

















# Hvězdy zpovzdálí

hvězdy – základní stavební kameny ve vesmíru  
vzdálené světy – jak je studovat?

## dálkový průzkum vesmíru

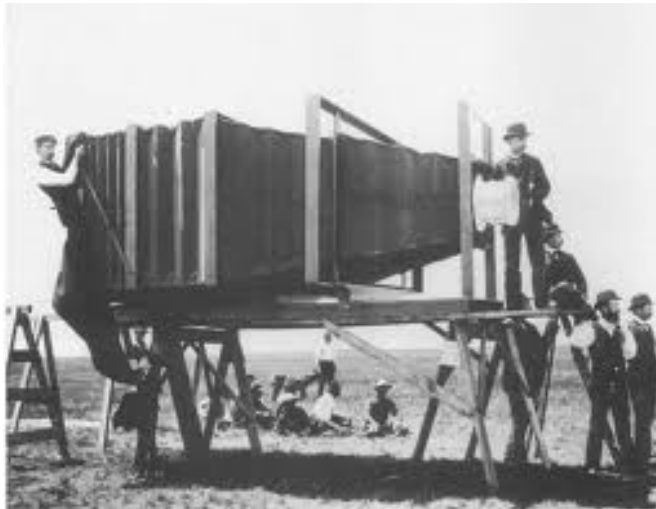
Využívá se:

- 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

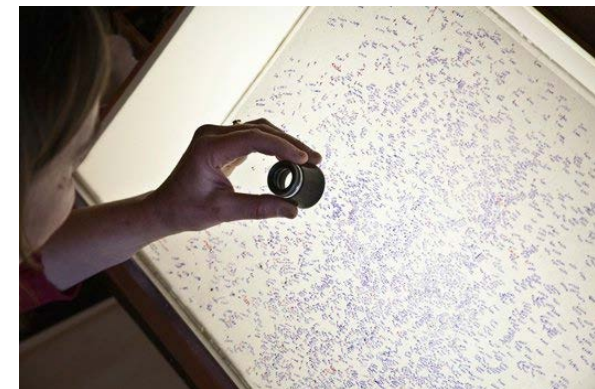
pravidelné a intenzivní využití – po dobu století (konec 19. – konec 20. st.)

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

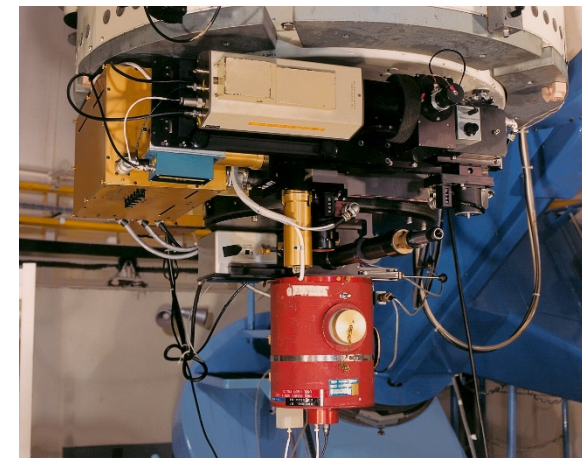
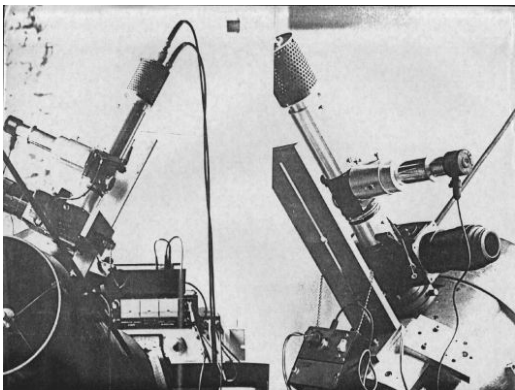
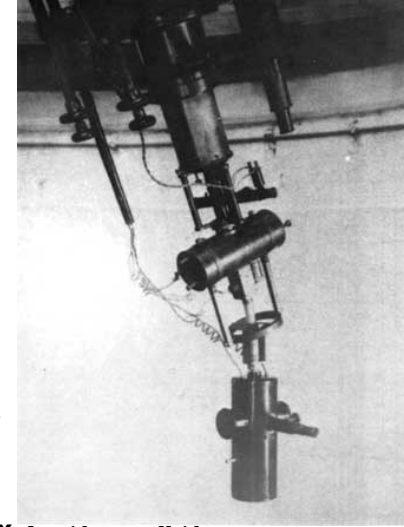
nevýhody: malá kvantová účinnost, nelinearita



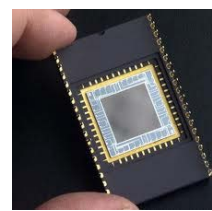


# Fotoelektrická fotometrie

- 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

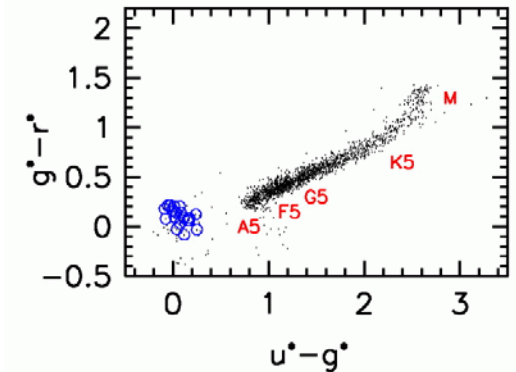
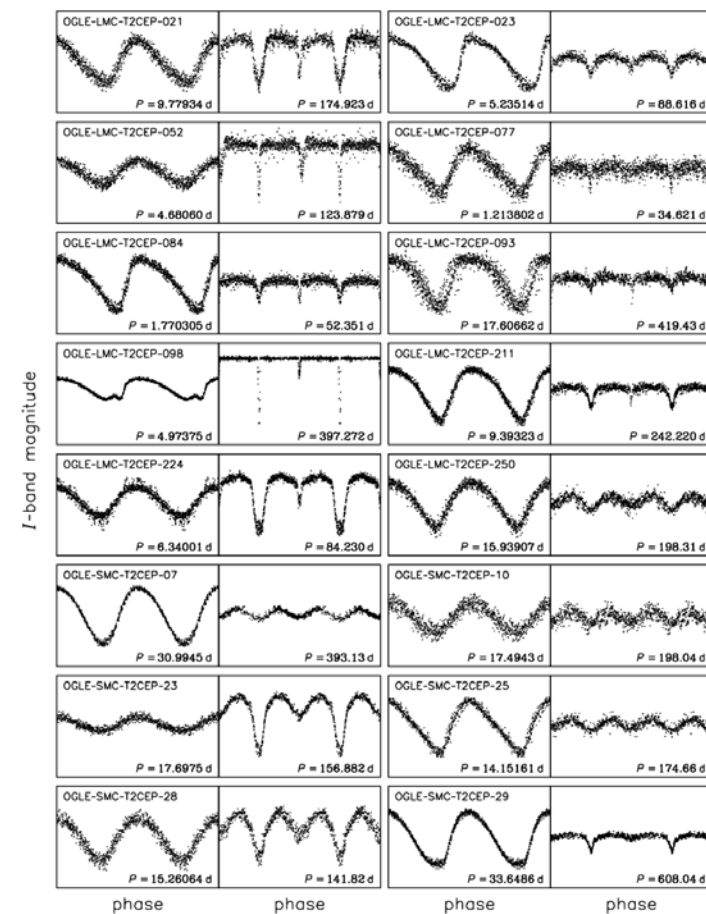
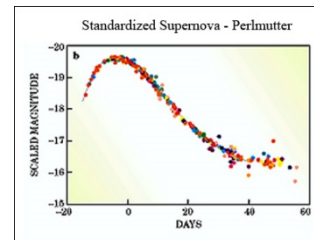
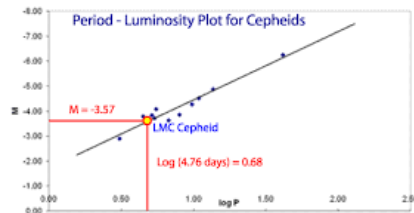
- dvojhvězdnost (zákrytové dvojhvězdy)
- doba rotace (CP hvězdy)
- vnitřní struktura (pulzující hvězdy, astroseismologie, excentrické zákrytové dvojhvězdy)
- aktivita hvězd (vzplanutí, výbuchy nov, supernov)

