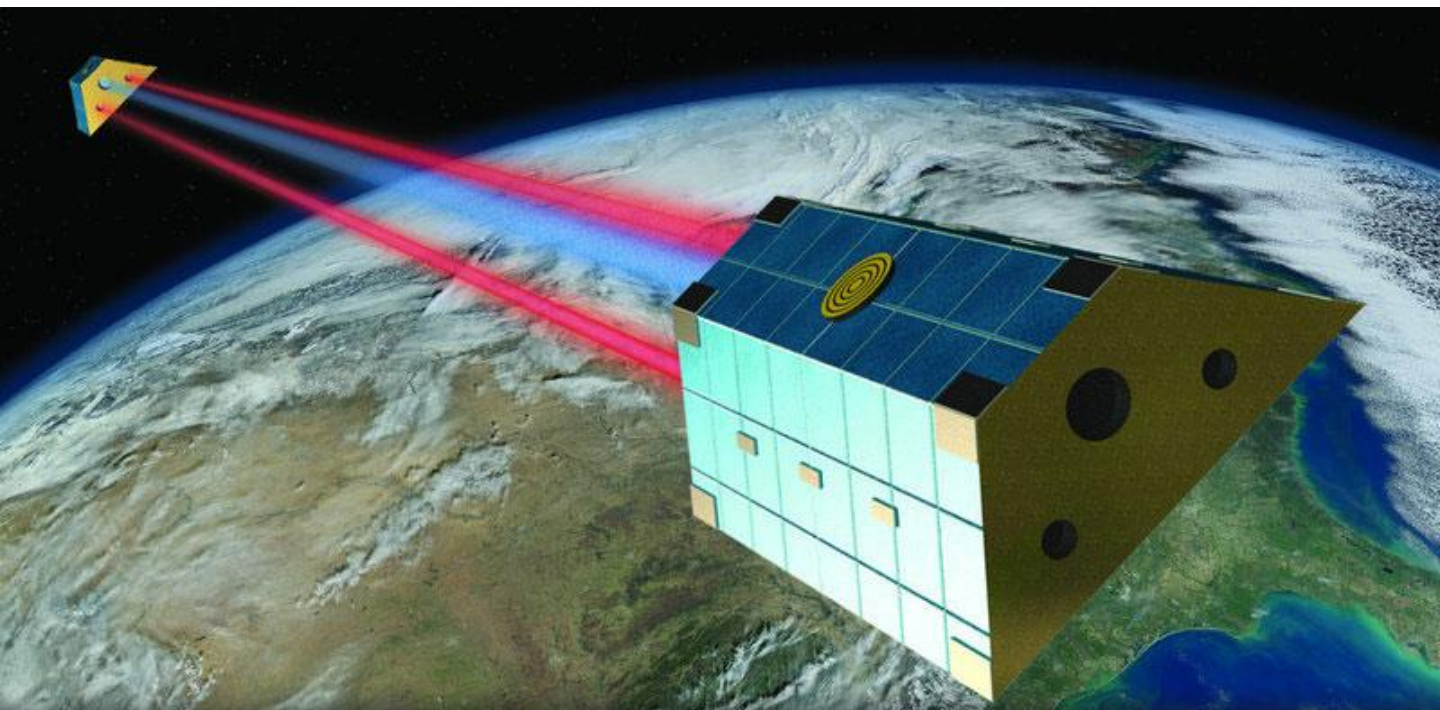
System deseti radioteleskopů, každý s jednou anténou o průměru 25 metrů.

Přesnost systému = 0,00001“



Laserová měření

Vzdálenost např. Měsíce, přesné určování oběžných drah družic, ...



- Určení vzdálenosti je založeno na měření časového intervalu, který uplyne mezi vysláním impulsu optického záření a okamžikem návratu odraženého impulsu od měřeného objektu
- Využívá se malá rozbíhavost laserového záření a dále schopnost generování velmi krátkých impulsů (řádově 10 – 12 s)

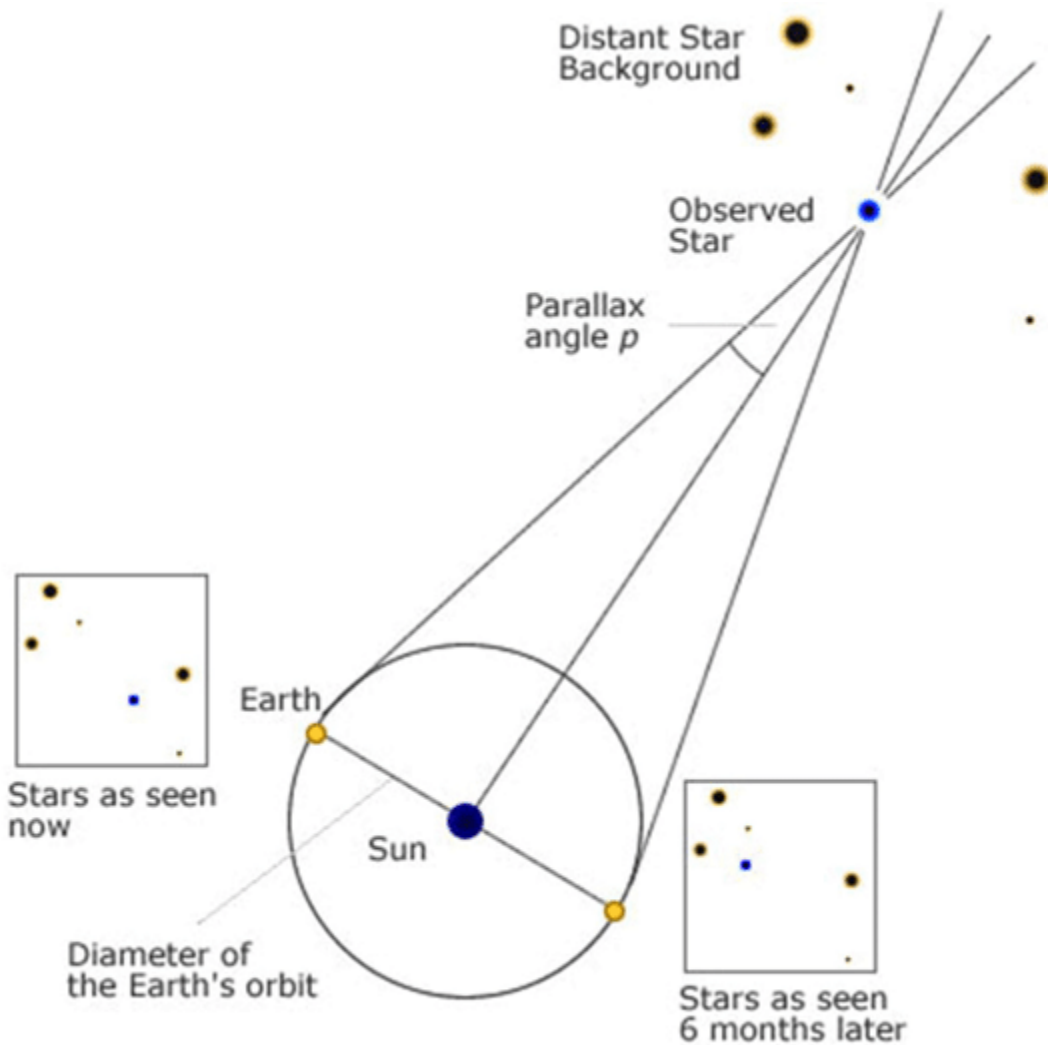


2.

Měření vzdáleností mimo Sluneční soustavu



Měření vzdálenosti blízkých hvězd v naší Galaxii



Pomocí paralaxy – jen pro blízké hvězdy



Roku 1838 změřil Friedrich Bessel (1784 – 1846)

1. paralaxu a to hvězdy 61 Cygni

$0,3136'' = 10,28 \text{ ly}$

(současná přesná měření: $0,28588'' = 11,4 \text{ ly}$)

Hvězda A má malý
úhel paralaxy,
protože je daleko.

Polohy hvězd měřené vždy
s púľročním odstupem
z opačného místa dráhy Země.

