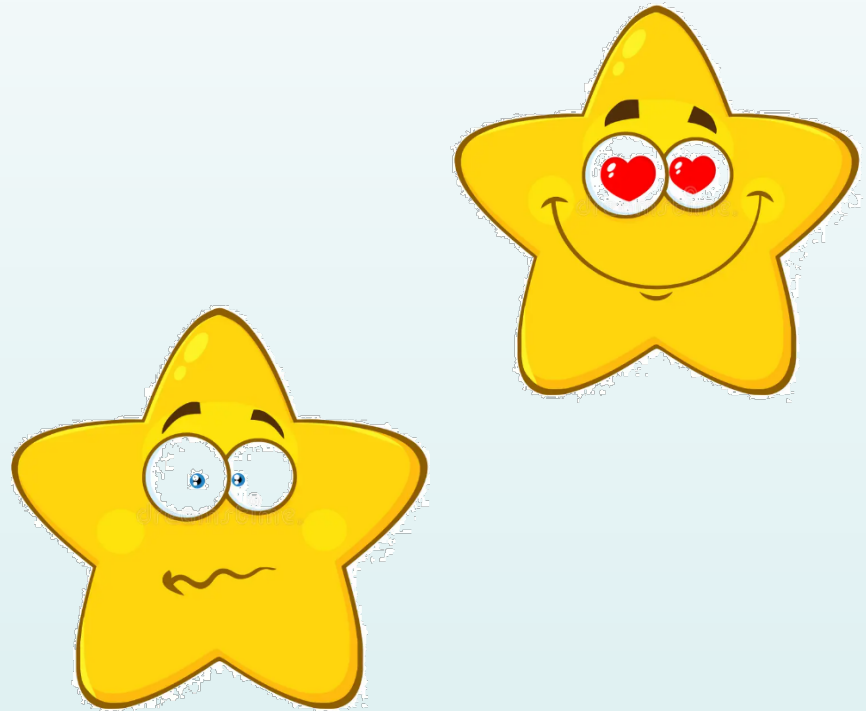


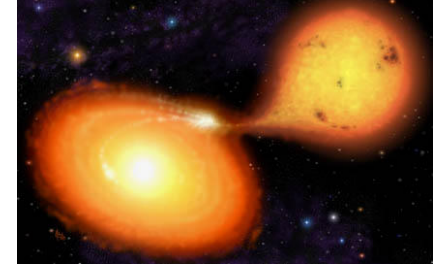
# Život hvězdných párů



**Miloslav Zejda**

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity

# Hvězdné páry



**Astronomie: páry hvězd – dvojice hvězd - dvojhvězdy**

**Dvojhvězdy - nejsou tak výjimečné jako hvězdné páry v šoubyznysu**

Velmi časté tvrzení - většina, více než 50 % hvězd ve dvojhvězdách  
např. J. Schombert - Univ. of Oregon - 85 % !

Historické studie – výběrový efekt!

1983 – Abt – jen 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 (ČT)

jen u 43 ze 171 ČT jako primárních složek dvojhvězd  
do 10 pc od Slunce je ČT nebo hnědý trpaslík

2023 - Van der Swaelmen et al. – spektroskopické dvojhvězdy z 37 565 objektů  
322 SB2, 10 (z toho 3?) SB3, a 2? SB4



# Dvojhvězdnost podle spektrálního typu

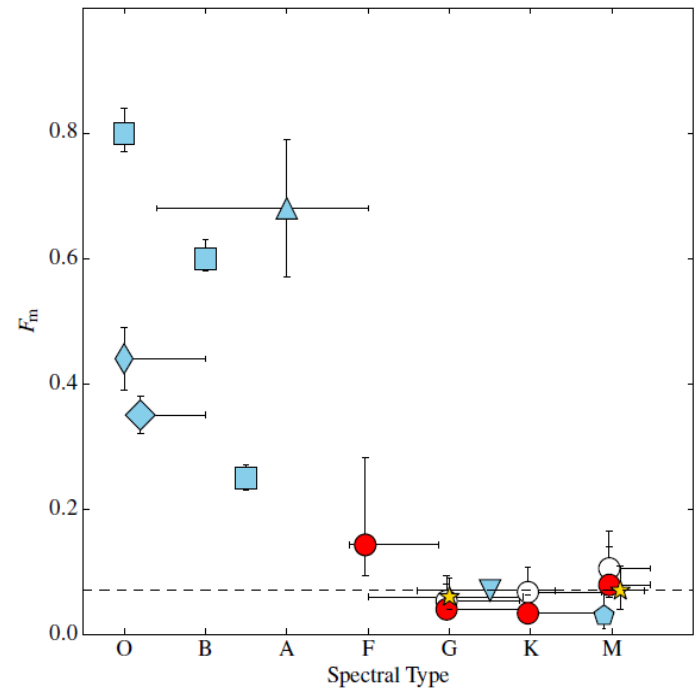
O – prakticky všechny hvězdy ve dvoj- a trojhvězdách

B/A – téměř všechny hvězdy ve dvojhvězdách a vícenás. systémech

sluneční typ – 40-60 % v soustavách 2- až 4-četných

M – ve dvojhvězdách jen 30-40 % hvězd

pozdní M-typ a hnědí trpaslíci - 10-30 %



# Rozmanitost světa dvojhvězd

## doba oběhu:

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)

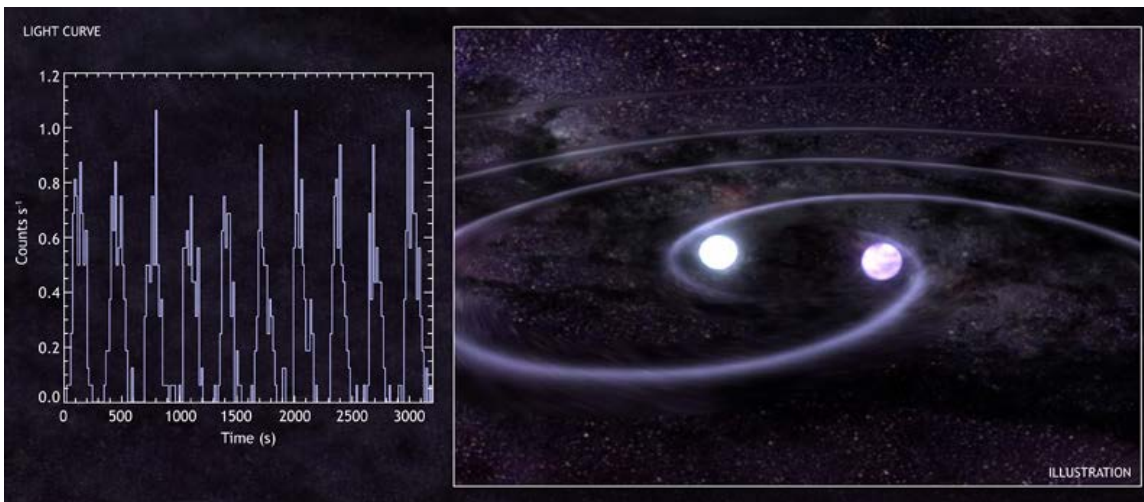
-> 27.2 roku ( $\epsilon$  Aur), 69.1 roku (AS LMi) a možná i WY Gem (64.5 roku)

