

# 3D spektroskopie, jak ji neznáte

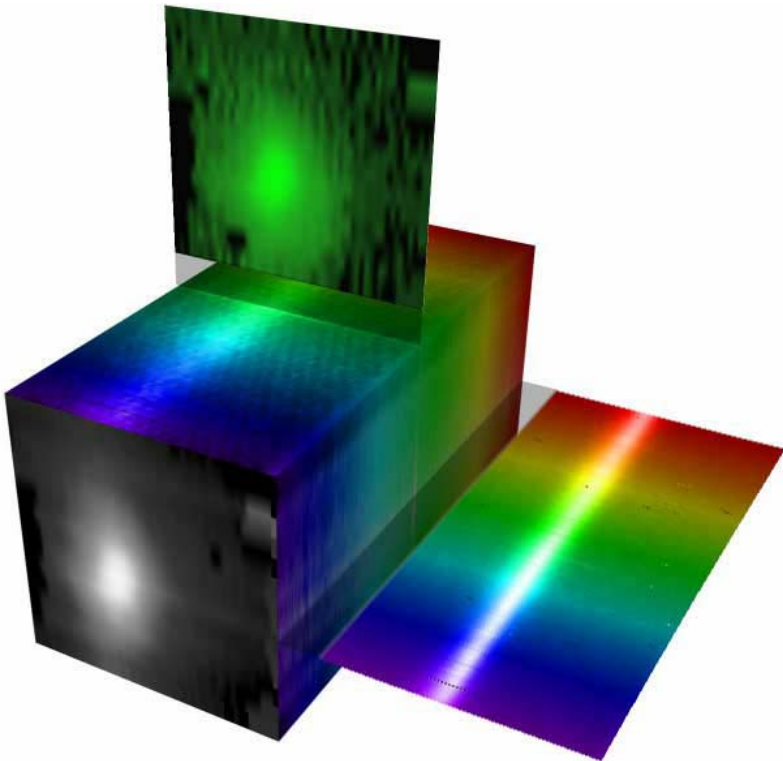
astroseminář, 24. listopadu 2008

# Obsah

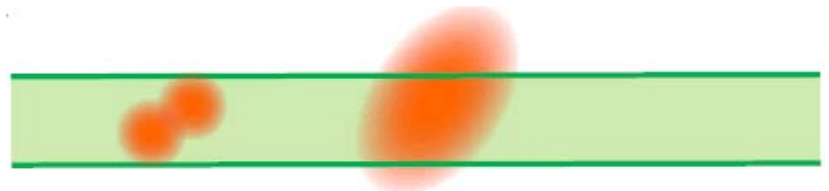
- Úvod
  - základní princip(y)
  - jak pořídit
- Přístroje
  - obecně i konkrétně
  - PMAS/PPAK - detailněji
- Věda a 3D spektroskopie
- Ivana Stoklasová 15. 12. :)

# Úvod: 2D ... 3D ... IFS

- 3D ...  $f(x, y, z)$
- 3D spektroskopie  $I(x, y, \lambda)$  ... plošných objektů / oblastí



- Kde nestačí 2D – štěrbinová spektroskopie  $I(x, \lambda)$ ?
  - spektra z různých částí objektu
  - vyhnout se ztrátě světla
  - vyhnout se centrování štěrbin
  - vyhnout se štěrbinovému efektu (slit effect)

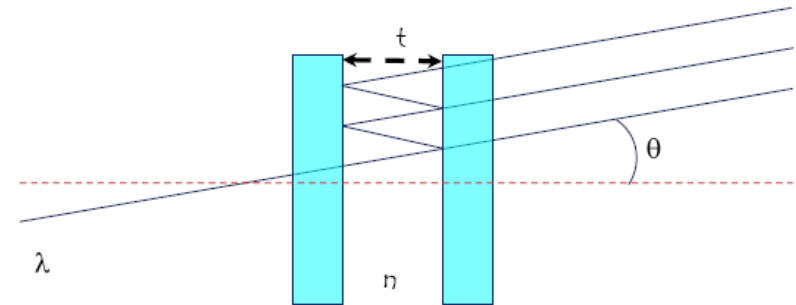


# Úvod: 3D ... IFS

- 1970s skenovací techniky

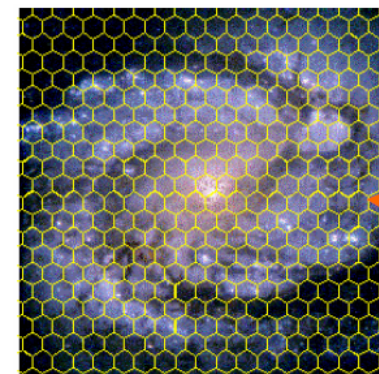
- štěrbina – skenování v prostorové souřadnici (a čase)
- Fabry-Perot interferometr – skenování přes  $\lambda$  (v čase)

- omezení na jasné objekty
- časově náročné
- změna podmínek během snímání



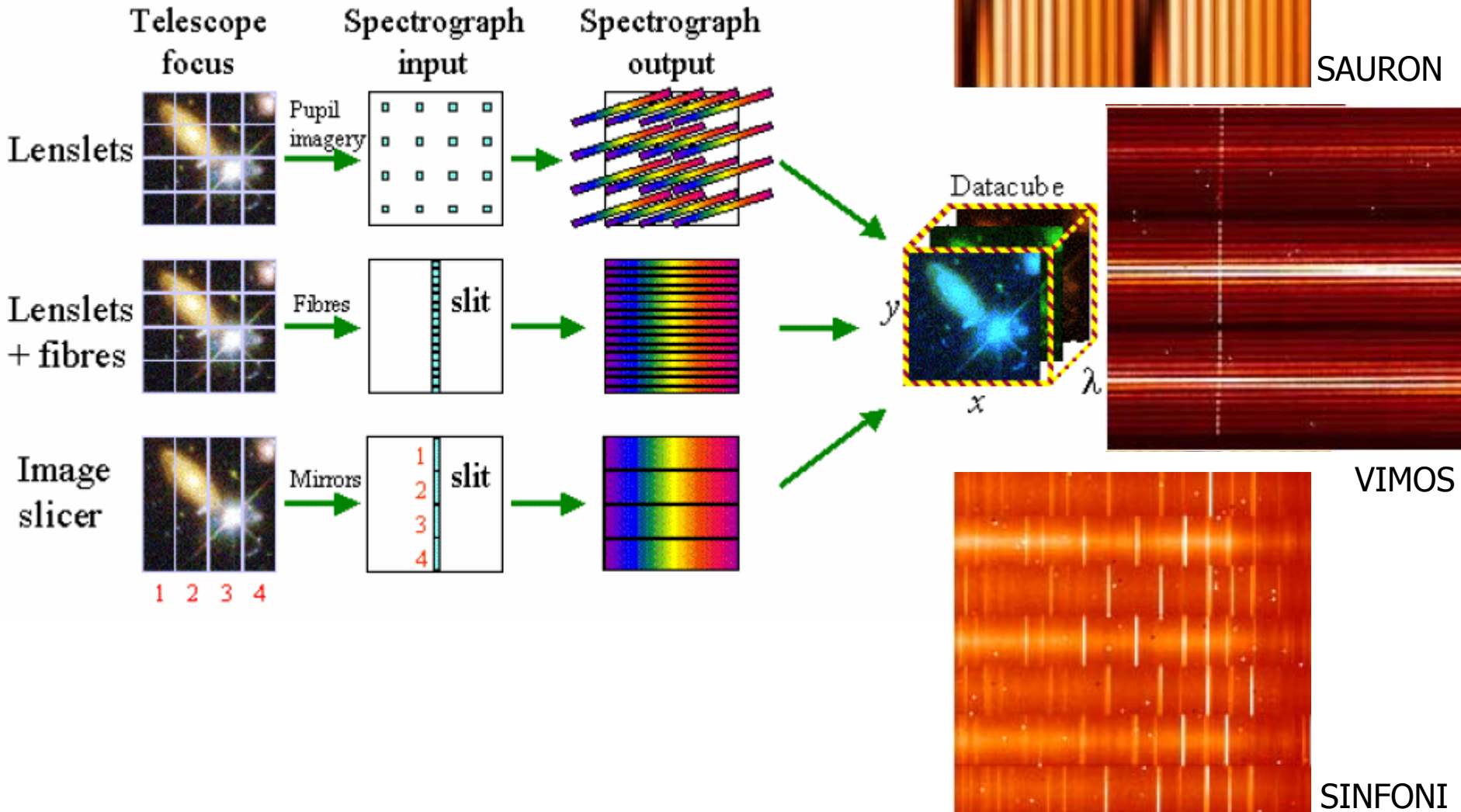
- 1980s simultánní nasnímání 3D informace = IFS (integral field spectroscopy), Vanderriest 1980

- rozdělení objektu na prostorové elementy (spatial pixel)

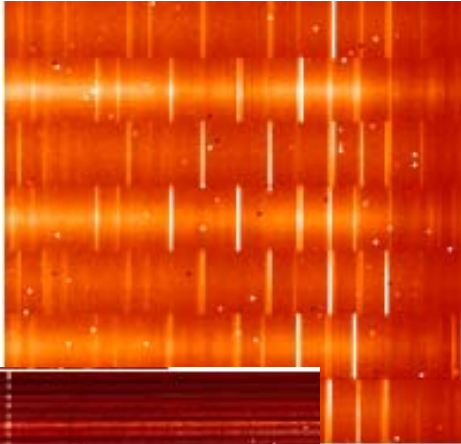


odtud o IFS

# Úvod: jak pořídít



# Úvod: jak pořídít



## „Slicer“

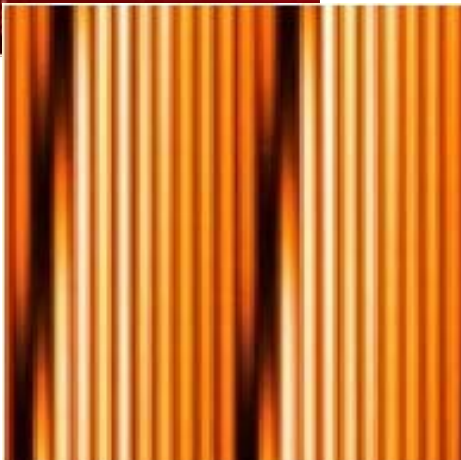
- sousední pixely na CCD, sousedí i v  $(x, y, \lambda)$
- řezy jsou nezávislé (neblendované)
- každá osa  $\lambda$  je jiná !

