

Φωτογράφιση Βαθέως Ουρανού

Αντώνης Αγιομαμίτης
(Πάτρα 2007)

Βαθύς Ουρανός

- Γαλαξίες, Νεφελώματα, Σμήνη, Αστέρες (πχ. Άνθρακα, διπλοί)
- Αμυδρά αντικείμενα
 - Ηλιος → μέγεθος -26.7
 - Σελήνη → μέγεθος -11.4
 - Πλανήτες → μέγεθος < -3.7
 - Βαθύς Ουρανός → $3.0 - 15.0$ και χαμηλότερα
- Μικρά αντικείμενα
- Διαφάνεια σημαντική (έναντι πλανητικής φωτογράφισης)
- «Seeing» λιγότερο σημαντικός (έναντι πλανητικής φωτογράφισης)
- Ποιότητα εξοπλισμού σημαντικός παράγοντας
 - Ευαισθησία κάμερας (βλ. αμυδρά αντικείμενα)
 - Ισημερινή Βάση (βλ. μακρόχρονες εκθέσεις)
 - Εστίαση – θερμοκρασία λόγω μακρόχρονων εκθέσεων

Εξοπλισμός

- Κάμερα (CCD)
 - Μεγάλη ευαισθησία
 - 1 δευτερόλεπτο έκθεση → μέγεθος 10
 - 60 δευτερόλεπτα έκθεση → μέγεθος 14
 - ΠΡΟΒΛΗΜΑ: Θερμικός θόρυβος !!!
- Ισημερινή βάση
 - εκθέσεις από 3' μέχρι 60' ανά έκθεση συχνό
 - όριο σχετικά με τα κιλά βάρος εξοπλισμού
- Δίλημμα: Καλή ισημερινή βάση η/ καλά οπτικά ?????

