











Hvězdy zpovzdálí

hvězdy – základní stavební kameny ve vesmíru

vzdálené světy – jak je studovat?

dálkový průzkum vesmíru

Využívá se:

– aktivně – výběr objektů ke studiu

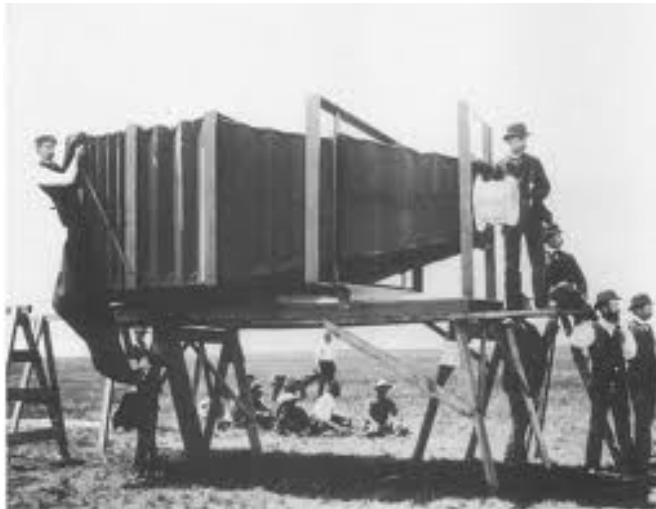
- fotometrie
- interferometrie
- spektroskopie
- pozorování v různých oblastech spektra (intenzita, polarita...)
- Hertzsprungova-Russellova diagramu
- u dvojhvězd také Keplerových zákonů (zejména 3. zákona), dynamické paralaxy

– pasivně – čekání na „signál“ odkudkoli

- částicové detektory
- detektory gravitačních vln

Fotometrie

- vizuální
- fotografická
- fotoelektrická
- CCD, CMOS



Fotografická metoda

fotografie v astronomii:

1840 – John William Draper – Měsíc

1850 – J. A. Whipple, G. Bond – daguerotypie Vegy

1857 – Bond - 1. koloidní snímek hvězd (Alkora a Mizara)

1881 Henry Draper – snímek mlhoviny v Orionu, hvězdy do 14.7 mag

1879-83 A. Common – snímky mlhoviny na suchých deskách; dlouhé expozice => hvězdy na snímku slabší než pozorovatelné vizuálně

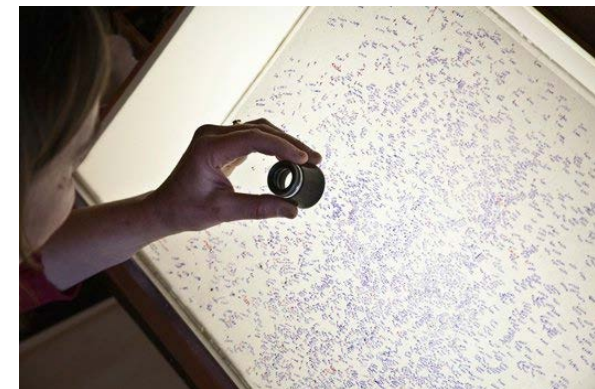
pravidelné a intenzivní využití – po dobu století (konec 19. – konec 20. st.)

citlivost – větší v modré oblasti, ale obecně pro celý rozsah světla

materiál – fotovrstva – film, desky => skleněné archívy

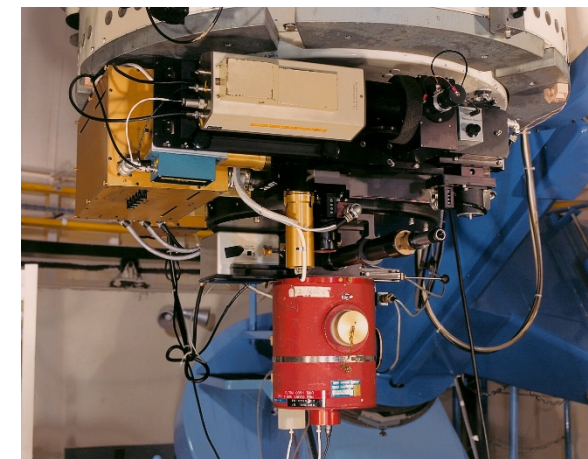
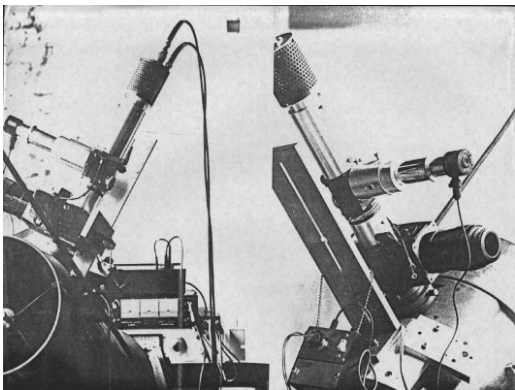
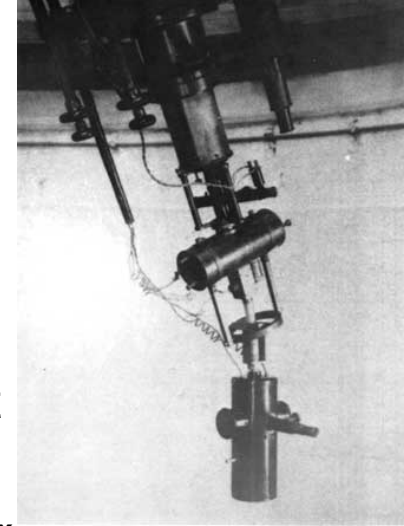
výhody: velká plocha desek, větší rozlišení než CCD

nevýhody: malá kvantová účinnost, nelinearita

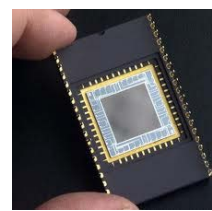


Fotoelektrická fotometrie

- fotoelektrický fotometr – 1. pokusy na konci 19. století (1892 W.H.S. Monck, 1907 J. Stebinns)
- standardní měření až od 50. let 20. st. (1946 G. Kron, poč. 50. let H. L. Johnson & W. W. Morgan *UBV*) – do konce 20. st.
- měření přes fotometrické filtry, obecně citlivější spíše v modré části světla (200-650 nm)
- náročné na pozorování a zpracování
- výhody: velká přesnost až 0,001 mag, standardizace měření
- nevýhody: nereprodukovatelnost, náročnost, jen jasné hvězdy



CCD + CMOS fotometrie



- CCD (Charge-coupled device) – W.S.Boyle a G.E.Smith 1969 (Nobelova cena 2009)
 - signál přenášen z pixelu na pixel a poté převeden na napětí,
- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) - založeny na standardní technologii, která se využívá při výrobě paměťových čipů; signál se transformuje na napětí přímo uvnitř každého pixelu (první návrhy a ideje počátkem 60. let 20. st.)
- od 1979 dodnes - masivní rozšíření i mezi amatéry (nejprve CCD, dnes CMOS)
- snímání pomocí elektronického čipu
- korekce snímků – dark, flat, bias
- citlivější spíše v červené oblasti, ale dnes citlivost rozšířena do modré
- zpracování na počítači, dá se kdykoli zopakovat
- **výhoda:** vysoká kvantová účinnost, jednoduché pozorování, zpracování, ukládání v archivu, možnost opakovaného zpracování, studium všech hvězd na snímku, možnost pozorovat slabší objekty
- **nevýhoda:** menší přesnost u běžných komerčních CCD kamer, při pozorování jasných objektů



