



# Παρατηρησιακή Αστρονομία

Ενότητα 8: Φωτομετρία με ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές

Ιωάννης Χ. Σειραδάκης  
Τμήμα Φυσικής



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

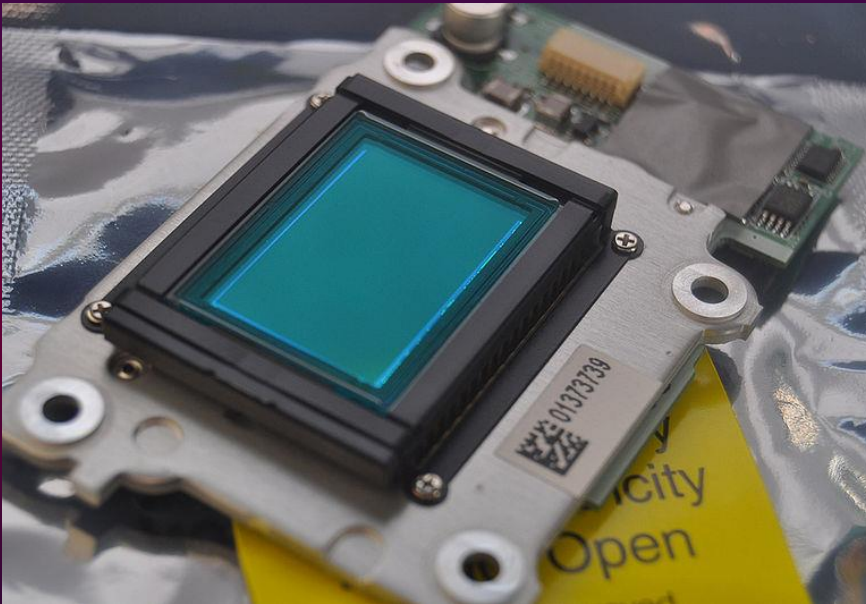
## με ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές



CCD κάμερα σε φορητό τηλεσκόπιο του Εργαστηρίου Αστρονομίας του ΑΠΘ

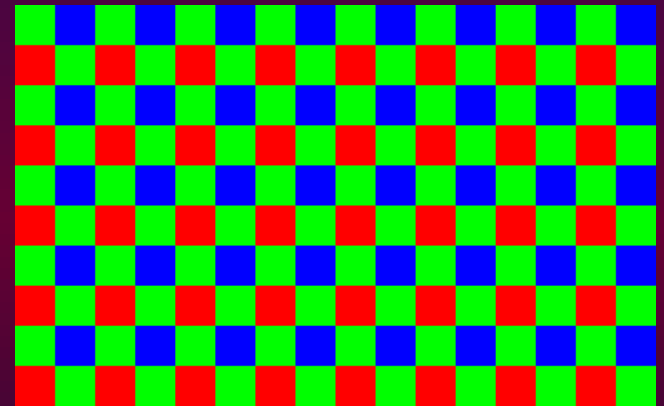
Γιάννης Σειραδάκης  
Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

# Πλακίδια συσκευών συζευγμένου φορτίου Charged Coupled Devices - CCD:



Ένα τυπικό πλακίδιο CCD. Πηγή:  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikon\\_D70S\\_CCD\\_sensor.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikon_D70S_CCD_sensor.jpg)

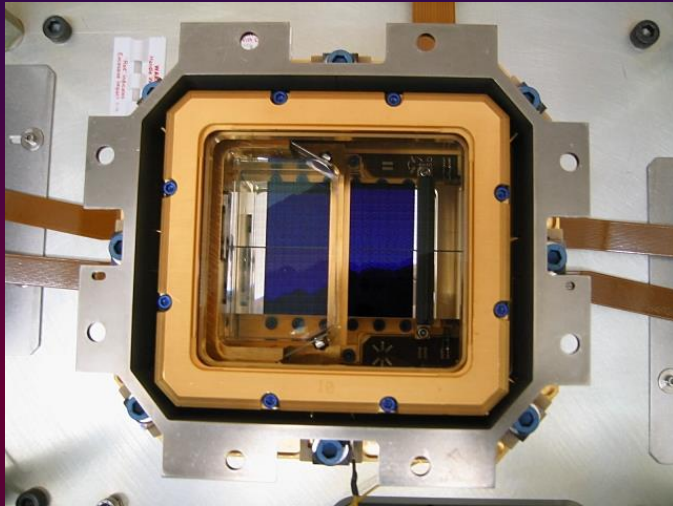
Ένα τυπικό πλακίδιο CCD



Διάταξη χρωμάτων στις  
φωτοευαίσθητες ψηφίδες. Πηγή:  
[http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bay  
er\\_matrix.svg](http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bay_er_matrix.svg)

Διάταξη χρωμάτων στις  
φωτοευαίσθητες ψηφίδες

# Πλακίδια CCD σε διαστημικές αποστολές



Τα 4 CCD του CoRoT

## Τα 4 CCD του CoRoT

Ψηφίδες:  $2048 \times 2048$

$13.5 \times 13.5 \mu\text{m}^2$

$2.32 \times 2.32 \text{ arcsec}$

17 000 000 ψηφίδες



Τα 42 CCD του Kepler. Πηγή:  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/  
File:Kepler\\_CCD\\_matrix.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler_CCD_matrix.jpg)»

## Τα 42 CCD του Kepler

Ψηφίδες:  $2200 \times 1024$

$22.3 \times 22.3 \mu\text{m}^2$

$3.83 \times 3.83 \text{ arcsec}$

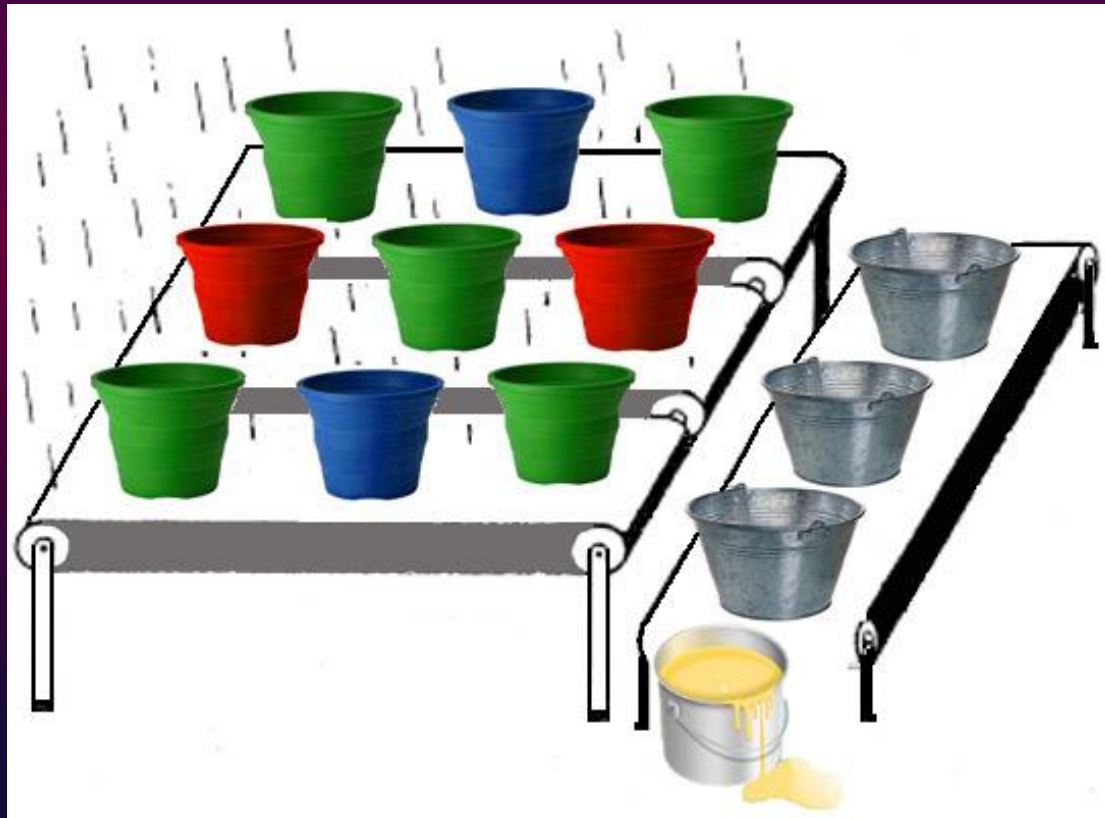
95 000 000 ψηφίδες

# Βασική λειτουργία των φωτοευαίσθητων πλακιδίων

## Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

- Τα φωτόνια των αστέρων δημιουργούν φωτοηλεκτρόνια (φορτίο) σε κάθε pixel του πλακιδίου
- Συσσώρευση φωτοηλεκτρονίων κατά τη διάρκεια της έκθεσης
- Μετά το πέρας της έκθεσης (κλείσιμο του διαφράγματος) μετατροπή του φορτίου κάθε pixel σε διαφορά τάσης (volt)
- Μετατροπή των volt σε ψηφιακή συχνότητα (Analog to-Digital Converter – ADC )
- Η συχνότητα μετριέται σε αριθμούς, ADU (Analog-to-Digital Units), οι οποίοι αποθηκεύονται

