





















# Hvězdy zpovzdálí

hvězdy – základní stavební kameny ve vesmíru

vzdálené světy – jak je studovat? **dálkový průzkum vesmíru**

Využívá se:

– aktivně – výběr objektů ke studiu

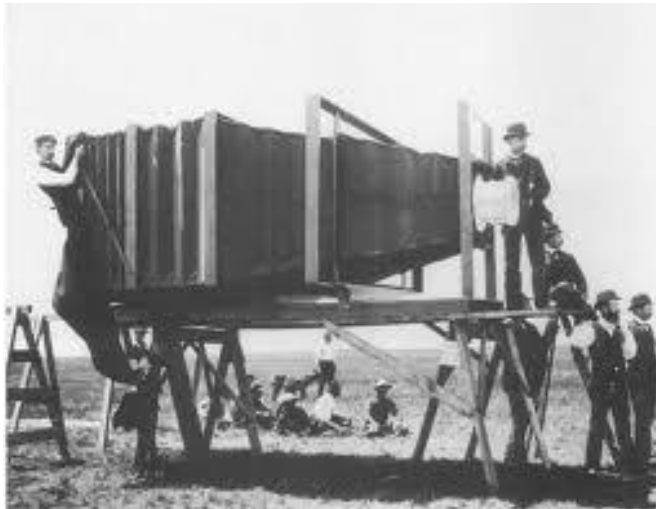
- fotometrie
- interferometrie
- spektroskopie
- pozorování v různých oblastech spektra (intenzita, polarita...)
- Hertzsprungova-Russellova diagramu
- u dvojhvězd také Keplerových zákonů (zejména 3. zákona), dynamické paralaxy

– pasivně – čekání na „signál“ odkudkoli

- částicové detektory
- detektory gravitačních vln

# Fotometrie

- vizuální
- fotografická
- fotoelektrická
- CCD, CMOS



# Vizuální fotometrie

## PROTOKOL

PRO POZOROVÁNÍ ZAKRYTOVÝCH DVOJHVĚZD

metody:

- Herschelova – slovní popis
- Argelanderova (1844)
  - definované odhadní stupně rozdílu jasností V, C
- Nijlandova – Blažkova (1901)
  - absolutní i relativní poměrování V, C
- Pogsonova
  - nutná znalost hv. velikostí C
- Pickeringova
  - desetinné dělení rozdílu mezi V a C

výhody: levná, lehká, rychlá metoda  
 nevýhody: subjektivní, malá přesnost (0,1 mag, jen pár špičkových pozorovatelů až 0,02 mag)

PROMĚNNÁ HVĚZDA	RZ Cas	DATUM	13. 11. 93	1993
POZOROVATEL	Petr Molik	STANICE	Soběslav	
OBEC BYDLISTĚ	Soběslav	PŘÍSTROJ	triedar 10x50	ZV. 16
POZOROVACÍ PODM.	jasno, ale zamířeno, slabě zvonivá hvězda, nejasná vidět			

POR. Č.	ČAS ODHADU h. min (UT)	ODHAD	$\frac{m}{\text{odh. st.}}$	POZNAMKY
1	0: 21	a 2 v 1 b	6,33	
2	0: 33	a 2 v 3 b	6,33	
3	0: 43	a 2 v 3 b	6,33	
4	0: 49	a 3 v 3 b	6,33	
5	1: 03	a 3 v 3 b	6,33	
6	1: 11	a 3 v 2 b	6,48	
7	1: 27	a 3 v 1 b	6,55	
8	1: 35	a 3 v 1 b	6,55	
9	1: 49	a 4 v 0 b 3 c	6,75	
0	1: 53	a 2 v 3 c	6,92	
1	1: 59	a 3 v 2 c	7,03	
2	2: 06	a 3 v 1 c	7,11	
3	2: 18	a 1 v 1 a	7,38	
4	2: 27	a 2 v 0 d	7,51	
5	2: 36	a 1 v 1 a	7,38	
6	3: 35	a 3 v 0 c 2 d	7,22	
7	3: 56	a 4 v 0 b 3 c	6,75	
8	4: 04	a 3 v 1 b	6,55	
9	4: 13	a 3 v 2 b	6,48	
0		v		
1		v		
2		v		
3		v		
4		v		
5		v		
6		v		
7		v		
8		v		
9		v		
0		v		

SROVN HVĚZDA	ODHADNÍ STUPEŇ	INDIVID. MAG
a	0	6,08
b	1,44	6,30
c	3,32	7,25
d	10,22	7,51

MAPKA:  
 Mapa a jasnosti srovnávacích hvězd převzaty z: Pávek, J., Kubiš, K.: Proměnné hvězdy a způsoby jejich pozorování Praha, 1958.

POZOROVANÉ MINIMUM						POČET ODH	
DEN	MĚSÍC	ROK	UT	CHYBA	CELK	SEST	
14	3	1993	2 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	±	19	14	

REKTASCENZE	ZÁKLADNÍ MINIMUM	ZDROJ	PŘEDPOVĚDĚNÉ MINIMUM	EPOCHA
2 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup>	2439 0 33, 1302	Hvězda v Sest. 1992	2449 0 00, 6152	7854
DEKLINACE	PERIODA	CHYBA	10 <sup>rel</sup> - POZ MINIMUM	(O-C)
09° 38,0	1,19524892	± 0,0	2449 0 00, 6182	0,0010

# 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

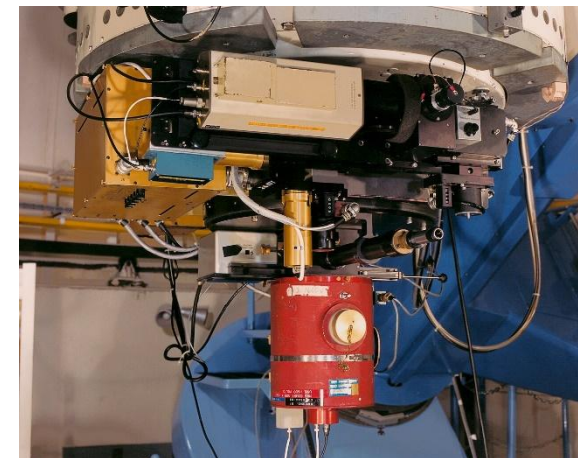
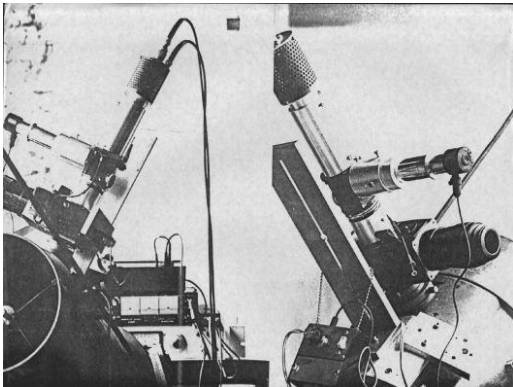
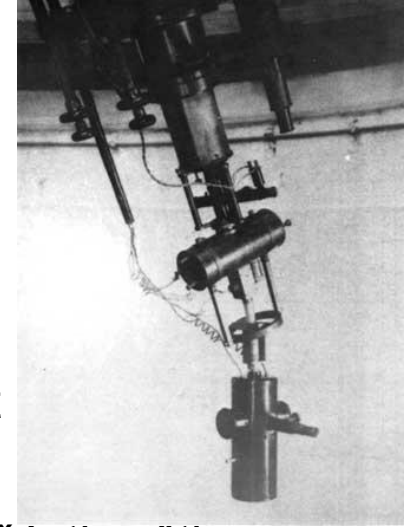
dnes – skenování skleněných archívů

