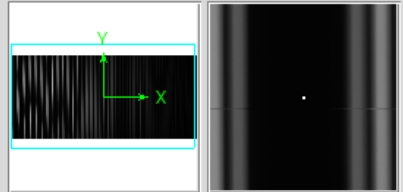


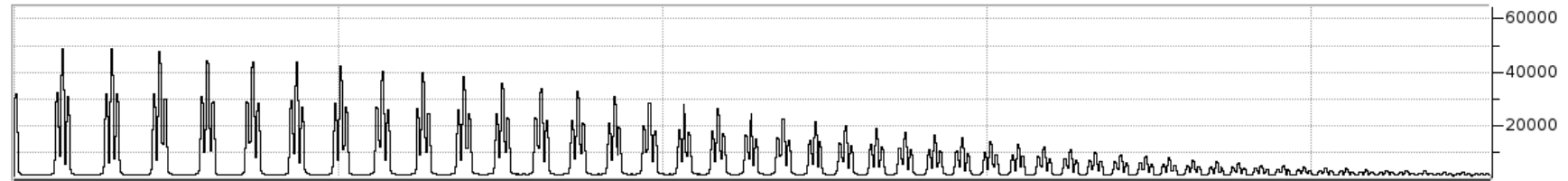
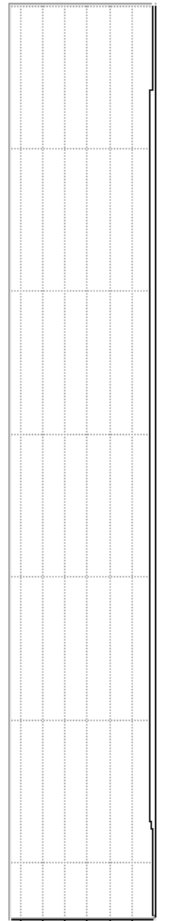
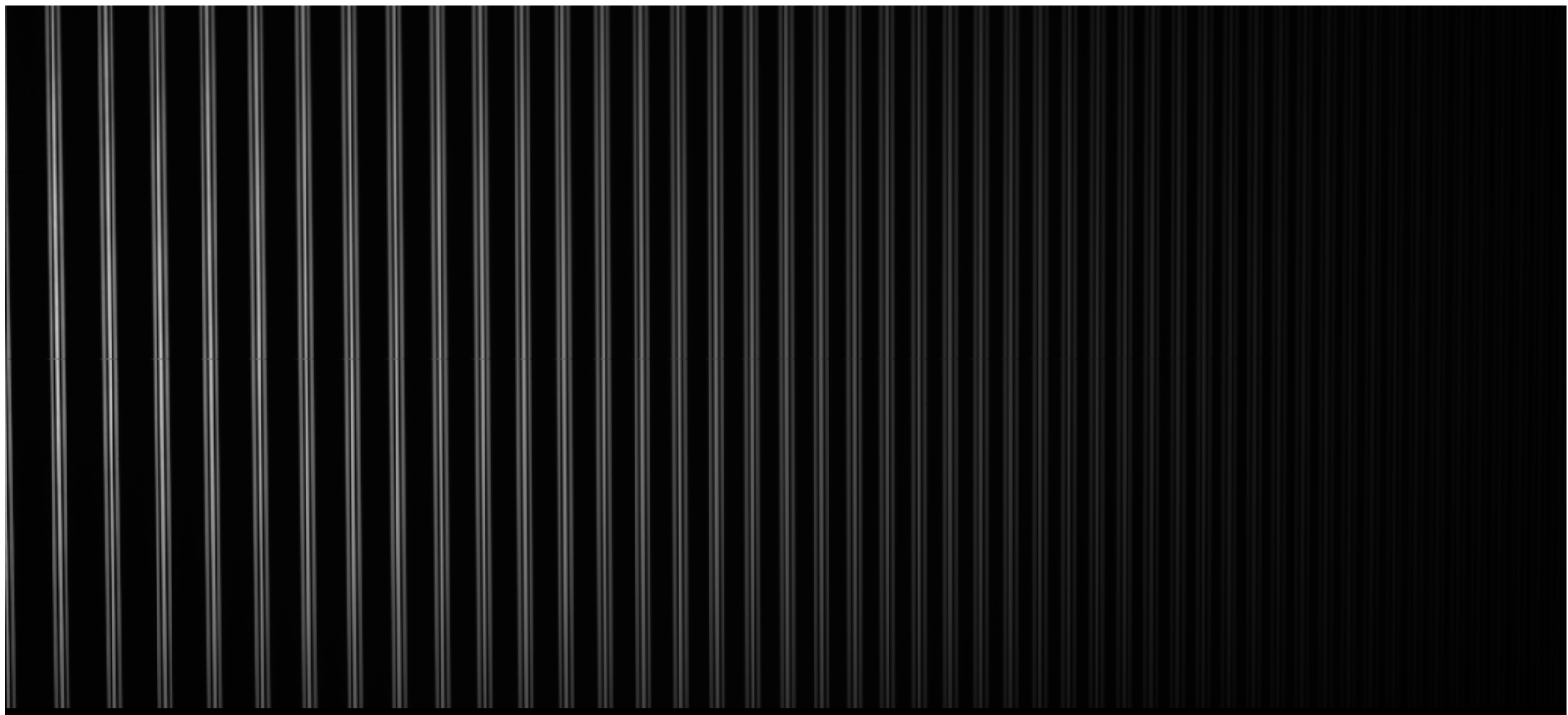
FITS формат



