



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



02. Pipelines & Estatística

Tratamento de Dados
Astronômicos
Prof. Walter Martins Filho

O que é um pipeline?

- ❖ É uma sequencia estrutura de processos e/ou estágios o qual os dados devem passar.
- ❖ Pipeline em Astronomia em geral significa um programa com sequencia de passos o qual dados observados passam para serem corrigidos de vários efeitos, como ruído da instrumentação, e obtenção de observáveis astronômicos.

Quais são os dados que obtemos de pipelines, em geral?

IRAF Procedure

- ❖ Correção de bias
- ❖ Correção dark
- ❖ Correção e normalização flat
- ❖ Correção de Imagens de ciência
- ❖ Análise fotométrica ou espectroscópica

Toddy (1992) – IRAF

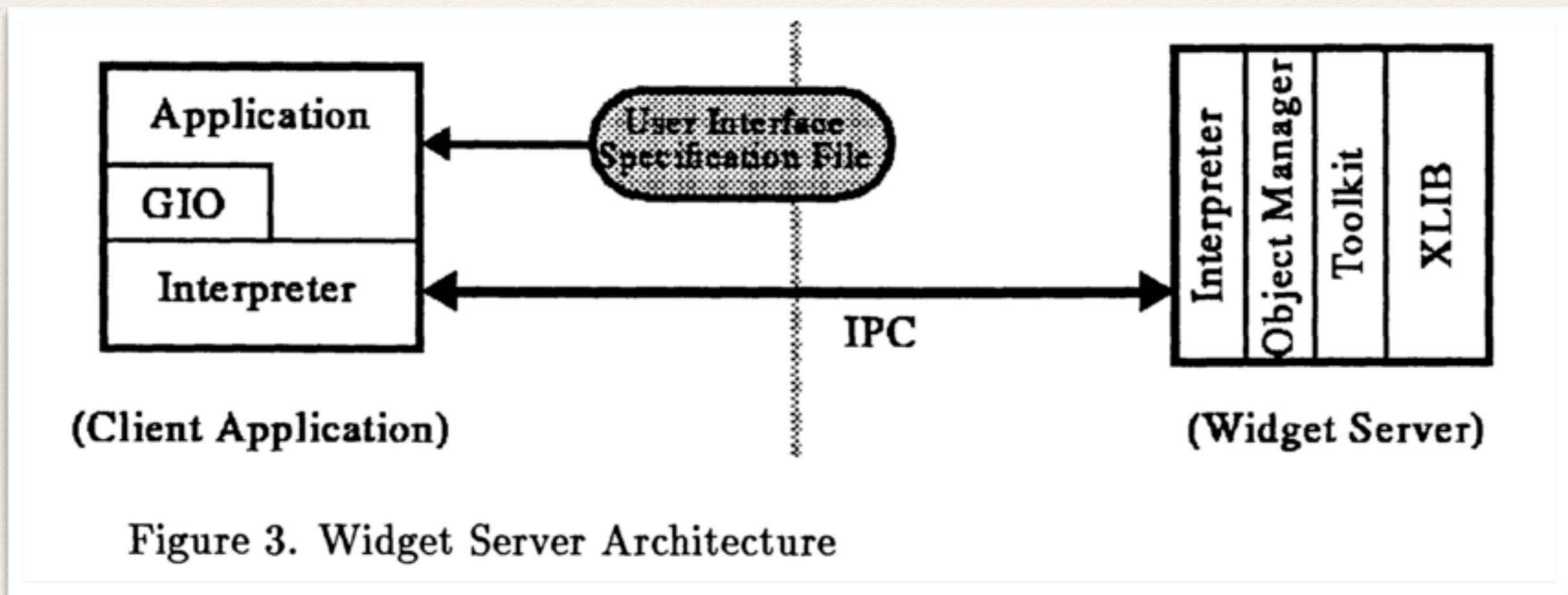
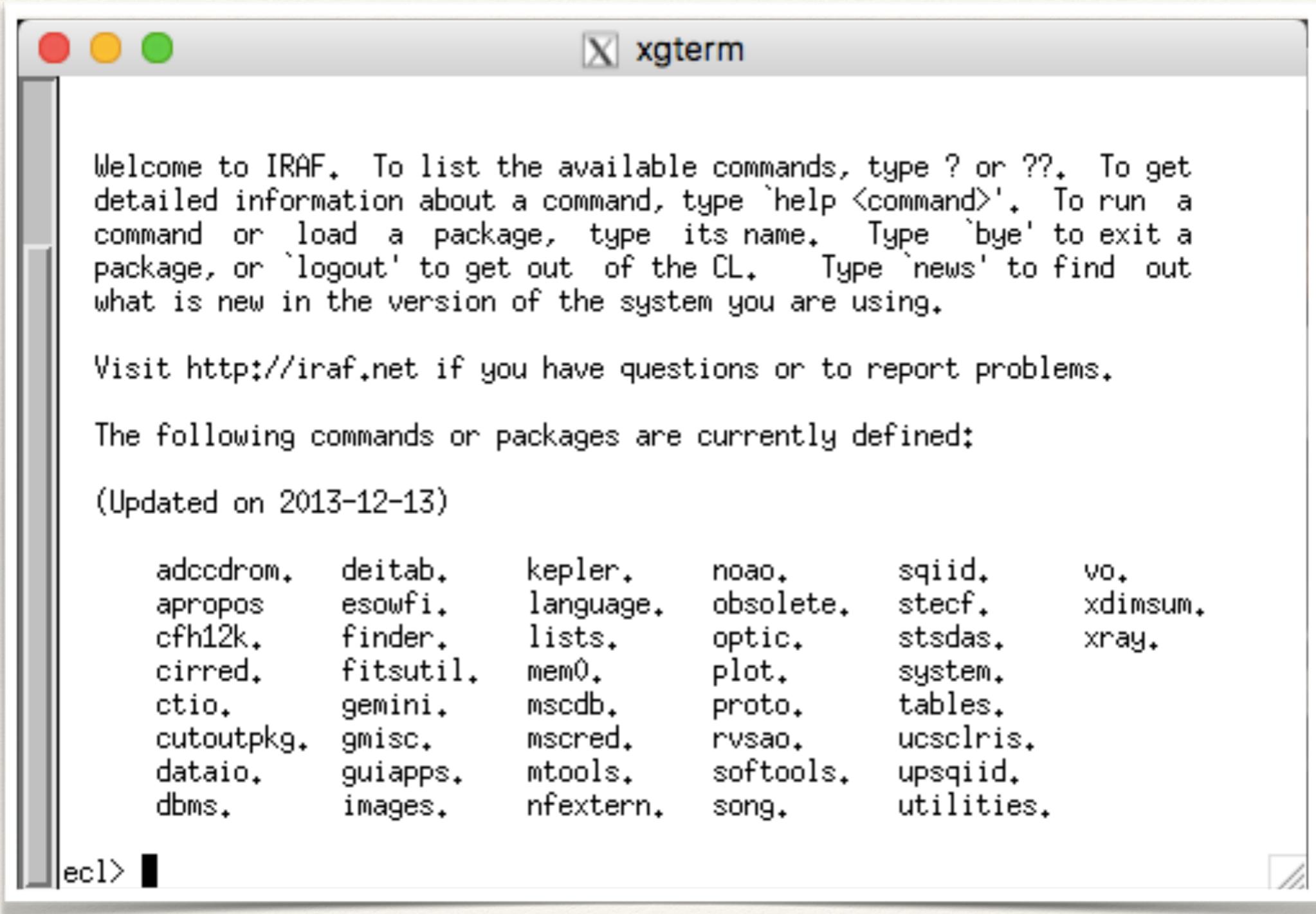


Figure 3. Widget Server Architecture

Como se instala IRAF atualmente?



The image shows a screenshot of an xterm window titled "xgterm". The window contains the following text:

```
Welcome to IRAF. To list the available commands, type ? or ??.
To get detailed information about a command, type `help <command>'.
To run a command or load a package, type its name.
Type `bye' to exit a package, or `logout' to get out of the CL.
Type `news' to find out what is new in the version of the system you are using.

Visit http://iraf.net if you have questions or to report problems.

The following commands or packages are currently defined:

(Updated on 2013-12-13)

adccdrom+. deitab+. kepler+. noao+. sqiid+. vo+.
apropos esowfi+. language+. obsolete+. stecf+. xdimsum+.
cfh12k+. finder+. lists+. optic+. stdas+. xray+.
cirred+. fitsutil+. memo+. plot+. system+.
ctio+. gemini+. msedb+. proto+. tables+.
cutoutpkg+. gmisc+. mscred+. rvsao+. ucsclris+.
dataio+. guiapps+. mtools+. softools+. upsqid+.
dbms+. images+. nfextern+. song+. utilities+.

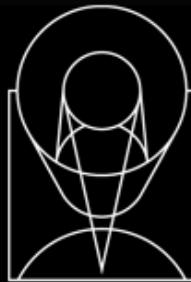
ecl> |
```

Ureka

- ❖ Em torno de ~2010, o Gemini Observatory começou a investir em uma plataforma que combinasse o IRAF com pacotes mais utilizados momentaneamente em Astronomia, o que inclui o Python. Desta forma, surgiu Ureka.
- ❖ Consumia em torno de 5 Gb de espaço, pois constituí-a sua própria estrutura Python, separada do sistema, pacotes de terceiros, incluindo Iraf.
- ❖ Contudo, o Ureka dependia de binários do sistema, o que tornava-o dependente dos sistemas operacionais manterem versões antigas de 32-bits dentro dos OS atualizados.

Isto não dá certo a longo prazo. Por quê?

Ureka



Space Telescope Science Institute
Science Software Branch Download Server

Ureka

DEPRECATED

Ureka has been deprecated as of 04/26/2016. Please consider switching to STScI's Conda-based solution, [AstroConda](#). Current and previous versions of Ureka will remain available for download and installation, but will no longer receive updates.

Ureka is a collection of useful astronomy software that is generally centered around Python and IRAF. The software provides everything you need to run the data reduction packages provided by STScI and Gemini.

System privileges are not normally required to install Ureka, and there are minimal operating system requirements. Ureka is a binary distribution for Macs and Linux.

IRAF Compatibility Issues

IRAF 'cl' no longer works properly under the following operating systems:

- Centos >=7 (confirmed)
- Ubuntu >=14 (sporadic reports)
- OS X >10.10 (sporadic reports)

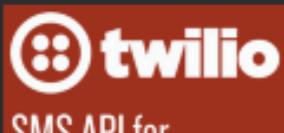


Ureka is a collaboration of [Space Telescope Science Institute](#) and [Gemini Observatory](#).

Astroconda

- ❖ Após ser descontinuado, o Gemini começou a investir em uma plataforma que contivesse Python, mas que não dependessem de manter atualizado esses pacotes, ou seja, não seria mais responsabilidade as atualizações de pacotes de forma direta.
- ❖ Surge Astroconda, um "ambiente" dentro do pacote Python Anaconda, que carrega principais pacotes de astronomia e IRAF.
- ❖ Devido ao Iraf ser um programa legado, este ambiente está diretamente dependente de sistemas unix-like.

O que é programa legado?
O que é um sistema unix-like?

[Getting Started](#)[Selecting a Software Stack](#)[Updating a Software Stack](#)[Further Reading](#)[Pipeline Releases](#)[Compatibility Notices](#)[F.A.Q.](#)[Contributing Guide](#)[Packages](#)[Release Notes](#)[Resources](#)[General Disclaimer](#)

Welcome to AstroConda Channel's documentation!

AstroConda is a free Conda channel maintained by the [Space Telescope Science Institute \(STScI\)](#) in Baltimore, Maryland. This channel provides tools and utilities required to process and analyze data from the Hubble Space Telescope (HST), James Webb Space Telescope (JWST), and others.

System Requirements

- 64-bit Intel/AMD processor (x86_64)
- 64-bit Linux (glibc ≥ 2.12) or Mac OS X (≥ 10.7)
- BASH or ZSH as your default shell environment (T/CSH is NOT supported)

Powered by Conda

Conda is an open-source software package management system provided and maintained by [Continuum Analytics](#). Many software packages, provided both by Continuum and through third parties, are able to be quickly and easily installed using the Conda utility. AstroConda serves as a third-party add-on channel to provide easy access to STScI's software packages.

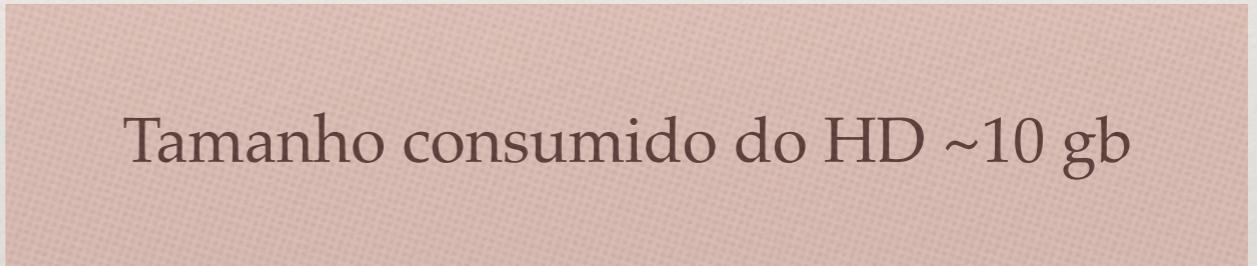
- **New to conda:** [Installing Conda - The choice is yours](#)
- **Familiar with conda:** [Configure Conda to use the Astroconda Channel](#)

To receive AstroConda announcements, or engage in general discussion, feel free to subscribe to our [mailing list](#).

- [Getting Started](#)
 - [Installing Conda - The choice is yours](#)

Instalação

- ❖ Anaconda
- ❖ Astroconda



Tamanho consumido do HD ~10 gb

Mas, somente possuir IRAF e pacotes de programação é suficiente para redução padrão?