## ❖ 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)



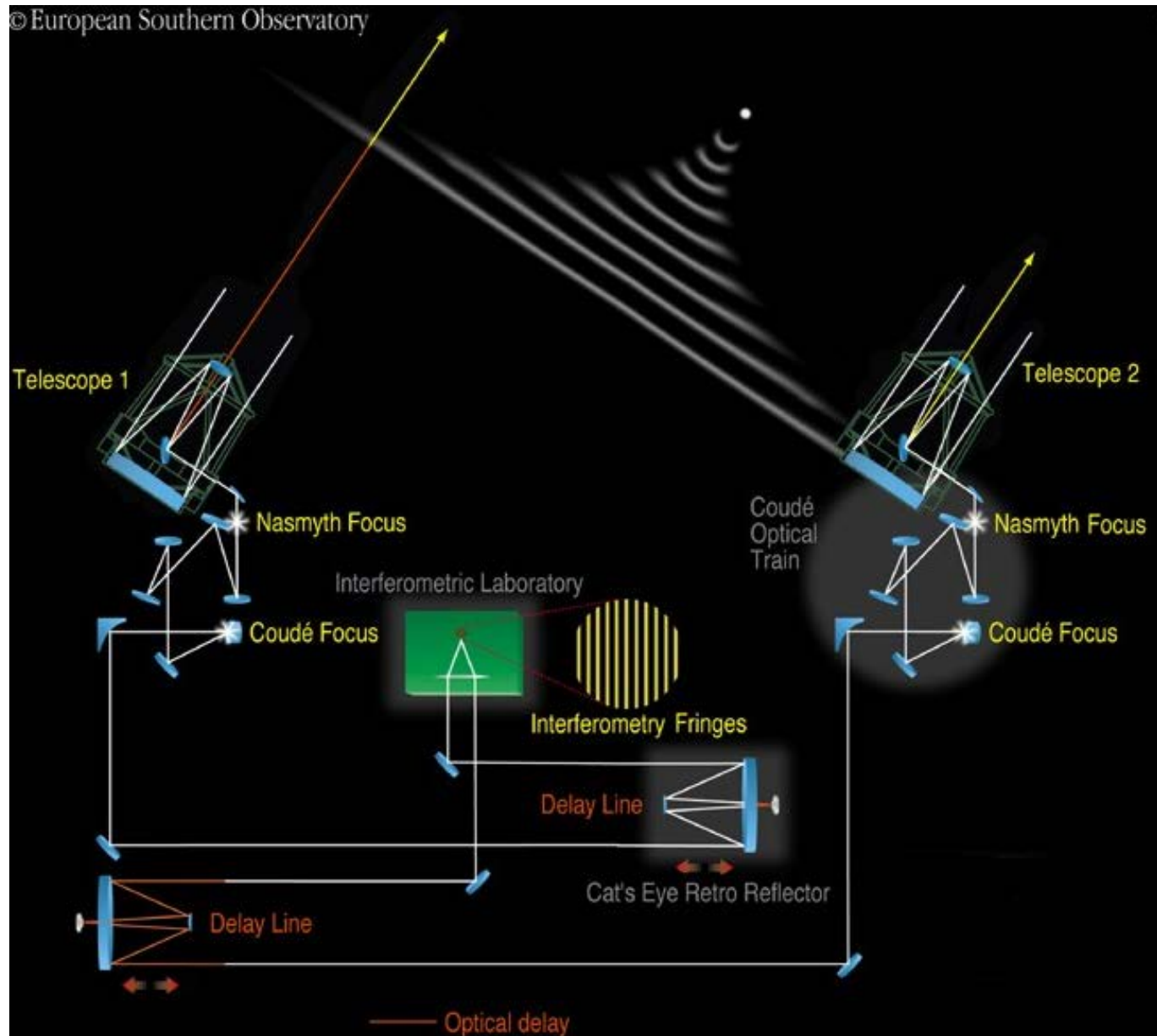
VLA (Very Large Array) v Novém Mexiku, USA