**poloosa trajektorie:**  $a <$  řádově  $0.01 R_{\odot} \sim 10$  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

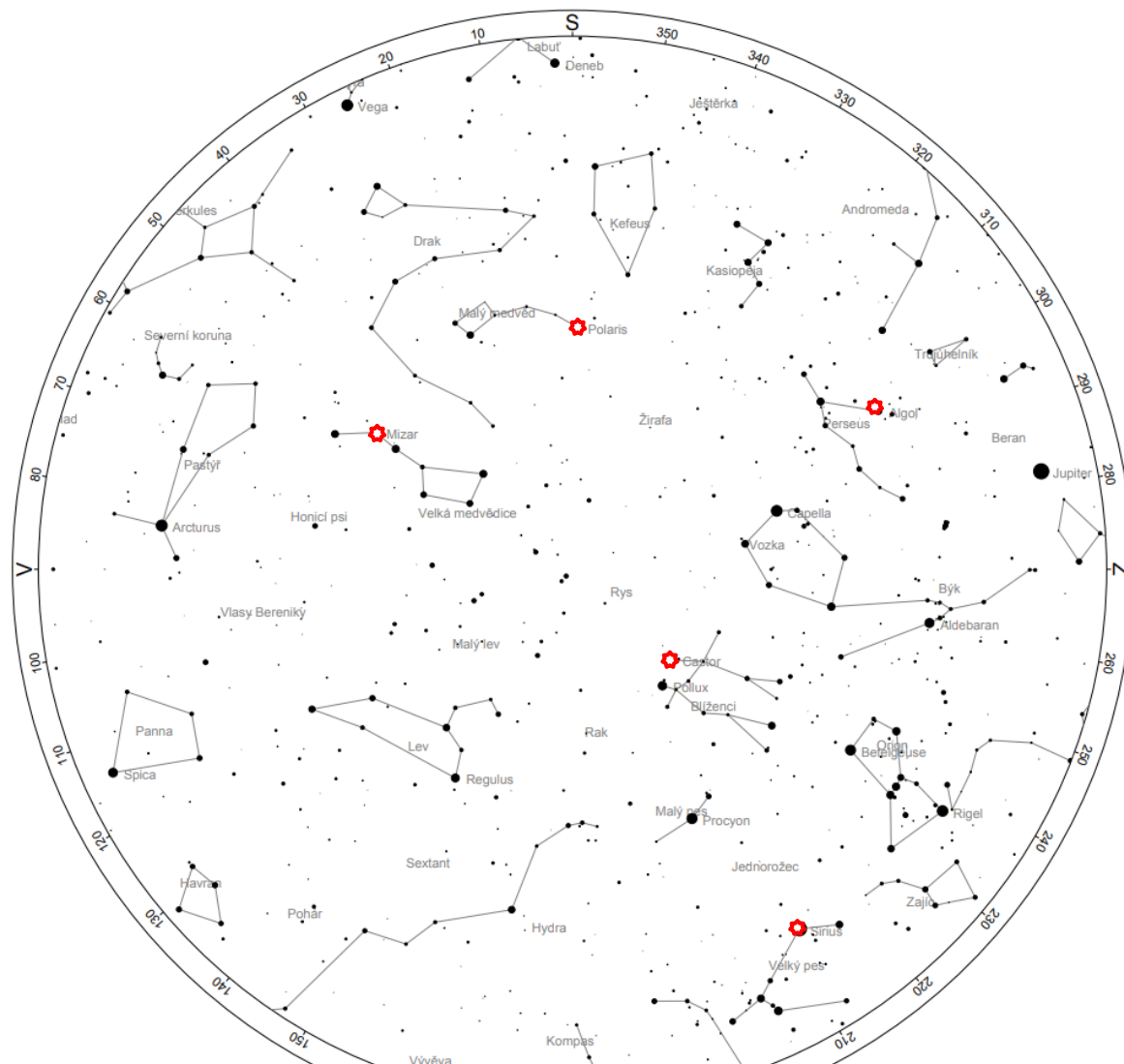


# Hvězdné páry nejen v šoubyznysu



# Hvězdné páry nejen v šoubyznysu

## aneb celebrity mezi hvězdami



**Alkor a Mizar**

**Sírius**

**Castor a Pollux**

**Polárka**

**Algol**

# Alkor a Mizar

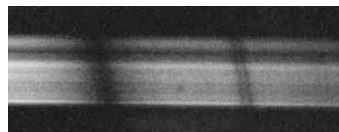
Dvojice slouží jako test zraku

## Mizar ( $\zeta$ UMa)

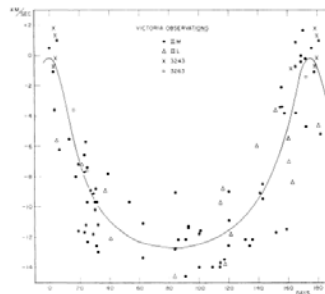
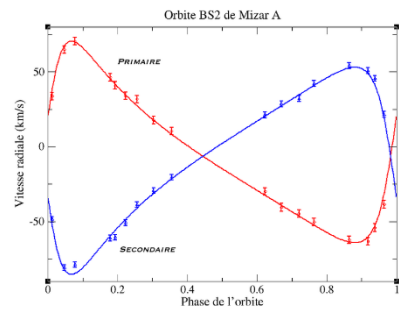
1617 Castelli požádal Galileiho o pozorování, ten v dopisu popsal, že jde o dvojhvězdu