CCD κάμερα – SBIG ST-2000XM



1/27/2008

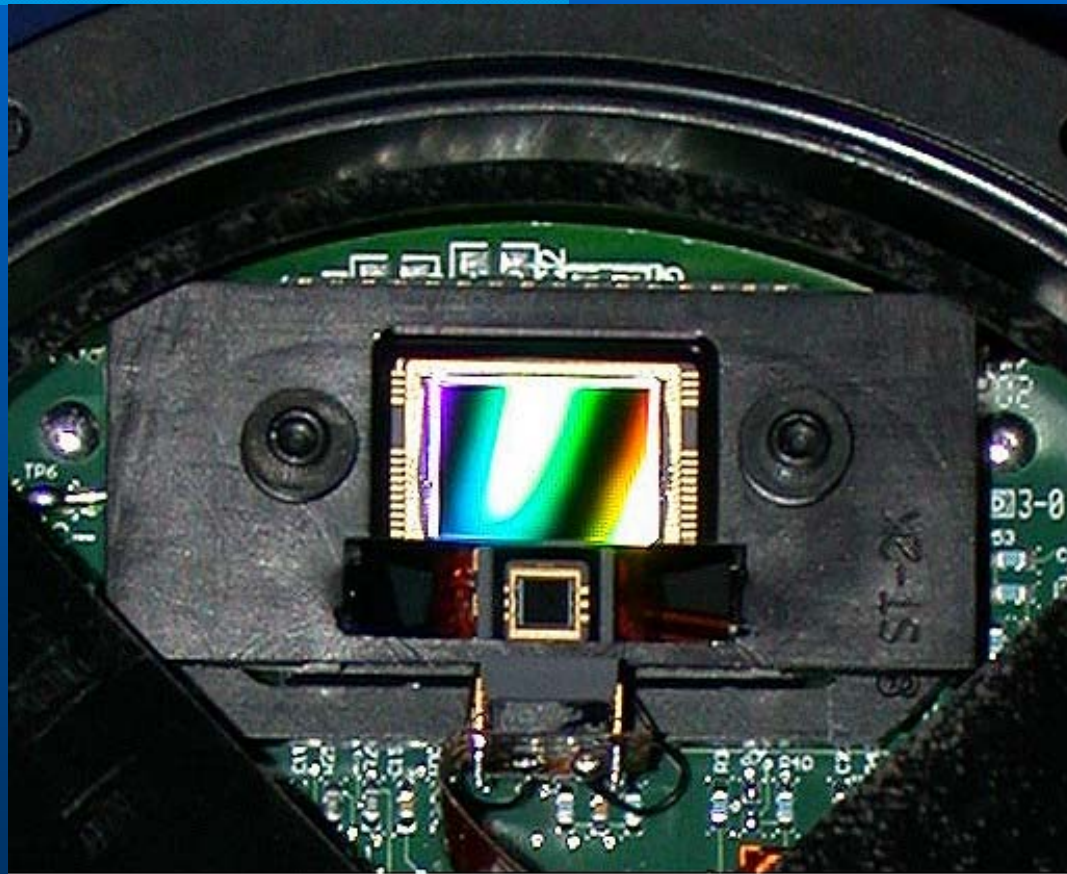
CCD κάμερα - Συνδέσεις



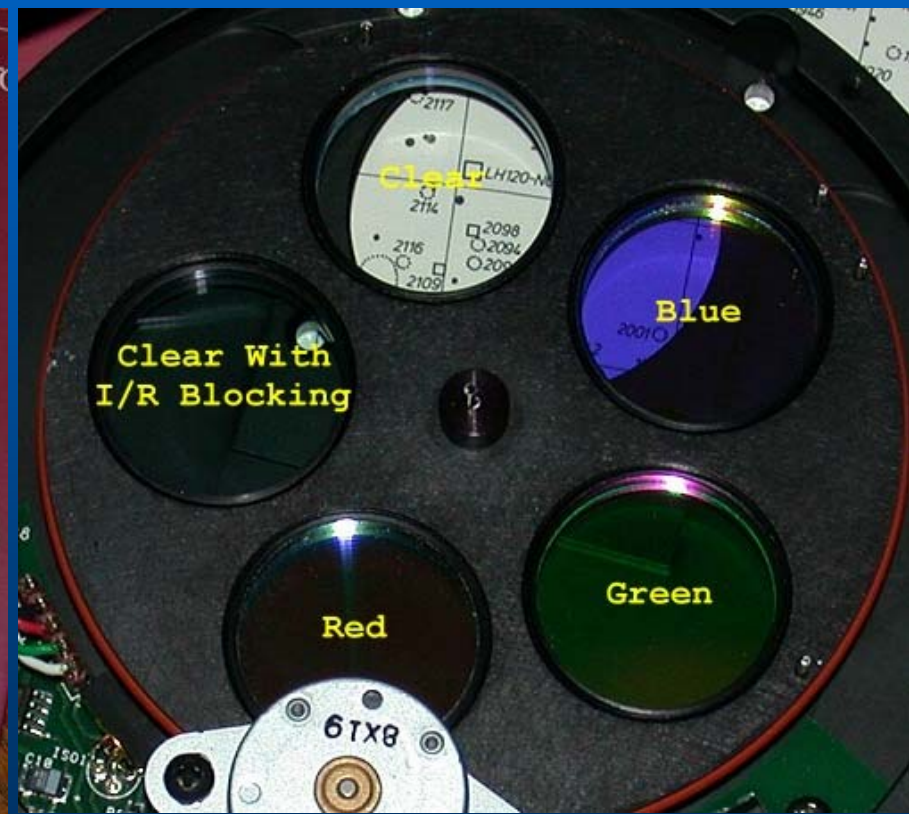
CCD κάμερα – Διπλός Αισθητήρας



CCD κάμερα – 1600 x 1200 @ 7.4μ



CCD κάμερα – CFW-8A LRGB



CCD κάμερα – ST-2000XM+CFW8A



Γενικά Βήματα

- Εστίαση ... ΟΛΑ τα λεφτά !
- Πεδίο
 - Συνδυασμός Τηλεσκόπιο + Κάμερα (πχ. 25' επι 35')
 - Στόχος (πχ. 20' επι 20')
- Ψύξη → -30 βαθμούς Κελσίου από περιβαλλοντική θερμ.
- Λήψεις → Είδους (RGB, LRGB, HaGB, RRGB, LHaGB)
- Ιστογράμματα → Χρόνος έκθεσης / Φωτορύπανση
- Επεξεργασία
 - Μείωση θορύβου με επιπλέον εκθέσεις
 - Αξιοποίηση σήματος

Εστίαση

- Τηλεσκόπιο Κάθετο Γιατί;;;;
 - Ο ουρανός είναι όσο το δυνατόν σκοτεινότερος
 - Το “seeing” είναι όσο το δυνατόν καλύτερο
 - Η επιρροή της απορρόφησης (“atmospheric extinction”) είναι όσο το δυνατόν ελάχιστη
 - Επιλέγουμε αμυδρό αστέρα για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα
- Καλή εστίαση → Καλό τελικό αποτέλεσμα