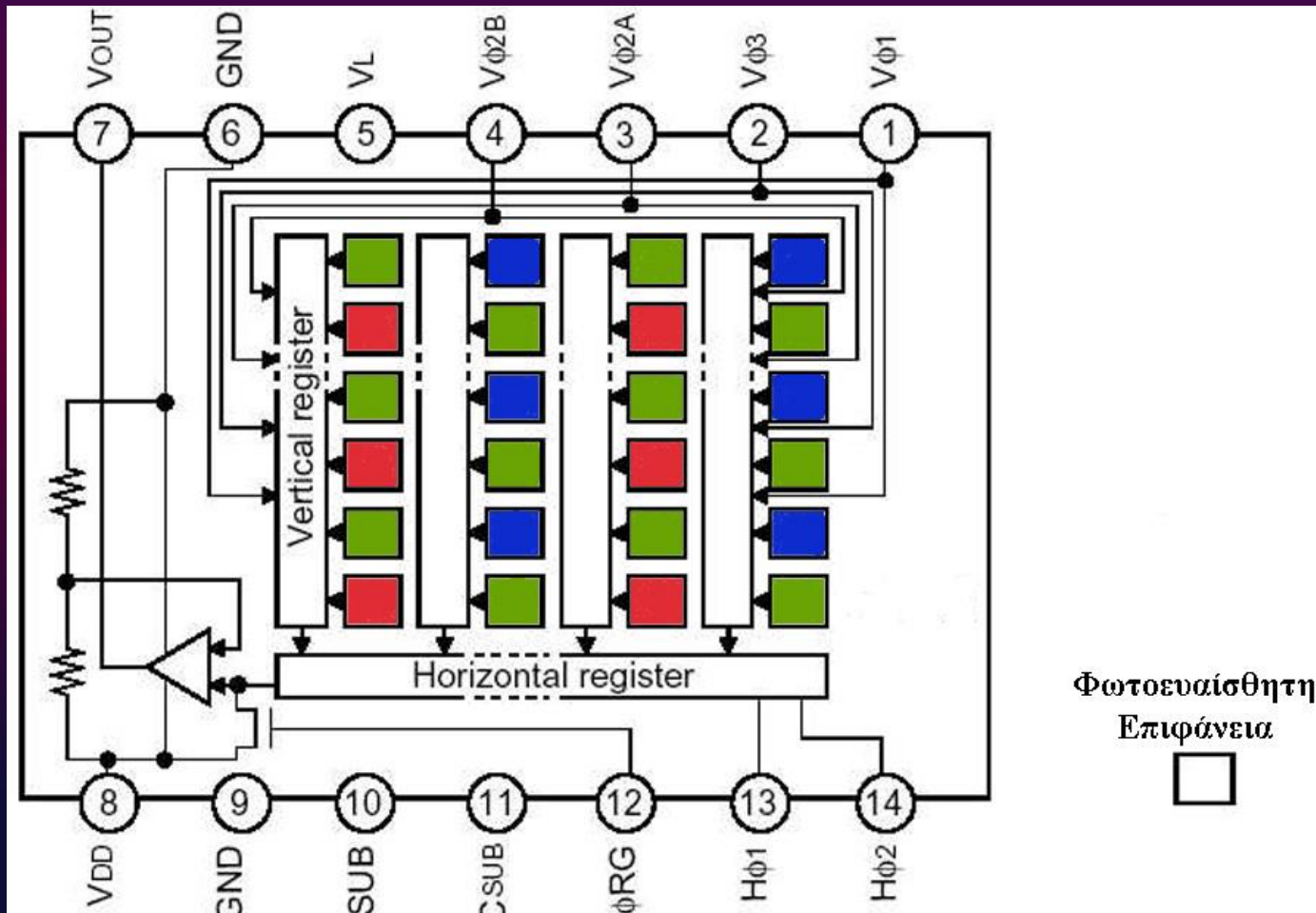
# Βασική λειτουργία των φωτοευαίσθητων πλακιδίων



Ανάγνωση και καταγραφή δεδομένων.



# Βασική λειτουργία των φωτοευαίσθητων πλακιδίων



Ανάγνωση και καταγραφή δεδομένων.

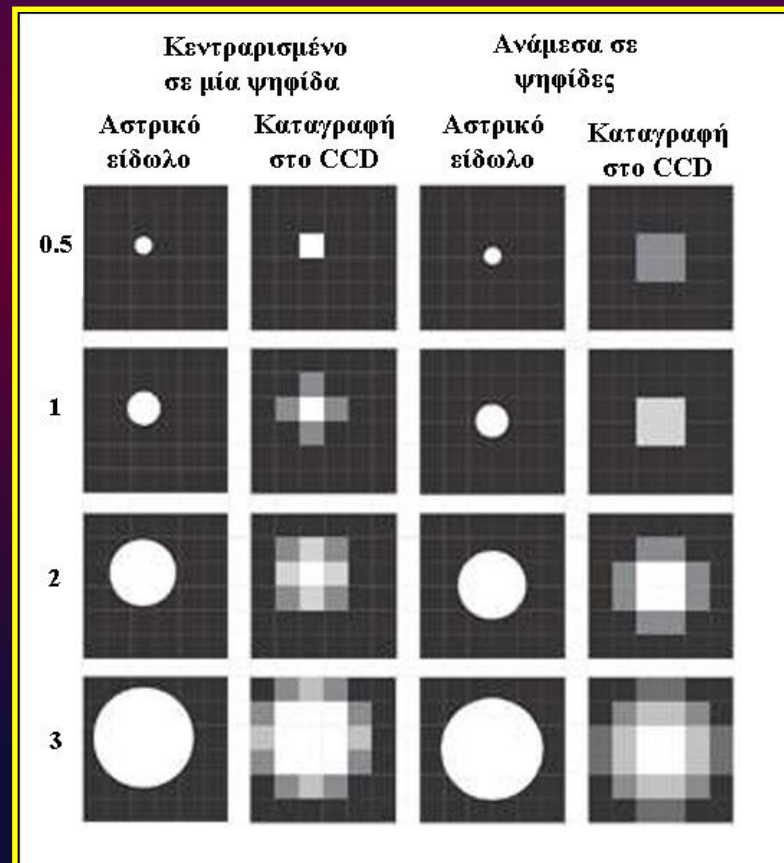
# Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, CCD (κάμερες CCD)

- Είναι κανονικές φωτογραφικές μηχανές που αντί για φιλμ έχουν (συνήθως) ένα πλακίδιο CCD
- Ενίοτε έχουν δύο πλακίδια (πλακίδιο οδήγησης ή για ταχύτερη αποθήκευση των δεδομένων)
- Έχουν φακό, διάφραγμα και γενικά διαθέτουν όλες τις λειτουργίες μιας κοινής φωτογραφικής μηχανής
- Συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## 1. Θόρυβος (θερμικός – ψύξη της κάμερας)

## 2. Διαστάσεις των pixel (pixel size)



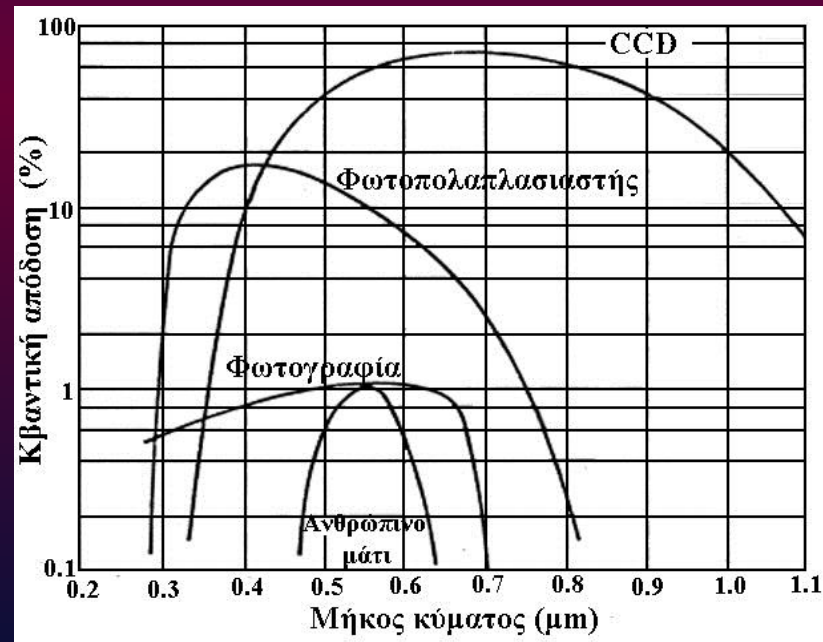
Διαστάσεις των pixel (pixel size).