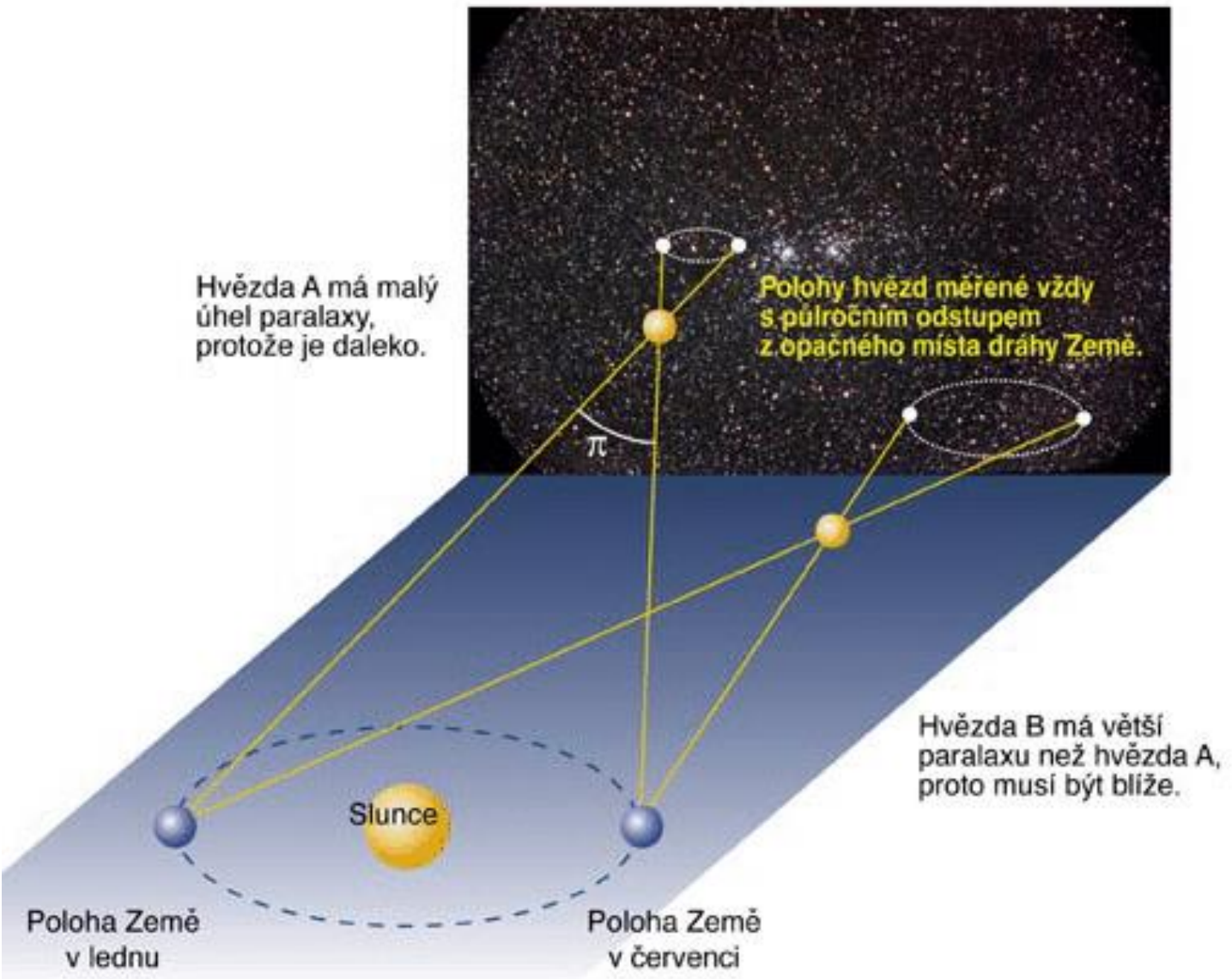
Poloha Země
v lednu

Poloha Země
v červenci

Hvězda B má větší
paralaxu než hvězda A,
proto musí být blíže.