## „Vlákna“

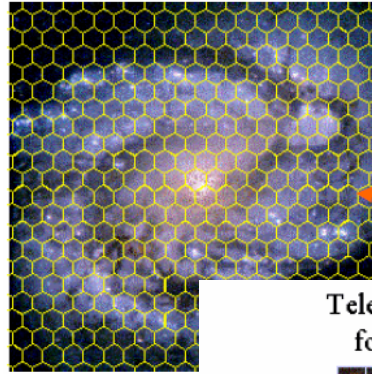
- náhodné uspořádání vláken na čip
- signál ze sousedních vláken je blendovaný (cross-talk)
- osa  $\lambda$  je stejná pro všechny vlákna

## „Lenslet“

- obě prostorové i spektrální osa je přeorganizovaná
- v obou směrech blendování

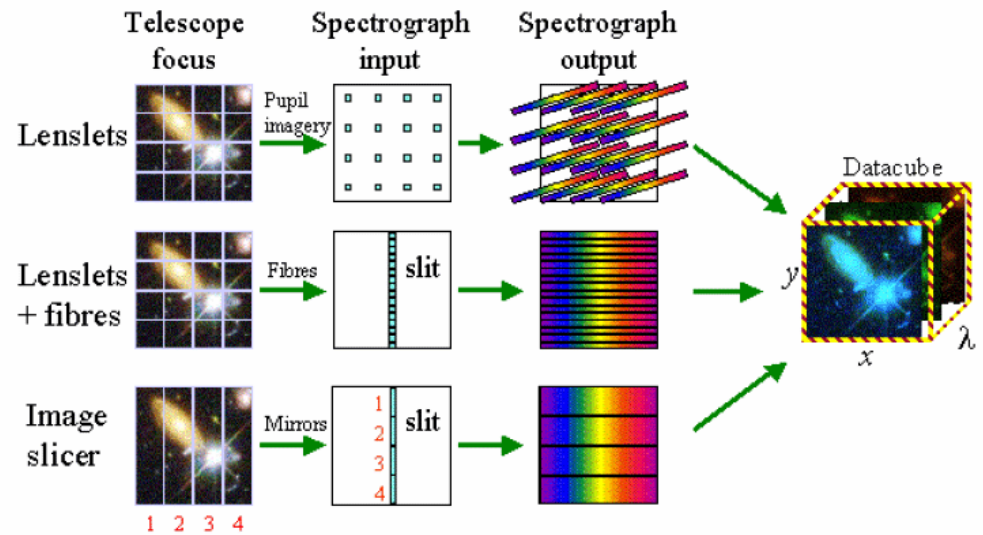


# Obsah



Spaxel

- Úvod
  - základní princip(y)
  - jak pořídit
- Přístroje
  - obecně i konkrétně
  - PMAS/PPAK - detailněji



- Věda a 3D spektroskopie
- Ivana Stoklasová 15. 12. :)

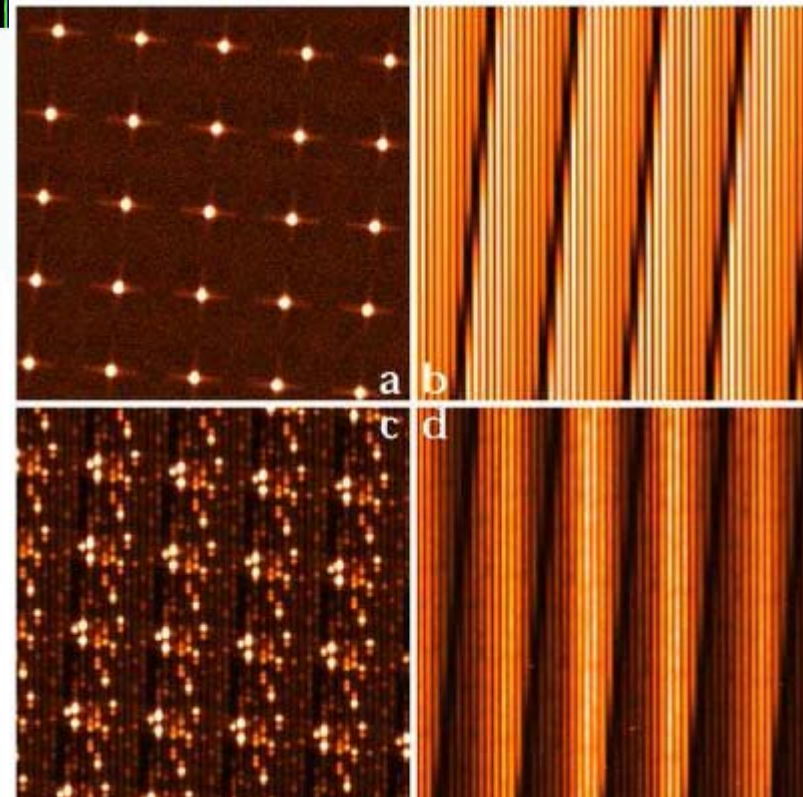
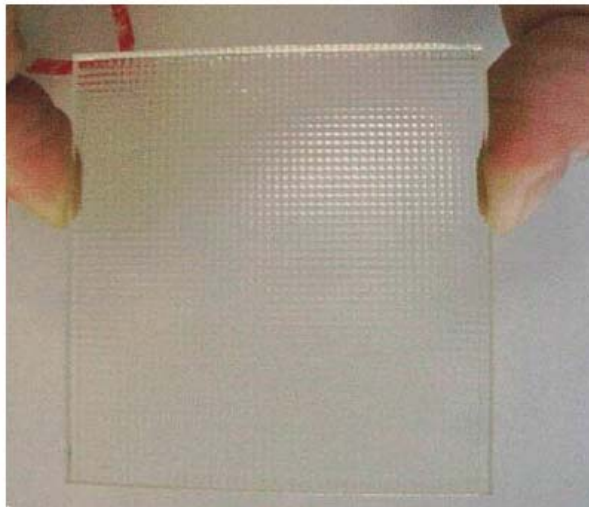
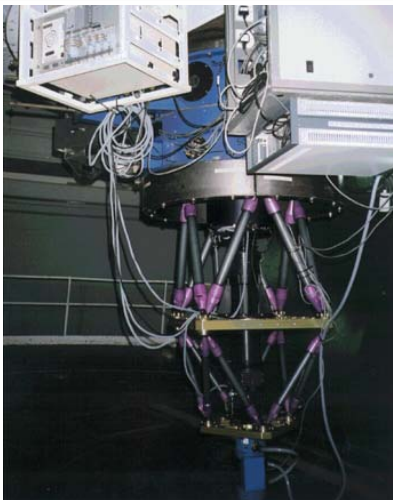
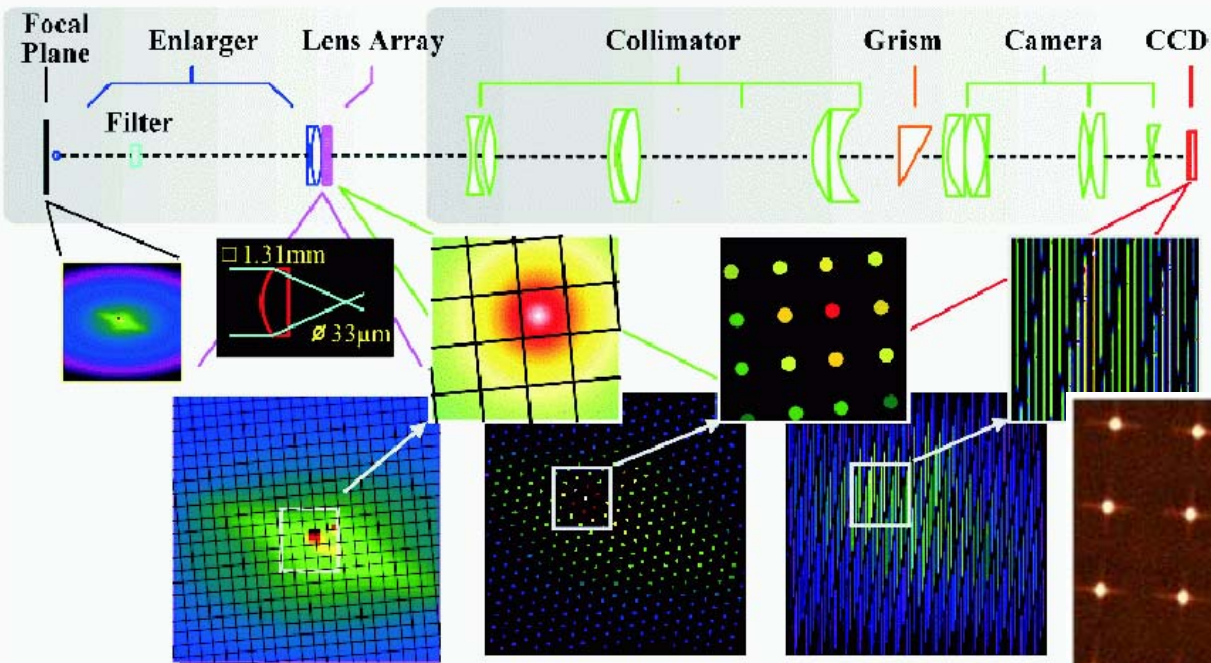


# Přístroje: přehled

| Instrument | Type        | N           | N    | Domain        | Spaxel       | R            | AO     | Year | Telescope                   |
|------------|-------------|-------------|------|---------------|--------------|--------------|--------|------|-----------------------------|
|            |             | Spat        | Spec | $\mu\text{m}$ | arcsecond    |              |        |      |                             |
| TIGER      | Lens        | 572         | 270  | 0.45 - 1      | 0.4          | 1200         |        | 1987 | CFHT - 3.6m                 |
| ARGUS      | Fibres      | 622         | 2048 | 0.3 - 1       | 0.4          | 450 - 2500   |        | 1997 | WHT - 4.2m                  |
| MPE-3D     | Slicer      | 256         | 256  | 1.48 - 2.41   | 0.3 - 0.5    | 1100, 2100   | AO     | 1997 | C. Alto - 3.5m / AAT - 3.9m |
| INTEGRAL   | Fibres      | 205         | 200  | 0.45 - 1      | 0.45 - 2.7   | 450 - 2200   |        | 1997 | WHT - 4.2m                  |
| SMIRFS     | Lens        | 72          | 256  | 1 - 2.5       | 0.63         | 300-6000     |        | 1997 | UKIRT                       |
| OASIS      | Lens        | 1200        | 360  | 0.45 - 1      | 0.04 - 0.4   | 1000 - 2500  | PUEO   | 1998 | CFHT - 3.6m                 |
| MPFS       | Lens+Fibres | 256         | 1024 | 0.45 - 1      | 0.5 - 1      | 500 - 2000   |        | 1998 | Zelenchuk - 6m              |
| PIFS       | Slicer      | 120         | 256  | 1 - 5         | 0.67         | 600, 1300    |        | 1998 | Palomar - 5m                |
| SAURON     | Lens        | 1520        | 500  | 0.48 - 0.54   | 0.27 - 0.94  | 1600         |        | 1999 | WHT - 4.2m                  |
| Spiral B   | Lens        | 512         | 500  | 0.48 - 1      | 0.7          | 1150 - 11000 |        | 2000 | AAT - 3.9m                  |
| TEIFU      | Lens        | 1000        | 1024 | 0.40 - 1      | 0.13 - 0.25  | 2000         | NAOMI  | 2000 | WHT - 4.2m                  |
| Kyoto 3D   | Lens        | 1000        | 500  | 0.36 - 0.9    | 0.42         | 1200         |        | 2000 | Nogayama - 2m               |
| Kyoto 3D   | —           | —           | —    | —             | 0.093        | 3500         |        | 2002 | Subaru - 8m                 |
| VIMOS      | Lens+Fibres | 6400        | 2046 | 0.27 - 1      | 0.33 - 0.67  | 180 - 2520   |        | 2001 | VLT - 8.2m                  |
| FLAMES     | Lens+Fibres | 308         | 2048 | 0.37 - 0.95   | 0.3 - 0.52   | 7500-25000   |        | 2001 | VLT - 8.2m                  |
| CIRPASS    | Fibres      | 490         | 1024 | 0.85 - 1.8    | 0.05 - 0.35  | 3000         |        |      | Gemini N - 8m               |
| UIST       | Slicer      | 72          | 1024 | 1 - 5         | 0.24         | 300-6000     |        | 2001 | UKIRT                       |
| GMOS       | Lens+Fibres | 1500        | 2048 | 0.36 - 1.1    | 0.2          | 670 - 4400   |        | 2001 | Gemini N/S - 8.2m           |
| IMACS      | Lens+Fibres | 1000        | 1024 | 0.4 - 0.9     | 0.2          | 1800 - 10000 |        | 2001 | Magellan - 6.5m             |
| PMASS      | Lens+Fibres | 256         | 2048 | 0.35 - 0.9    | 0.5 - 1      | 500 - 3000   |        | 2002 | Calar Alto - 3.5m           |
| OASIS      | Lens        | 1200        | 360  | 0.43 - 1      | 0.09 - 0.42  | 1100 - 2400  | NAOMI  | 2002 | WHT - 4.2m                  |
| PPAK       | Lens+Fibres | 316         | 2048 | 0.35 - 0.9    | 2.7          | 500 - 3000   |        | 2002 | Calar Alto - 3.5m           |
| SINFONI    | Slicer      | 1024        | 2048 | 1 - 2.5       | 0.025 - 0.25 | 2000-4500    | AO     | 2002 | VLT - 8.2m                  |
| GNIRS      | Slicer      | 1500        | 1024 | 1 - 5.5       | 0.04 - 0.15  | 6000         |        | 2003 | Gemini S - 8.2m             |
| SNIFS      | Lens        | 225         | 2048 | 0.32 - 1      | 0.6          | 1500         |        | 2004 | UH - 2.2m                   |
| NIFS       | Lens        | 1000        | 1024 | 0.95 - 2.42   | 0.1          | 5000         | Altair | 2005 | Gemini N - 8m               |
| OSIRIS     | Lens        | 1000 - 2500 | 4096 | 1 - 2.5       | 0.02 - 0.1   | 3800         | AO     | 2008 | Keck - 10m                  |
| VIRUS      | Lens+Fibres | 247x132     | 4000 | 0.34 - 0.57   | 1            | 1000         |        | 2010 | HET - 9.2m                  |
| KMOS       | Slicer      | 24x196      | 2000 | 1 - 2.5       | 0.2          | 3500         |        | 2010 | VLT - 8.2m                  |
| MUSE       | Slicer      | 90000       | 4096 | 0.45 - 0.9    | 0.05 - 0.2   | 3000         | MCAO   | 2013 | VLT - 8.2m                  |