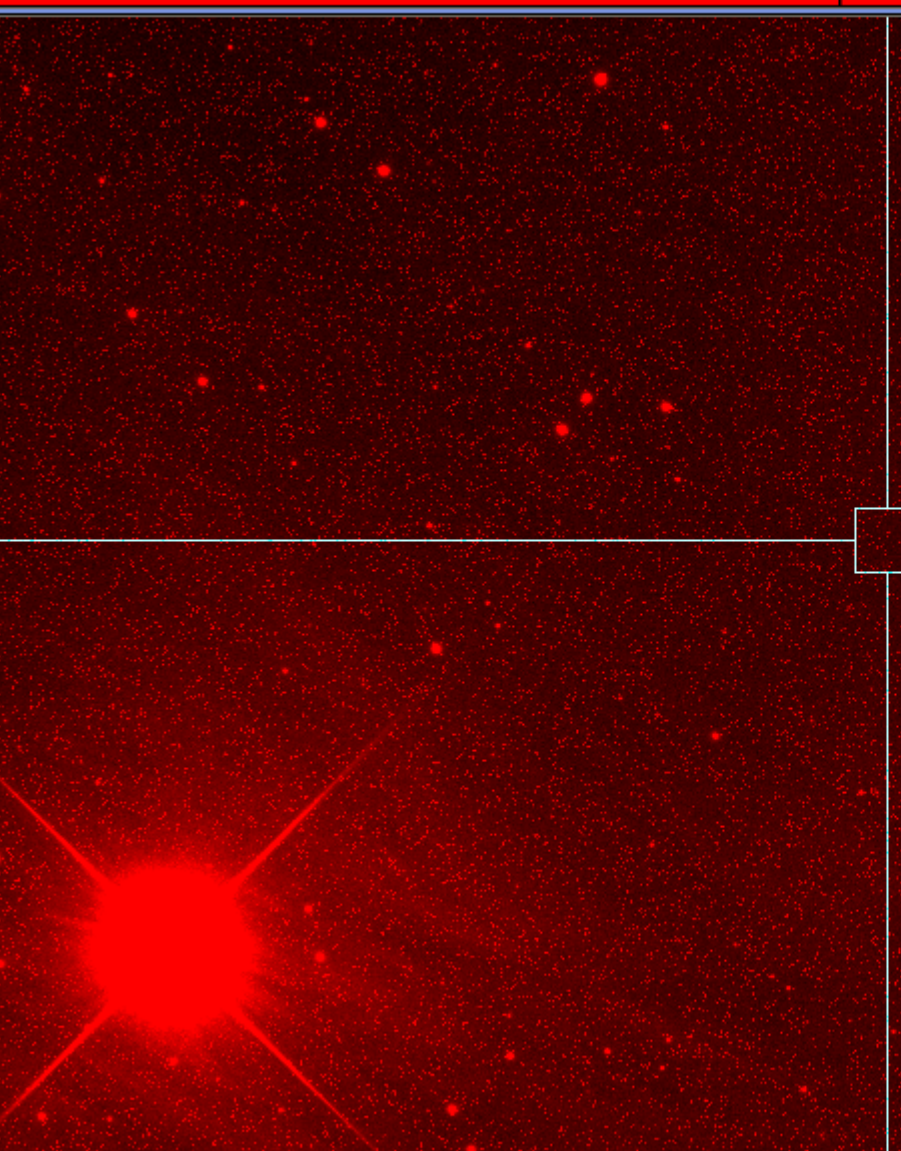
Πεδίο –Τηλεσκόπιο + κάμερα

- Πχ. SBIG ST-2000XM

- Διαστάσεις αισθητήρα: 1600 επί 1200 pixels @ 7.4μ
- Ανάλυση = 206 x μέγεθος ενός pixel / εστ. απόσταση τηλεσκοπίου
 - AP160/f7.5 → εστιακή απόσταση = 1200 μμ
 - ανάλυση = $206 \times 7.4 / 1200 = \underline{1.27''/\text{pixel}}$ (κάλυψη ουρανού)
 - αισθητήρας: 1600 επί 1200 pixels
 - $1600 \text{ pixel} \times 1.27'' / \text{pixel} = 2032'' = 33.87' (=2032/60)$
 - $1200 \text{ pixel} \times 1.27'' / \text{pixel} = 1524'' = 25.40' (=1524/60)$
 - πεδίο κάλυψης = $33.87' \times 25.40'$ (κάλυψη ουρανού)
 - προσοχή με κάμερες με μη-τετραγωνικά pixel
 - Πχ. Starlight Xpress
 - μειωτής / barlow → αλλαγή στην ανάλυση και πεδίο κάλυψης
 - Πχ. AP 0.75x → εστ. απόσταση = $0.75 \times 1200\mu\text{m} = \underline{900\mu\text{m}} \rightarrow \underline{1.69''/\text{pixel}}$
 - Πχ. AP 2x Barlow → εστ. απόσταση = $2 \times 1200\mu\text{m} = \underline{2400\mu\text{m}} \rightarrow \underline{0.64''/\text{pixel}}$

Ψύξη - Σωσίβιο

- Θερμικός θόρυβος είναι ο ΠΟΙΟ σημαντικός αρνητικός παράγοντας όσον αφορά την χρήση κάμερας τύπου CCD
- Λύση είναι απλή και αποτελεσματική ... ΨΥΞΗ !!!!!
- Με μείωση στην λειτουργική θερμοκρασία του αισθητήρα, παρατηρούμε ανάλογη μείωση στον θερμικό θόρυβο
- Με κάθε $-7.0\beta\text{ K}$, ο θόρυβος μειώνεται κατά 50% !!!!
- SBIG ST-2000XM – ικανότητα για $-35\beta\text{ K}$ απο περ. θερμοκρασία
 - Καλοκαίρι: περ. θερμοκρασία $\sim 20\beta\text{ K} \rightarrow$ αισθ @ $\sim -10\beta\text{ K}$
 - Χειμώνας: περιβαλλοντική θερμοκρασία $\sim 5-10\beta\text{ K} \rightarrow$ αισθ @ $\sim -25\beta\text{ K}$
 - μεγαλύτερο περιθώριο για απόκτηση «βαθύτερου» σήματος



Camera Control

Setup Take Image Focus Tools Autoguide Color AutoSave

Exposure: Seconds: 6.000 Declination: 0.00

Use guide star at: X: 15 Y: 92

X Error: -0.07 Y Error: 0.00

☐ Reverse X ☒ Show Autoguide

☐ AO enabled ☐ Fan on

Center...

Aggressiveness: 10

Slew rate: 500

X tilt: -- Y tilt: --

Wander: -- First count: -- Count: -- Guide rate: --

Move telescope

W N E S

Take Image Abort Autoguide Settings... Calibrate...