<https://dasch.cfa.harvard.edu/>

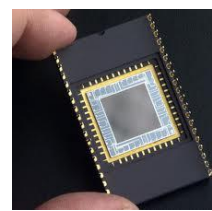


# Fotoelektrická fotometrie

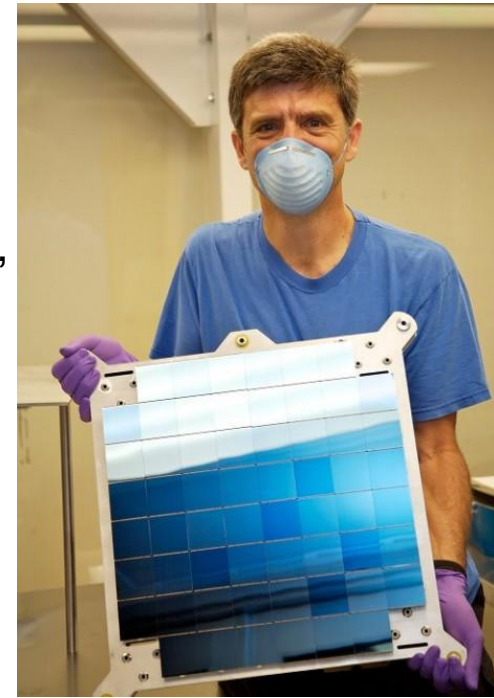
- fotoelektrický fotometr – 1. pokusy na konci 19. století (1892 W.H.S. Monck, 1907 J. Stebinns)
- standardní měření až od 50. let 20. st. (1946 G. Kron, poč. 50. let H. L. Johnson & W. W. Morgan *UBV*) – do konce 20. st.
- měření přes fotometrické filtry, obecně citlivější spíše v modré části světla (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 kamer, při pozorování jasných objektů



# Co lze zjistit z fotometrie

## ❖ proměnnost hvězdy

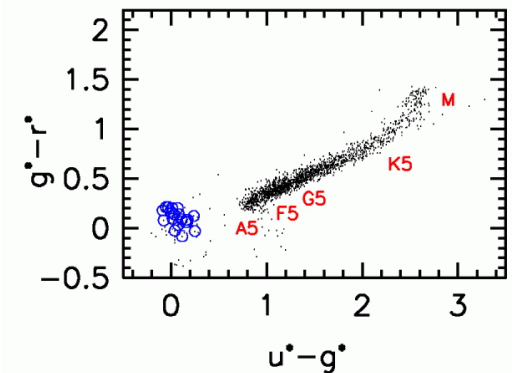
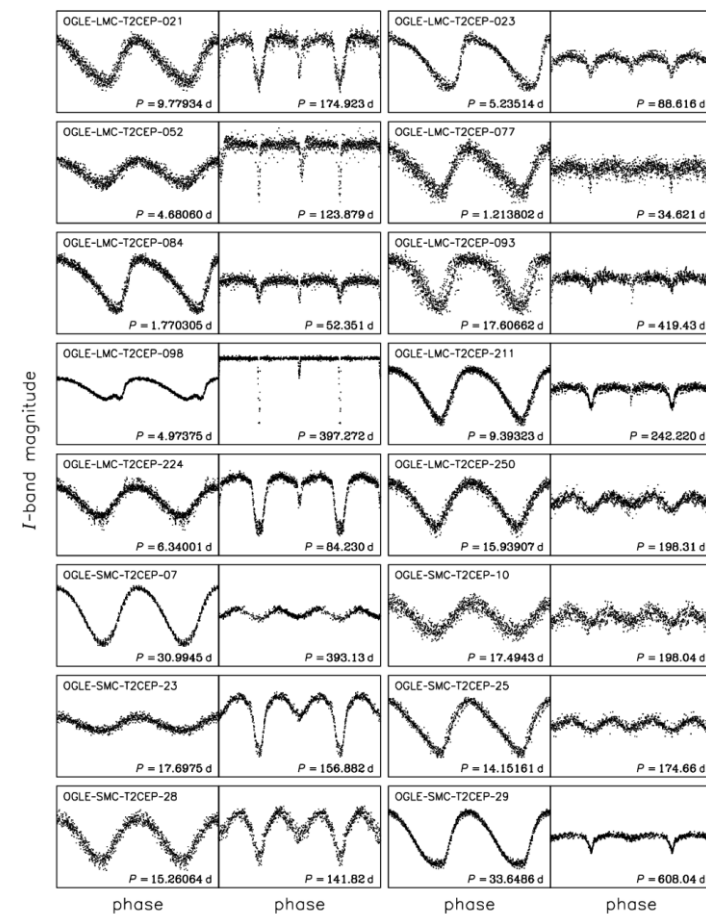
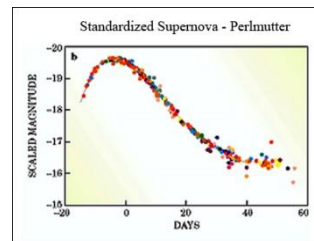
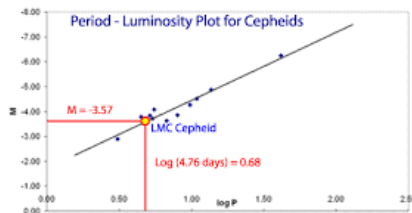
- dvojhvězdnost (zákrytové dvojhvězdy)
- doba rotace (CP hvězdy)
- vnitřní struktura (pulzující hvězdy, astroseismologie, excentrické zákrytové dvojhvězdy)
- aktivita hvězd (vzplanutí, výbuchy nov, supernov)