1650 Riccioli – objev dvojhvězdy

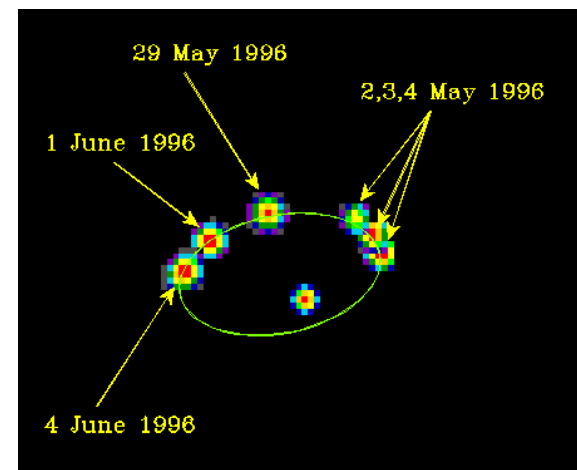
1890 Mauryová – Mizar A – 1. objevená spektroskopická dvojhvězda



1908 Ludendorffa nezávisle Frost – Mizar B je také spektroskopická dvojhvězda



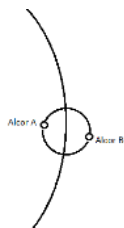
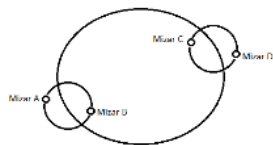
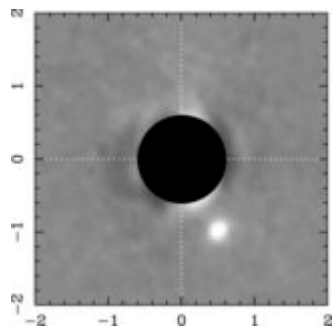
1996 interferometrie Mizaru A



# Alcor a Mizar

Alcor (80 UMa)

2009 Mamajek+ (nezávisle také Zimmerman+)-  
Alcor je také dvojhvězda



**Alcor & Mizar je šestihvězda!**



# Sírius

„Psí hvězda“ –  $\alpha$  CMa

Nejjasnější hvězda noční oblohy (-1,46 mag)  
vzdálena jen 8.6 ly (2.64 pc)

Významná v historii – např. heliaktické východy  
období záplav na Nilu, navigace na moři

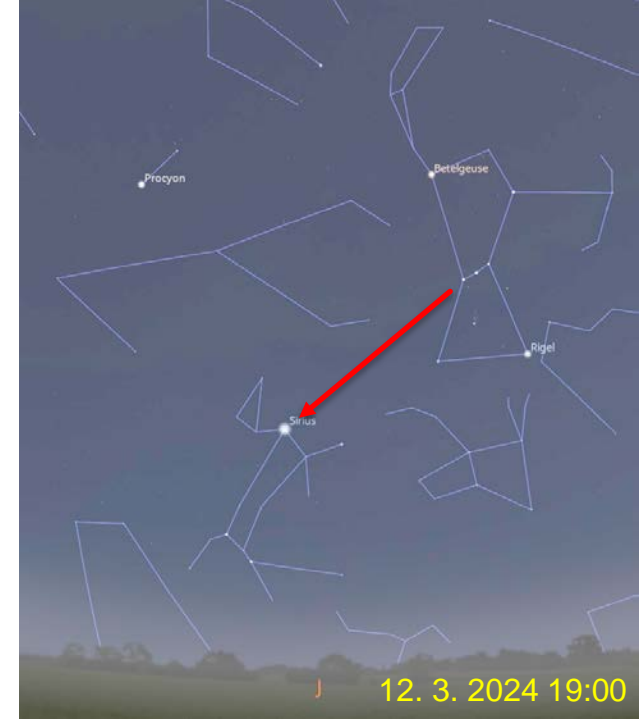
Scintilační divadlo

1698 Huygens – 1. odhad vzdálenosti (0.4 ly, paralaxa 7,5“),  
následovalo mnoho pokusů o změření  
paralaxy => v 19. st. paralaxa 0,25“

1717 Halley – velký posun Síria na hvězdné obloze  
vůči poloze v Almagestu (30‘)

1868 Huggins – 1. měření radiální rychlosti  
ze spektra

2007 HIPPARCOS – paralaxa 0.38“



# Sírius

1844 Bessell – změny ve vlastním pohybu => neviditelný průvodce

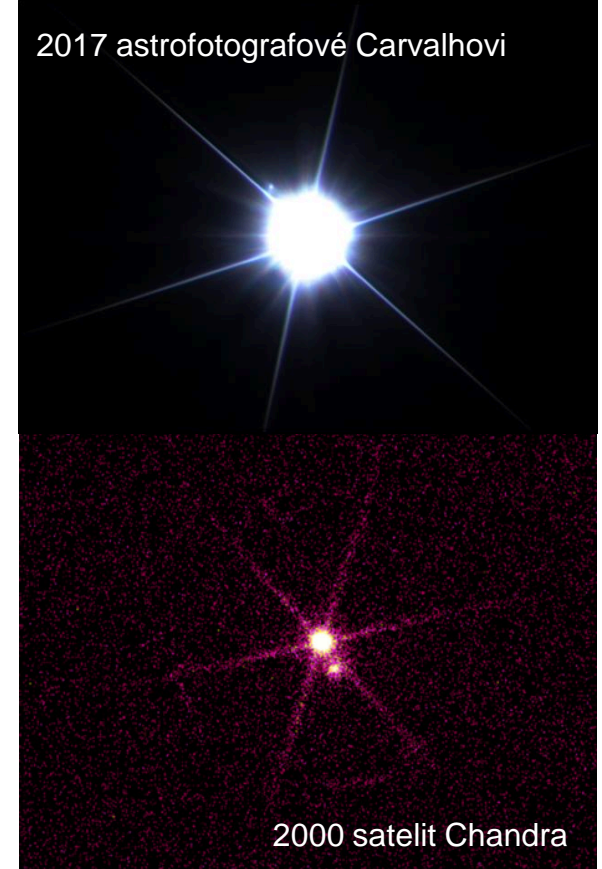
1862 Clark – 1. pozorování souputníka „the Pup“ (Štěně) – Sírius B