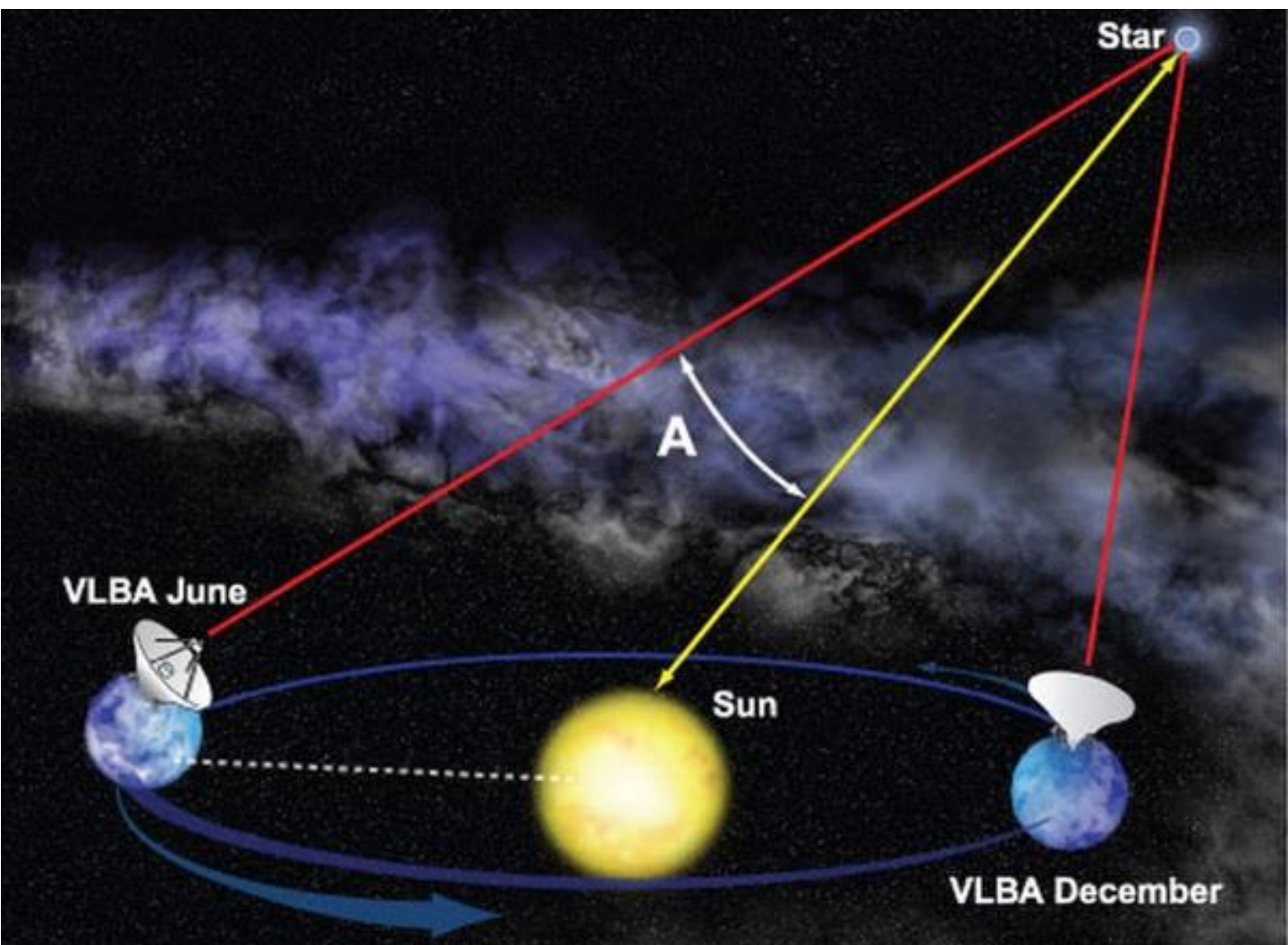
Slunce

π





Paralaxy některých známých hvězd



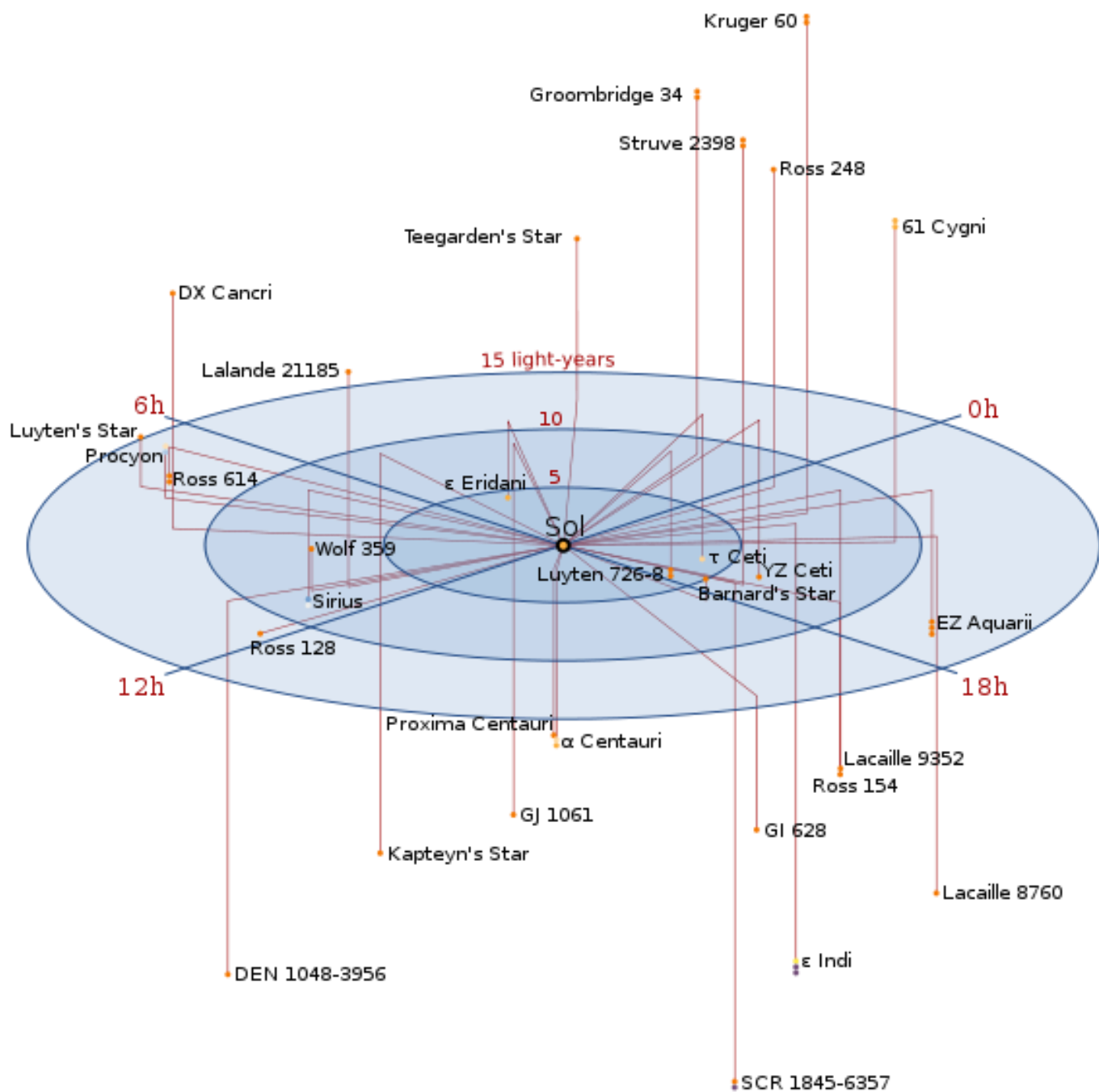
VLBA (Very Long Baseline Array). Schopnosti systému VLBA umožnily astronomům přesně změřit a jednoznačně určit vzdálenosti našeho blízkého okolí použitím prosté trigonometrie.

| | | |
|------------------|--------|------------|
| Proxima Centauri | 0,768" | 4,24 ly |
| Sirius | 0,376" | 8,66 ly |
| 61 Cygni | 0,286" | 11,4 ly |
| Procyon | 0,286" | 11,4 ly |
| Vega | 0,140" | 25 ly |
| Polárka | 0,008" | cca 400 ly |

Paralaxy hvězd jsou menší než 1"