## ❖ 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](#), [eMERLIN](#))

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

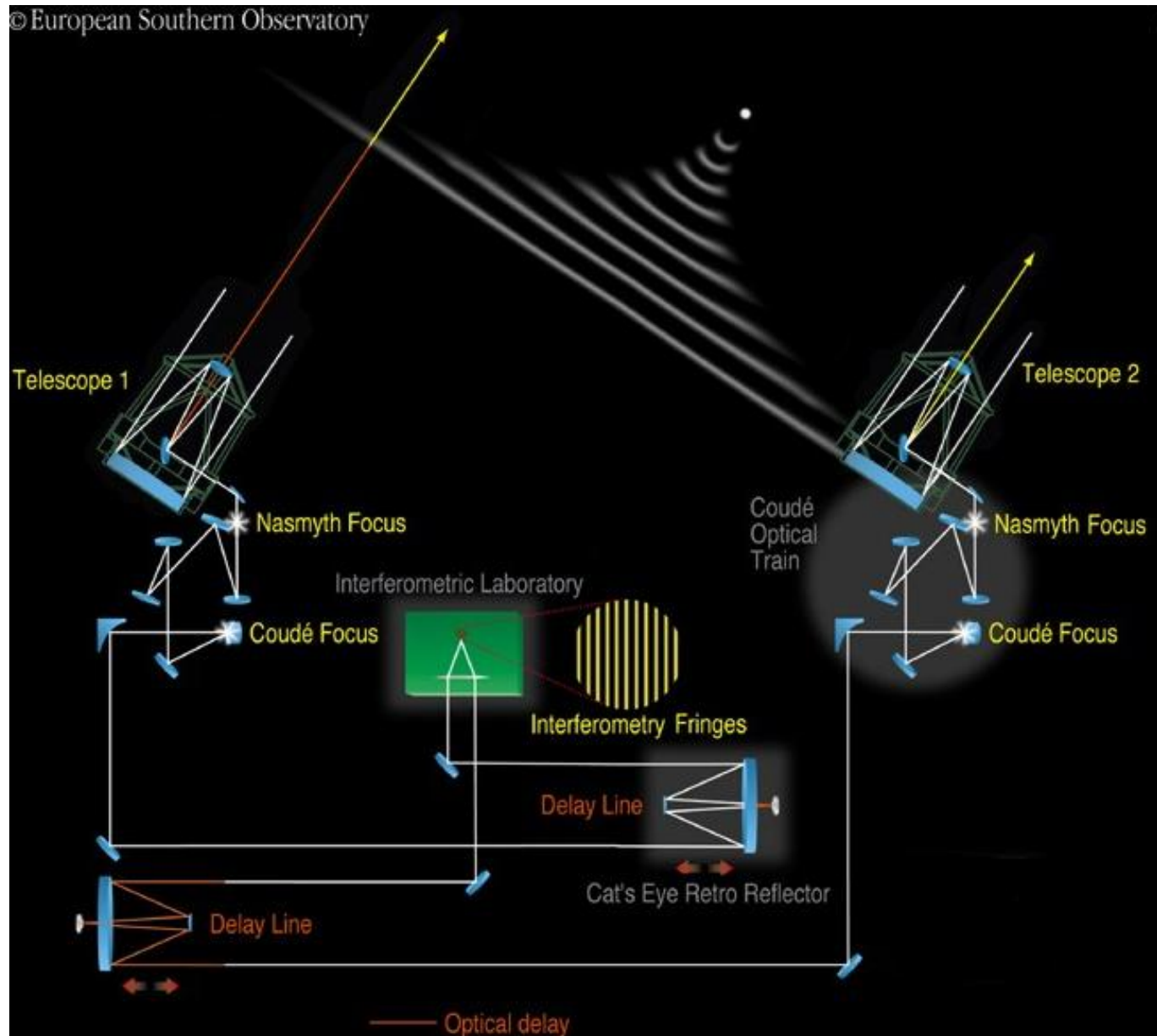


VLA (Very Large Array) v Novém Mexiku, USA





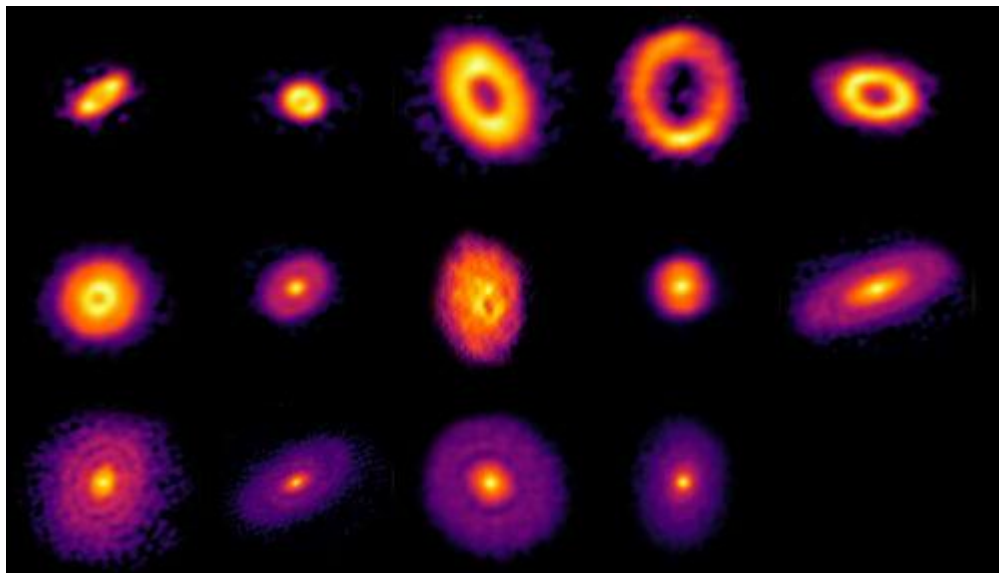
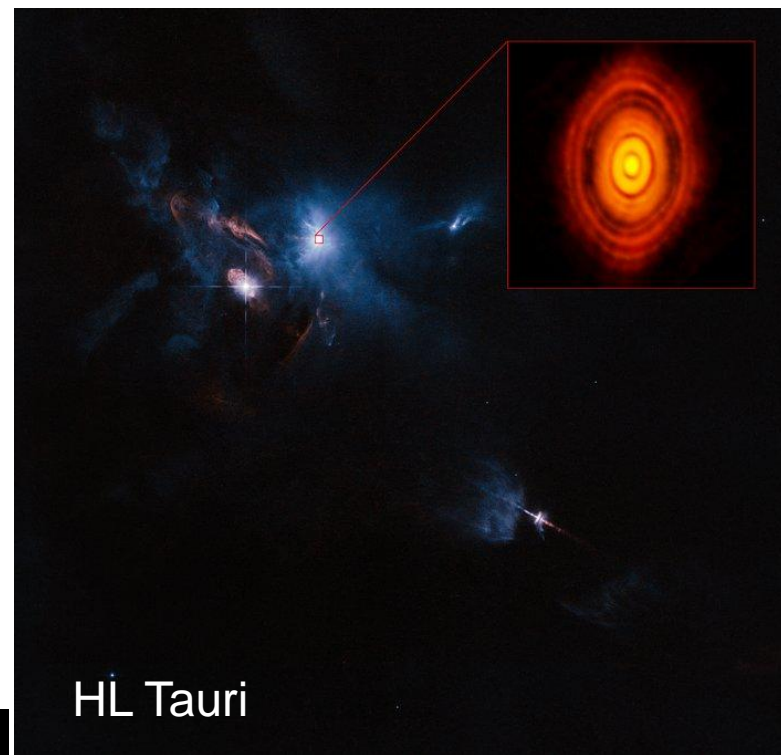
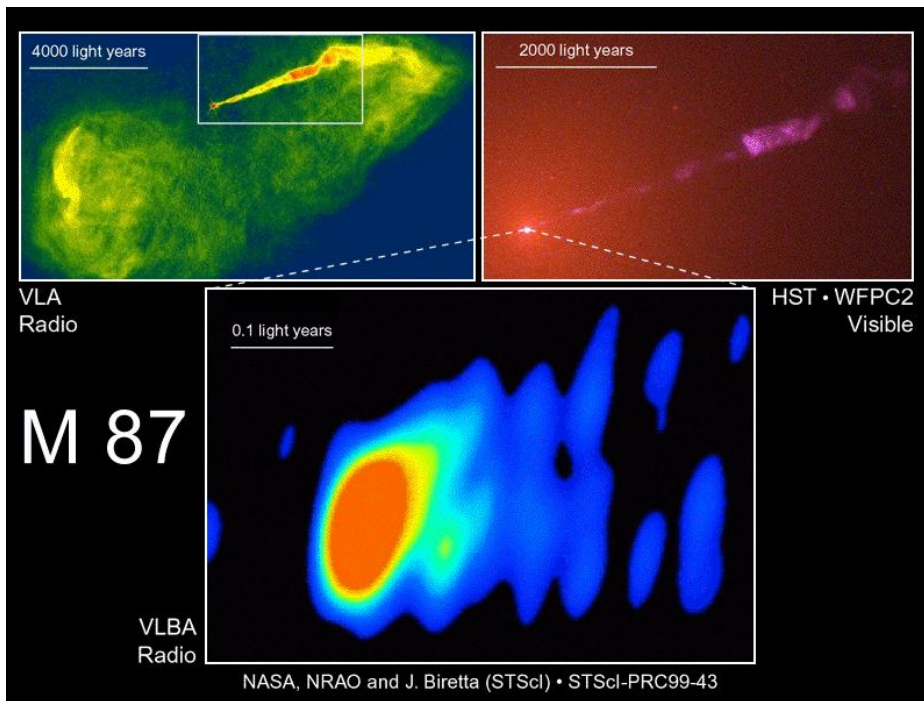
ESO Paranal