1915 Adams – spektrum Síria B => 2. pozorovaný BT

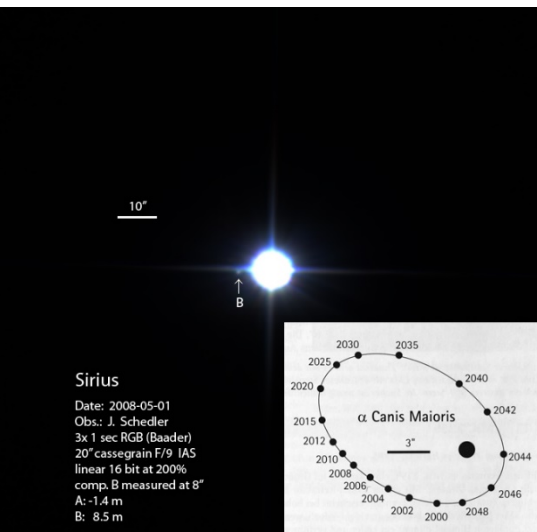
1959 rozměry Síria B – poloměr 12000 km, hmotnost  $1,02 M_{\odot}$

2017 Bond - nové parametry Síria A  $2,06 M_{\odot}$ ,  $1,7 R_{\odot}$ ,  $25,4 L_{\odot}$

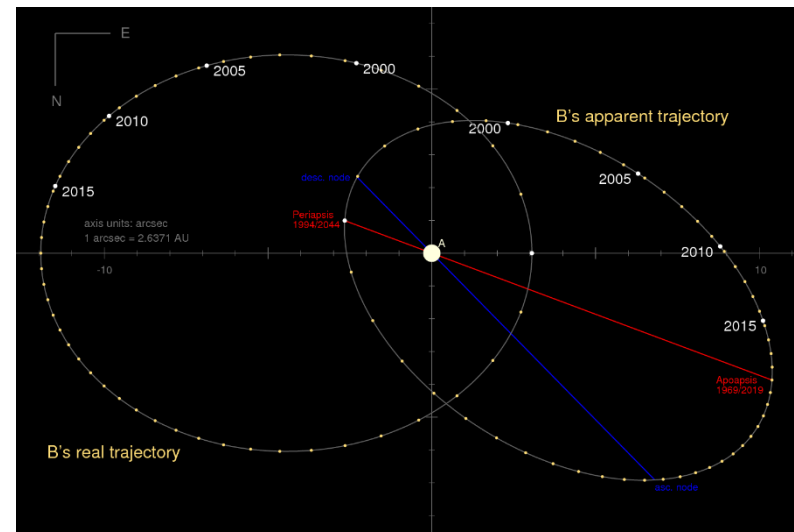
2017 astrofotografové Carvalhovi



2000 satelit Chandra

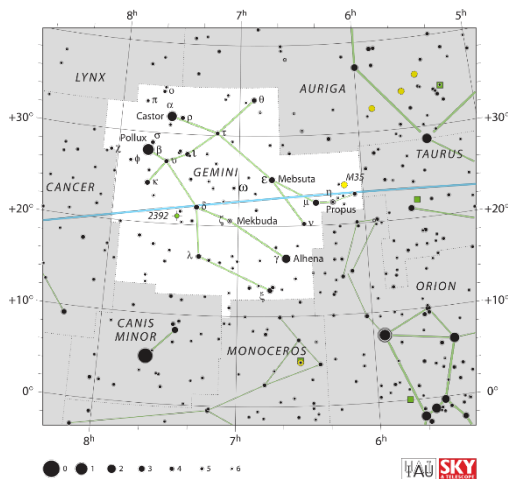


perioda oběhu 50.1 roku  
poloosa  $7,5''$ ,  
excentricita 0,59,  
inklinace  $136^{\circ}$



# Castor a Pollux

v římské mytologii bratři Castor a Pollux nebo také Dioscuri či Gemini, v řecké Kastór a Polydeukés



**Castor** – vzdálenost 51 ly

1718 Pound - poprvé jako dvojhvězda, (ale možná už Cassini v r. 1678)

vzdálenost mezi složkami Castor A a Castor B (2" v r. 1970 až 6" v r. 2017)

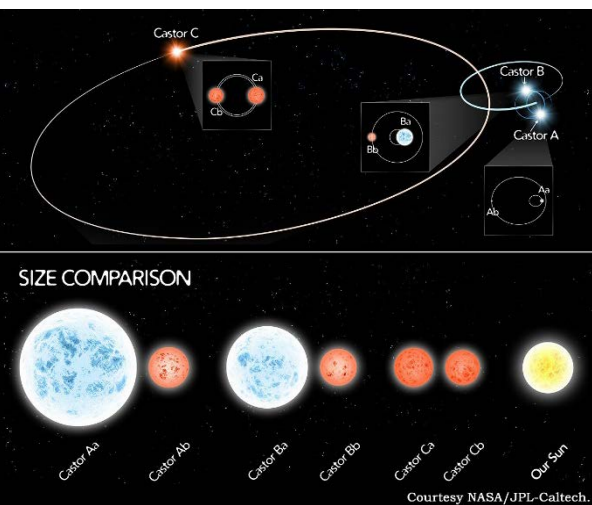
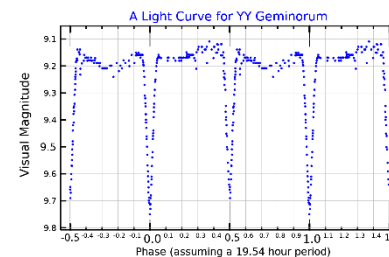


1896 Belopolsky – Castor A spektroskopická 2\*\*

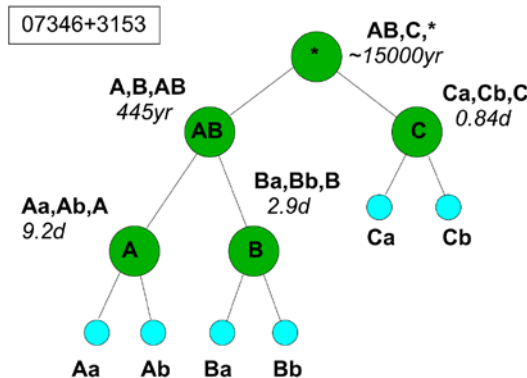
1904 Curtis – Castor B spektroskopická 2\*\*