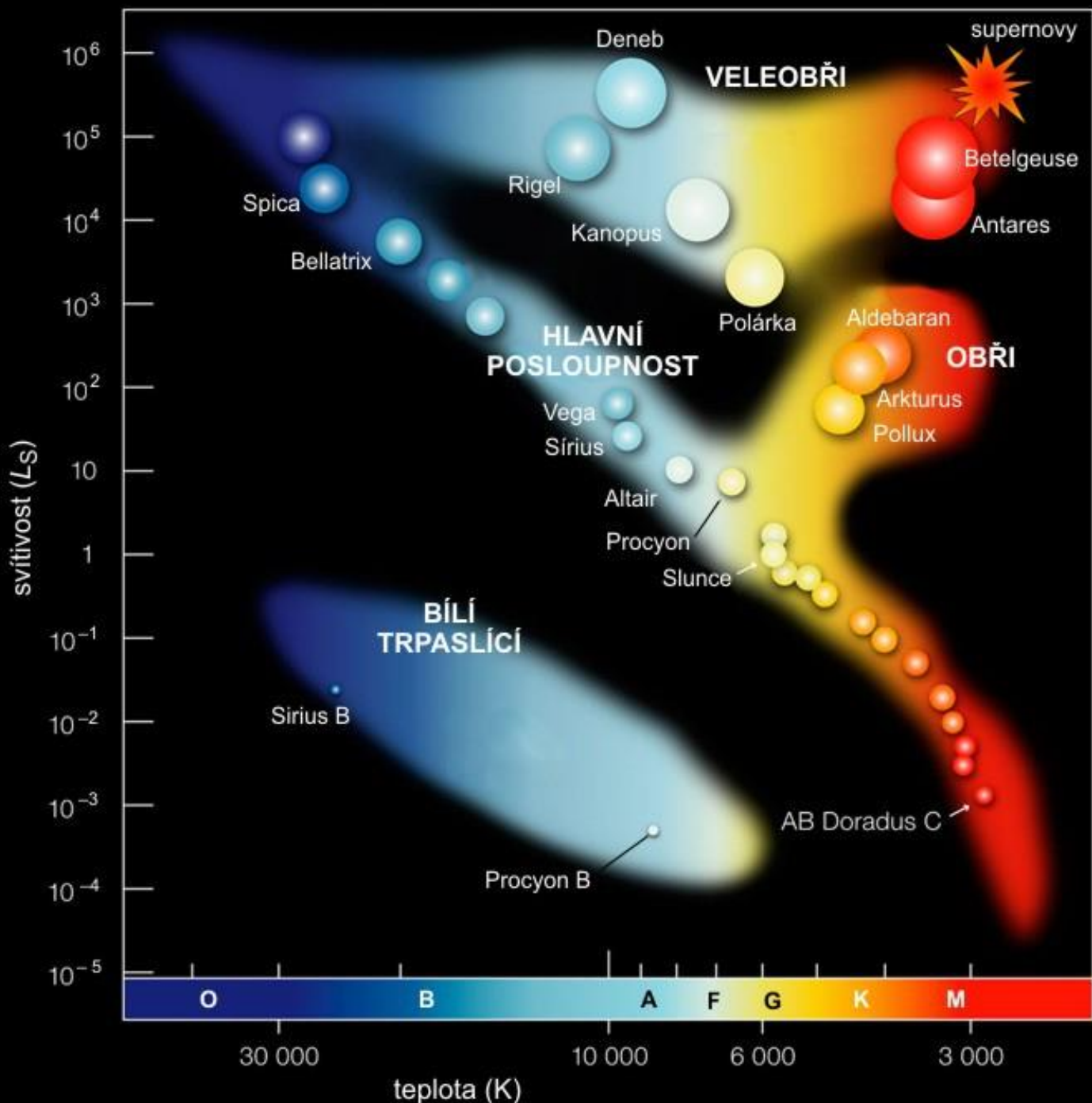
Blízké okolí Slunce





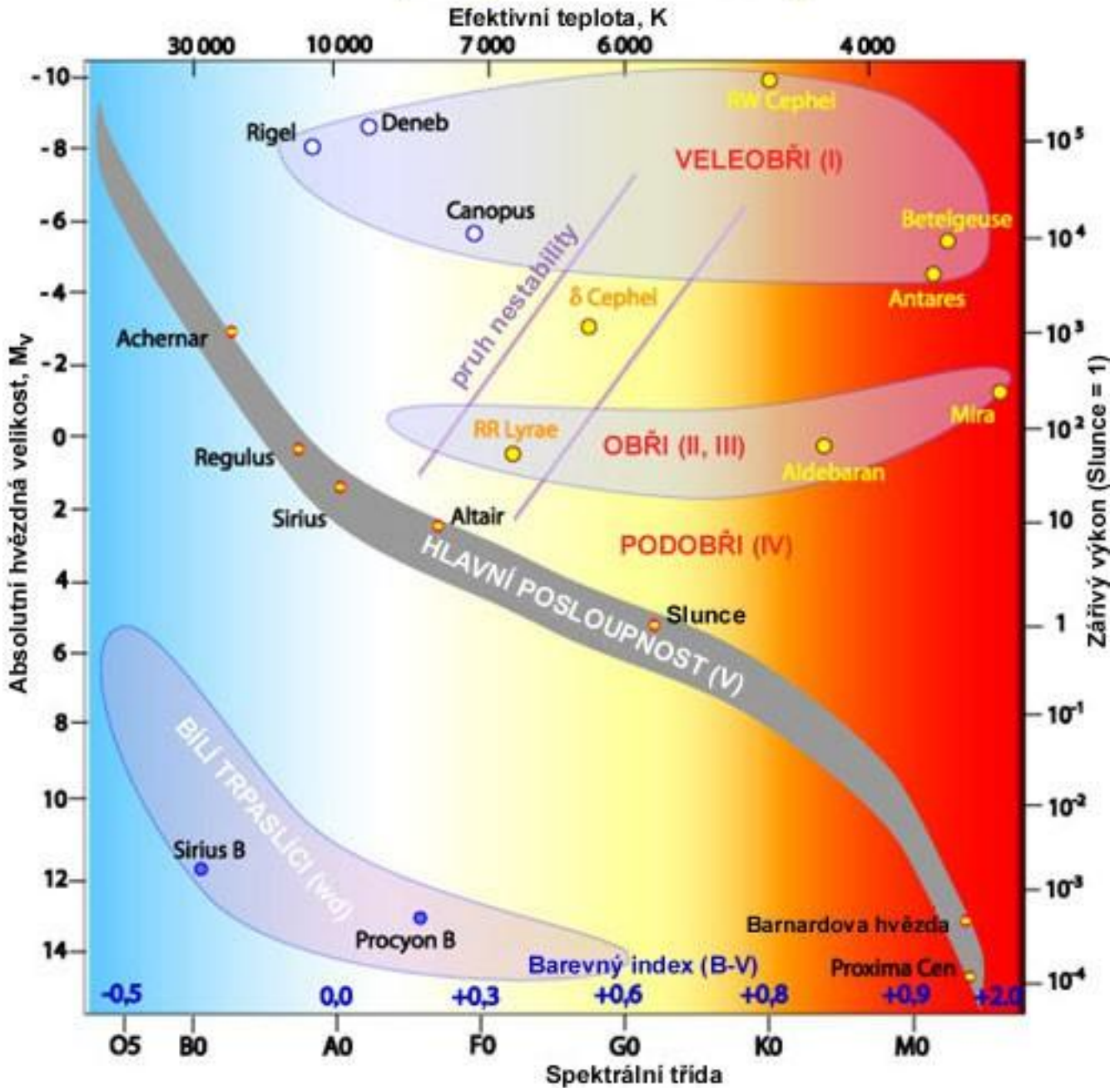
Měření vzdálenosti vzdálených hvězd naší Galaxie

pomocí H-R diagramu





Hertzsprungův-Russelův Diagram



H-R diagram v závislosti zářivosti (L) na absolutní hv. vel. (M)

$$M = m + 5 - 5 \log d$$

M – absolutní hvězdná velikost

m – hvězdná velikost (magnituda)

d – vzdálenost (pc)

stačí změřit hvězdnou velikost (m)



2 hvězdy o stejné zářivosti, ale jedna je 16x jasnější



potom ta druhá je čtyřnásobně dále

metodu je možno využít pouze pro vzdálenosti v naší Galaxii (max. cca 250 000 ly)

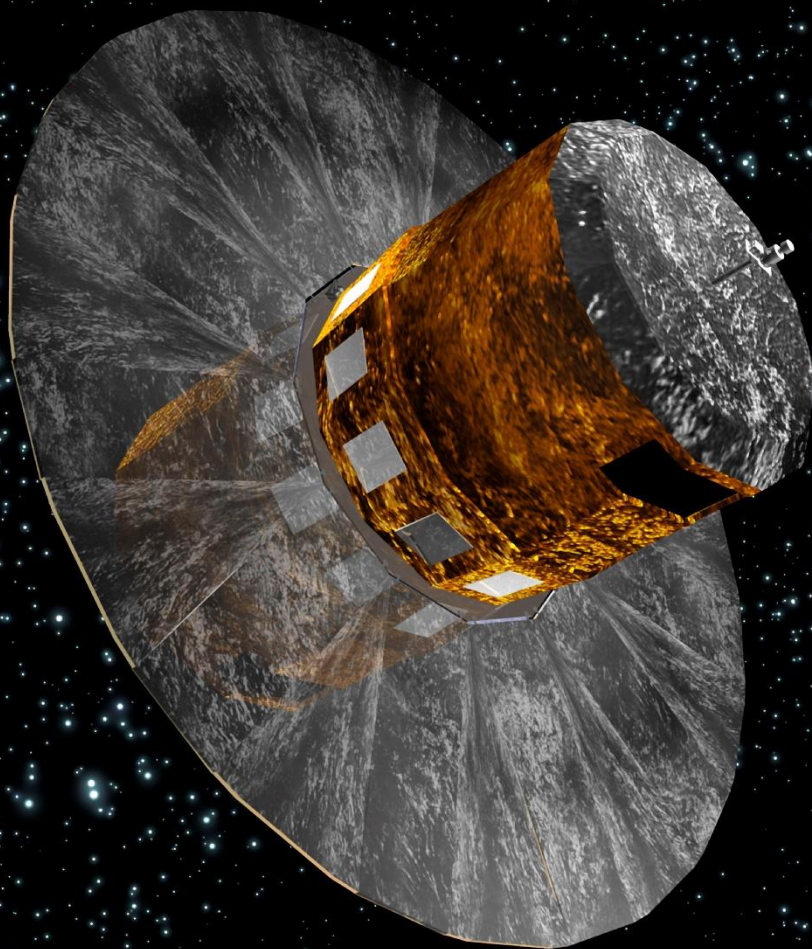


Družice GAIA

GAIA (ESA)

| | |
|----------------------------|-------------------|
| Start: | 19. prosince 2013 |
| Výška oběžné dráhy: | 1 500 000 km |
| Průměr: | 1,4 m |
| Hmotnost: | 2 030 kg |
| Pozorování v oboru: | viditelné světlo |