tunel VLTl

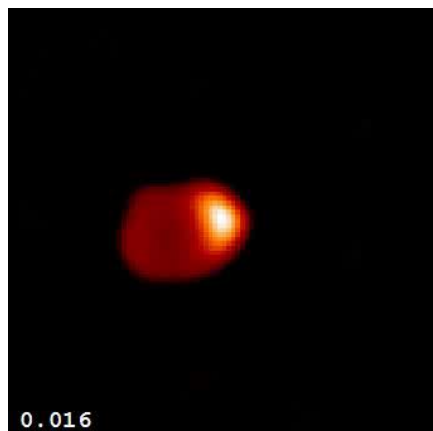


# Ukázka výsledků a možností interferometrie



planetární disky

# Ukázka výsledků a možností interferometrie



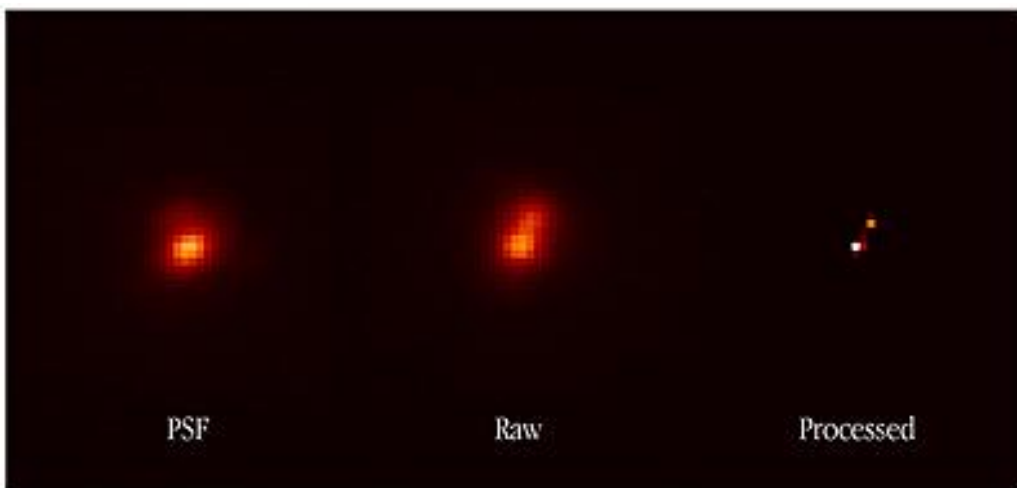
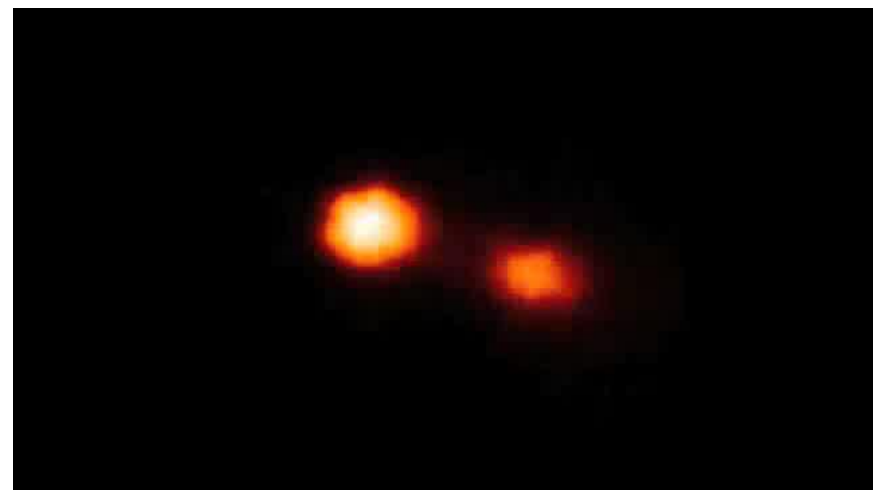
$\beta$  Persei