Co lze zjistit z fotometrie

❖ proměnnost hvězdy

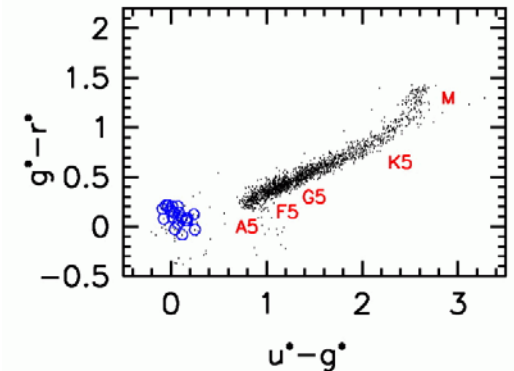
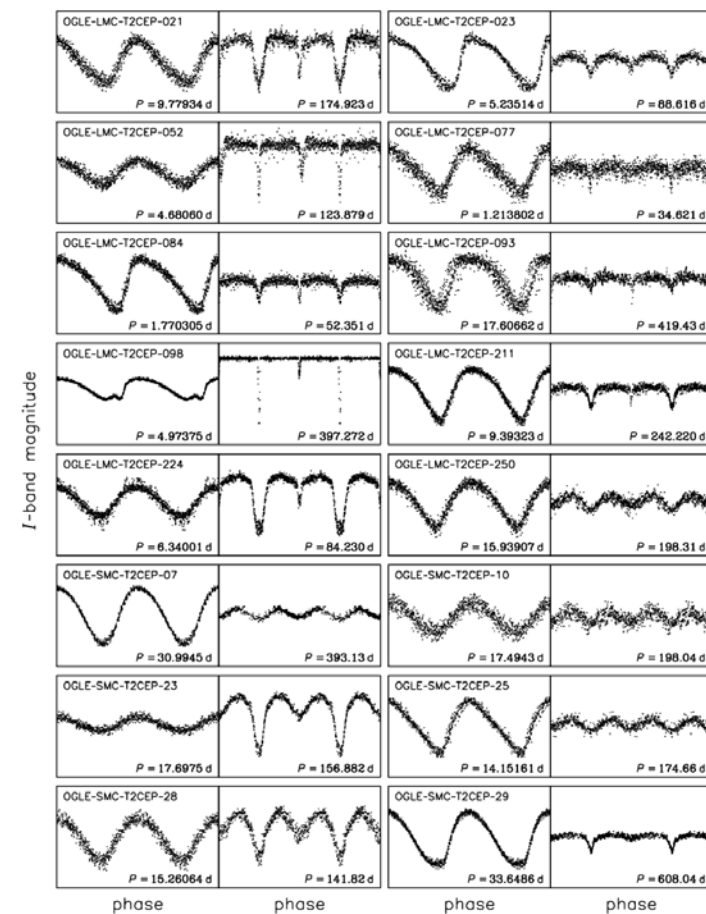
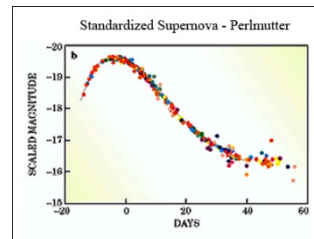
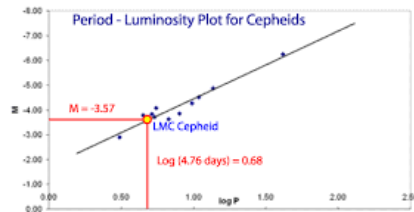
- dvojhvězdnost (zákrytové dvojhvězdy)
- doba rotace (CP hvězdy)
- vnitřní struktura (pulzující hvězdy, astroseismologie, excentrické zákrytové dvojhvězdy)
- aktivita hvězd (vzplanutí, výbuchy nov, supernov)

❖ teplota atmosféry, metalicita, log g (barevné indexy)

❖ koeficienty okrajového ztemnění (zákrytové dvojhvězdy)

❖ vzdálenost (standardní svíčky, zákrytové dvojhvězdy, cefeidy)

❖ ...



Interferometrie

- 1868 A.H.L.Fizeau, 1890 A.A.Michelson – ideové záměry
- 1920 – A.A.Michelson & F. Pease - určení průměru Betelgeuse
- **dosažení velkých rozlišovacích schopností**
- rozlišovací schopnost závisí na průměru dalekohledu
ALE místo obřích dalekohledů, menší ve větší vzdálenosti
=> nezachytí slabší objekty, ale rozlišovací schopnost bude stejná jakou by měl dalekohled o průměru = vzdálenosti menších dalekohledů

nejvíce využíváno v radioastronomii,
ale dnes i optická interferometrie
(CHARA, MERLIN)

ALMA (Atacama Large Millimeter Array
0,3 až 9,6 mm; česká účast)