1920 Adams&Joy – objev Castor C

1926 van Gent - Castor C je zákrytová 2\*\*  
YY Gem



**Castor je šestihvězda!**



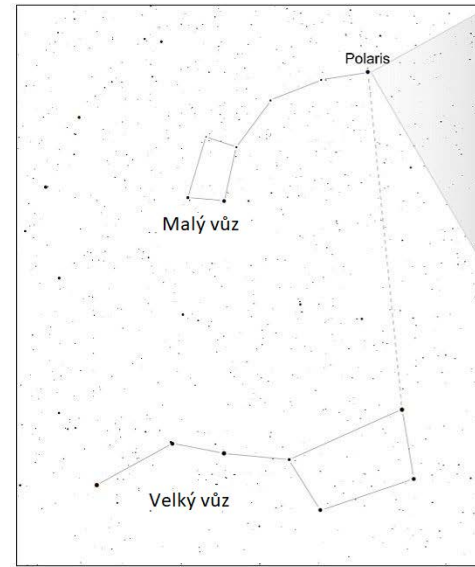
# Polárka

1779 W. Herschel (Herschel & Watson 1782)  
objev Polaris B (F3 V), 18“

50. léta 19. st. – objev proměnnosti

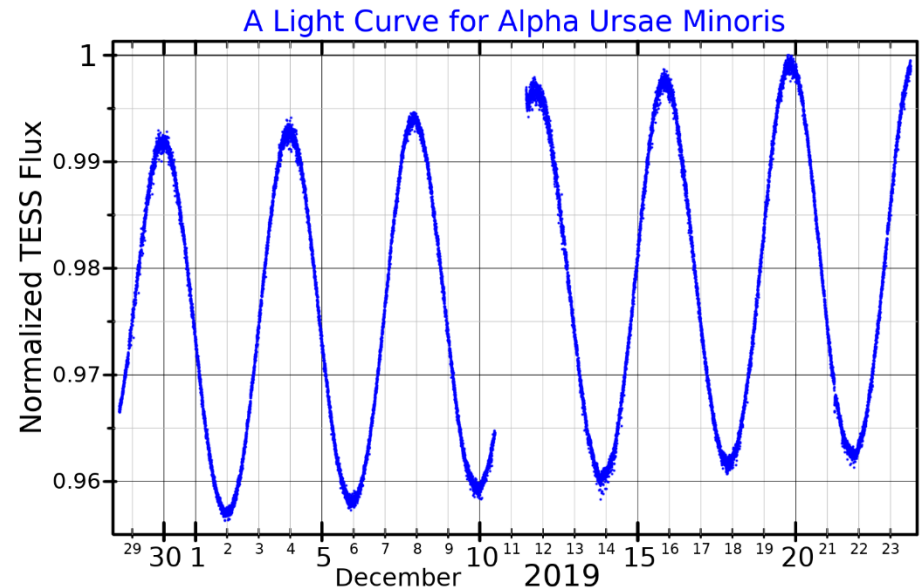
1899 Campbell – objev těsného spektroskopického průvodce (Polaris Ab, F6 V)

**Polárka je trojhvězda!**



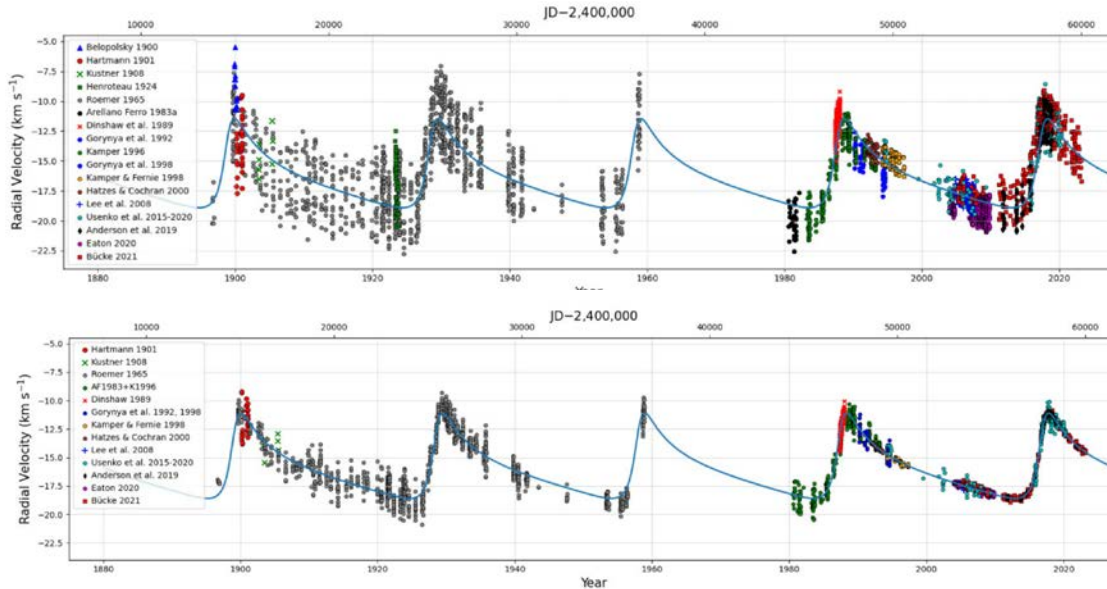
Hlavní složka:

Polaris Aa - žlutý veleobr (F7 Ib) a  
klasická cefeida s nezvyklou  
periodou (cca 4 d)