Sim e Não

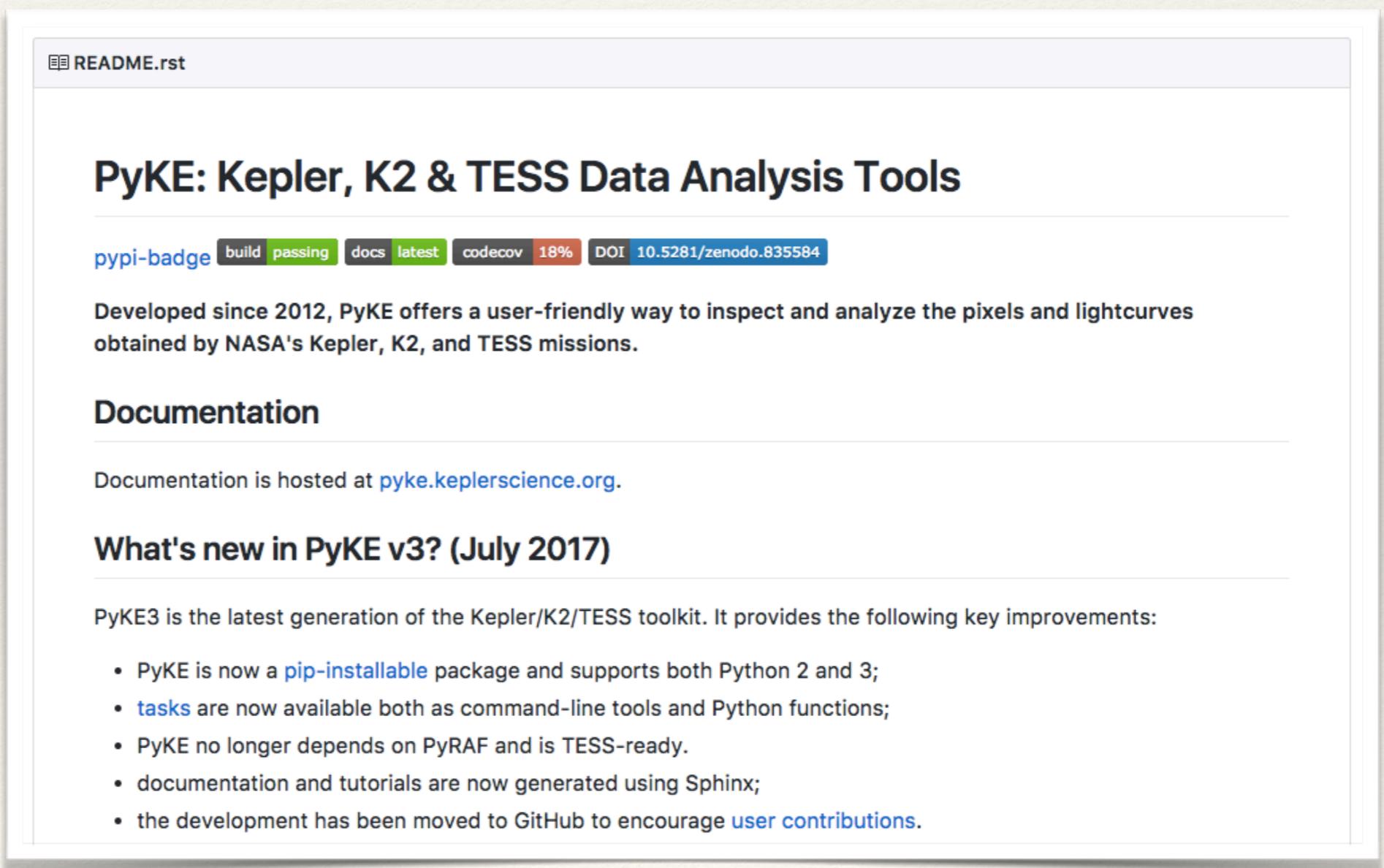
- ❖ Sim, só isto é suficiente. Todo processo de redução pode ser realizado com uma linguagem de alta performance.
- ❖ Não. Problema é que diversos instrumentos possuem suas próprias características para serem corrigidas (gradiente de eficiência, correção ótica, etc), além de que cada ciência possuiu alguns passos adicionais (análise intrapixel, fonte não-pontual, etc)

Assim, cada telescópio, ou instrumento, possui um pipeline para facilitar a vida do astrônomo (ou pelo menos deveria....)

❖ Kepler/K2/TESS

❖ ESO

❖ Etc



The screenshot shows the GitHub README page for the PyKE project. At the top, there's a navigation bar with links for 'README.rst' and other repository sections. Below the header, the title 'PyKE: Kepler, K2 & TESS Data Analysis Tools' is prominently displayed in large, bold, dark font. Underneath the title, there's a row of badges: 'pypi-badge', 'build passing', 'docs latest', 'codecov 18%', and 'DOI 10.5281/zenodo.835584'. A descriptive paragraph follows, stating: 'Developed since 2012, PyKE offers a user-friendly way to inspect and analyze the pixels and lightcurves obtained by NASA's Kepler, K2, and TESS missions.' Below this, a section titled 'Documentation' is shown, with a link to 'pyke.keplerscience.org'. Another section, 'What's new in PyKE v3? (July 2017)', provides details about the latest version, mentioning key improvements like being a pip-installable package and becoming TESS-ready. The bottom of the screenshot shows the standard GitHub commit history and pull request list.

README.rst

PyKE: Kepler, K2 & TESS Data Analysis Tools

pypi-badge build passing docs latest codecov 18% DOI 10.5281/zenodo.835584

Developed since 2012, PyKE offers a user-friendly way to inspect and analyze the pixels and lightcurves obtained by NASA's Kepler, K2, and TESS missions.

Documentation

Documentation is hosted at pyke.keplerscience.org.

What's new in PyKE v3? (July 2017)

PyKE3 is the latest generation of the Kepler/K2/TESS toolkit. It provides the following key improvements:

- PyKE is now a [pip-installable](#) package and supports both Python 2 and 3;
- [tasks](#) are now available both as command-line tools and Python functions;
- PyKE no longer depends on PyRAF and is TESS-ready.
- documentation and tutorials are now generated using Sphinx;
- the development has been moved to GitHub to encourage [user contributions](#).



Science Users Information

Observing Facilities

Future Facilities and Development

Observing with ESO Telescopes

Science Software

Instrument Pipelines

Common Pipeline Library

Scisoft Collection

ESO-MIDAS

Eclipse

Gasgano

Reflex

Data Handling and Products

Science Archive Facility

Science Activities

Science and Technical Meetings

IT Services

Libraries

Publications

Job Opportunities

VLT Instrument Pipelines

Home

About

Documentation

RPM Installation

MacPorts Installation

Source Kits

Support

Latest News:

Jul 14, 2017: MUSE pipeline version 2.0.3 released!

The MUSE 2.0.3 release is a maintenance release which fixes a backwards compatibility issue when using an old-style standard response as input for [Read more...](#)

Jul 3, 2017: X-shooter pipeline version 2.9.3 released!

The X-shooter 2.9.3 release fixes portability problems to Mac OS.

Jun 2, 2017: X-shooter pipeline version 2.9.1 released!

The X-shooter 2.9.1 release fixes a bug in the reflex oca rules that was preventing reduction of X-shooter offset NIR data.

May 15, 2017: SOFI pipeline version 1.5.8 released!

The SOFI 1.5.8 release offers improvements in supported platforms and fixes an issue that prevents product creation for some of its recipes.

[Read more...](#)

April 28, 2017: P-99 Instrument Pipeline Packages released!

For the start of period 99 updated versions of all Instrument Pipeline Packages are now available.

- For the installation of RPM packages (Fedora 20 to 25, Scientific Linux 7) continue [here](#)
- For the installation of MacPorts packages (OS X 10.9 to 10.12) continue [here](#)
- For the source kit installation go [here](#)

To get announcements of new pipeline releases, send an email to eso-pipelines-announce-join@eso.org.

E quando não se tem pipeline?

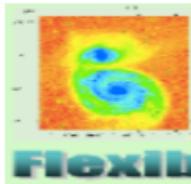
- ❖ Seguimos para procedimento padrão de redução em linguagem de alto nível.

PROJETO 001. Pipeline de Redução padrão
em uma linguagem de alto nível!

O que é um FITS ?

- ❖ *Flexible Image Transport System*
- ❖ Def.: sistema de dados que comporta grades multidimensionais com tabela bidimensional em linhas e colunas com informação em ASCII (HDUs)
 - ❖ HEADER →tabela bidimensional
 - ❖ DATA UNITS → grades de dados multidimensionais

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



FITS The Astronomical
Image and Table Format
Flexible Image Transport System

[Home](#) | [News](#) | [Docs](#) | [WCS](#) | [Samples](#) | [Libraries](#) | [Viewers](#) | [Utilities](#) | [Keywords](#) | [Conventions](#) | [Resources](#)

Sample FITS Files

This page contains links to sample FITS files from various sources. These files do not necessarily conform to all the latest FITS format recommendations, as can be determined by testing the file with the [FITS File Verifier](#).

Individual Sample FITS files

Most of the following sample FITS files were obtained from the [MAST](#) data archive.

| Telescope/Inst | Description |
|-----------------------------|---|
| HST WFPC II | WFPC II 800 x 800 x 4 primary array data cube containing the 4 CCD images, plus a table extension containing world coordinate parameters. This sample file has been trimmed to 200 x 200 x 4 pixels to save disk space. |
| HST WFPC II | WFPC II 1600 x 1600 primary array mosaic constructed from the 4 individual CCD chips. (Image has been trimmed to 100 x 100 pixels to save disk space). |
| HST FOC | FOC (1024 x 1024) primary array image, plus a table extension containing world coordinate parameters. |
| HST FOS | FOS 2 x 2064 primary array spectrum containing the flux and wavelength arrays, plus a small table extension. |
| HST HRS | HRS 2000 x 4 primary array spectrum, plus a small table extension. |
| HST NICMOS | NICMOS null primary array plus 5 image extensions (270 x 263) containing the science, error, data quality, samples, and time images |
| HST FGS | FGS file with a 89688 x 7 2-dimensional primary array and 1 table extension. The primary array contains a time series of 7 astrometric quantities. |

<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2010/16/aa15362-10.pdf>

Definition of the Flexible Image Transport System (*FITS*), version 3.0

W. D. Pence¹, L. Chiappetti², C. G. Page³, R. A. Shaw⁴, and E. Stobie⁴

¹ NASA Goddard Space Flight Center, Code 662, Greenbelt, MD 20771, USA
e-mail: william.pence@nasa.gov

² INAF – IASF Milano, via Bassini 15, 20133 Milan, Italy

³ Dept. of Physics & Astronomy, Univ. of Leicester, University Road, Leicester LE1 7RH, UK

⁴ National Optical Astronomy Observatory, 950 N. Cherry Avenue, Tucson, AZ 85719, USA

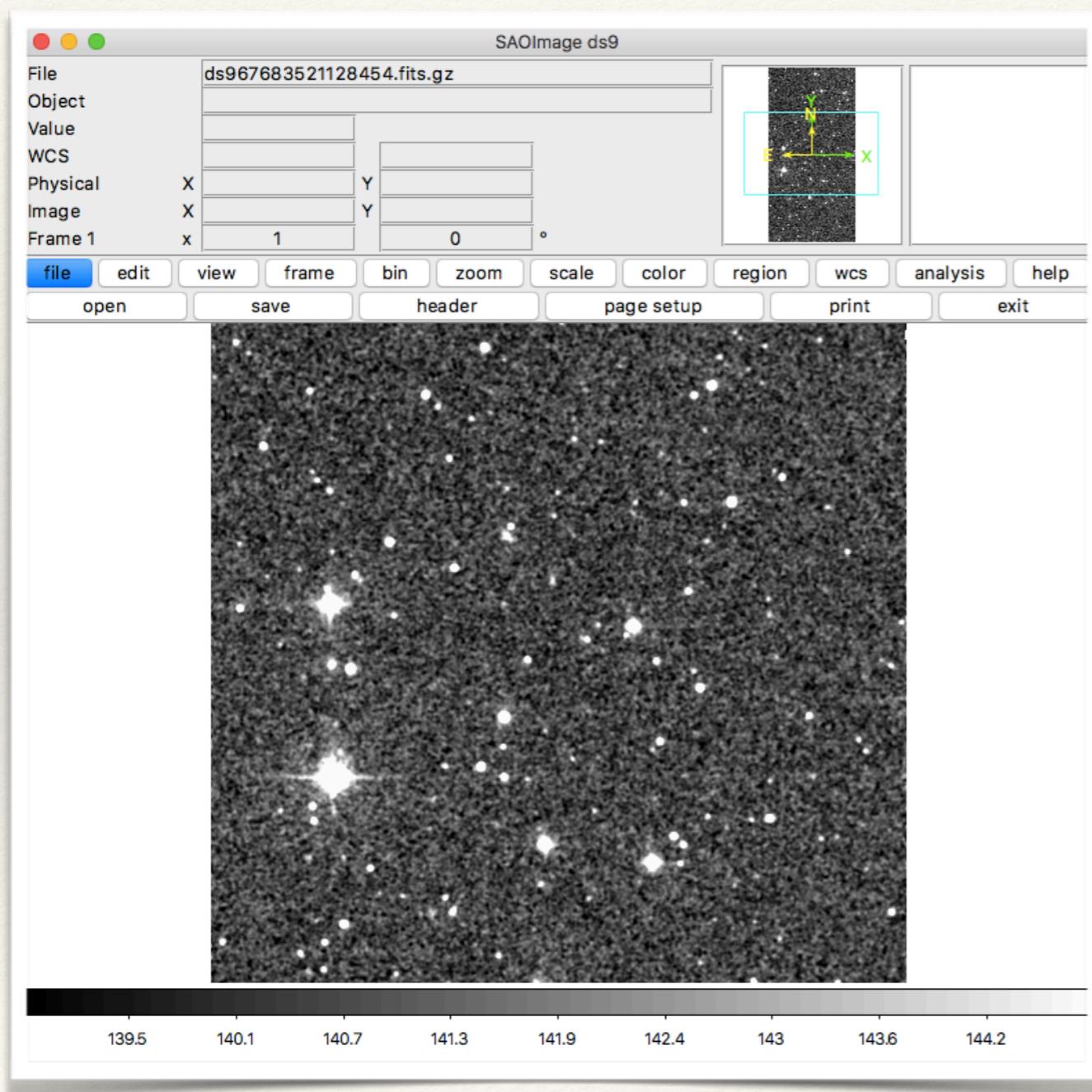
Received 8 July 2010 / Accepted 11 August 2010

ABSTRACT

The Flexible Image Transport System (FITS) has been used by astronomers for over 30 years as a data interchange and archiving format; FITS files are now handled by a wide range of astronomical software packages. Since the FITS format definition document (the “standard”) was last printed in this journal in 2001, several new features have been developed and standardized, notably support for 64-bit integers in images and tables, variable-length arrays in tables, and new world coordinate system conventions which provide a mapping from an element in a data array to a physical coordinate on the sky or within a spectrum. The FITS Working Group of the International Astronomical Union has therefore produced this new version 3.0 of the FITS standard, which is provided here in its entirety. In addition to describing the new features in FITS, numerous editorial changes were made to the previous version to clarify and reorganize many of the sections. Also included are some appendices which are not formally part of the standard. The FITS standard is likely to undergo further evolution, in which case the latest version may be found on the FITS Support Office Web site at <http://fits.gsfc.nasa.gov/>, which also provides many links to FITS-related resources.