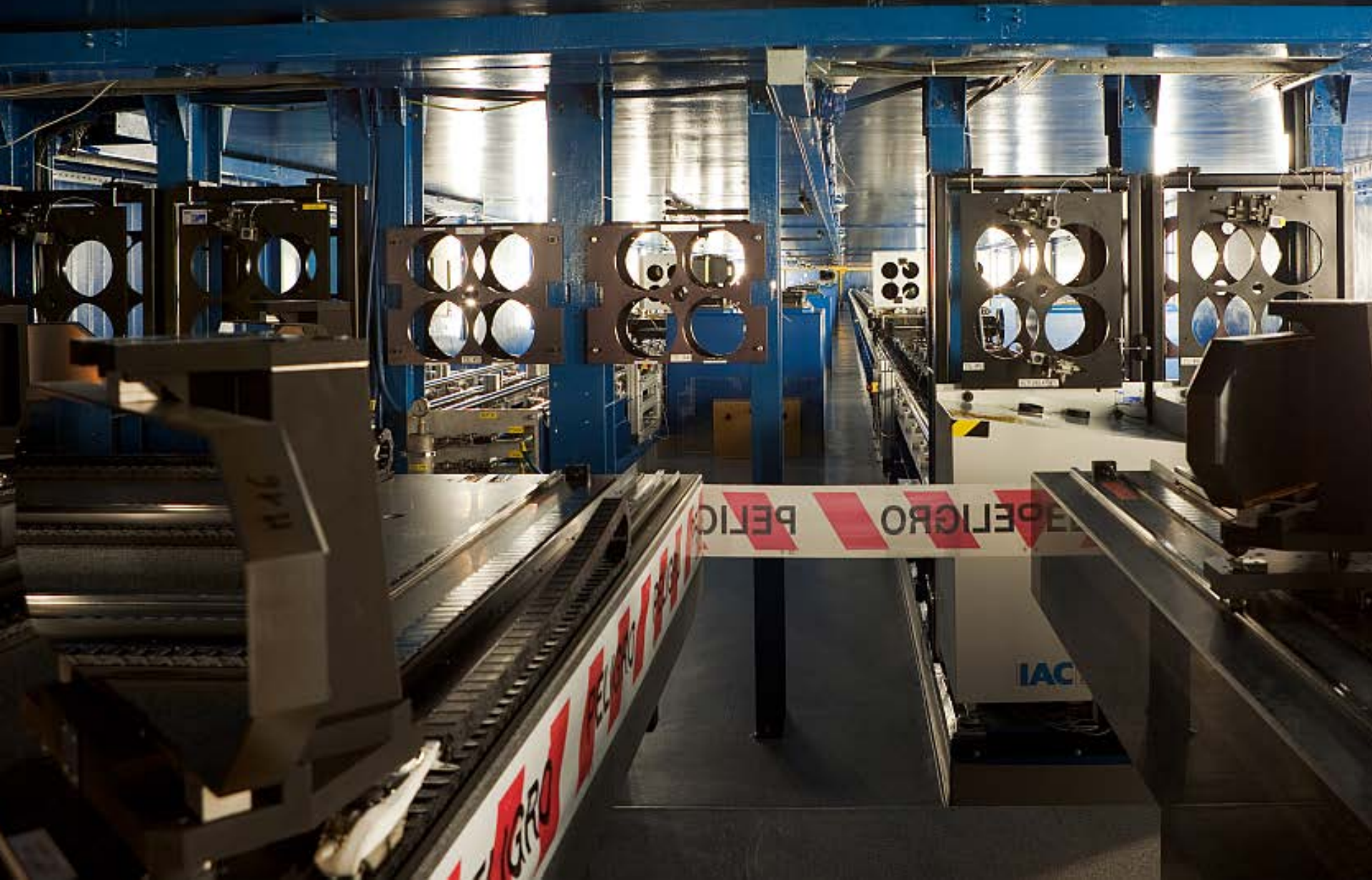


ESO Paranal



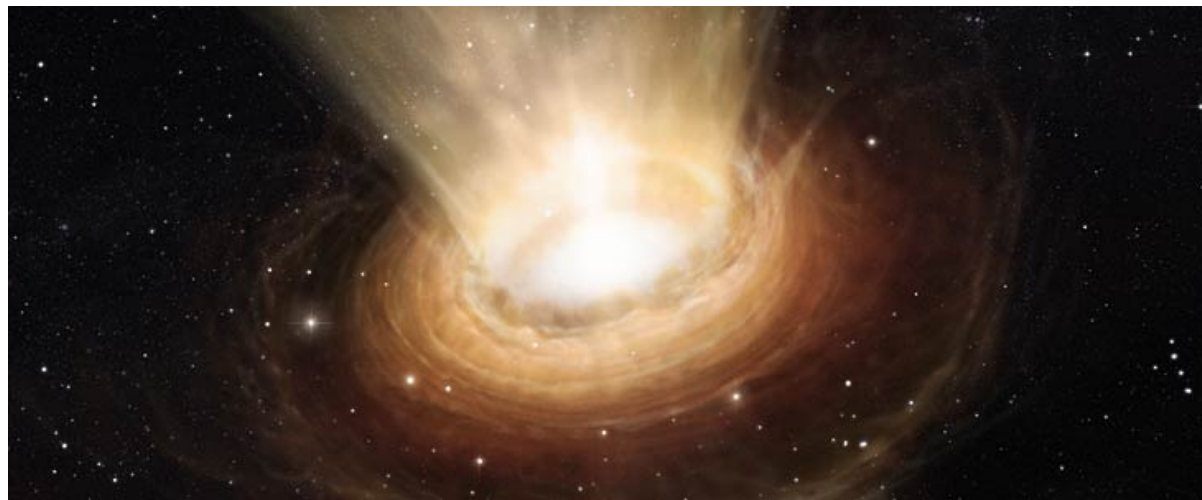
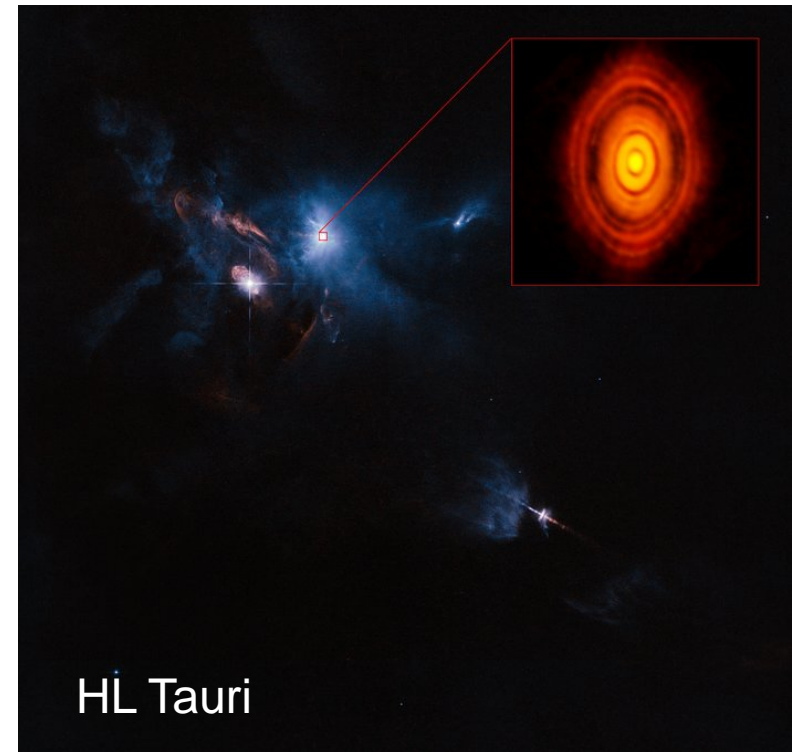
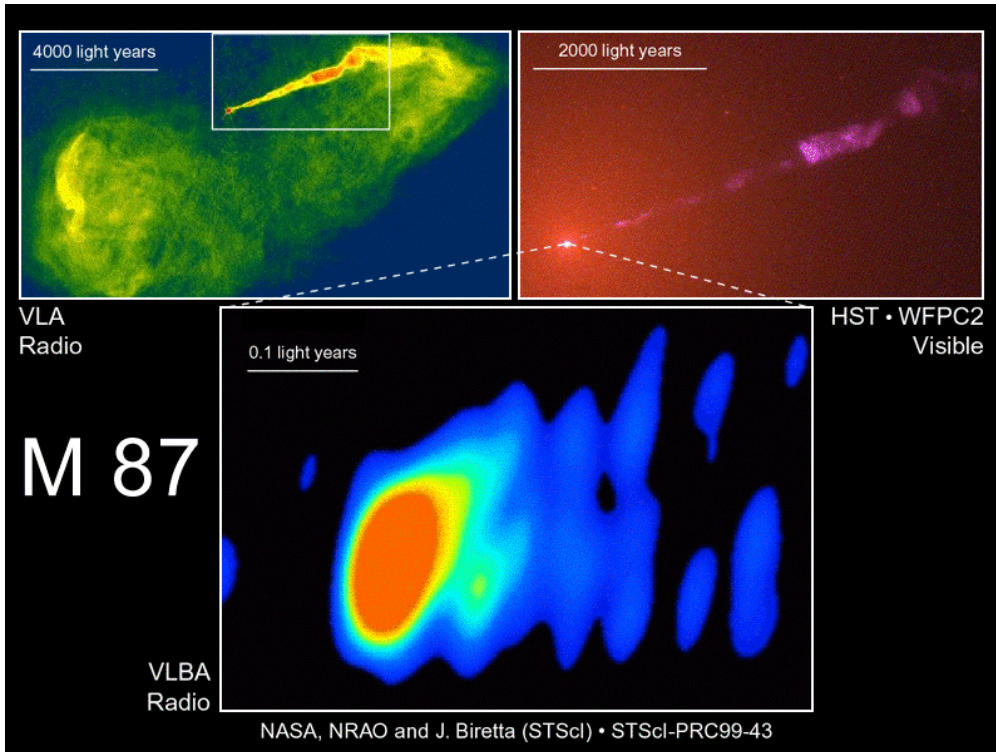