# Polárka

## Trajektorie Polaris Ab vzhledem k Aa (Evans+ 2008)

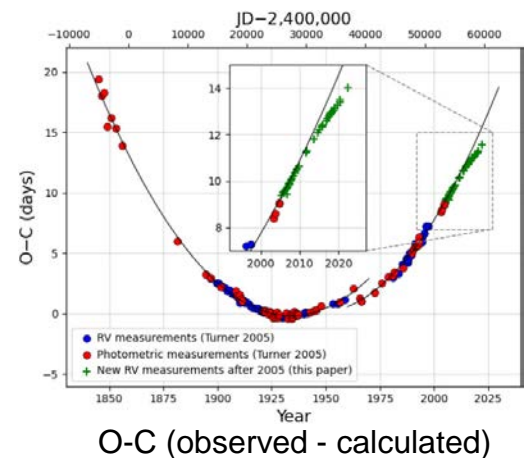
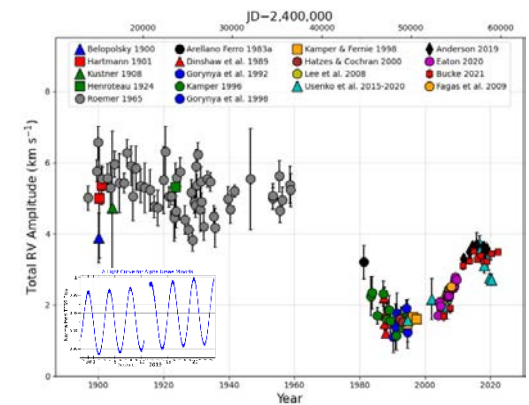
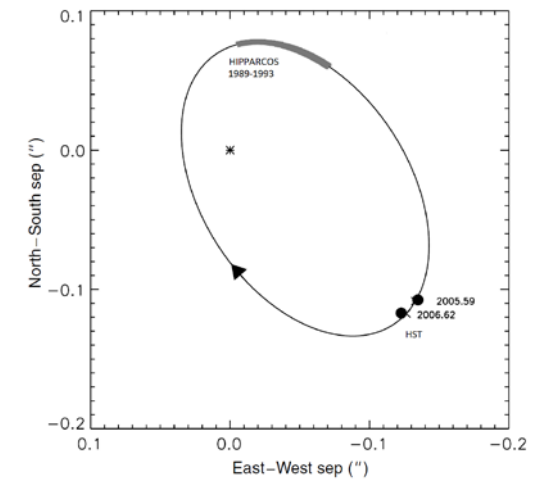


Křivky radiálních rychlostí s pulzacemi (nahore) a po jejich odečtení (dole)

## Změna periody a amplitudy pulzací

### vysvětlení?

- ❖ v důsledku vývojových změn (opuštění pásu nestability v HRD) - dle Torrese ne
- ❖ nepulzuje jen v základním módu (Evans, Torres)
- ❖ průchod pericentrem => silné působení složky Ab

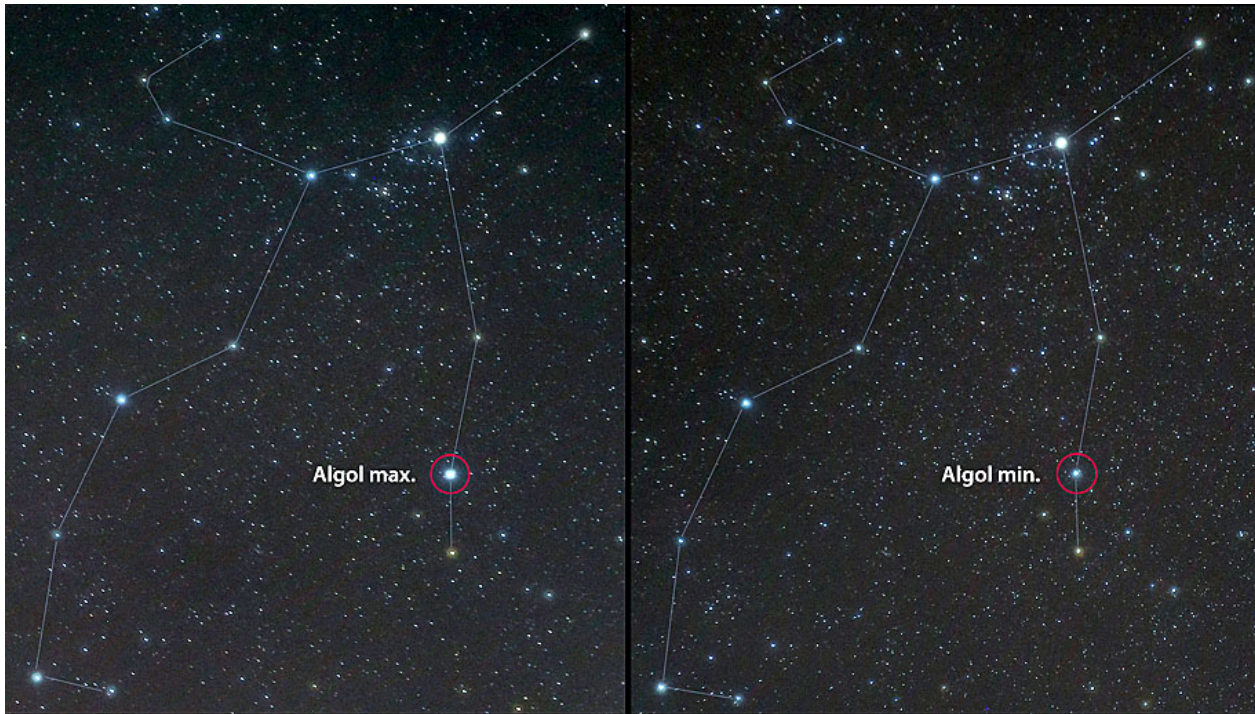


# Algol

*Al Ra's al Ghul* - Hlava Démona, Oko Medúzy -  $\beta$  Per

proměnnost známa už v starověkém Egyptě  
nejstarší zmínka v Káhírském kalendáři

1244 – 1163 př.n.l. – znali i periodu změn (2.85 d)!



1667 – Montanari – novodobý objev proměnnosti

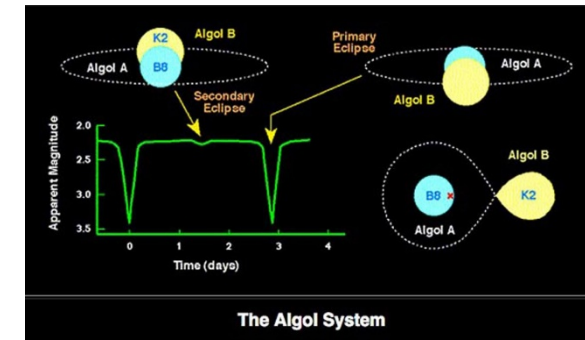
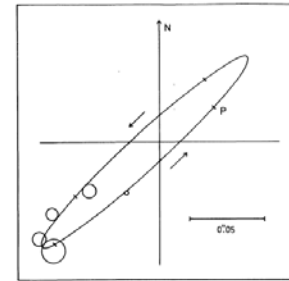
# Algol