File	Bn20121104_019.fts	
Object	Flat	
Value	1834	
WCS	x	y
Physical	X 1733.000	Y 1047.000
Image	X 1733.000	Y 1047.000
Frame 1	x 0.250	0.000 °



file	edit	view	frame	bin	zoom	scale	color	region	wcs	analysis	help
information		panner		magnifier		buttons		colorbar		graph horz	



FITS формат

Flexible Image Transport System
гибкая система передачи изображений

Формат файлов, используемый в науке для

- 1) хранения
- 2) передачи
- 3) анализа

- 1) изображений (1D, 2D, 3D)
- 2) наборов данных (nD)
- 3) таблиц (текстовых и бинарных)
- 4) метаданных (описание)

Расширяемый формат — есть возможность подогнать под любые данные

<https://fits.gsfc.nasa.gov/>

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_standard.html

FITS формат

- 1) Читаемый формат, как машинами, так и человеком
- 2) Самодокументированный формат
- 3) Расширяемый формат — есть возможность подогнать под любые данные

<https://fits.gsfc.nasa.gov/>

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_standard.html

HEAD

DATA

HEAD

HEAD1

DATA1

HEAD2

DATA2

HEAD3

DATA3

HEAD — 2880 bytes

Keyword1 = value1 // comment

Keyword2 = value2

Keyword3 = „text value3“

...

...

...

...

...

KeywordN = valueN

END

HEAD

SIMPLE = T или F (соответствие стандарту)

BITPIX = -64, -32, 8, 16, 32 / DATA PRECISION

8	Character or unsigned binary integer
16	16-bit twos-complement binary integer
32	32-bit twos-complement binary integer
-32	IEEE single precision floating point
-64	IEEE double precision floating point

NAXIS = 2 / NUMBER OF IMAGE DIMENSIONS

NAXIS1 = 4065 / NUMBER OF COLUMNS

NAXIS2 = 3521 / NUMBER OF ROWS

END

$$\begin{aligned} \text{Nbits} &= |\text{BITPIX}| \times (\text{NAXIS1} \times \text{NAXIS2} \times \dots \times \text{NAXISm}) = \\ &= 32 \times (4065 \times 3521) = 458011680 \text{ bits} = 57251460 \text{ bytes} = \\ &= 54.6 \text{ MB} \end{aligned}$$

HEAD

EXTEND = T

возможно присутствие расширенного представления данных

XTENSION = IMAGE | BINTABLE

BITPIX = -32

NAXIS = 2

NAXIS1 = 1024

NAXIS2 = 1024

HEAD1

DATA1

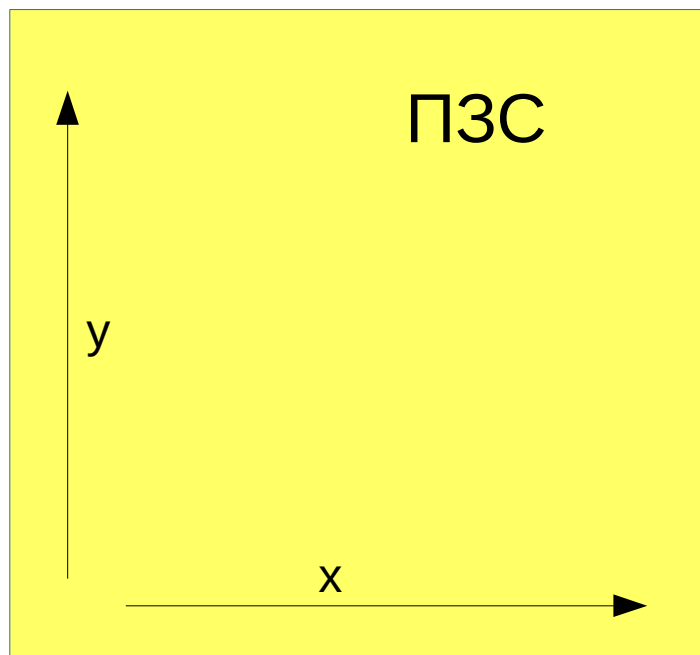
HEAD1

```
XTENSION = TABLE | BINTABLE
NAXIS = 2 / Table is a matrix
NAXIS1 = 61160 / Table width in bytes
NAXIS2 = 77 / Number of echelle orders
TFIELDS = 10 // количество колонок
TFORM1 = '1911E '
TTYPE1 = 'FLUX '
TUNIT1 = '[1] '
TFORM2 = '1911D '
TTYPE2 = 'WAVELENGTH'
TUNIT2 = '[A] '
TFORM3 = '1911E '
TTYPE3 = 'FLUX_ERROR'
TUNIT3 = '[1] '
TFORM4 = '1911E '
TTYPE4 = 'TH_AR_COMPARISON'
TUNIT4 = '[1] '
TFORM5 = '1911E '
TTYPE5 = 'FLATFIELD'
TUNIT5 = '[1] '
.....
```

Стандартный набор ключевых слов FITS

(blank)	CROTAn	EQUINOX	NAXISn	TBCOLn	TUNITn
AUTHOR	CRPIXn	EXTEND	OBJECT	TDIMn	TZEROn
BITPIX	CRVALn	EXTLEVEL	OBSERVER	TDISPn	XTENSION
BLANK	CTYPEEn	EXTNAME	ORIGIN	TELESCOP	
BLOCKED	DATAMAX	EXTVER	PCOUNT	TFIELDS	
BSCALE	DATAMIN	GCOUNT	PSCALn	TFORMn	
BUNIT	DATE	GROUPS	PTYPEEn	THEAP	
BZERO	DATE-OBS	HISTORY	PZEROn	TNULLn	
CDELTn	END	INSTRUME	REFERENC	TSCALn	
COMMENT	EPOCH	NAXIS	SIMPLE	TTYPEEn	