Key words. instrumentation: miscellaneous – methods: miscellaneous – techniques: miscellaneous – reference systems – standards – astronomical databases: miscellaneous

HDUs



ds9676b3021128454.fits.gz

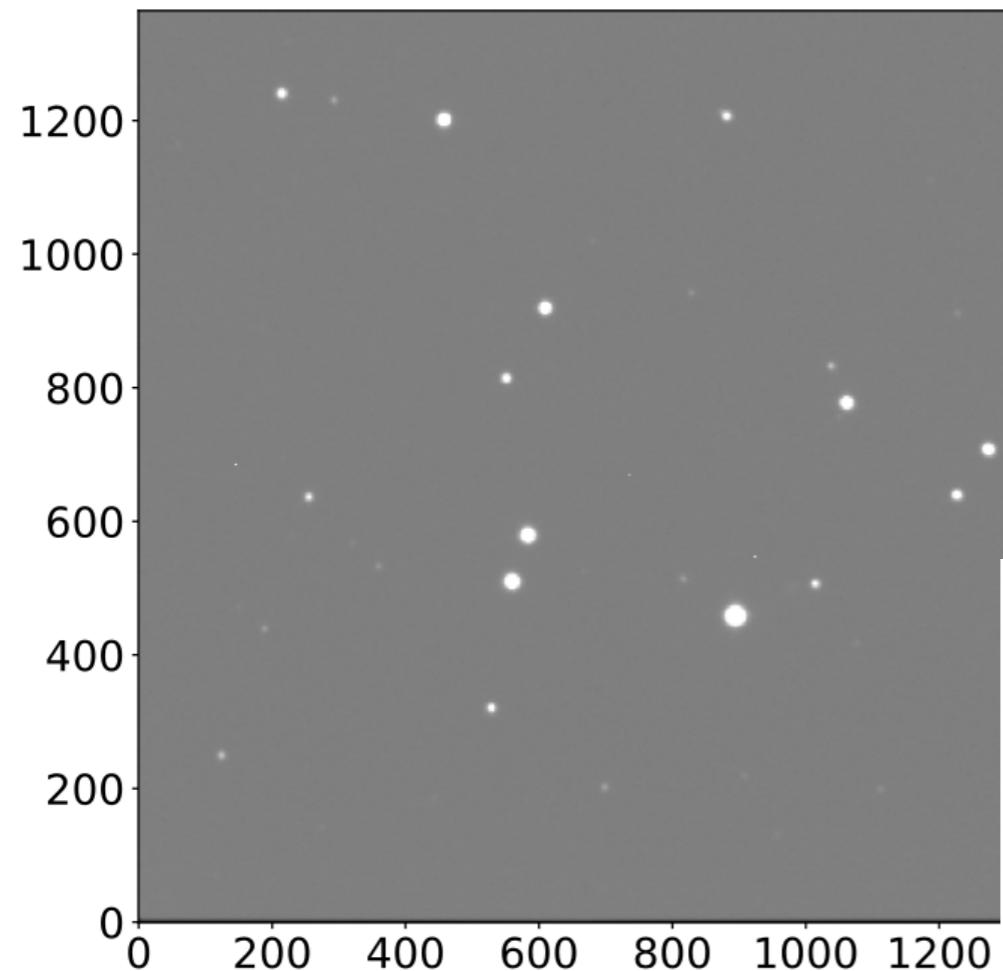
```

SIMPLE = T
BITPIX = -32
NAXIS = 2 / # of Axes
NAXIS1 = 512
NAXIS2 = 1024
BLOCKED =
EXTEND =
ORDATE = '980726 ' / Observation Ref Date (yyymmdd)
DAYNUM = '0513 ' / Observation Day Num
FN_PRFX = 'j0513021' / .rdo and .par filename prefix
TYPE = 'sci ' / Scan type: dar flt sci cal tst
SCANNO = 21 / Scan Number
SCANDIR = 'n ' / Scan Direction: n, s, -
COMMENT
STRIP_ID= 315874 / Strip ID (OV)
POSITNID= 's301355 ' / Position ID (OV)
ORIGIN = '2MASS ' / 2MASS Survey Camera
CTYPE1 = 'RA---SIN' / Orthographic Projection
CTYPE2 = 'DEC--SIN' / Orthographic Projection
CRPIX1 = 256.5 / Axis 1 Reference Pixel
CRPIX2 = 512.5 / Axis 2 Reference Pixel
CRVAL1 = 208.9239703 / RA at Frame Center, J2000 (deg)
CRVAL2 = -32.09027135 / Dec at Frame Center, J2000 (deg)
CROTA2 = -0.0004547857406 / Image Twist +AXIS2 W of N, J2000 (deg)
CDELT1 = -0.000277777845 / Axis 1 Pixel Size (degs)
CDELT2 = 0.000277777845 / Axis 2 Pixel Size (degs)
USXREF = -256.5 / U-scan X at Grid (0,0)
USYREF = 13736. / U-scan Y at Grid (0,0)
SKYVAL = 140.5640259 / GFIND Sky Estimate
SKYSIG = 0.6385650635 / Grid Noise Estimate
MAGZP = 20.9908 / Calibrated zero point from CALMAN
CALID = 'y pw 0 Sep 13 2001 ' / Calibration descriptors from CALMAN
SEESH = 0.9900 / Seeing shape parameter from SEEMAN
DXFS = 0.4097488225 / Cross-scan Frame Step (arcsec)
DYFS = 82.38735962 / In-scan Frame Step (arcsec)
PIXNAM = 'nl.pixphot - v 010110s'
QT0227 = 139.3469238 / 2.27 Percentile
QT0668 = 139.6653595 / 6.68 Percentile
QT1586 = 139.9757843 / 15.86 Percentile
QT3085 = 140.2957916 / 30.85 Percentile

```

O que é a grade multidimensional?

FoV XO-2b @ 61inch Kuiper Telescope



Matriz numérica → toda álgebra linear pode ser aplicada

```
In [39]: im  
Out[39]: array([[ -9.58288696e+02,  -3.38108569e+03,  -3.32284912e+03,  ...,  
                 -3.65245972e+03,  -9.65067810e+02,  -9.64041016e+02],  
                 [-5.65511780e+02,  -2.32302222e+03,  -2.28937231e+03,  ...,  
                 -2.69022144e+03,  -5.34654053e+02,  -5.33580322e+02],  
                 [-2.71454529e+02,  -1.00561536e+03,  -1.01302618e+03,  ...,  
                 -1.16717297e+03,  -2.35312119e+02,  -2.34283478e+02],  
                 ...,  
                 [ 1.40349064e+01,   2.30947132e+01,   9.24684906e+00,  ...,  
                  1.20954781e+01,   1.83734360e+01,   1.86449833e+01],  
                 [ 1.41062717e+01,  -2.21702337e+00,   9.64256477e+00,  ...,  
                  1.89050579e+01,   1.59520445e+01,   1.62396297e+01],  
                 [ 1.38304768e+01,   9.61403275e+00,   1.86946678e+01,  ...,  
                  7.67865372e+00,   1.80199718e+01,   1.82656860e+01]])
```

O que é descrito numa imagem fits?

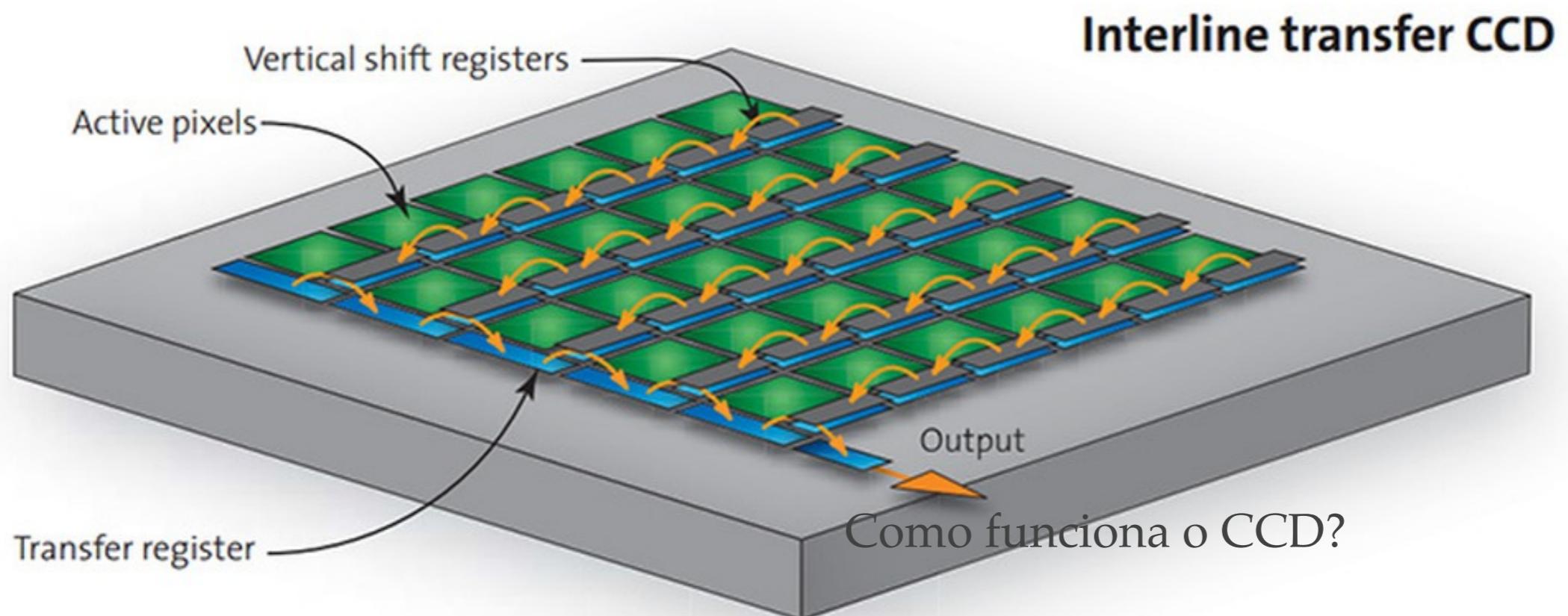
- ▶ Distribuição de contagens distribuída espacialmente em determinado momento t_i
- ▶ Fontes pontuais tendem a ter uma distribuição normal em duas dimensões
- ▶ Ruído de fundo é dado por distribuição de Poisson
- ▶ Em outras palavras, iremos misturar distribuições estatísticas espacialmente com álgebra linear.

Neste cenário, como se corrige background (ruído de fundo) de uma imagem?

O que é descrito numa imagem fits?

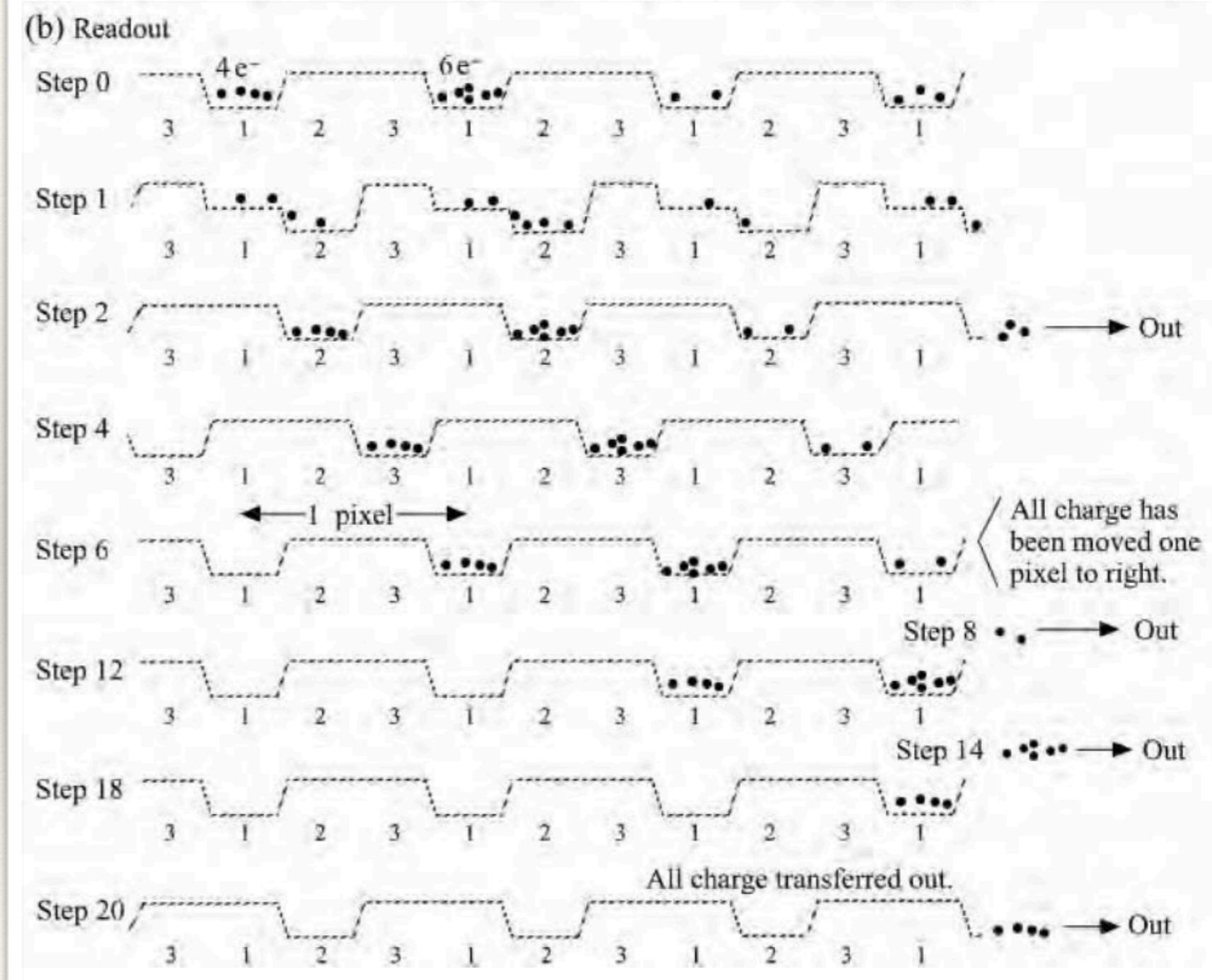
- ❖ No HEADER da imagem:
 - ❖ Momento em que foi obtida a imagem
 - ❖ Posição do telescópio que foi feita a observação
 - ❖ Instrumento utilizado
 - ❖ Informações da posição(coordenadas) do ponto central do fits e de como telescópio está ajustado para realizar aquela observação
 - ❖ Nome dos observadores (créditos da observação)
 - ❖ Informações adicionais do tratamento que a imagem recebeu.