1783 – Goodricke – perioda a první interpretace změn jako důsledek zákrytů

1881 – Pickering – model, potvrzení zákrytové hypotézy

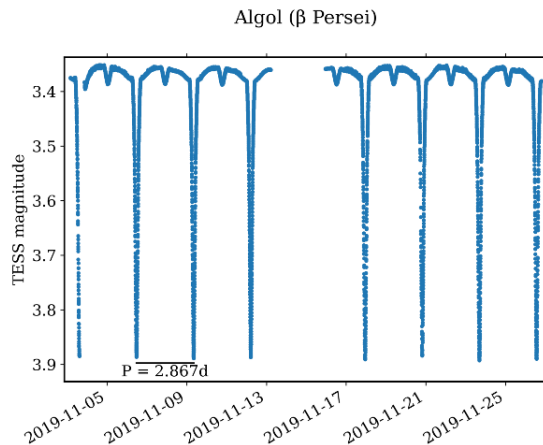
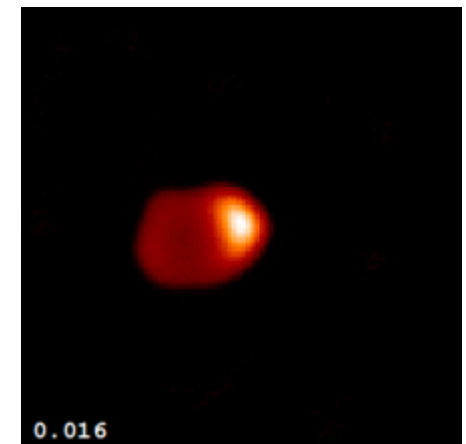
1889 – Vogel – spektroskopie, změny radiálních rychlostí=> potvrzení modelu => Algol jedna z prvních spektroskopických dvojhvězd

1908 – Curtis – objev Algolu C (P=681 d)



2010 – Zavala+ - interferometrické zobrazení složek

2019 Hajdu, 2021 Jetsu - 2 další složky?



# Algol

zákrytový pár A+B: B8 V + K0 IV; 3. složka C: F1 V

hmotnosti:  $3,17 M_{\odot} + 0,70 M_{\odot} = 1,76 M_{\odot}$

**paradox Algolu** - méně hmotná složka je dál ve vývoji!!!

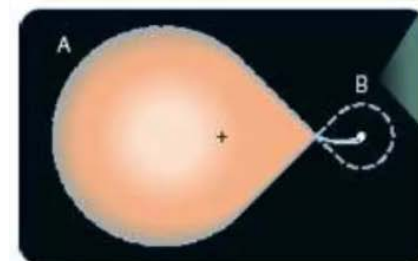
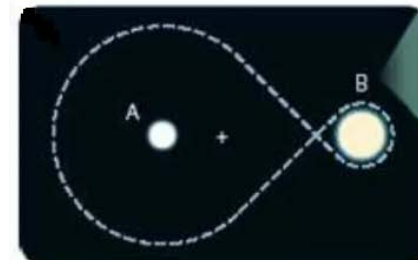
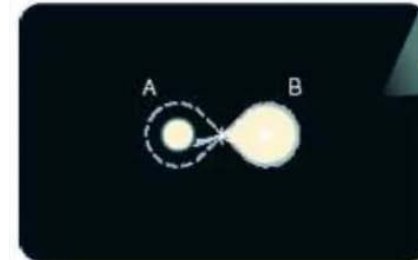
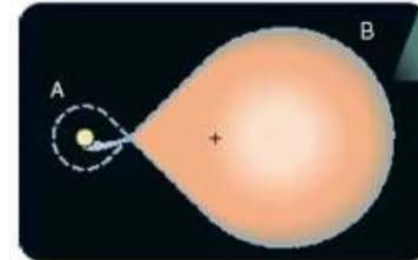
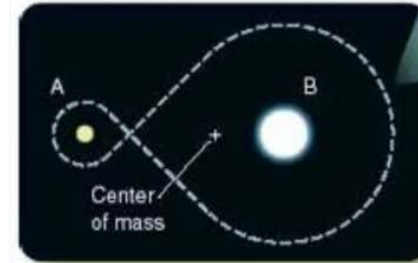
vysvětlení: “pes požírá psa”



50. léta 20. st. – několik autorů např. Crawford, Wood, Struve, Hoyle aj. – vývojový scénář s přenosem hmoty

- společný vznik => obě hvězdy v páru se vyvíjejí jako osamocené hvězdy
- hmotnější hvězda –rychlejší vývoj => začne se rozpínat -> vzniká obr, ale prostor omezen! - Rocheův lalok („šaty, které začínají být obrovi těsné“)
- přetok hmoty z hmotnější složky => postupně se hmotnější složkou stává hvězda A => změna poměru hmotností, periody
- po čase může probíhat i přetok opačným směrem!

The Evolution of a Binary System

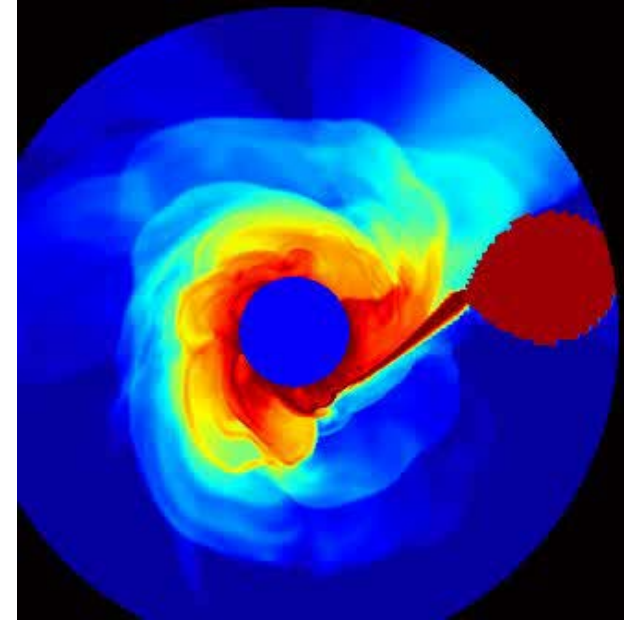




# Algol

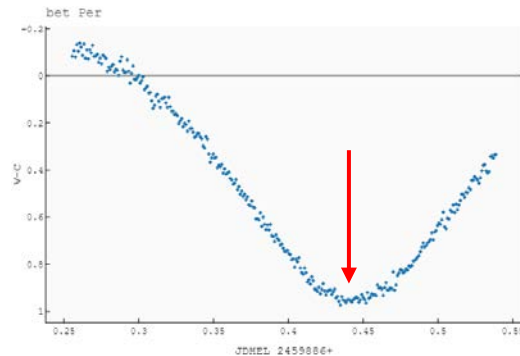
Blondin, Richards, Malinowski (1995)