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

Srovnání: jako Eiffelova věž viděná z New Yorku

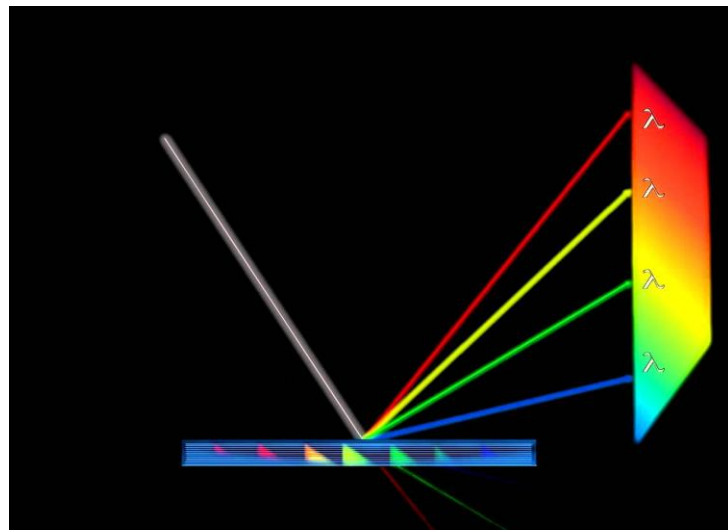
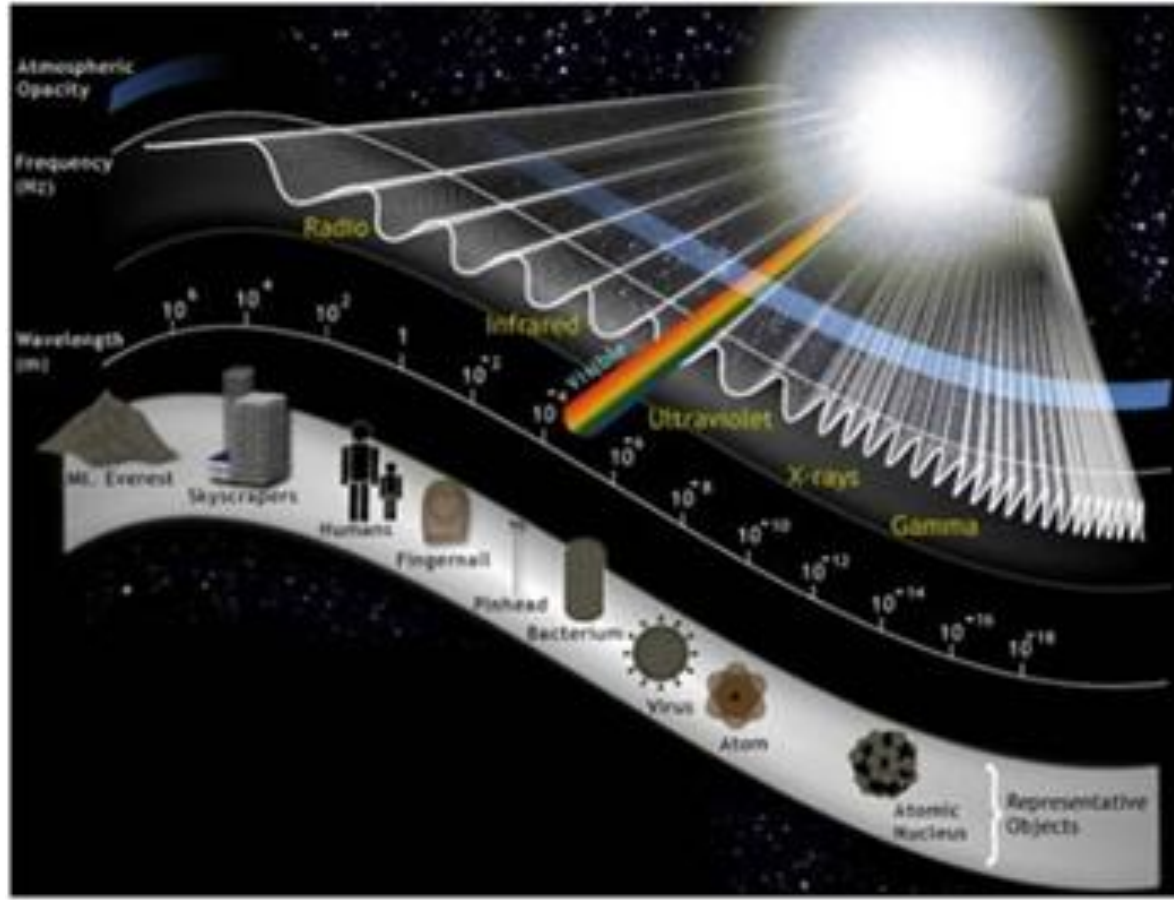
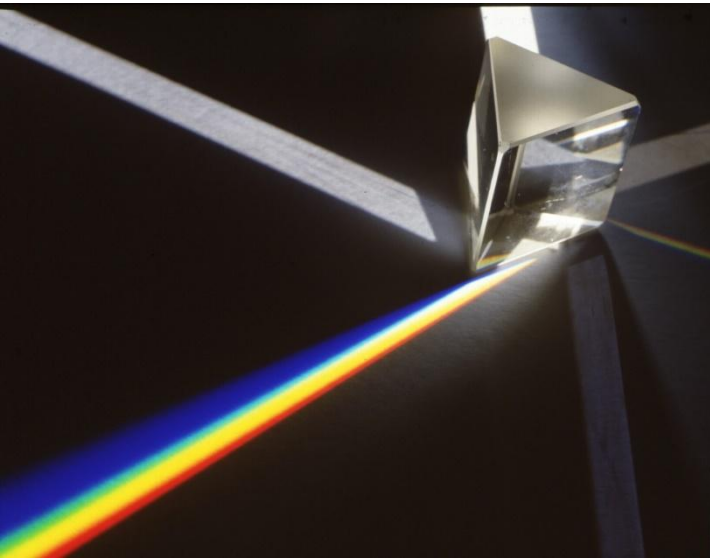
Výsledky z interferometru CHARA (Baron a kol., 2012)

$\beta$  Lyrae



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

# Spektroskopie



# ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

Proniká atmosférou Země?



Záření



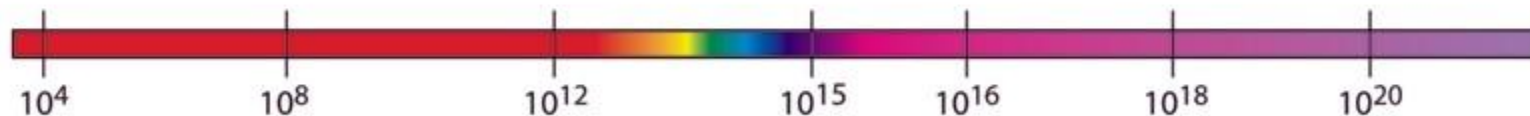
Vlnová délka [m]



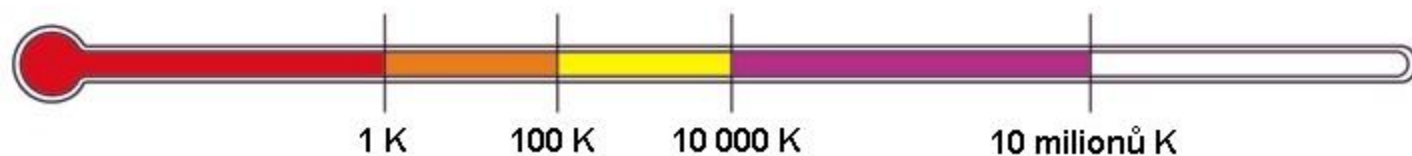
Přibližná velikost...