Device	Linked	Status	Temperature	Shutter	Filter	Max
Imager	Yes	Exposing Light (135.55 Left) (2/3)	-7.3° (81%)	Open	Lum	65535
Autoguide	Yes	Exposing Light (0.32 Left)	-7.3° (81%)	Open	Lum	15787



Guiding Error

Max Scale: 1 Division: 0.3333

DX: -7.3602 DY: 1.88827

☒ Log ☐ ArcSec ☐ Reset ☐ Settings ☐ Exit

Marcelo Saavedra -- 2006

Λήψεις

- **RGB / LRGB / HaGB / LHaGB / RRGB**
 - Πχ. Σμήνη → RGB / LRGB
 - Πχ. Γαλαξίες → LRGB / LHaGB
 - Πχ. Νεφελώματα ...
 - Λαμπρά (πχ. M42) → RGB
 - Εκμπομπής (πχ. M1) → HaGB / RRGB
 - Ανακλάσεως (πχ. M45) → LRGB
- **Narrowband – H-a / S-II / O-III**
 - Ιδιαίτερα καλό για καταπολέμηση φωτορυπ.
 - Hubble / ESO-CFHT palette

Ιστογράμματα

- «Σωστό» χρόνο έκθεσης ...
 - Θέμα: Λαμπρότητα Αντικείμενου
 - Θέμα: RGB/LRGB/HaGB/LHaGB/RRGB
 - Θέμα: Φωτορύπανση / Σκοτάδι
- - Στόχοι ...
 - Κάλυψη οριζόντιου άξωνα («dynamic range»)
 - Επιρροή φωτορύπανση («κάθετος άξονας»)