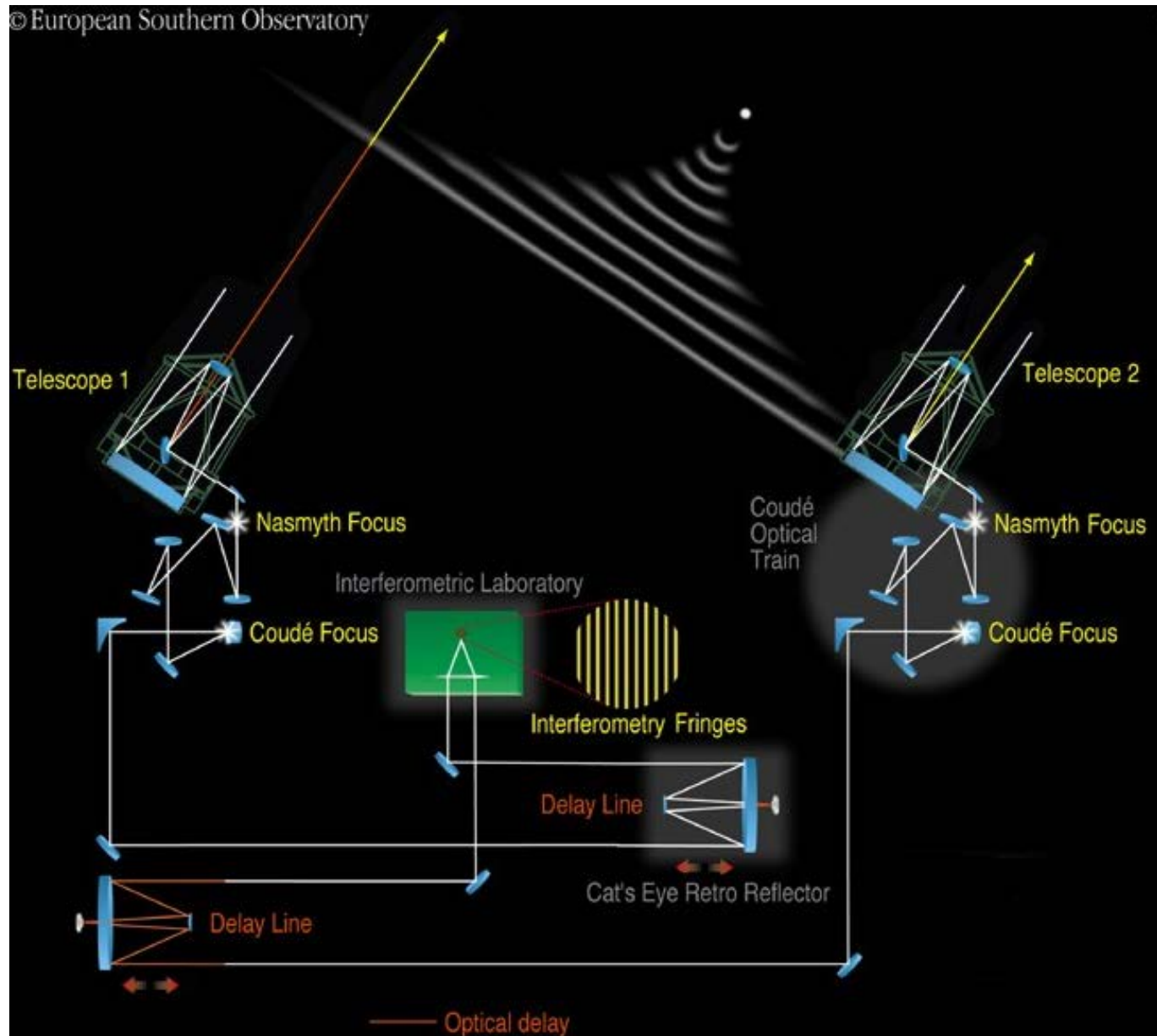


VLA (Very Large Array) v Novém Mexiku, USA

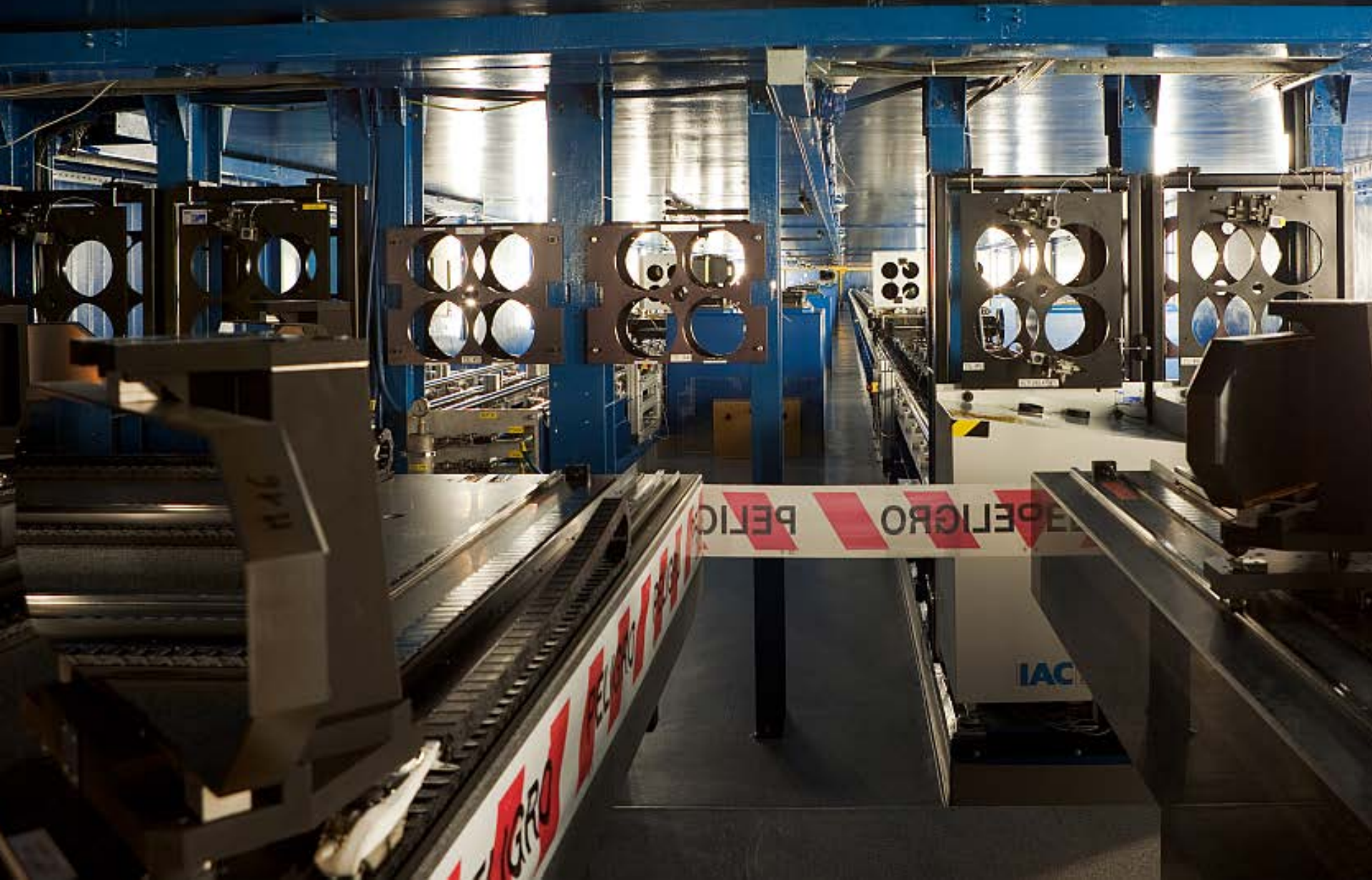




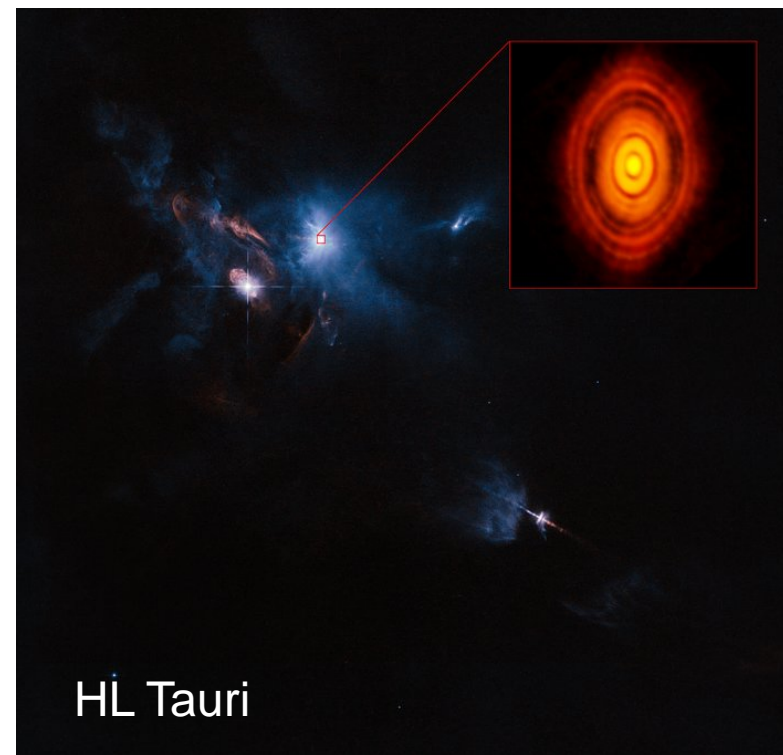
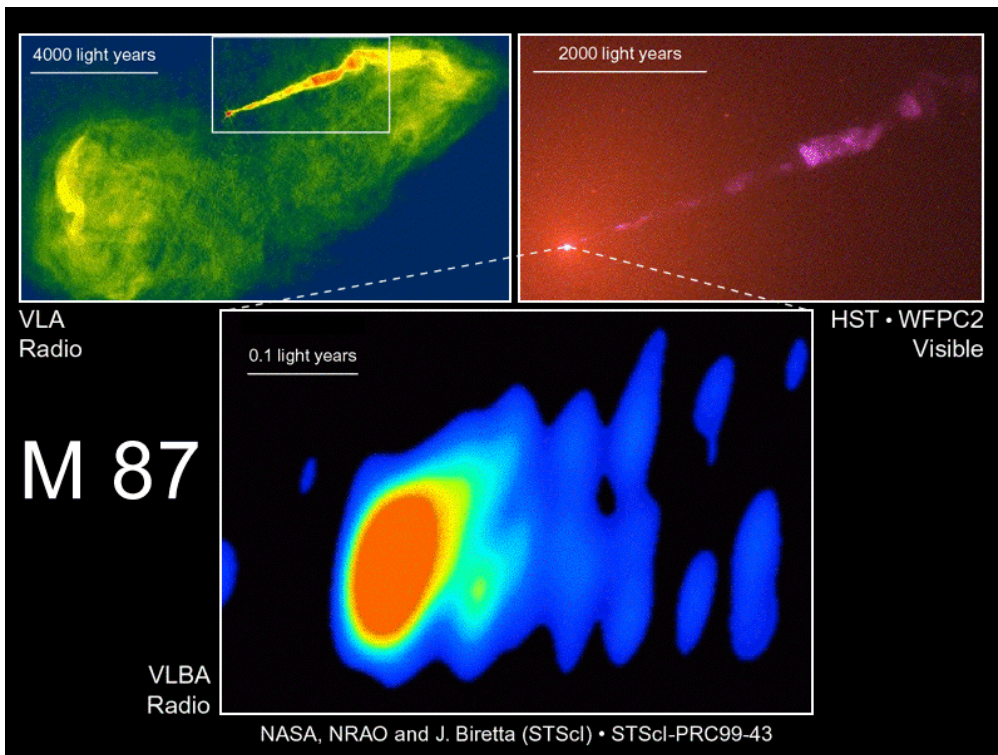
ESO Paranal



