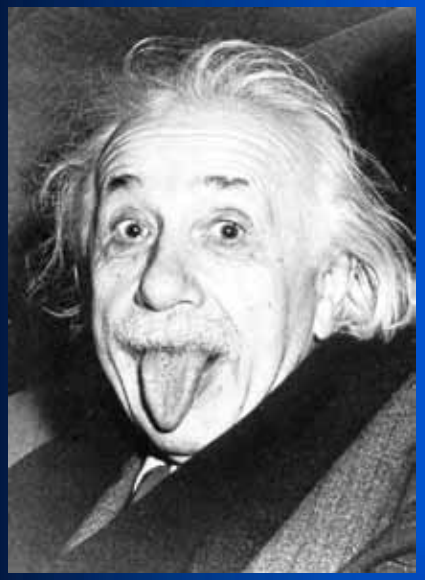
Αστρονομικές παρατηρήσεις με CCD
&
επεξεργασία των δεδομένων

Μερικά ιστορικά στοιχεία καταγραφής αστρονομικών δεδομένων….

Από την αρχή της ανθρωπότητας έως τα τέλη του 19ου αιώνα!!!!!!

Από τα τέλη 19ου αιώνα έως τη δεκαετία του '60

Στις αρχές του 20ου αιώνα ο *Albert Einstein* (1905) δημοσίευσε μια εργασία με θέμα το *φωτοηλεκτρικό φαινόμενο* για την οποία και τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ (1921)



$$E_{\text{φωτονίου}} = h\nu = W_{\text{εξαγωγής}} + E_{\text{κιν, } e^-}$$

Η κεντρική ιδέα ήταν η «παγίδευση» των εξερχομένων ηλεκτρόνιων από το μέταλλο

Η πρώτη εφαρμογή του φαινομένου στην αστρονομία είναι ο *φωτοπολλαπλασιαστής* (1920)

Την δεκαετία του 1960, στα *Bell Telephone Laboratories, USA*, στην προσπάθεια να κατασκευαστεί ένα νέου τύπου μνήμης τσιπ για Η/Υ, ανακαλύφθηκε ο καλύτερος ανιχνευτής ακτινοβολίας για την αστρονομία και όχι μόνο, το γνωστό σε όλους πλέον CCD.

Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΙΧΕ ΜΟΛΙΣ ΑΡΧΙΣΕΙ…

Τι σημαίνει CCD ????

Το CCD είναι το ακρωνύμιο των λέξεων:

***C**harge-**C**oupled **D**evices*

που στα ελληνικά σημαίνει *στοιχεία συζευγμένου φορτίου*.

Που υπάρχουν τα CCD ????