- hydrodynamická simulace přenosu hmoty na základě spektroskopických pozorování



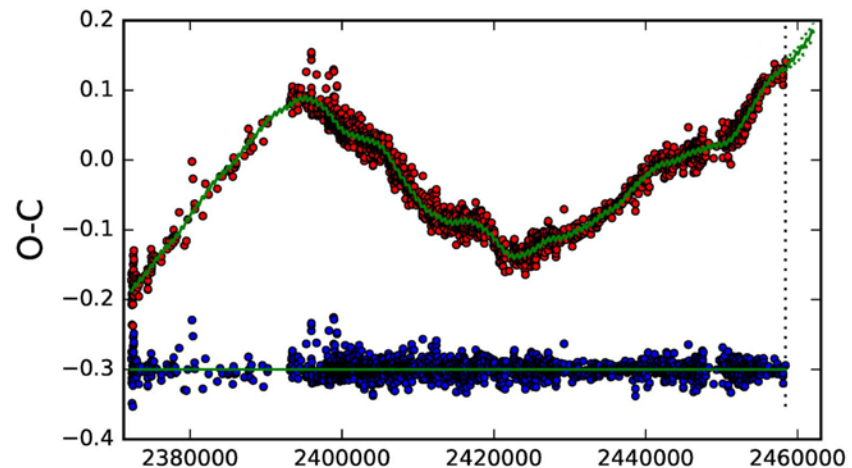
Lze zjistit přetok hmoty i z fotometrie?

Ano!



O-C (observed - calculated)

$$C = M_0 + EP$$

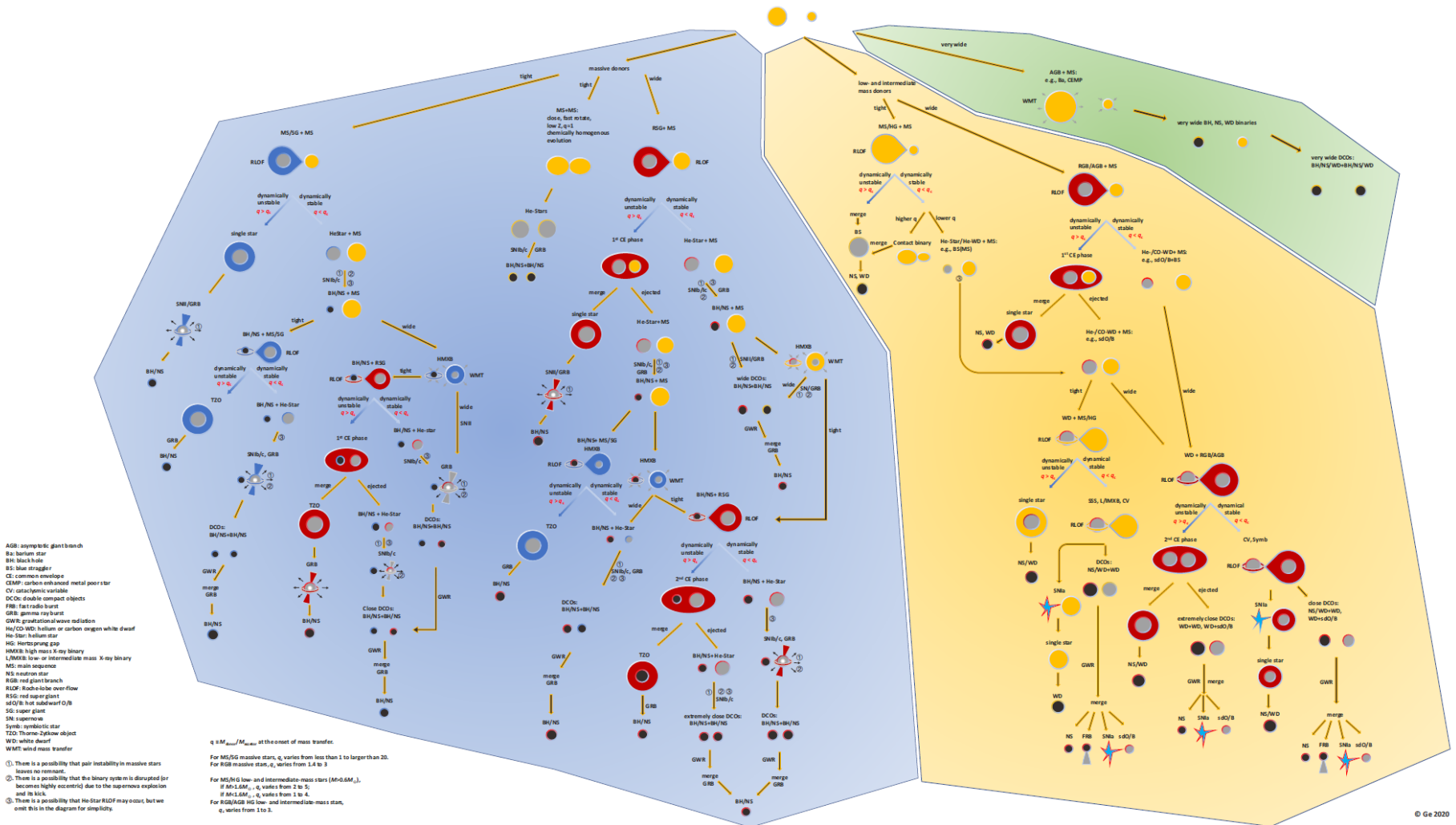


Z jednoduchých měření lze pomocí O-C zjistit přetok hmoty, přítomnost dalšího tělesa, ...

lze studovat vývoj vzdálených dvojhvězd!

# Vývoj dvojhvězd

## binary evolution



není vše jasné – existují “bílé místa”



**Děkuji za pozornost!**