tunel VLTl



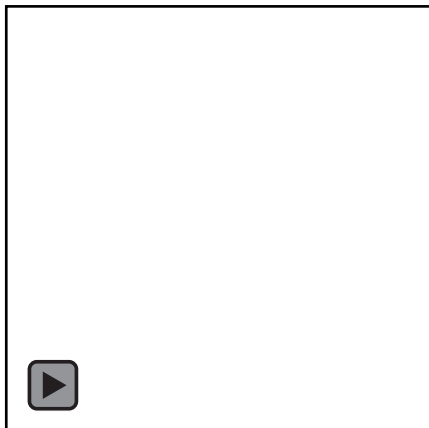


# Ukázka výsledků a možností interferometrie



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

# Ukázka výsledků a možností interferometrie



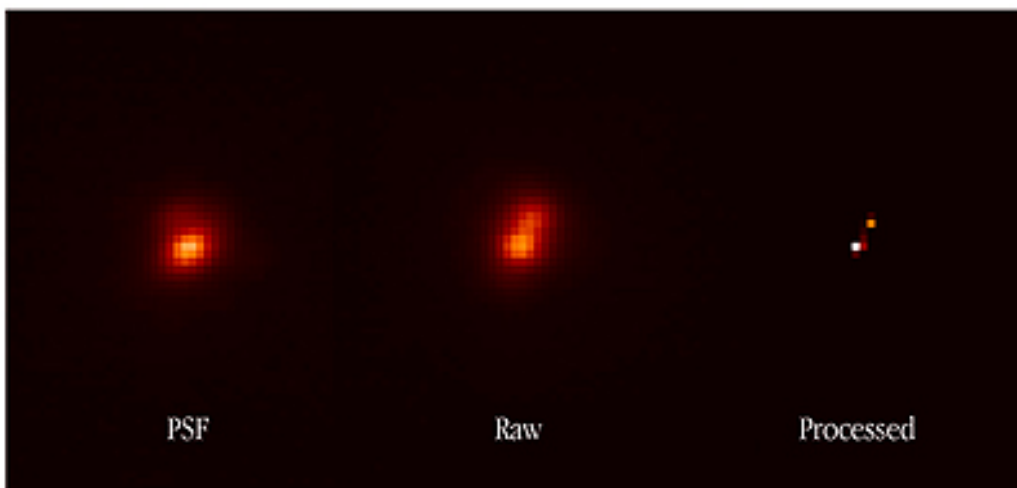
$\beta$  Persei

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

Srovnání: jako Eiffelova věž viděná z New Yorku

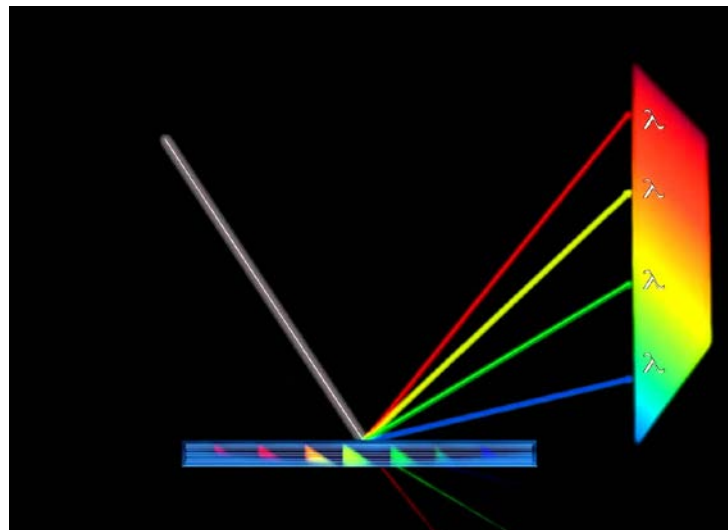
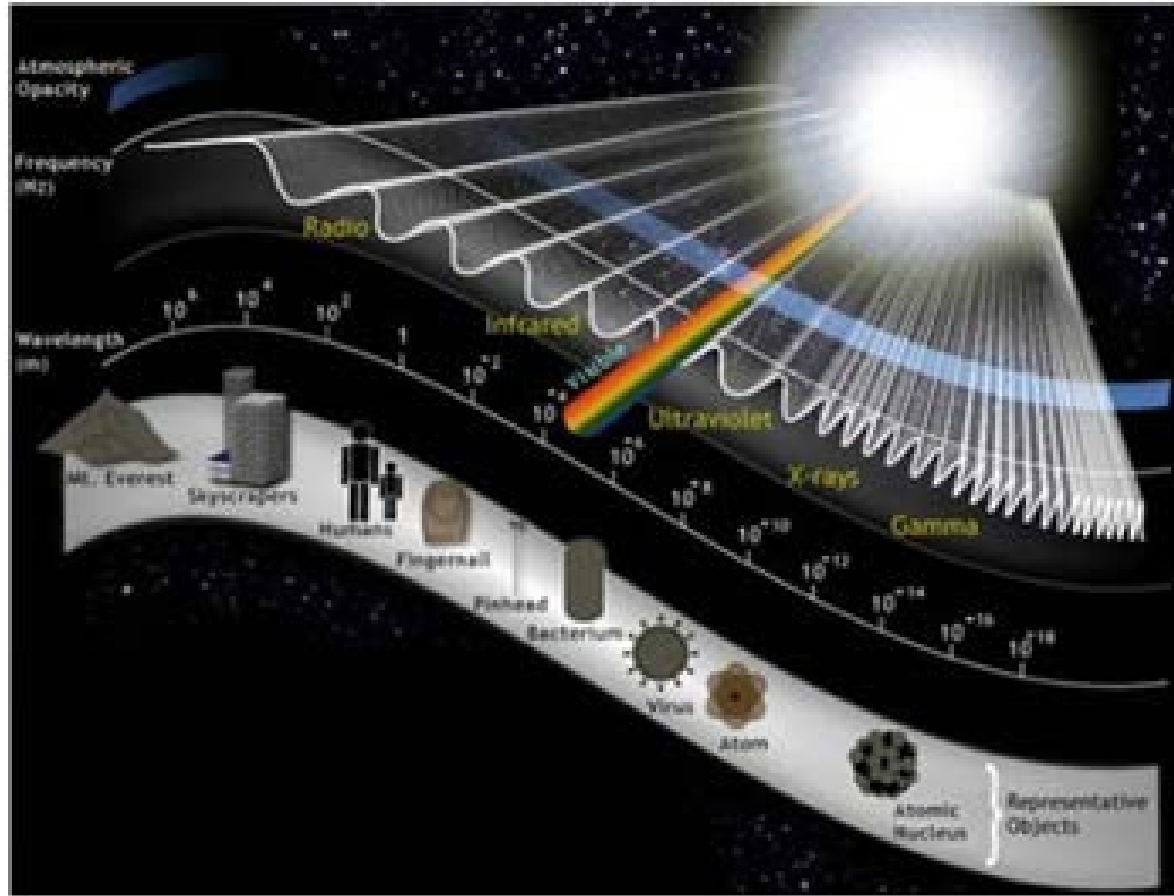
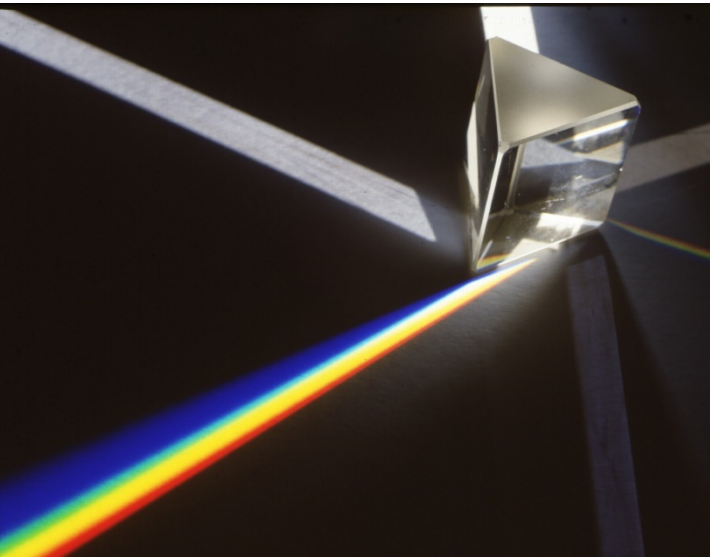
Výsledky z interferometru CHARA (Baron a kol., 2012)

$\beta$  Lyrae



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

# Spektroskopie





# ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

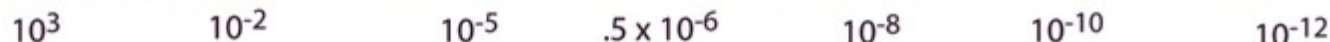
Proniká atmosférou Země?



Záření



Vlnová délka [m]

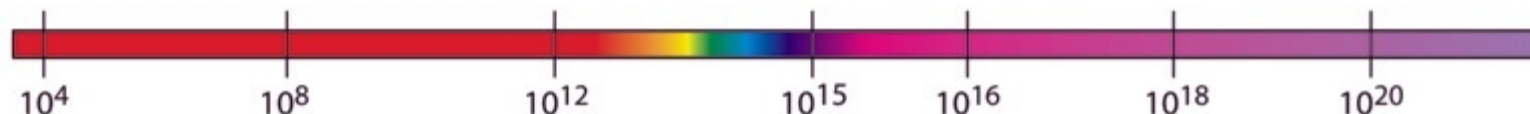


Přibližná velikost...