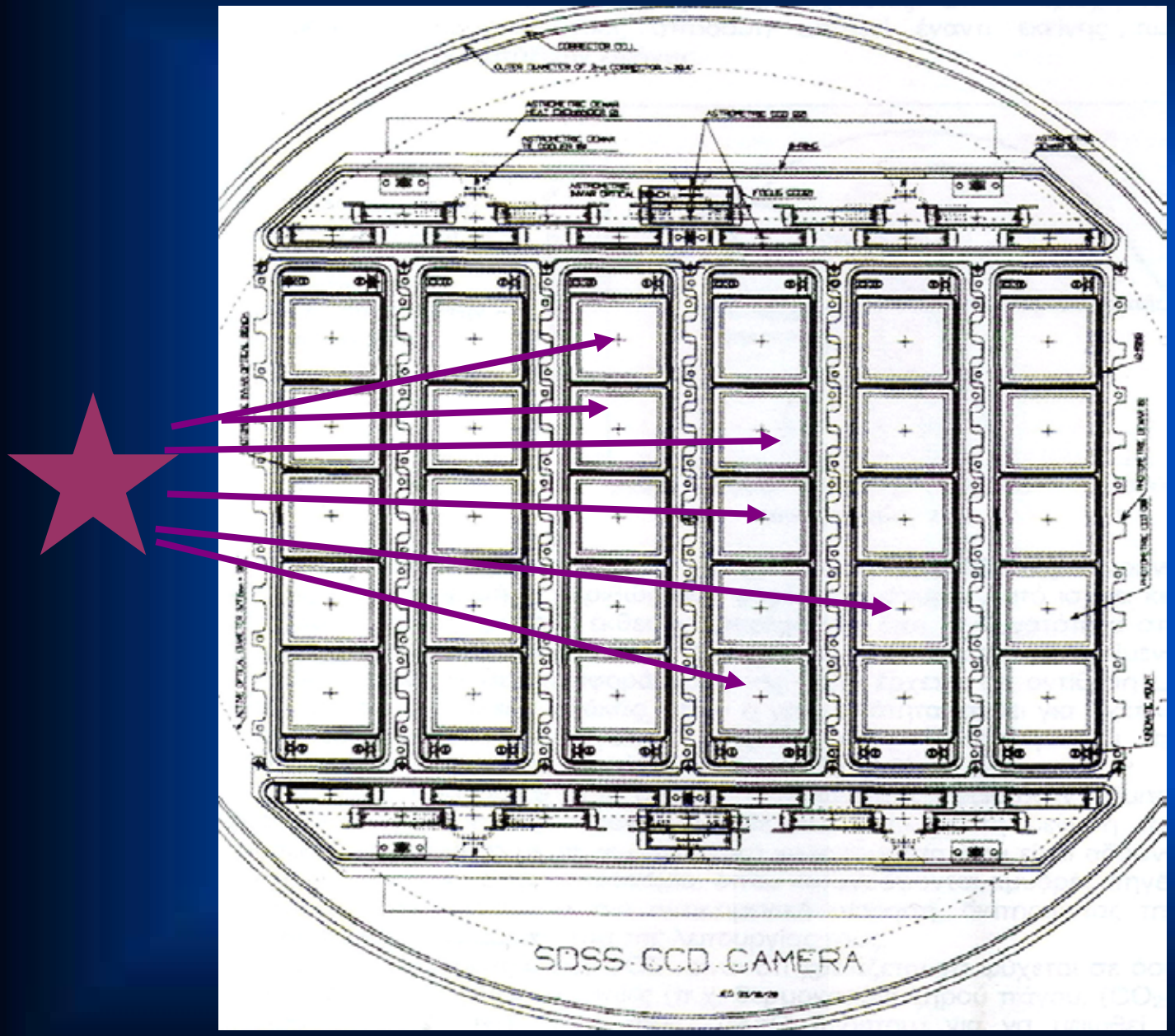
Web-cam

Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές

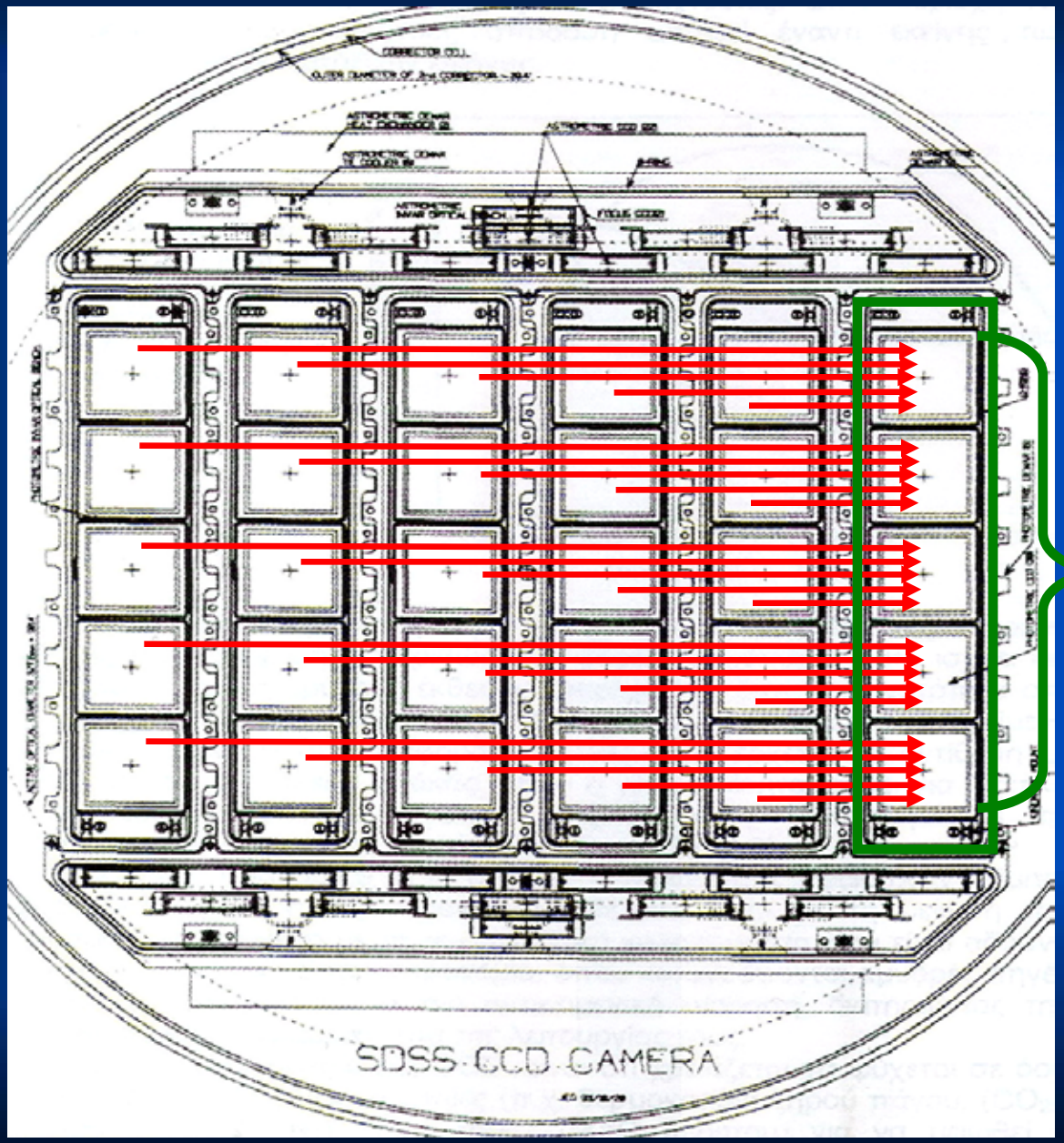
Σε κινητά τηλέφωνα

Κάμερες παρακολούθησης

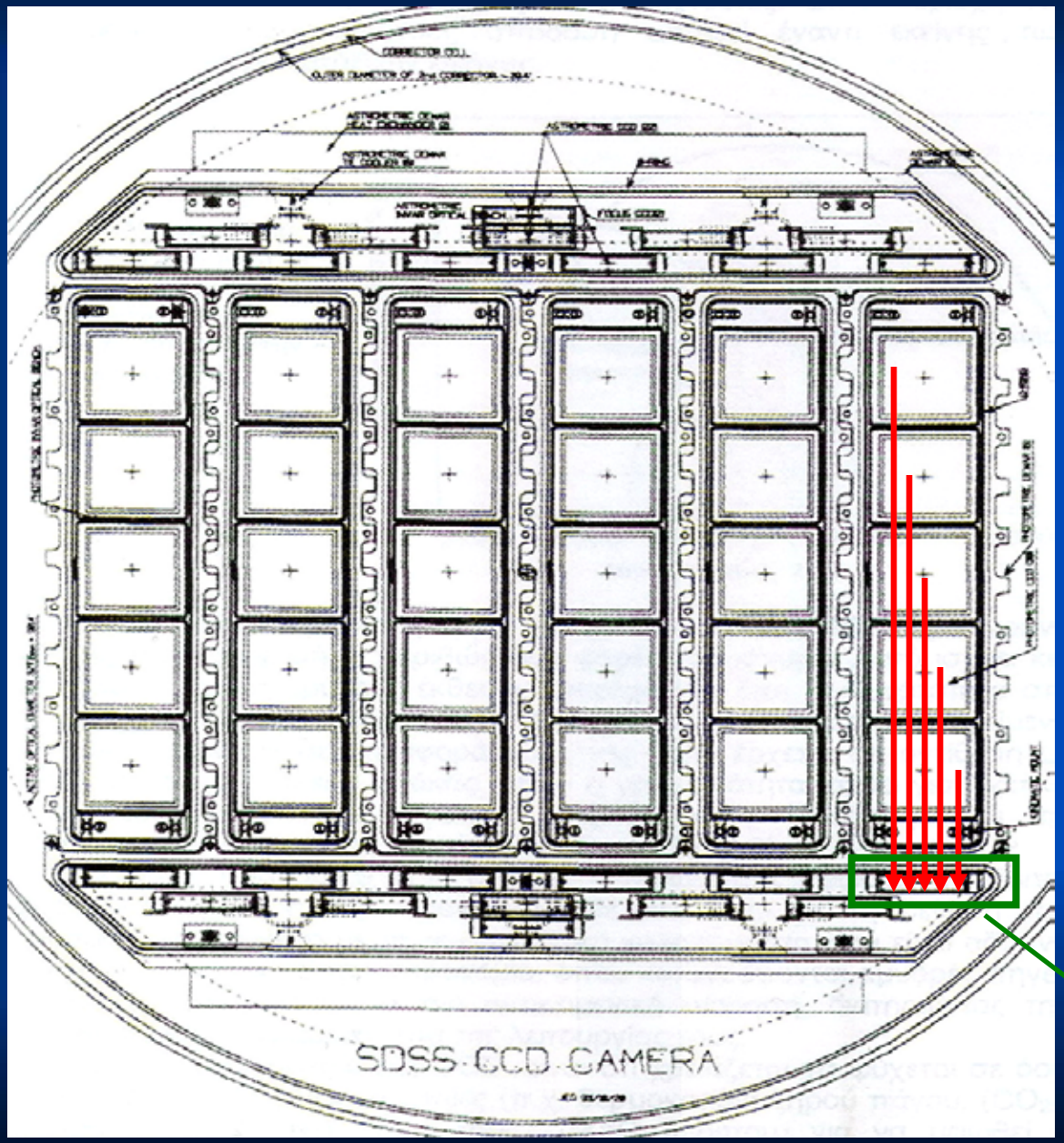
Αρχή λειτουργίας του CCD



Καταγραφέας εξόδου

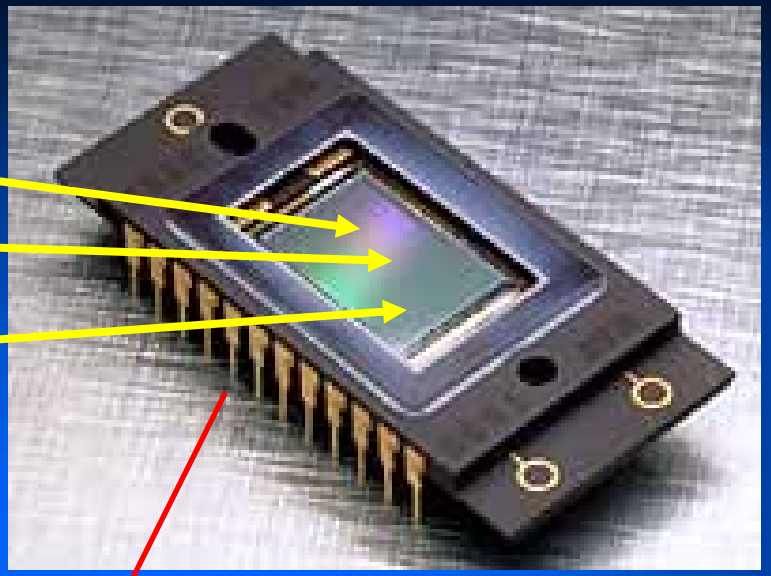


Καταγραφείς φορτίου



Καταμετρητής φορτίου

Η/Υ



CHIPS
COLA

Πλεονεκτήματα του CCD

Μεγάλη διακριτική ικανότητα: όσα περισσότερα Pixels, τόσο μεγαλύτερη ανάλυση

Μεγάλη κβαντική απόδοση: λόγος προσπιπτόντων φωτονίων προς καταγραφομένων ηλεκτρονίων (έως και 90%)

Ευρεία φασματική περιοχή απόκρισης: Από 200nm (UV) έως 1200nm (IR)

Μεγάλη δυναμική περιοχή: Μπορεί να «χωρέσει» μερικές δεκάδες χιλιάδες ADU's

Γραμμικότητα απόκρισης: Ο αριθμός των ADU's αυξάνεται γραμμικά με τον χρόνο έκθεσης

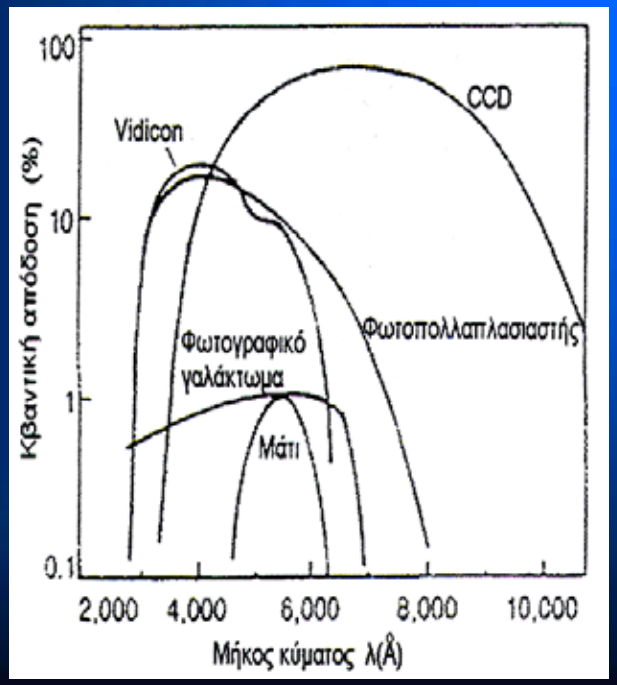
Εύκολη επεξεργασία των δεδομένων: Τα δεδομένα έχουν μορφή εικόνων, άμεσα επεξεργάσιμα από τον Η/Υ

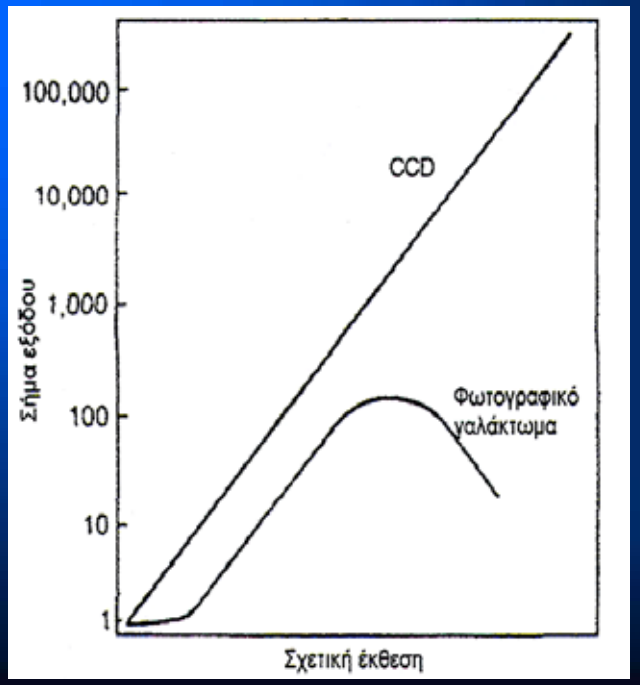
Μειονεκτήματα του CCD

Ηλεκτρονικός θόρυβος: Αποτελεί βασικό μειονέκτημα των CCD διότι απαιτείται ισχυρή ψύξη έως και -100 °C έτσι ώστε να μειωθεί ο θερμικός θόρυβος, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό

Ανομοιόμορφη απόκριση των pixels : Τα κεντρικά pixels αποκρίνονται περισσότερο στην προσπίπτουσα ακτινοβολία από ότι τα περιμετρικά

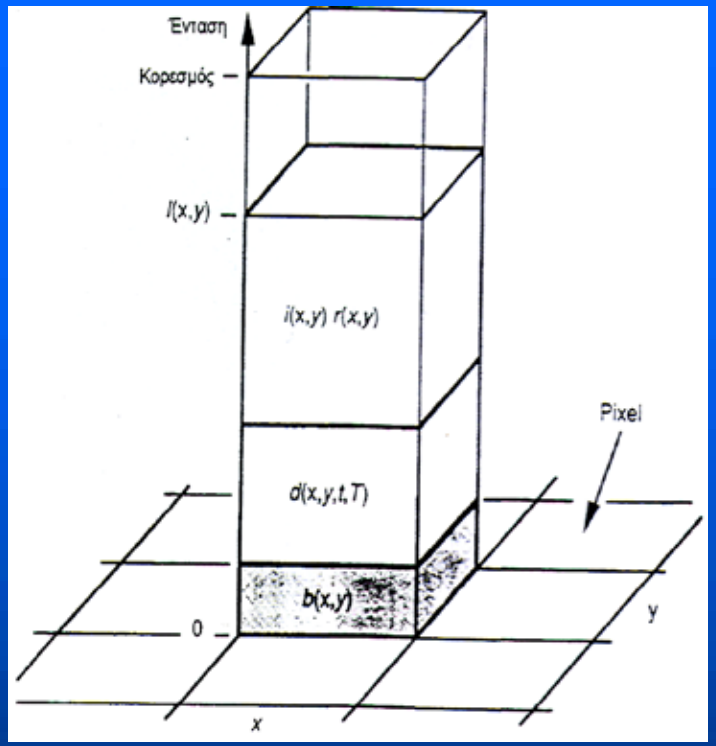
Σύγκριση του CCD με άλλους φωτοανιχνευτές





Σχηματισμός εικόνας με CCD

Συνιστώσες της πρωτότυπης εικόνας



Φορτίο από το πεδίο à i(x,y)

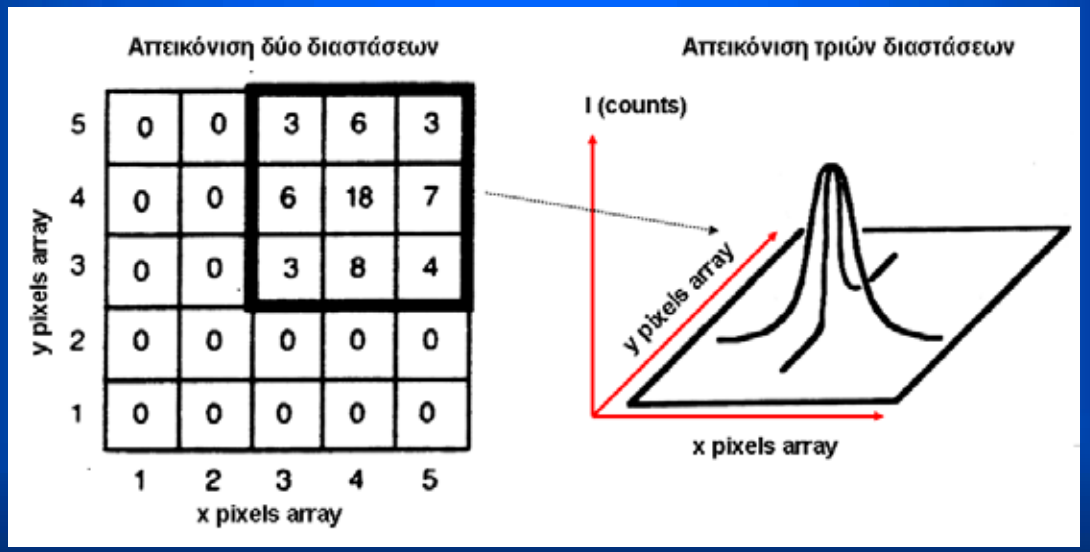
Φορτίο λόγω θερμικού θορύβου (dark) à d(x,y)

Προυπάρχον φορτίο (bias) à b(x,y)

$$I(x,y) = i(x,y) + d(x,y) + b(x,y)$$

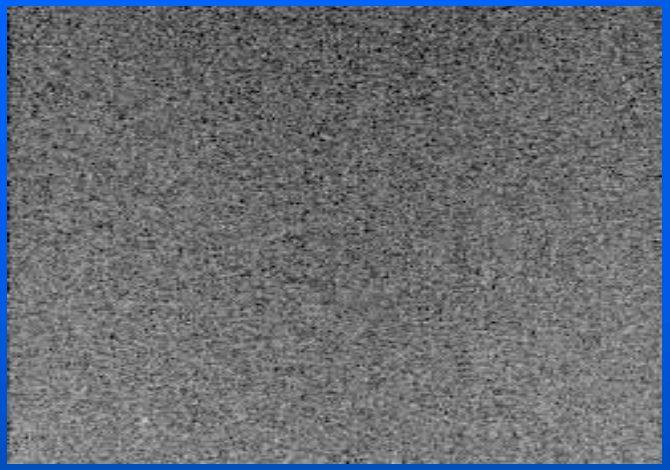
Παρατηρούμενη ένταση — Πραγματική ένταση — dark — bias

Από την κάθε στοιχειώδη ψηφίδα εκπέμπεται ένας συγκεκριμένος αριθμός ηλεκτρονίων ο οποίος και καταγράφεται στην τελική εικόνα



Ηλεκτρονικοί θόρυβοι

Προϋπάρχον φορτίο (bias)

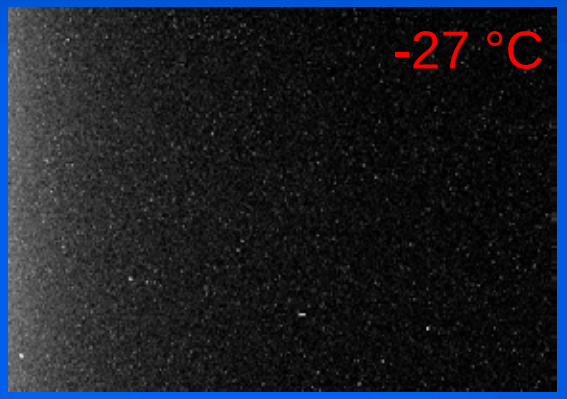


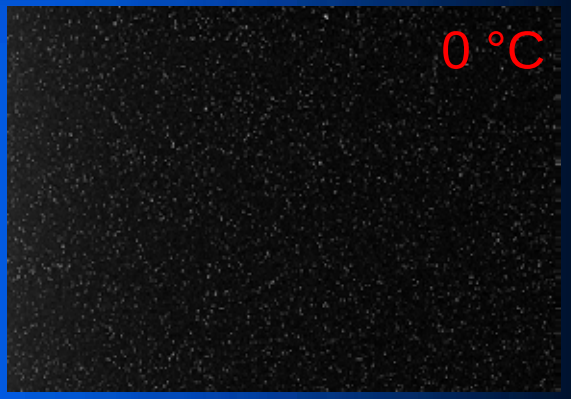
Θόρυβος αποφόρτισης: Επιπλέον ηλεκτρόνια που παράγονται κατά την πορεία των φωτοηλεκτρονίων από τα pixels στους καταγραφείς εξόδου. Είναι αμελητέος σε σχέση με τους υπόλοιπους, καθώς οι αστρονομικές CCD κάμερες «χάνουν» 2-3 e^-/pixel