Frekvence [Hz]

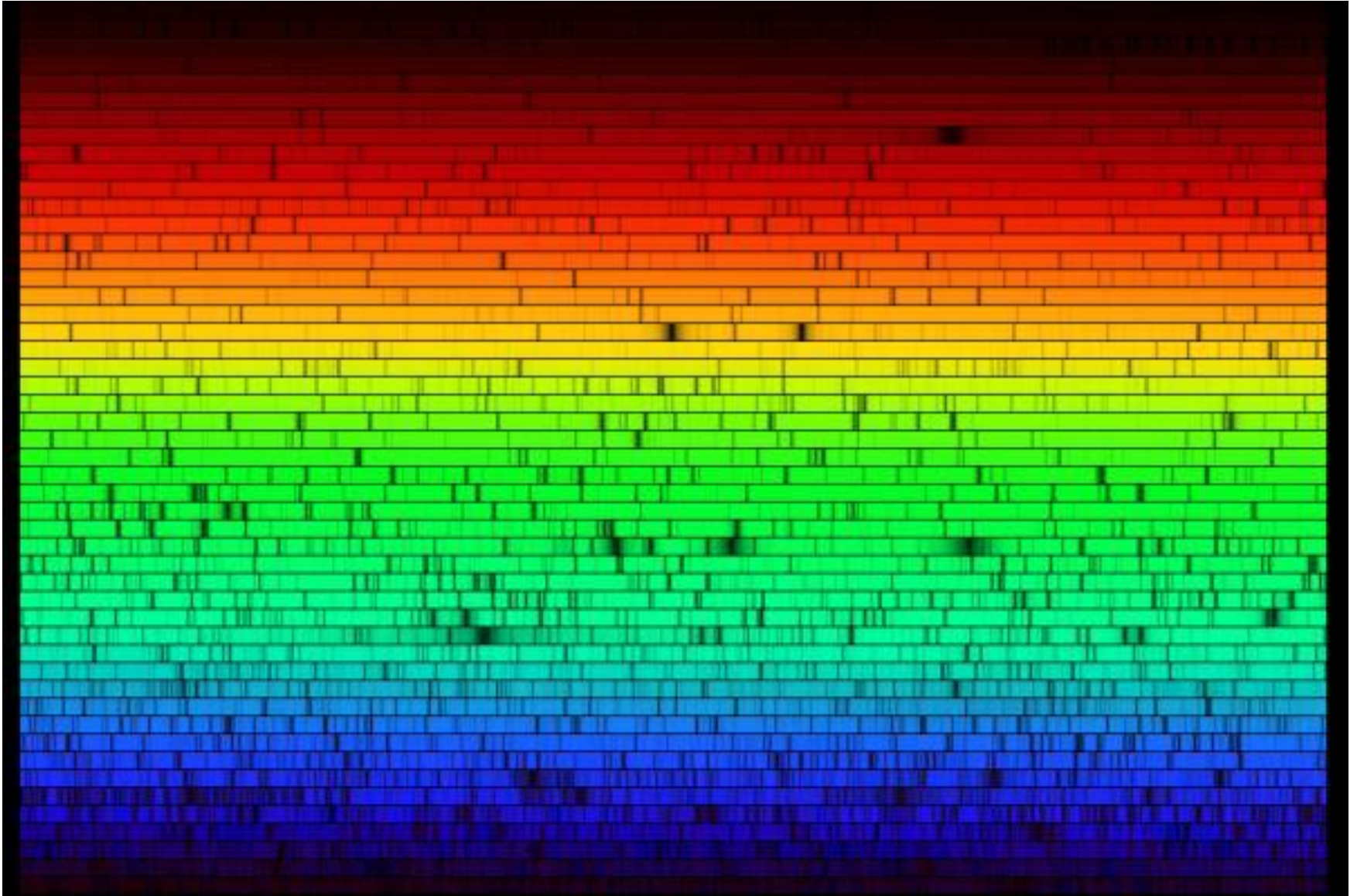


Teplota těles vyzařujících na vln. délce [K]