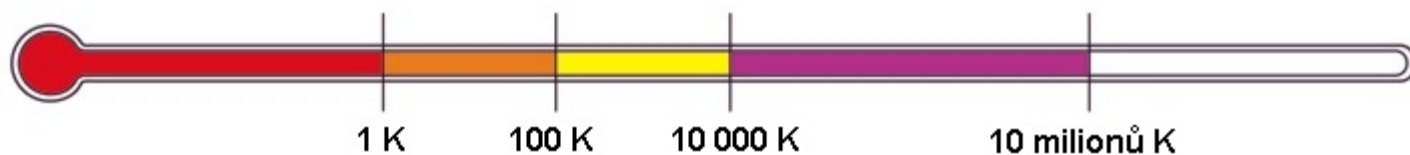


budov      lidí      včely      hlavičky špendlíku      prvoků      molekuly      atomu      jádra atomu

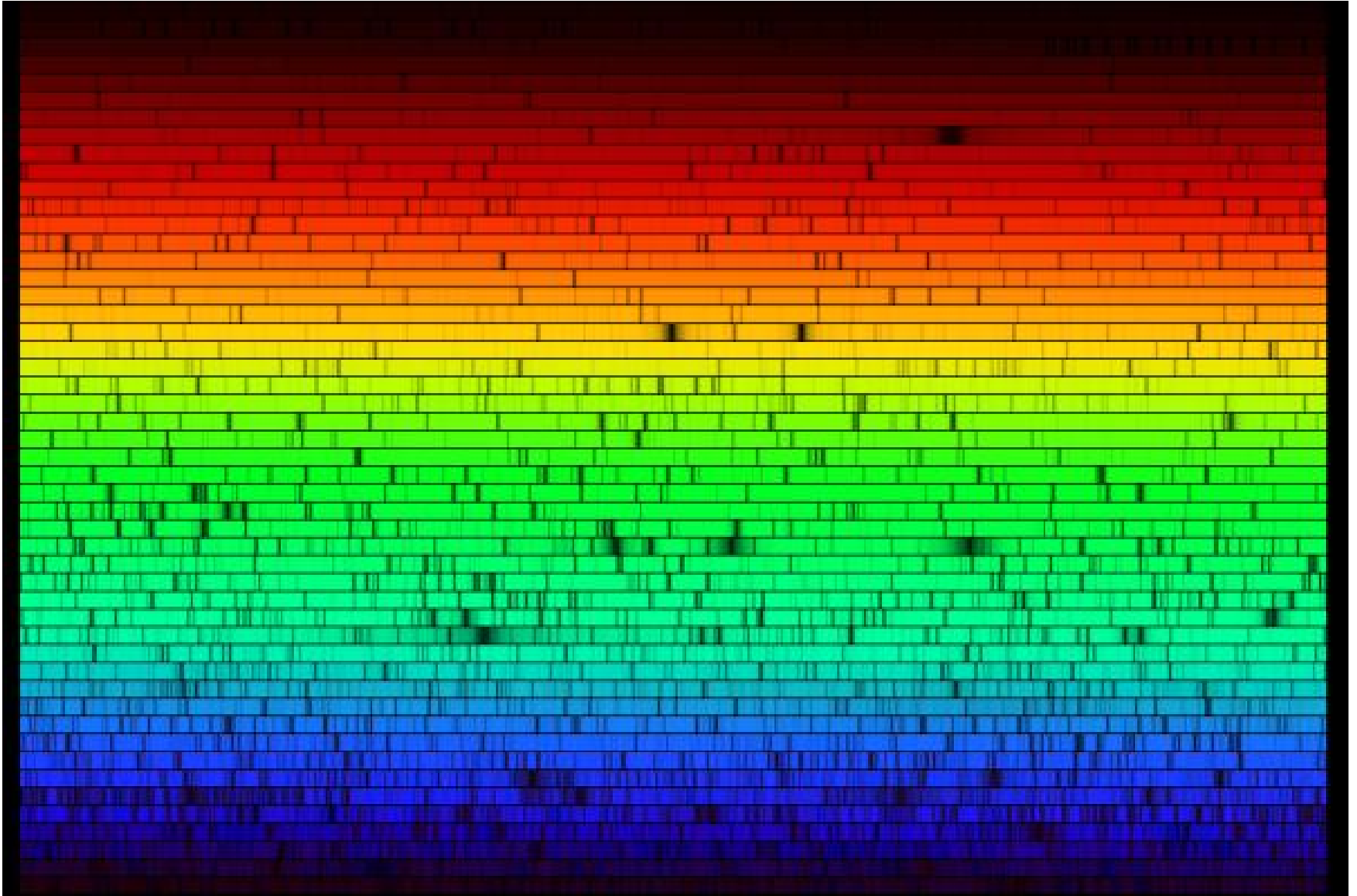
Frekvence [Hz]



Teplota těles vyzařujících na vln. délce [K]