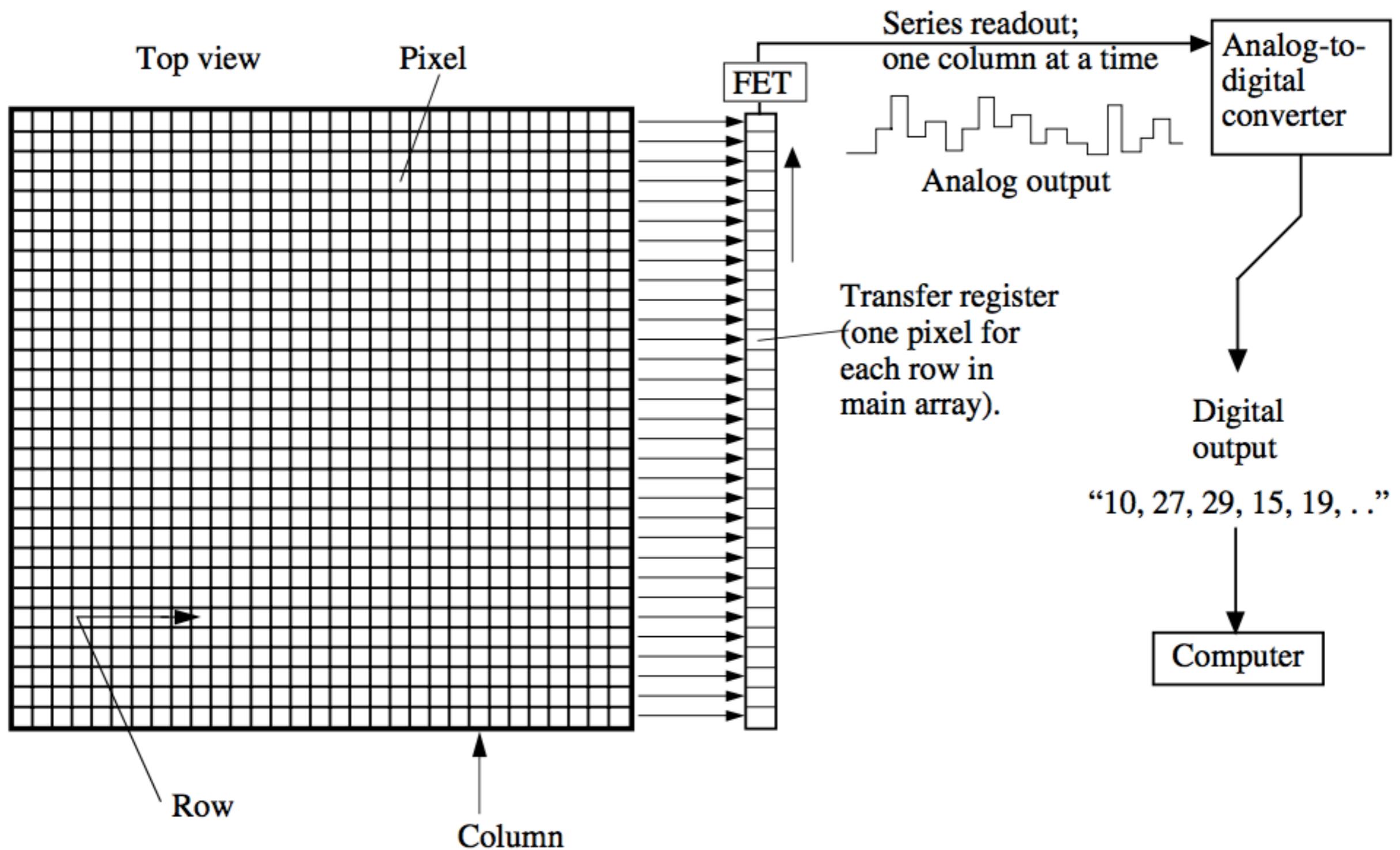
Voltando ao detector...



Leitura CCD

- ❖ Readout também gera ruído. Algumas vezes é necessário levar em consideração na construção do pipeline.

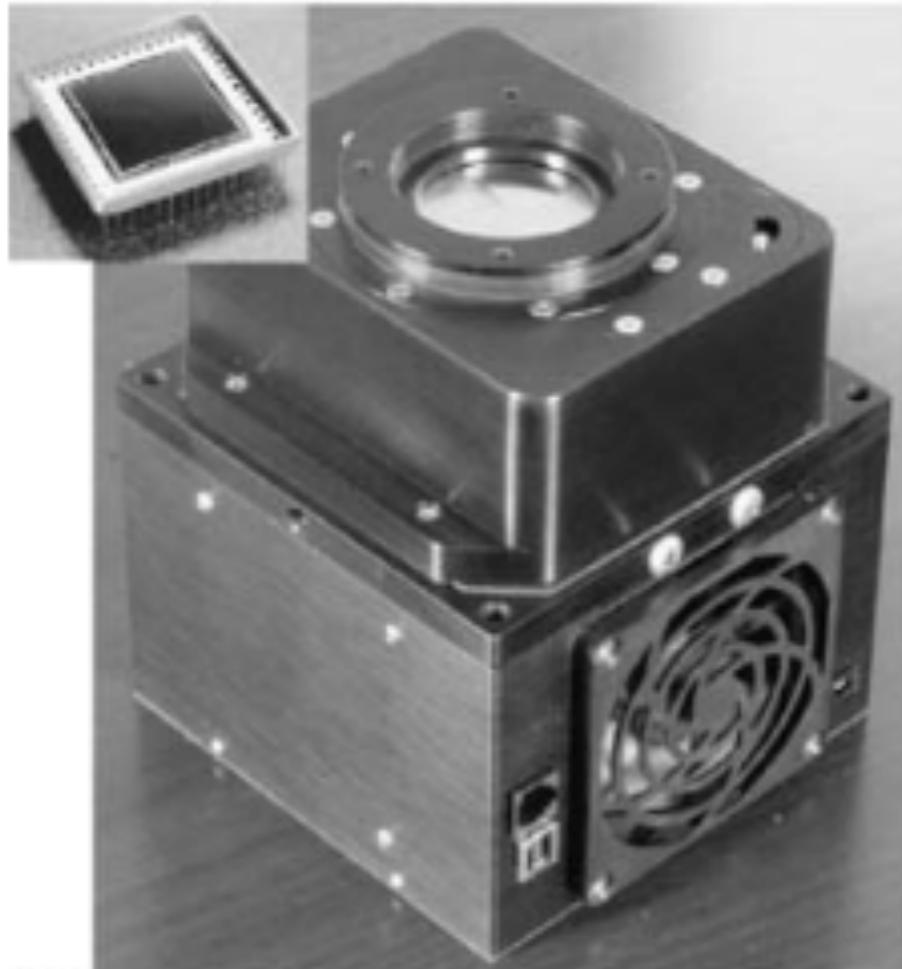




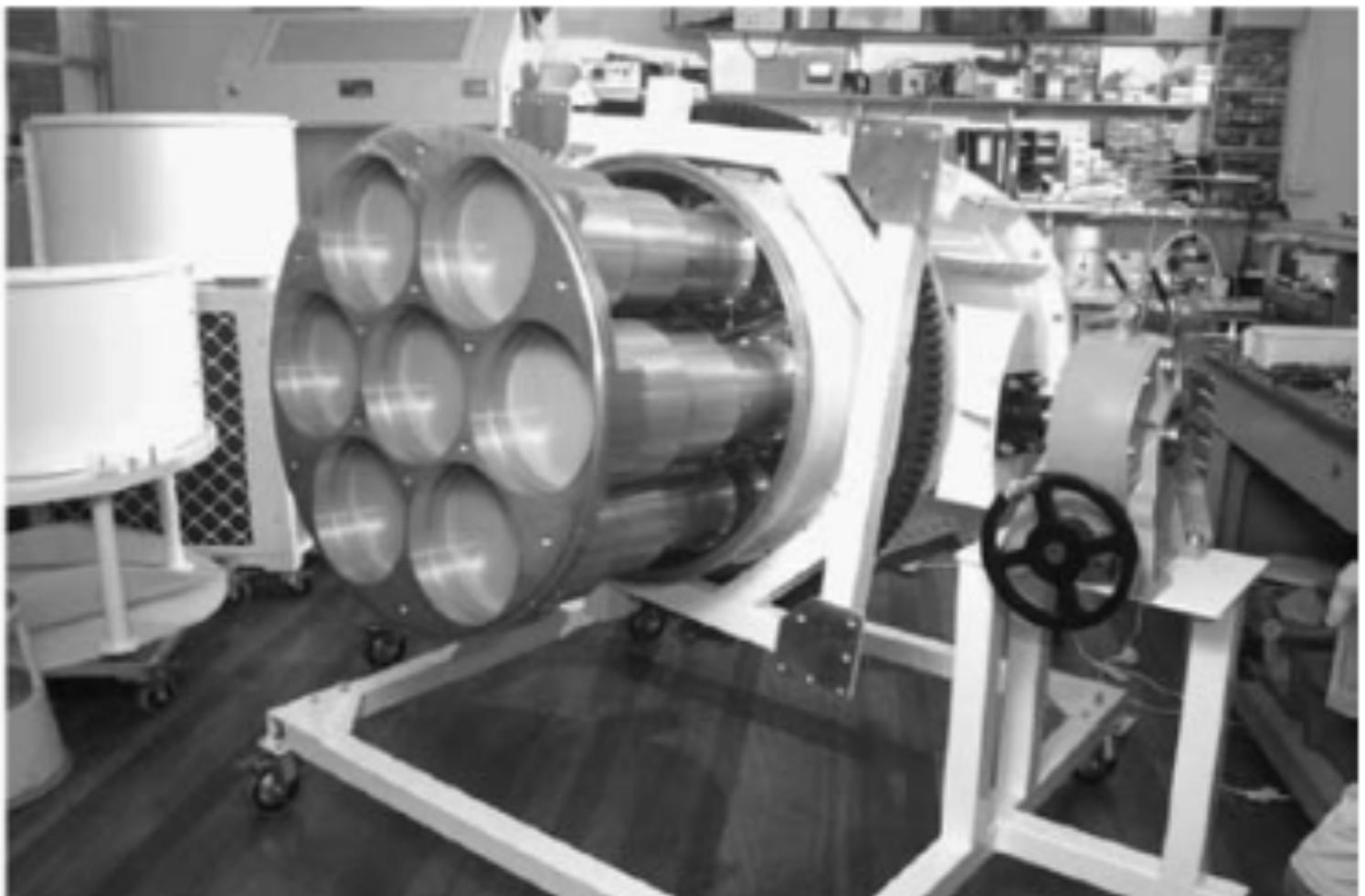
Criação da matriz numérica!

Arecibo Telescope CCD e Roda de filtros

Astrphysics, Irwin



(a)

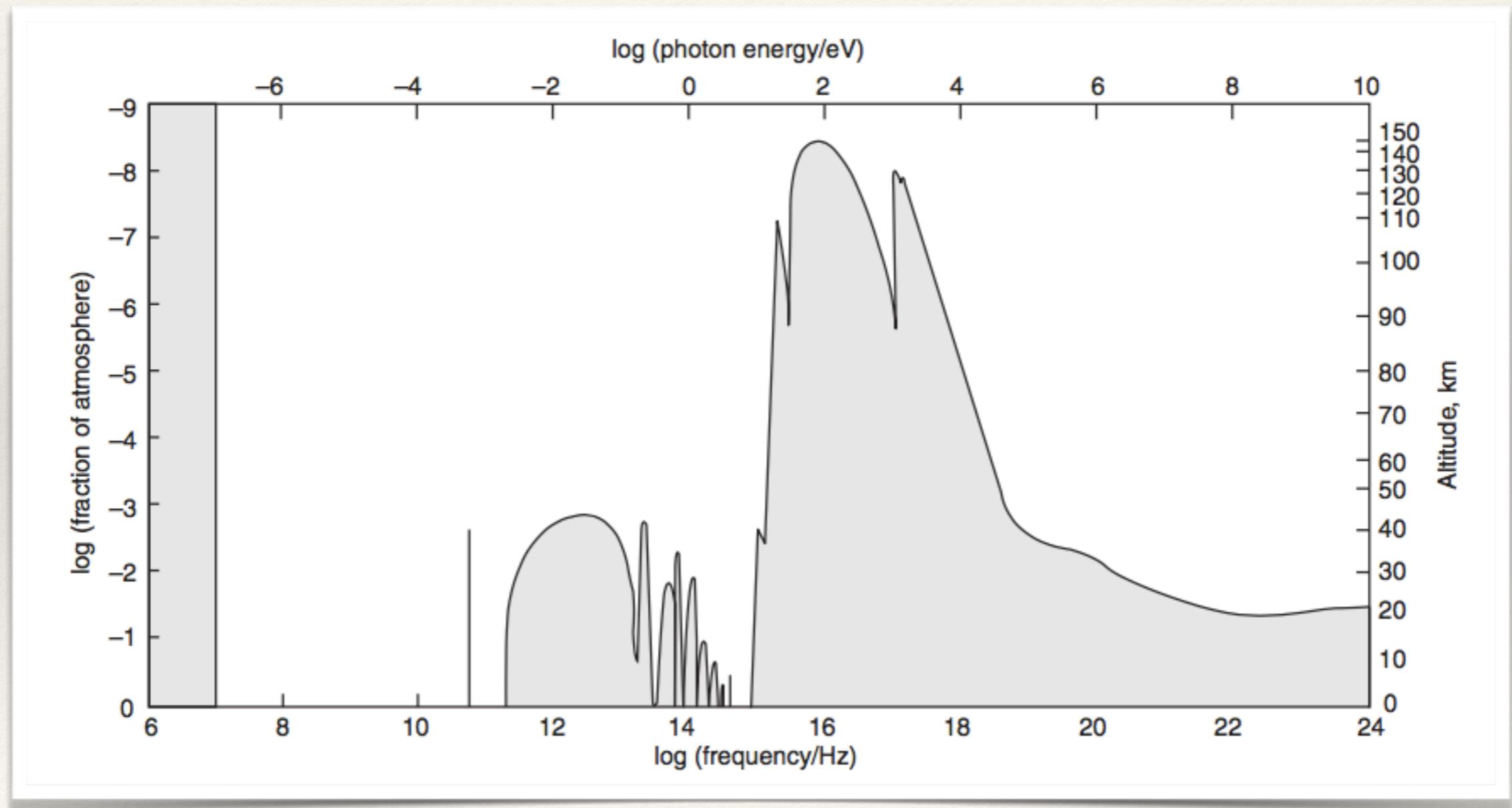


(b)

Filtros → convolução

Resposta da Atmosfera da Terra

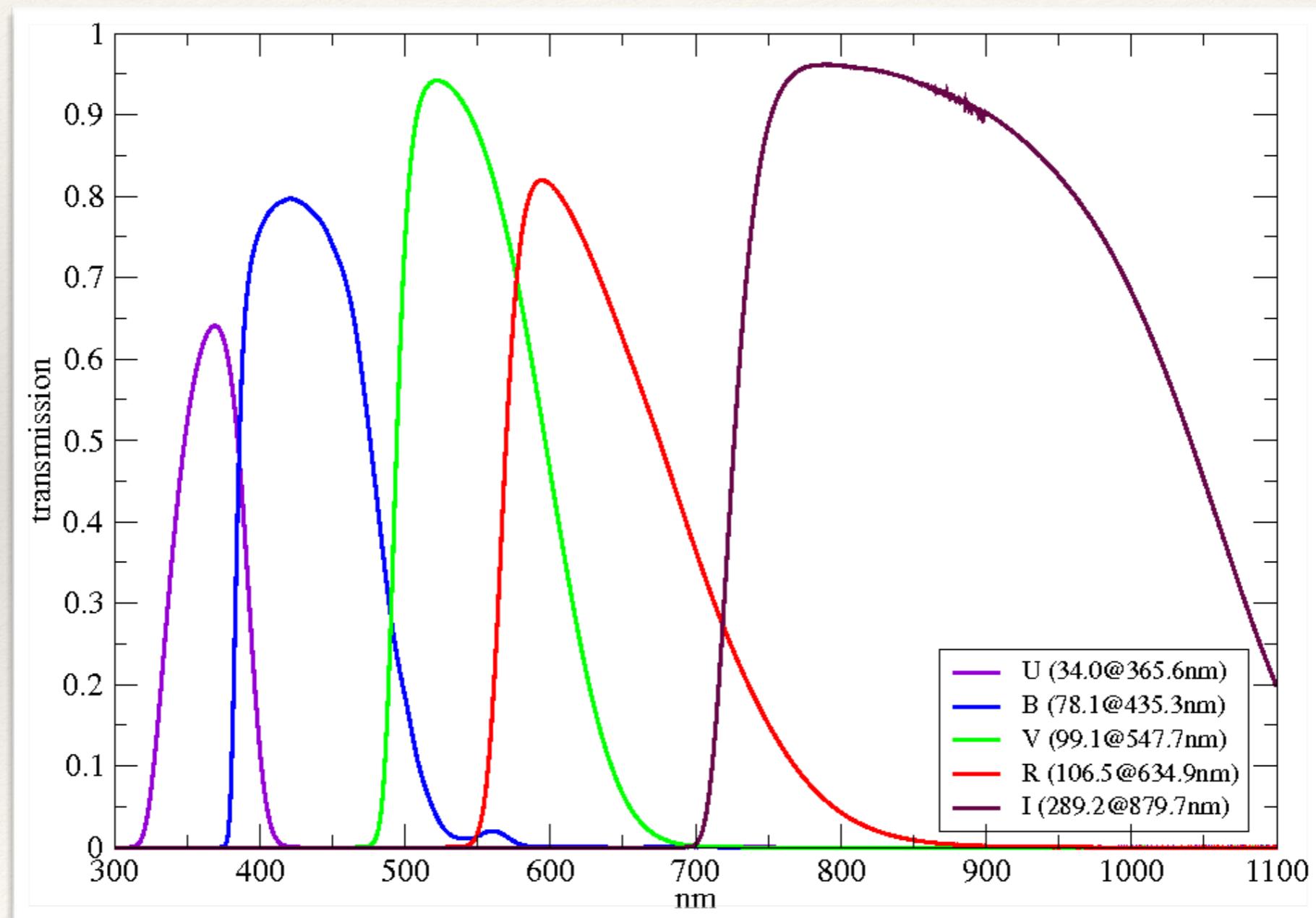
Astrphysics, Irwin



Por que uma convolução?