# Sluneční spektrum s vysokým rozlišením



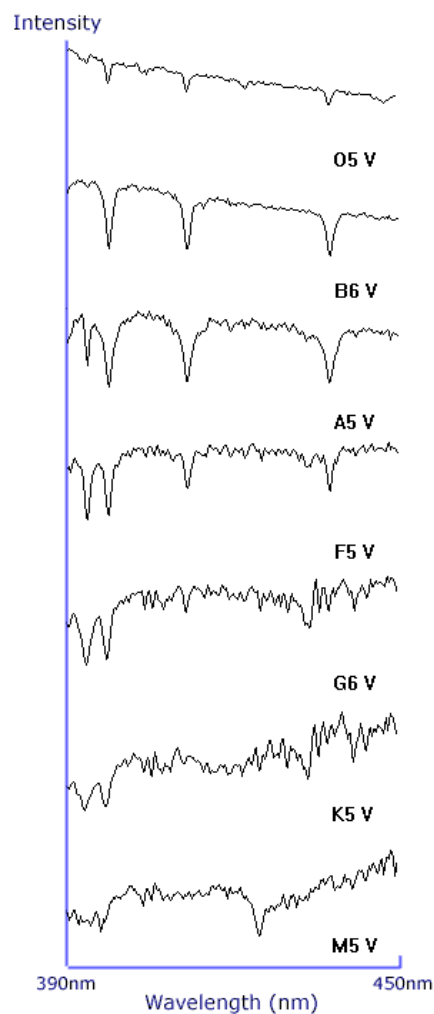
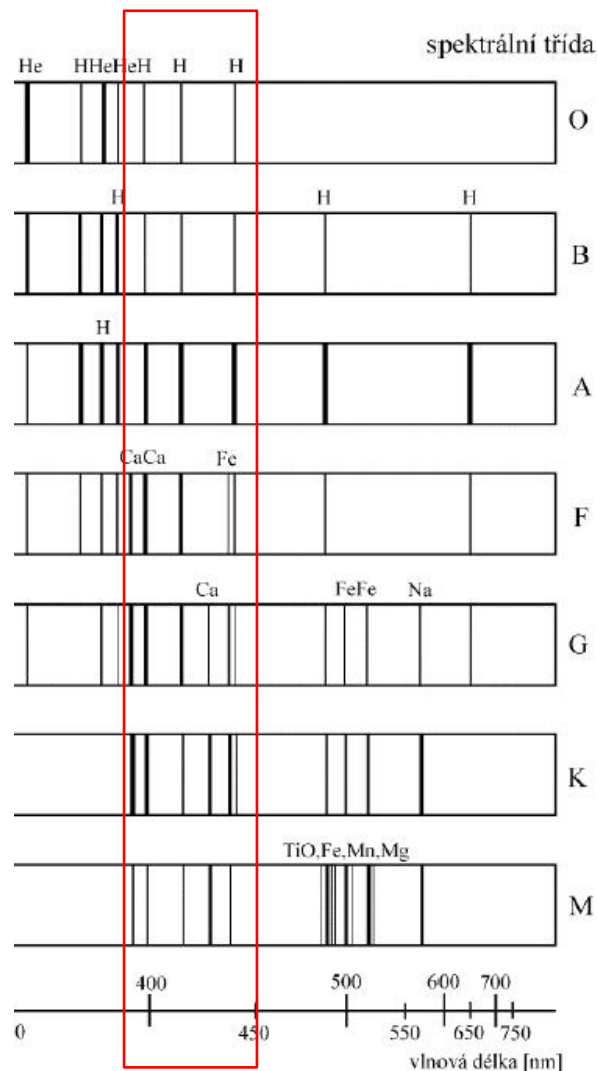
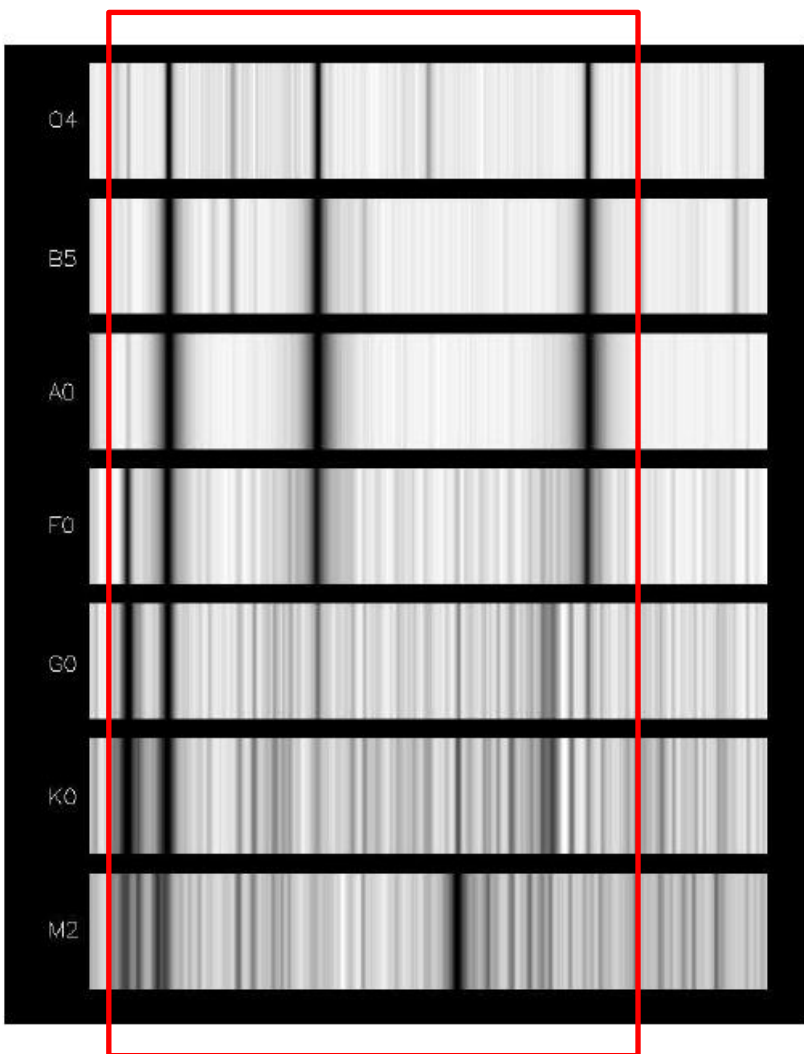
# Spektrální třídy a povrchové teploty hvězd

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

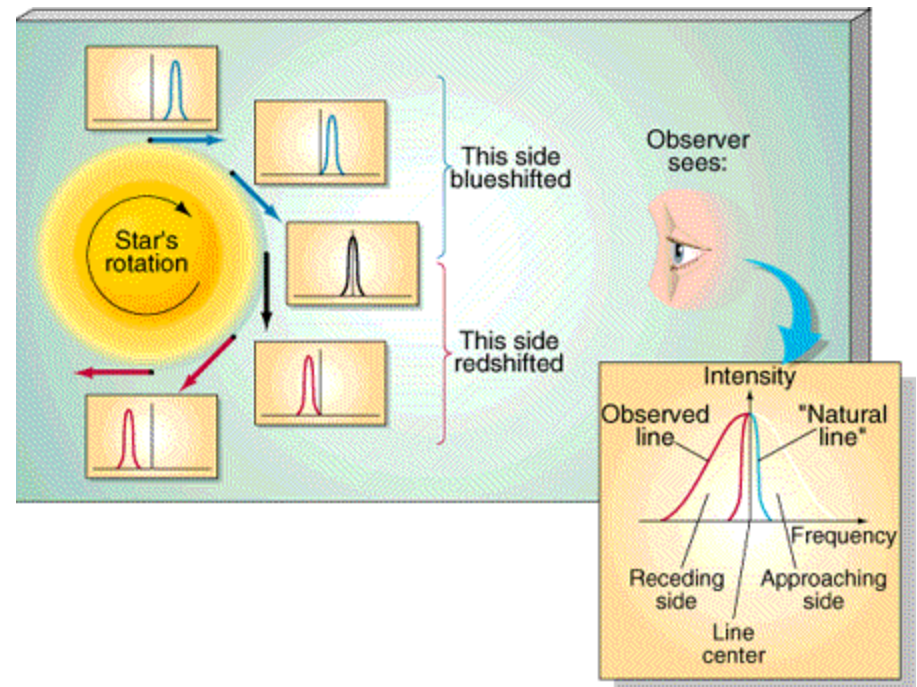
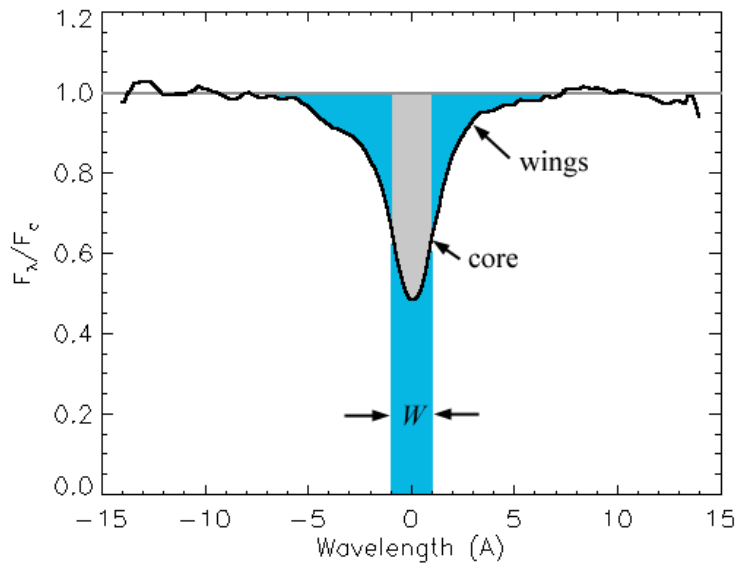
Teplota (Wienův posunovací zákon)