Θερμικός θόρυβος (dark) ο οποίος είναι ανάλογος:

- Της θερμοκρασίας του CCD

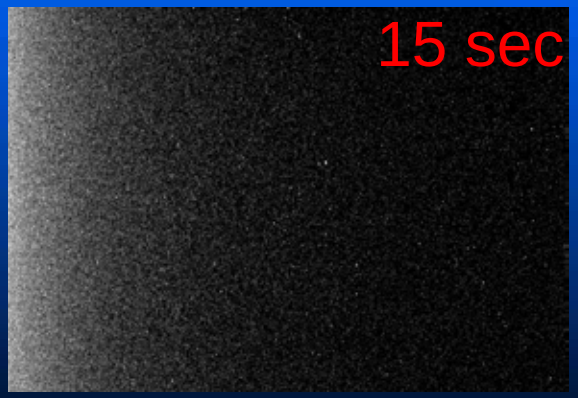
Χρόνος έκθεσης: 120 sec





- Του χρόνου έκθεσης

Θερμοκρασία: -16 °C



Η ψύξη των αστρονομικών CCD

•**Θερμοηλεκτρική (Peltier)**: Η θερμοκρασία του chip φτάνει έως και -40 °C κάτω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος

•**Υδρόψυξη**: Η θερμοκρασία του chip είναι πάντα σταθερή και πολύ χαμηλή (~ -40 °C)

•**Ψύξη με υγρό άζωτο (LN):** Η θερμοκρασία του chip είναι πάντα σταθερή και πολύ χαμηλότερη από την προηγούμενη (~ -140 °C)

Peltier
(Αστ. Ε.Κ.Π.Α)

Υδρόψυξη (Αστ. Κρυονερίου)

Ψύξη με LN
(Αστ. Χελμού)

Διορθώσεις στις εικόνες

Εικόνα **DARK (σκότους)**: Λαμβάνεται με κλειστό το διάφραγμα της κάμερας, έχει θερμοκρασία ίδια με αυτήν της πρωτότυπης εικόνας και ίσο χρόνο έκθεσης

Εικόνα **BIAS (αντιστάθμισης)**: Λαμβάνεται με κλειστό το διάφραγμα της κάμερας, έχει μηδενικό χρόνο έκθεσης και είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας

Εικόνα **FLAT (απόκρισης)**: Λαμβάνεται σε επίπεδη και ομοιόμορφα φωτισμένη επιφάνεια με χρόνο έκθεσης μερικά sec. Σε αυτήν αποτυπώνονται τυχόν «σκουπίδια» που βρίσκονται σε κάποιο(α) οπτικά μέρη του συστήματος, ενώ λαμβάνονται για κάθε φωτομετρικό φίλτρο

Επεξεργασμένη εικόνα

Εικόνα dark

Εικόνα Bias

$$i(x,y) = \{I(x,y) - d(x,y)\} / \{F(x,y) - b(x,y)\}$$

Παρατηρούμενη εικόνα

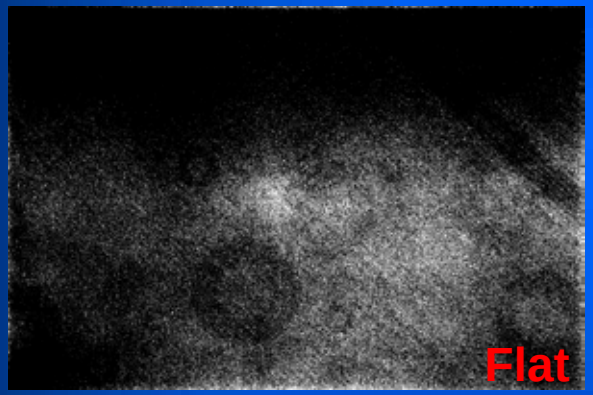
Εικόνα απόκρισης των pixels

(flat field)

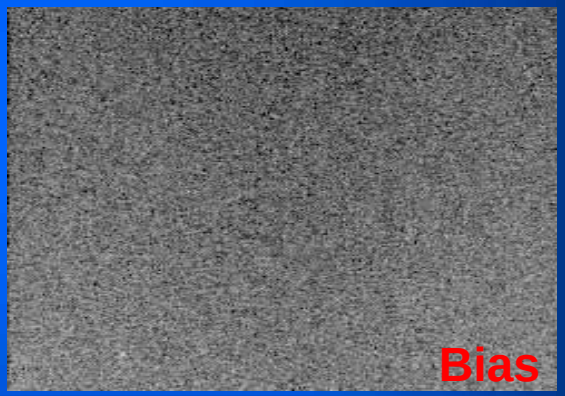
Σχηματισμός εικόνας με CCD

-

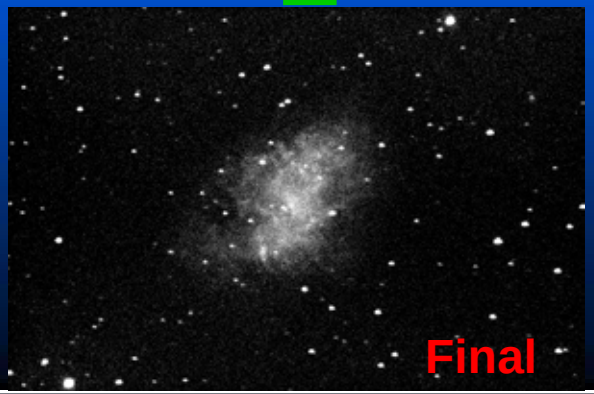
/



-



=



Φωτομετρικά φίλτρα στην αστρονομική παρατήρηση

Οι αστρονομικές CCD είναι ως επί το πλείστον ασπρόμαυρες λόγω της διαφορετικής κβαντικής απόδοσης στα διάφορα χρώματα

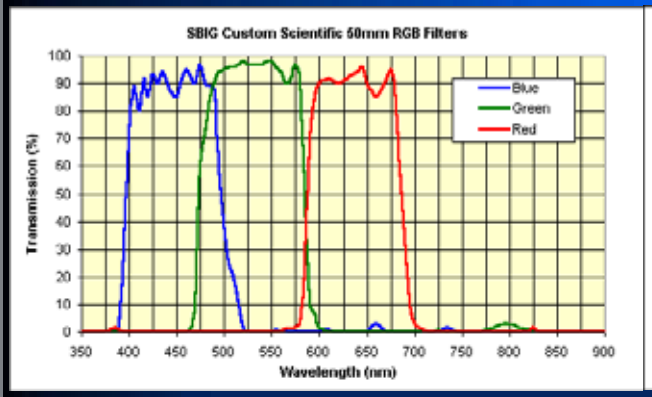
Τα φίλτρα είναι γυάλινοι ηθμοί οι οποίοι τοποθετούνται μπροστά από το CCD και αφήνουν ένα μόνο μέρος της ακτινοβολίας να περάσει

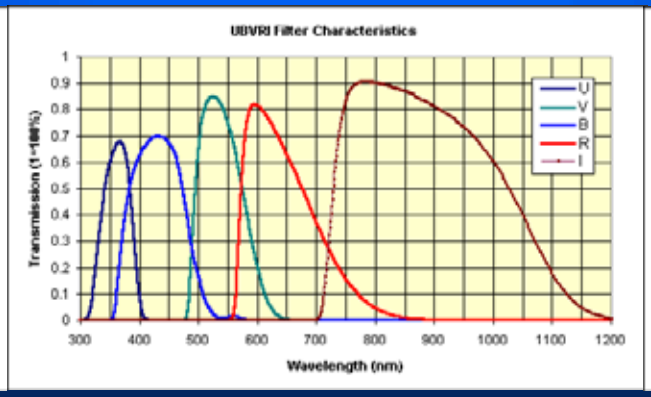
***R G B*:** Χρησιμοποιούνται για την καλλιτεχνική κυρίως απεικόνιση αστρικών αντικειμένων

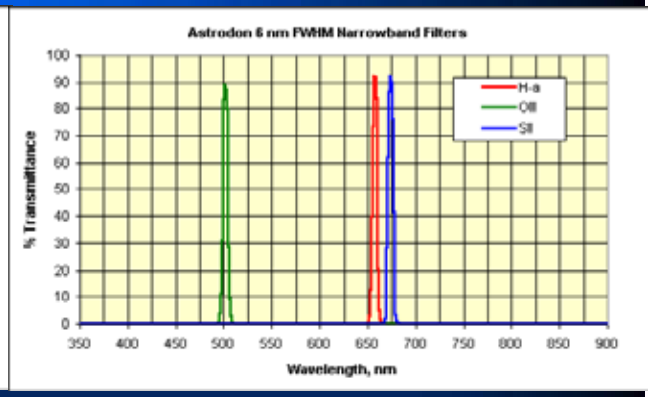
***U B V R I*:** Χρησιμοποιούνται στην φωτομετρία

***Φίλτρα OIII* και *SII*:** Χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση νεφελωμάτων

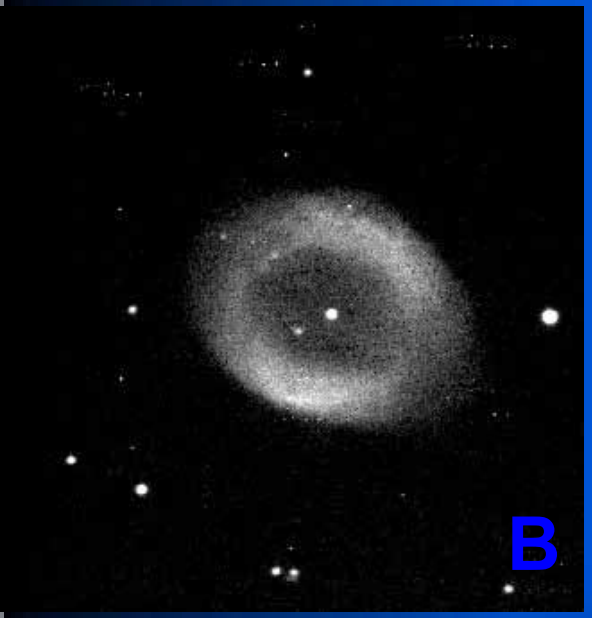
***Φίλτρο Hα*:** Χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση νεφελωμάτων αλλά και στον Ήλιο