# Sluneční spektrum s vysokým rozlišením



# Spektrální třídy a povrchové teploty hvězd

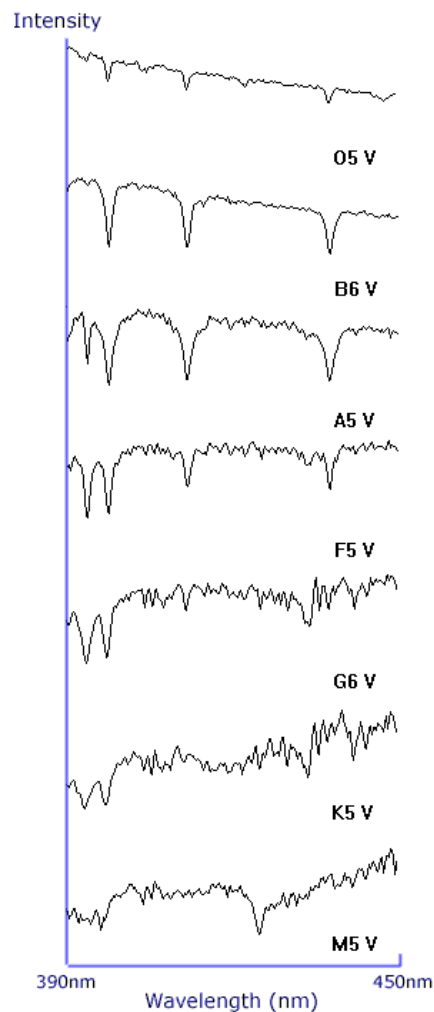
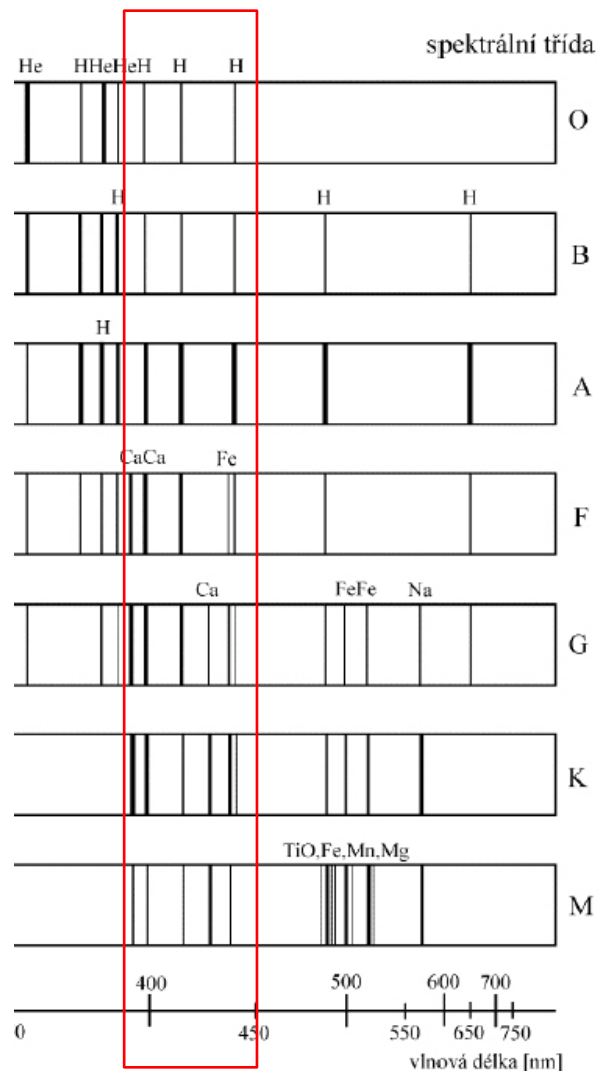
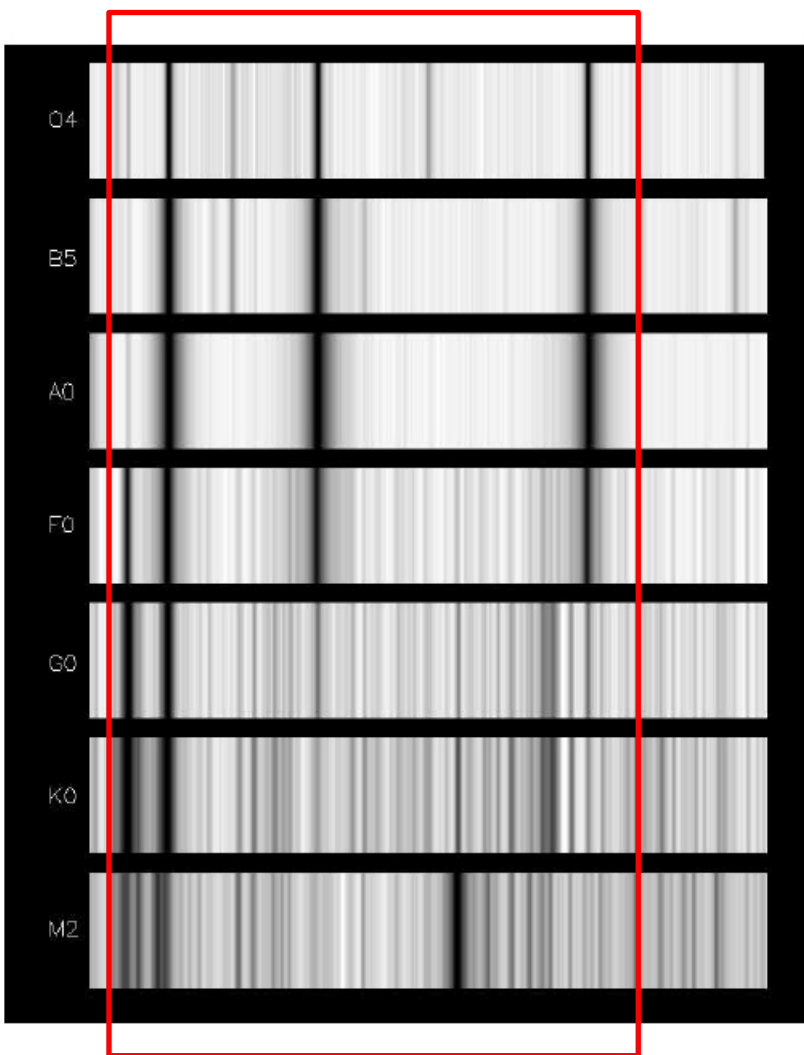
<i>Spektr. třída</i>	<i>Povrchová teplota</i>	<i>Charakteristické čáry</i>	<i>Typičtí představitelé hvězdy</i>