Image Display Control

Current Active Image

NGC7635.00000025.LUM

Display Defaults Imager



User Black/White

3936.81

7280.98

< >

+B Change

C 10 +C

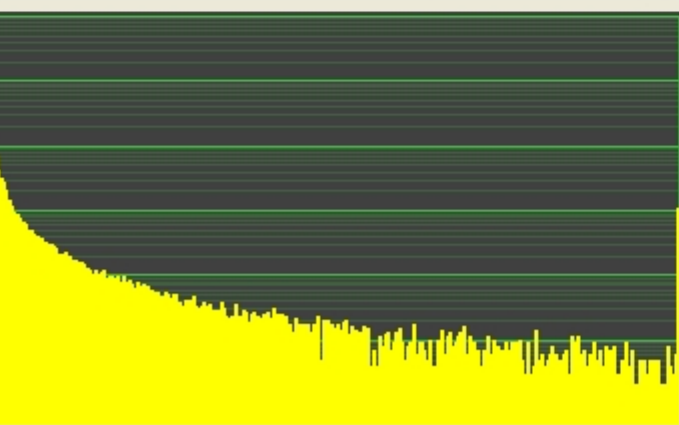
-B <-Slow Fast->

Auto Auto Min/Max

Default B/W

Display Image as Negative

Histogram



60.0 = Min

PV: 64542.0

Max = 65535.0

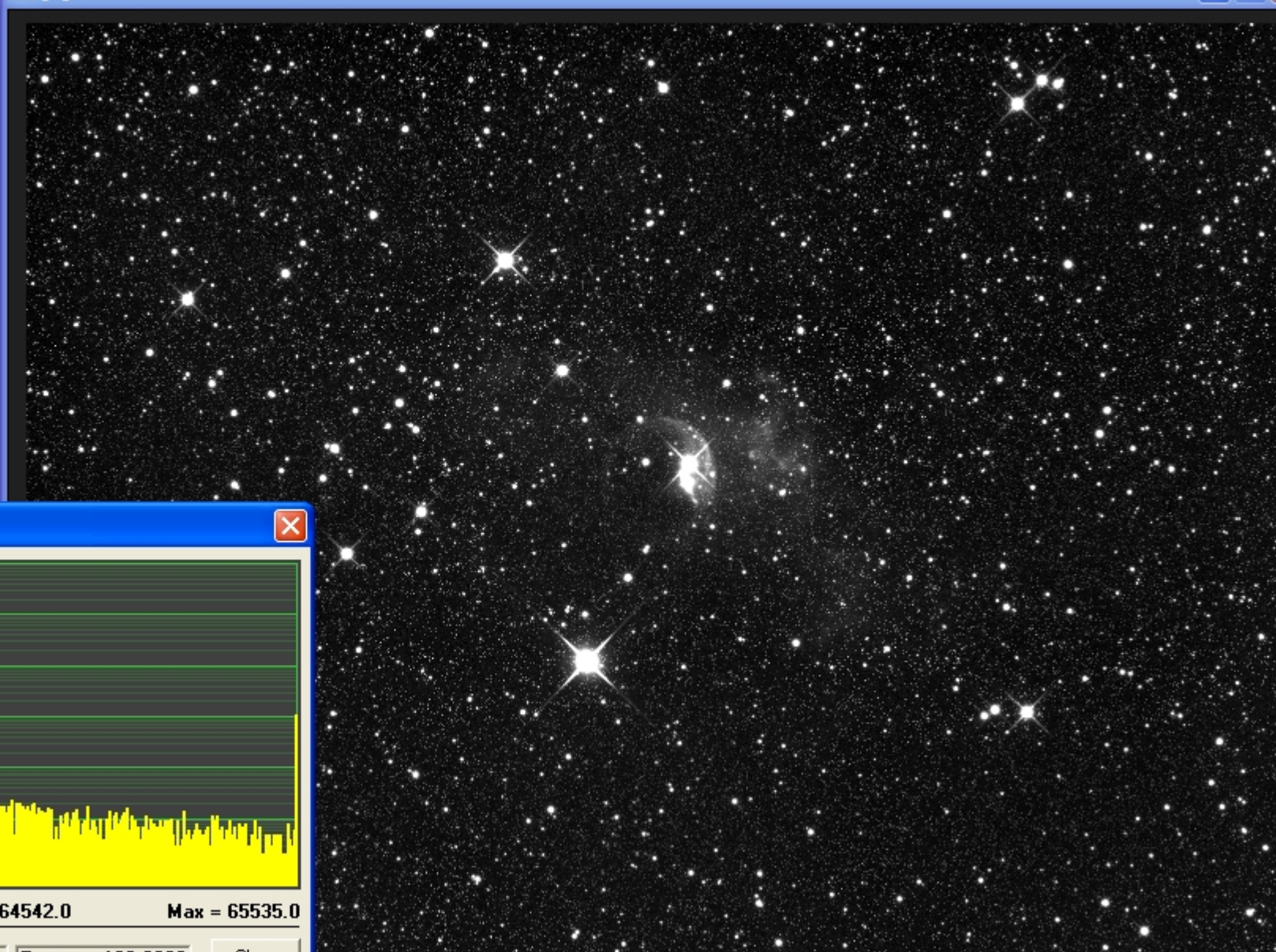
Refresh

Count: 964

Percent: 100.0000

Close

[1] NGC7635.00000025.LUMINANCE.FIT



Επεξεργασία – 1ο τμήμα – Μείωση Θόρυβου

- **CCD = Θόρυβος !!!!**
- **Στόχος: Μείωση θόρυβου → Αύξηση λόγου S/N («Σήμα/Θόρυβο»)**
 - **Ψύξη → -50% με κάθε μείωση 7 βαθμών Κελσίου**
 - **Πολλαπλές εκθέσεις (+100% S/N με 4x εκθέσεις)**
 - **Χρήση Dark frame → Θερμικός θόρυβος**
 - **Χρήση Flat frame → Διαφορετική ευαισθησία μεταξύ pixel (εικονοστοιχείων)**
 - **Χρήση Flat-dark frame → Θερμικός θόρυβος στα flat frame**
 - **Χρήση Bias frame → Τεχνητός θόρυβος**