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## 3. Αποθηκευτική χωρητικότητα (well capacity)

Πόσα ηλεκτρόνια μπορεί να αποθηκεύσει ένα pixel (της τάξης των  $10^5$ )

## 4. Κβαντική απόδοση



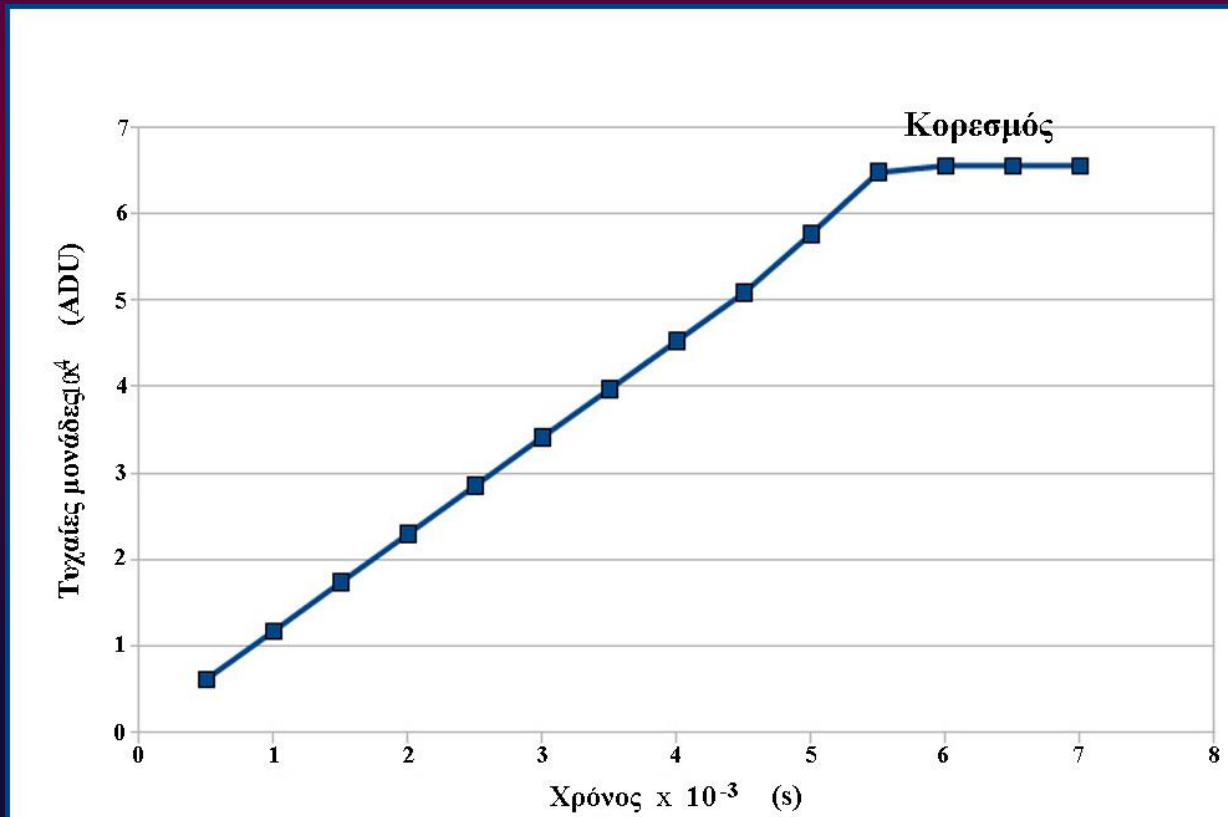
Διάγραμμα της κβαντικής απόδοσης ανά μήκος κύματος ακτινοβολίας.

## 5. Εύρος φασματικής ευαισθησίας (band pass)

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

6. Κορεσμός (saturation)

7. Γραμμικότητα



Τεστ γραμμικότητας για την CCD κάμερα Atik 314L+.

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## 8. Χρόνος ανάγνωσης (download time)



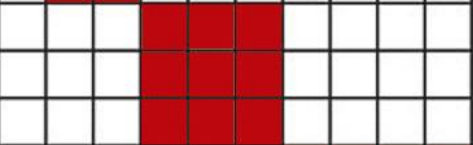
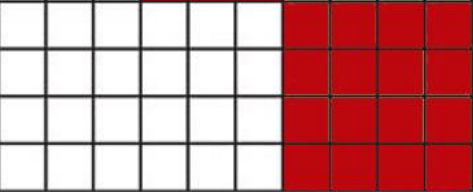
Εξαρτάται από το μέγεθος του πλακιδίου, την απολαβή και την ομαδοποίηση

## 9. Απολαβή (gain)

Πόσα ηλεκτρόνια μας δίνουν 1 ADU

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## 10. Ομαδοποίηση των pixel (binning)

Αριθμός ψηφιδών	Ομαδοποίηση ψηφιδών σε ένα πλακίδιο CCD
Χωρίς ομαδοποίηση	
2 x 2	
3 x 3	
4 x 4	

Ομαδοποίηση των pixel (binning)

## 11. Θόρυβος ανάγνωσης (readout noise)

Ανεπιθύμητα ηλεκτρόνια (από τα ηλεκτρικά κυκλώματα) κατά την ανάγνωση

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## 12. Επίπεδο θορύβου μηδενικής έκθεσης (bias level)

ADU που αντιστοιχεί στο φορτίο των μη εκτεθειμένων (“άδειων”) pixel

## 13. Ρεύμα σκότους (dark current)

Ρεύμα που οφείλεται στη φυσική θερμοκρασία της κάμερας

## 14. Φωτομετρική διόρθωση (flat fielding)

Διαδικασία διόρθωσης πιθανής ανομοιογενούς κβαντικής απόδοσης των pixel



# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## 15. Εκθέσεις βαθμονόμησης (calibration frames)

Πρόσθετες φωτογραφίες για διόρθωση των δεδομένων (τις φωτογραφίες των αστρικών πεδίων)

## 15<sup>α</sup>. Εκθέσεις θορύβου μηδενικής έκθεσης (bias frames)

Εκθέσεις (φωτογραφίες) μηδενικής έκθεσης (με κλειστό διάφραγμα) για εύρεση των φορτίων των “άδειων” pixel

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

## **15<sup>β</sup>. Εκθέσεις ρεύματος σκότους (dark frames)**

Εκθέσεις (φωτογραφίες) κανονικής έκθεσης με κλειστό θόλο και καλυμμένο τηλεσκόπιο για εύρεση των φορτίων των ανεπιθύμητων θερμικών ηλεκτρονίων