Системы координат в FITS World coordinate system



DATA value = $f(\text{DATA}(x,y))$

Physical coordinate = $f(x,y)$

↑
Pixel coordinate

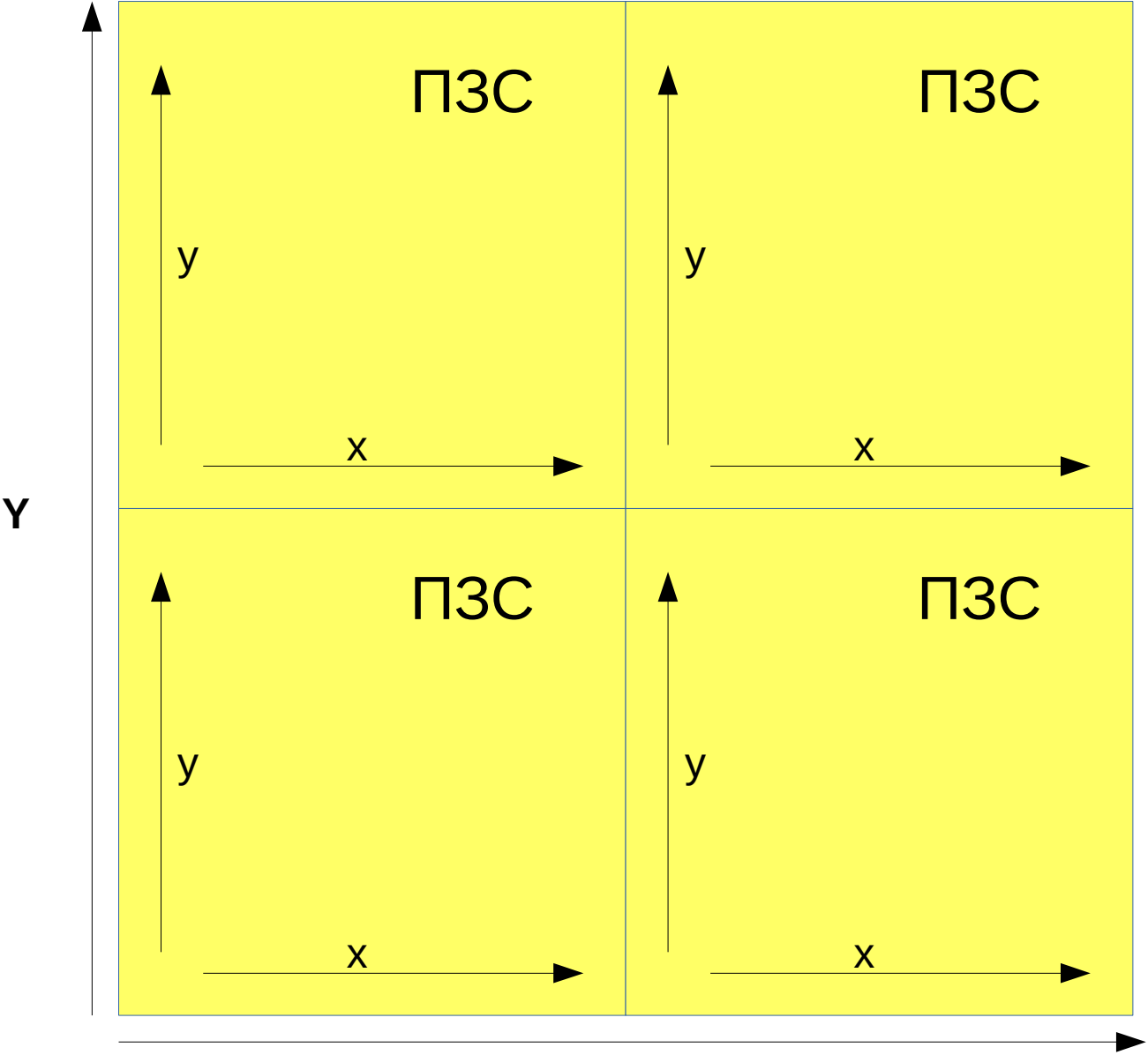
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2002A&A...395.1061G>

Greisen, E. W.; Calabretta, M. R. «Representations of world coordinates in FITS»

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2006A&A...446..747G>

Greisen, E. W.; Calabretta, M. R.; Valdes, F. G.; Allen, S. L. «Representations of spectral coordinates in FITS»

