

Hvězdná uskupení (v naší Galaxii)

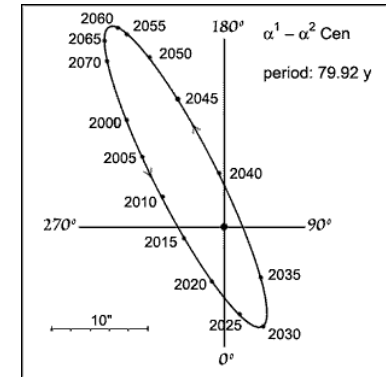
❖ málopočetné skupiny hvězd - dvojhvězdy, trojhvězdy, čtyřhvězdy...

❖ hvězdokupy

- kulové
- otevřené
 - pohybové
- hybridní

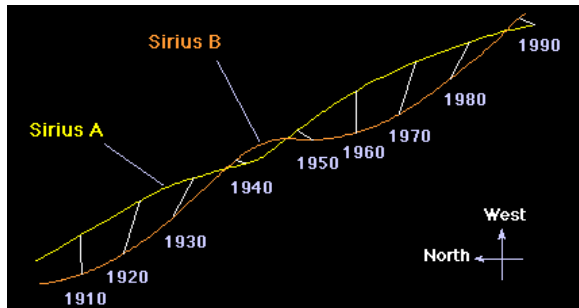
❖ asociace

Dvojhvězdná studnice informací

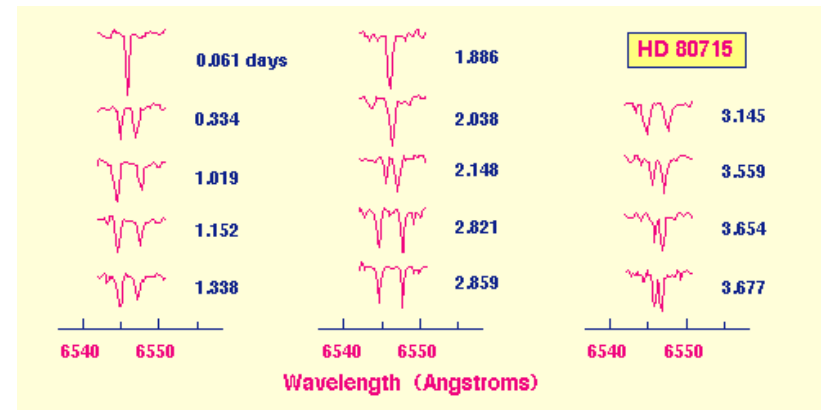


Dvojhvězdy podle metody pozorování:

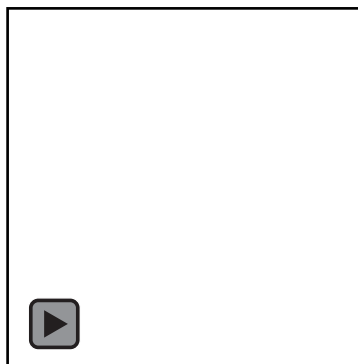
- ❖ vizuální - Galileo, Castelli (1616); Michell (1767), Herschel (1782)
- ❖ astrometrické - Bessel (1844), Clark (1862) – Síríus



- ❖ spektroskopické - Mauryová, Pickering (1887-9); SB1 x SB2



- ❖ zákrytové - Pigott, Goodricke (1782-3)

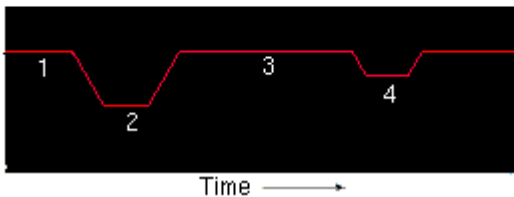
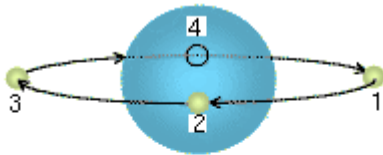
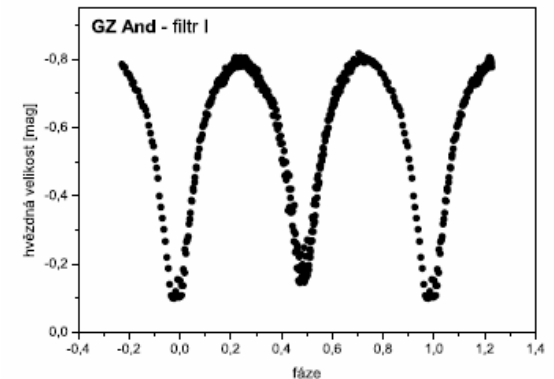
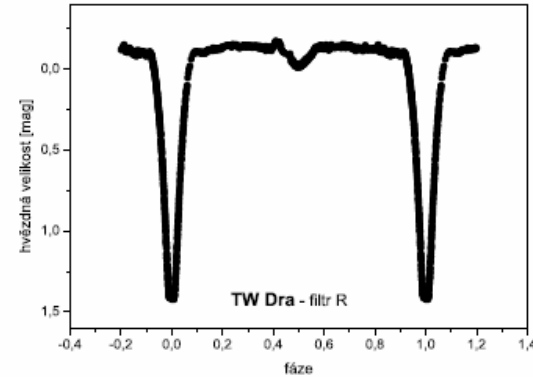
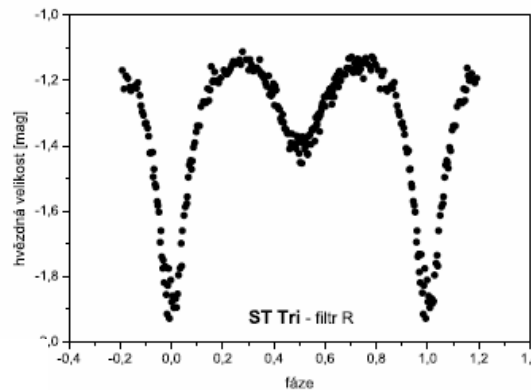


Zákrytové dvojhvězdy (méně než 0.3% všech dvojhvězd, známých statisíce)

Nejsnazší na pozorování, zjišťování informací, některé mají krátké periody => výsledky i během jediné noci!

Rozdělení zákrytových dvojhvězd podle světelných křivek

- algolidy
- β Lyrae
- W UMa



fotometrie - mohu hned zjistit:
periodu oběhu, poměr velikostí
složek, poměr zářivých výkonů, sklon trajektorie

fotometrie+spektroskopie (křivka RV) – absolutní
parametry, velikost, hmotnost, zářivý výkon a další =>

určení vzdálenosti, testy modelů hv. stavby a hv. vývoje

Málopočetné skupiny hvězd – hvězdné soustavy (multiple stars)

dvojhvězdy – Sírius, Prokyon – hvězda hl. posloupnosti + bílý trpaslík

Mira Ceti – pulsující proměnná

δ Cep – cefeida; ε Aur - zákrytová dvojhvězda ...

trojhvězda - Polárka – trojhvězda, jedna složka velmi blízká k hlavní složce

α Cen – hlavní dvojhvězda – žlutí trpaslíci (A+B) + červený trpaslík Proxima;

vzdálenost A-B = 11 AU, (A+B) - C ~15,000 AU

β Per - Algol A,B,C

HD 188753 – trojhvězda (3 trpaslíci) 149 ly od Země



čtyřhvězda (quadruple) - 4 Cen

Mizar - Castelli a Galileo, později spektroskopie Mizaru A a B => obě dvojhvězdy

HD 98800, ε Lyr, V994 Her (zákrytová) ...

pětihvězda (quintuple) - 91 Aqr, δ Ori, σ Ori

1SWASP J093010.78+533859.5 (zákryt.), ...

šestihvězda (sextuple)

Castor (+YY Gem), β Tuc, γ Vel, ADS 9731 CrB,

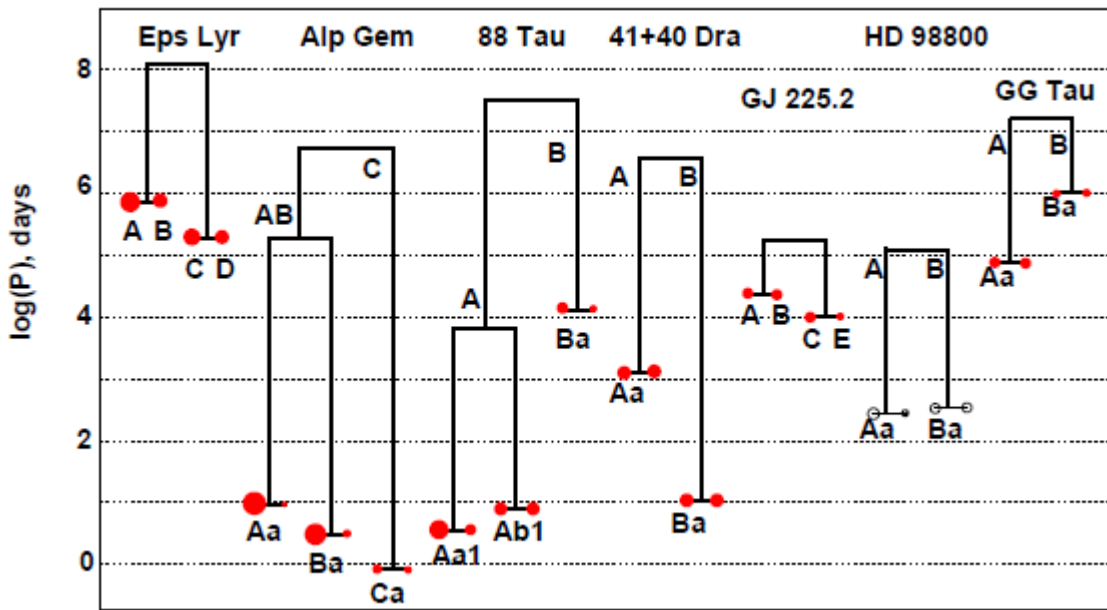
κ Tau, Alcor (je-li součástí systému Mizaru) ...

TIC 168789840 – 6násobně zákrytová

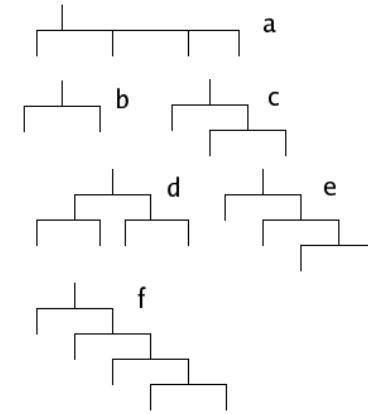
sedmihvězda (septuple)

ν Sco, AR Cas, DN UMa





možné hierarchie soustav



katalog vícenásobných soustav:

[Tokovinin \(2018\)](#)

<http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/stars/>

neúplný - výběrové efekty
výzkum pokračuje

skuteční sousedé:

V 994 Her ([Lee et al. 2008](#))

BV + BW Dra ([Batten & Hardie 1965](#); [Batten & Lu 1986](#))

KIC 4247791 ([Lehmann et al. 2012](#))

CzeV343 ([Cagas & Pejcha 2012](#))

V441+V442 UMa ([Lohr et al. 2015](#))

TIC 168789840 Eri ([Powell et al., 2021](#))

sousedé jen „na oko“ – příklady z pozorování:

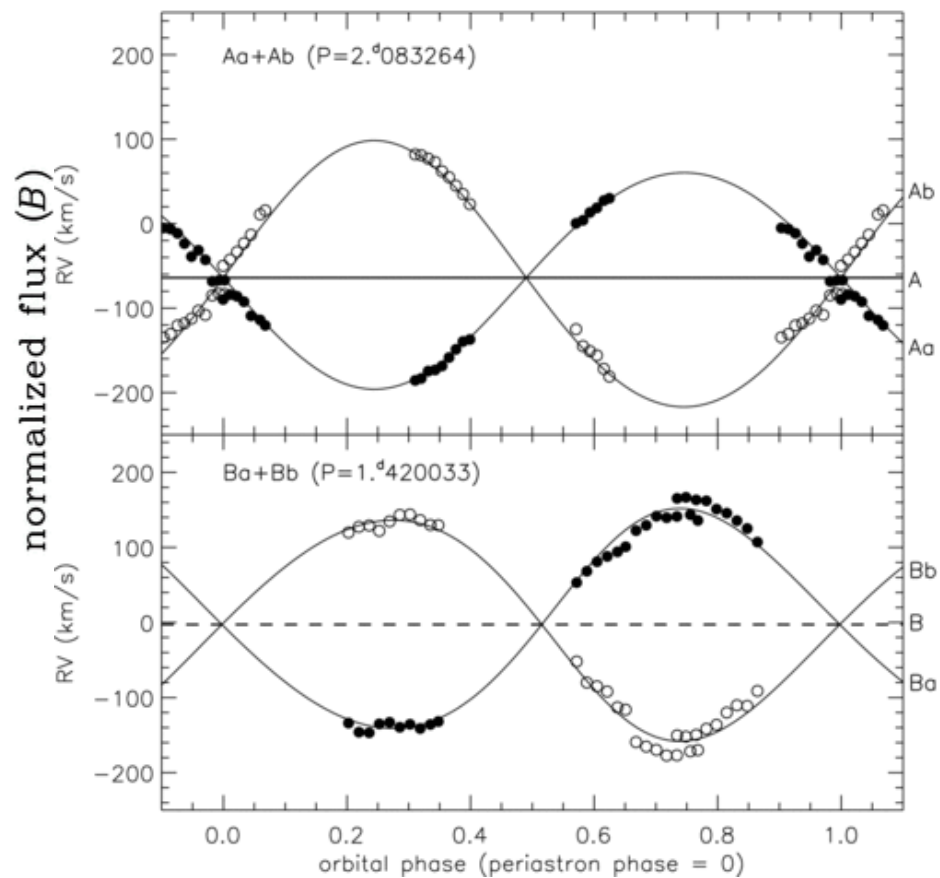
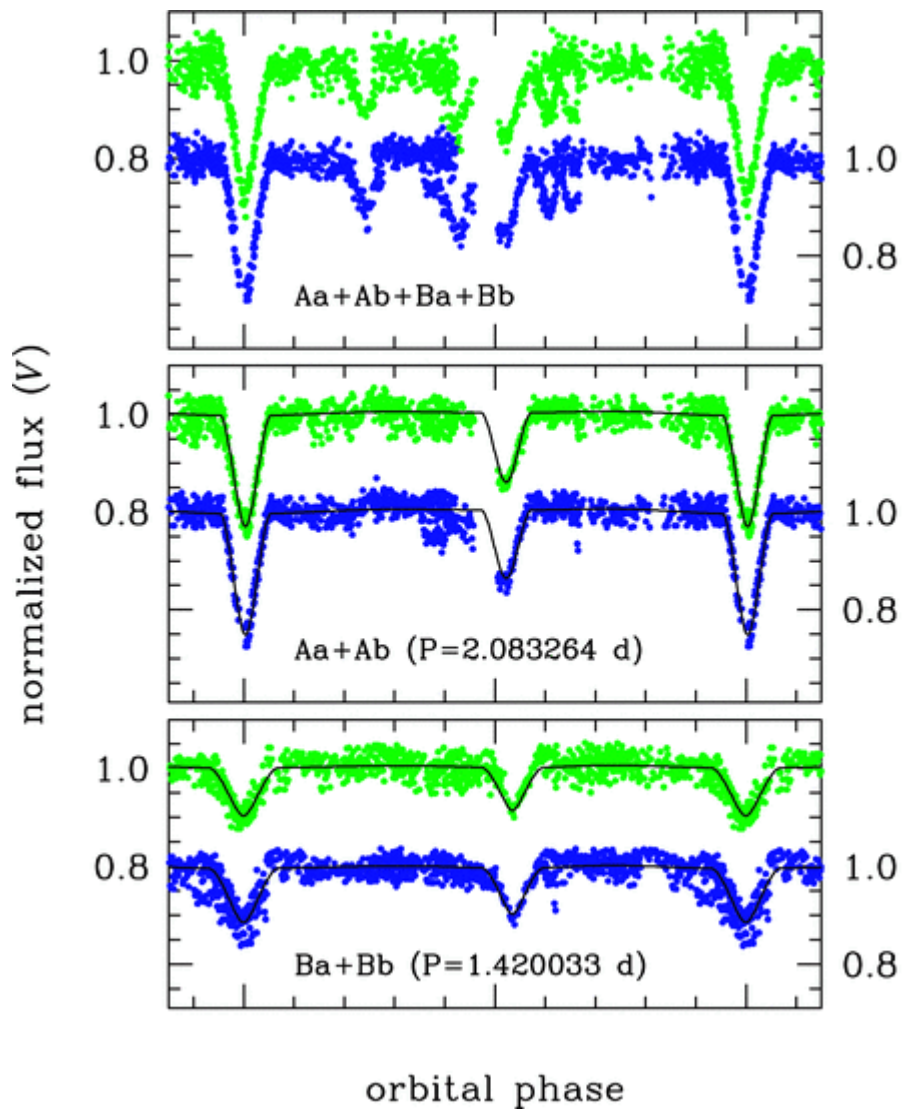
DG + MZ Lac

CO + GX Lac

GU + EF Ori

QS + QT Cyg, QU + QX Cyg

V994 Her

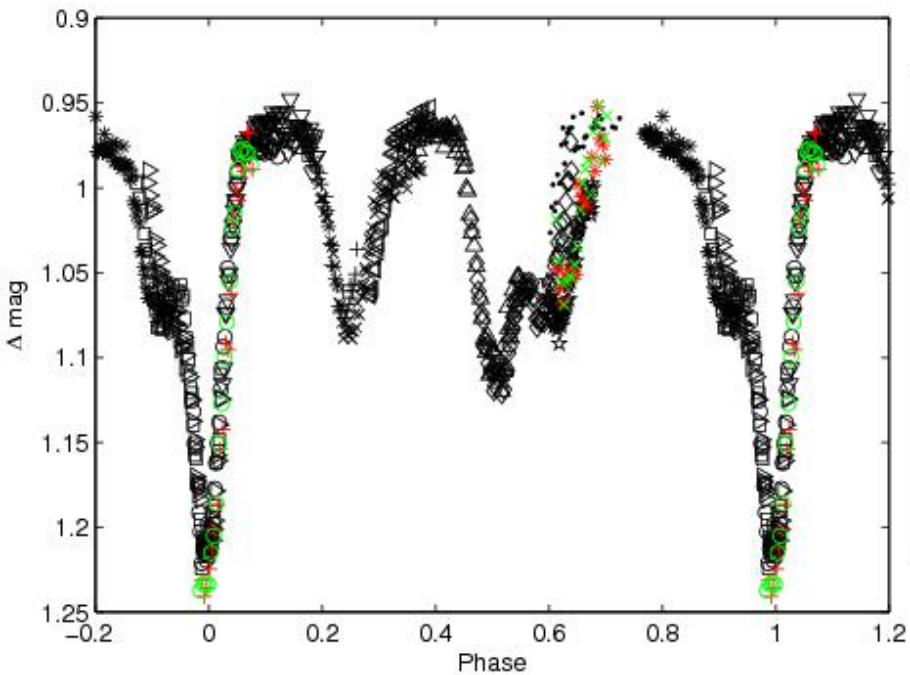


CzeV343

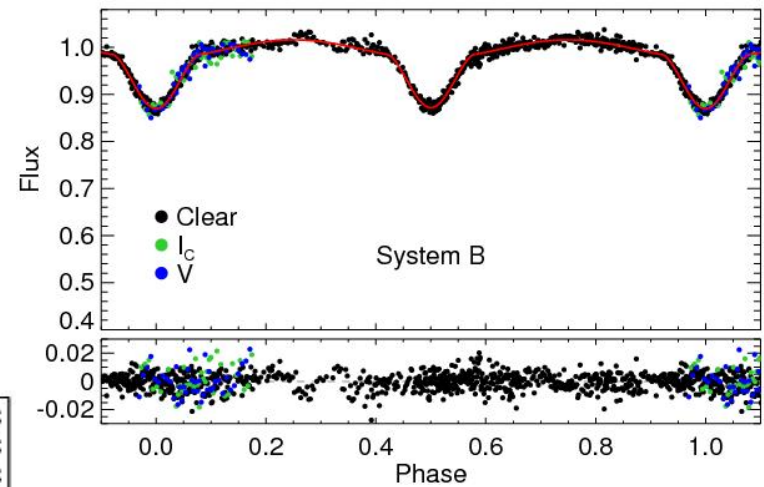
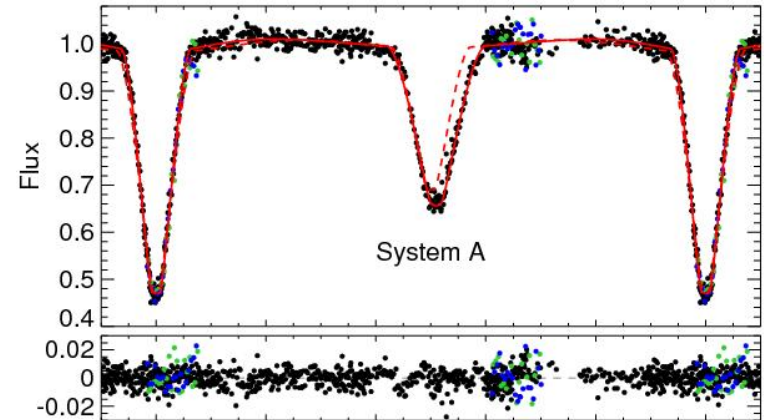
GSC 02405-01886

5^h 48^m 24.008^s +30°57′03.64″ (J2000)

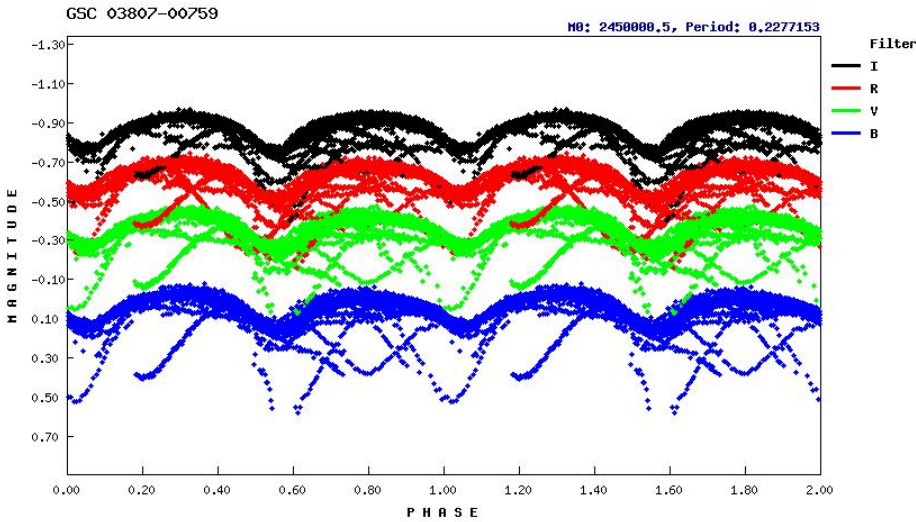
V ~ 13.5 mag



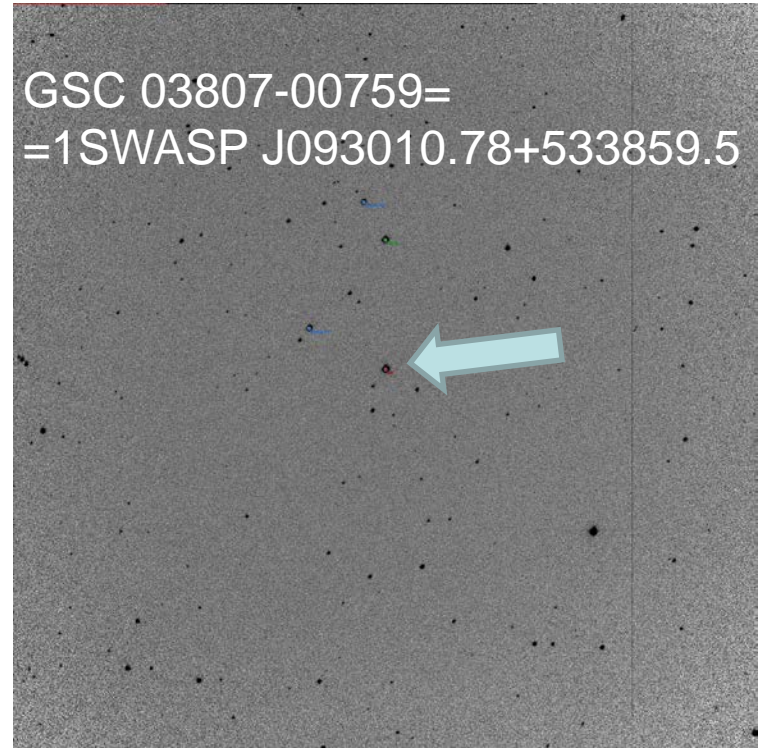
+	30.01.2012 C
○	31.01.2012 C
*	01.02.2012 C
•	02.02.2012 C
x	10.02.2012 C
□	12.02.2012 C
◇	26.02.2012 C
△	03.03.2012 C
▽	05.03.2012 C
∇	06.03.2012 C
△	21.03.2012 C
★	25.03.2012 C
+	09.04.2012 I
○	09.04.2012 V
*	17.04.2012 I
x	17.04.2012 V