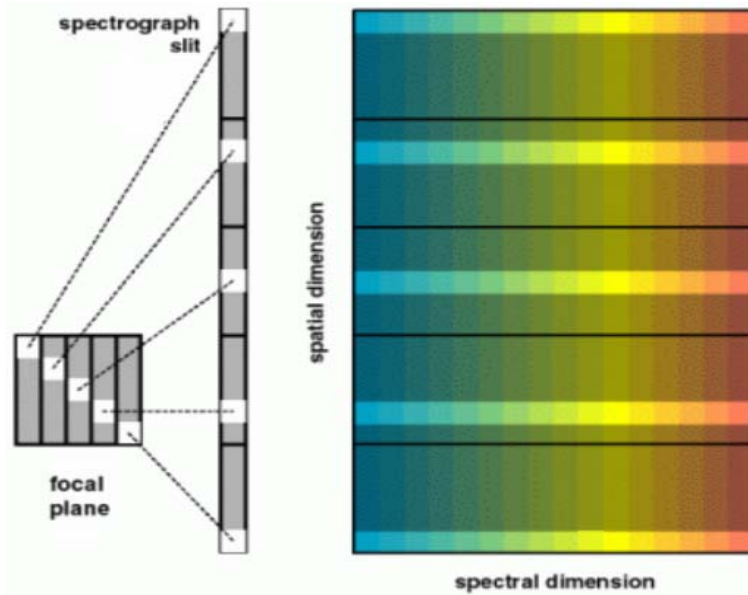
# Přístroje: SAURON

| Type | N<br>Spat | N<br>Spec | Domain<br>$\mu\text{m}$ | Spaxel<br>arcsecond | R    |
|------|-----------|-----------|-------------------------|---------------------|------|
| Lens | 1520      | 500       | 0.48 – 0.54             | 0.27 – 0.94         | 1600 |

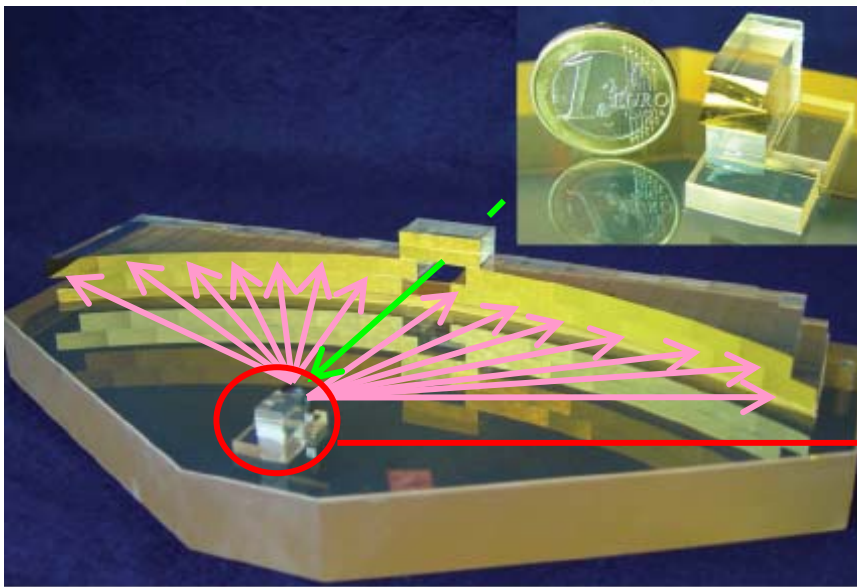
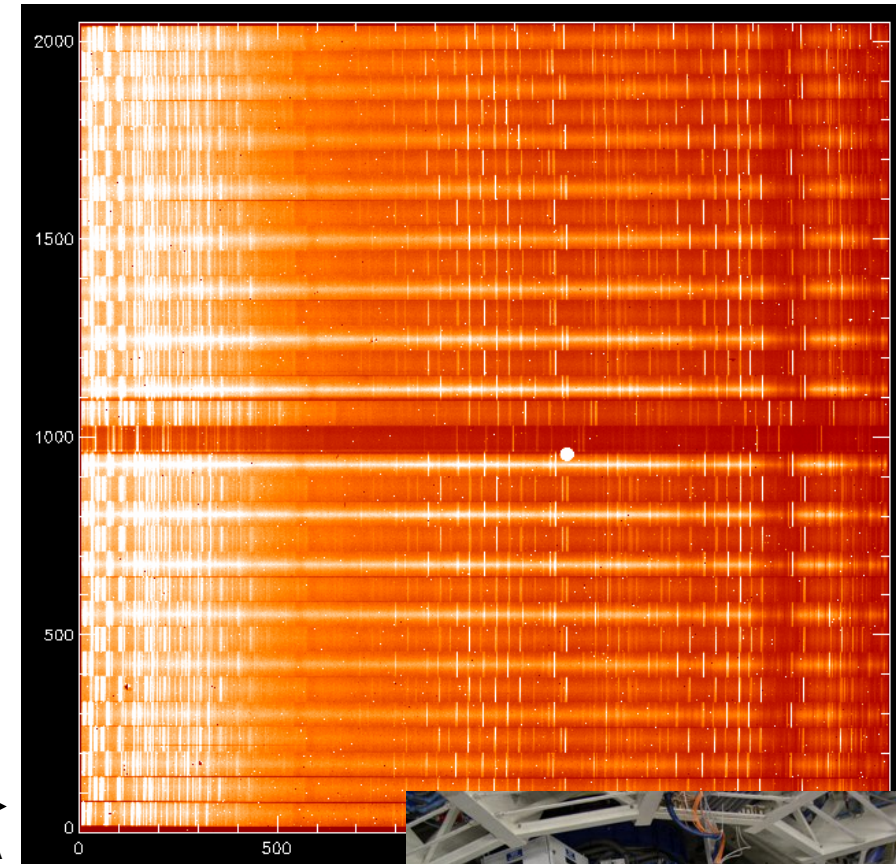


# Přístroje: SINFONI

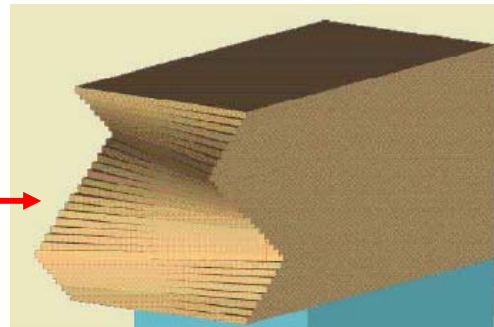
| Type   | N<br>Spat | N<br>Spec | Domain<br>$\mu\text{m}$ | Spaxel<br>arcsecond | R         |
|--------|-----------|-----------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Slicer | 1024      | 2048      | 1 - 2.5                 | 0.025 - 0.25        | 2000-4500 |



+AO



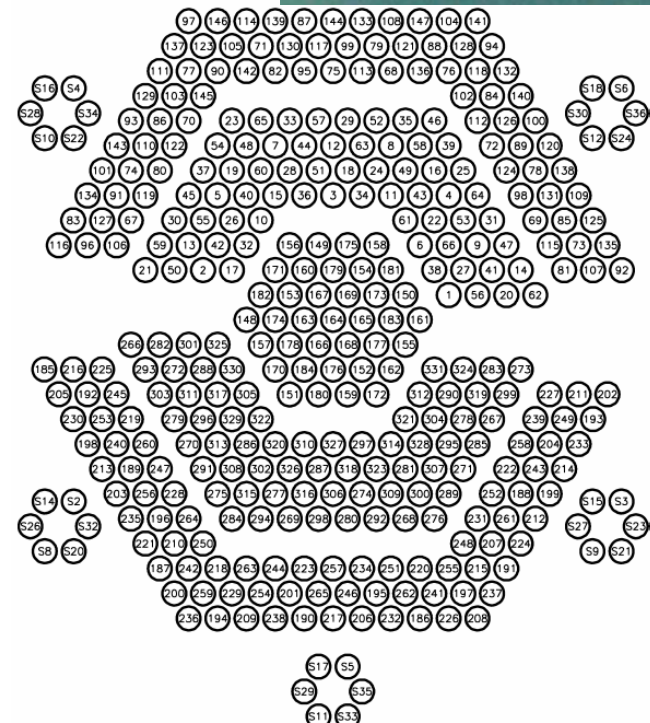
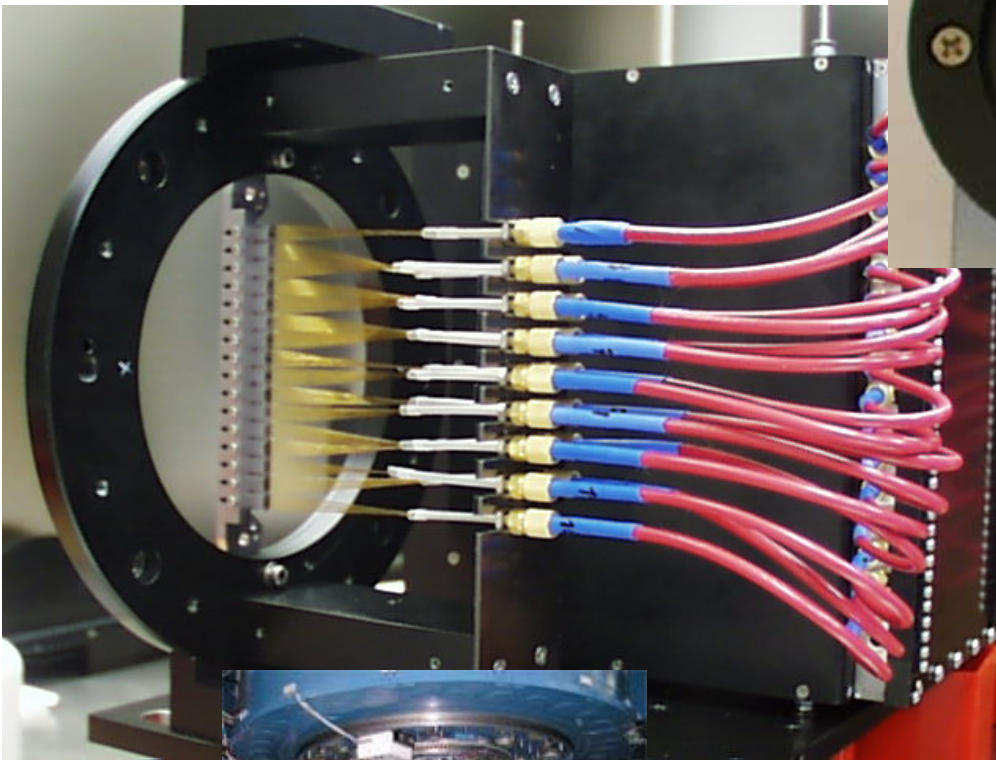
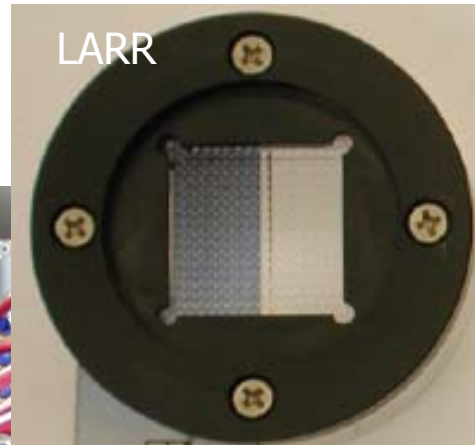
řez  
 $\lambda$