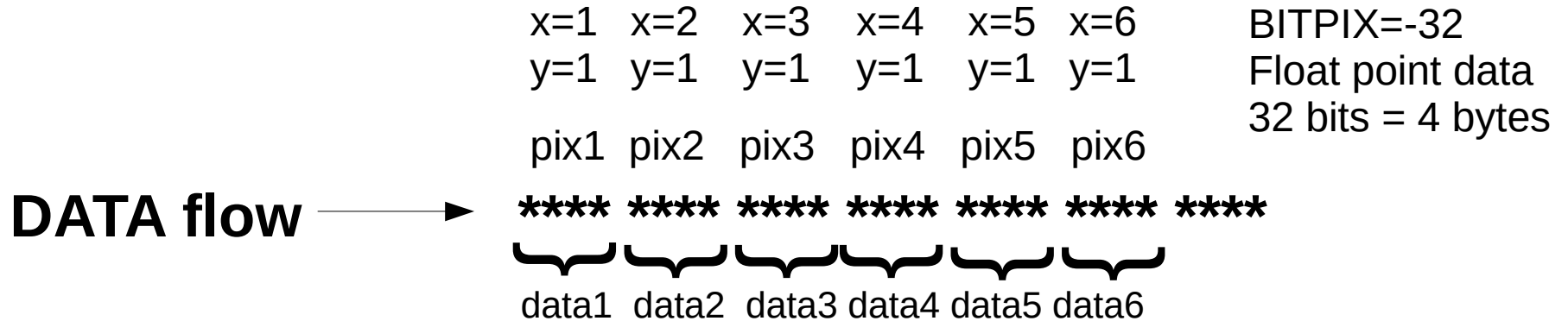
Local pixel coordinate



Global pixel coordinate

X

Системы координат в FITS World coordinate system



$$\text{Phys1} = \text{CRVAL1} + \text{CDELTA1}(\text{X} - \text{CRPIX1})$$

При тождественности систем координат $\text{CRVAL1}=1$ $\text{CDELTA1}=1$ $\text{CRPIX1}=1$

В спектроскопии для описания спектров с постоянным шагом, например:

$\text{CRVAL1}=4500$
 $\text{CDELTA1}=0.1$
 $\text{CRPIX1}=1$

Типы координат СТУРЕН

Code	Name	Symbol	Associate variable	Default units
FREQ	Frequency	ν	ν	Hz
ENER	Energy	E	ν	J
WAVN	Wavenumber	κ	ν	m^{-1}
VRAD	Radio velocity	V	ν	m s^{-1}
WAVE	Vacuum wavelength	λ	λ	m
VOPT	Optical velocity	Z	λ	m s^{-1}
ZOPT	Redshift	z	λ	–
AWAV	Air wavelength	λ_a	λ_a	m
VELO	Apparent radial velocity	v	v	m s^{-1}
BETA	Beta factor (v/c)	β	v	–

Типы преобразований координат СТУРЕН

Code	Regularly sampled in	Expressed as
F2W	Frequency	Wavelength
F2V	Frequency	Apparent radial velocity
F2A	Frequency	Air wavelength
W2F	Wavelength	Frequency
W2V	Wavelength	Apparent radial velocity
W2A	Wavelength	Air wavelength
V2F	Apparent radial velocity	Frequency
V2W	Apparent radial velocity	Wavelength
V2A	Apparent radial velocity	Air wavelength
A2F	Air wavelength	Frequency
A2W	Air wavelength	Wavelength
A2V	Air wavelength	Apparent radial velocity
LOG	logarithm	Any 4-letter coordinate type
GRI	detector	Any from Table 1
GRA	detector	Any from Table 1
TAB	not regular	Any 4-letter coordinate type

WAVE-LOG

Данные и их конвертация в реальные значения

Для изображений:

$$\text{physical value} = \text{BZERO} + \text{BSCALE} \times \text{array value}$$

Для таблиц:

$$\text{physical value} = \text{TZEROn} + \text{TSCALn} \times \text{field value}$$

SIMPLE = T / Standard FITS file
BITPIX = 16 / No. of bits per pixel
NAXIS = 3 / No. of axes in matrix
NAXIS1 = 4632 / No. of pixels in X
NAXIS2 = 2068 / No. of pixels in Y
NAXIS3 = 1 / No. of images
CRVAL1 = 0 / Offset in X
CRVAL2 = 0 / Offset in Y
ORIGIN = 'CCDServer v2.1' / ACQUISITION SYSTEM
DATE-OBS= '2012-11-04T20:46:32' / Date and time of TM_START
TELESCOP= 'BTA' / 6m Russian telescope
INSTRUME= 'NES' / Nasmyth echelle spectrometer
OBSERVER= ' ' / OBSERVERS
OBJECT = 'ThAr' / NAME OF IMAGE
BSCALE = 1.00 / REAL = TAPE*BSCALE + BZERO
BZERO = 32768.0 /
DATAMAX = 64183.0 / MAX PIXEL VALUE
DATAMIN = 857.0 / MIN PIXEL VALUE
FILE = 'Bn20121104_008.fits' / original name of input file
IMAGETYP= 'eta' / object, flat, dark, bias
OBSERVAT= 'SAO RAS' / Observatory
START = '00:46:32.95' / measurement start time (local) (hh:mm:ss.ss)
EXPTIME = 300.0 / actual integration time (sec)

CAMTEMP = -130.845 / camera temperature (C)
DETECTOR= 'E2V CCD42-90 blue' / detector
RATE = 100.0 / readout rate (KPix/sec)
GAIN = 1.9 / gain, electrons per adu
NODE = 'B' / output node (A, B, AB)
BINNING = '1x1' / binning
PXSIZE = '13.5 x 13.5' / pixel size (mkm x mkm)
UT = '20:46:32.95' / universal time (hh:mm:ss.ss)
ST = ' ' / sidereal time (hh:mm:ss.ss)
RA = 0.0 / Right ascension J2000.
DEC = 0.0 / Declination J2000.
EPOCH = 2000.0 / Epoch of RA and DEC
Z = / zenith distance
A = / azimuth
PARANGLE= / parallactic angle
ROTANGLE= / field rotation angle

SEEING = 1.5 / seeing
FILTER = ' / filter
FOCUS = / focus of telescope (mm)
IMSCALE = ' / image scale ("/Pix x "/Pix)
DOMETEMP= / dome temperature (C)
WIND = / wind (m/s)
CLOUDS = / clouds (%)
PRESSURE= / pressure
DATE = '2012-11-04'
TM_START= '74792 ' / UT start time 20.7758194444
TM_END = '75092 ' / UT end time 20.8591527778
RDNOISE = 3.7 / Read noise in electrons
HISTORY
COMMENT
HISTORY Fixed from DINA II format by fixfiles.py
END

fv

New File...