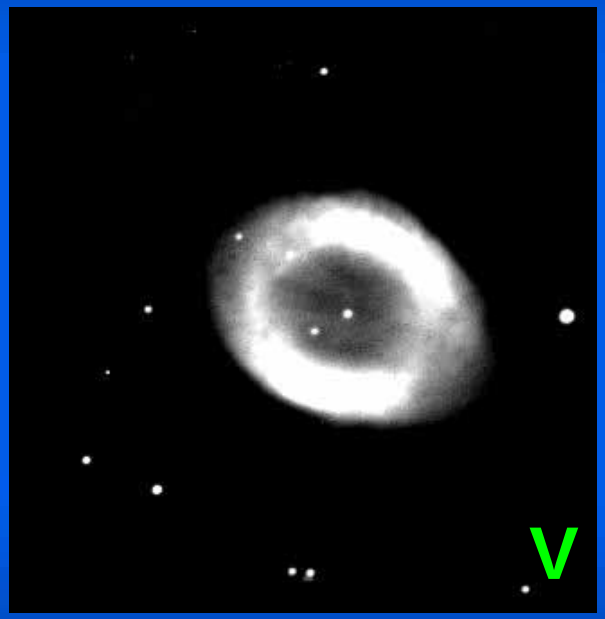




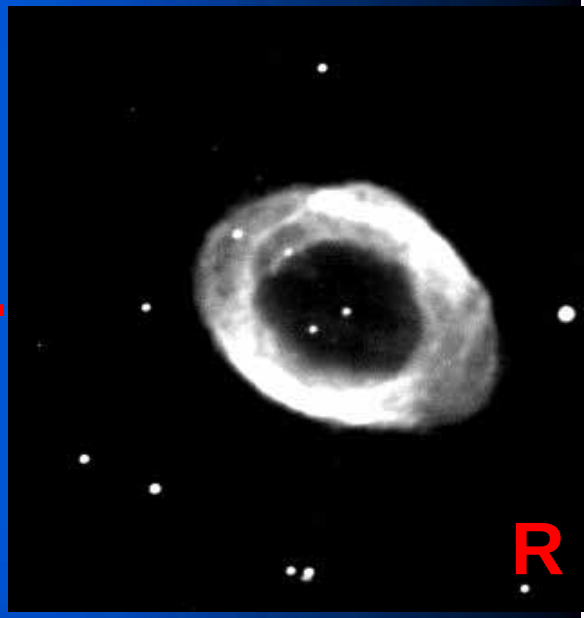
Σχηματισμός έγχρωμης εικόνας με CCD



+



+

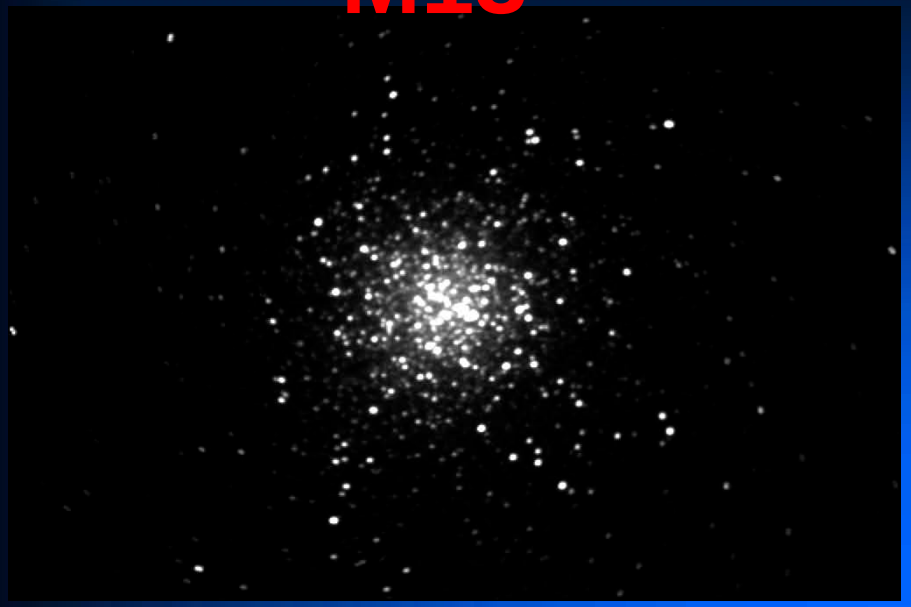


M57

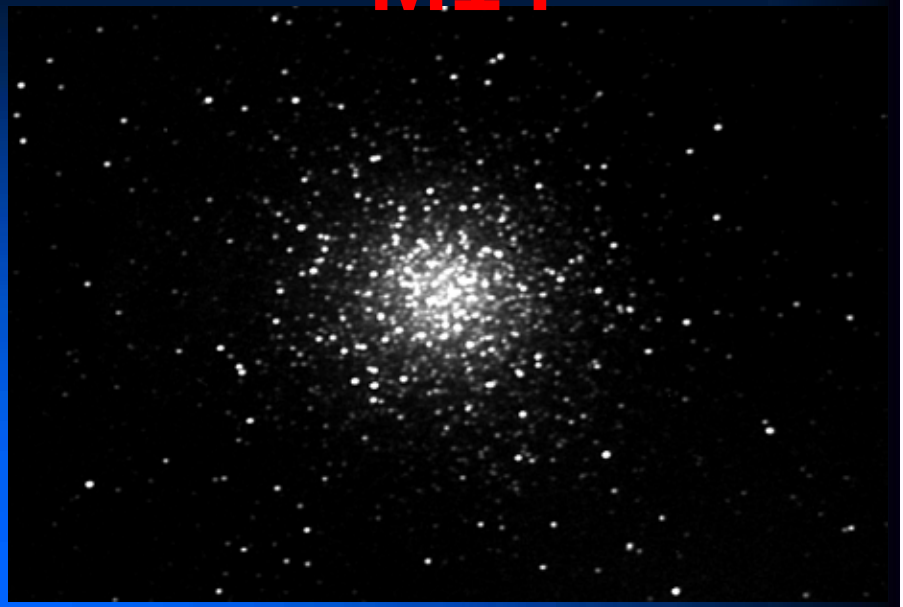
IC 534

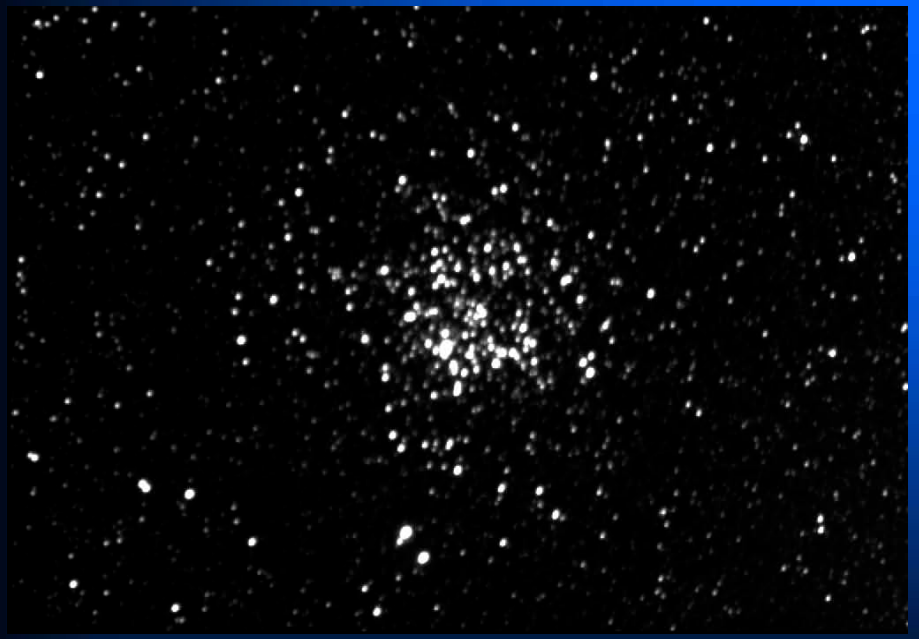
M16

M13

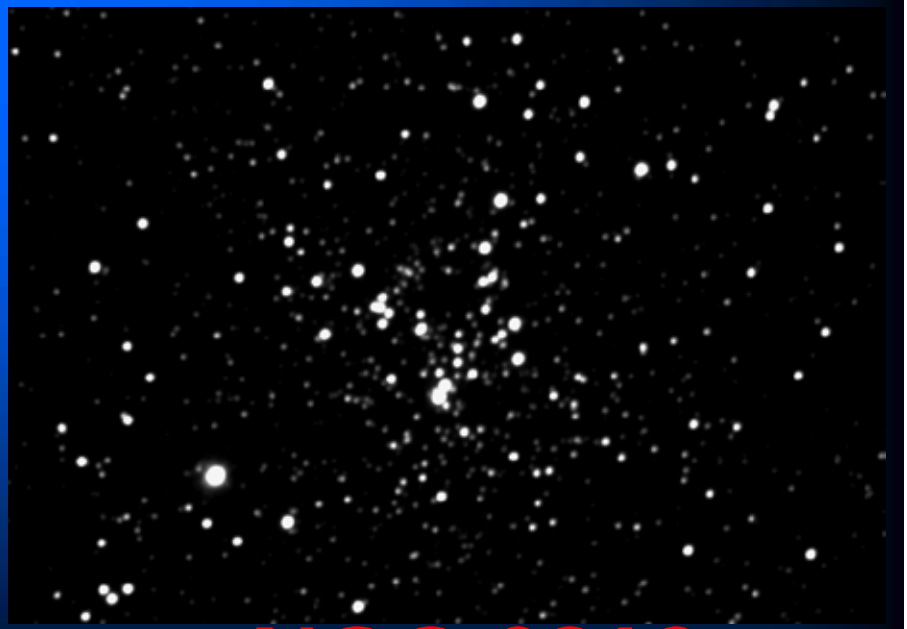


M14

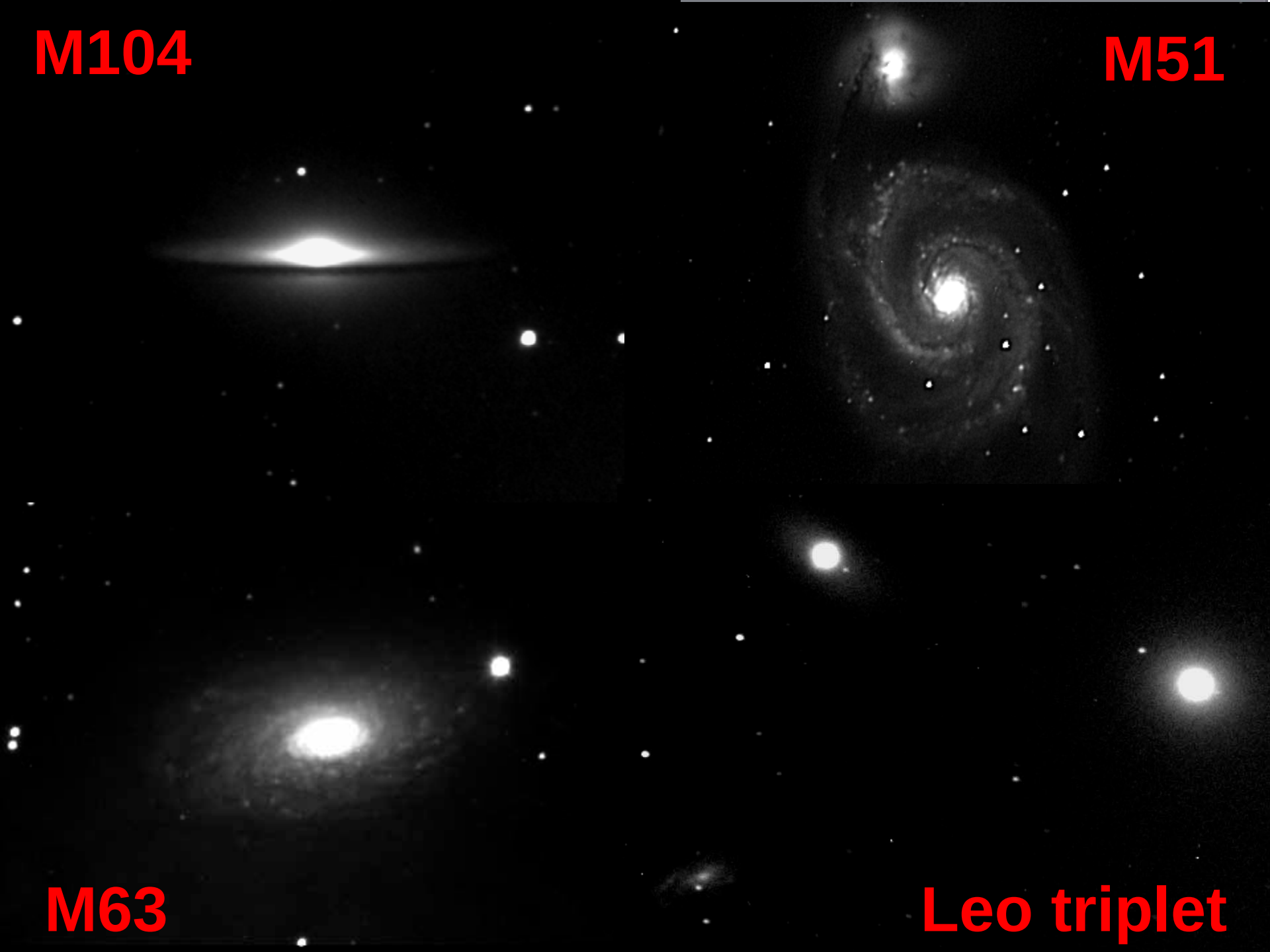




M11

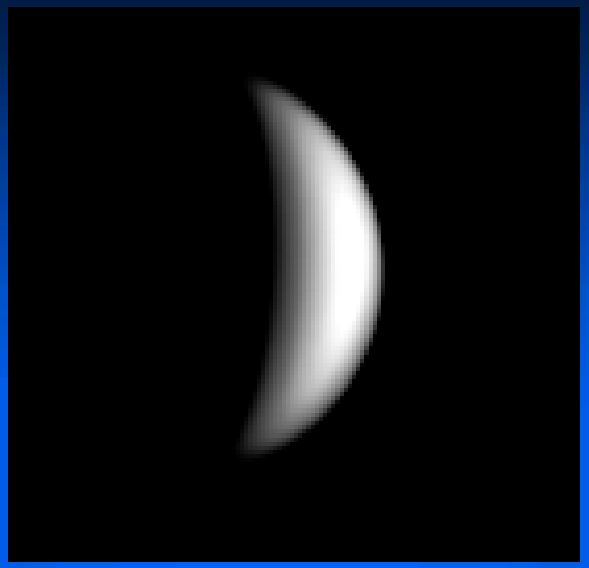


NGC 6819

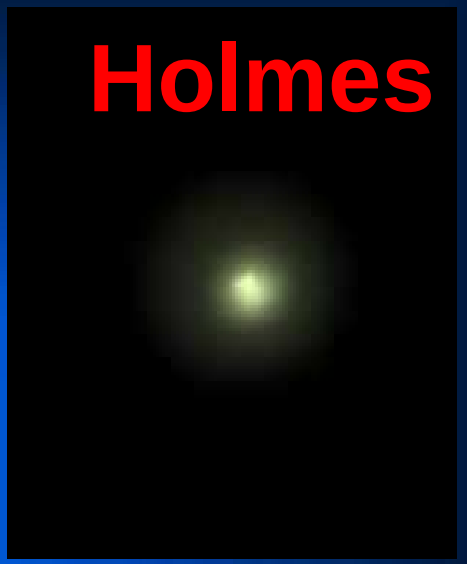

M104
M51
M63
Leo triplet

Mars

Venus



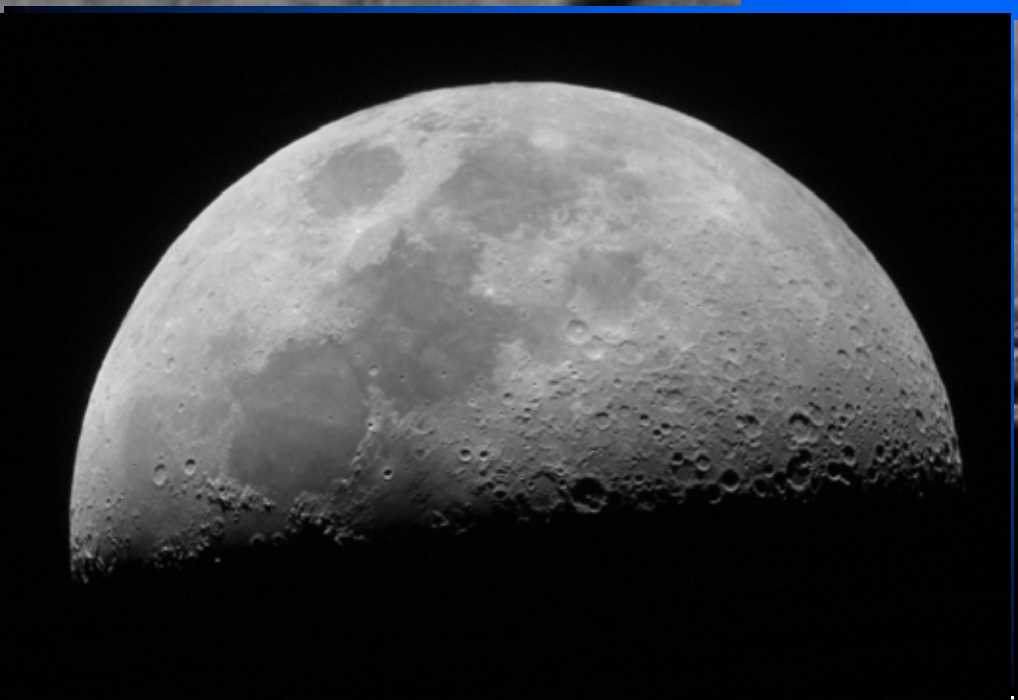
Comet 17P Holmes



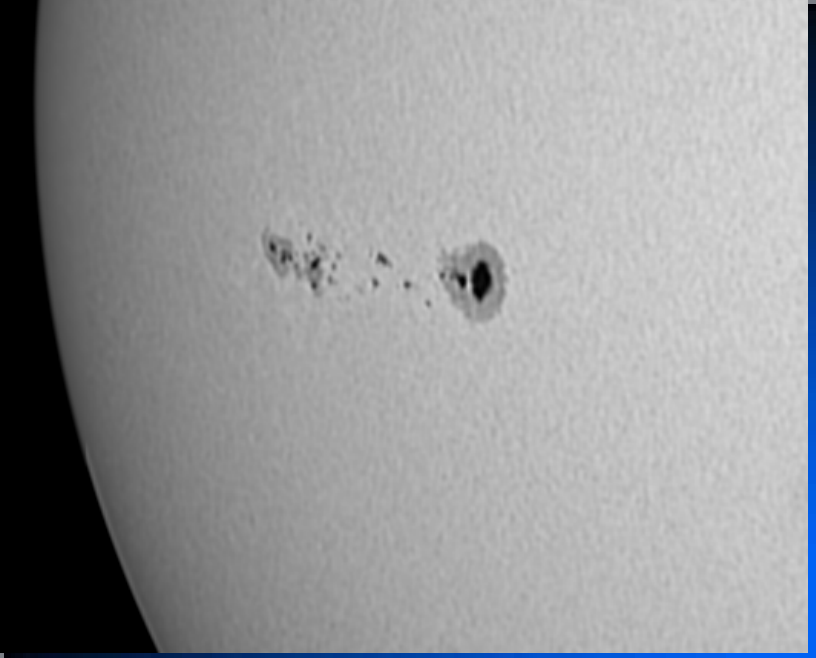
Jupiter

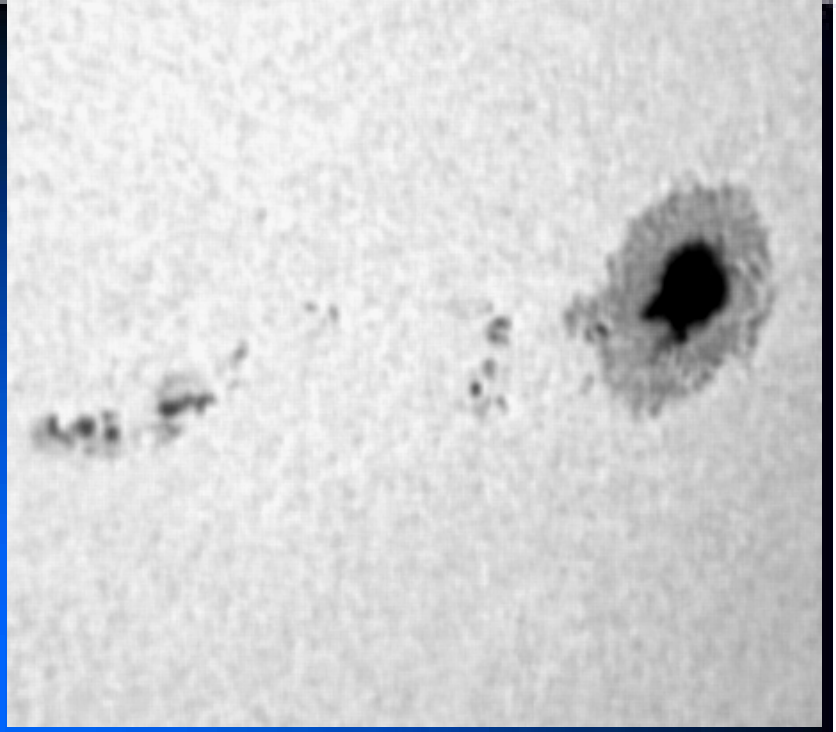
Saturn

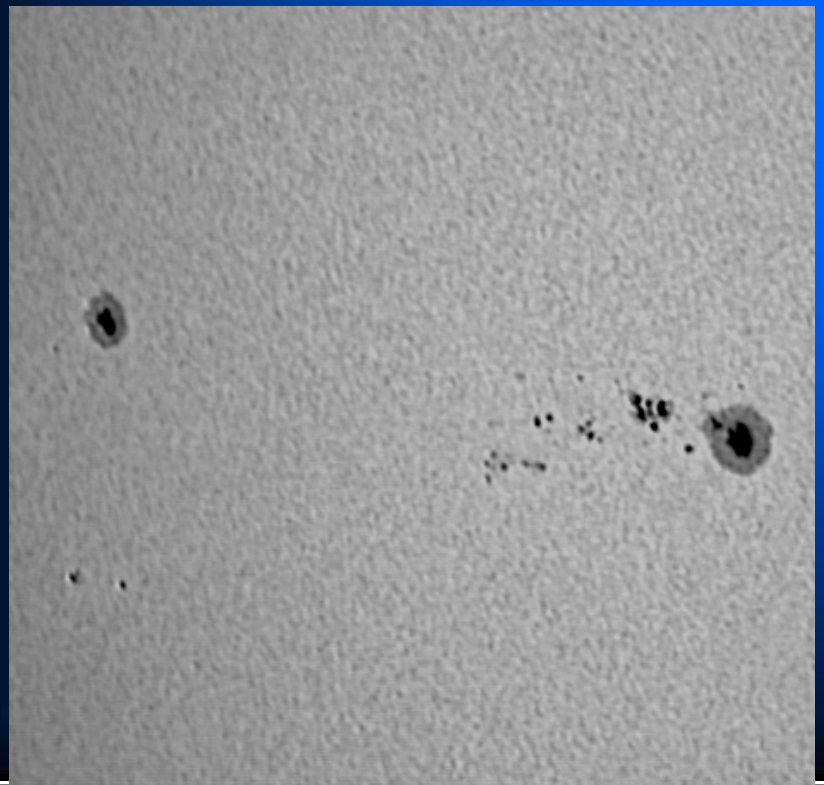
Moon

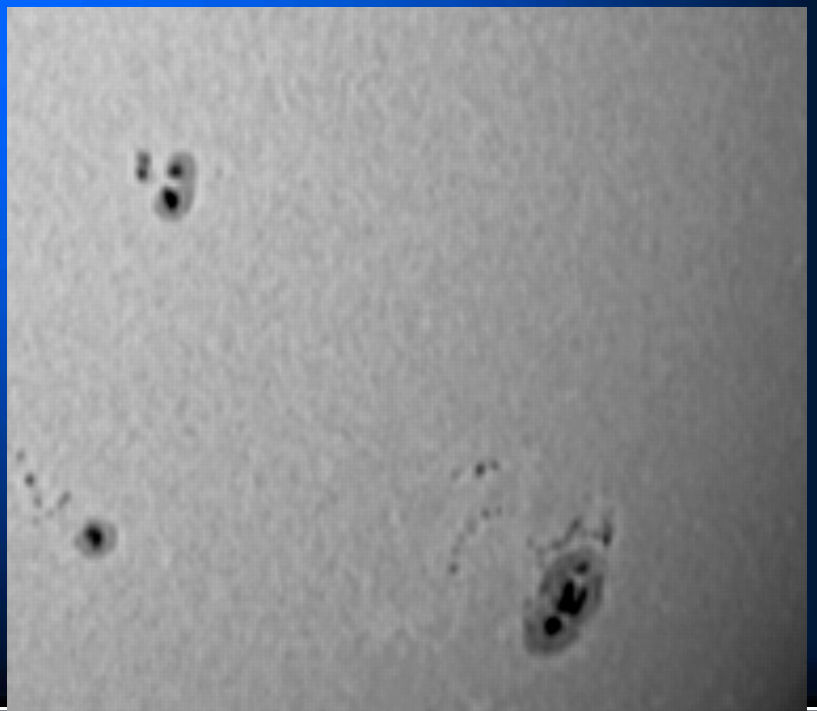


Sun









Επεξεργασία των CCD δεδομένων

Τι είναι CCD δεδομένα????

Είναι ΕΙΚΟΝΕΣ που περιέχουν την πληροφορία (ποσότητα ακτινοβολίας) από το παρατηρούμενο αντικείμενο