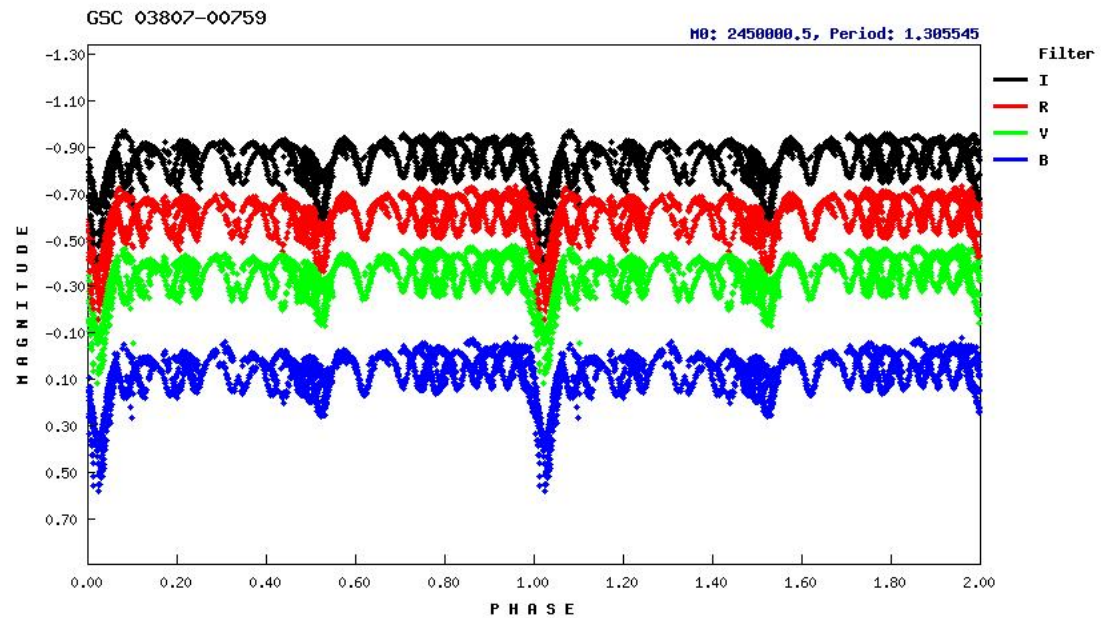
V441&V442 UMa



GSC 03807-00759=
=1SWASP J093010.78+533859.5



Pozorování 60cm dalekohledem na
Kráví hoře



BV + BW Dra

čtverný systém!

BV Dra = ADS 9537 A

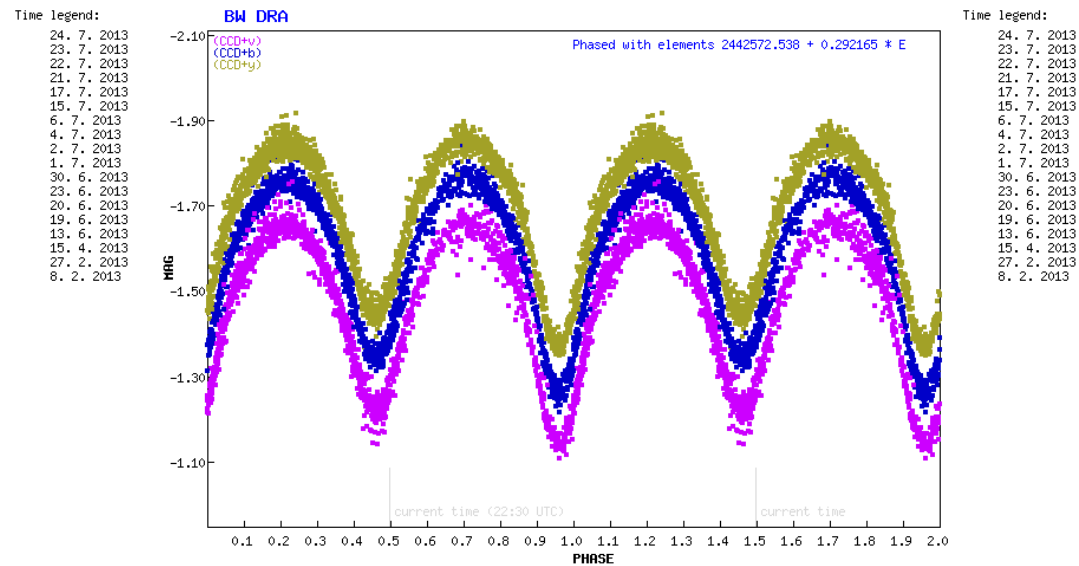
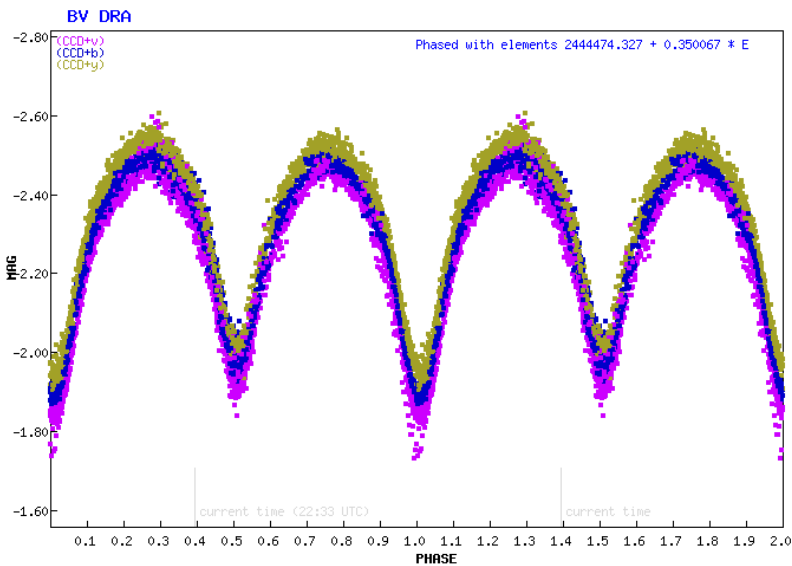
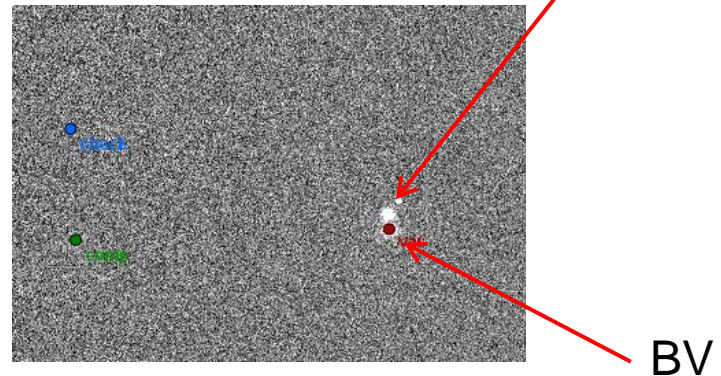
EW/KW

P = 0.3500671 d

ADS 9537 B = BW Dra (16.3")

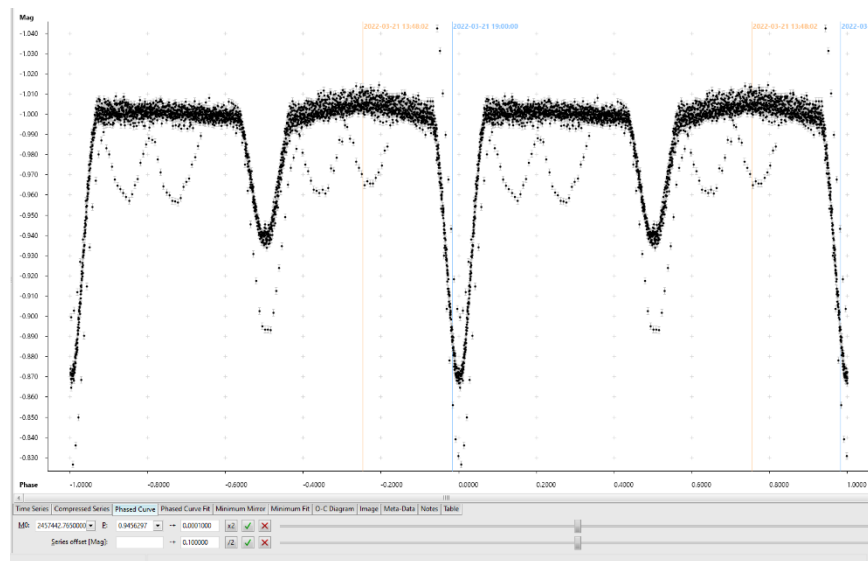
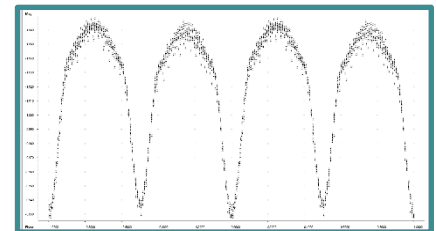
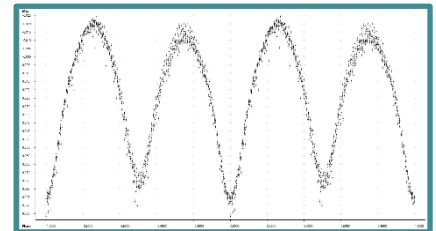
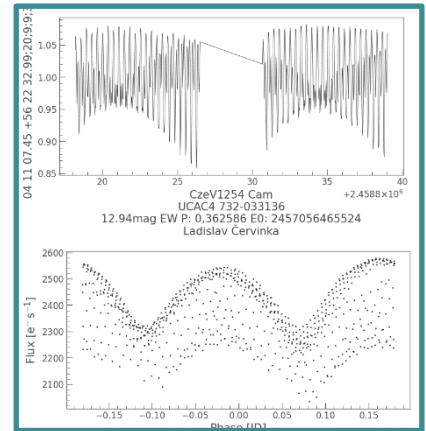
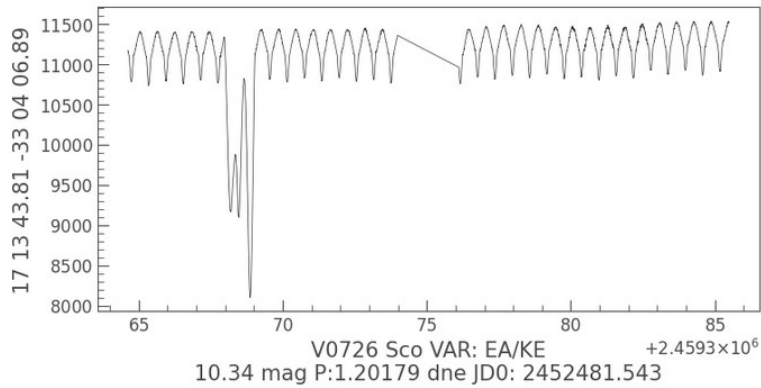
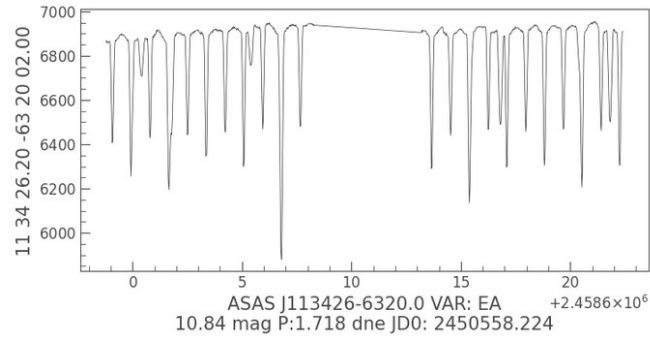
EW/KW

P = 0.2921671 d

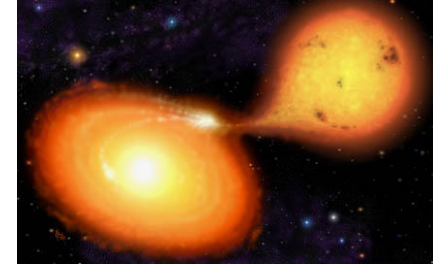


(měření dr. Liška)

Program Quadruples



Dvojhvězdy



většina, více než 50 %, ... - úvod v knihách a člancích

o dvojhvězdách, např. J. Schombert - Univ. of Oregon - 85 % !