## **15<sup>γ</sup>. Εκθέσεις φωτομετρικής διόρθωσης (flat frames)**

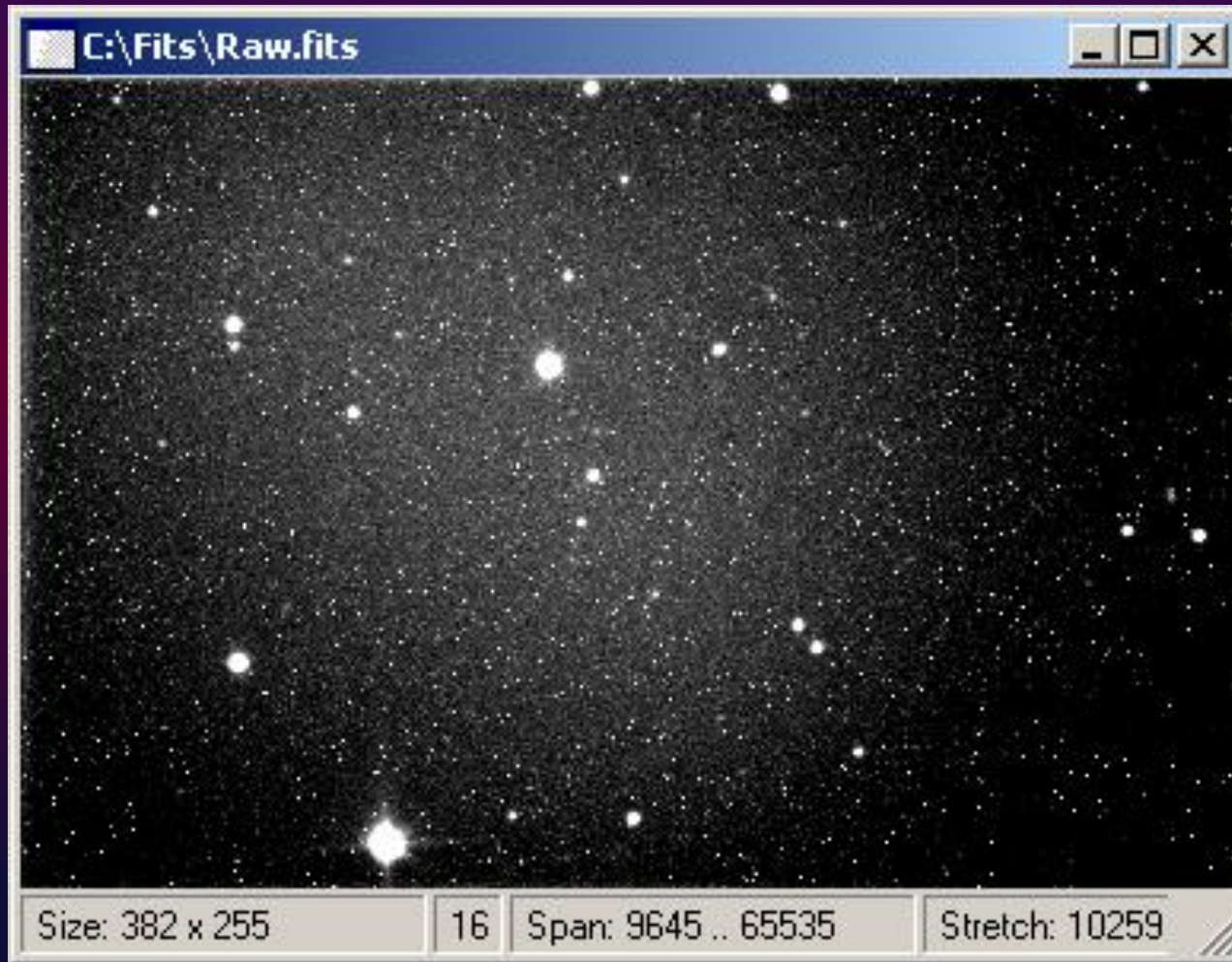
Εκθέσεις (φωτογραφίες) κανονικής έκθεσης σε ισοφωτισμένη επιφάνεια για εύρεση ανομοιογενειών (π.χ. λόγω της κβαντικής απόδοσης των pixel ή σκόνης στο φακό)

# Γλωσσάρι για κάμερες CCD

Η μέση τιμή των εκθέσεων θορύβου μηδενικής έκθεσης (**bias frames**) αφαιρείται τόσο από τη μέση τιμή των εκθέσεων φωτομετρικής διόρθωσης (**flat frames**) όσο και από την κάθε έκθεση του **αστρικού πεδίου**.

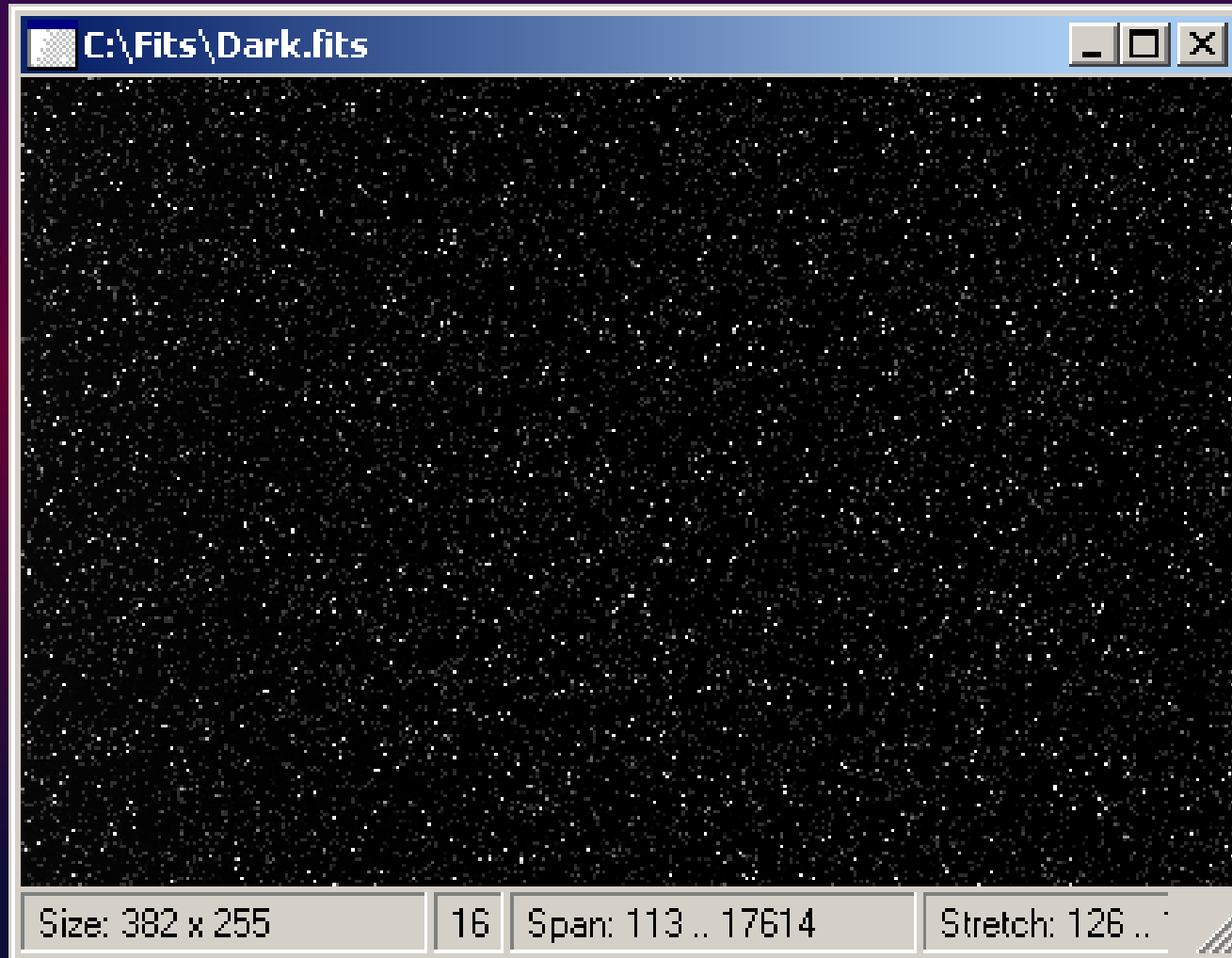
Στη συνέχεια, από την κάθε έκθεση του **αστρικού πεδίου** αφαιρείται η μέση έκθεση ρεύματος σκότους (dark frames) και διαίρεται με τη μέση τιμή των εκθέσεων φωτομετρικής διόρθωσης (**flat frames**).