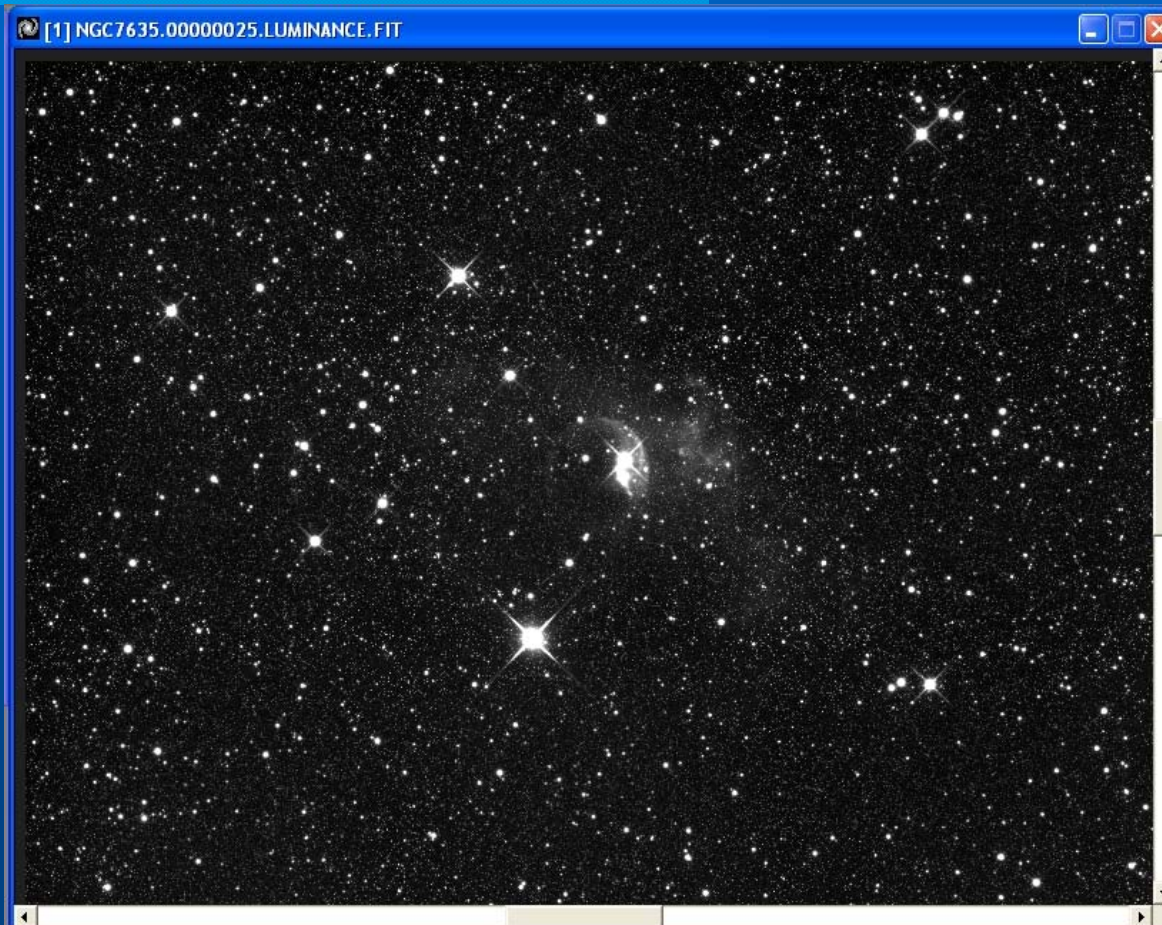
Θερμικός Θόρυβος

- Σημαντικός Παράγοντας (πχ. 1000-3000 ADU)
- Λύση: απόκτηση λήψεων τύπου «dark frame»
 - Διάφραγμα κλειστό (βλ. «dark frame»)
 - Ιδια θερμοκρασία όπως της λήψης LRGB (!)
 - Ιδιο χρόνο έκθεσης όπως της λήψης LRGB (!)
 - Πχ. 15 λήψεις @ -12.5 βαθμούς Κελσίου και 5 λεπτά/έκθεση
 - δημιουργία «master dark frame» @ -12.5β Κ + 5 λεπτά
 - προσθήκη σε «βάση δεδομένων»
 - ανακύκλωση κάθε 2-3 μήνες (η κάθε μήνα)
 - Το «master dark frame» είναι απλά μία ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ μέτρηση/εκτίμηση/ένδειξη
 - Επιχειρούμε μεγάλο δείγμα (πχ. 15-20 λήψεις) για «καλή» στατιστική μέτρηση/εκτίμηση/ένδειξη του θόρυβου
 - ΤΕΛΕΙΑ απασχόληση για ΚΑΘΕ πανσέληνο (νέα master dark)

Μείωση Θόρυβου: Βήμα 1ο

- Λήψη = Σήμα + θερμικό θόρυβο + «τυχαίο» (random) θόρυβο
- master dark frame = θερμικό θόρυβο
- Λήψη – master dark frame
- = (Σήμα + θερμικό θόρυβο + «τυχαίο» (random) θόρυβο) – (θερμικό θόρυβο)
- = Σήμα + «τυχαίο» (random) θόρυβο
- «Τυχαίο» (random) θόρυβο
 - Αντιμετώπιση με χρήση (άθροισμα) πολλαπλών εκθέσεων
 - Λόγος «Σήμα/Θόρυβος» (S/N) αυξάνεται γεωμετρικά με αύξηση λήψεων
 - 1 λήψη → $S/N = \alpha$
 - 4 λήψεις → $S/N = 2\alpha$
 - 9 λήψεις → $S/N = 3\alpha$
 - 16 λήψεις → $S/N = 4\alpha$ κοκ

Λήψη + θόρυβος (θερμικός)



1/27/2008

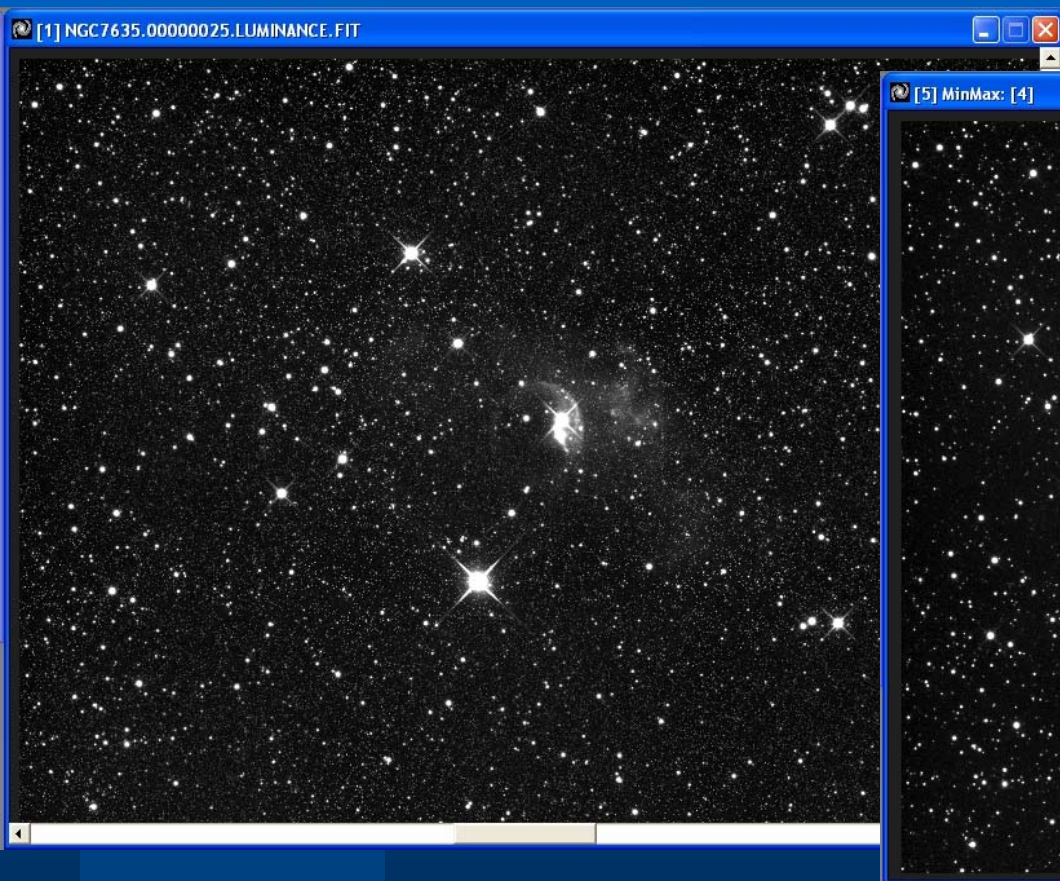
Θόρυβος (θερμικός)