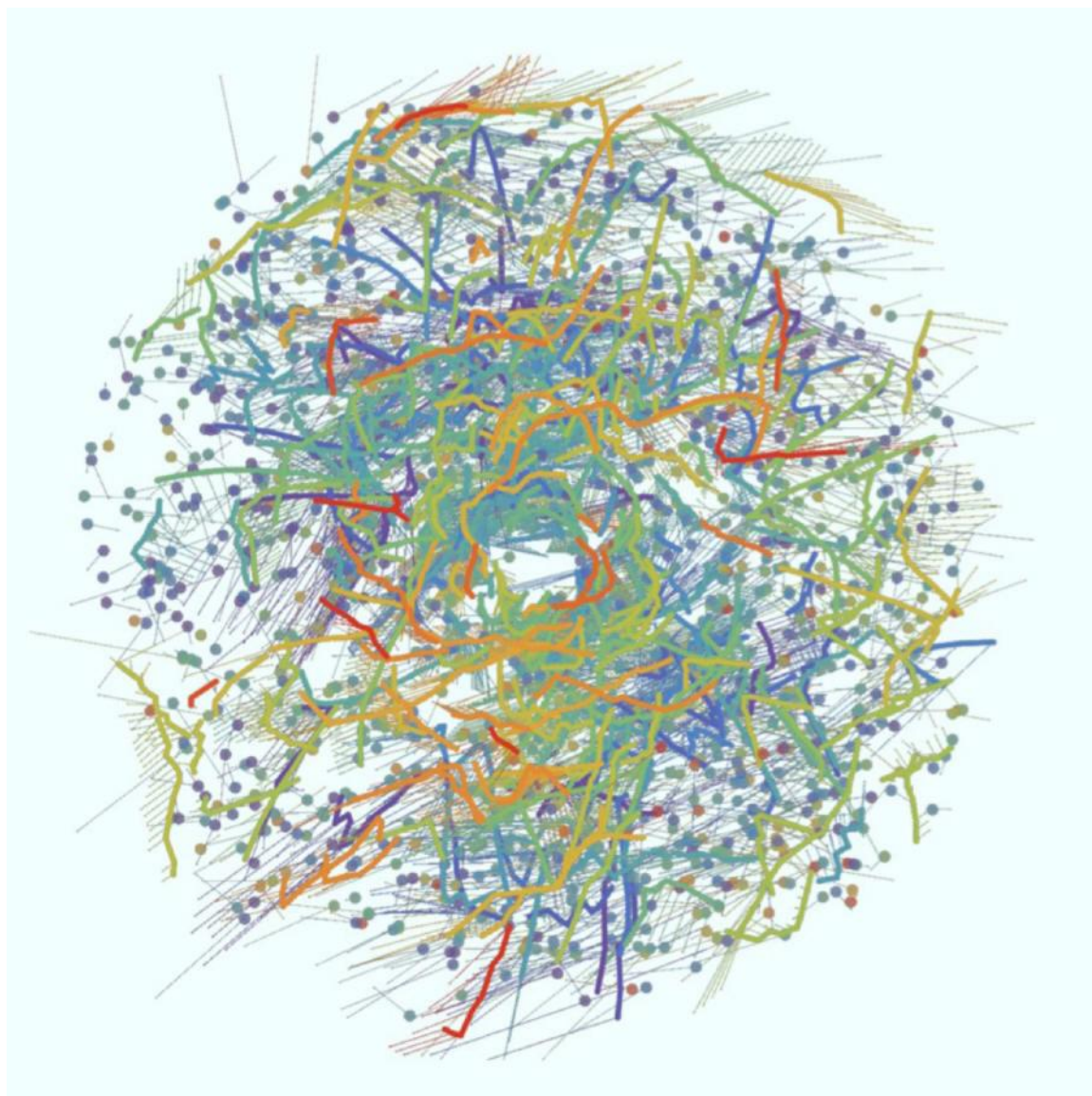
Evropská družice GAIA je nejpřesnějším zařízením pro měření vzdáleností hvězd. Nejmenší hodnota úhlu dosahuje 0,000 02“





Družice GAIA

Jejím úkolem je sledovat miliardu hvězd a vytvořit tak trojrozměrnou mapu naší Galaxie. Díky tomu nám sonda odhaluje zajímavosti o složení, formování a evoluci naší Galaxie.



Pohled na naši Galaxii shora: rozložení hvězdokup (kroužky) a společně se pohybujících skupin hvězd (tlusté čáry) do vzdálenosti 3 300 světelných let od Slunce



HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM
ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

Naše Galaxie družicí GAIA





HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM
ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

Měření vzdálenosti blízkých galaxií

pomocí cefeid

Henrietta Swan Leavittová
(1868—1921)

vztah perioda/svítivost



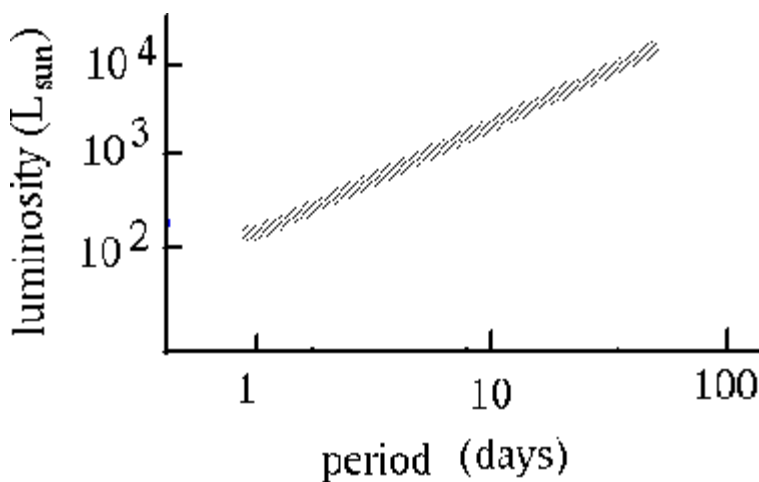
tzv. "Pickering's Harem," na Harvard College Observatory (1890)



H. Leavittová:

- Závislost změny jasnosti (L) na době periody
- Změříme jasnost hvězdy (m), vypočítáme absolutní hvězdnou velikost (M)

Tedy: čím delší perioda, tím větší zářivost



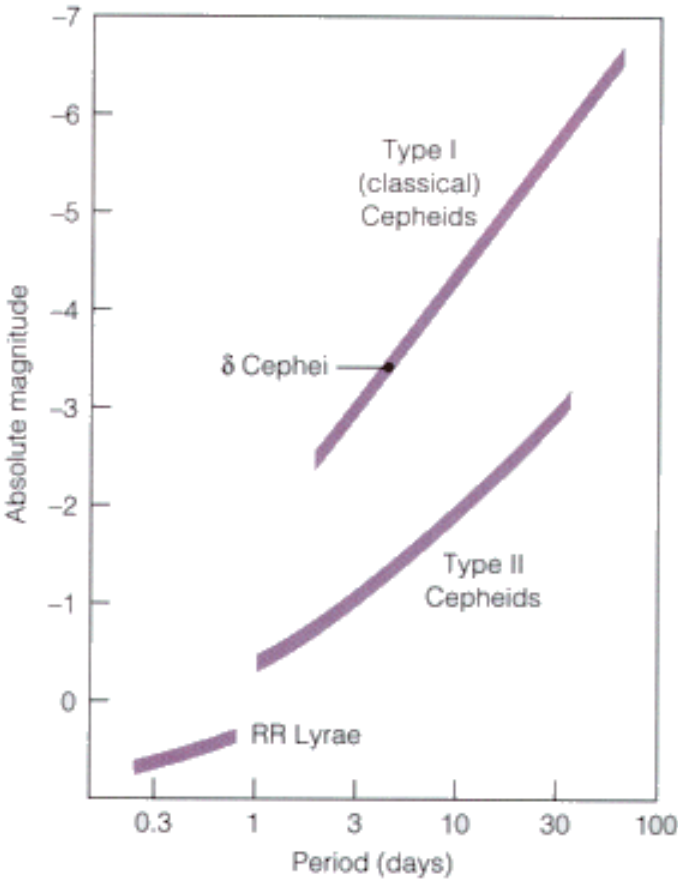
$$M = m + 5 - 5 \log d$$

Cefeidy jsou jasné nestabilní proměnné hvězdy, které pulsují a díky tomu mění svoji jasnost. Existuje u nich přímá souvislost mezi periodou pulsací a absolutní jasností.

Cefeidy, které pulsují rychleji, jsou slabší než ty s dlouhou periodou. A tento vztah, známý jako perioda-svítivost, umožňuje jejich použití jako standardních svíček k určování vzdálenosti blízkých galaxií.

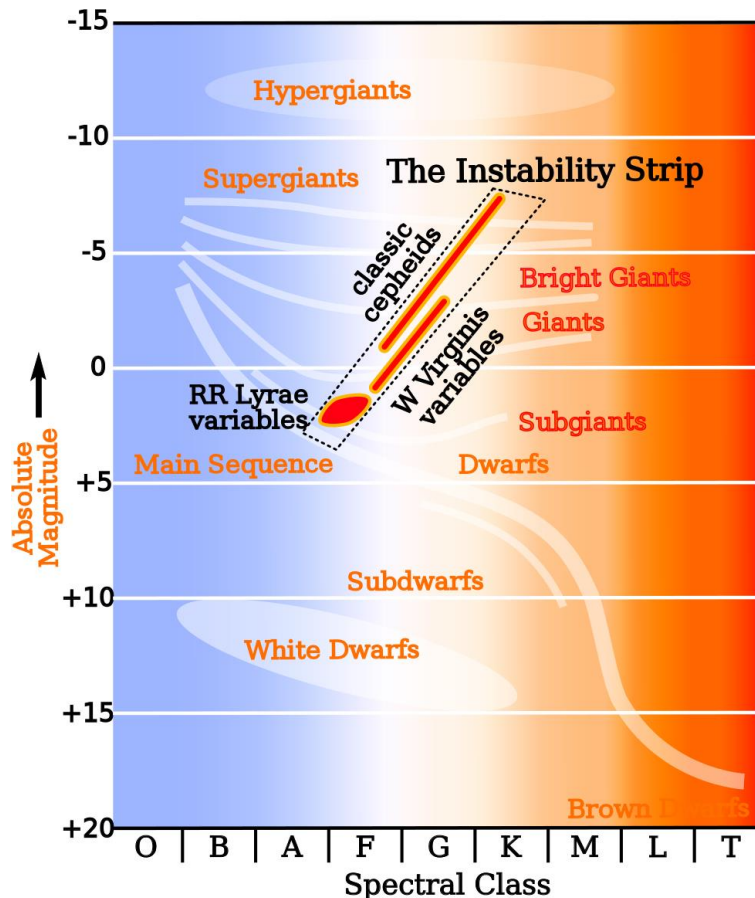


HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI



cefeidy typu I, II

cefeidy typu
RR Lyrae (0,5 mag)