1983 – Abt – v okolí Slunce

~60-70% hvězd – dvojhvězdy nebo vícenásobné systémy

2006 – Lada – většina hvězdných soustav (až 2/3) vytvořených v Galaxii jsou samotné hvězdy!

typická hvězda v Galaxii – červený trpaslík (RD)

jen u 43 ze 171 RD jako primárních složek dvojhvězd do 10 pc (32.6 ly) od Slunce je RD nebo hnědý trpaslík

2010 – [Richichi et al.](#) – zákryty hvězd Měsícem s VLT

– ze 191 hvězd 16 dvojhvězd a 2 trojhvězdy

2011 – ze 184 hvězd 24 dvojhvězd nebo více
-násobných soustav



Dvojhvězdnost podle spektrálního typu

O – prakticky všechny hvězdy (Mason et al. 1998)

B/A – téměř všechny hvězdy (Shatsky & Tokovinin 2002; Koblunicky & Fryer 2007; Kouwenhoven et al. 2007b) ve dvojhvězdách a vícenásobných systémech

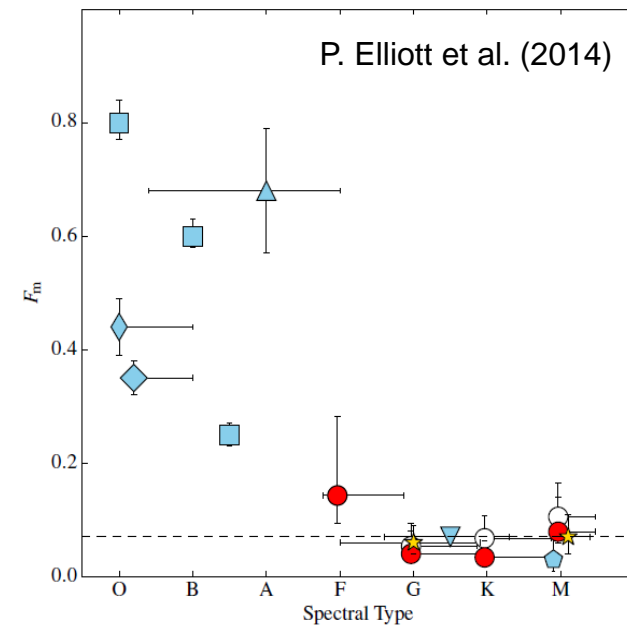
F3–G2 – 55 % v systémech (Abt & Levy 1976)

sluneční typ – 44 % v soustavách 2- až 4-četných (Raghavan et al. 2010)

F7–G9 – ~60 % CORAVEL spektroskopická studie (Duquennoy & Mayor 1991)

M - 30–40 % (Fischer & Marcy 1992; Leinert et al. 1997; Reid & Gizis 1997)

pozdní M-typ a hnědí trpaslíci - 10–30 % (např. Gizis et al. 2003; Close et al. 2003; Bouy et al. 2003; Burgasser et al. 2003; Siegler et al. 2005; Ahmic et al. 2007; Maxted et al. 2008; Joergens 2008).



Rozmanitost světa dvojhvězd

doba oběhu:

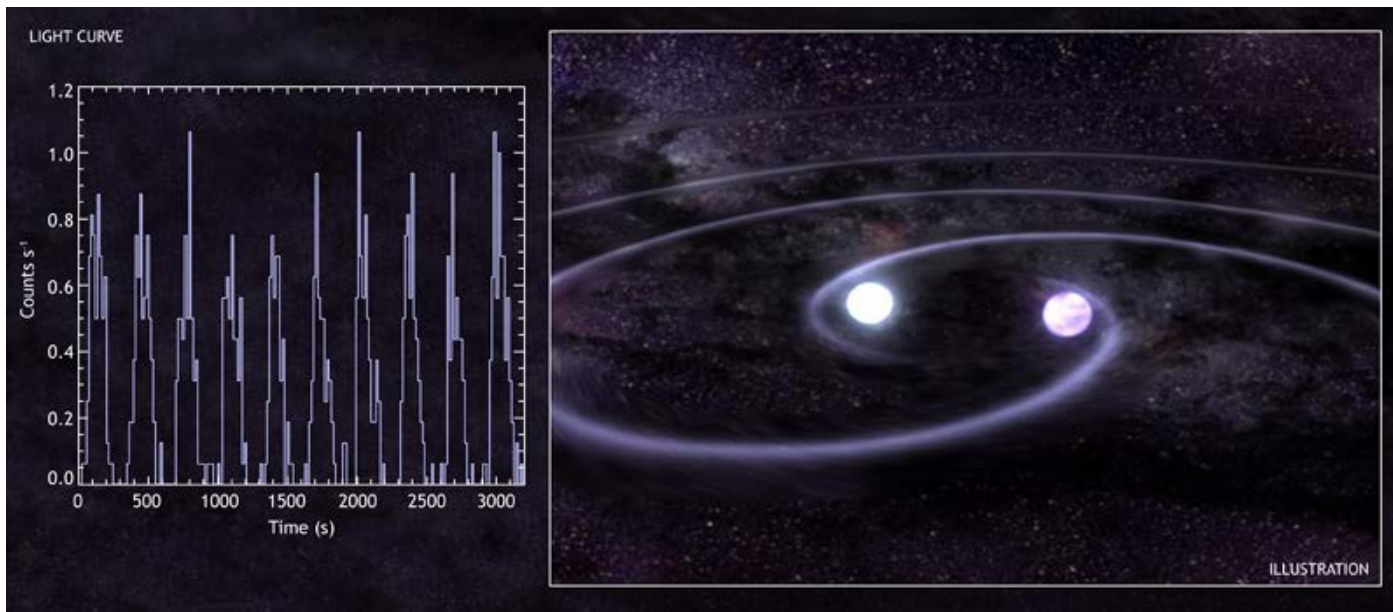
226 s - Swift J0525.6+2416 (16 mag V) ČT+BT, 321 s - HM Cnc (21 mag I) – 2 BT;
9,5 min (V407 Vul), 18 min (AM CVn), 46 min (GP Com), 4.7 h (UX UMa)
-> 27.2 roku (ϵ Aur), 69.1 roku (AS LMi) a možná i WY Gem (64.5 roku)

poloosa trajektorie: $a < \text{řádově } 0.01 R_{\odot} \sim 10 \text{ au}$ a více

excentricita: 0.975 ! (2 dvojhv., které jsou součástí čtyřhvězd – GJ 586, 41 Dra)

složky dvojhvězdy: jakýkoli typ hvězd, mrtvé nebo „živé“, mladé nebo staré, PMS, neutronové hvězdy, černé díry, planety a hnědí trpaslíci

zvláštnosti: akreční disky, plynné proudy, společné obálky



Rozdělení dvojhvězd

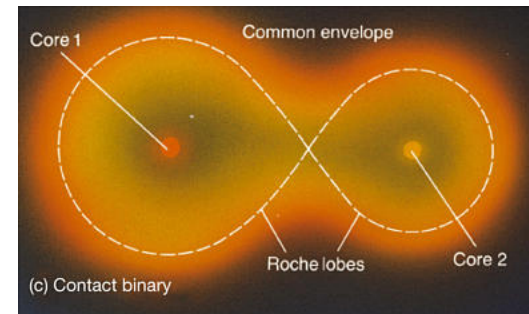
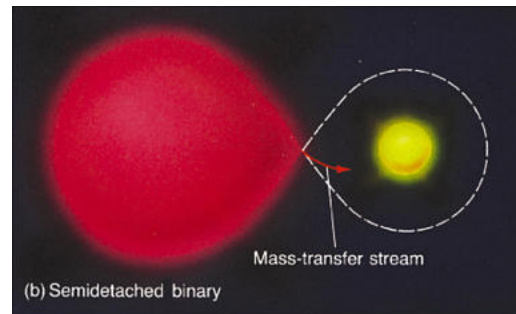
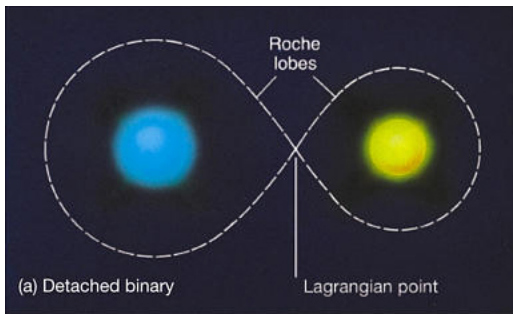
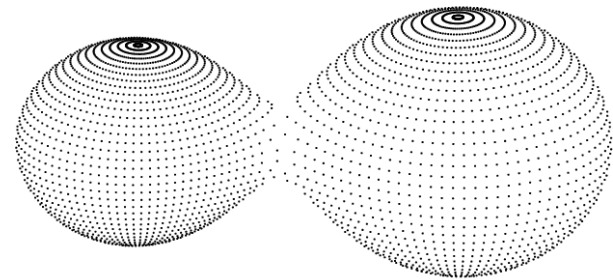
(viz 1. přednáška)

podle metody pozorování

- **vizuální** – Galileo, Castelli (1616); Michell (1767), Herschel (1782)
- **astrometrické** – Bessel (1844), Clark (1862) – Sírúš
- **spektroskopické** – Mauryová, Pickering (1887-9); SB1 x SB2
- **zákrytové** – Pigott, Goodricke (1782-3), Vogel (1889)

podle konfigurace systému (Kuiper, Kopal)

- oddělené/detached
- polodotkové/semi-detached
- kontaktní/contact (overcontact)
- double-contact (Wilson)



Základní parametry hvězd

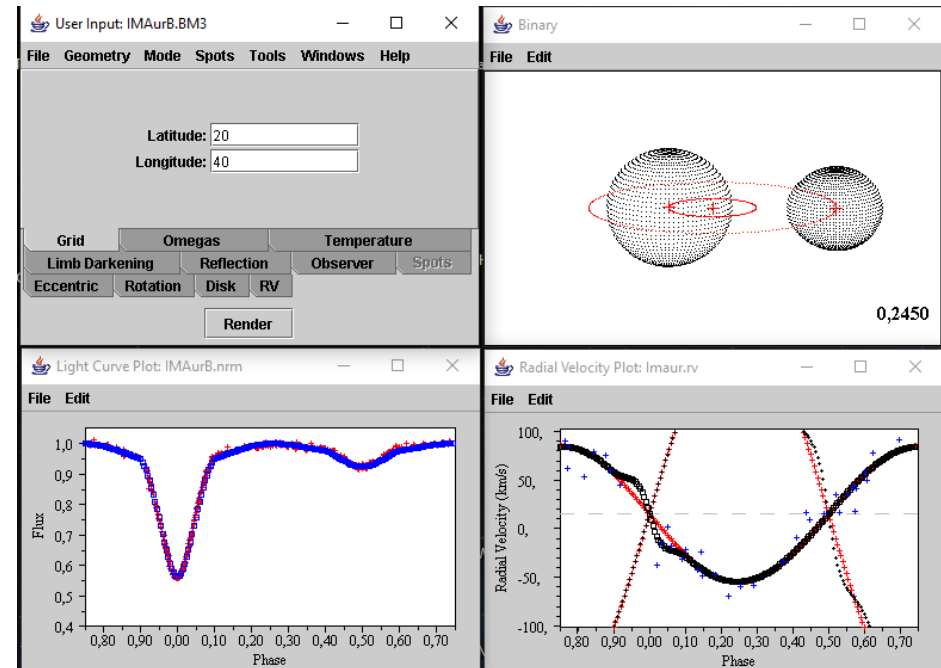
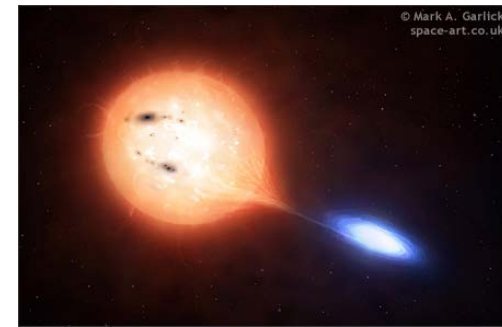
obecný cíl – popis studovaných soustav = určení parametrů
(hmotností a poloměrů složek, sklonu trajektorie...)

co k tomu potřebujeme?