tunel VLTl

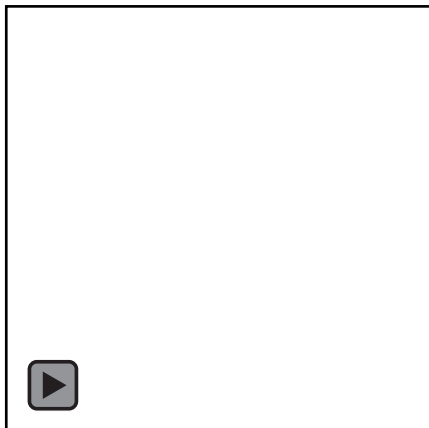


Ukázka výsledků a možností interferometrie



prach v okolí centrální černé díry aktivní galaxie NGC 3783 (představa umělce na základě měření VLTI)

Ukázka výsledků a možností interferometrie



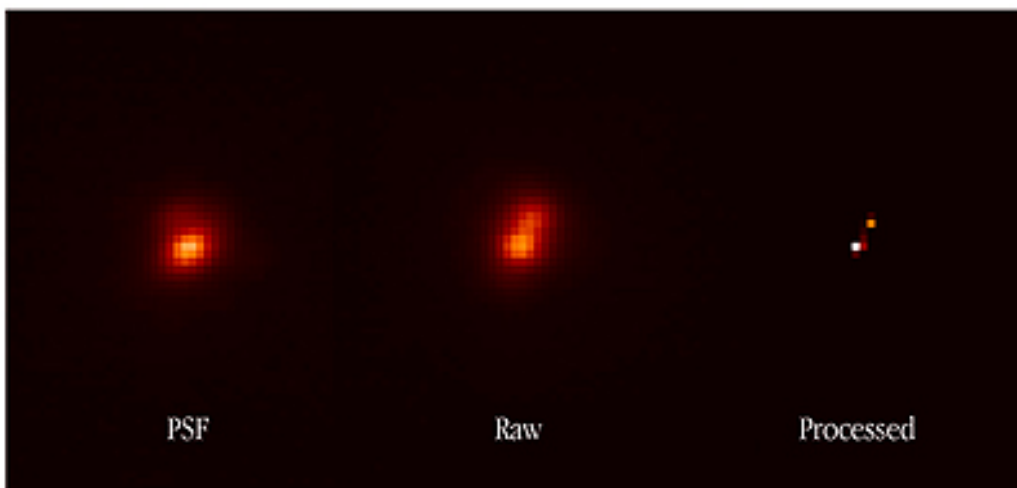
β Persei

Rozlišení: 0.5 mas, tj. 200x lepší než HST

Srovnání: jako Eiffelova věž viděná z New Yorku

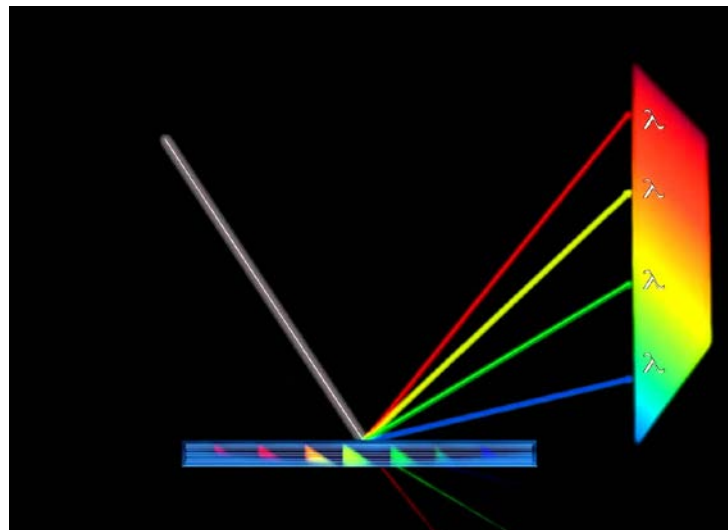
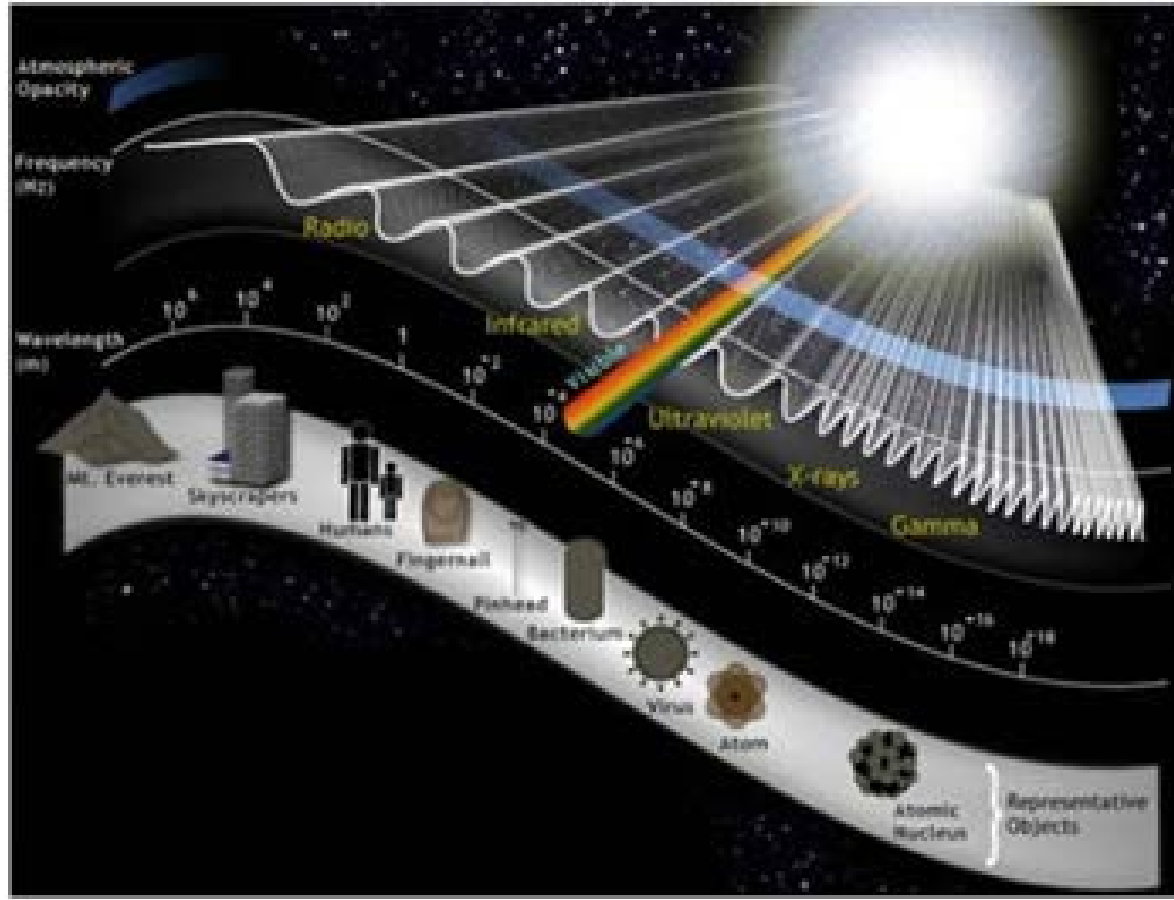
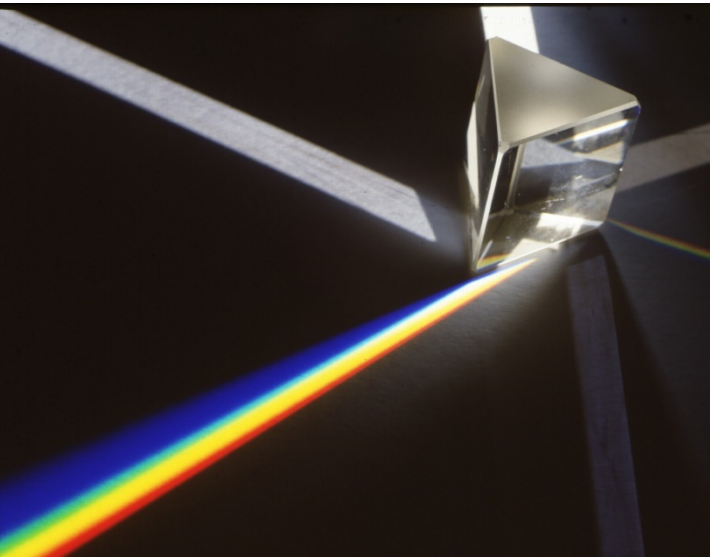
Výsledky z interferometru CHARA (Baron a kol., 2012)