<b>O</b>	28 000 – 40 000 K	ionizované a neutrální He, slabý H	Alnitak, Mintaka
<b>B</b>	10 000 – 28 000 K	neutrální helium, silnější vodík	$\epsilon$ Ori, $\alpha$ Vir
<b>A</b>	7000 – 10 000 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

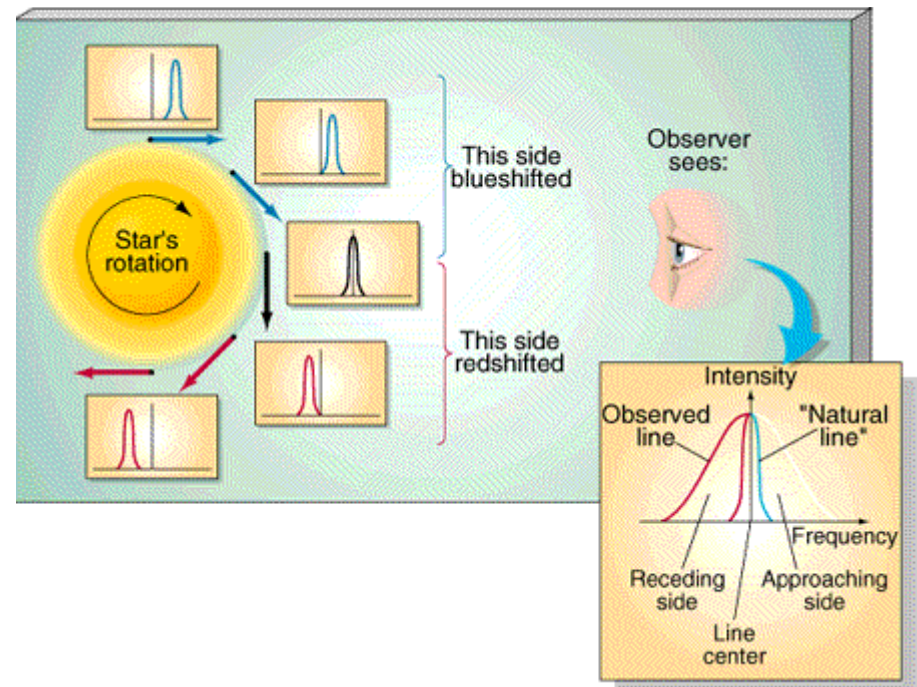
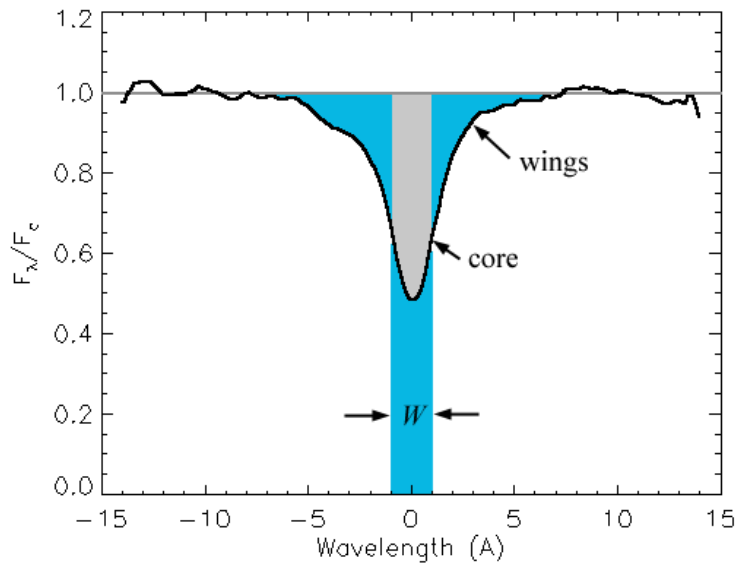
Teplota (Wienův posunovací zákon)