Filtros

- ❖ A eficiência de Transmissão não é uniforme.

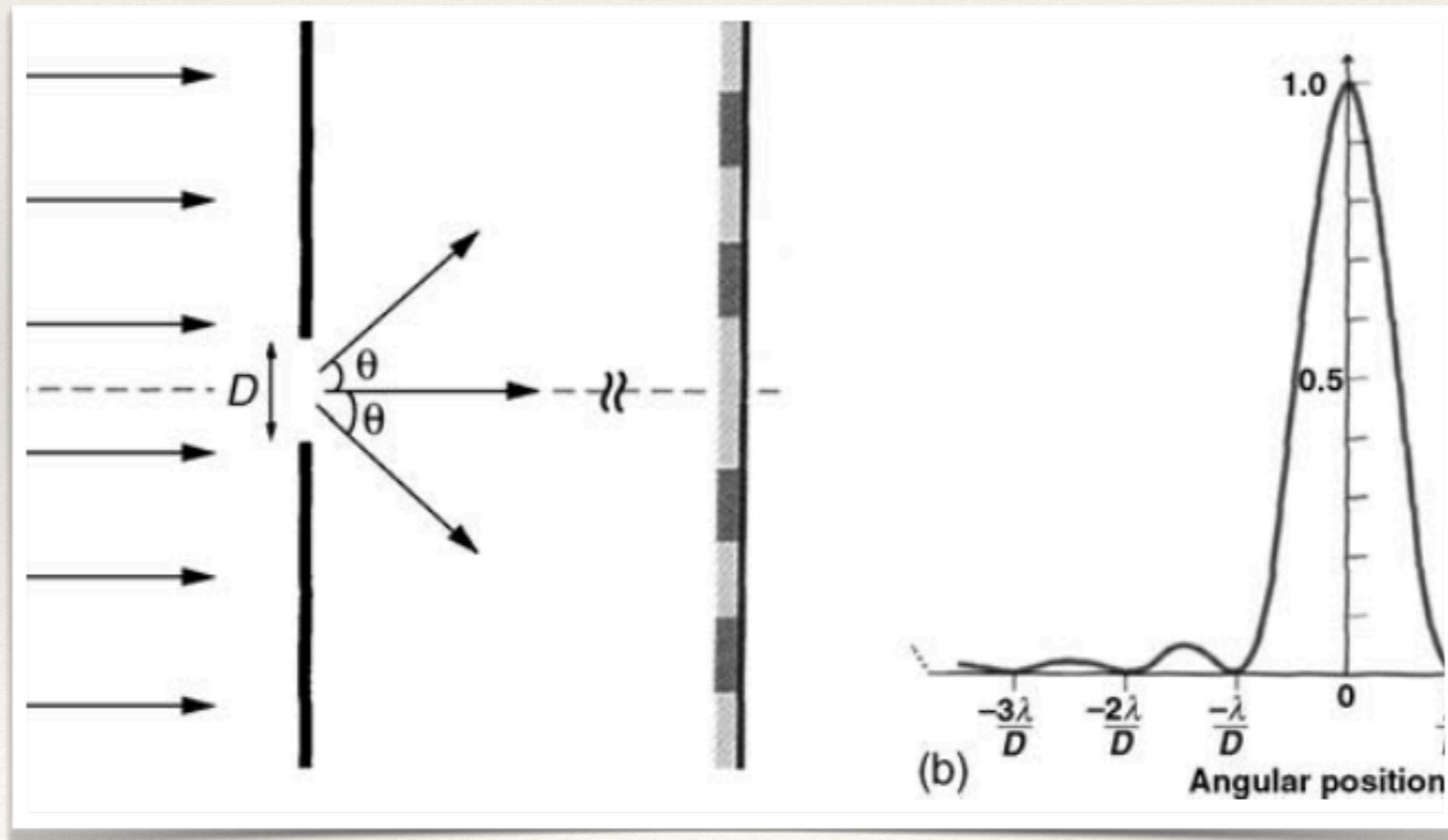


Resumindo...

- ❖ Quando se quer fazer pipeline, precisamos supor inicialmente quais serão os ruídos que devemos corrigir.
- ❖ Simulações de objetos devem conter a informação de como é a resposta do instrumento, isso garante que a distribuição final espalhada espacialmente tenha as constantes de normalização corretas.
- ❖ Para esta disciplina, não iremos simular dados para tratá-los em diferentes comprimentos de onda. Porém, quando mais informação se inclui, mais detalhes e maior torna-se o pipeline → solução é criar pequenas funções para não se perder durante a análise!

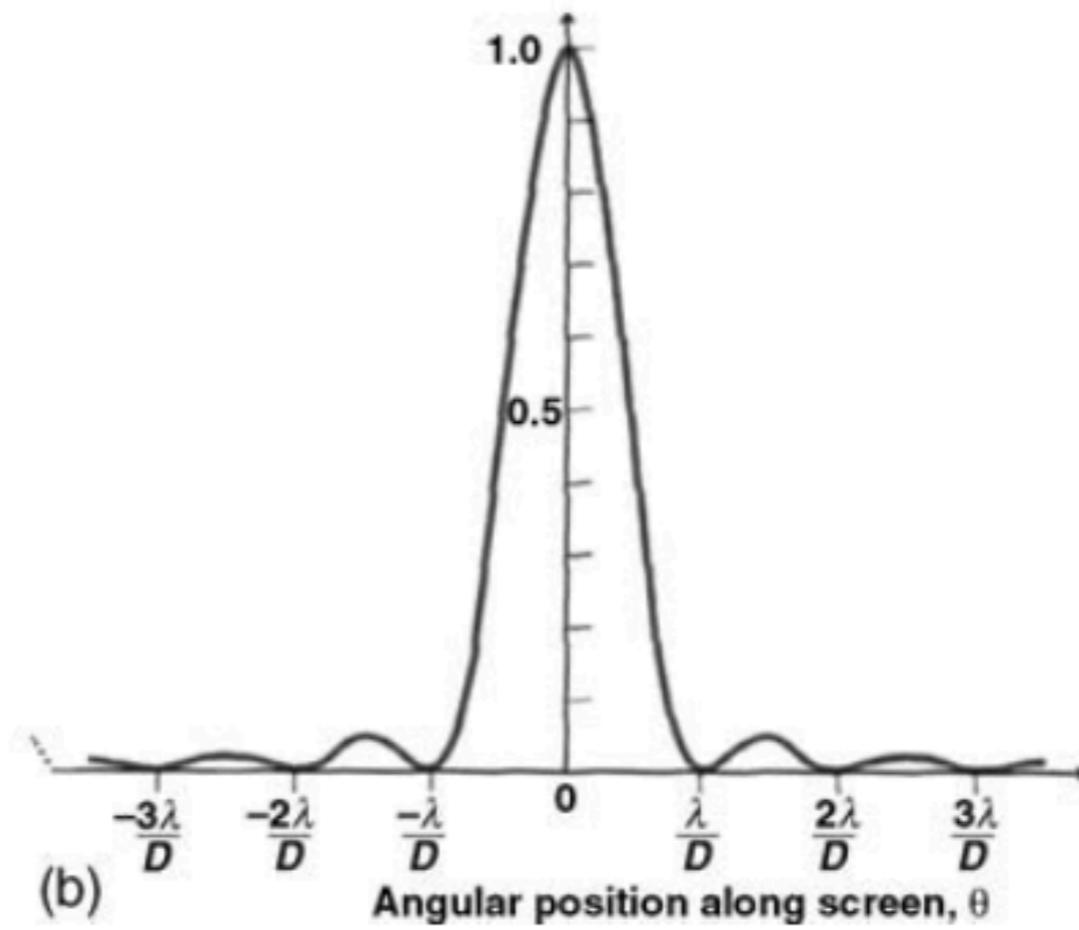
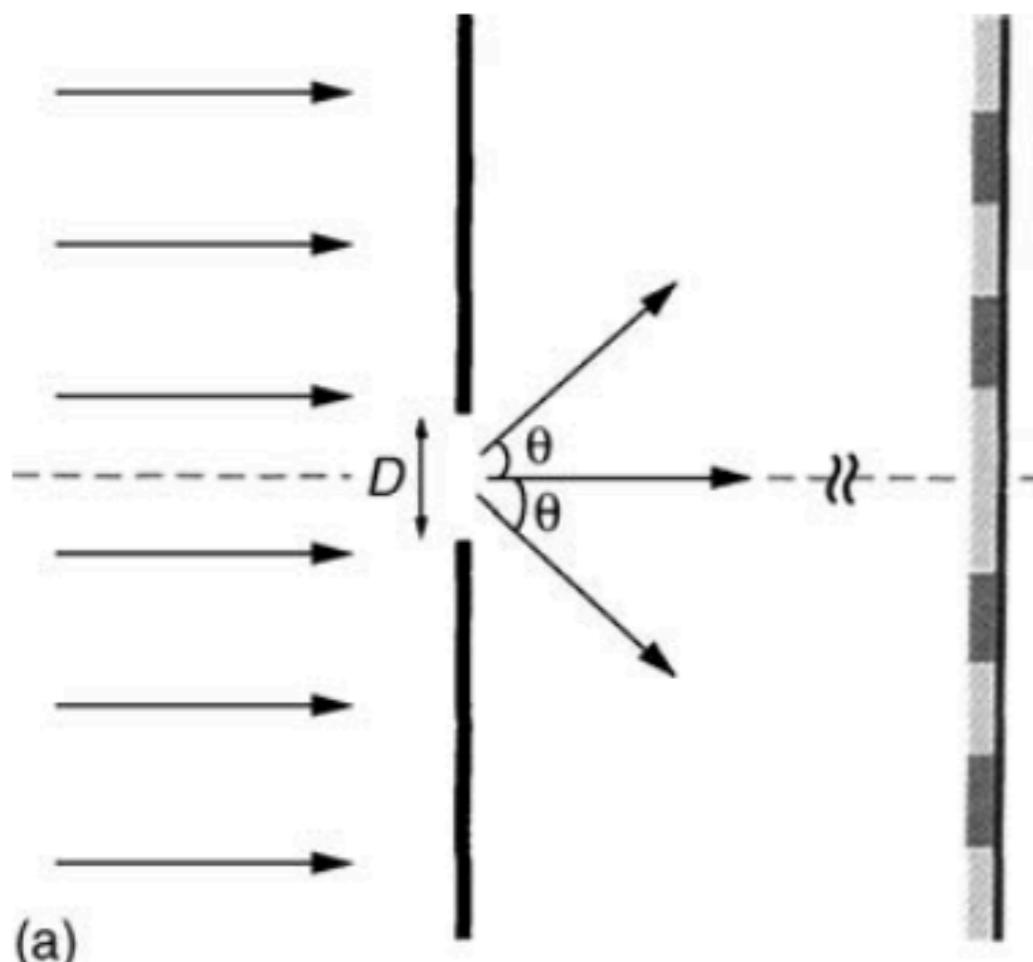
Fonte Pontuais

- ❖ Distribuição 2D é denominada PSF: Point Spread Function
- ❖ Gerada devido a difração do instrumento e/ou caminho até detector.