# Παραδείγματα διορθώσεων



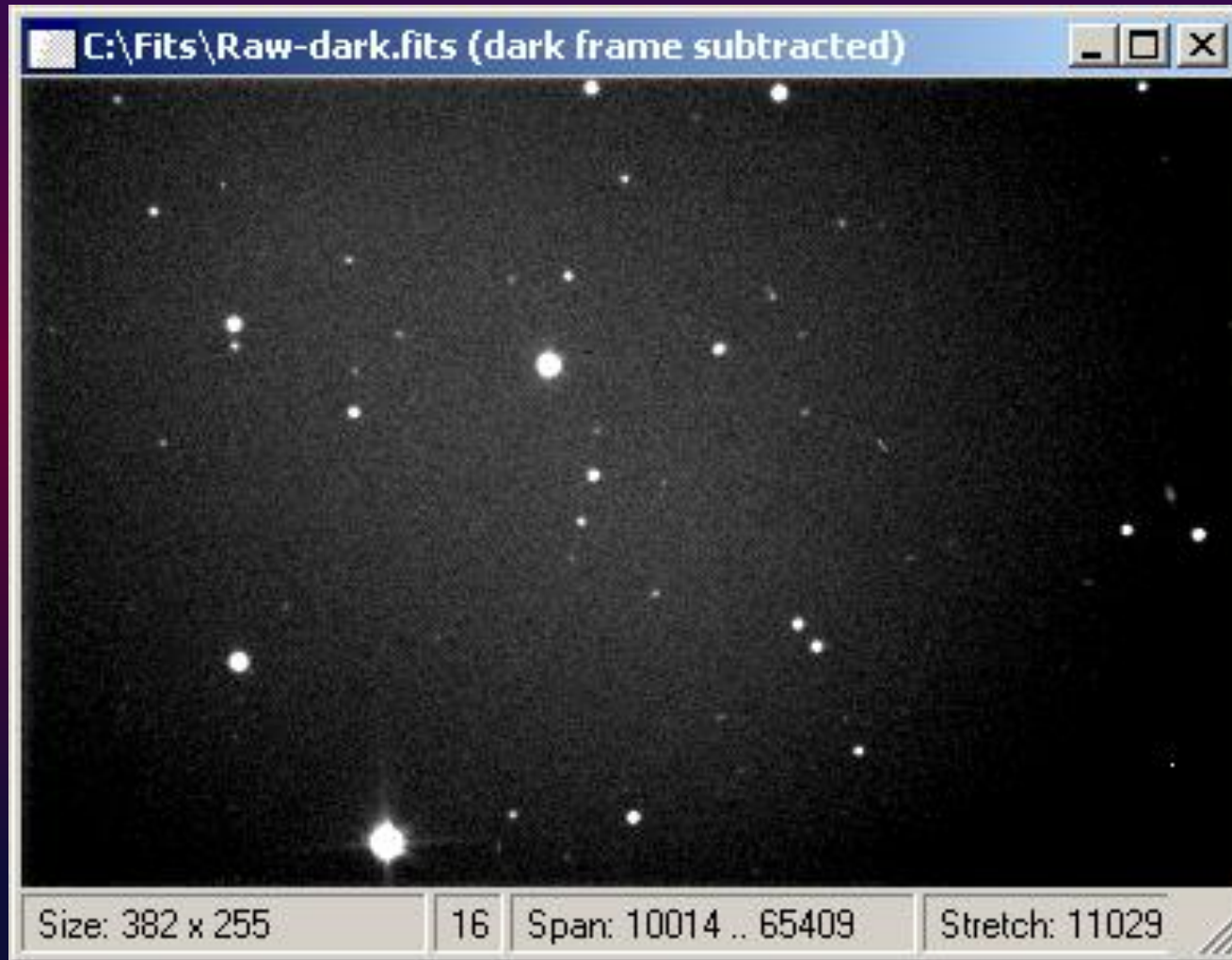
Ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου

# Παραδείγματα διορθώσεων



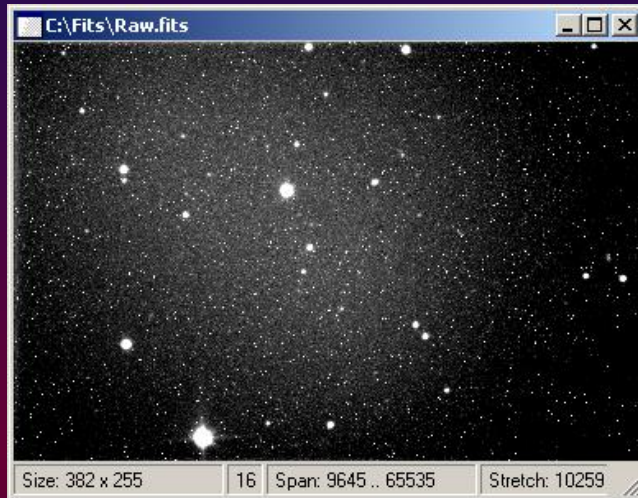
Έκθεση ρεύματος σκότους

# Παραδείγματα διορθώσεων

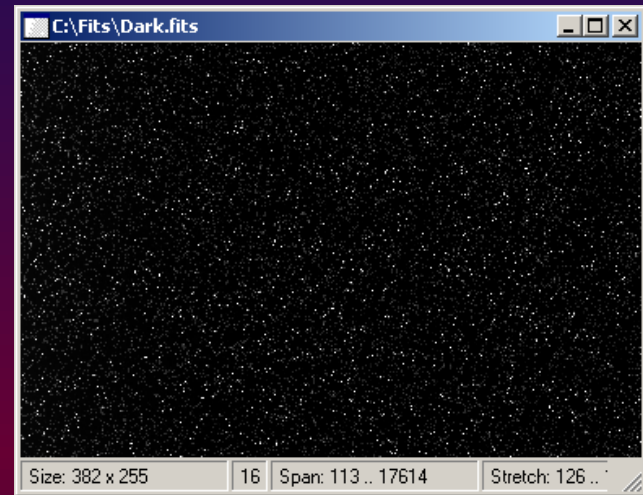


Αφαίρεση της έκθεσης ρεύματος σκότους από την ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου.

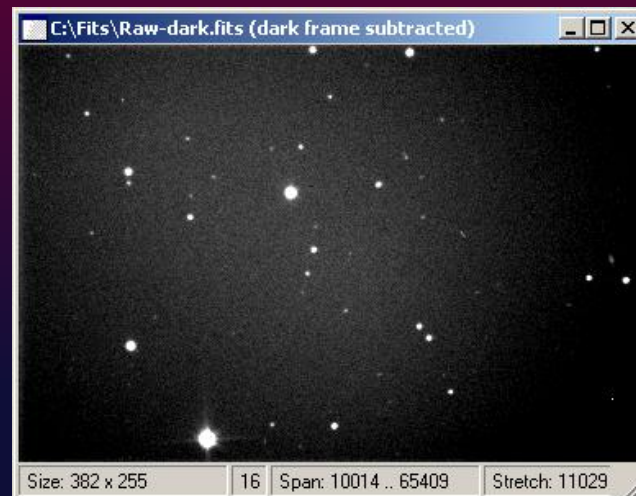
# Παραδείγματα διορθώσεων



Ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου

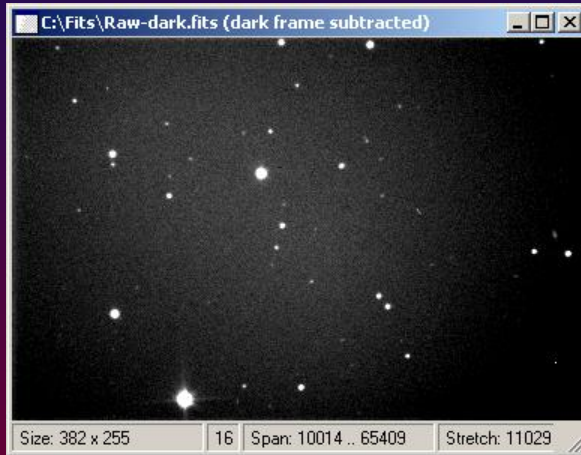


Έκθεση ρεύματος σκότους

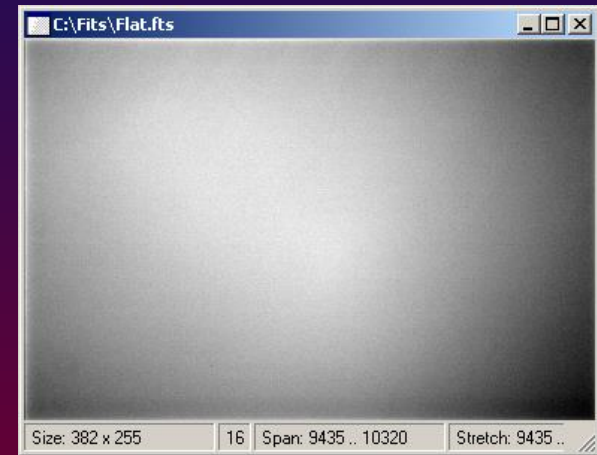


Αφαίρεση της έκθεσης ρεύματος σκότους από την ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου

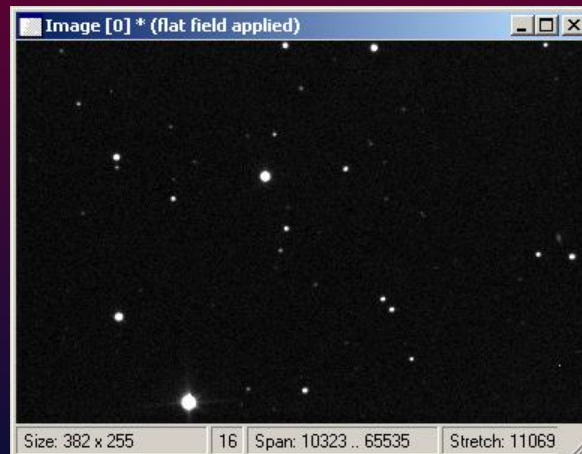
# Παραδείγματα διορθώσεων



Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης της έκθεσης ρεύματος σκότους από την ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου



Έκθεση φωτομετρικής διόρθωσης (flat field)

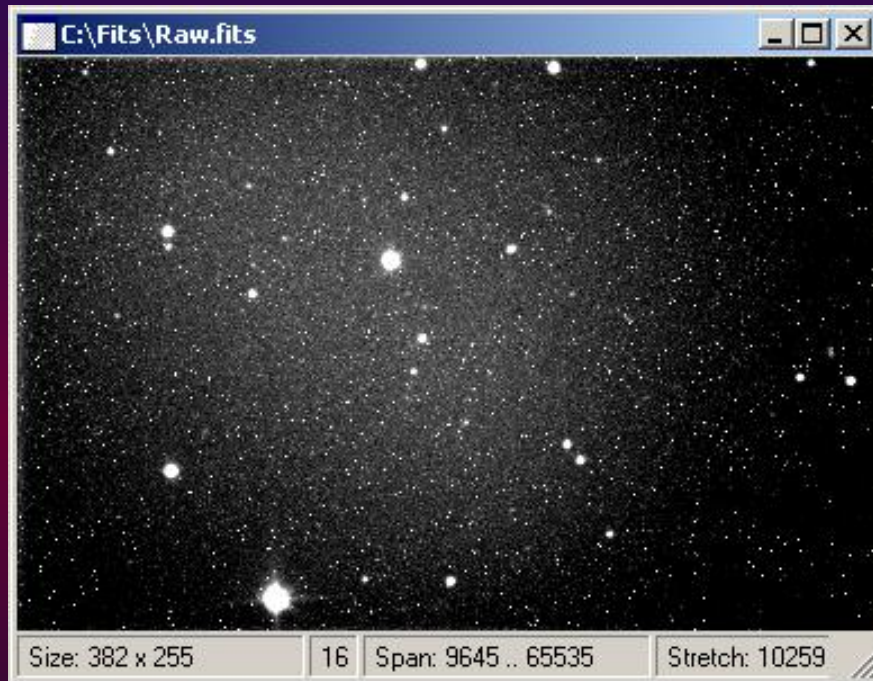


Τελικό αποτέλεσμα

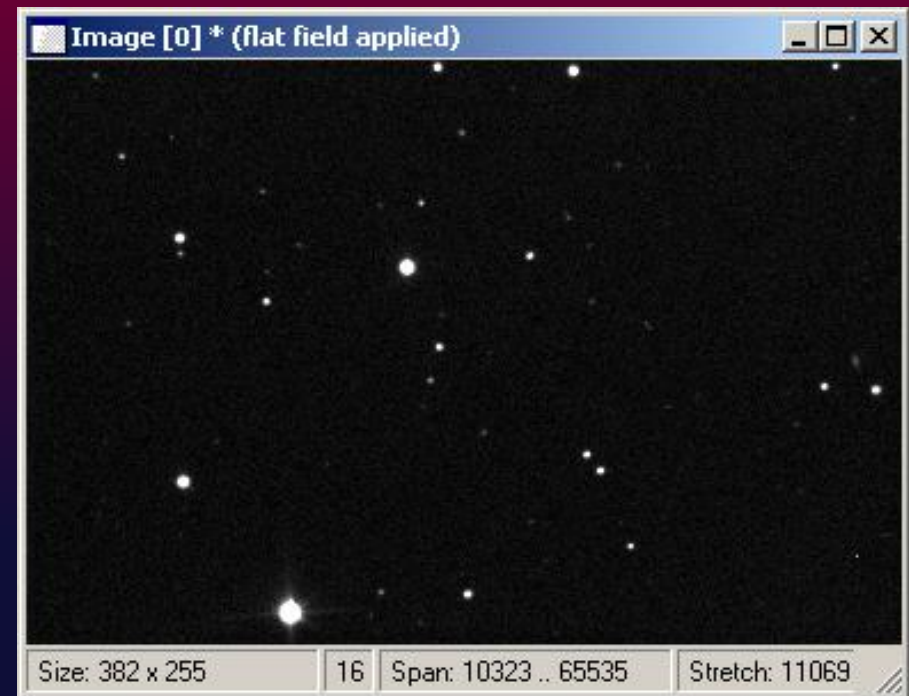
Ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου – Έκθεση ρεύματος σκότους / Έκθεση φωτομετρικής διόρθωσης



# Παραδείγματα διορθώσεων

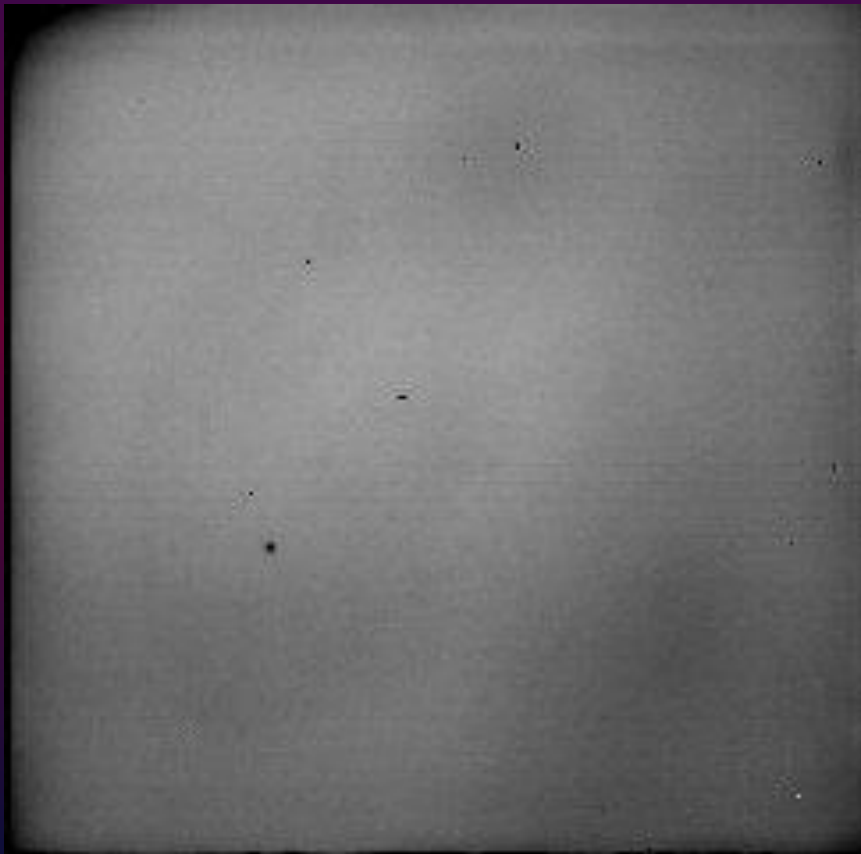


Ανεπεξέργαστη έκθεση

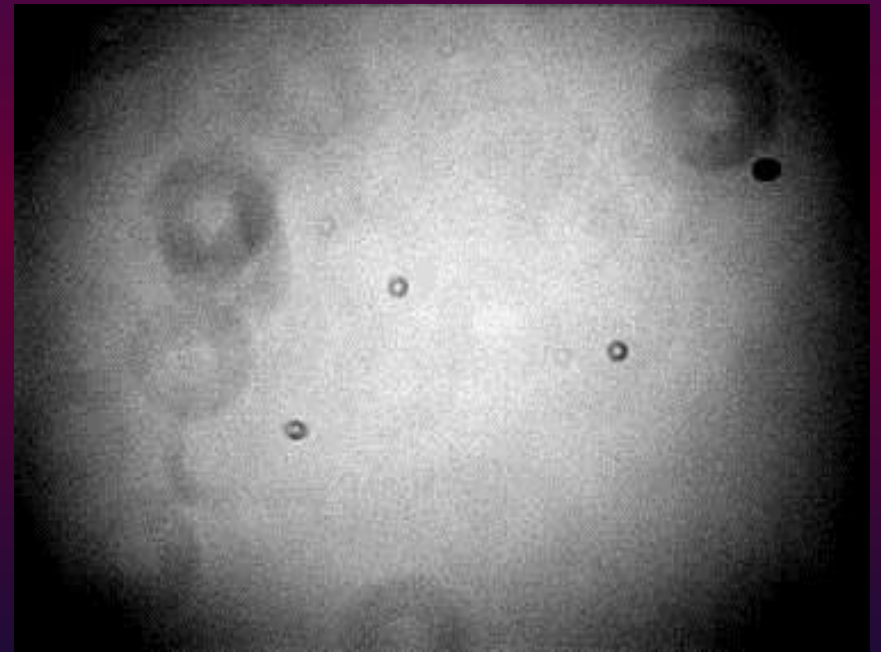


Τελικό αποτέλεσμα

# Παραδείγματα διορθώσεων



Παράδειγμα φωτομετρικής έκθεσης.