β Lyrae



Separation of a Very Close Double Star
(VLT YEPUN + NAOS-CONICA)

Spektroskopie



ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

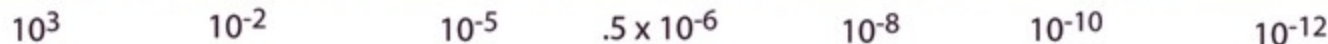
Proniká atmosférou
Země?



Záření



Vlnová délka
[m]

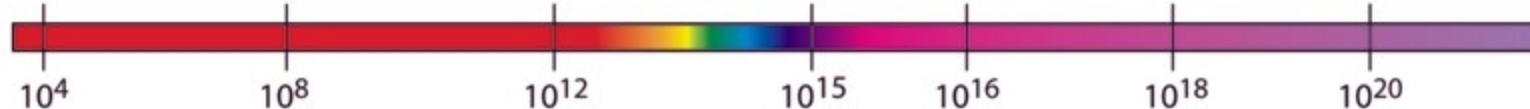


Přibližná velikost...

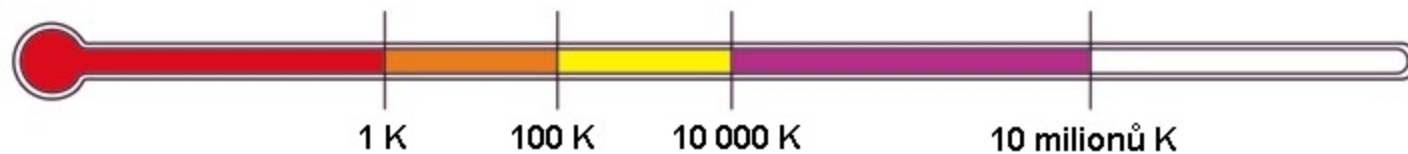


budov lidí včely hlavičky špendlíku prvoků molekuly atomu jádra atomu

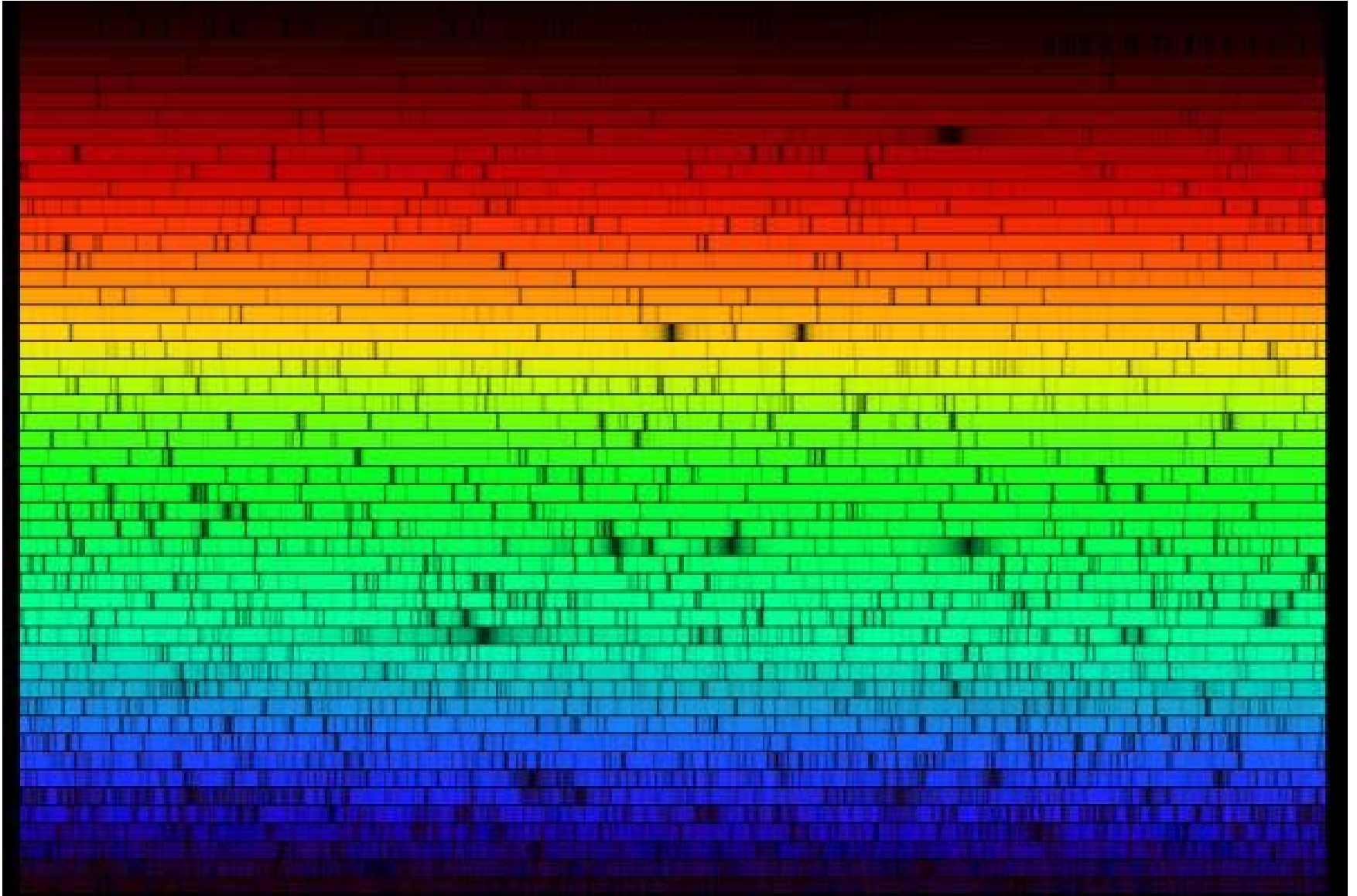
Frekvence
[Hz]