(Λήψη + θόρυβος) – θόρυβος



Πριν και μετά



Στακάρισμα – 12 λήψεις $\rightarrow$ S/N



1/27/2008

Μείωση Θόρυβου: Βήμα 2ο

- 2η πηγή θόρυβου: διαφορετική ευαισθησία μεταξύ εικονοστοιχείων (pixel)
 - ΥΠΟευαίσθητο (πχ. 32,500 ADU αντι 35,500 ADU)
 - ΥΠΕΡευαίσθητο (πχ. 42,500 ADU αντι 39,500 ADU)
- Γιατί;;;;;
 - πρόβλημα είναι ηλεκτρονικό
 - πρόβλημα είναι εξωγενείς
 - πχ. Σκόνη στο φίλτρο
 - πχ. Λεκές (υγρασίας) στο παράθυρο του αισθητήρα
- Λύση ... Απλή και αποτελεσματική → χρήση flat frame
 - Πως
 - Που
 - Ποτε

Flat-box – 1ο μέρος

- Τι είναι ;;;
 - Ομοιόμορφη πηγή φωτός η οποία μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την διαφορετική ευαισθησία μεταξύ εικονοστοιχείων
 - «Φωτίζουμε» τον αισθητήρα με σταθερό «κύμα» φωτονίων (πχ. 40000 ADU όπου ADU = ψηφιακή μονάδα σχετικά με καταγραφή φωτονίων)
 - Θα υπολογίσουμε μέσο όρο ADU για τον αισθητήρα και μετά θα διαιρέσουμε το ADU για κάθε εικονοστοιχείο με το μέσο όρο
 - Πχ. Μέσος όρος = 40.000 ADU
 - Πχ. Εικονοστοιχείο (1,1) = 41.850 ADU → Υπερευαίσθητο
 - Συντελεστής = $40.000 / 41.850 = 0.95579$
 - Πχ. Εικονοστοιχείο (7,3) = 38,175 ADU → Υποευαίσθητο
 - Συντελεστής = $40.000 / 38.175 = 1.04781$

Flat-box – 2ο μέρος

- «Φωτίζουμε» τον αισθητήρα με σταθερό «κύμα» φωτονίων
 - Στόχος: 1/3 – 2/3 μέγιστη τιμή του ιστογράμματος (οριζόντιο άξονα)
 - Μέγιστη τιμή (16-bit) = 65.535 ADU
 - Στόχος μας είναι 20.000 – 45.000 ADU
 - Πχ. διαφανές φίλτρο («Lum») → 6”
 - Πχ. κόκκινο φίλτρο («Red») → 20”
 - Πρόβλημα: ΘΕΡΜΙΚΟΣ θόρυβος (και πάλι παρόλο που οι εκθέσεις είναι μικρές)
 - Λύση (όπως πάντα) → χρήση dark frame (“flat-dark frame”)
 - Τεχνική: Ιδια όπως πριν
 - Πχ. 15 εκθέσεις @ 6” → master flat-dark @ 6”
 - Πχ. 15 εκθέσεις @ 20” → master flat-dark @ 20”
 - Αφαίρεση ανάλογο master flat-dark από ΚΑΘΕ flat
 - Μέσο όρο (η μέση τιμή) από τα FLAT → master flat
 - Απόκτηση ... ΚΑΘΕ βράδυ (βάση δεδομένων ΔΕΝ ισχύει) !

Διόρθωση θόρυβου (2ο μέρος)

- Πχ. Γαλαξίας M33

- 20 εκθέσεις με 10'/εκθεση (διαφανές φίλτρο) @ -12.5β Κελσίου
 - «light frame» συμπεριλαμβάνει θερμικό θόρυβο + τυχ. θορ. + διαφ. ευαισθ.
- 15 εκθέσεις με 10'/εκθεση (θερμικό θόρυβο) @ -12.5β Κελσίου
 - Μέσο όρο → Master dark frame 10' @ -12.5β Κελσίου
- 15 εκθέσεις με 6" ανά έκθεση @ -12.5β Κελσίου +
15 εκθέσεις με 6" ανά έκθεση @ -12.5β Κελσίου (θερμικό θόρυβο)
 - Μέσο όρο → Master flat-dark frame → Master flat frame
- Νέο «light frame»
 - = (light frame – master dark frame) / master flat frame
- Μέσος όρος των νέων «light frame» = master luminance
- Παρομοίως: master R, master G, master B