# Přístroje: PPAK

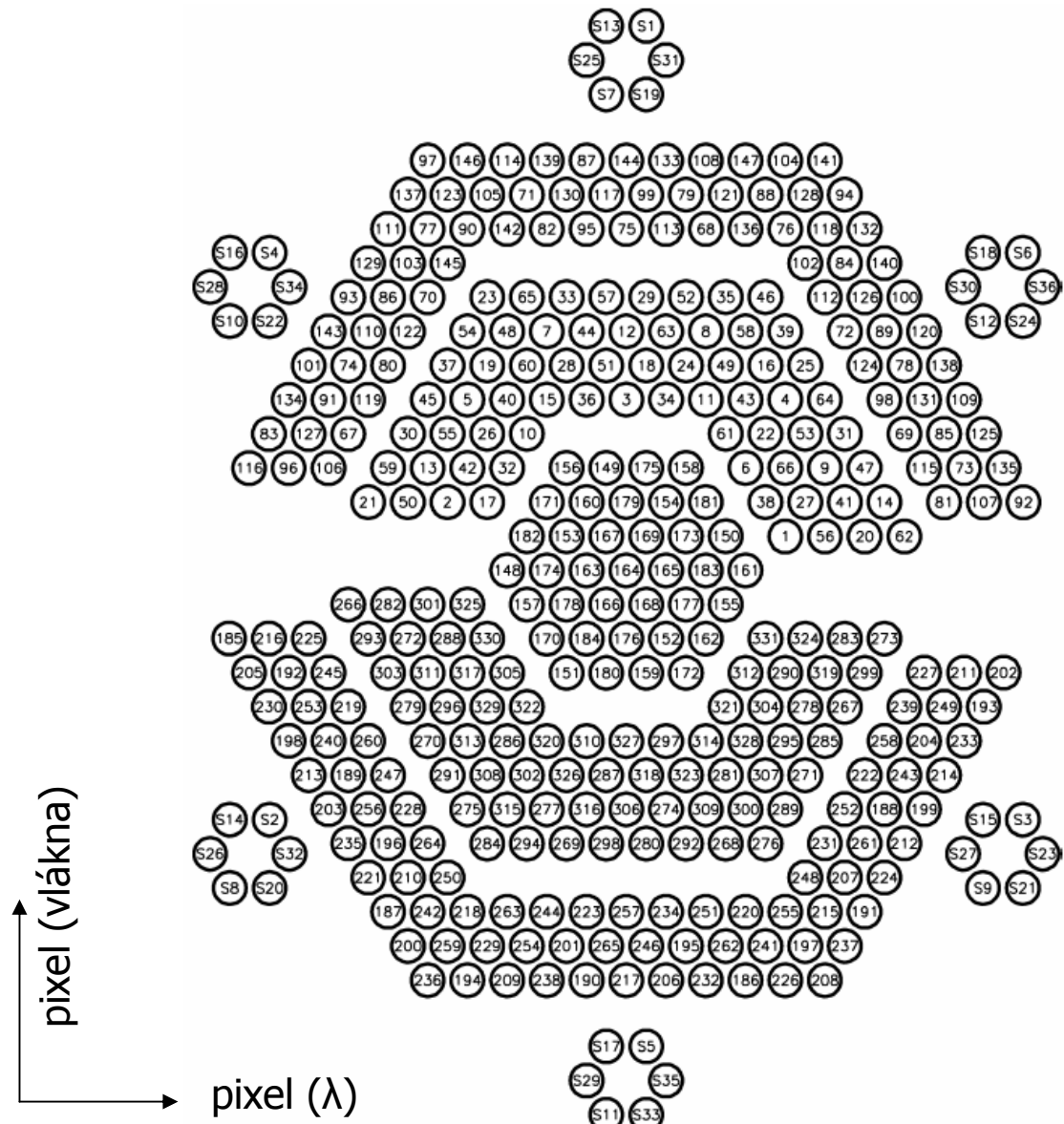
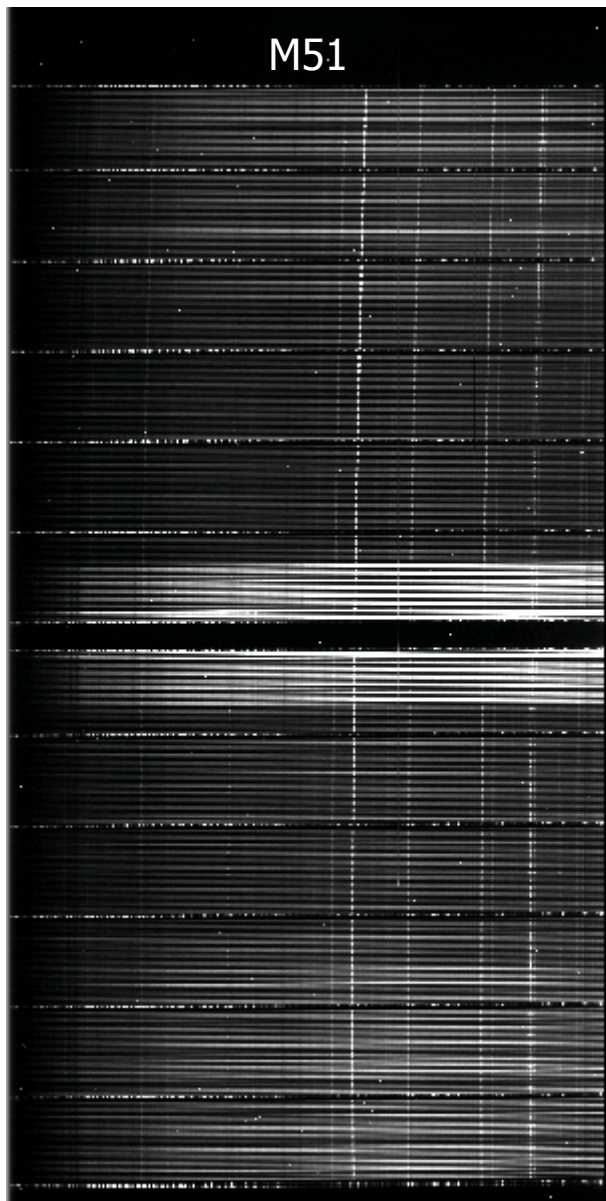
| Type        | N<br>Spat | N<br>Spec | Domain<br>$\mu\text{m}$ | Spaxel<br>arcsecond | R          |
|-------------|-----------|-----------|-------------------------|---------------------|------------|
| Lens+Fibres | 316       | 2048      | 0.35 - 0.9              | 2.7                 | 500 - 3000 |

- PMASS – LARR, PPAK



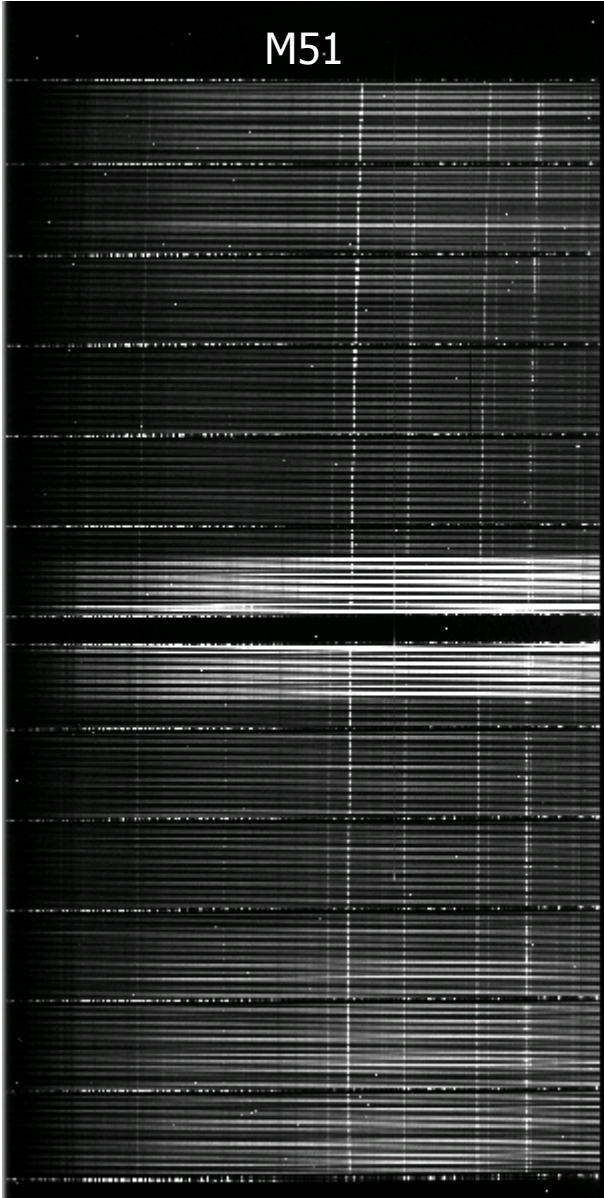
- vláčna:
- objektová
  - oblohová
  - kalibrační