Složení, teplota

Složení, teplota

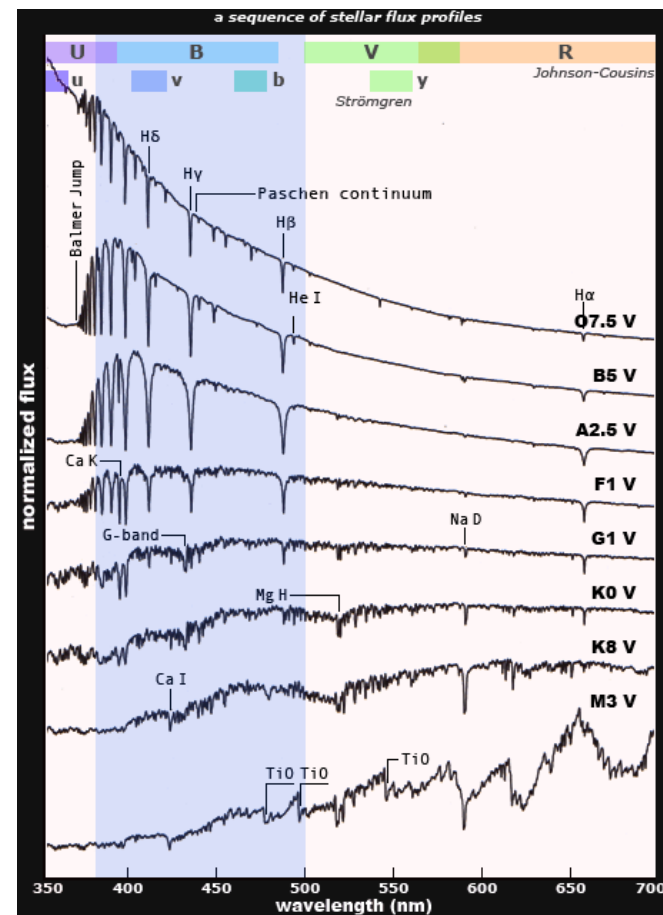
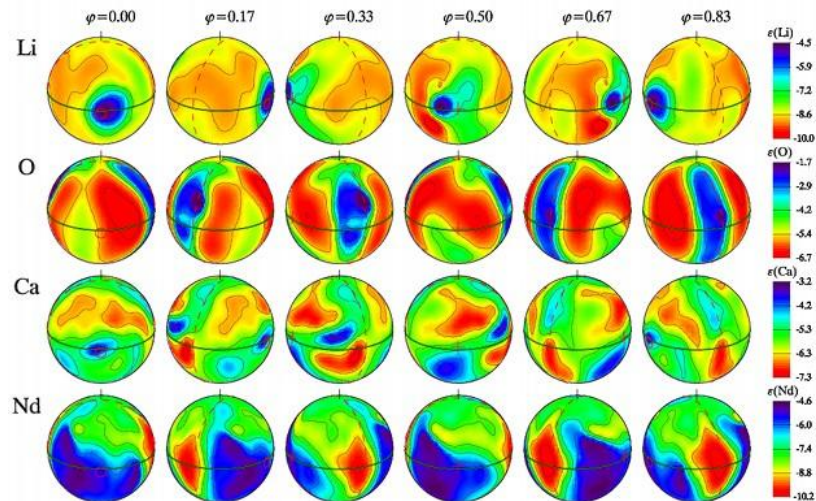
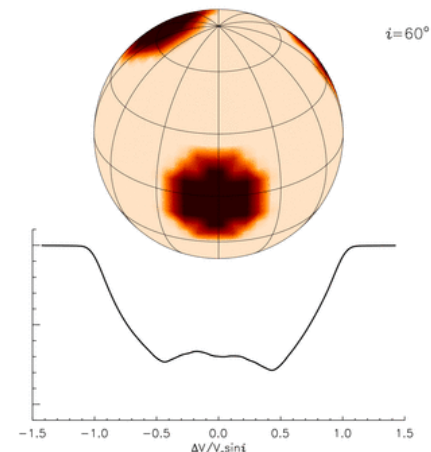
Teplota, turbulence, rychlost rotace, hustota (tlak), magnetické pole

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



# Zákrytové dvojhvězdy = astrofyzikální laboratoře

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

- *hvězdách*

(poloměry, hmotnosti, zářivé výkony),

- *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),

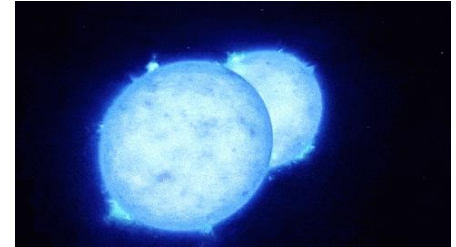
- *fyziku plazmatu*

(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“



# Co můžete využívat při studiu

## Dalekohledy

- ASA AZ800  
  lokalita – hvězdárna Ždánice  
  vybavení – CCD kamera C5A-150M  
  - spektrograf – LISA
- Newton 600/2780 + G4-16000 – lokalita Kraví hora, Brno  
  po dohodě s HaP
- Celestron CGE 1400 XLT (průměr 350 mm) – Boyden, JAR
- ROSAMUND – 0.5m reflektor, Deep Sky Chile
- Skywatcher Newton 8" 203/1000 EQ-6 PRO – mobilní
- MUMO – Maksutow-Newt. 190/1000 + fotoaparát Canon
  
- PLATOSpec – 1.52m dal.+spektrograf, La Silla
- Perkův 2m dalekohled v Ondřejově  
  projekty, Bc, Mgr...

Satelity – GRBAAlpha,Beta,VZLUSAT-2, QUVIK

Počítačová učebna

Stáže – ERASMUS, ESO ...