Μείωση Θόρυβου – 3ο μέρος

- Λυπητερή: Ακόμα υπάρχει (τεχνητός) ΘΟΡΥΒΟΣ !!!
 - Απορρόφηση μεταξύ φίλτρων ΔΕΝ είναι ίδια
 - Πχ. Κόκκινο < Πράσινο (ΥΠΟευαίσθητο στο κόκκινο)
 - Χρήση αστέρα φασματικού τύπου G2V (πχ 61-Cygni) ώστε να υπολογίσουμε συντελεστές
 - 15 εκθέσεις ανά φίλτρο (R/G/B)
 - μέσο όρο «έντασης» του αστέρα ανά φίλτρο (πχ. 8000/12000/9000)
 - Πράσινο (12000 ADU) = 1.000 → Κόκκινο = 1.5x / Μπλε = 1.33x
 - SBIG ST-2000XM → RGB @ 1.531 : 1.000 : 1.279
 - Γνωστό ως «white balance» η/και «QE balance»
 - Απορρόφηση λόγω ατμόσφαιρας
 - Χρήση γνωστών συντελεστών ανάλογα με το φίλτρο και ύψος αντικείμενου
 - Πχ. μέσος όρος του M33 κατά την διάρκεια φωτογράφισης ήταν 70 μοίρες
 - Διαίρεση ΚΑΘΕ εικονοστοιχείου (βλ. master L, master R, master G, master B) με τον ανάλογο συντελεστή με βάση του φίλτρου (L/R/G/B) και ύψος αντικείμενου
 - Γνωστό ως «atmospheric extinction»

Διόρθωση – ΤΕΛΙΚΗ !!!!

- Νέο «light frame» lum

= (light frame – master dark frame) / master flat frame lum

- Μέσος όρος των νέων «light frame» = master luminance
- Παρομοίος: master R, master G, master B

- Νέο «master red»

= master red x 1.531 / 0.9

Οπου 1.531 είναι ο συντελεστής λόγω διαφορετικής ευαισθησίας

Οπου 0.9 είναι ο συντελεστής λόγω ατμ. απορρόφησης

- Τ Ε Λ Ο Σ όσον αφορά διόρθωση θόρυβου !!!

Επανάληψη

- Διόρθωση για θερμικό θόρυβο (χρήση dark frame)
 - Ιδια θερμοκρασία και ίδιο χρόνο έκθεσης !!!
- Διόρθωση για διαφ. ευαισθησία μεταξύ pixel (χρήση flat frame)
- Διόρθωση για διαφ. ευαισθησία φίλτρων (χρήση συντελεστών)
- Διόρθωση για ατμ. απορρόφηση (χρήση συντελεστών)
- Πρώτο Ημίχρονο Τ Ε Λ Ο Σ
 - Master Luminance
 - Master Red
 - Master Green
 - Master Blue
- Δεύτερο Ημίχρονο ... Εναρξη → Επεξεργασία και αξιοποίηση σήματος (πχ. Photoshop)

Αξιοποίηση σήματος

- Στόχος → αποδείξουμε τα διάφορα χαρίσματα του αντικείμενου μας που ήδη έχουμε καταγράψει αλλά πολλές φορές ΔΕΝ είναι άμεσα ορατά
- Πρόκληση #1: Το τεράστιο δυναμικό εύρος – αγώνας και μάχη μεταξύ αμυδρά και λαμπρά τμήματα της φωτογραφίας μας
- Πρόκληση #2: Το κάθε αντικείμενο είναι διαφορετικό από κάθε άλλο
- Οπότε: ΔΕΝ υπάρχει σταθερή διαδικασία (βλ. «α» βήματα)
- Λογισμικό
 - CCDSOFT / AIP4Win / Maxim/DL / CCDStack / Iris / Photoshop
 - Levels / Curves / Non-linear stretch / Brightness-Contrast

Αξιοποίηση σήματος Levels

- Καθορίζουμε το «μαύρο» (black point) και «άσπρο» (white point) όριο σε μια φωτογραφία
- Επέμβαση είναι γραμμική – όποτε μηδενική απώλεια επιστημονικής πληροφορίας
- Περισσότερο ενδιαφέρον και προσοχή για το «μαύρο» όριο (black point) επειδή η αμυδρή καταγραφή είναι η πιο ενδιαφέρουσα

Αξιοποίηση σήματος Curves

- Διαφορετική επέμβαση στα διάφορα τμήματα σε μια φωτογραφία (μη-γραμμική επέμβαση / non-linear stretch)
- Πχ. «ανεβάζουμε» τα αμυδρά τμήματα με ποιο μεγάλο ρυθμό έναντι λαμπρότερα τμήματα ώστε να υπάρχει μια συνυπάρξει μεταξύ αμυδρά και λαμπρά τμήματα
- Αποτέλεσμα: απώλεια επιστημονικής πληροφορίας
- Δυστυχώς είναι αναγκαία επέμβαση λόγω μεγάλου δυναμικού εύρους
- Τεχνικές: curves / DDP / ASINH / gamma / log / gammalog / sigmoid και πολλά άλλα

Αξιοποίηση σήματος

- Παράδειγμα από αρχή μέχρι τέλους είναι ο καλύτερος δάσκαλος («μία εικόνα, χίλιες λέξεις»)
- Μερόπη ...
 - μέλος των Πλειάδων
 - Νεφέλωμα ανάκλασης
 - NGC 1435