Open File...

SkyView...

Catalogs...

VizieR...

Connect to Hera...

Display Device

Hide All Windows

File Summary

Header

Table

Image Table

Vector Table

Preference

Clipboard

Help

Quit

fv: Summary of ADP.2014-11-16T19:00:34.330.fits in /home/monstr/work/spectra/stars/ESO/HARPS/HD27282/

File	Edit	Tools				Help
Index	Extension	Type	Dimension	View		
<input type="checkbox"/> 0	Primary	Image	0	Header	Image	Table
<input type="checkbox"/> 1	SPECTRUM	Binary	3 cols X 1 rows	Header	Hist	Plot All Select

fv:...014-11-16T19:00:34.330.fits[0] in /home/monstr/work/spectra/stars/ESO/HARPS/HD27282/

File	Edit	Tools				Help
<p>Search for: <input style="width: 150px;" type="text"/> Find Case sensitive? No</p> <pre> SIMPLE = T / file does conform to FITS standard BITPIX = 8 / number of bits per data pixel NAXIS = 0 / number of data axes EXTEND = T / FITS dataset may contain extensions COMMENT FITS (Flexible Image Transport System) format is defined in 'Astronomy COMMENT and Astrophysics', volume 376, page 359; bibcode: 2001A&A...376..359H DATE = '2014-11-16T04:56:53.905' / UT date when this file was written INSTRUME= 'HARPS' / Instrument used. RA = 64.781865 / 04:19:07.6 RA (J2000) pointing (deg) DEC = 17.52109 / 17:31:15.9 DEC (J2000) pointing (deg) EQUINOX = 2000. / Standard FK5 (years) RADECSYS= 'FK5' / Coordinate reference frame EXPTIME = 1200.0017 / Total integration time MJD-OBS = 56977.19225997 / MJD start (2014-11-16T04:36:51.261) DATE-OBS= '2014-11-16T04:36:51.261' / Date of observation UTC = 16606.000 / 04:36:46.000 UTC at start (sec) LST = 12872.603 / 03:34:32.603 LST at start (sec) PI-COI = 'PASQUINI' / PI-COI name. ORIGIN = 'ESO' / European Southern Observatory TELESCOP= 'ESO-3.6' / ESO Telescope Name M_EPOCH = F / T if resulting from multiple epochs SINGLEXP= T / T if resulting from single exposure PRODLVL = 2 / Product level: 1-raw 2-science grade 3-advanced DISPELEM= 'HARPS Echelle' / Dispersive element name </pre>						

fv

fv: Summary of ADP.2014-11-16T19:00:34.330.fits in /home/monstr/work/spectra/stars/ESO/HARPS/HD27282/

New File...
Open File...
SkyView...
Catalogs...
VizieR...
Connect to Hera...

File Edit Tools Help

Index	Extension	Type	Dimension	View			
<input type="checkbox"/> 0	NoName	Image	0	Header	Image	Table	
<input type="checkbox"/> 1	SPECTRUM	Binary	3 cols X 1 rows	Header	Hist	Plot	All Select

Display Device

Select Plot Columns

RowNumber
ElementNumber
WAVE
FLUX
ERR

Click on a column name then select the corresponding plot axis or error bar

Axis	Column name or expression to plot
X	WAVE
Y	FLUX
X Error	
Y Error	

Rows: Use selected rows
 Add my curve to current graph

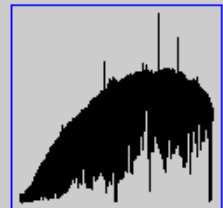
Plot Clear Close Help

POW 2.0

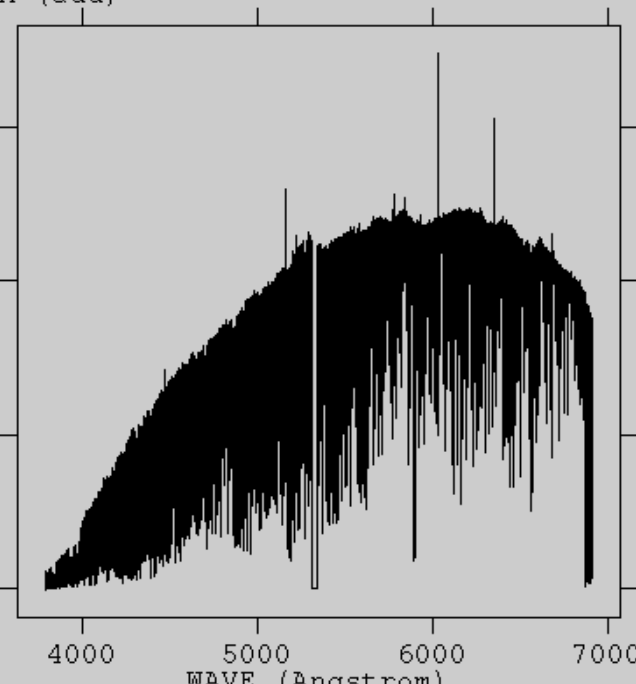
File Edit Colors Tools Zoom Replot Help

ADP.2014-11-...LUX_1-1)

Graph coordinates:
(X , X)
Image pixel:
(X , X)
Pixel value:
X ()



ADP.2014-11-16T19:00:34.330.fits (FLUX_1-1)
FLUX (adu)



WAVE (Angstrom)



Обработка наблюдений



Из чего состоят файлы наблюдений?