Η εικόνα μπορεί να περιέχει κάποιο αστρικό πεδίο ή το φάσμα κάποιας πηγής

Τεχνικές αστρονομικής παρατήρησης με CCD

ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ: Γίνεται καταμέτρηση του ποσού της ακτινοβολίας των αστέρων σε κάθε εικόνα και τελικά μπορούμε να δούμε την συμπεριφορά της λαμπρότητας της πηγής συναρτήσει του χρόνου

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ: Το φως της πηγής αναλύεται στις συνιστώσες του και έτσι παίρνουμε πληροφορίες για την χημική σύστασή της ή για την ακτινική της ταχύτητα

Η μόνη **ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ** ποσότητα στις παρατηρήσεις είναι η ροή και η ένταση της ακτινοβολίας

Από αυτή τη πληροφορία και αναλόγως το είδος της παρατήρησης μπορούμε να **ΥΠΟΛΟΓΙΣΟΥΜΕ** διάφορες ποσότητες

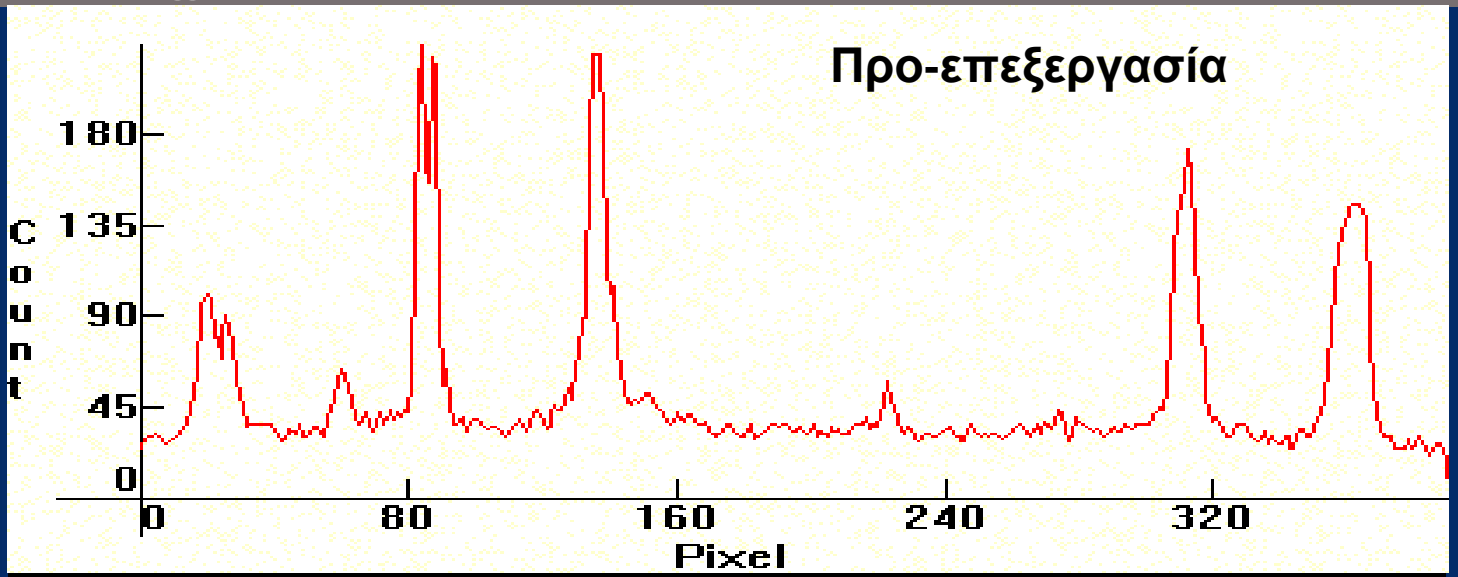
Από τη Φωτομετρία:

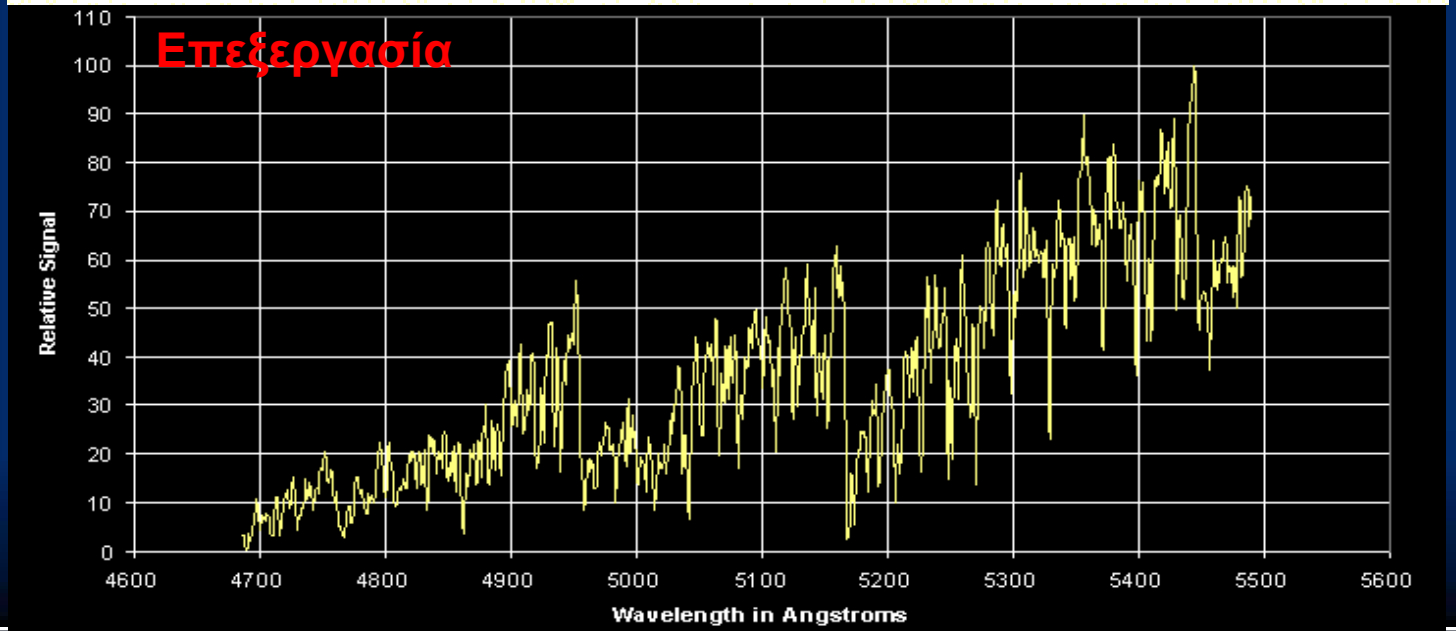
- Απόσταση
- Λαμπρότητα
- Μέγεθος (διαστάσεις)
- Ιδία κίνηση
- Θερμοκρασία

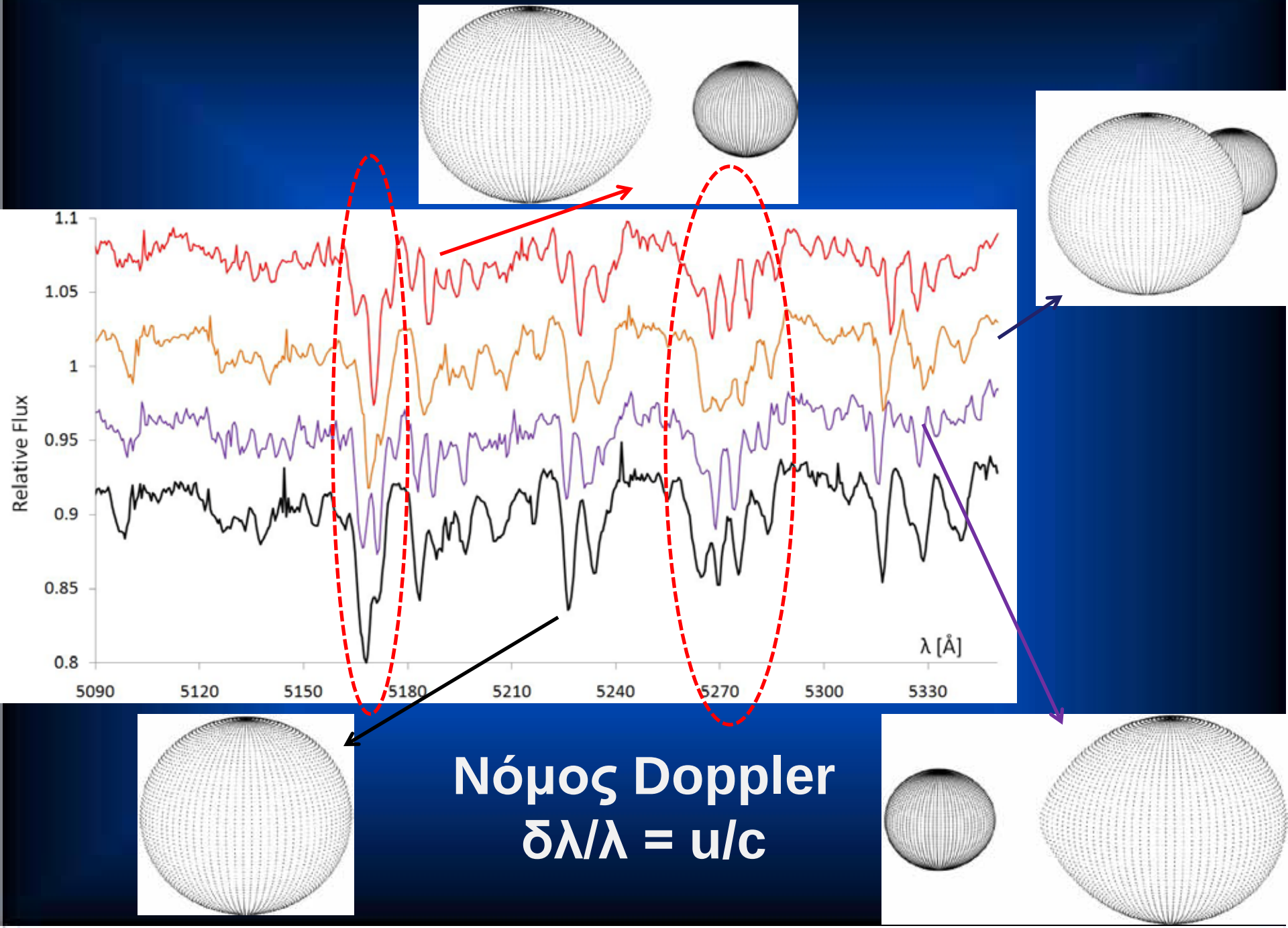
Από τη Φασματοσκοπία:

- Ακτινική ταχύτητα
- Χημική σύσταση
- Θερμοκρασία

Πρωτότυπο φάσμα



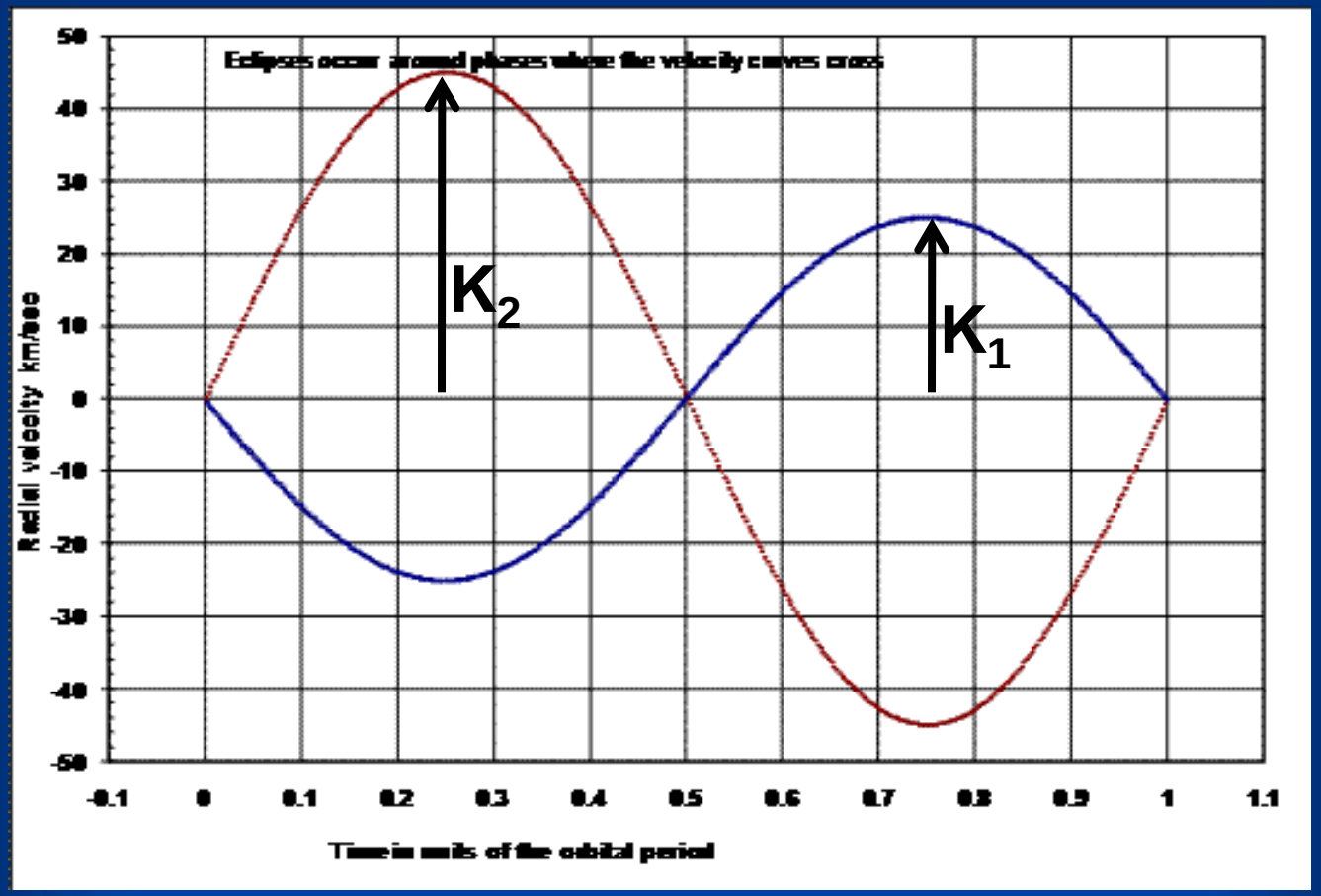




Νόμος Doppler

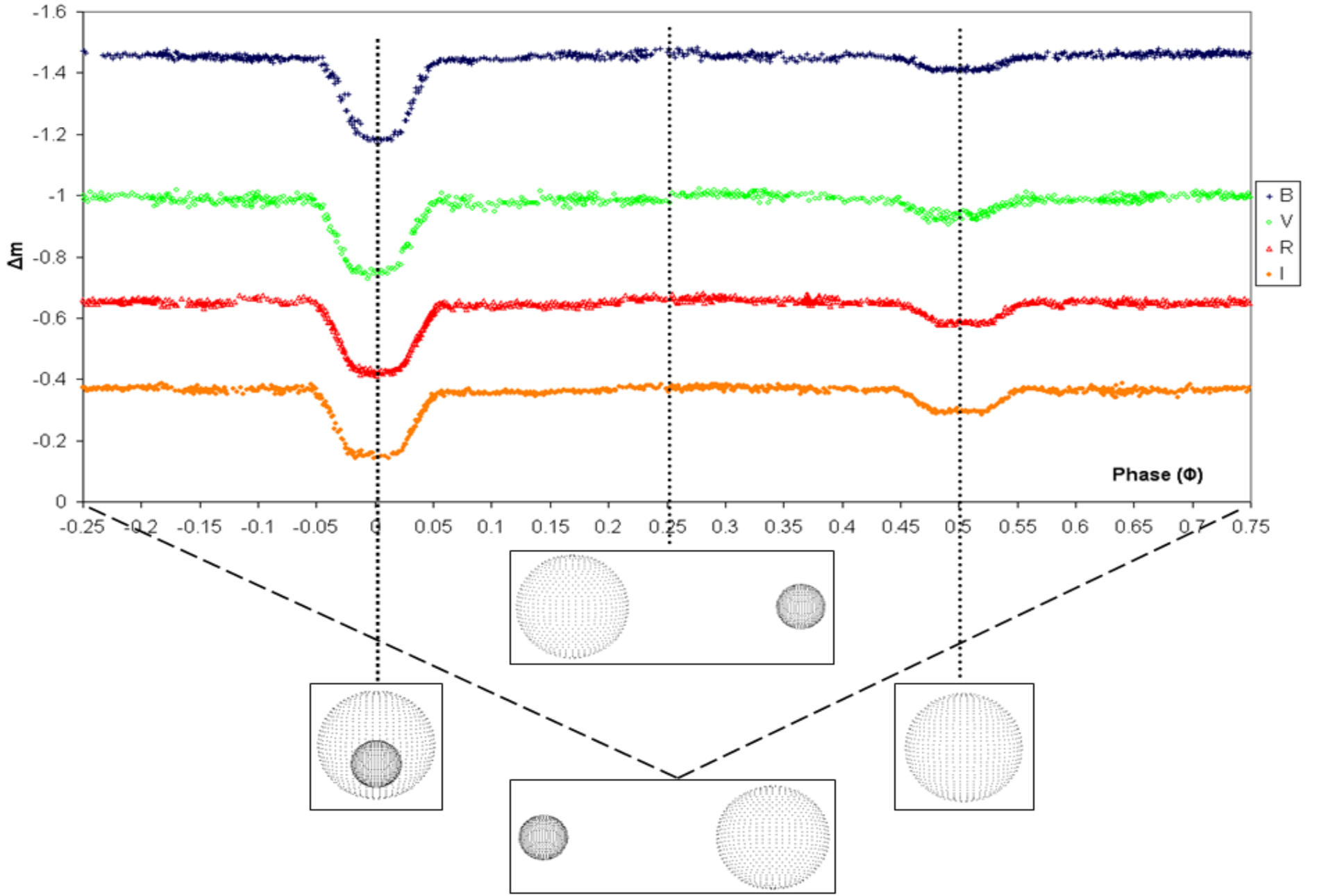
$$\delta\lambda/\lambda = u/c$$

Καμπύλες ακτινικών ταχυτήτων

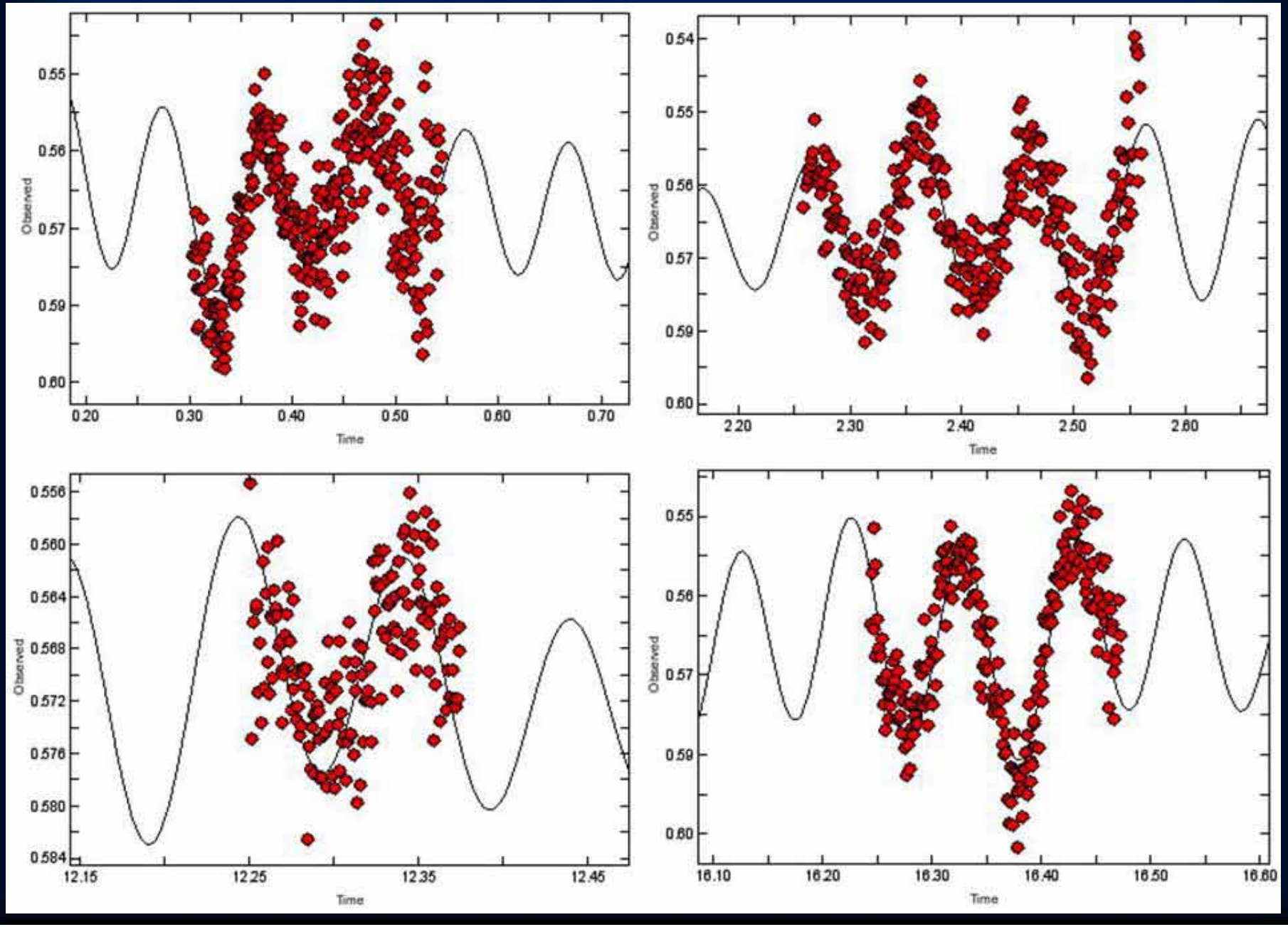


Λόγος μαζών à $K_1 / K_2 = m_2 / m_1$

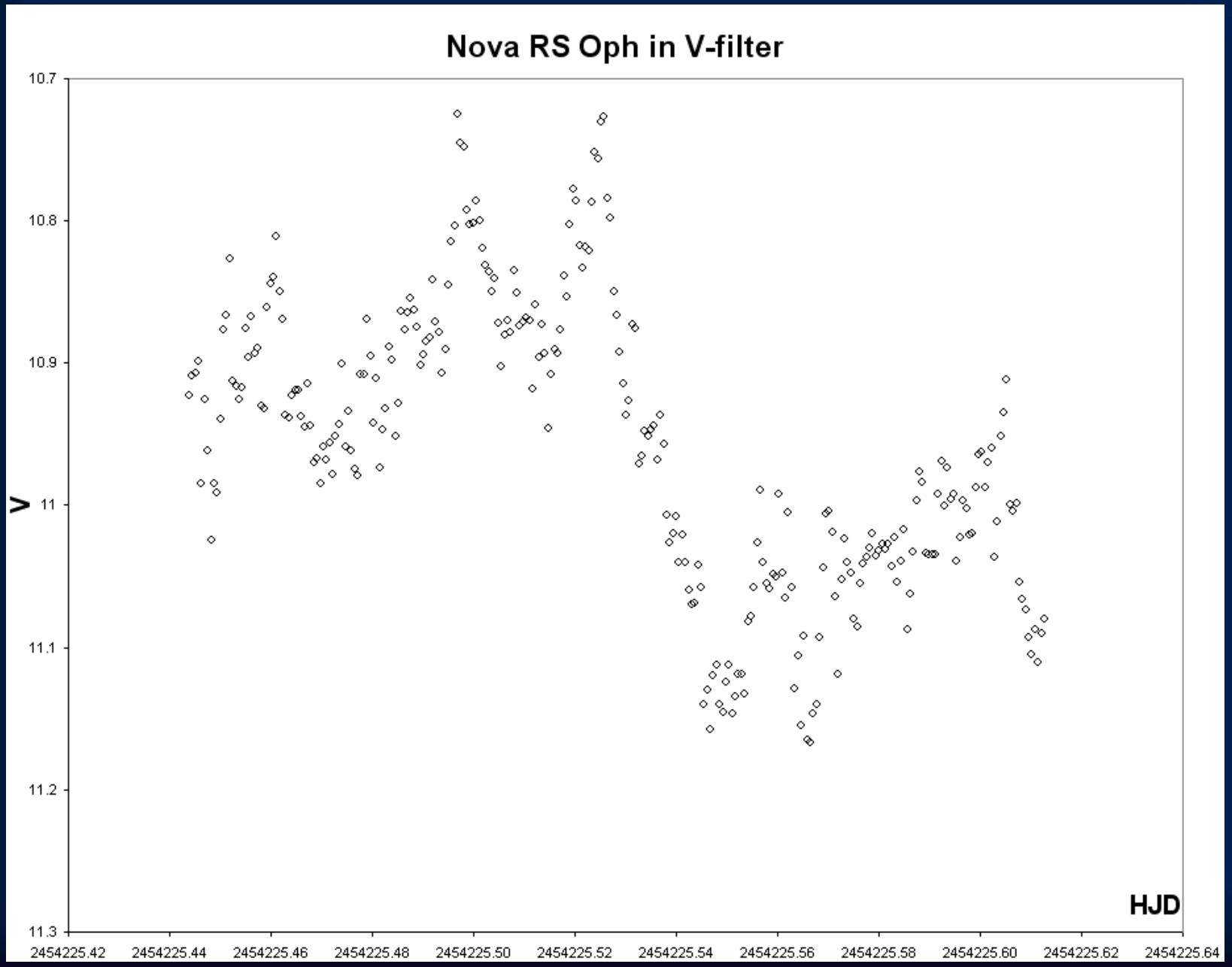
Καμπύλη φωτός διπλού συστήματος αστέρων



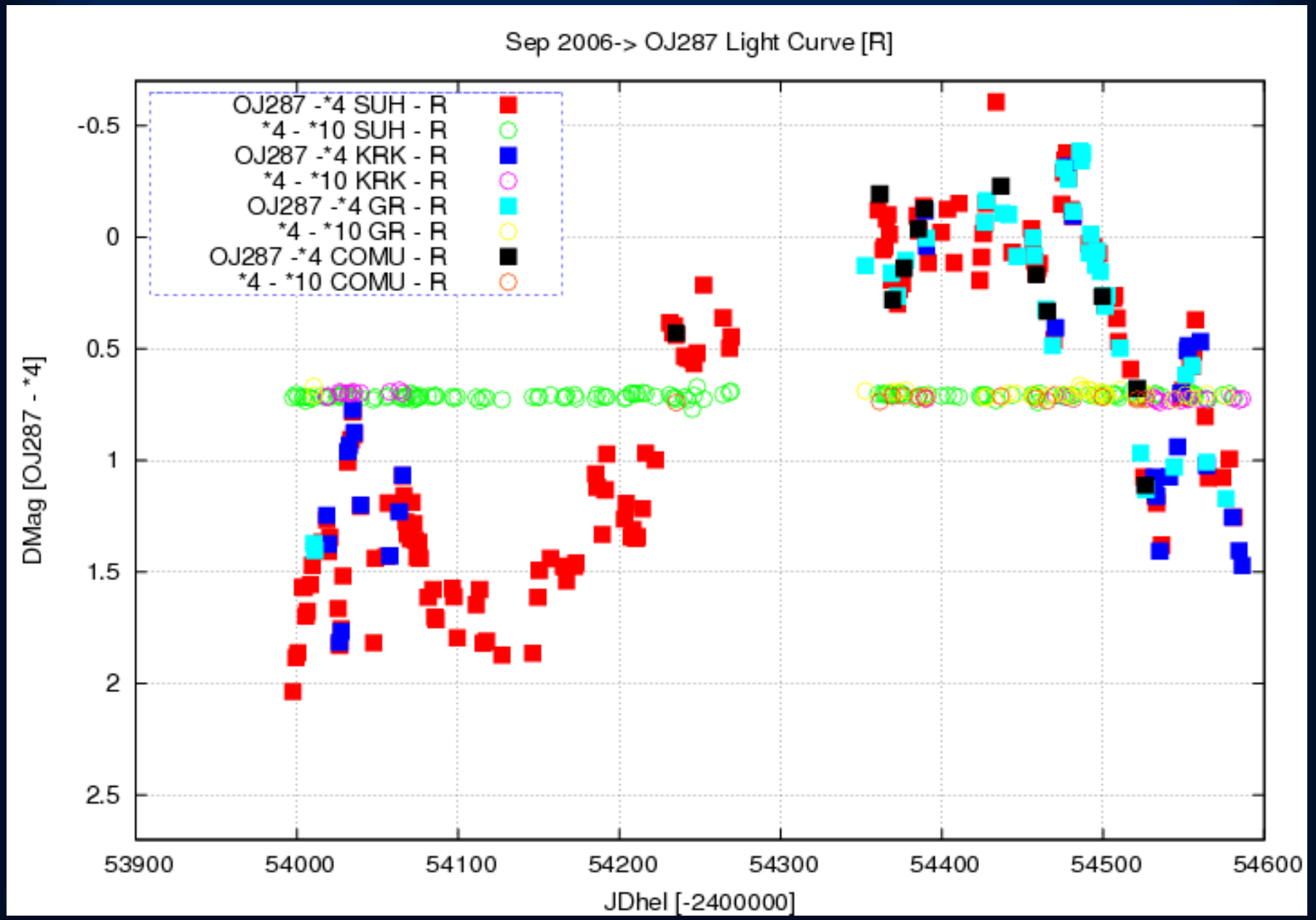
Καμπύλη φωτός παλλόμενου αστέρα



Καμπύλη φωτός καινοφανούς (Nova) αστέρα



Καμπύλη φωτός ενεργού γαλαξιακού πυρήνα (Blazar)



ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΤΟ AIP4WIN

Βάση αυτού του προγράμματος είναι η **ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**

Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να μετράει την ροή της ακτινοβολίας F (counts) μέσα στους κύκλους και δακτυλίους που του ορίζουμε

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε έναν φυσικό θόρυβο ο λεγόμενος **Θόρυβος Υποβάθρου**

Ο θόρυβος αυτός μπορεί να προέρχεται από :

- Το διάχυτο φως από το όλες τις πηγές του σύμπαντος
- Το Σεληνόφως
- Κοντινές τεχνητές πηγές φωτός (π.χ. λάμπες, φωτορύπανση)
- Το ζωδιακό φως
- Κοσμική ακτινοβολία

ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΑΣΤΕΡΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ως αστέρα **V** ορίζουμε τον μεταβλητό αστέρα

Ως αστέρα **C** ορίζουμε τον αστέρα σύγκρισης, ο οποίος πρέπει να είναι περίπου ίσης λαμπρότητας και περίπου ίδιου φασματικού τύπου με τον V, προφανώς να μην είναι μεταβλητός, και όχι κόκκινος αστέρας (απορρόφηση)