Složení, teplota

Složení, teplota

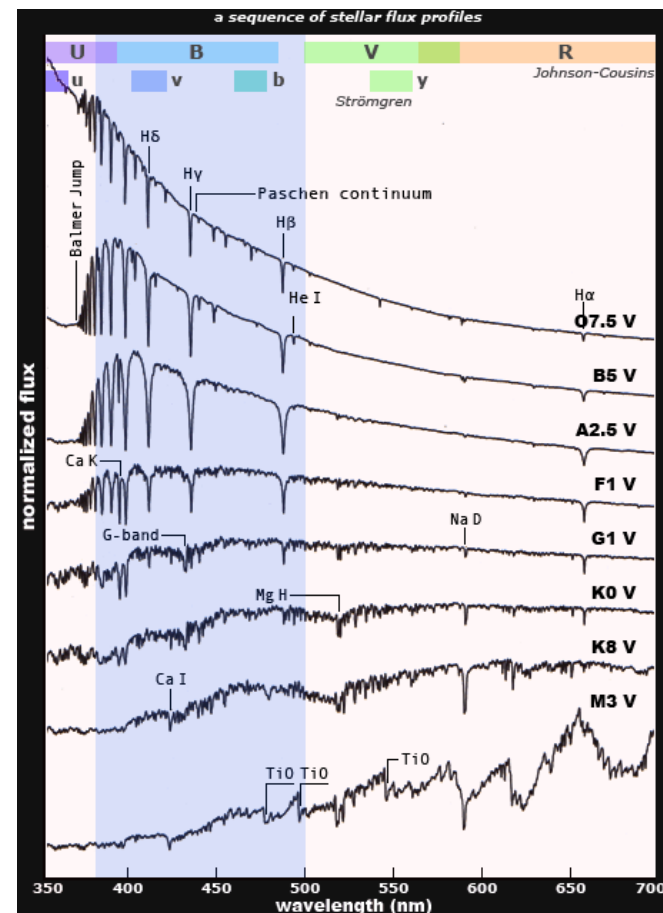
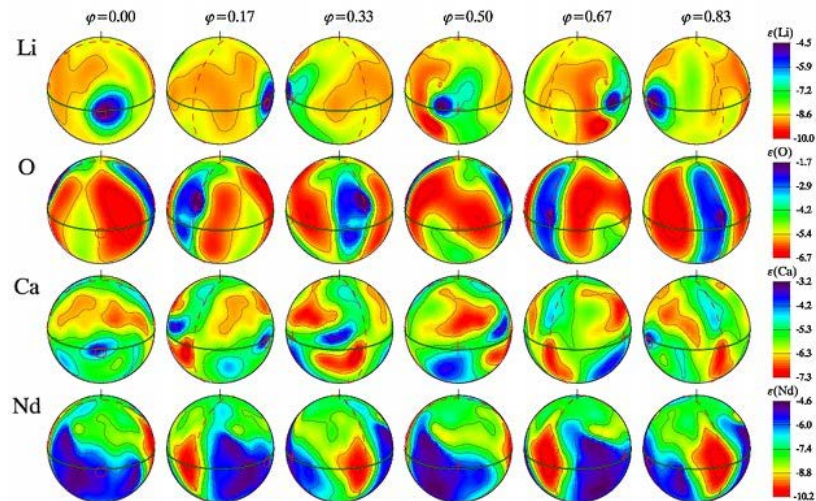
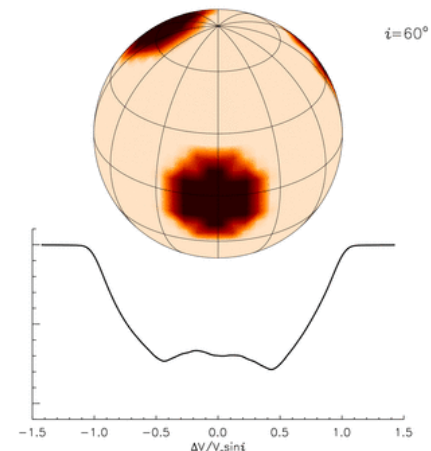
Teplota, turbulence, rychlost rotace, hustota (tlak), magnetické pole

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

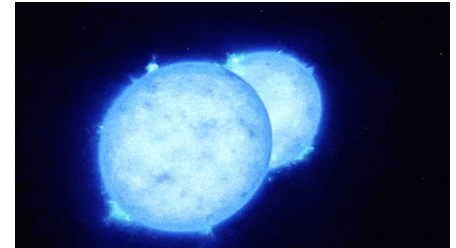




# Zákrytové dvojhvězdy = astrofyzikální laboratoře

**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 G4-16000  
  - spektrograf – LISA
- Newton 600/2780 + G4-16000 – lokalita Kraví hora, Brno  
  po dohodě s HaP
- Celestron CGE 1400 XLT (průměr 350 mm) – Kraví hora
- Skywatcher Newton 8" 203/1000 EQ-6 PRO – mobilní
- MUMO – Maksutow-Newt. 190/1000 + fotoaparát Canon
- TBO – Nikkor 180 f2.0 + G2-4000  
  lokalita – Lajatico, Itálie
- SAMU – lokalita Boyden, Jižní Afrika
  
- Perkův 2m dalekohled v Ondřejově  
  projekty, Bc, Mgr...

## Počítačová učebna

Stáže – ERASMUS, ESO ...