Файлы предварительной обработки

- **BIAS** (masterbias) — порядка 10 файлов нулевой экспозиции ($S/N > S/N_{\text{объект}}$)

Файлы с калибровочными спектрами

- **Flat field** (masterflat) — «плоское поле» ($S/N > S/N_{\text{объект}}$) - неоднородность чувствительности CCD

Файлы со изображениями изучаемых объектов

- **Obj** — один или несколько файлов с экспозицией не более получаса

Из чего состоят файлы спектральных наблюдений?

Файлы предварительной обработки

- **BIAS** (masterbias) — порядка 10 файлов нулевой экспозиции ($S/N > S/N_{\text{объект}}$)

Файлы с калибровочными спектрами

- **Flat field** (masterflat) — «плоское поле» ($S/N > S/N_{\text{объект}}$) - неоднородность чувствительности CCD
- **Arc** (masterarc) - спектр лампы (ThAr, FeAr) для калибровки по длинам волн

Файлы с дополнительными калибровочными спектрами

- **Std** (Standard star) — спектр калибровочной звезды с хорошо известным распределением энергии
- **Div** (divider) — спектр звезды с быстрым вращением для учета теллурических линий

Файлы со спектрами изучаемых объектов

- **Obj** — один или несколько файлов с экспозицией не более получаса

Что мы видим в кадре?

Signal = BIAS + masterflat + SKY + scattered_light + **ОБЪЕКТ**

Noise = BIAS_noise + dark_noise + RON(read of noise) + stat_noise(Signal)

Задача:

достать ОБЪЕКТ из Signal

в одном пикселе

$$\frac{S}{N} = \frac{Flux \times t}{\sqrt{Flux \times t + Flux_{bg} \times t + Flux_{dark} \times t + RON}} \sqrt{gain}$$

в группе пикселей

$$\frac{S}{N} \approx \sqrt{(\sum F - \sum F_{bg}) \times gain}$$

Инструмент

Midas — Munich Image Data Analys System

Разработчик: ESO

Лицензия: GNU General Public License (GPL)

WWW: <http://www.eso.org/sci/software/esomidass/>

FTP: <ftp://ftp.eso.org/pub/midaspub>

Операционная система: Unix-подобные (Linux, FreeBSD, ...)

Аналоги: IRAF, MaximDL (\$)