# Přístroje: PPAK – raw data

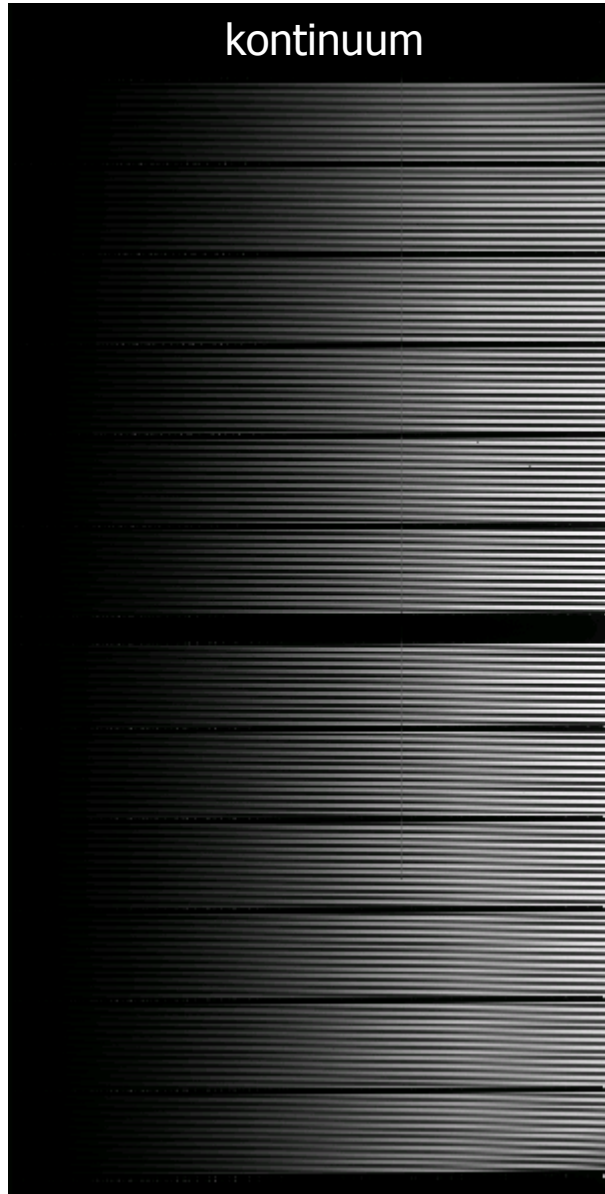


# Přístroje: PPAK – raw data

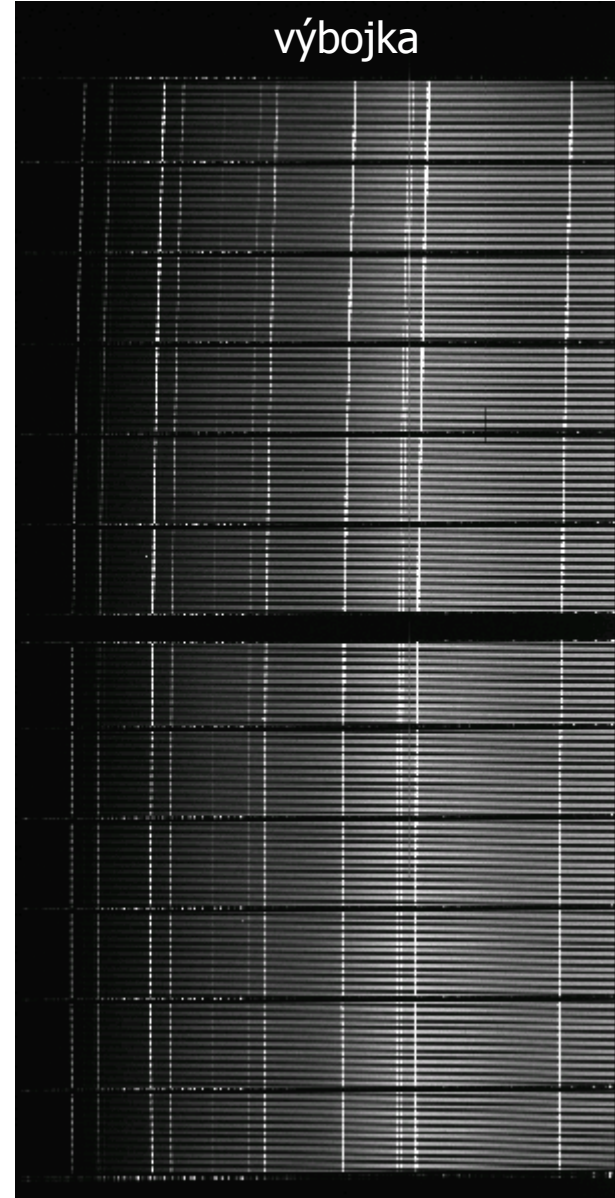
M51



kontinuum



výbojka

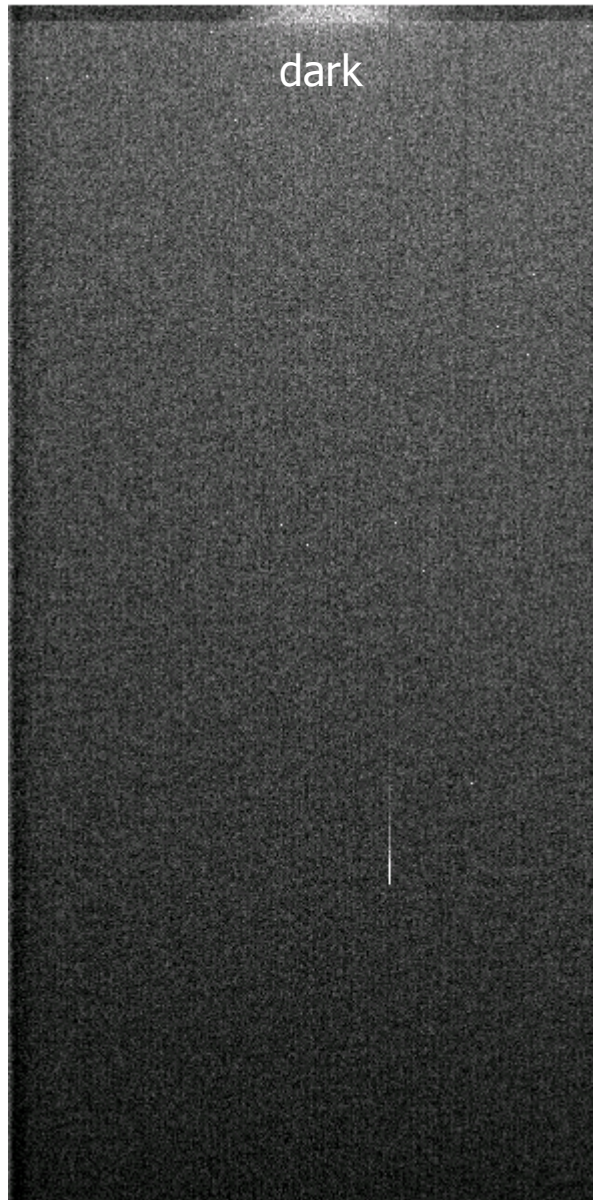
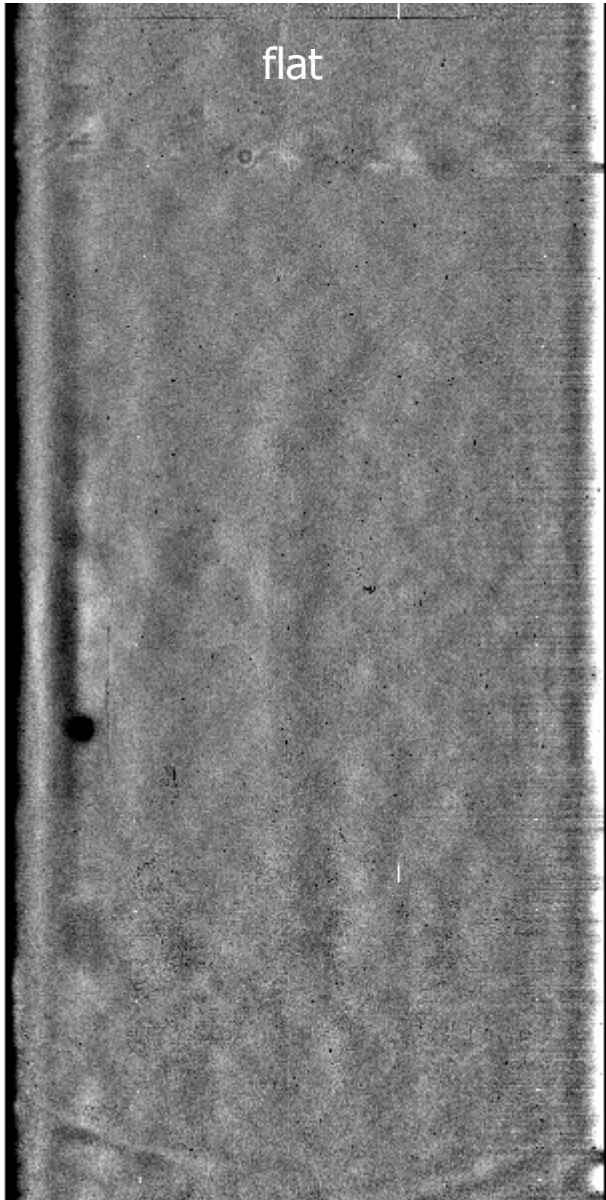