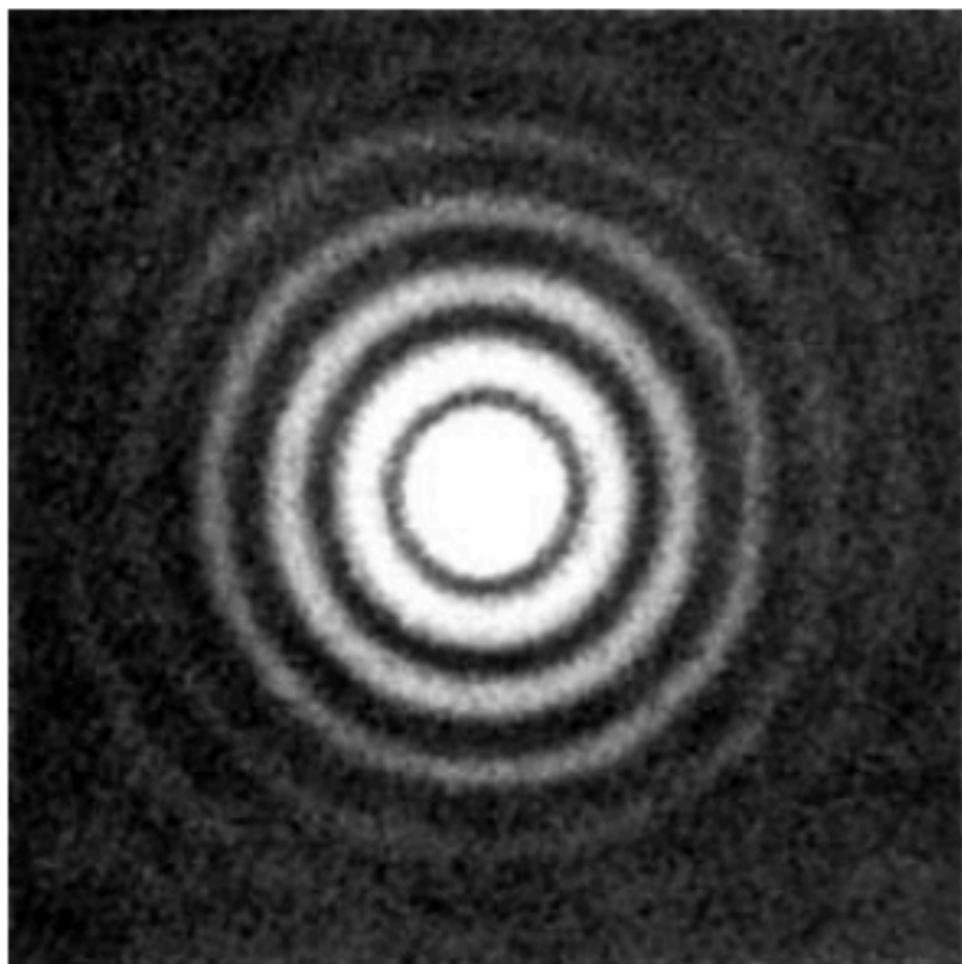
PSF

$$\theta_{FWHM} = 1.02 \frac{\lambda}{D}$$

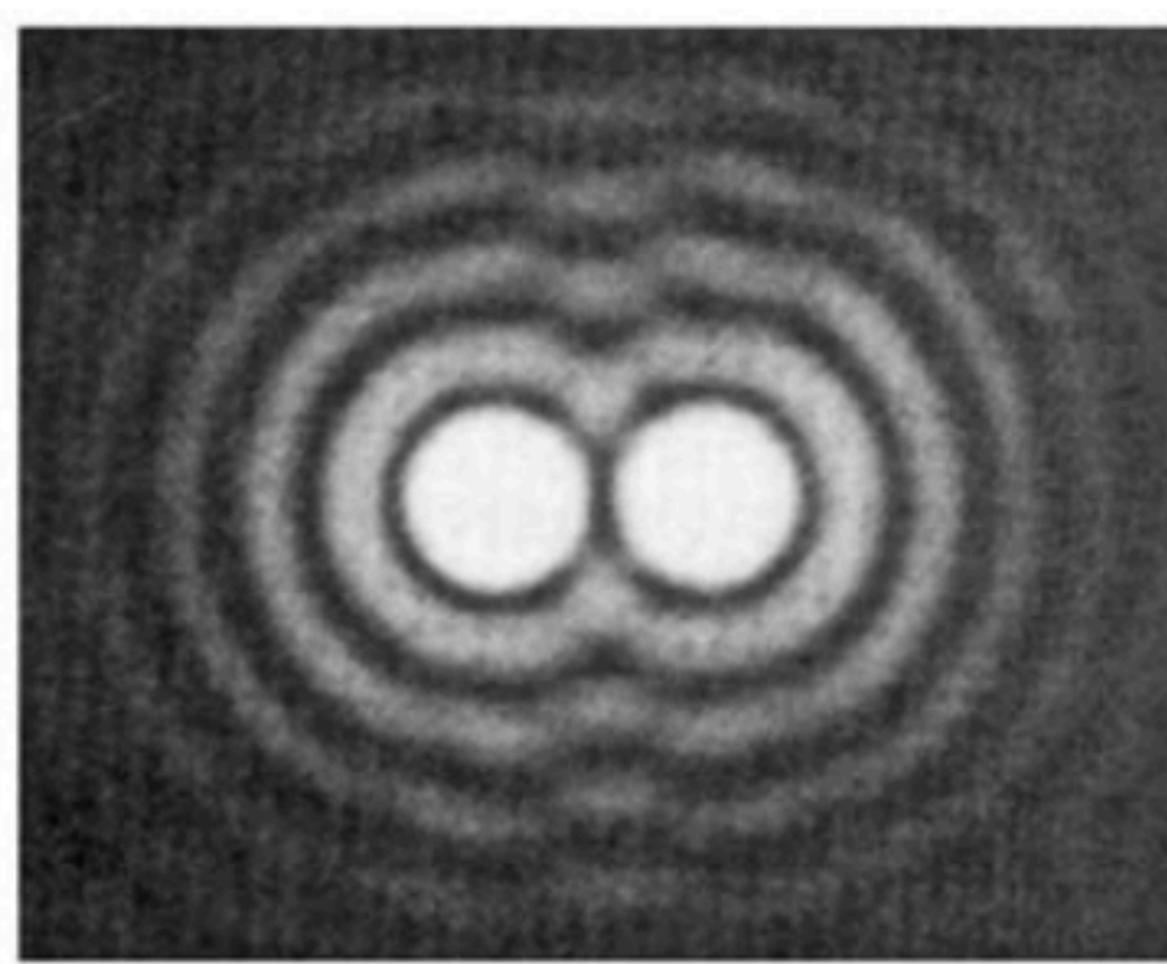


Superposição de PSFs $\rightarrow D_{telescópio}$

Astrphysics, Irwin



(a)



(b)

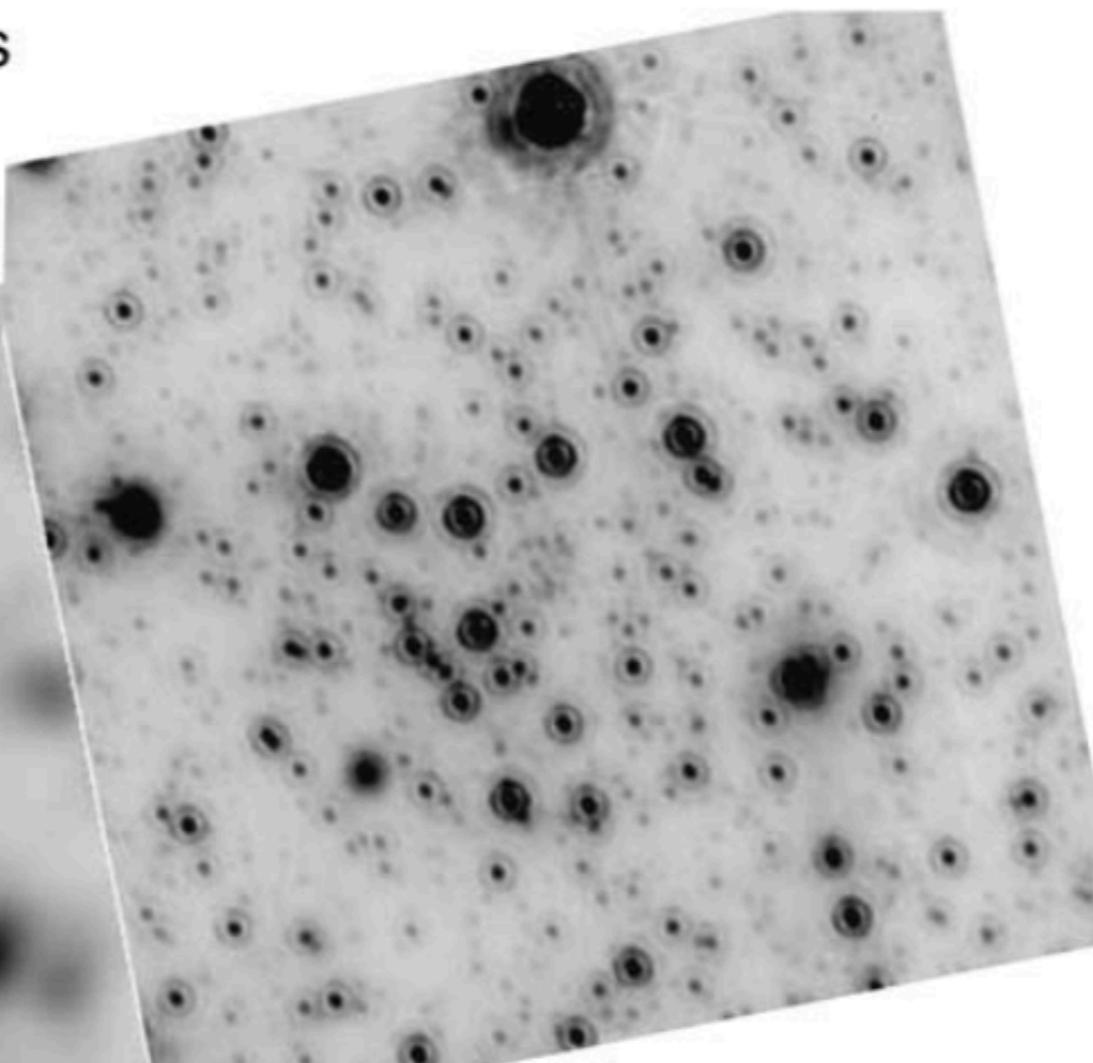
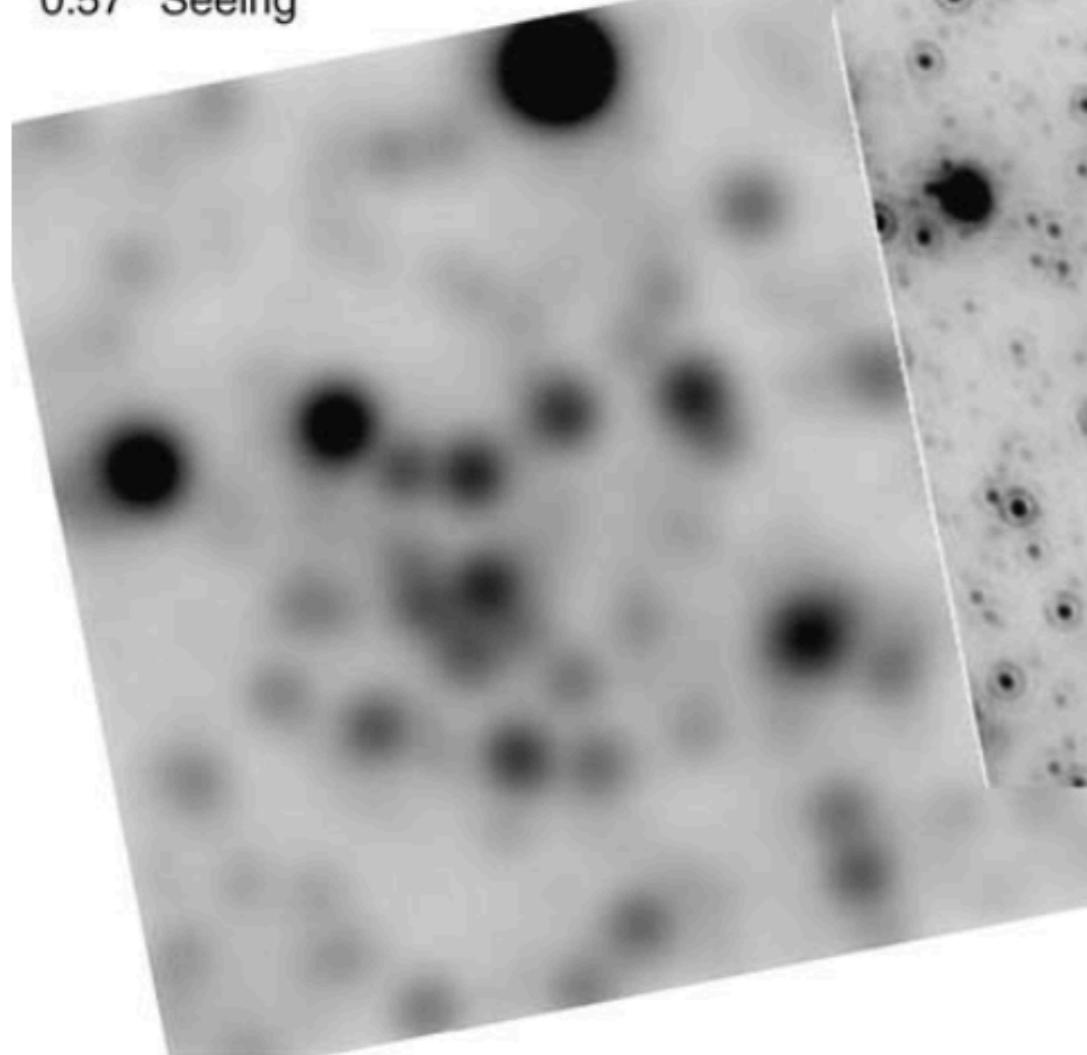
$$t_{exp} \propto N_{contagens}$$

Outras correções melhoram o quanto próximo a PSF torna-se de uma normal-2D ou de normal modificada.

Galactic Centre / 2.2 microns

13''x13'' Field. 15 minutes exposure.

Without Adaptive Optics compensation
0.57'' Seeing



With Adaptive Optics compensation
0.13'' Full Width at Half Maximum

Correção do sinal

- ❖ Depende:
 1. Comprimento de onda
 2. Instrumentação
 3. Detalhes específicos do Telescópio
- ❖ Por ora, iremos considerar procedimento padrão para observação no visível para IR-próximo.

Que detalhe específico, que se repete no tempo, de um telescópio espacial deve ser corrigido?

Procedimento Padrão de Redução

- ❖ Subtração de uma constante positiva que leva-se em conta a voltagem DC que existe em todo CCD. Esta informação está salva nas imagens de BIAS, que descrevem como é background devido a esta voltagem INICIAL, o qual adiciona contagens (lembre-se de como ocorre o funcionamento do CCD)
- ❖ O CCD também não responde de forma uniforme espacialmente, logo, as distribuições não são descritas de forma igual. Para isto, deve-se usar fonte de luz o qual se conhece para iluminar CCD e obter uma estimativa da eficiência espacial. Esta informação está contida nas imagens de FLAT. A correção se dá dividindo as imagens pela imagem FLAT de calibração. Devido a tentar verificar quantidade de contagens espacialmente, deve-se também considerar o tempo de exposição.

Procedimento Padrão de Redução

- ❖ A remoção de eventos únicos de iluminação, o quais alteram máximo de contagens em determinado momento no tempo são corrigidos a partir de combinação de mais imagens usando a mediana.
- ❖ Por que mediana e não a média?
- ❖ Por fim, corrige-se pelo background gerado por emissão de luz do céu, o que é subtraído da imagem.

Considerando-se a pergunta feita anteriormente, e dado que não existe imagem-céu, como se espera corrigir isto?

Informação Espacial

1. Posição do centro do mapa → define RA,DEC → quais são possíveis problemas?
2. FoV → tamanho do detector
3. Resolução espacial → afetado pelo tamanho do telescópio, tamanho do pixel, seeing
4. Comprimento de onda central da observação →
5. Intervalo em comprimento de onda → qual se caracteriza sua observação
6. Resolução espectral --> possibilidade de criar "bandas"
7. Nível de ruído → região do CCD que será dedicada para estimar emissão de céu (background)
8. S/N → estimativa da informação contida na imagem.

Mapeamento

- ❖ Após correções, é possível então mapear reações de máximo e mínimo de contagens. Fontes não pontuais tem problemas por não serem descritas por uma PSF.
- ❖ Métodos estatísticos caracterizam fontes não-pontuais, o que veremos a frente no tópico de Machine Learning.