Teplota těles
vyzařujících
na vln. délce
[K]



Sluneční spektrum s vysokým rozlišením



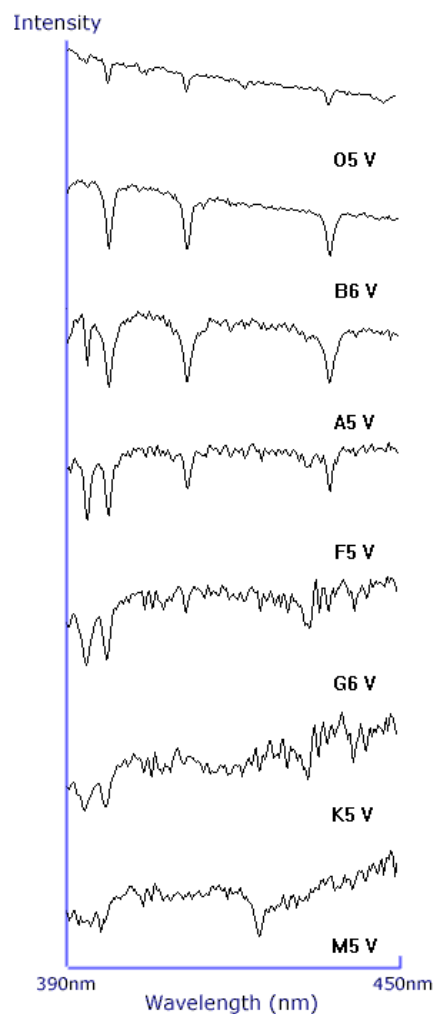
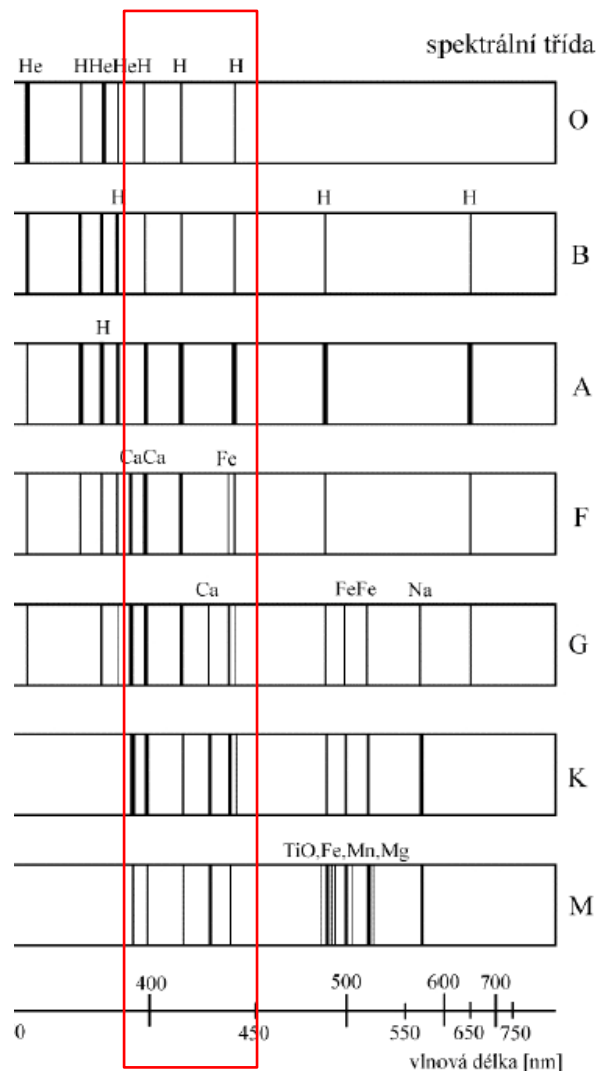
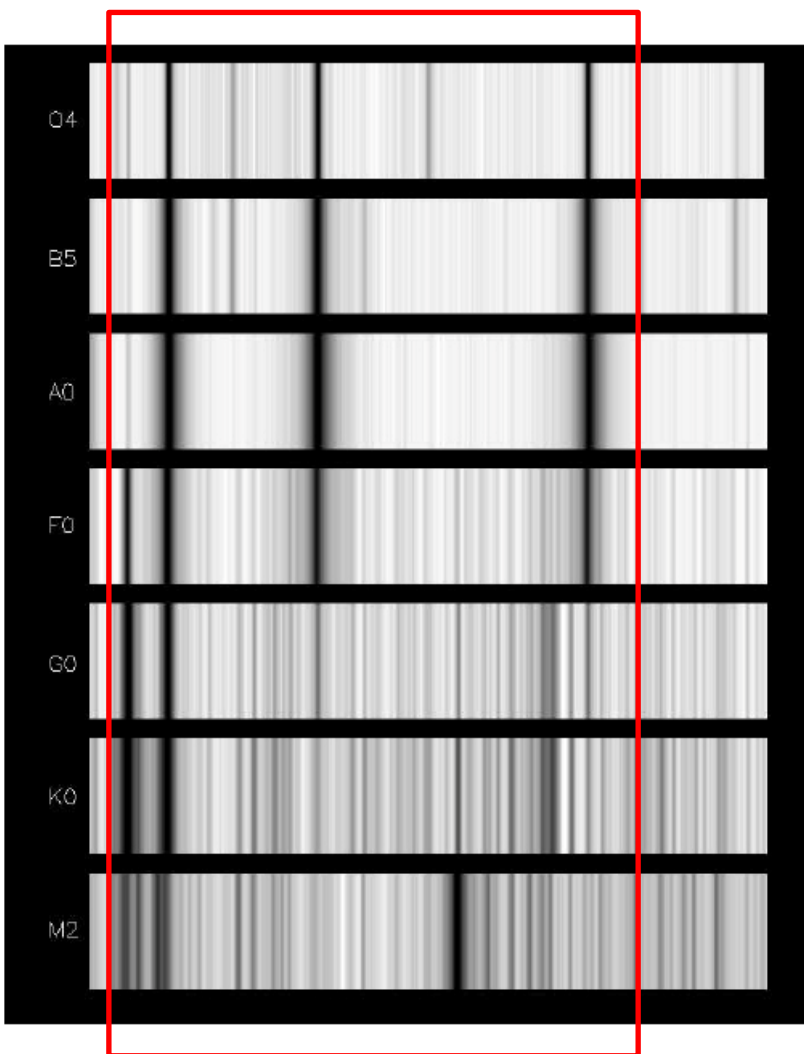
Spektrální třídy a povrchové teploty hvězd

<i>Spektr. třída</i>	<i>Povrchová teplota</i>	<i>Charakteristické čáry</i>	<i>Typičtí představitelé hvězdy</i>
O	28 000 – 40 000 K	ionizované a neutrální He, slabý H	Alnitak, Mintaka
B	10 000 – 28 000 K	neutrální helium, silnější vodík	ϵ Ori, α Vir
A	7000 – 10 000 K	silný vodík	α CMa, α Lyr
F	6000 – 7000 K	slabší čáry vodíku, ionizované kovy	α CMi, α Per
G	5000 – 6000 K	velmi slabý vodík, ionizované a neutrální kovy	Slunce , α Aur,
K	3500 – 5000 K	občas velmi slabý H, neutrální kovy, slabé molekulové pásy	β Gem, α Tau, α Boo
M	2000 – 3500 K	velmi málo nebo žádný H, neutrální kovy, silné molekulové pásy	α Ori, α Sco
L	1300 – 2000 K	žádný H, pásy kovových hydridů, alkalických kovů a molekul	V838 Mon, VW Hyi
T	700 – 1300 K	velmi zřetelné spektrální pásy metanu	ϵ Ind
Y	200 – 700 K	čáry čpavku	někteří hnědí trpaslíci