# Přístroje: PPAK – CCD kalibrace

flat

dark

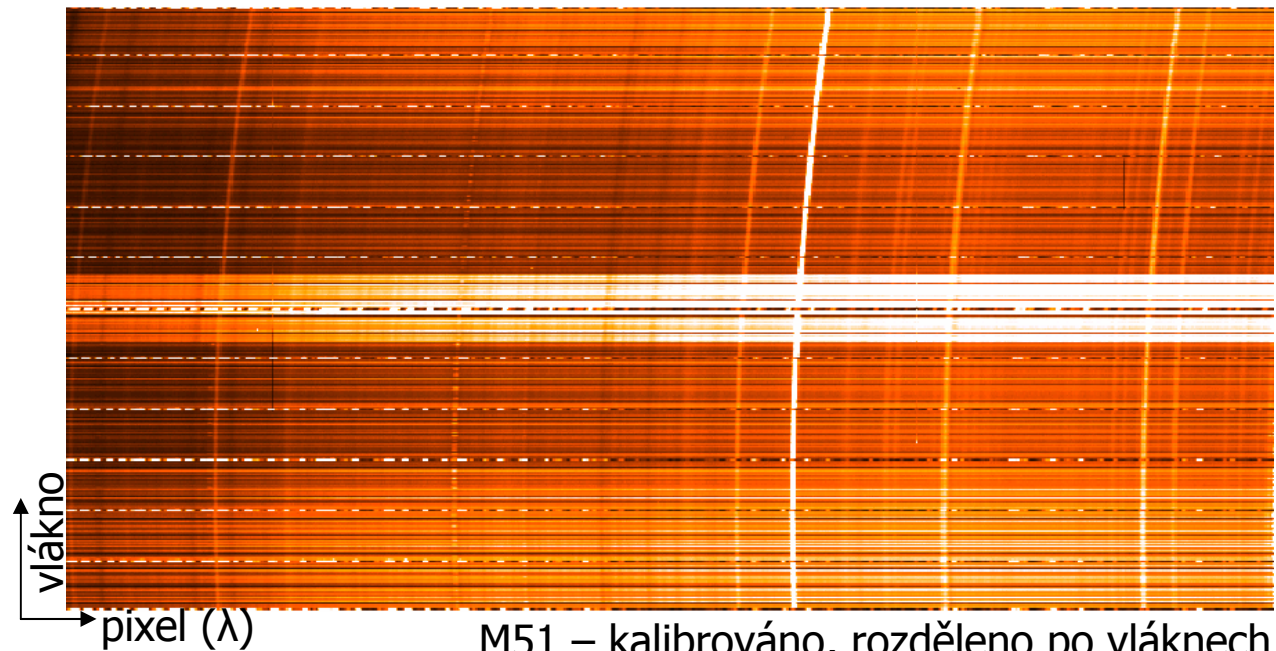
bias



# Přístroje: PPAK – redukce

M51 - extrahováno

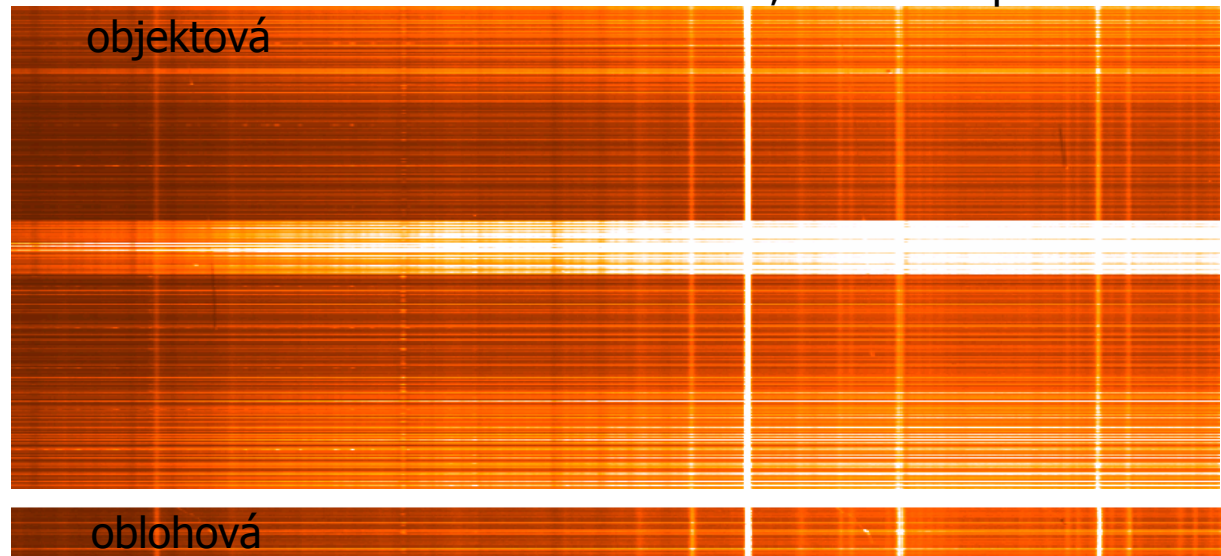
M51 - vyčištěno



M51 – kalibrováno, rozděleno po vláknech

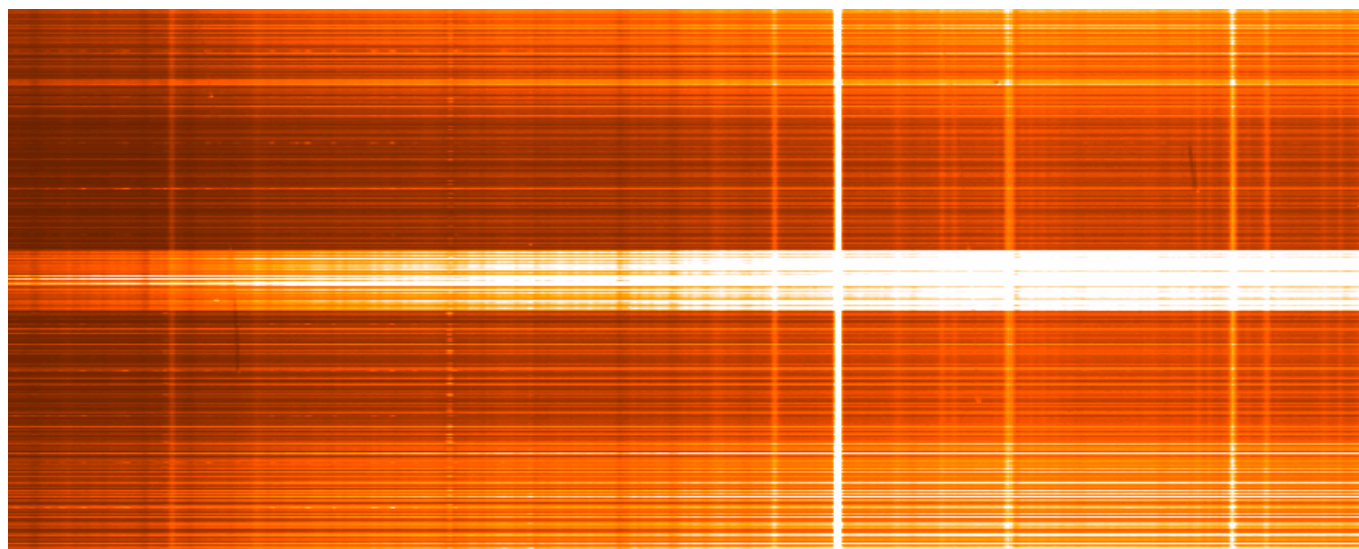
objektová

oblohová





# Přístroje: PPAK – redukce



M51 – kalibrováno,  
rozděleno po vláknech

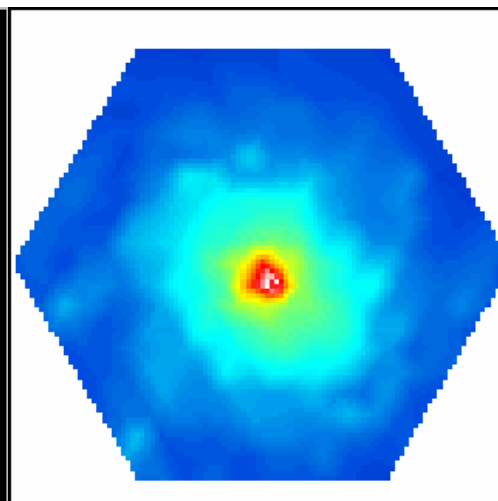
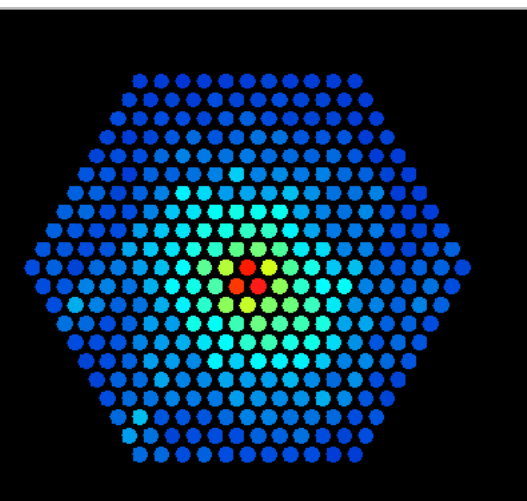
+ tabulka uspořádání  
vláken

= DATOVÁ KOSTKA

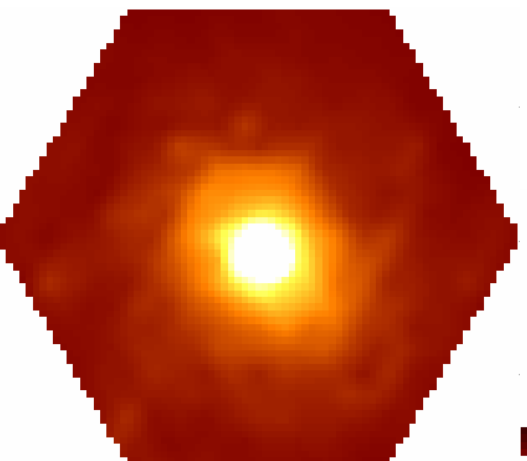
↑ vlákno  
→  $\lambda$

- odečtení záření oblohy
- oprava na propustnost jednotlivých vláken
- kalibrace toku na absolutní jednotky (kalibrační hvězdy)
- oprava atmosferické refrakce