Предварительная обработка

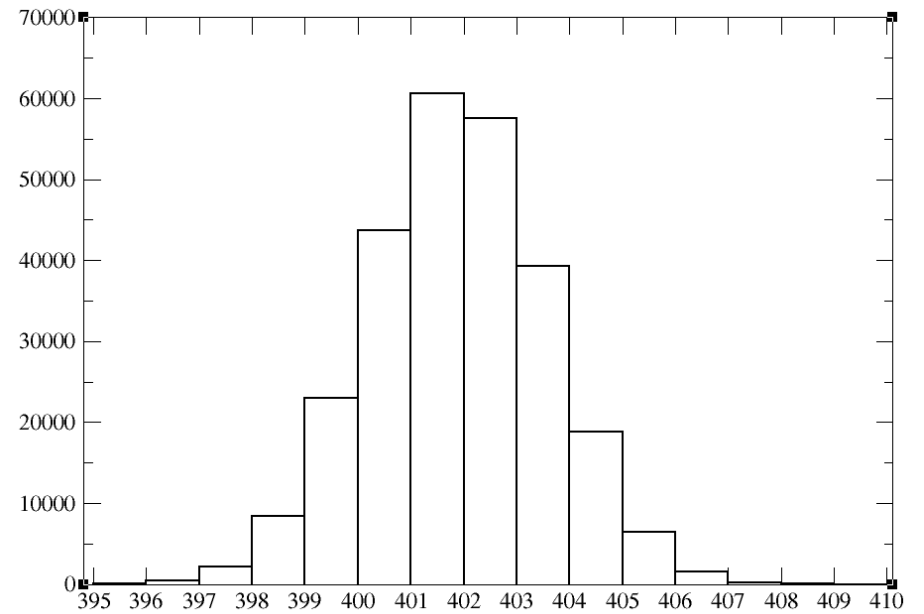
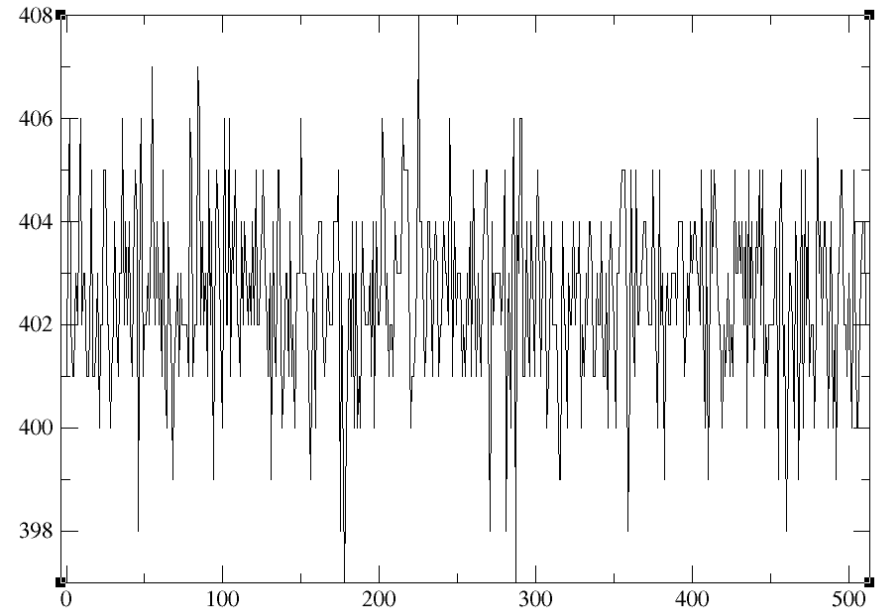
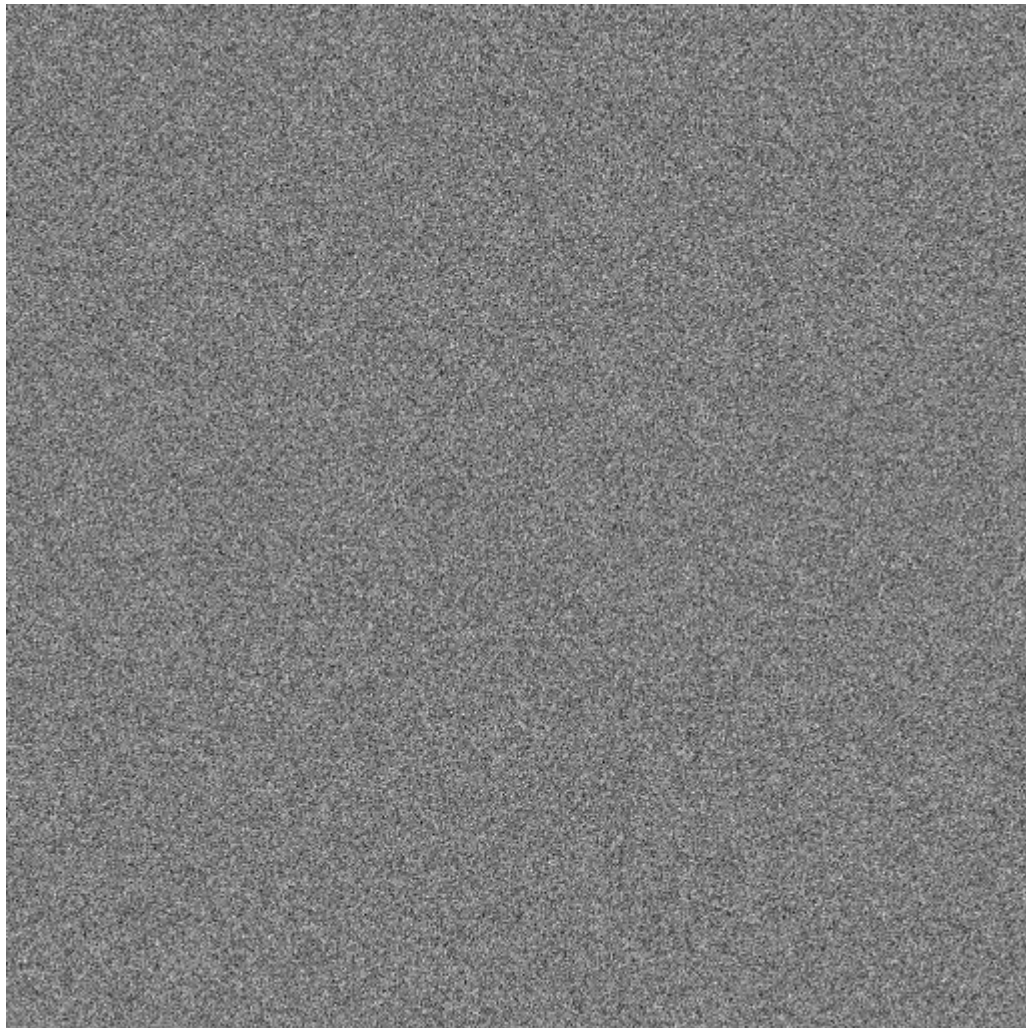
Сюда входит весь комплекс первоначальных действий над кадрами CCD, необходимый перед любыми исследованиями (прямые изображения или спектры):

- учет BIAS и темнового тока (в случае необходимости)
- очистка от следов космических лучей
- Учет неравномерной чувствительности CCD (Flat Field)
- изменение ориентации кадра (вращение, отражение, сдвиг)