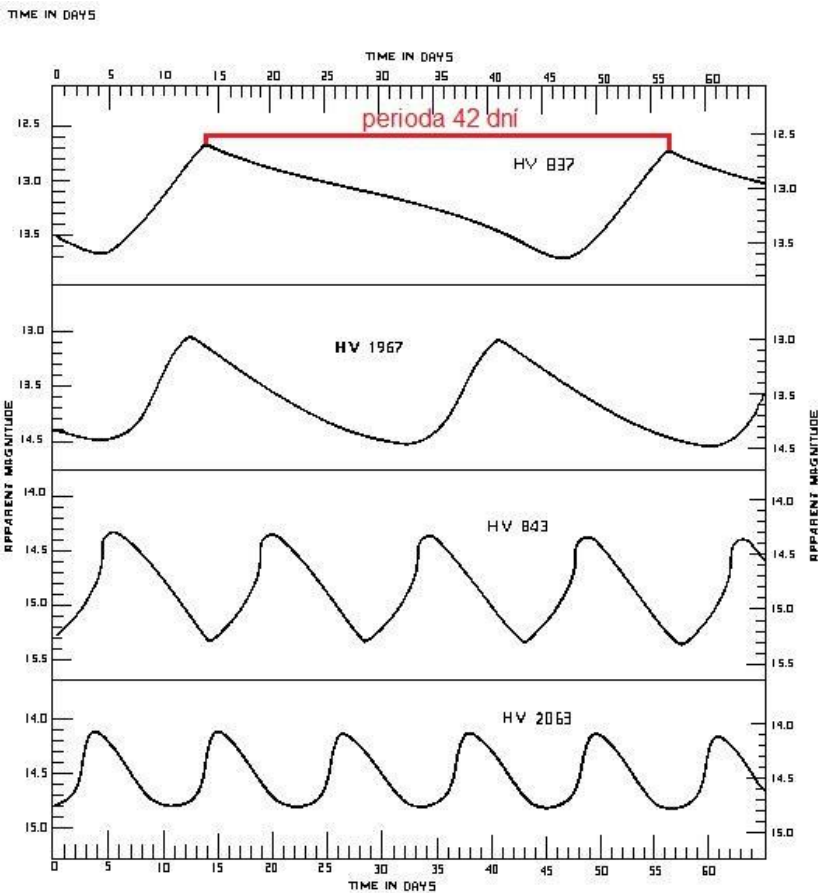
Pokud víme, jak svíčka svítí a jak jasná se zdá, můžeme vypočítat, jak daleko je.



Pak stačí určit vzdálenost té nejbližší cefeidy



HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

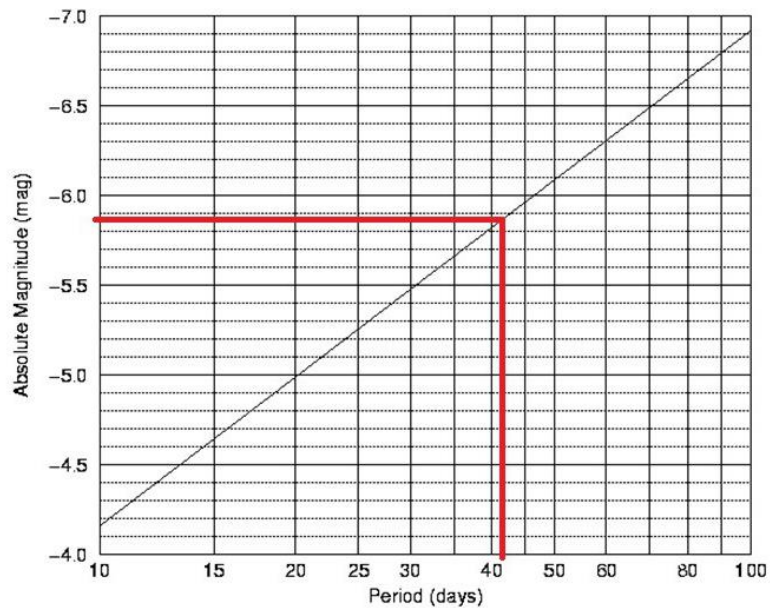


**Je nutné znát
typ cefeidy**

**cefeidy mají použitelnost
do vzdálenosti
cca 100 mil ly**

**(RR Lyrae do 2,5 mil ly,
hlavně hvězdokupy)**

Cepheid Period–Luminosity Relation





HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM
ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

Vzdálenosti kulových hvězdokup = tzv. paralaxa hvězdokup

Kulová hvězdokupa NGC 6388; 35 000 ly





HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM
ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