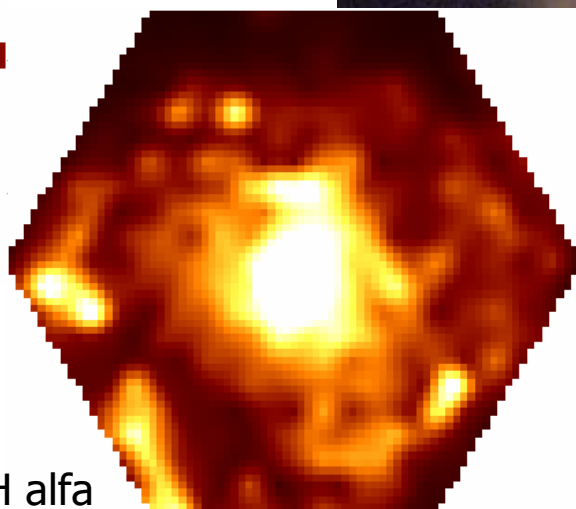
# Přístroje: PPAK – mapy M51



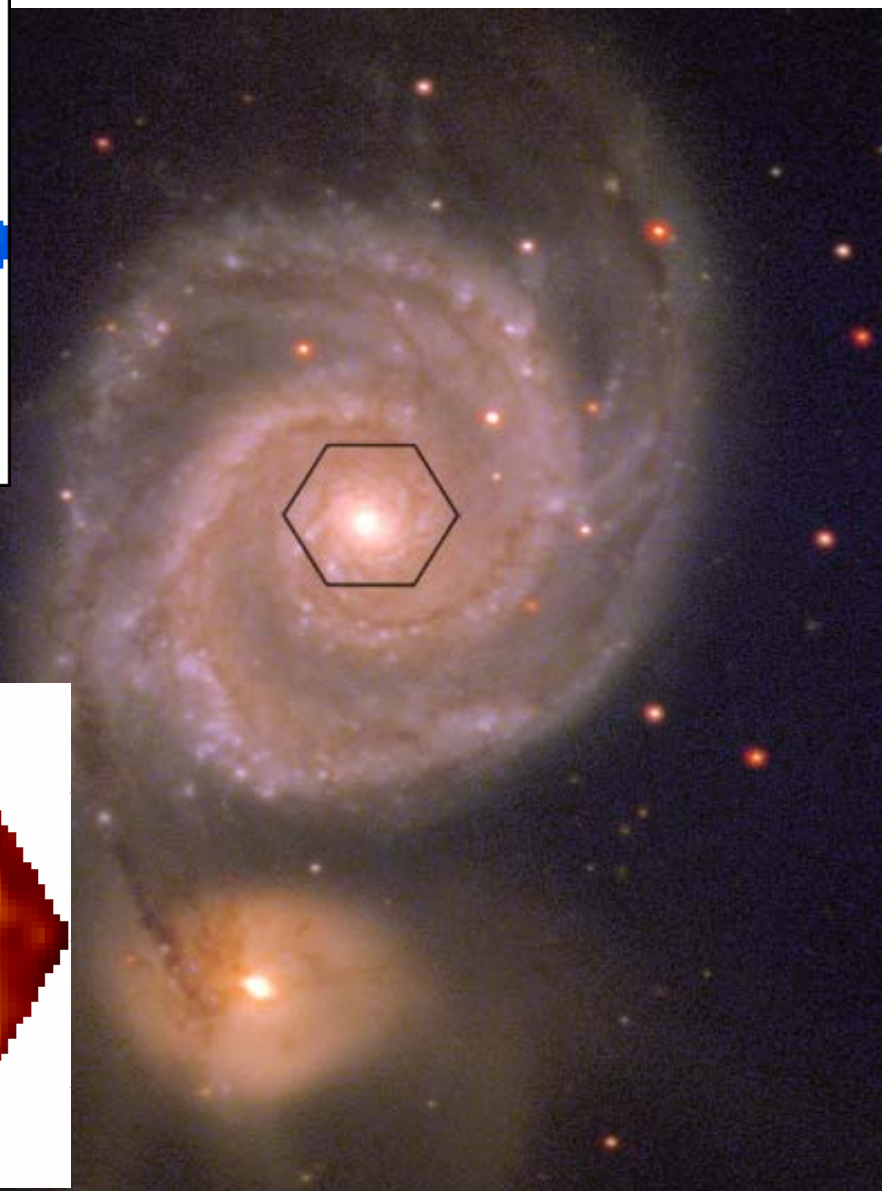
celkový tok



kontinuum



H alfa



# Přístroje: redukce

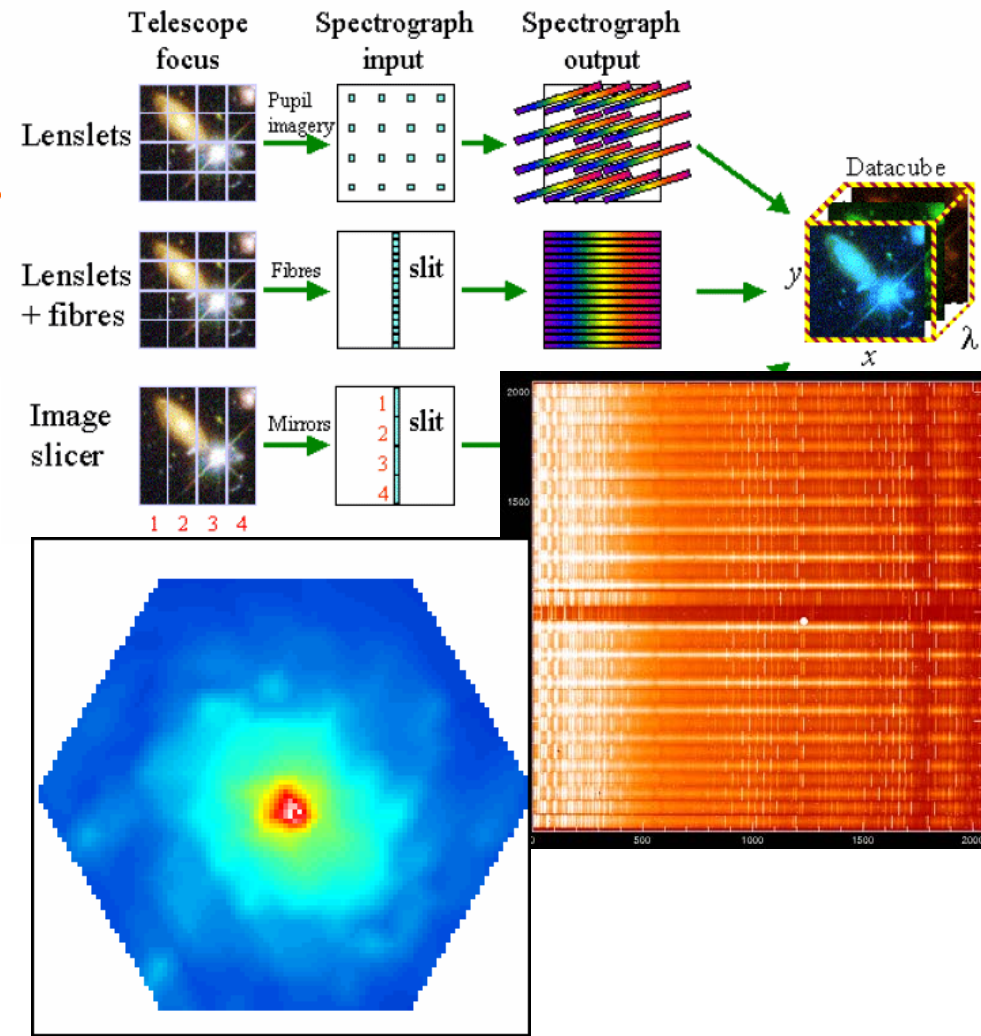
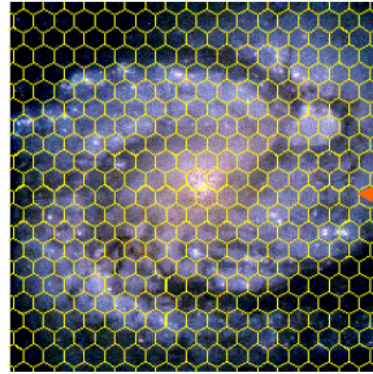
Data reduction can be tricky...



McDermitt, Emsellem  
prezentace z NEON 3D  
letní školy, květen 08.

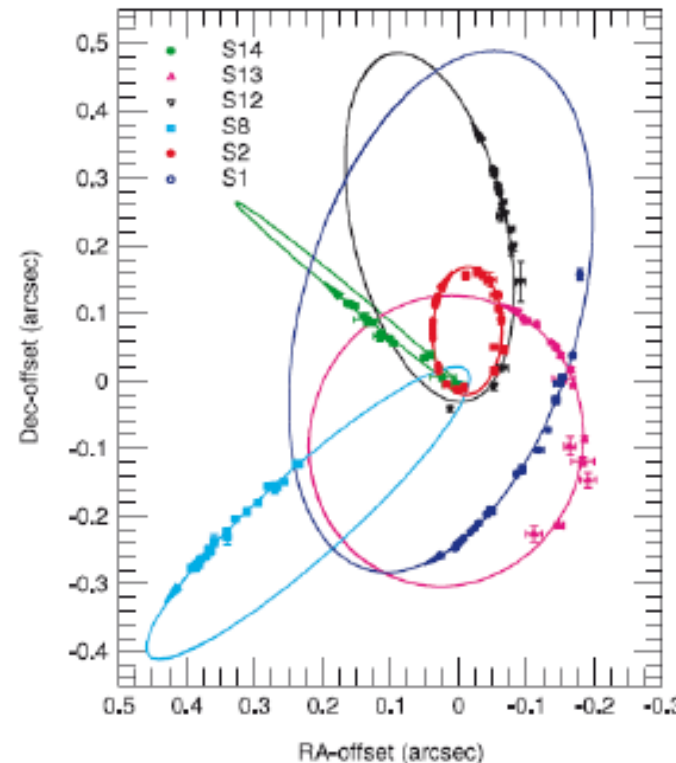
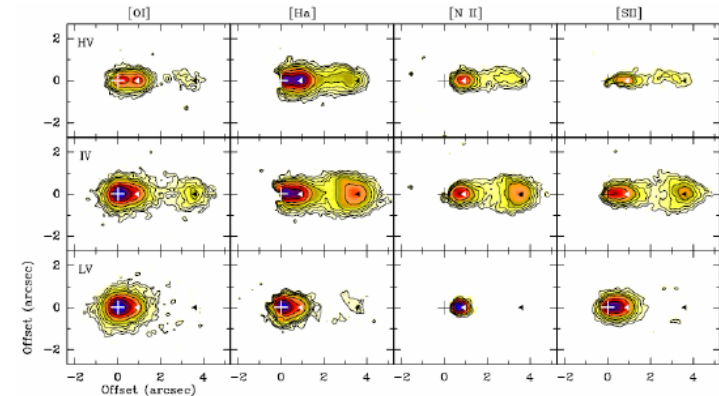
# Obsah

- Úvod
  - základní princip(y)
  - jak pořídit
- Přístroje
  - obecně i konkrétně
  - PMAS/PPAK - detailněji
- Věda a 3D spektroskopie
- Ivana Stoklasová 15. 12. :)



# Věda ve 3D

- planety
- studium mezihvězdného plynu
- oblasti zrodu hvězd, mladé hvězdy
  - prostorově rozlišené složky u systému Z CMa (Garcia P., 1999)
  - studium jetu u hvězdy DG Tau (C. Lavalley-Fouquet et al., 2000)
- centrum Galaxie
  - kinematika v centrálním světelném-měsíci (Eisenhauer et al., 2005)
  - rozlišení objektů v oblasti SgrA\*



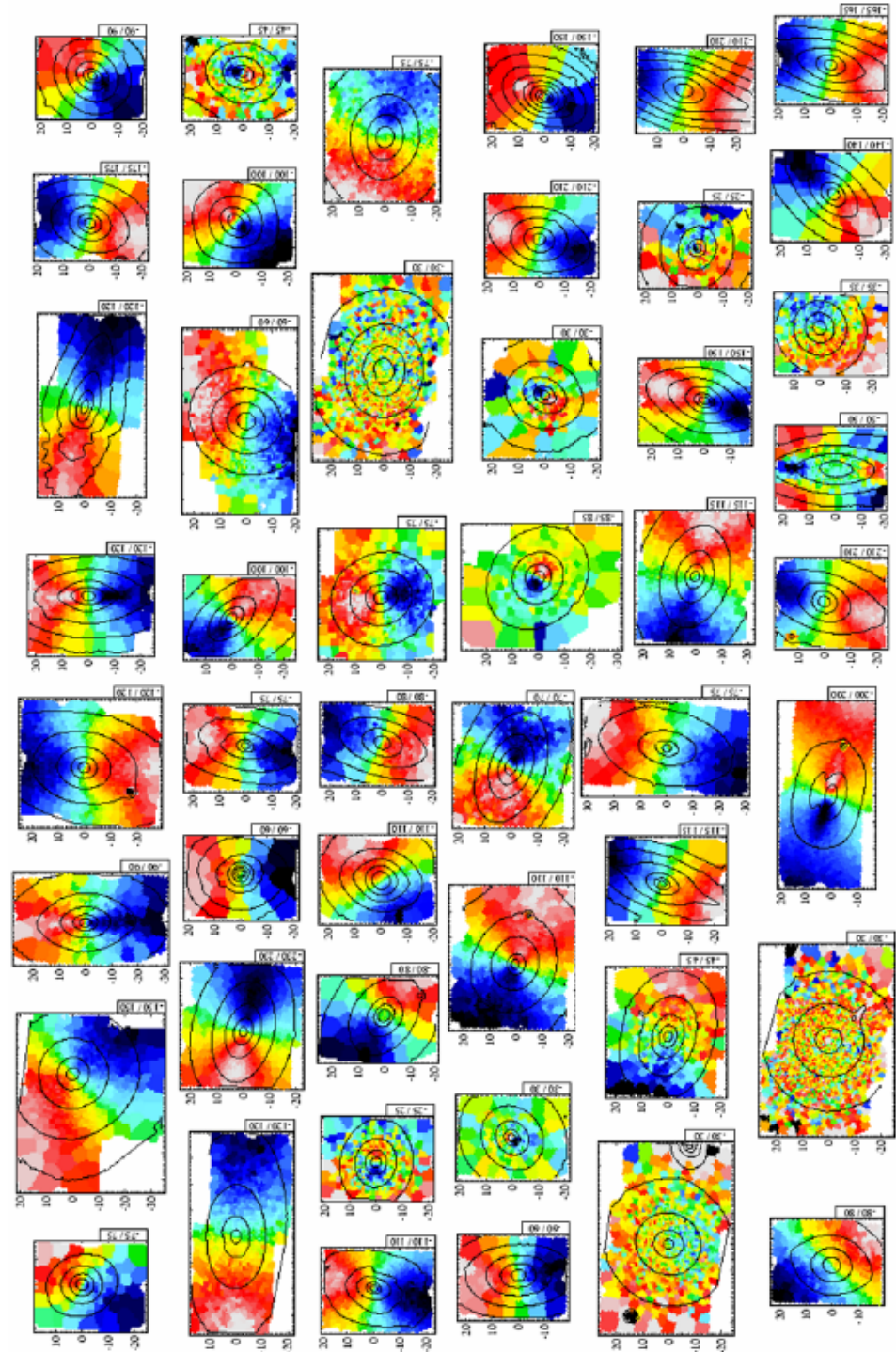
# Věda ve 3D

- blízké galaxie

- SAURON survey →
- nesymetrická  $\sigma$  v M31 (Bacon et al., 2001)
- spektrofotometrie planetárních mlhovin v halu M31 (Roth et al., 2004)
- rozložení a dynamika hvězdných populací