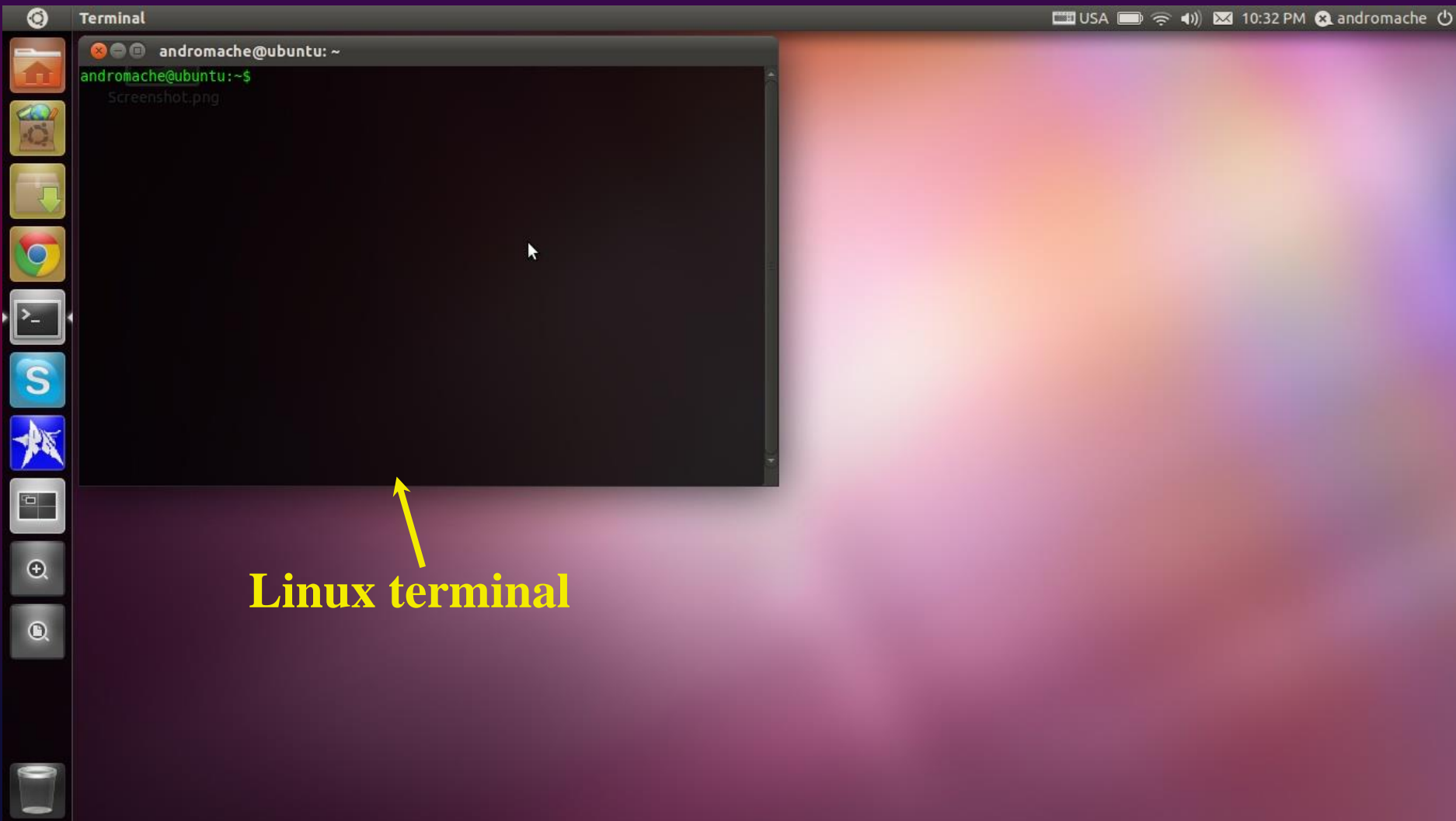
Παράδειγμα φωτομετρικής έκθεσης.

Τυχαία παραδείγματα φωτομετρικών εκθέσεων

# Ανάλυση δεδομένων – Το λογισμικό IRAF

- IRAF (Image reduction and Analysis Facility)  
<http://iraf.noao.edu>
- Άλλα προγράμματα επεξεργασίας δεδομένων:  
STARLINK – MIDAS – DAOPHOT
- Λειτουργικό σύστημα LINUX

# Λειτουργικό σύστημα LINUX



Linux terminal

Λειτουργικό σύστημα LINUX

# Είσοδος στις εφαρμογές IRAF και DS9

The image shows a screenshot of the SAOImage ds9 application interface. The window is titled "SAOImage ds9" and has a menu bar with options: File, Edit, View, Frame, Bin, Zoom, Scale, Color, Region, WCS, Analysis, and Help. The main area is divided into two panes. The left pane is the IRAF terminal, which displays the following text:

```
NOAO/IRAFNET PC-IRAF Revision 2.14.1 Mon Sep 15 10:12:05 MST 2008
This is the RELEASED version of IRAF V2.14 supporting PC systems.

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:

  dataio.  images.  lists.  obsolete.  proto.  system.
  dbms.    language. noao.    plot.      softools. utilities.

ecl> []
```

The right pane is the main DS9 window, which is currently empty. A yellow arrow points from the text "IRAF terminal" to the terminal window. The text "DS9" is written in the main window area. The status bar at the bottom shows a scale from 10 to 90.

**IRAF terminal**

**DS9**

Είσοδος στις εφαρμογές IRAF και DS9

# Εμφάνιση των δεδομένων μας στο DS9

The screenshot displays the SAOImage ds9 application window. On the left, the IRAF command line interface is visible, showing the following text:

```
NOAO/IRAFNET PC-IRAF Revision 2.14.1 Mon Sep 15 10:12:05 MST 2008
This is the RELEASED version of IRAF V2.14 supporting PC systems.

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:

  dataio,  images,  lists,  obsolete,  proto,  system,
  dbms,    language, noao,   plot,     softtools, utilities,

ec1> █
```

The main window shows the file 'bias30.fit' with the following parameters:

File	bias30.fit			
Object				
Value	4675			
WCS				
Physical	X	1098.659	Y	923.929
Image	X	1098.659	Y	923.929
Frame 3	Zoom	0.197	Angle	0.000

The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Frame, Bin, Zoom, Scale, Color, Region, WCS, Analysis, Help) and a toolbar with buttons for file, edit, view, frame, bin, zoom, scale, color, region, wcs, help, and zoom levels (to fit, zoom 1/8, zoom 1/4, zoom 1/2, zoom 1, zoom 2, zoom 4, zoom 8). The main display area shows four panels:

- Raw Image**: A grayscale image of a star field.
- Dark Frame**: A grayscale image showing the dark current noise.
- Bias Frame**: A grayscale image showing the bias level.
- Flat Frame**: A grayscale image showing the flat field response.

The x-axis at the bottom of the image panels is labeled with values: 4.79e+03, 4.8e+03, 4.81e+03, 4.82e+03, 4.83e+03, 4.85e+03, 4.86e+03, 4.87e+03, 4.88e+03.