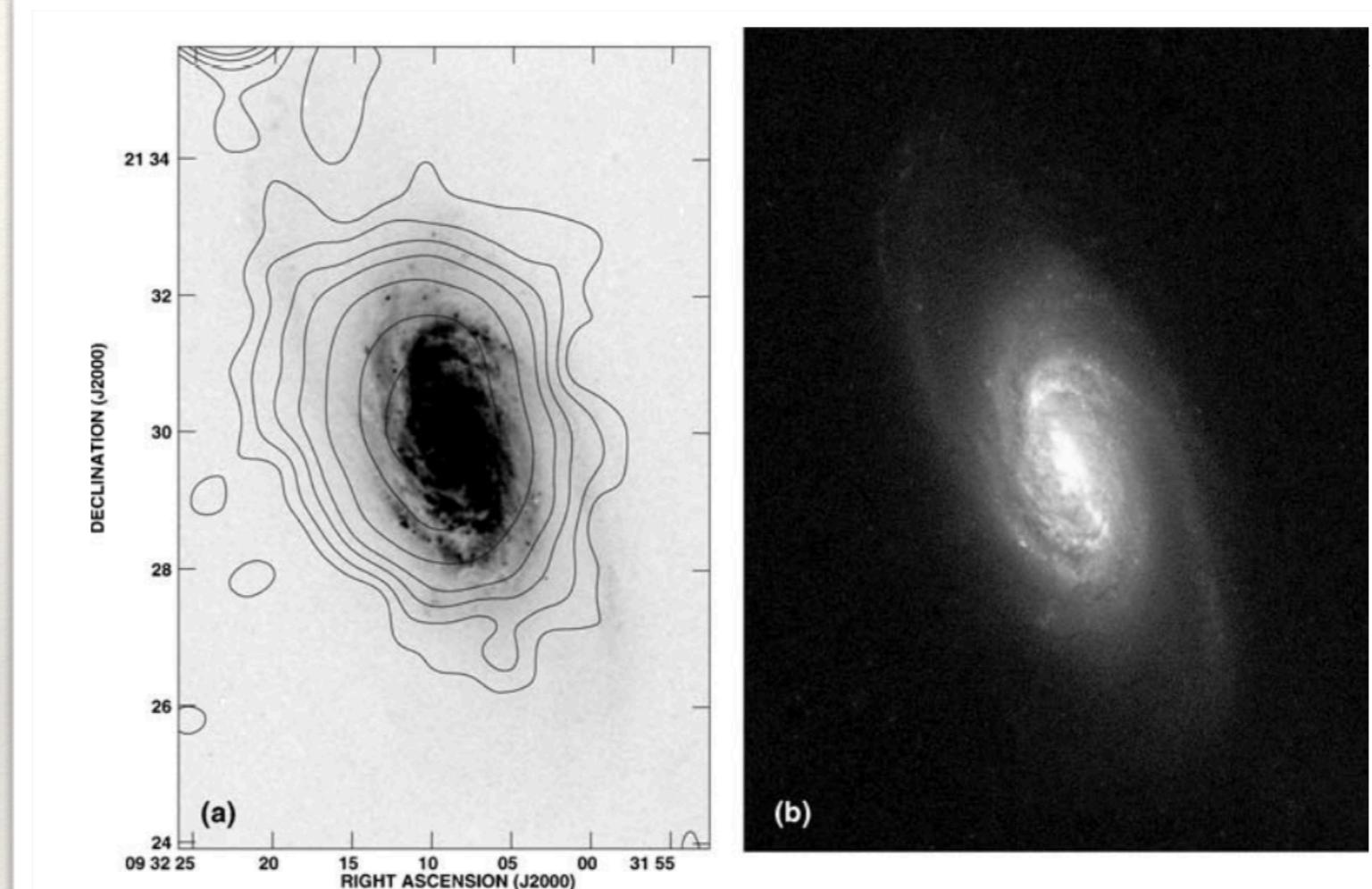
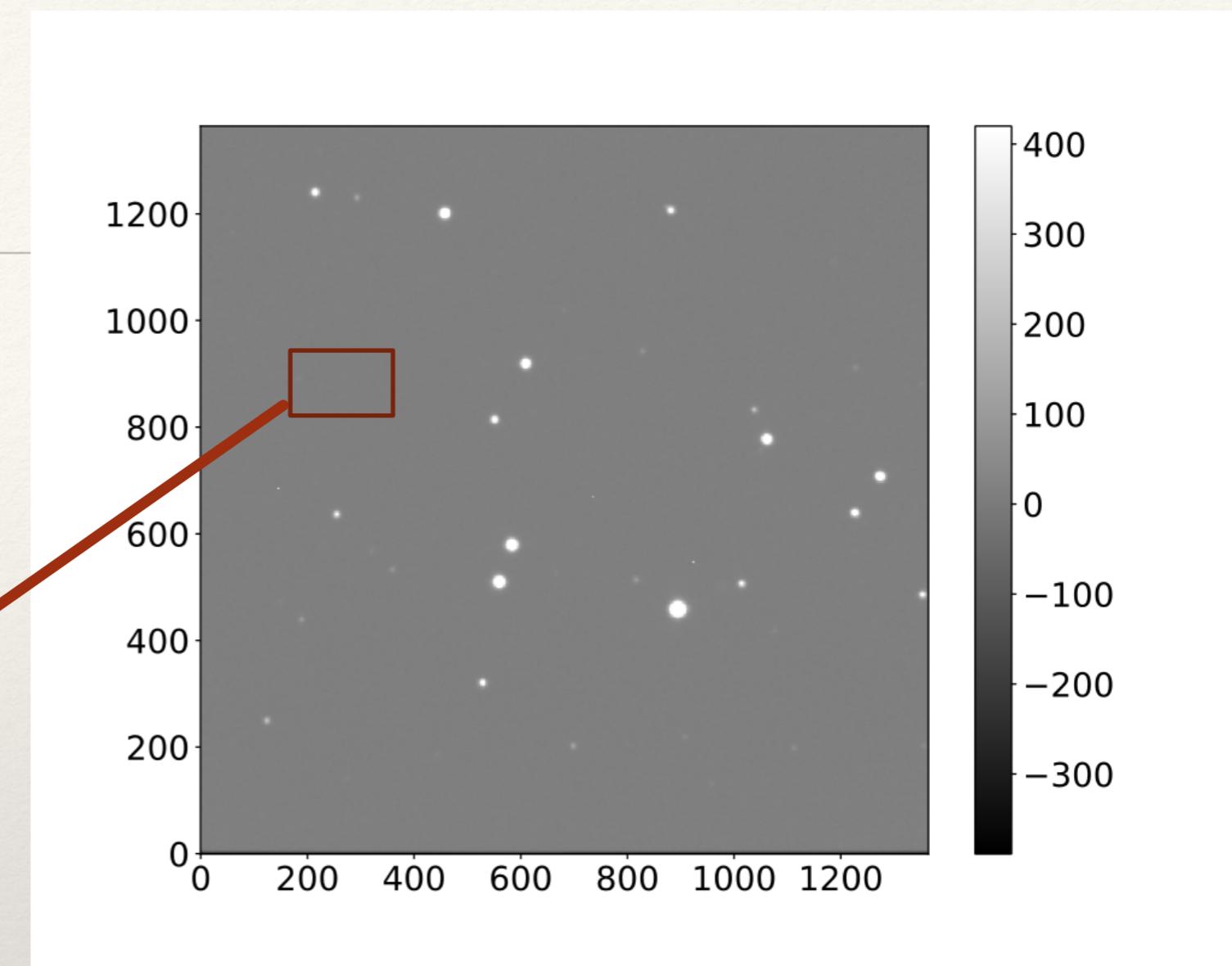


Figure 2.19. (a) Radio continuum contours at $\lambda 20$ cm overlaid (single-channel bandwidth = 0.66 MHz) on the same image of NGC 2903 as in Figure 2.18. The radio contours are at 0.6, 1.5, 3, 5, 10, 25, and 50 mJy beam $^{-1}$, the peak map level is 117 mJy beam $^{-1}$, the beam FWHM is 54.4'' (see Sect. 2.2.4), there are 1.7'' per pixel, and the rms noise is 0.5 mJy beam $^{-1}$. (b) Combination of three different images in three wavebands centred at $\lambda 500$ nm (shown as blue), $\lambda 650$ nm (green) and $\lambda 820$ nm (red). (see colour plate)

Background

- ❖ Segue uma distribuição de Poisson

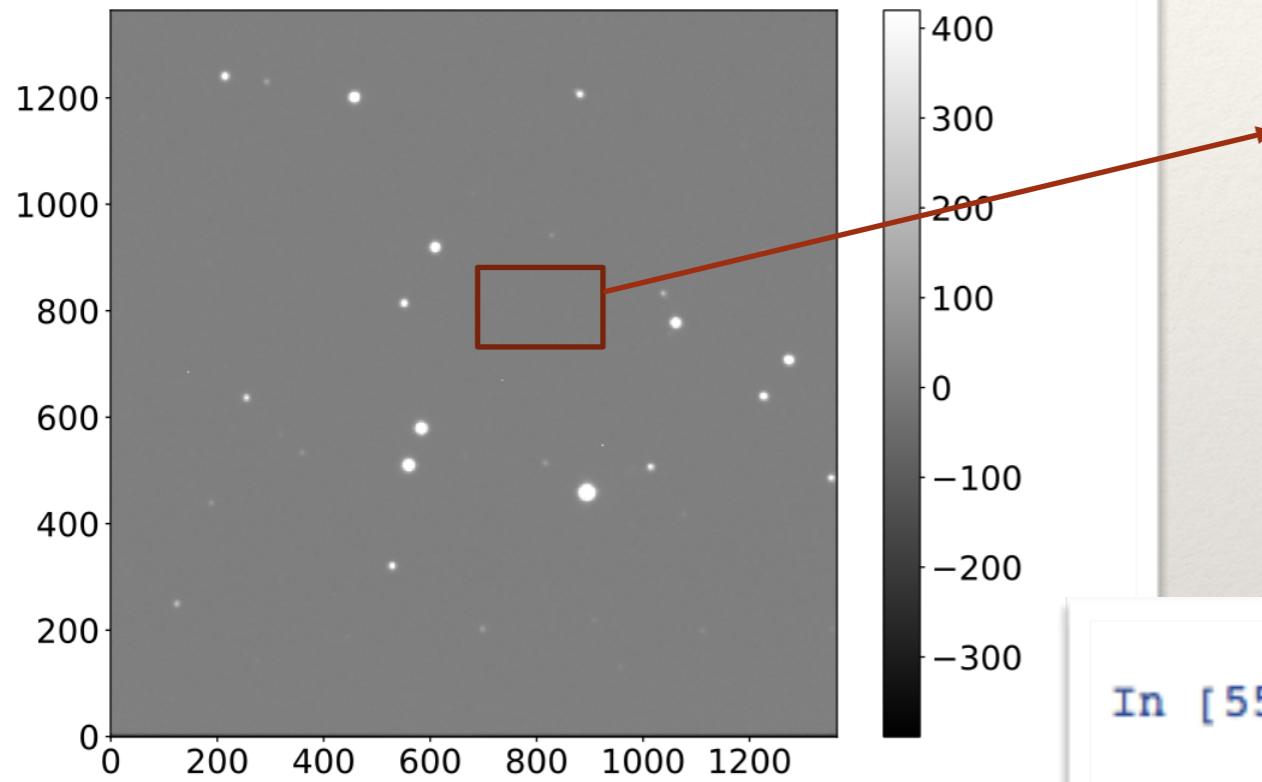
$$P_x = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$$



Seleção de 100×100 píxeis \rightarrow estima-se $m \rightarrow$ cria-se uma imagem $I_{i,j}$, onde i, j definem o tamanho do FoV a partir de uma $P_{x,m}$ e subtrai-se da imagem final, isto para correção de todo campo.

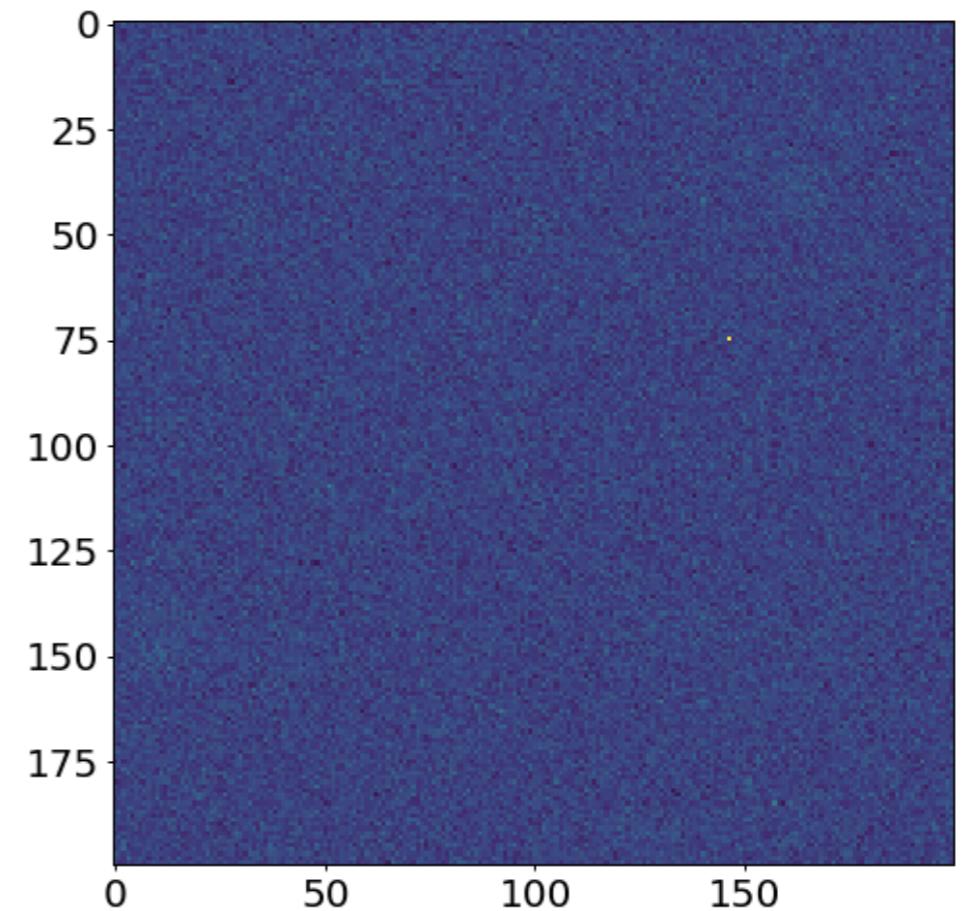
Outras correções utilizam-se da mesma noção, mas usando outras geometrias, como anel, ou círculo.