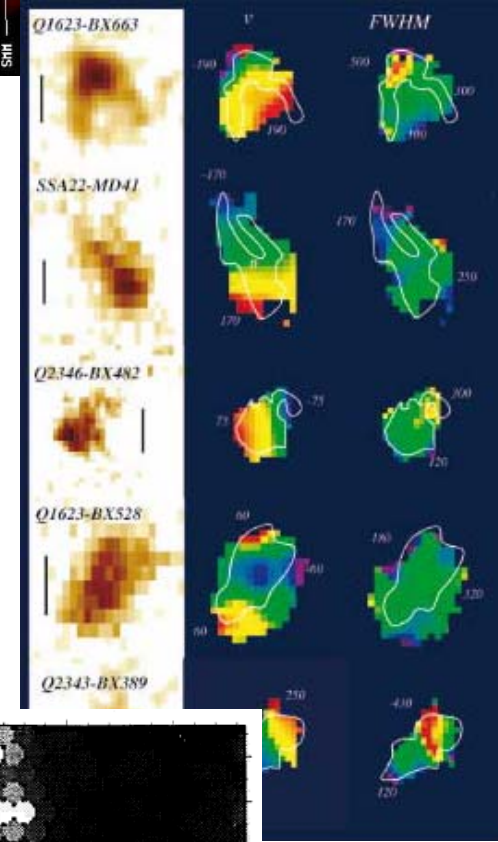
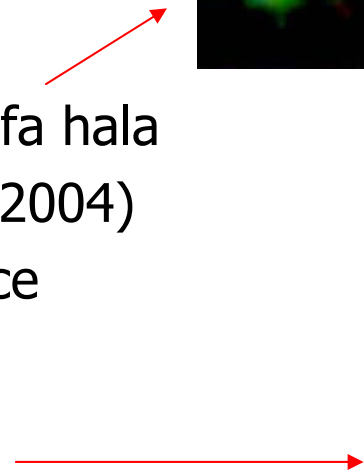
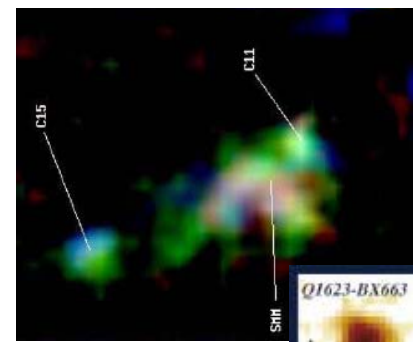
- aktivní galaxie

- kinematika a dynamika NLR
- kužely ionizovaného plynu
- ... Ivana S.

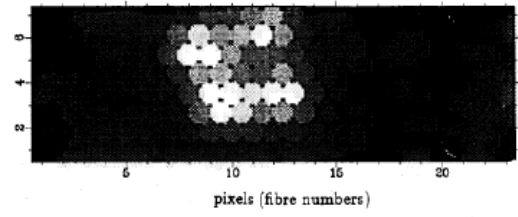


# Věda ve 3D

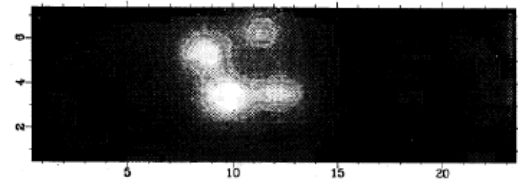
- vzdálené galaxie
  - studium rozsáhlého Lyman alfa hala galaxie na  $z=3.1$  (Bower et al., 2004)
  - zpřesňování Tully-Fisher relace (Flores et al., 2006)
  - SINFONI survey na  $z=2$  (Förster-Schreiber et al., 2006)



- gravitační mikročočky
  - spektroskopicky prokázáno u kvasaru Hz 1413+117 (Angonin, 1990)

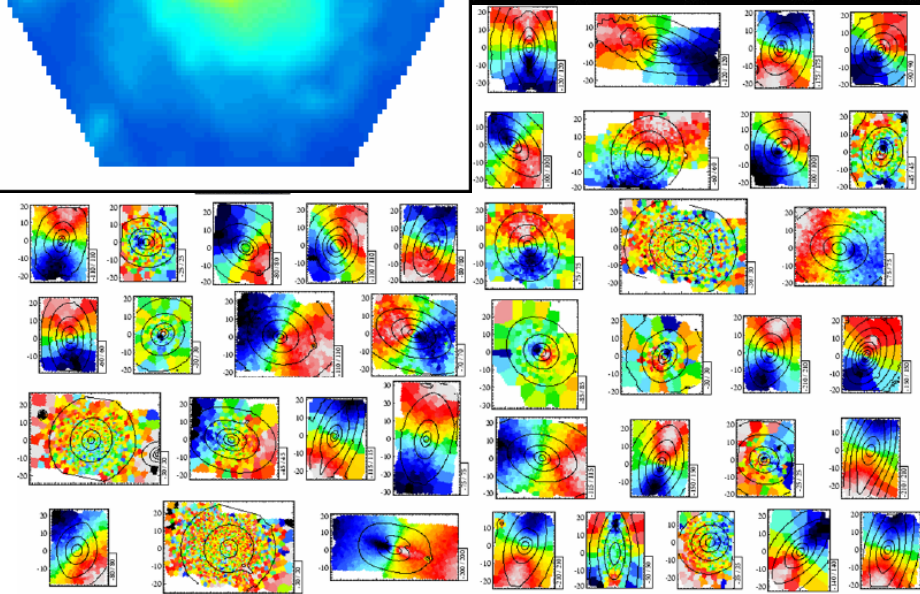
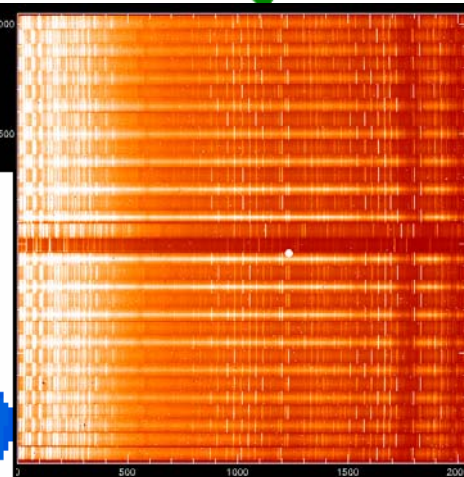
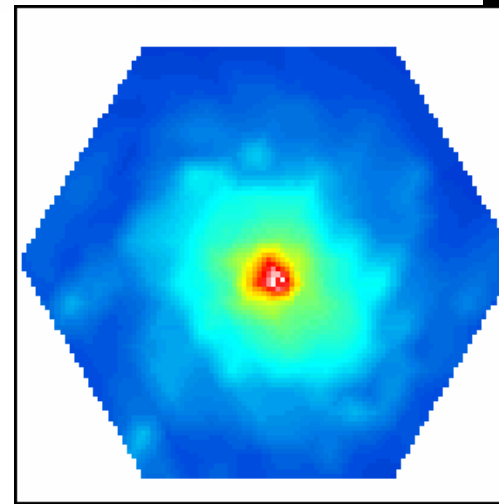
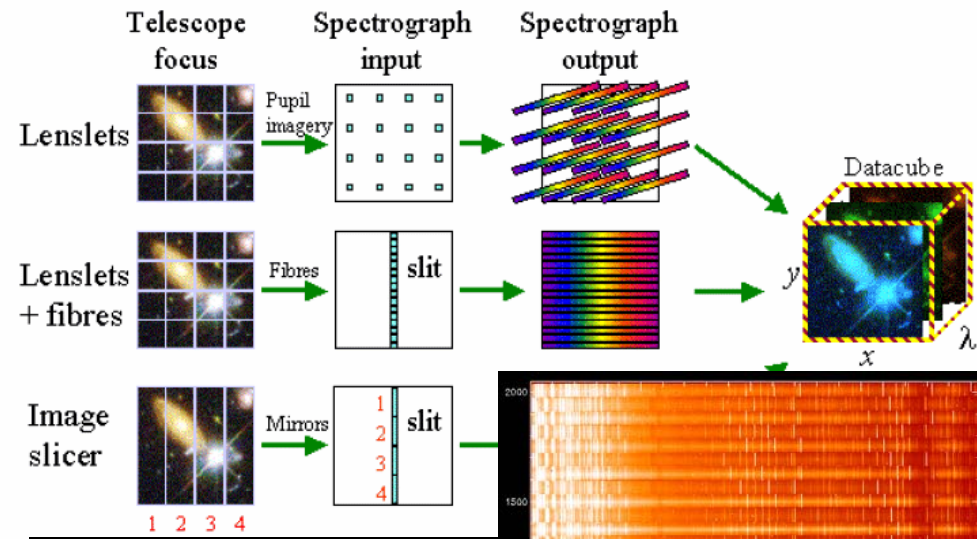
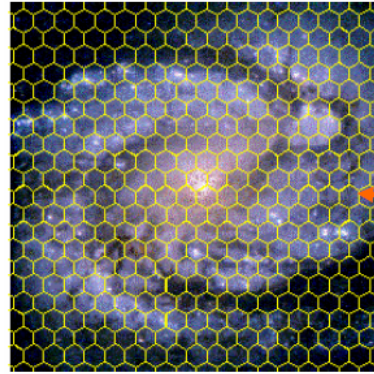


- GRBs



# Obsah

- Úvod
  - základní princip(y)
  - jak pořídit
- Přístroje
  - obecně i konkrétně
  - PMAS/PPAK - detailněji
- Věda a 3D spektroskopie
- Ivana Stoklasová 15. 12. :)





# Zdroje a další literatura

- Kelz A. et al., *PMAS: The Potsdam Multi-Aperture Spectrophotometer. II.*, Publ. of Astronom. Society of Pacific, 118:129-145, 2006
- Roger Bacon, *The SAURON project I.*, arXiv:astro-ph/0103451 v 1, 2001
- prezentace: Eric Emsellem, Workshop Gas & Stars in 3D prospective, Garching 2008
- prezentace: Roger Bacon, NEON 3D Summer school, Potsdam 2008
- prezentace: Richard McDermid & Eric Emsellem, NEON 3D Summer school, Potsdam 2008
- prezentace: Ana Monreal Ibero, NEON 3D Summer school, Potsdam 2008
- SINFONI ESO stranky:  
<http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/sinfoni/>
- SAURON project website: <http://www.strw.leidenuniv.nl/sauron/>
- části disertační práce Ivany Stoklasové