Εμφάνιση των εικόνων στην εφαρμογή DS9

# Πριν και μετά την ανάλυση

SAOImage ds9

File Edit View Frame Bin Zoom Scale Color Region WCS Analysis Help

File: astrometry.fits

Object: [empty]

Value: 694.602

FK5 a: 00:03:42.551 d: +33:32:12.14

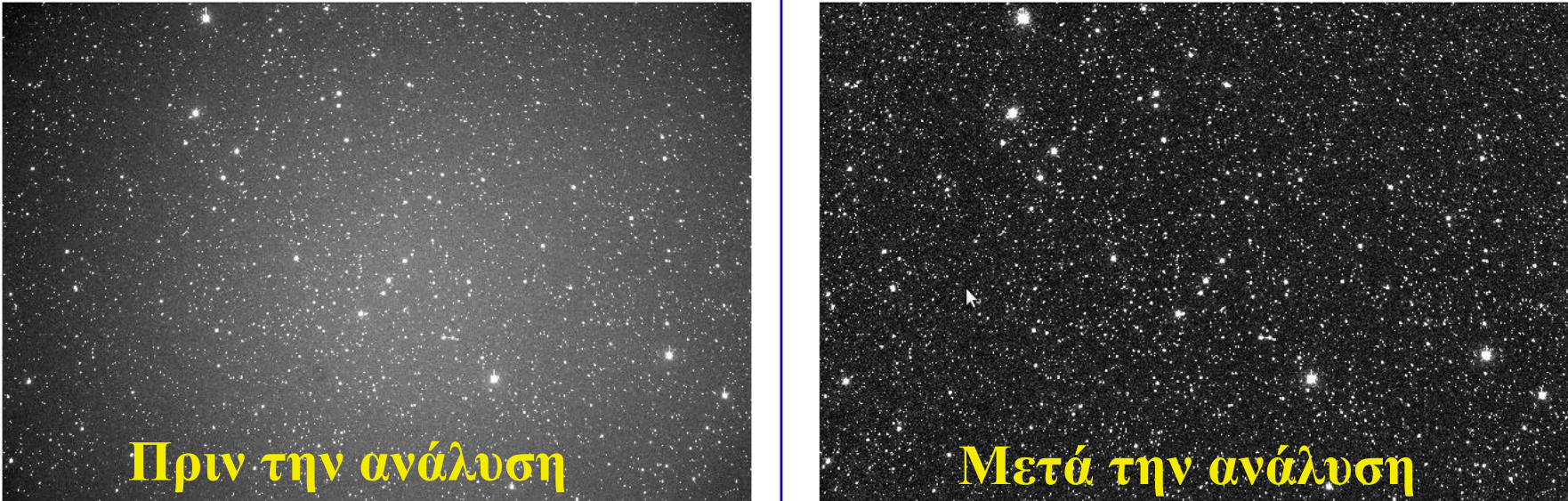
Physical X: 606.175 Y: 877.028

Image X: 606.175 Y: 877.028

Frame 5 Zoom: 0.204 Angle: 0.000

file edit view frame bin zoom scale color region wcs help

linear log power square root squared histogram min max zscale



Πριν την ανάλυση

Μετά την ανάλυση

5.26e+03 5.32e+03 5.38e+03 5.44e+03 5.5e+03 5.56e+03 5.62e+03 5.68e+03 5.74e+03

Οι εικόνες πριν και μετά την ανάλυση.

# Προσαρμογή μιας Γκαουσιανής σε ένα αστέρι

The screenshot displays the IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) software interface. The top window, titled "SAOImage ds9", shows the "astrometry.fits" file with various parameters. The "Value" field is set to  $>812.849$ . The "Physical" and "Image" coordinates are X: 1561.484 and Y: 1035.129. The "Frame 1" zoom is 3.145 and the angle is 0.000. The bottom window, titled "irafterm", shows a plot of the radial profile of the star. The plot is titled "astrometry.fits: Radial profile at 1489.58 1052.63". The y-axis is labeled "Counts x Pixel" and ranges from 0 to 6000. The x-axis is labeled "Radius" and ranges from 0 to 8. The plot shows a Gaussian fit to the star's profile, with the text "Η Γκαουσιανή" (The Gaussian) and "FWHM" (Full Width at Half Maximum) overlaid. A yellow arrow points to the FWHM value of 2.01. The plot also shows a list of parameters: 6.04, 13.37, 44730., 687.8, 7035., 0.07, 9, 2.69, 1.97, 1.66, 2.01.

Parameter	Value
Value	$>812.849$
Physical X	1561.484
Physical Y	1035.129
Image X	1561.484
Image Y	1035.129
Frame 1 Zoom	3.145
Angle	0.000

astrometry.fits

File Edit View Frame Bin Zoom Scale Color Region WCS Analysis Help

File: astrometry.fits

Object: >812.849

Value: >812.849

WCS:

Physical	X	Y
Image	1561.484	1035.129

Frame 1 Zoom: 3.145 Angle: 0.000

file edit view frame bin zoom scale color region wcs help

new new rgb delete clear single tile blink first previous next last

irafterm

NOAO/IRAF V2.14.1 andromache@ubuntu Tue 23:13:01 01-May-2012  
astrometry.fits: Radial profile at 1489.58 1052.63

Counts x Pixel

Radius

Η Γκαουσιανή

FWHM

6.04 13.37 44730. 687.8 7035. 0.07 9 2.69 1.97 1.66 2.01

Προσαρμογή μιας Γκαουσιανής σε ένα αστέρι.





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Διαφάνεια	Πνευματικά δικαιώματα
Διαφ.1	-
Διαφ.2	-
Διαφ.3	-
Διαφ.4	«CCD κάμερα σε φορητό τηλεσκόπιο του Εργαστηρίου Αστρονομίας του ΑΠΘ»
Διαφ.5	<u>Αριστερά</u> : «Ένα τυπικό πλακίδιο CCD. Πηγή: <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikon_D70S_CCD_sensor.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nikon_D70S_CCD_sensor.jpg</a> » <u>Δεξιά</u> : «Διάταξη χρωμάτων στις φωτοευαίσθητες ψηφίδες. Πηγή: <a href="http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bayer_matrix.svg">http://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Bayer_matrix.svg</a> »
Διαφ.6	<u>Αριστερά</u> : «Τα 4 CCD του CoRoT. Πηγή: Δημ. Μισλής» <u>Δεξιά</u> : «Τα 42 CCD του Kepler. Πηγή: <a href="http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler_CCD_matrix.jpg">http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kepler_CCD_matrix.jpg</a> »
Διαφ.7	-
Διαφ.8	«Ανάγνωση και καταγραφή δεδομένων.» Φωτογραφία επεξεργασμένη από τον κ.Σειραδάκη
Διαφ.9	«Ανάγνωση και καταγραφή δεδομένων.» Φωτογραφία επεξεργασμένη από τον κ.Σειραδάκη
Διαφ.10	-
Διαφ.11	«Διαστάσεις των pixel (pixel size).» Φωτογραφία επεξεργασμένη από τον κ.Σειραδάκη
Διαφ.12	«Διάγραμμα της κβαντικής απόδοσης ανά μήκος κύματος ακτινοβολίας.» Φωτογραφία επεξεργασμένη από τον κ.Σειραδάκη
Διαφ.13	«Τεστ γραμμικότητας για την CCD κάμερα Atik 314L+.» Φωτογραφία επεξεργασμένη από τον κ.Σειραδάκη
Διαφ.14	-
Διαφ.15	«Ομαδοποίηση των pixel (binning).» Φωτογραφία επεξεργασμένη από τον κ.Σειραδάκη
Διαφ.16	-
Διαφ.17	-
Διαφ.18	-
Διαφ.19	-
Διαφ.20	«Ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου». Από software
Διαφ.21	«Έκθεση ρεύματος σκότους». Από software
Διαφ.22	«Αφαίρεση της έκθεσης ρεύματος σκότους από την ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου». Από software
Διαφ.23	<u>Επάνω αριστερά</u> : «Ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου». Από software <u>Επάνω δεξιά</u> : «Έκθεση ρεύματος σκότους». Από software <u>Κάτω</u> : «Αφαίρεση της έκθεσης ρεύματος σκότους από την ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου». Από software

# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Διαφ.24	<u>Επάνω αριστερά:</u> «Το αποτέλεσμα της αφαίρεσης της έκθεση ρεύματος σκότους από την ανεπεξέργαστη έκθεση αστρικού πεδίου». Από software – δε χρειάζεται άδεια <u>Επάνω δεξιά:</u> «Έκθεση φωτομετρικής διόρθωσης (flat field)». Από software <u>Κάτω:</u> «Τελικό αποτέλεσμα». Από software
Διαφ.25	<u>Επάνω αριστερά:</u> «Ανεπεξέργαστη έκθεση». Από software <u>Κάτω δεξιά:</u> «Τελικό αποτέλεσμα». Από software
Διαφ.26	<u>Αριστερά:</u> «Παράδειγμα φωτομετρικής έκθεσης.» <u>Δεξιά:</u> «Παράδειγμα φωτομετρικής έκθεσης.»
Διαφ.27	–
Διαφ.28	«Λειτουργικό σύστημα LINUX». Από software
Διαφ.29	«Είσοδος στις εφαρμογές IRAF και DS9». Από software
Διαφ.30	«Εμφάνιση των εικόνων στο DS9». Από software
Διαφ.31	«Οι εικόνες πριν και μετά την ανάλυση». Από software
Διαφ.32	«Προσαρμογή μιας Γκαουσιανής σε ένα αστέρι». Από software
Διαφ.33	«Προσαρμογή μιας Γκαουσιανής σε ένα αστέρι». Από software





# Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Αναστασίου Μαγδαληνή

Θεσσαλονίκη, 15/07/2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