Harvardská spektrální klasifikace (spektrální třídy)

O – B – A – F – G – K – M – L – T – Y (<http://www.astro.sunysb.edu/fwalter/AST101/mnemonic.html>)

Posloupnost sp. tříd = teplotní posloupnost! (nalevo jsou vyšší povrchové teploty)



Spektrální informace ze světla hvězd

Pozorované spektrální charakteristiky

Maximální vyzařování pro frekvenci nebo vlnovou délku (pouze spojitá spektra)

Přítomnost čar

Intenzity čar

Šířka čar

Dopplerův posuv

Získaná informace

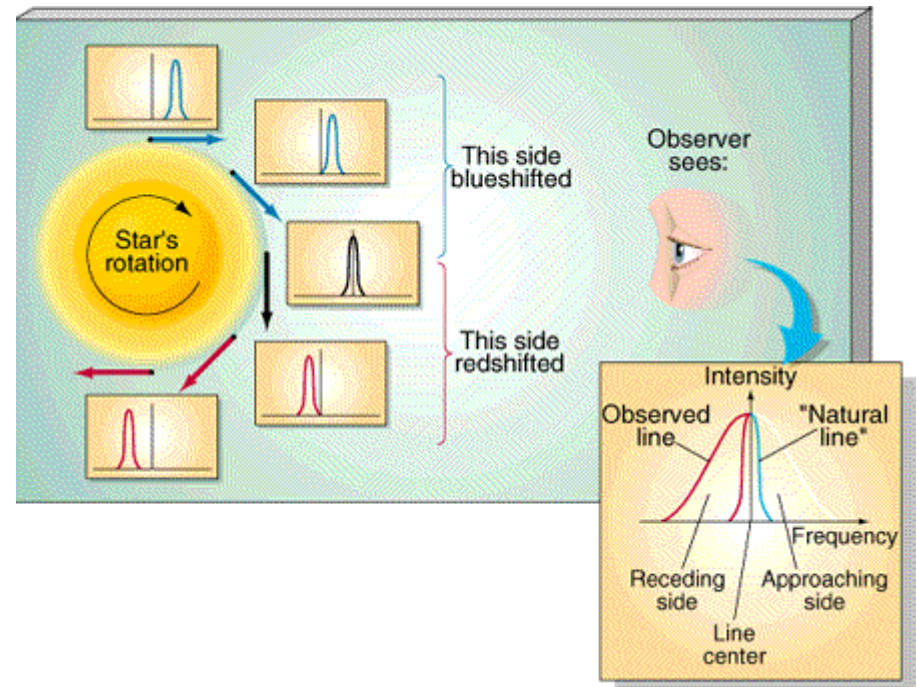
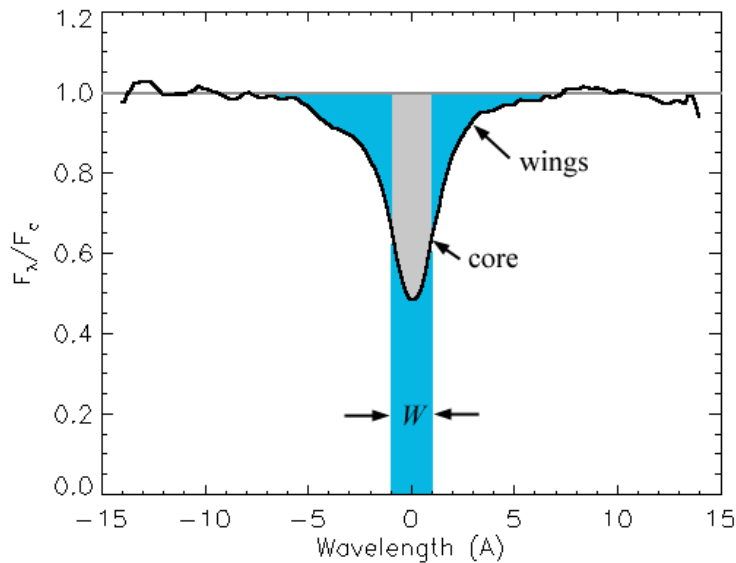
Teplota (Wienův posunovací zákon)

Složení, teplota

Složení, teplota

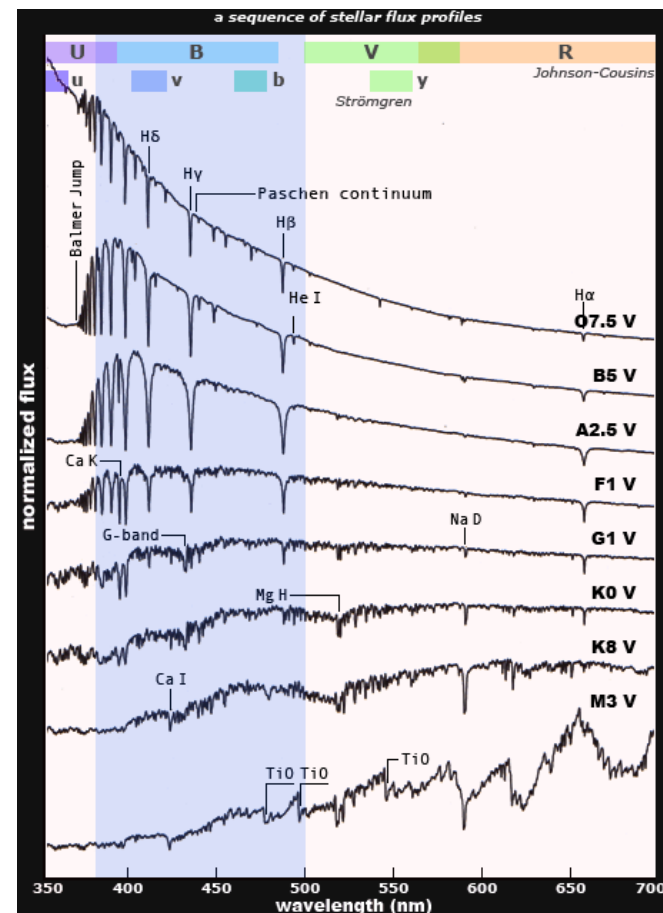
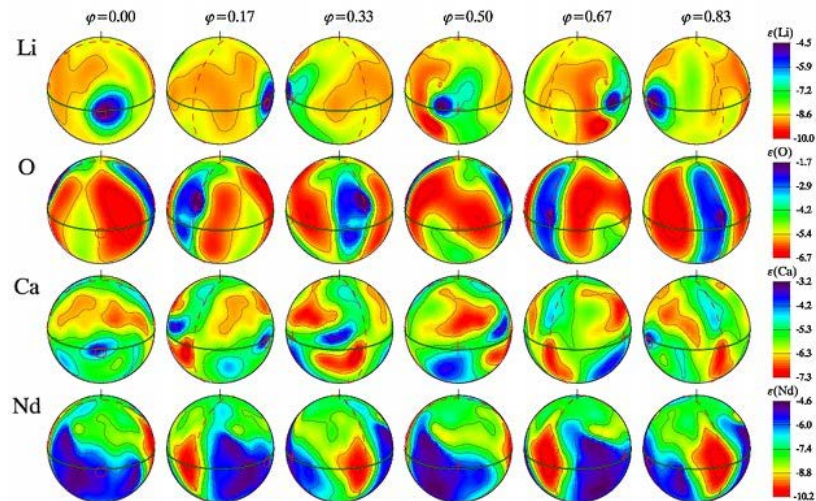
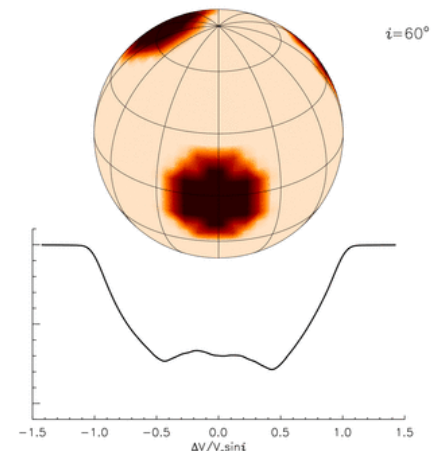
Teplota, turbulence, rychlost rotace, hustota (tlak), magnetické pole

Radiální rychlost

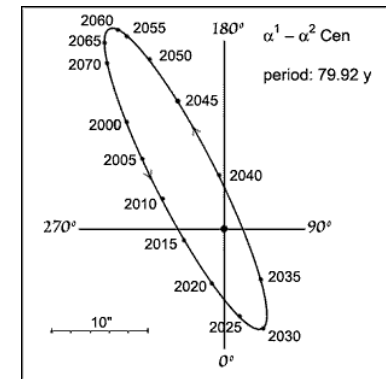


Proč studujeme spektra hvězd?