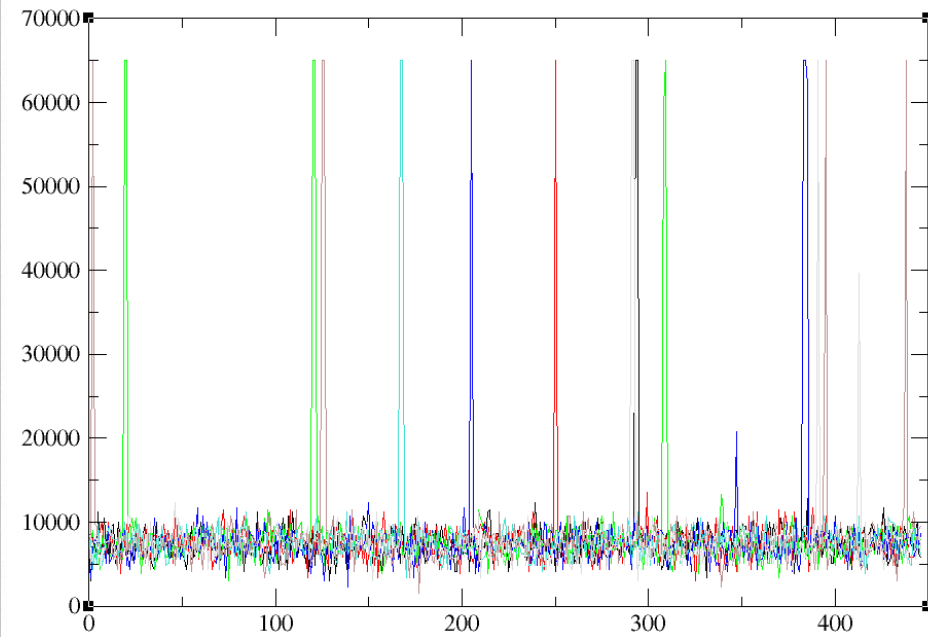
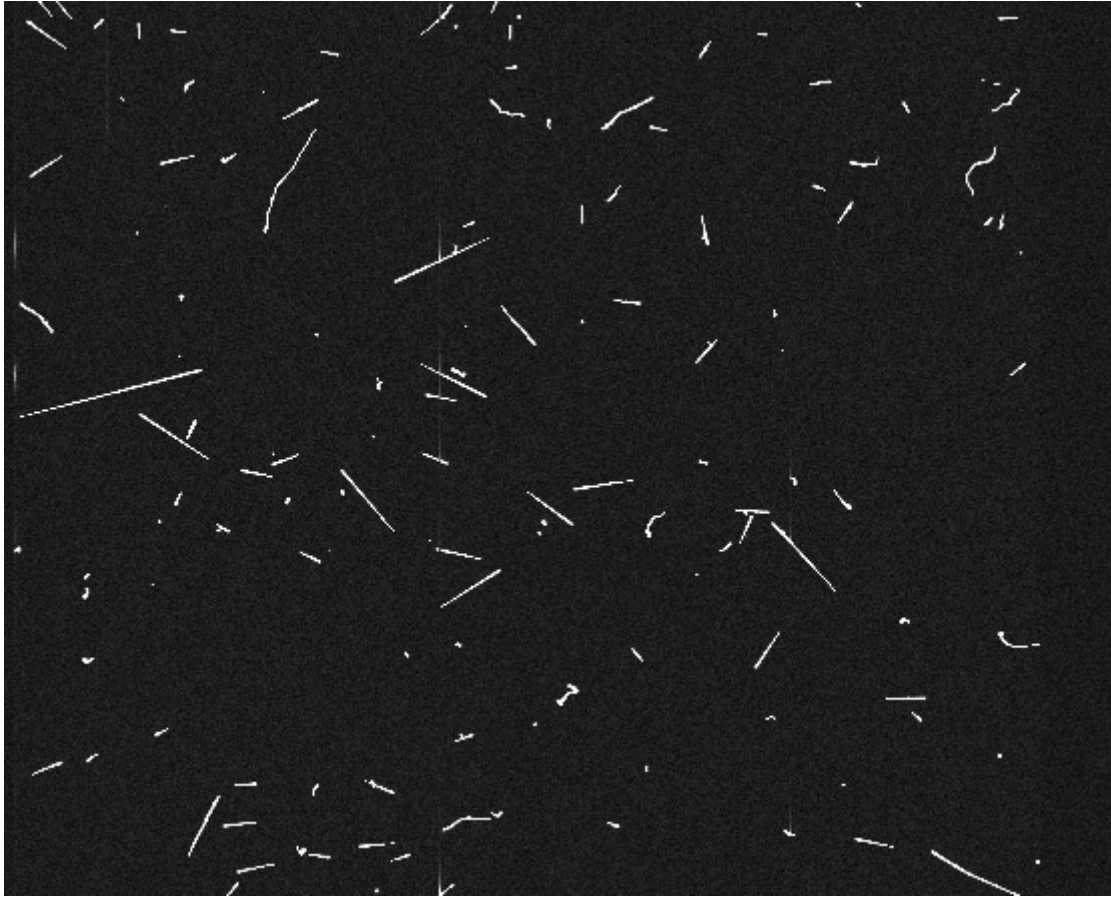
BIAS

По 1 кадру $402,4 \pm 1,7$ ADU

По 10 кадрам (master bias)
 $402,5 \pm 0,7$ ADU



Космические лучи



Способы учета:

- 1) Медианная фильтрация нескольких кадров
- 2) Анализ пикселей и построение маски космических лучей:
например, $I > I_0 + 4\sigma$

Плоское поле

Плоское поле: $FF(x, y)$ нормированное: $FF_{norm} = \frac{FF(x, y)}{\langle FF(x, y) \rangle}$

Полученное изображение: $I(x, y)$

Учет плоского поля: $I'(x, y) = \frac{I(x, y)}{FF_{norm}}$