Ως αστέρα **K** ορίζουμε τον αστέρα ελέγχου, για τον οποίο ισχύουν όλα τα παραπάνω

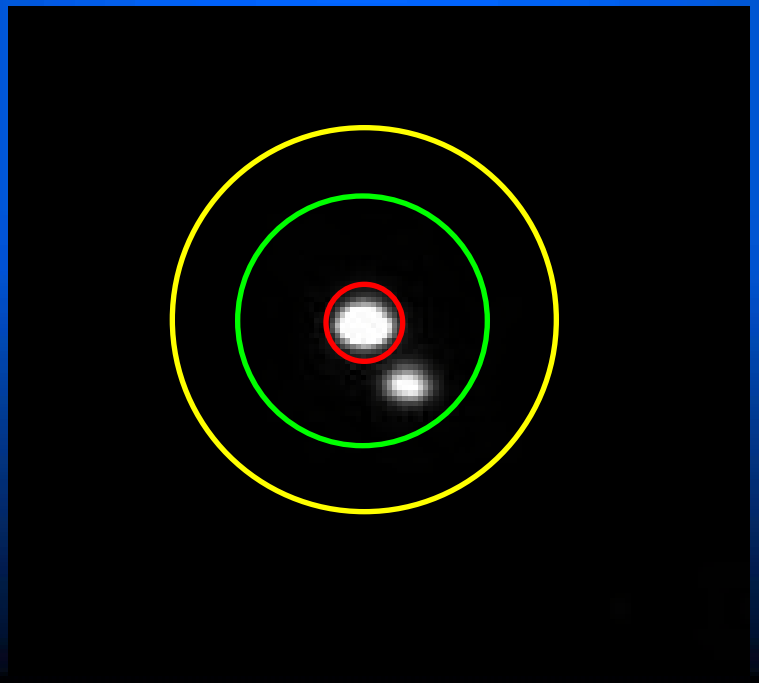
Το πρόγραμμα βάση της σχέσης : $\mathbf{m = a - 2.5 \log F}$ μετατρέπει την ροή F της ακτινοβολίας σε φαινόμενο μέγεθος του αστέρα

Όμως αν δεν ξέρουμε την σταθερά a (προκύπτει από πρότυπους αστέρες), τότε είναι αδύνατον να υπολογίσουμε το φαινόμενο μέγεθος

Εδώ λοιπόν εισάγεται ο όρος **διαφορική φωτομετρία**. Το πρόγραμμα υπολογίζει την διαφορά ροών από δύο αστέρες και τη μετατρέπει σε διαφορά φαινομένου μεγέθους βάση της σχέσης : $\mathbf{m_2 - m_1 = 2.5 \log(F_1/F_2)}$

Κύκλοι (διαφράγματα)

- Ο **πρώτος κύκλος** (**star aperture**) πρέπει να περιλαμβάνει ολόκληρο και μόνο τον αστέρα που επιθυμούμε
- Ο **δεύτερος κύκλος** (**sky annulus in**) και ο **πρώτος** ορίζουν έναν «νεκρό» δακτύλιο γύρω από τον αστέρα. Τα counts που καταγράφονται μέσα σε αυτόν τον δακτύλιο δεν προστίθενται στα counts του αστέρα.
- Ο **τρίτος κύκλος** (**sky annulus out**) και ο **δεύτερος κύκλος** ορίζουν έναν δεύτερο δακτύλιο μέσα στον οποίο δεν πρέπει να περιέχονται αστέρες, καθώς τα counts αυτού του δακτυλίου το πρόγραμμα τα αντιλαμβάνεται ως το φωτεινό υπόβαθρο του ουρανού και τα αφαιρεί από τα counts του φωτομετρούμενου αστέρα



Με την ρύθμιση ***automatic*** επιλέγουμε στην πρώτη εικόνα τους αστέρες που επιθυμούμε, και εν συνεχεία το πρόγραμμα συνεχίζει μόνο του, επαναλαμβάνοντας την φωτομετρία σ' όλες τις εικόνες

Με την ρύθμιση ***manual*** μπορούμε να κάνουμε φωτομετρία σε καθεμία εικόνα ξεχωριστά, οπότε λύνουμε το πρόβλημα της μετατόπισης των αστέρων

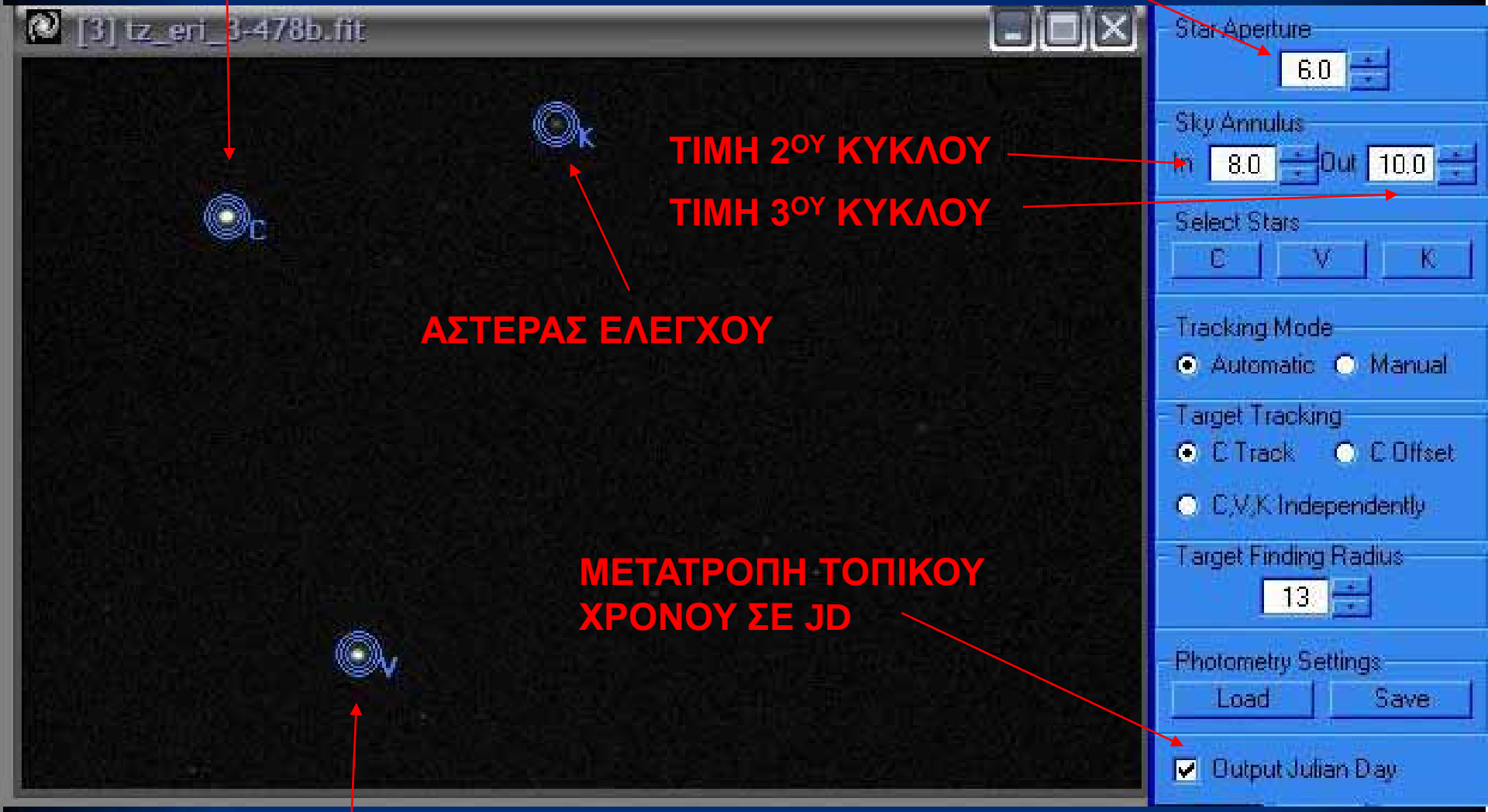
Ρυθμίζοντας την παράμετρο ***Target finding radius*** μπορούμε να επιλέξουμε πόσο θα «επιτρέψουμε» στους κύκλους να ακολουθούν τους αστέρες σε ενδεχόμενη μετατόπισή τους μέσα στο πεδίο

Με την επιλογή ***Output Julian Day*** μετατρέπεται ο ακριβής χρόνος λήψης της φωτογραφίας από **UT** σε **JD**

Το πρόγραμμα αφού διορθώσει τις πρωτότυπες εικόνες, υπολογίζει την διαφορά φαινομένων μεγεθών V-C και K-C για κάθε εικόνα

ΑΣΤΕΡΑΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

ΤΙΜΗ 1ΟΥ ΚΥΚΛΟΥ



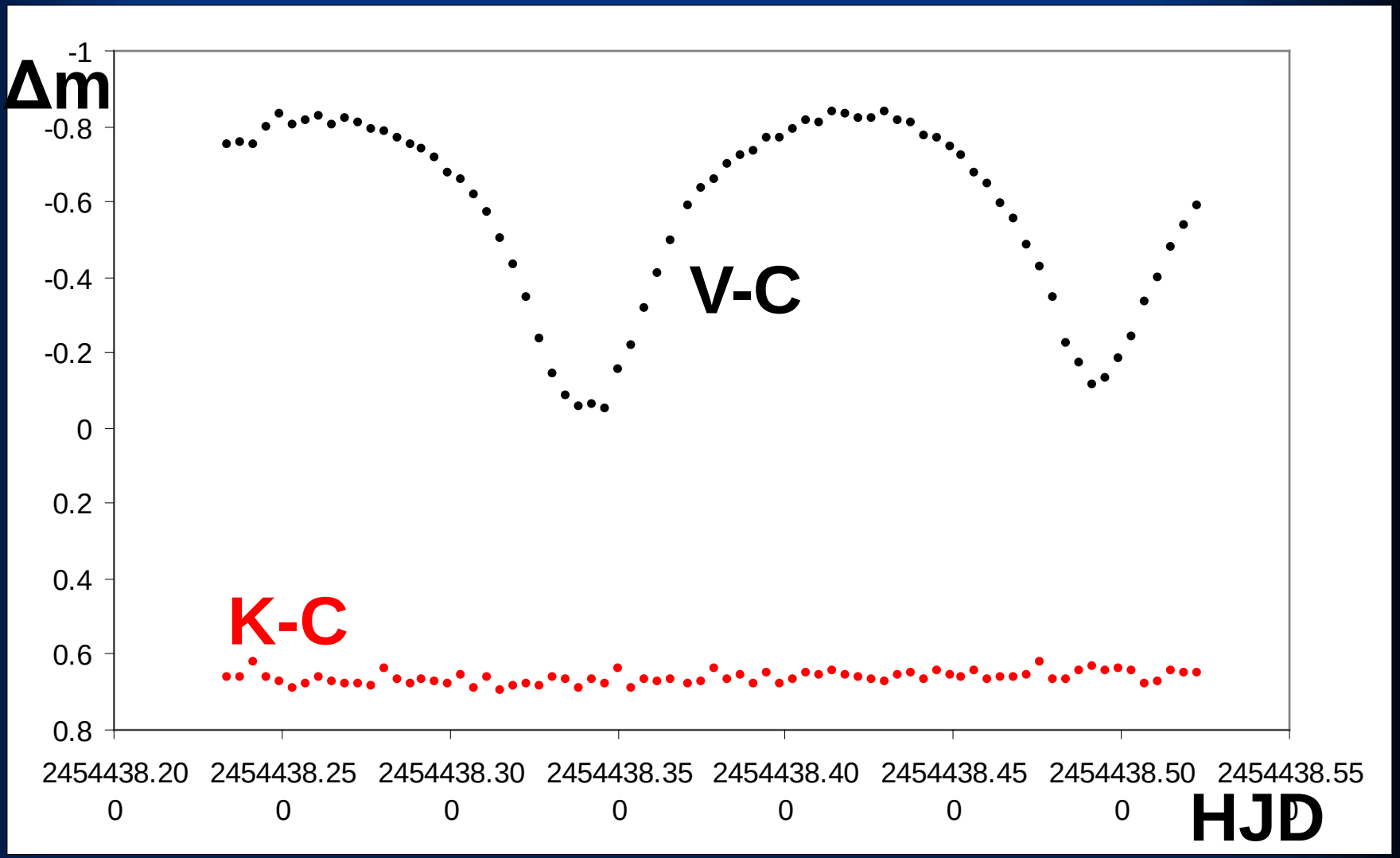
ΤΙΜΗ 2ΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

ΤΙΜΗ 3ΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

ΑΣΤΕΡΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΣΕ JD

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΑΣΤΕΡΑΣ


Δm
-1
-0.8
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
V-C
K-C
2454438.200
2454438.250
2454438.300
2454438.350
2454438.400
2454438.450
2454438.500
2454438.550
HJD

Υπολογισμός χρόνου ελαχίστου

1ο βήμα: Μετατροπή του JD σε HJD

Επαλήθευση: Αφού βρεθεί ο HJD από τις ηλιοκεντρικές εξισώσεις, τότε πρέπει να ισχύει :

$$-0.00578 \text{ days} < JD - HJD < 0.00578 \text{ days}$$

Όπου 0.00578 days = 8.32 Min

Δηλαδή ο χρόνος που κάνει το φως να διανύσει 1 AU

2ο βήμα: Από τα δεδομένα μας εξάγουμε τον χρόνο φωτομετρικού ελαχίστου με μεθόδους

όπως:

- Kwee & Van Woerden
- Fitting κάποιου πολυωνύμου, και εύρεση της τιμής από το ακρότατο της συνάρτησης