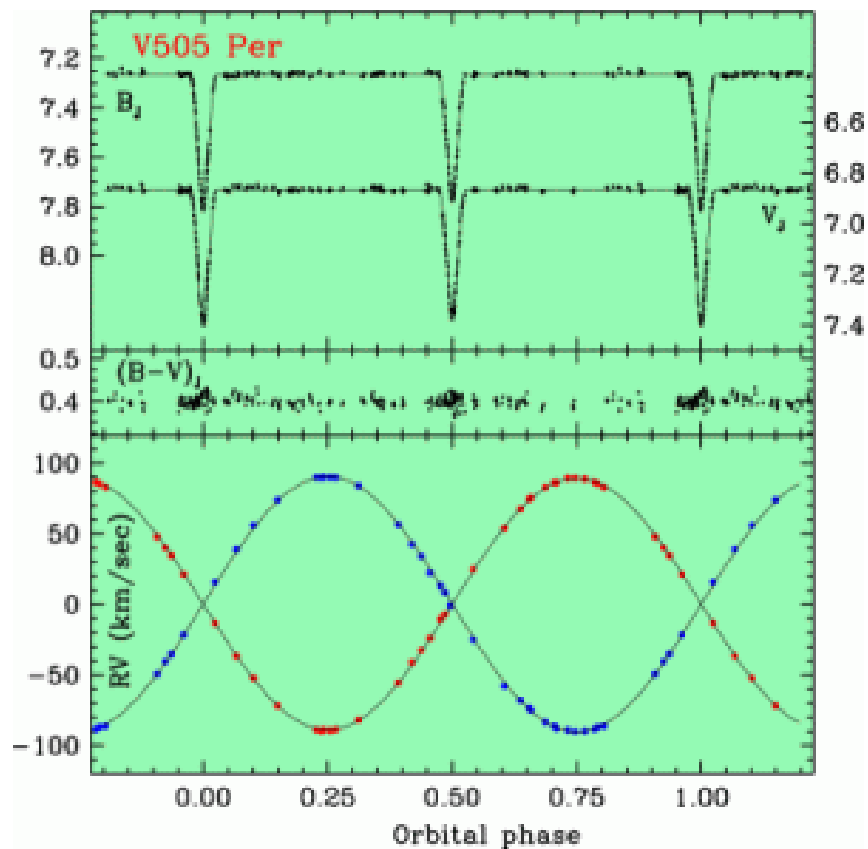
- fotometrie – světelné křivky aspoň ve dvou barvách,
- spektroskopie – křivka radiálních rychlostí – SB2,
- interferometrie,
- astrometrie,
- dlouhé série okamžiků minim.

Řešení světelných křivek

– zhruba 25 programů
([PHOEBE](#), [Nightfall](#), [WD](#),
[FOTEL](#), [Roche...](#) BM3)

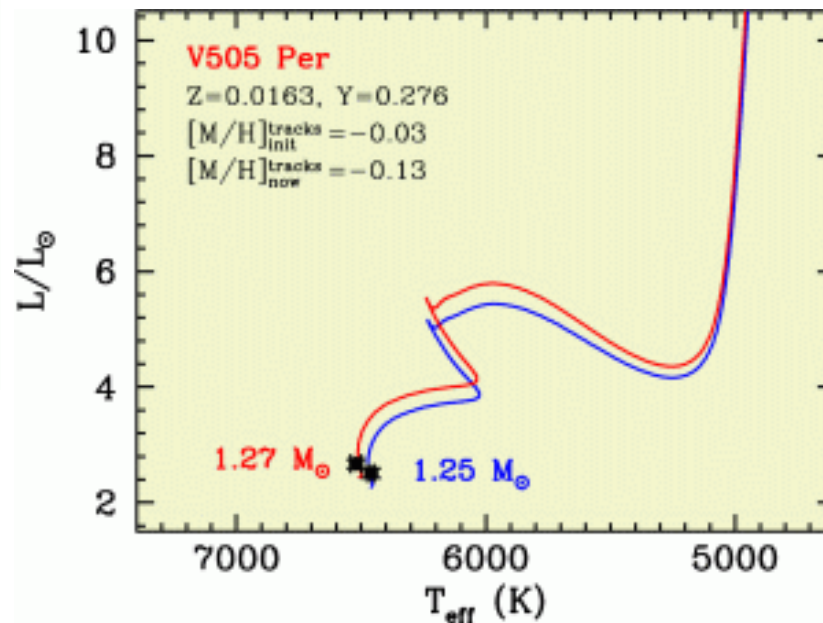


Ukázka výsledků



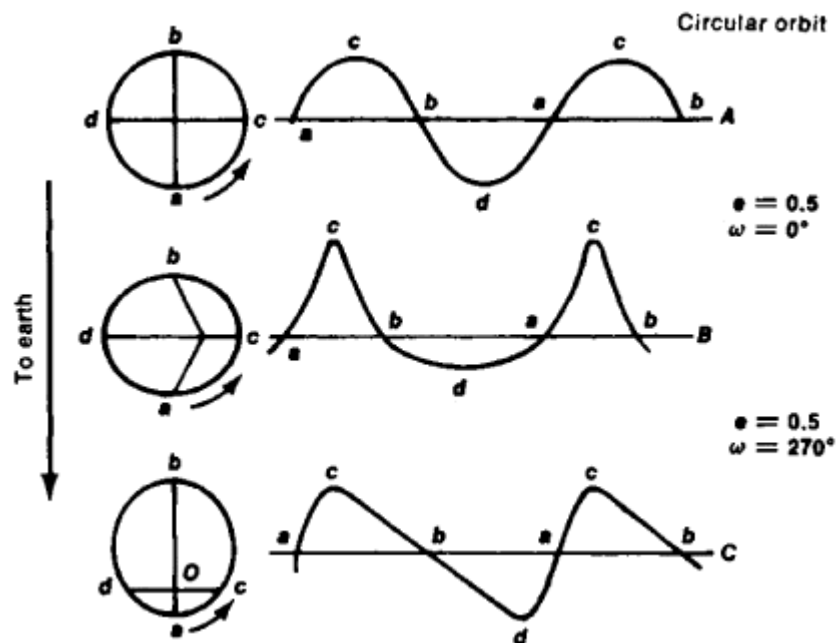
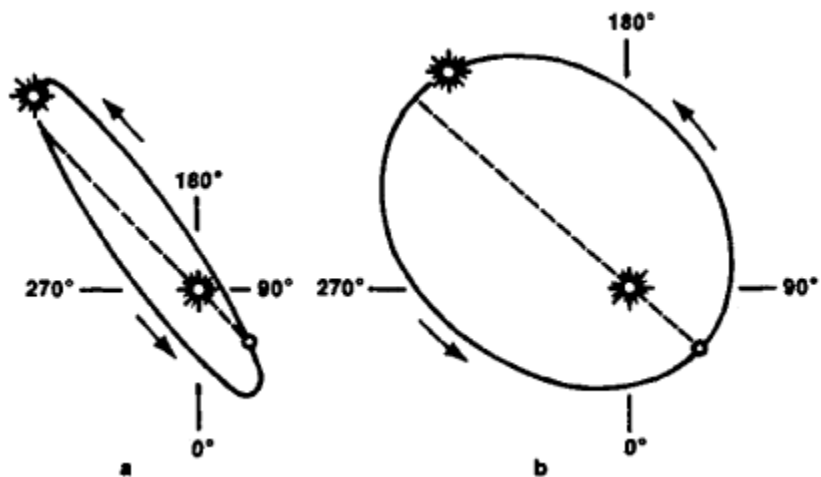
jednoduchá varianta

- oddělený systém
- kruhová trajektorie



Excentricita = komplikace

ale řešitelná



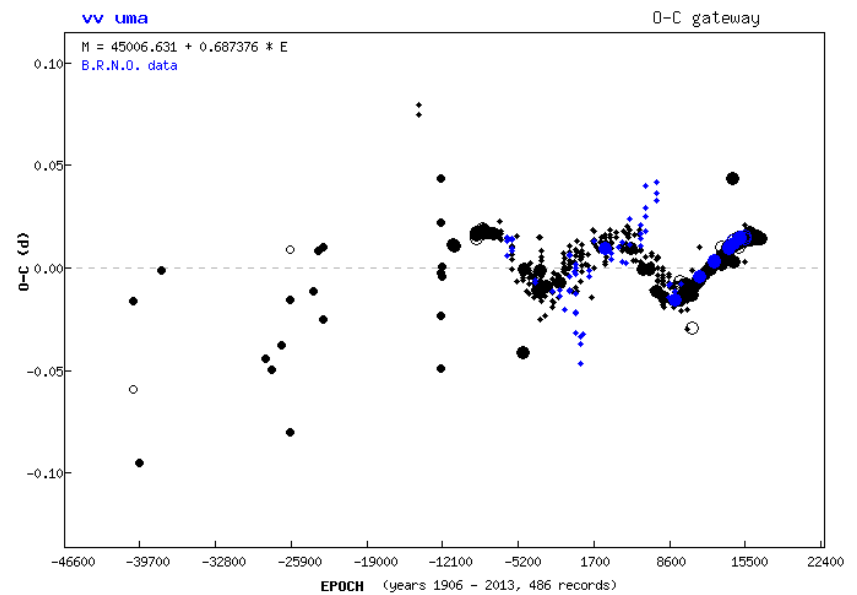
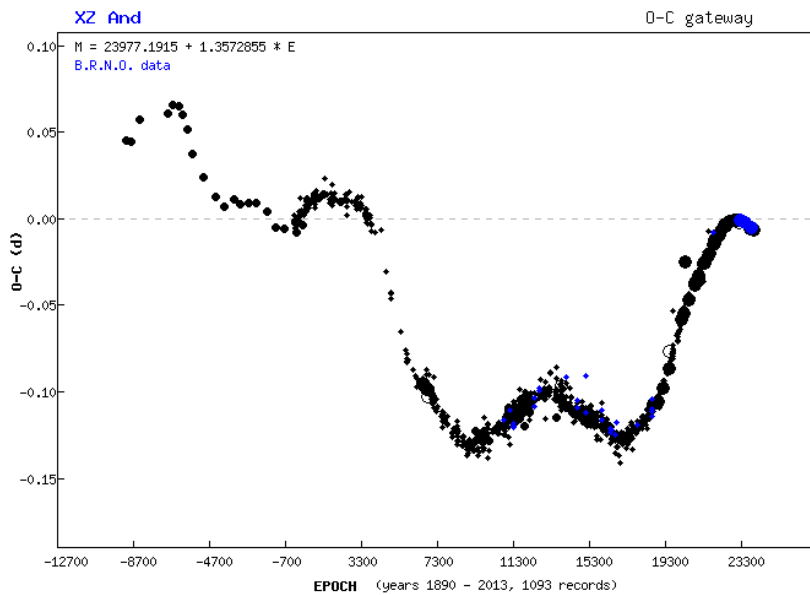
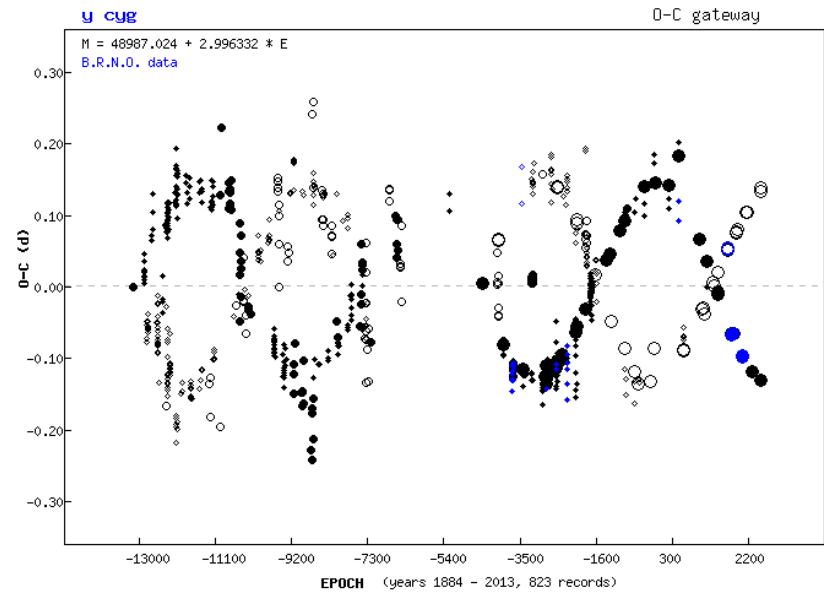
Změny v O-C diagramech

časy minima jasnosti:

O observed

C calculated

obdobně u exoplanet – střed
transitu – TTV (transit timing
variation)



Velmi hmotné hvězdy – důležité např. pro emisi ionizujícího záření, chemický vývoj galaxie, energetické fenomény => potřebujeme dobrý popis jejich vývoje po opuštění hlavní posloupnosti nulového stáří (ZAMS)

Problém: zatím rozporuplné výsledky vnitřní stavby z modelování a astroseismologie

Hvězdy s malou hmotností

Problém: teoretické modely neodpovídají pozorováním

Určené parametry z modelů:

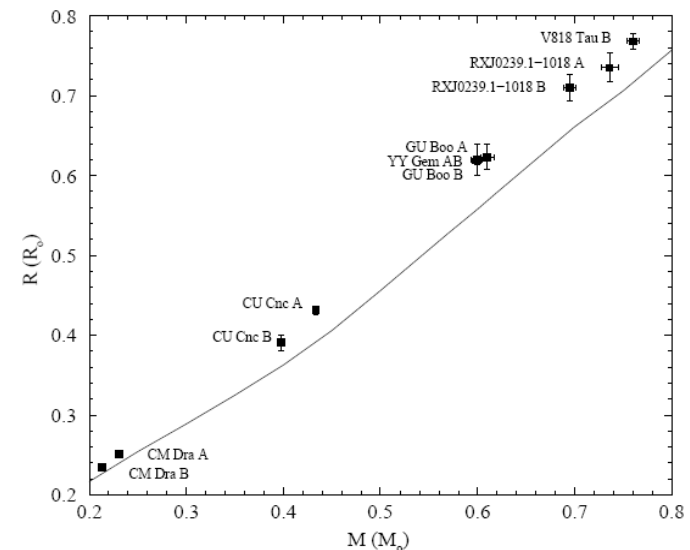
- podhodnocené poloměry hvězd o cca 10%,
- nadhodnocené teploty o cca 5%

⇒ graf závislosti hmotnost-svítivost vypadá ok!

málo studovaných málo hmotných dvojhvězd

např. YY Gem, CM Dra, CU Cnc, GU Boo ...

Pravděpodobné vysvětlení: hvězdná aktivita

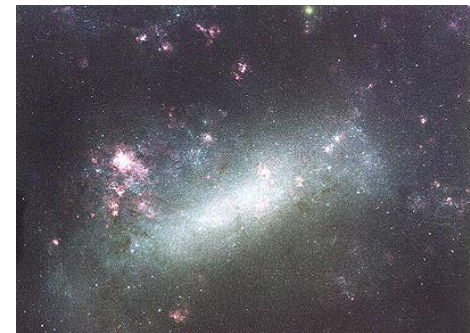


Dvojhvězdy - indikátory vzdáleností

řada indikátorů – každý z nich je použit pro kalibraci následujícího

⇒ příčky kosmického žebříku

- Sluneční soustava,
 - okolní hvězdy a hvězdokupy,
 - místní skupina galaxií,
 - vzdálené galaxie.



2 způsoby:

- vizuální dvojhvězdy – **orbitální paralaxa** – z kombinace astrometrie a řešení křivky RVs,
- EBs – „**standardní svíčky**“ – z řešení světelných křivek a křivek RVs -> svítivosti/zářivé výkony složek -> vzdálenost (zářivý tok klesá se čtvercem vzdálenosti)

1940 – teoreticky Gaposchkinová ... 1996 Paczynski

od r. 1998 – určení vzdálenosti LMC, SMC, M31, M33 aj., u MCs i tvaru

2004 – Plejády - HD 23642; Munari a kol. (132 ± 2 pc), Southworth a kol. (139 ± 4 pc)

Hvězdokupy

- hvězdná uskupení desítek až milionů hvězd
- společný původ
- gravitačně vázané

ale

méně početná uskupení (otevřené hvězdokupy, pohybové hvězdokupy, asociace) – dlouhodobě nestabilní, rozpadají se

Typy (v naší Galaxii):

- kulové
- otevřené
- hybridní?

jinak obecně hvězdokupy
(star clusters)



Kulové hvězdokupy

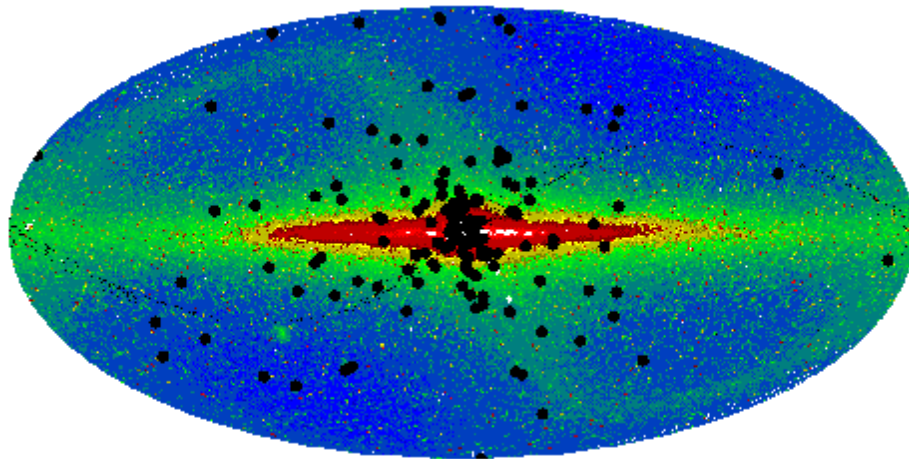
přibližně kulového tvaru

150-200 v Galaxii

počet hvězd – řádově $10^4 - 10^6$

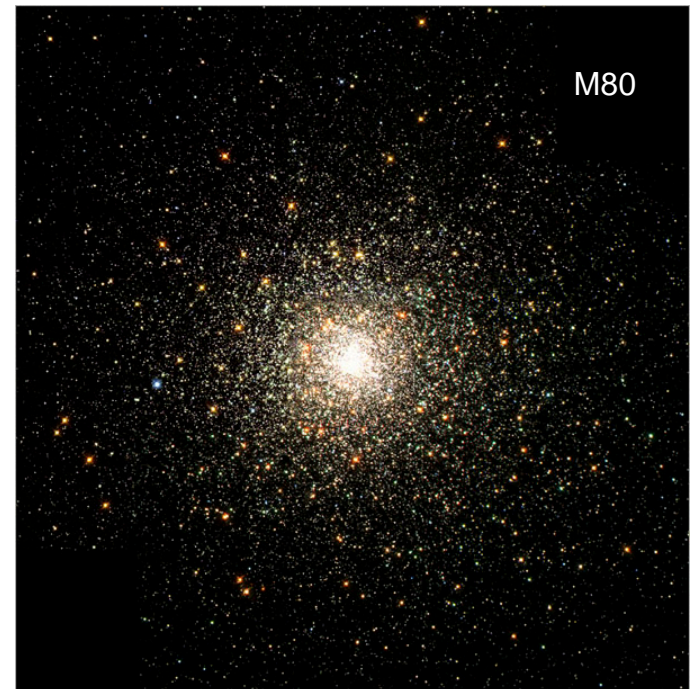
průměr – 10 - 400 ly => malé vzdálenosti mezi členy

stáří a vznik dosud zcela neobjasněny



kulové hvězdokupy v naší Galaxii; pozadí COBE

distribuce KH v Galaxii: symetricky kolem středu
v kouli o $r = 70000$ ly, více směrem ke středu



Kulové hvězdokupy

stáří – 10 až 13 mld let

ale

zastoupení dvojhvězd => věk jen 9 mld?

dva typy – KH v kulové složce, menší metalicita, neúčastní se rotačního pohybu Galaxie x KH v disku, mladší

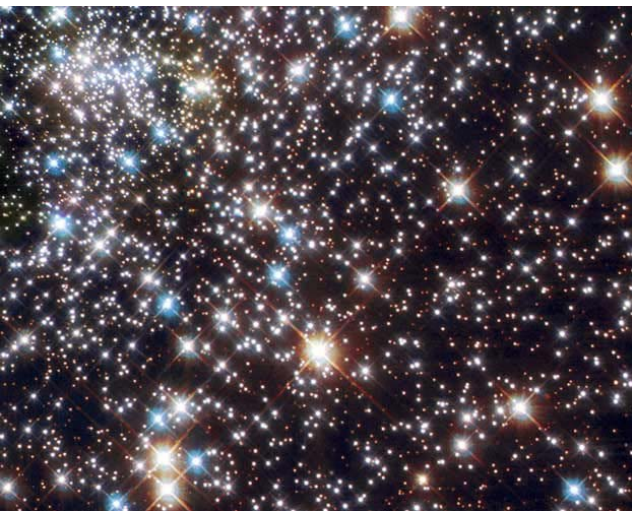
členové: hvězdy s vyšším Z => staré červené a žluté hvězdy

o hmotnostech $< 2 M_{\odot}$ => populace II

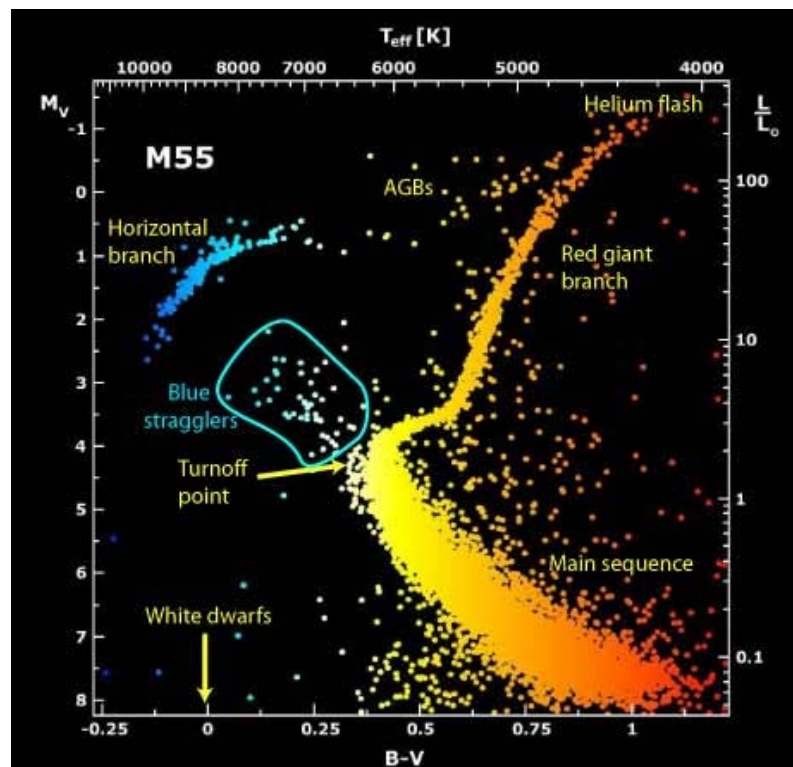
výjimky – modří obři (blue stragglers, modří opozdilci) – různé teorie vzniku:

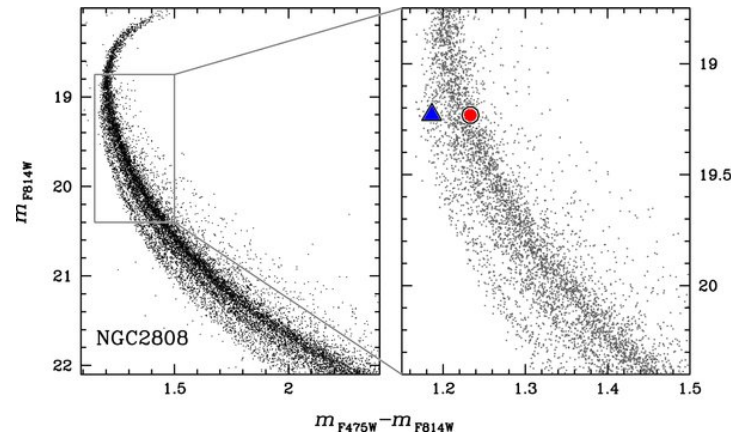
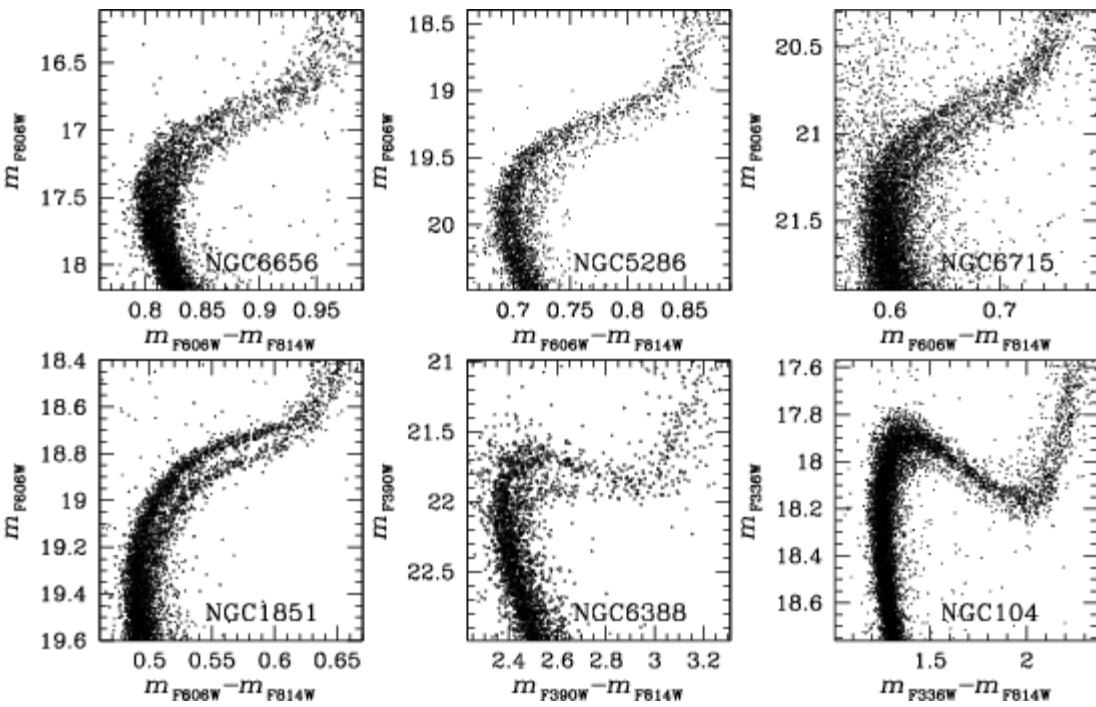
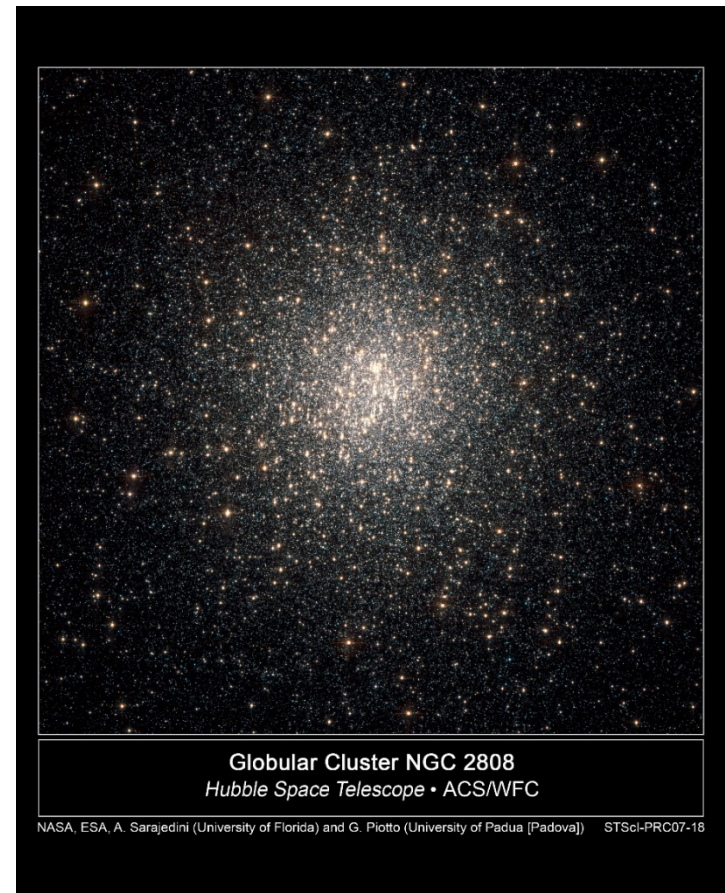
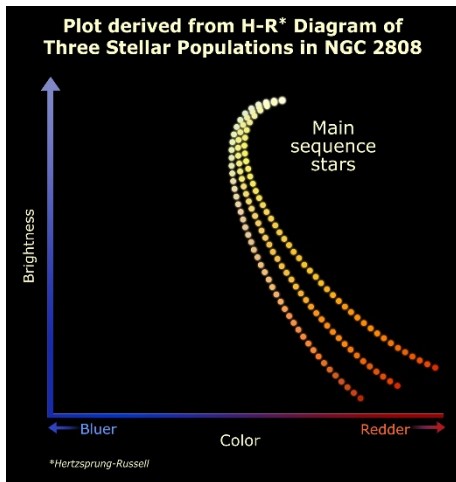
splynutí hvězd,

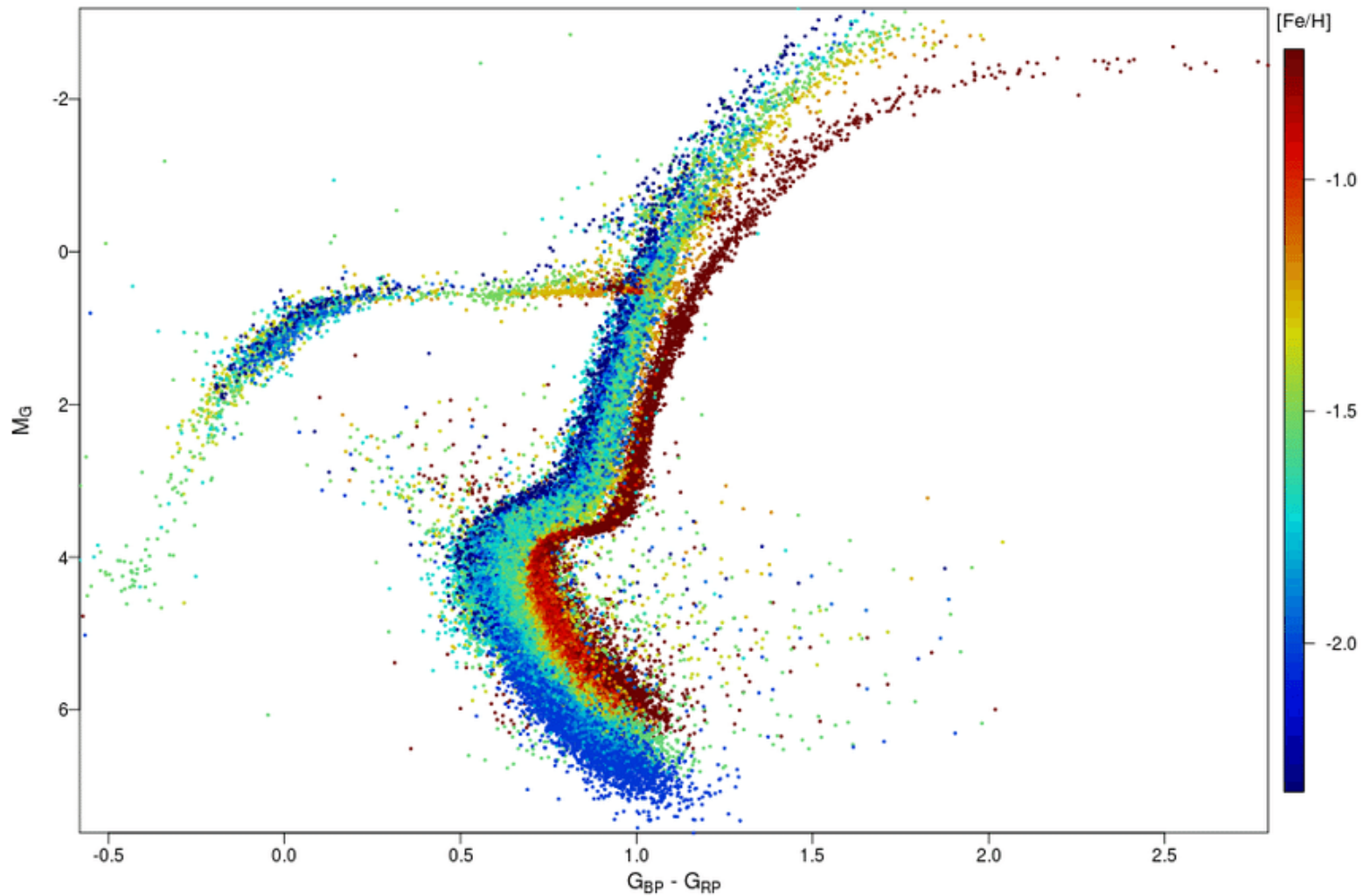
hvězdy zachycené hvězdokupou ...



modří opozdilci v NGC 6397







HRD 14 kulových hvězdokup (rozlišení metalicity) – měření z GAIA



47 Tuc

M13



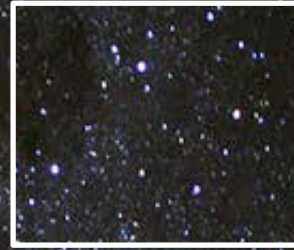
KH v Galaxii, M31 vznik krátce po vzniku vesmíru x v LMC, SMC mnohem mladší

α, β Cen



ω Cen

Cru



Otevřené hvězdokupy

tvar nepravidelný

počet hvězd – řádově desítky až stovky,
výjimečně více

průměr – 5 - 50 ly (většinou do 20 ly)

slabě gravitačně vázané => rozpadají se

členové:

mladé modré (zářivé) hvězdy – žijí krátce, ale OH se dříve rozpadne
hvězdy populace I

počet OH v Galaxii: cca 2100, ale jen několik set prozkoumaných! - [WEBDA](#)

umístění v Galaxii: galaktický disk

- třídy:
1. všechny hvězdy na HP (Plejády)
 2. většina hvězd na HP, ale malá část už na větví obrů (Jesličky)
 3. starší žlutí a červení obři (M67)



K čemu jsou dobré hvězdokupy

- Rozdělení vzniku hvězd v čase v Galaxii a určení počáteční a dnešní funkce hmoty (statistika hvězd dle hmotností).
- Význam metalicity při zrodu a vývoji hvězd, výzkum gradientu metalicity v Galaxii.
- Korelace mezi věkem hvězd a jejich polohou v Galaxii.
- Přesnější určení závislosti perioda - zářivý výkon pro pulzující proměnné hvězdy, které jsou standardními svíčkami na kosmologických škálách.
- Statistická analýza astrofyzikálních procesů pro různé skupiny hvězd jako chemicky pekuliární hvězdy, hvězdy spektrálního typu B s emisními čarami a další.
- Detailní analýza kritérií členství hvězd v jednotlivých otevřených hvězdokupách.
- Vývoj gravitačně vázaných seskupení hvězd.
- Struktura a dynamika Galaxie

Vznik a vývoj

vznik – v oblastech tvorby hvězd (GMCs), probíhá neustále, např. v HII oblasti mlhoviny v Orionu

věk – většinou řádově miliony let, jen výjimečně delší než 1 mld let (hybridy?)

zánik – rozpadem – vlastní pohyby, působení okolí (slapy, srážky s mračny...), vypařováním