Background



```
In [49]: plt.imshow(im[800-100:800+100,800-100:800+100])
```

```
Out[49]: <matplotlib.image.AxesImage at 0x1171c54d0>
```



```
In [55]: background
```

```
Out[55]: array([[16, 8, 16, ..., 11, 16, 18],  
 [11, 10, 15, ..., 18, 10, 18],  
 [14, 18, 11, ..., 11, 16, 14],  
 ...,  
 [16, 18, 13, ..., 10, 13, 15],  
 [17, 16, 15, ..., 18, 17, 14],  
 [19, 12, 25, ..., 27, 15, 20]])
```

Usando distribuição de Poisson,
estima-se o céu:

Combinação

- ❖ Mediana, média, etc

$$Im_{i,j}(\text{combinada}) = \text{median}(Im_{i,j}^k, k = 1, \dots, n)$$

$$Im_{i,j}(\text{combinada}) = \text{media}(Im_{i,j}^k, k = 1, \dots, n)$$

Que tipo de combinação/correção é exatamente?

| | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,2}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,2}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,2}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |

$$Im_{i,j}^1$$

A combinação de redução simplesmente é obter a média/mediana/etc elemento a elemento. Assim, a imagem final combinada pela mediana terá como elemento $a_{1,1}$ a mediana da distribuição dos elementos $a_{1,1} \in Im_{i,j}^k | k = 1, \dots, n$

| | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |

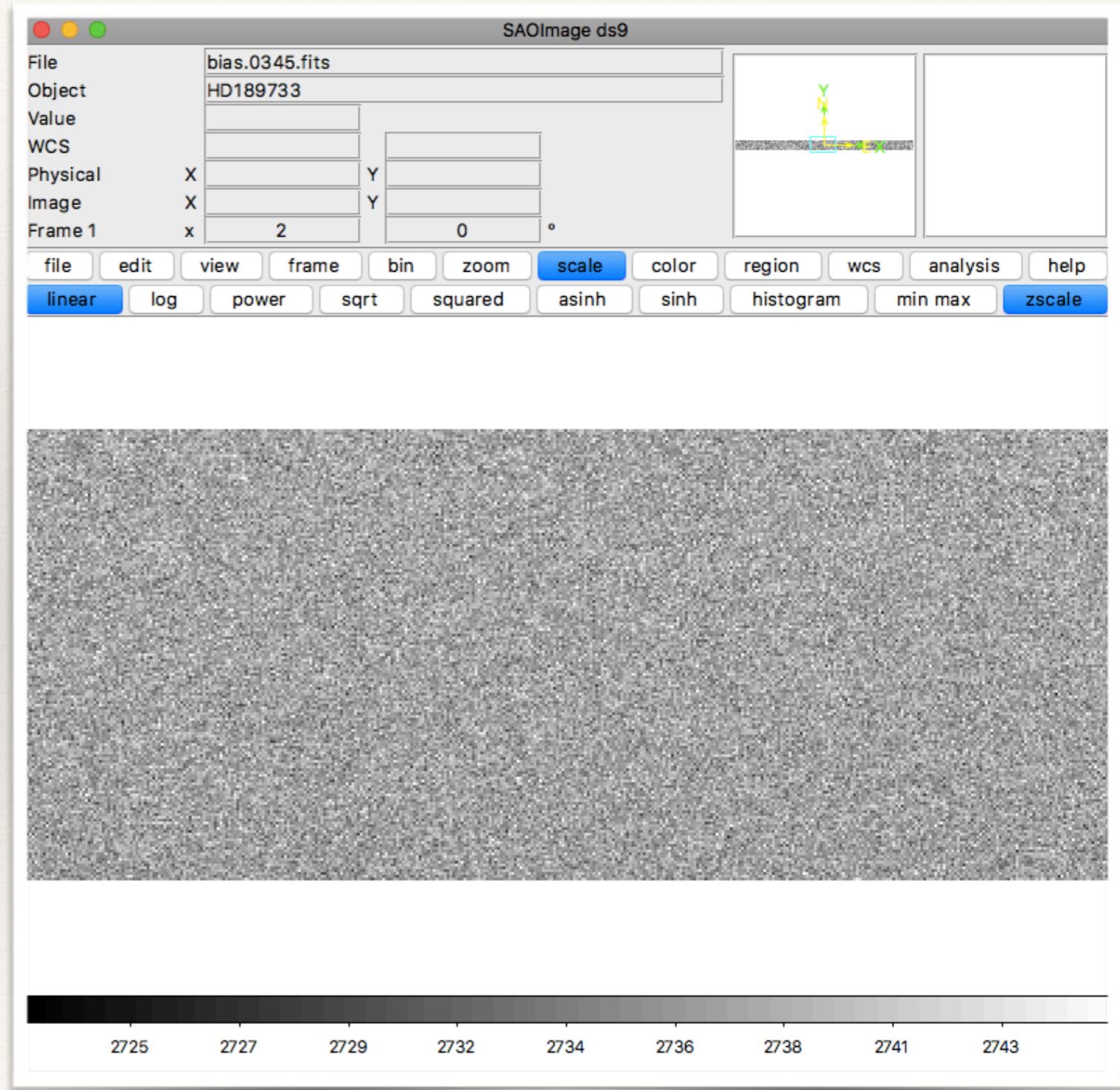
$$Im_{i,j}^2$$

| | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |
| $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ | $a_{1,1}$ | $a_{1,2}$ | $a_{1,3}$ |
| $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ | $a_{2,1}$ | $a_{2,2}$ | $a_{2,3}$ |
| $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,1}$ | $a_{3,3}$ |

$$Im_{i,j}^3$$

BIAS

- ❖ Imagem que representa a corrente de fundo
- ❖ Deve ser subtraída de todas as outras imagens, sejam de calibrações, ou de ciência.



Correção por BIAS

- ❖ Subtração de uma matriz que define a voltagem de fundo do CCD

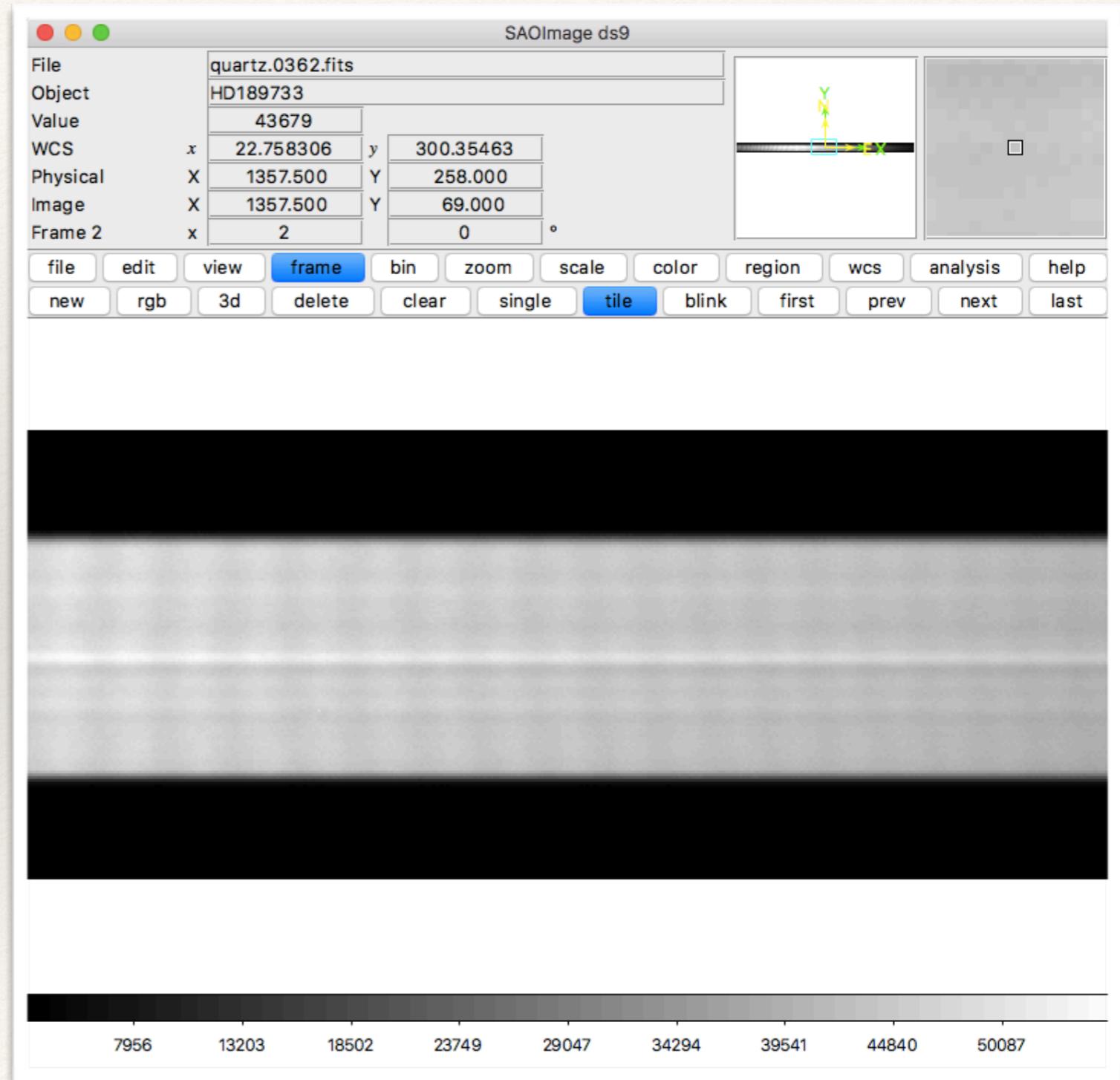
$$BIAS_{i,j} = median(BIAS_k, k = 1 \dots n)$$

$$Im_{i,j} - BIAS_{i,j} = BIm_{i,j}$$

$BIm_{i,j}$: imagem corrigida por BIAS

Flat-field

- ❖ Apresenta a discrepância de eficiência pixel-a-pixel



Correção por FLAT-FIELD

- ❖ Divisão pela imagem combinada de FLAT-FIELD, o qual corrige efeito de diferença de eficiência espacial do CCD
- ❖ A divisão ocorre como a combinação, ela é uma operação elemento-a-elemento.
- ❖ Antes de combinar a imagem de FLAT-FIELD é necessário que se corriga também por BIAS.

$$FLAT_{i,j}^k - BIAS_{i,j} = BFLAT_{i,j}^k$$

Normalização dos FLATS

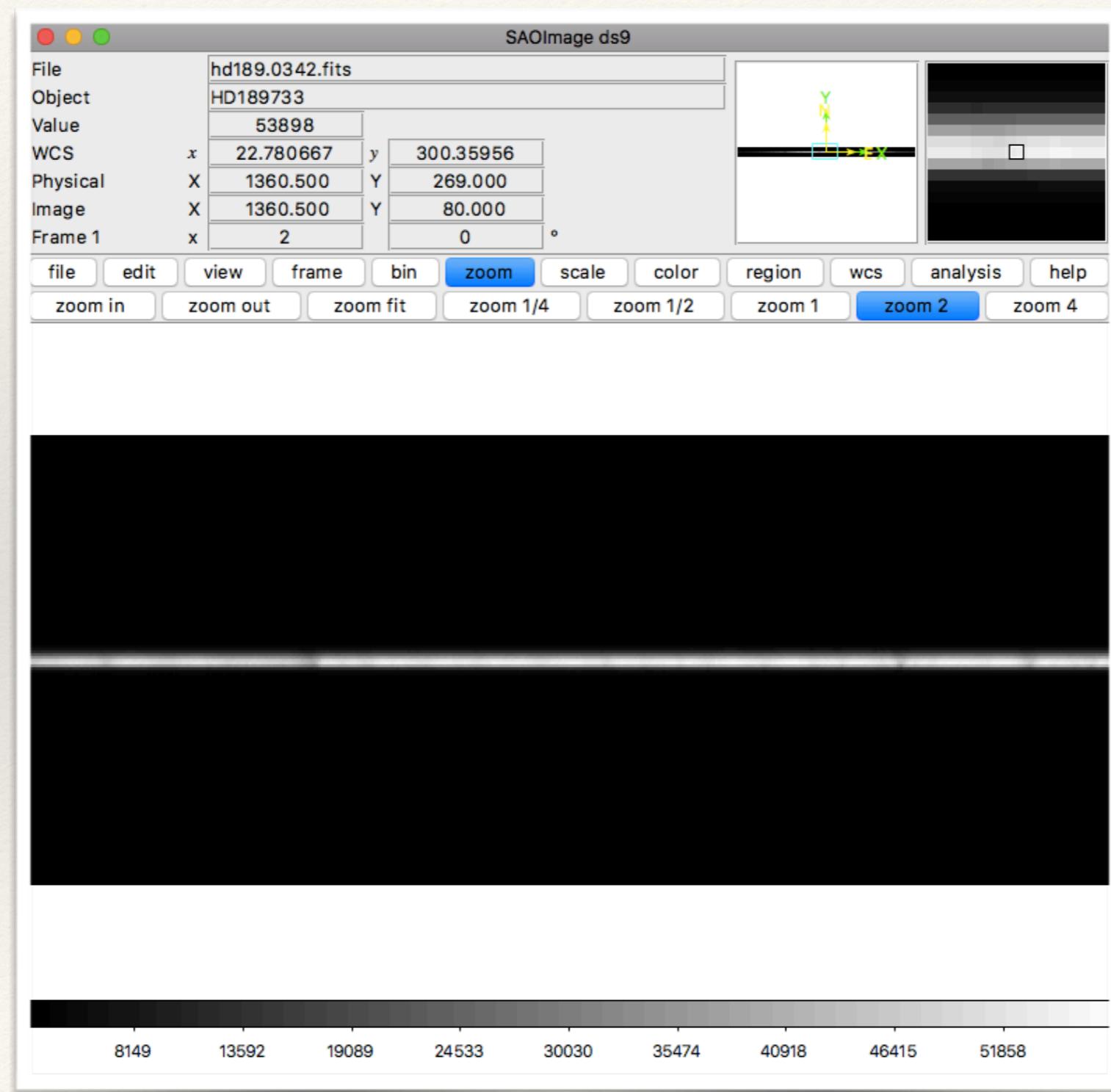
- ❖ Antes de dividir por FLAT, devemos normalizá-los.
- ❖ Isto garante que não modifiquemos as contagens finais de cada distribuição, e somente tornamos o nível zero igual pixel-a-pixel.

$$BFLAT_{i,j}^k = \frac{BFLAT_{i,j}^k}{mean(BFLAT_{i,j}^k)}$$

Esta média é obtida
pela média de todos
os elementos na
imagem k

$$BFLAT_{i,j} = median(BFLAT_{i,j}^k, k = 1 \dots n)$$

Imagens de Ciência



Correção das imagens de ciência

- Bias → FLAT-FIELD → Background → $SFBScience_{i,j}$

$$Science_{i,j}^k - BIAS_{i,j} = BScience_{i,j}^k$$



$$FBScience_{i,j}^k = \frac{BScience_{i,j}^k}{FLAT_{i,j}}$$

$$FBScience_{i,j}^k - Sky_{i,j} = SFBSscience_{i,j}^k$$

Próxima aula

- ❖ Leitura de papers (website para download)
- ❖ 5 papers:
 1. Paper de definição do Iraf em 1993
 2. Paper sobre um pipelines que reduz online
 3. Paper contendo a definição e características da versão atual do formato FITS
 4. Paper contendo overview do pipeline do Kepler Telescope
 5. Paper sobre *Big Data in Astronomy*
- ❖ O que fazer para próxima aula:
 1. Leitura com atenção do paper 5, procura de projetos em Astronomia com Big Data. (este documento foi publicado em 2012). O que mudou desde sua publicação?
 2. Comparação entre os papers 1 e 4. O que mudou a visão? O que se mantém?
 3. Procura web de projetos semelhantes da ideia do paper 2.
 4. Descrição do atual formato FITS.

Referências

- ❖ <http://www.eso.org/sci/software/pipelines/>
- ❖ <https://github.com/KeplerGO/PyKE>
- ❖ <https://astroconda.readthedocs.io/en/latest/>
- ❖ <http://ssb.stsci.edu/ureka/>
- ❖ https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_primer.html
- ❖ https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_samples.html
- ❖ <http://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/some-analysis-with-astronomy-data-in-python>
- ❖ <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2010/16/aa15362-10.pdf>