- Složení atmosfér hvězd
- Určení rychlosti rotace
- Studium skvrn na povrchu hvězd
- Určení vzájemné rychlosti hvězda – pozorovatel
- Studium hvězdného větru
- Detekce dvojhvězd ve spektru, určování radiálních rychlostí složek
- Detekce exoplanet z měření radiálních rychlostí, zkoumání atmosfér exoplanet

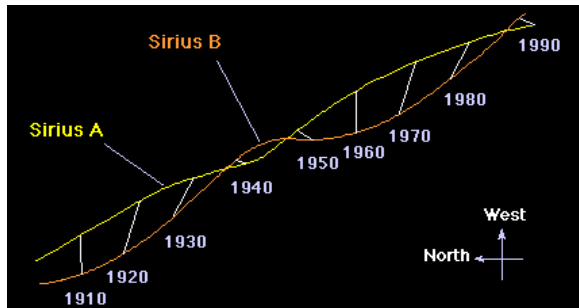


Dvojhvězdná studnice informací

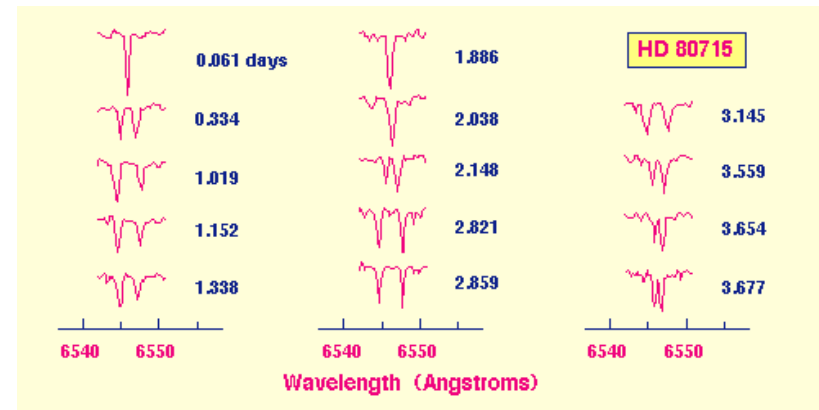


Dvojhvězdy podle metody pozorování:

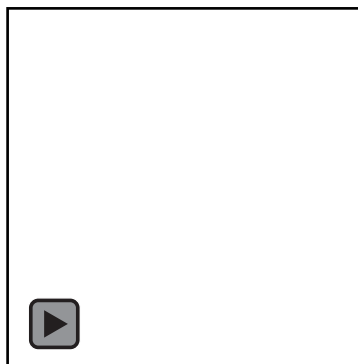
- ❖ vizuální - Galileo, Castelli (1616); Michell (1767), Herschel (1782)
- ❖ astrometrické - Bessel (1844), Clark (1862) – Sírius



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



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

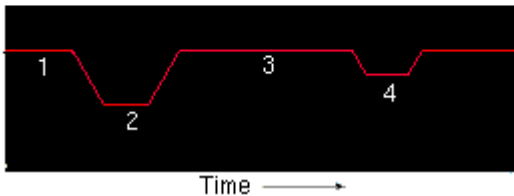
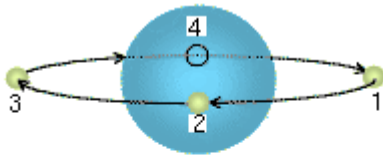
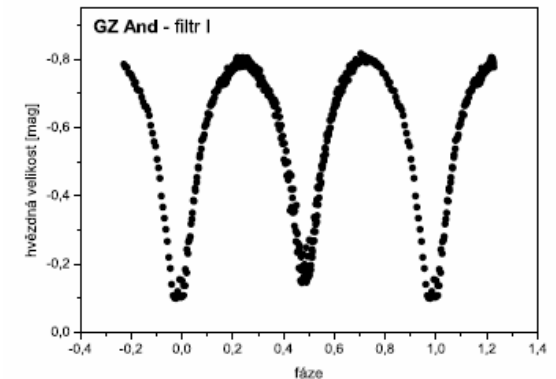
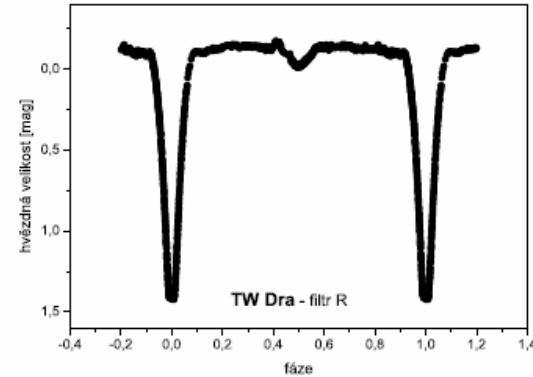
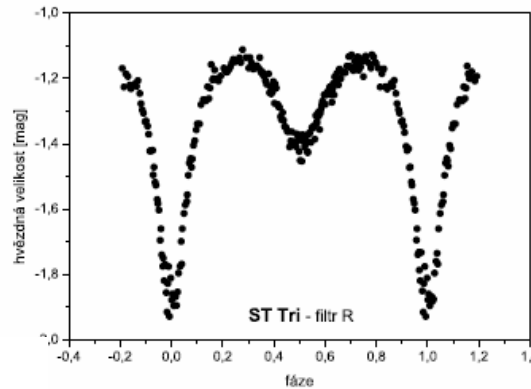


Zákrytové dvojhvězdy (méně než 0.3% všech dvojhvězd, známých statisíce)

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

Rozdělení zákrytových dvojhvězd podle světelných křivek

- algidy
- 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

Zákrytové dvojhvězdy = astrofyzikální laboratoře

zásadní informace (které nelze jinak zjistit) o/pro:

- *hvězdných atmosférách*
(okrajové ztemnění, gravitační zjasnění, studium atmosférických zákrytů),
- *hvězdných nitrech, struktuře a konvektivní vrstvě (over-shooting)*
(pomocí apsidálního pohybu, dvojhvězd s excentrickou trajektorií, modely),
- *hvězdné magnetické dynamo a magnetické aktivity*
(z rtg., UV, optické a radiová pozorování – mapování zákrytů, hvězdné korony a chromosféry, střídavé změny periody),
- *fyziku plazmatu*
(dvojhvězdy s akrečním diskem, plynné proudy),
- *relativistickou fyziku, kosmologii*
(černé díry ve dvojhvězdách – potvrzení existence, získání informací o jejich hmotnostech, věku a vlastnostech; stáčení periastra)
- *vzdálenostech ve vesmíru* – nezávislé určení vzdáleností - „standardní svíčky“