Vzdálenosti galaxií = tzv. paralaxa cefeid

Galaxie Větrník NGC 5457; 27 mil. ly





Cefeidy v galaxii I Zwicky 18
59 mil. ly

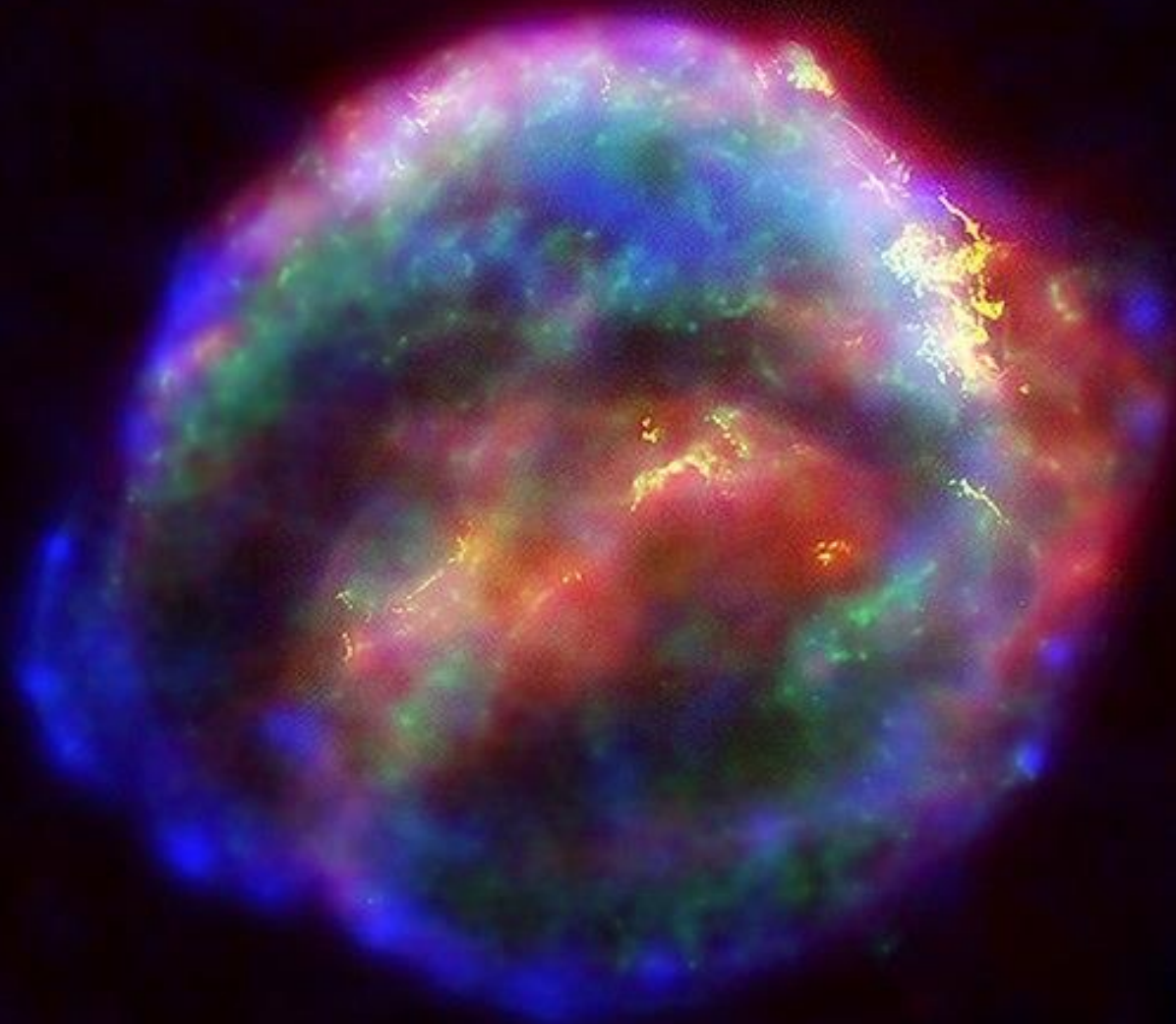




HVĚZDÁRNA A PLANETÁRIUM
ČESKÉ BUDĚJOVICE S POBOČKOU NA KLETI

Měření vzdáleností vzdálenějších galaxií a kup galaxií

pomocí supernov typu Ia

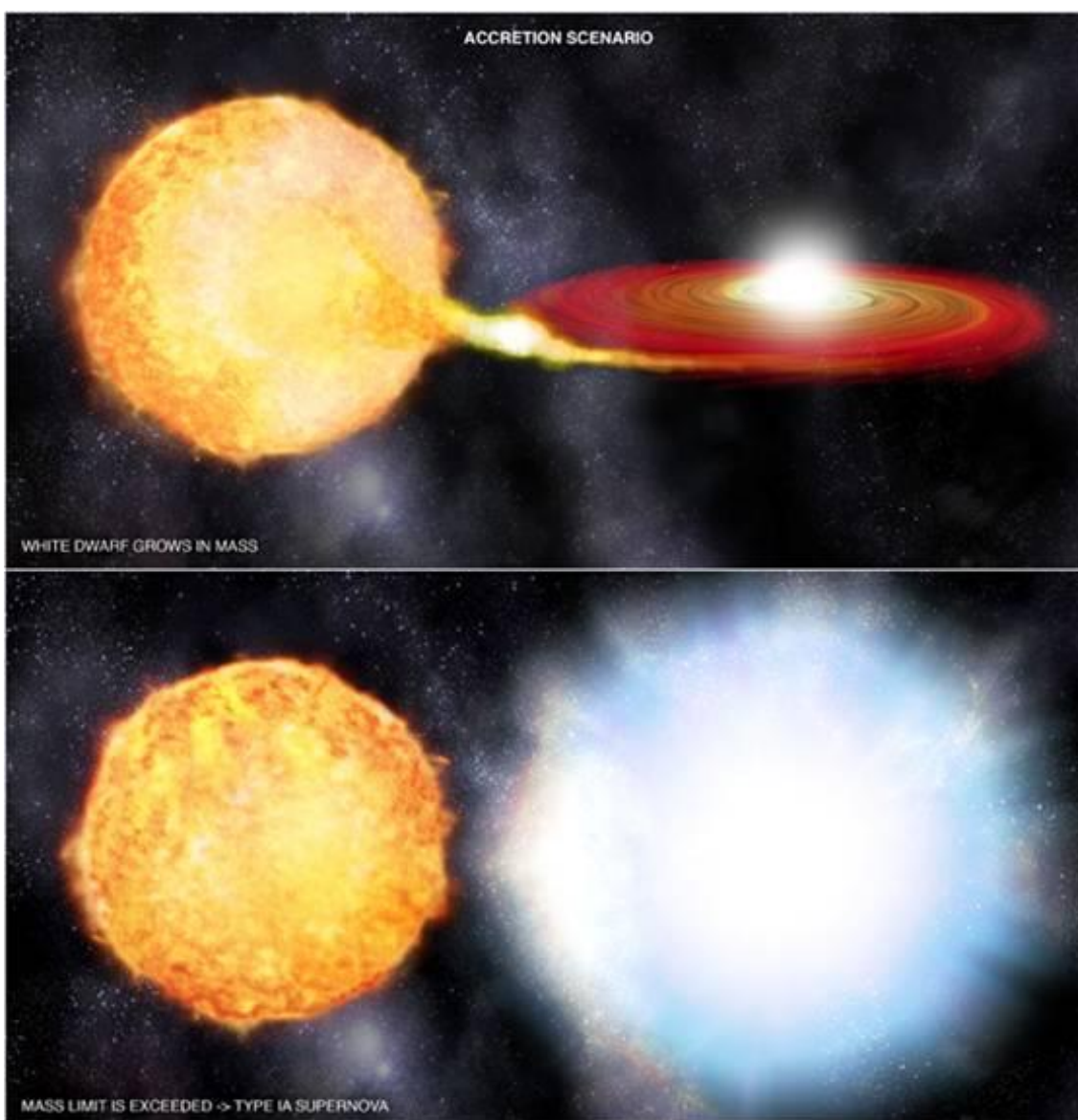


SN 1604, přezdívaná též **Keplerova supernova**, v souhvězdí
Hadonoše, vzdálenost cca 20 000 ly.



Jde o stejný princip výpočtu.

Supernova typu Ia je bílý trpaslík, který je součástí dvojhvězdy a který vybuchl, protože odsával hmotu ze svého průvodce až jeho hmotnost přesáhla Chandrasekharovu mez. Díky tomu, že tato mez je teoreticky spočtená, lze spočítat i energii tohoto výbuchu, a tedy i jeho absolutní jasnost. Po naměření jasnosti supernovy na obloze tak lze odvodit i její vzdálenost. Typ supernovy se zjišťuje ze spektra světla výbuchu.



**Použitelné od vzdálenosti zhruba 1 mil ly do vzdálenosti 5 mld ly.
Jsou asi 300 000x zářivější než cefeidy.**



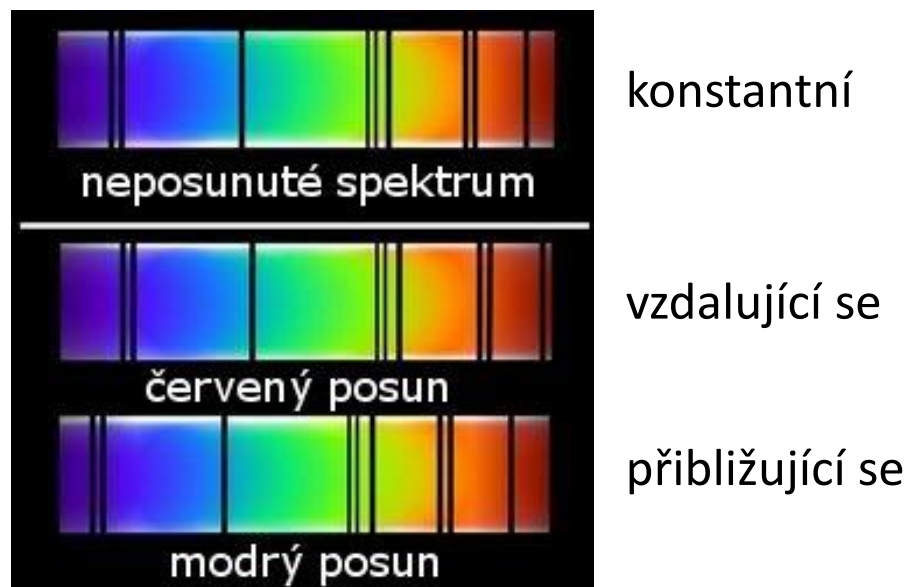
Kupa galaxií v Panně je vzdálená asi 50 miliónů světelných let





Měření vzdáleností vzdálených galaxií a kup galaxií

Rozpínání vesmíru



$$d = (c/H) \cdot \lambda_p$$

c - rychlost světla

H - Hubbleova konstanta

λ - vlnová délka

Čím větší červený posun naměříme, tím je od nás galaxie vzdálenější.