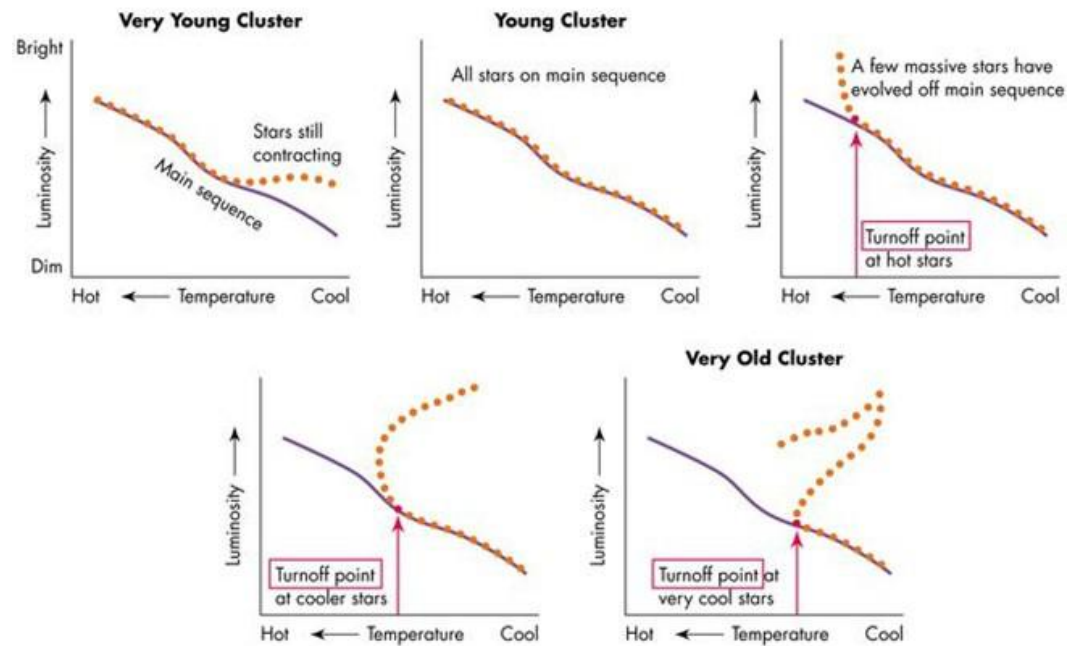
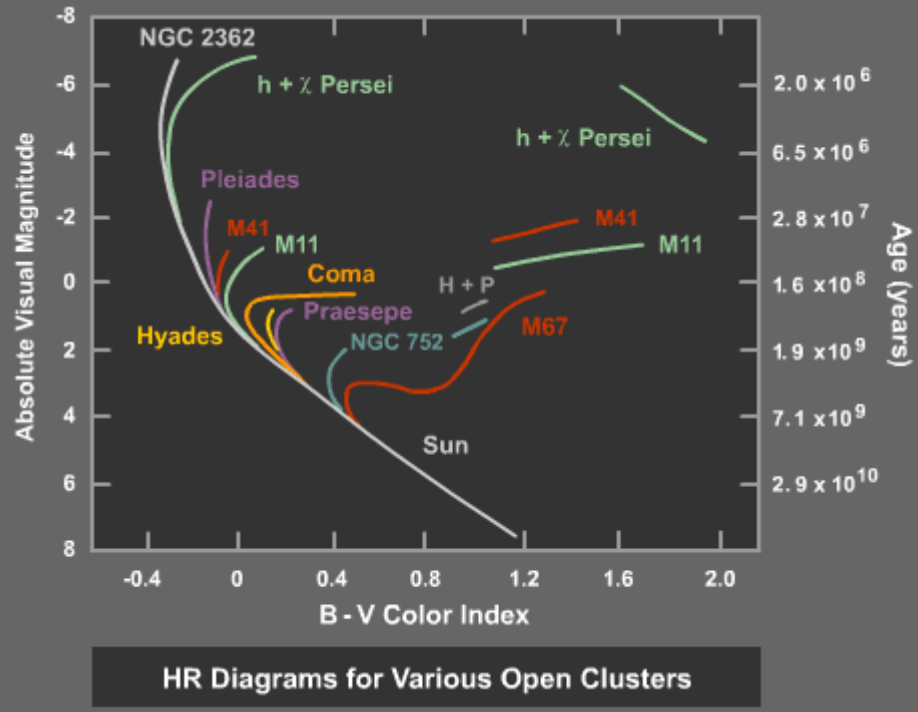
Open Clusters

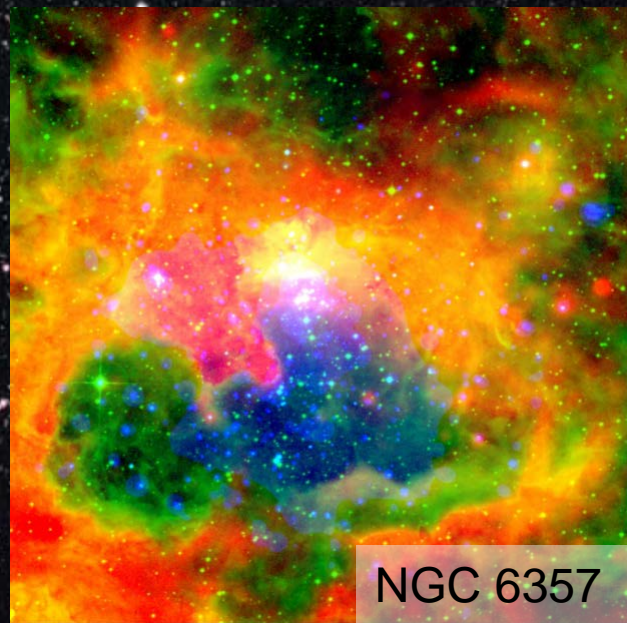
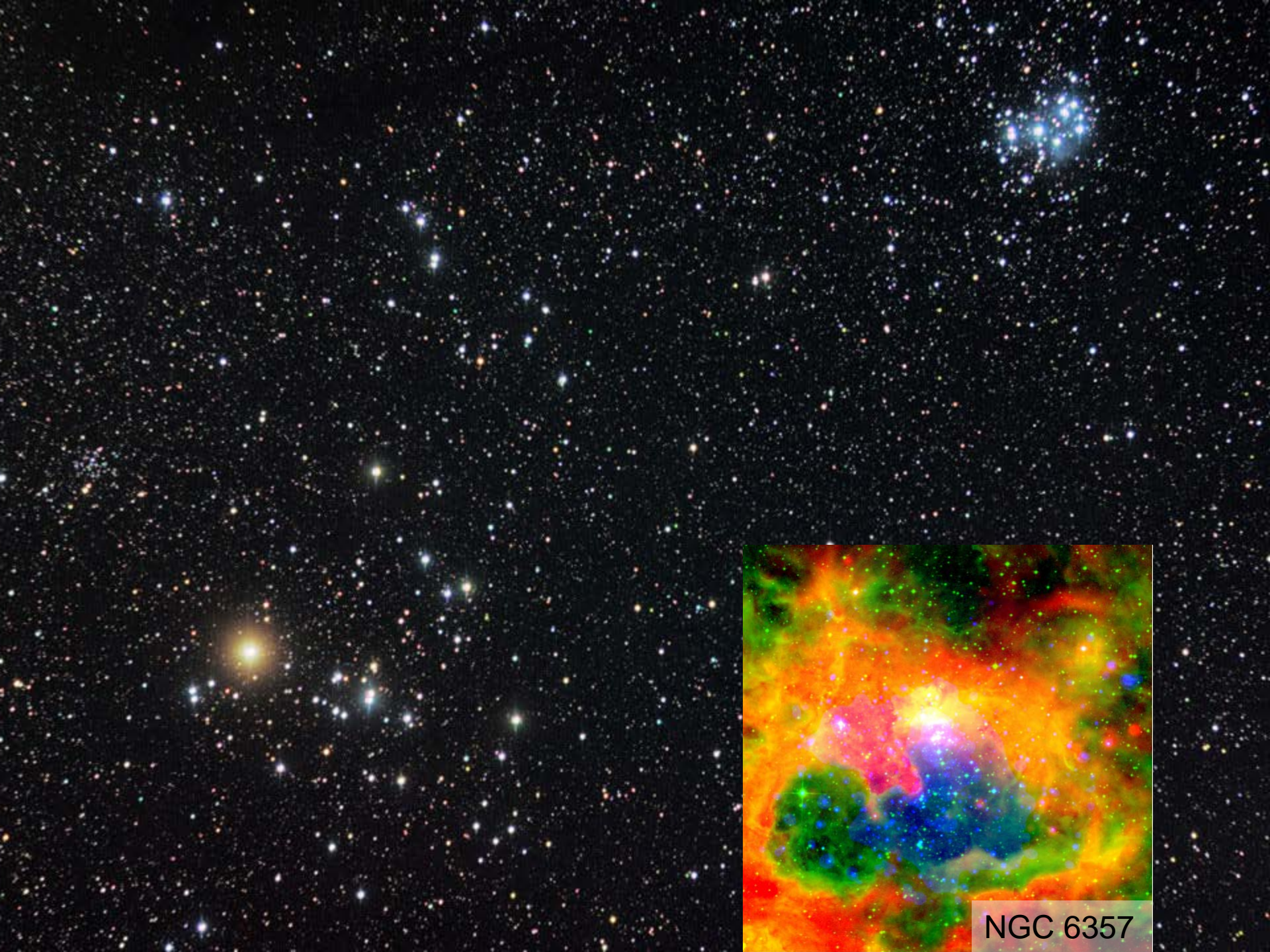


h + χ Persei
(young double cluster)



M67
(4 billion year old cluster)





NGC 6357

Hybridní?

NGC 6791 - jedna z nejstarších a největších známých otevřených hvězdokup

ale !

počet hvězd – tisíce, jenže starých 8 miliard let!
navíc s vysokým obsahem těžších prvků!

ale staré hvězdy by měly mít Z malé (v Galaxii se kovy hromadí jen pomalu)!

⇒ NGC 6791 jedna z nejstudovanějších
hvězdokup

možné vysvětlení:
pochází ze středu Galaxie...



„Volnější“ hvězdná uskupení (v rámci Galaxie)

dvě možnosti

- hvězdokupy přestávají být gravitačně vázané a rozpadají se
- nově vznikající hvězdokupy – hvězdy mají podobné trajektorie v prostoru

=> hvězdné asociace nebo pohybové hvězdokupy

pohybové hvězdokupy:

- ❖ Ursa Maior (Collinder 285) – hvězdy od Velkého Vozu, Cep až po TrA!
Slunce uvnitř, ale není členem (jiná trajektorie, věk, chem. složení)
- ❖ Hyády
- ❖ Jesličky a další

hvězdné asociace:

objev - Վիկտոր Համազասպի Համբարձումյան
Viktor Amazaspovič Ambarcumjan

- ✓ O asociace – masivní hvězdy, např. v Orionu, středem Trapez
- ✓ OB asociace – nejbližší Sco-Cen asociace
- ✓ R asociace – hvězdy střední hmotnosti se zbytky původní látky (reflexní mlhoviny, např. Mon R2)
- ✓ T asociace – hvězdy s malou hmotností v původní mlhovině (T Tauri)

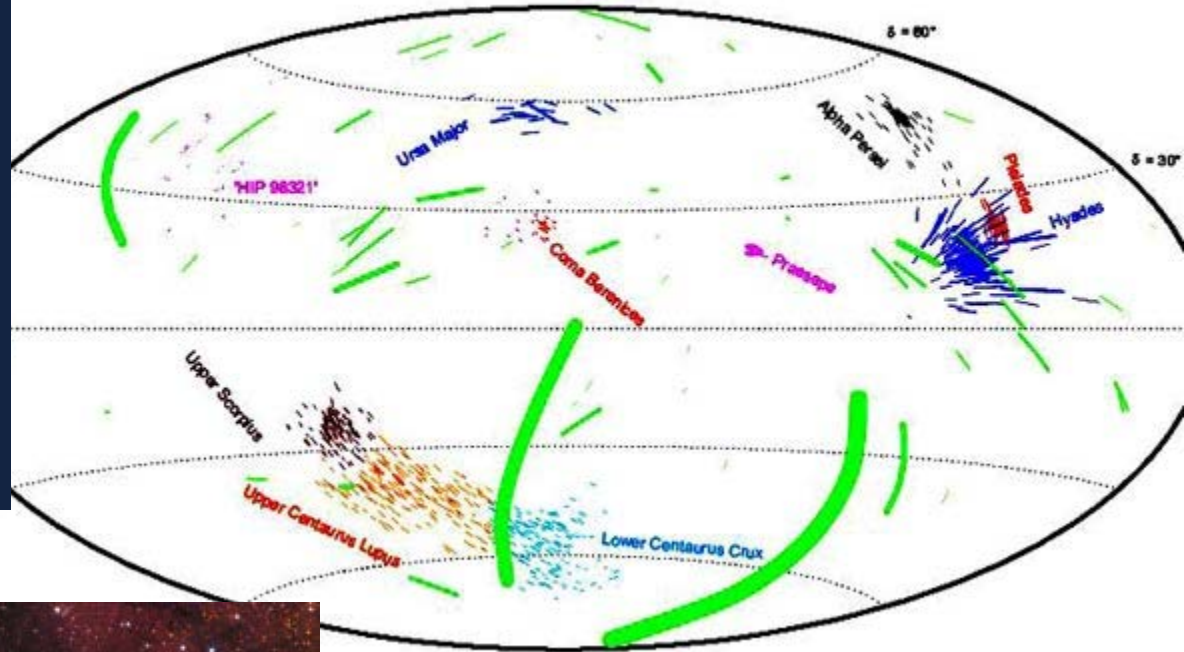


Ursa Major Moving Group

Same Neighborhood
Same Age
Same Composition
Same Direction



Motions of Local Stellar Group Streams



Ara OB1