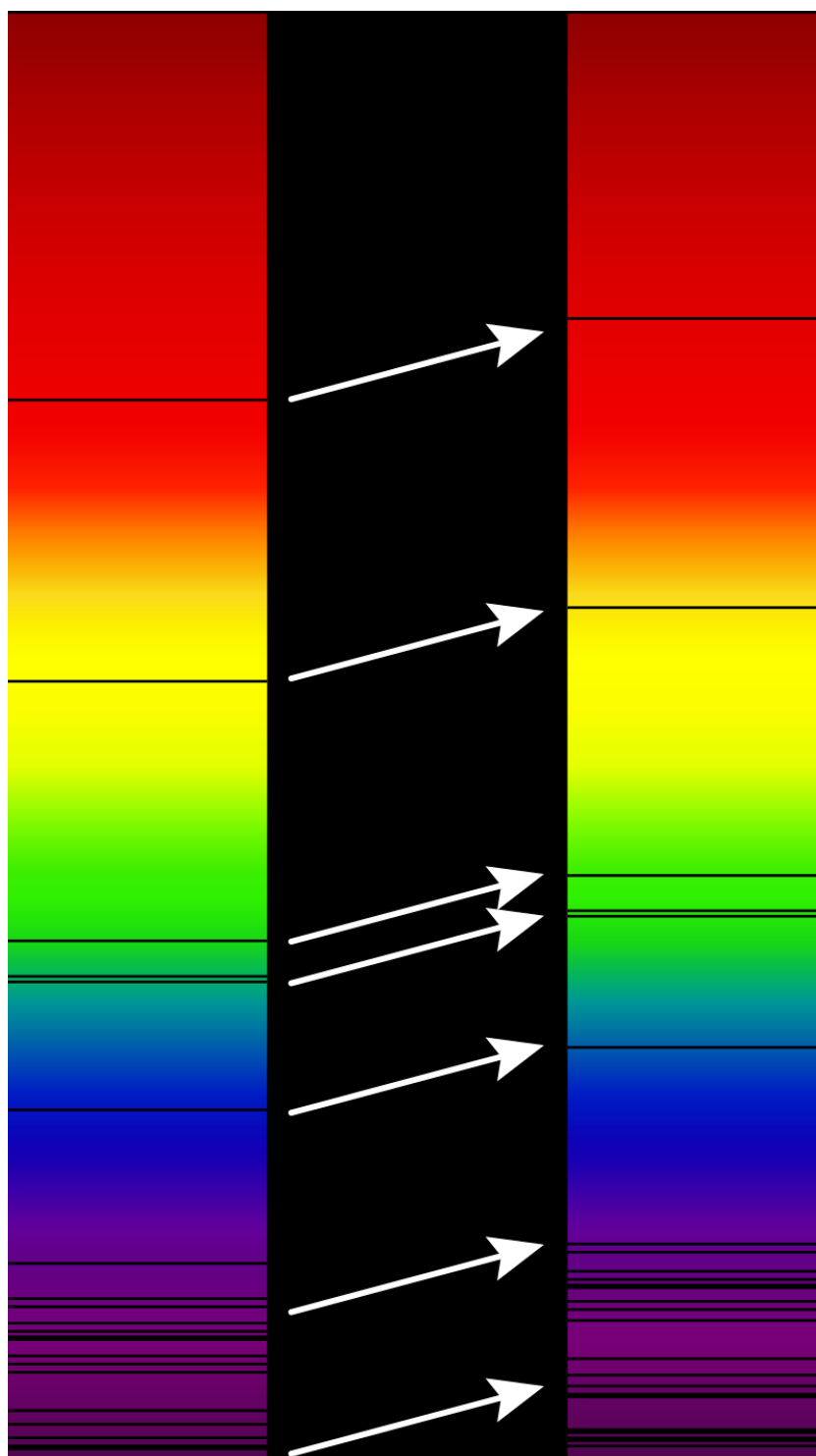
Červený kosmologický posuv – natažení vlnové délky fotonů šířících se v rozpínajícím se prostoru.



Rudý posuv spektrálních čar ve viditelném spektru vzdálené galaktické superkupy BAS11 v porovnání se spektrem Slunce.

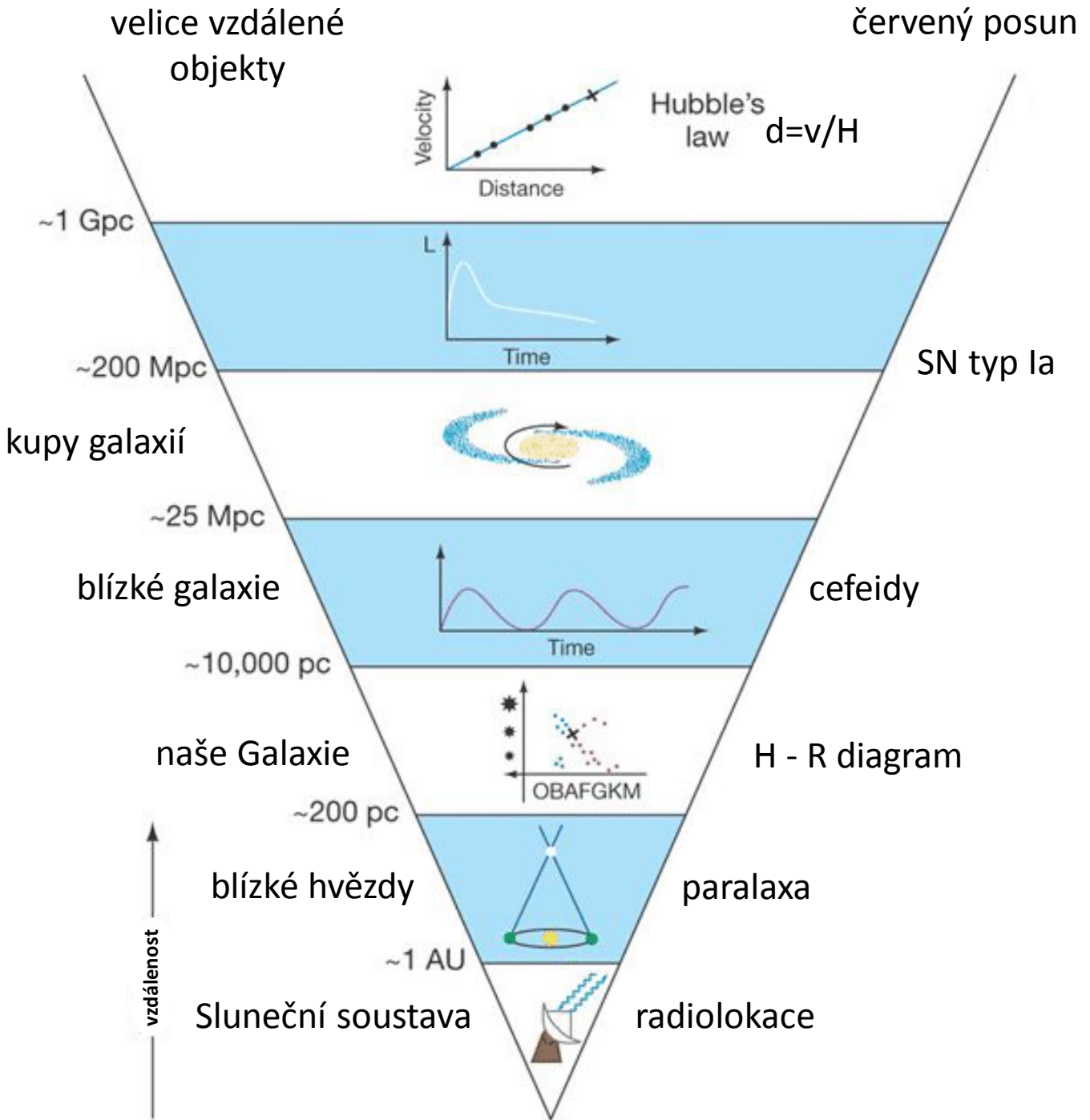
Slunce (1 AU)

BAS11 (1 mld ly)





Shrnutí





Děkujeme za pozornost.

Zdroje: NASA, ESA, Wikipedie, internetové zdroje
J. a M. Širokých: Základy astronomie v příkladech
V. Vanýsek: Základy astronomie a astrofyziky