



Παρατηρησιακή Αστρονομία

Ενότητα 7: Φωτομετρία

Κλεομένης Τσιγάνης
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.

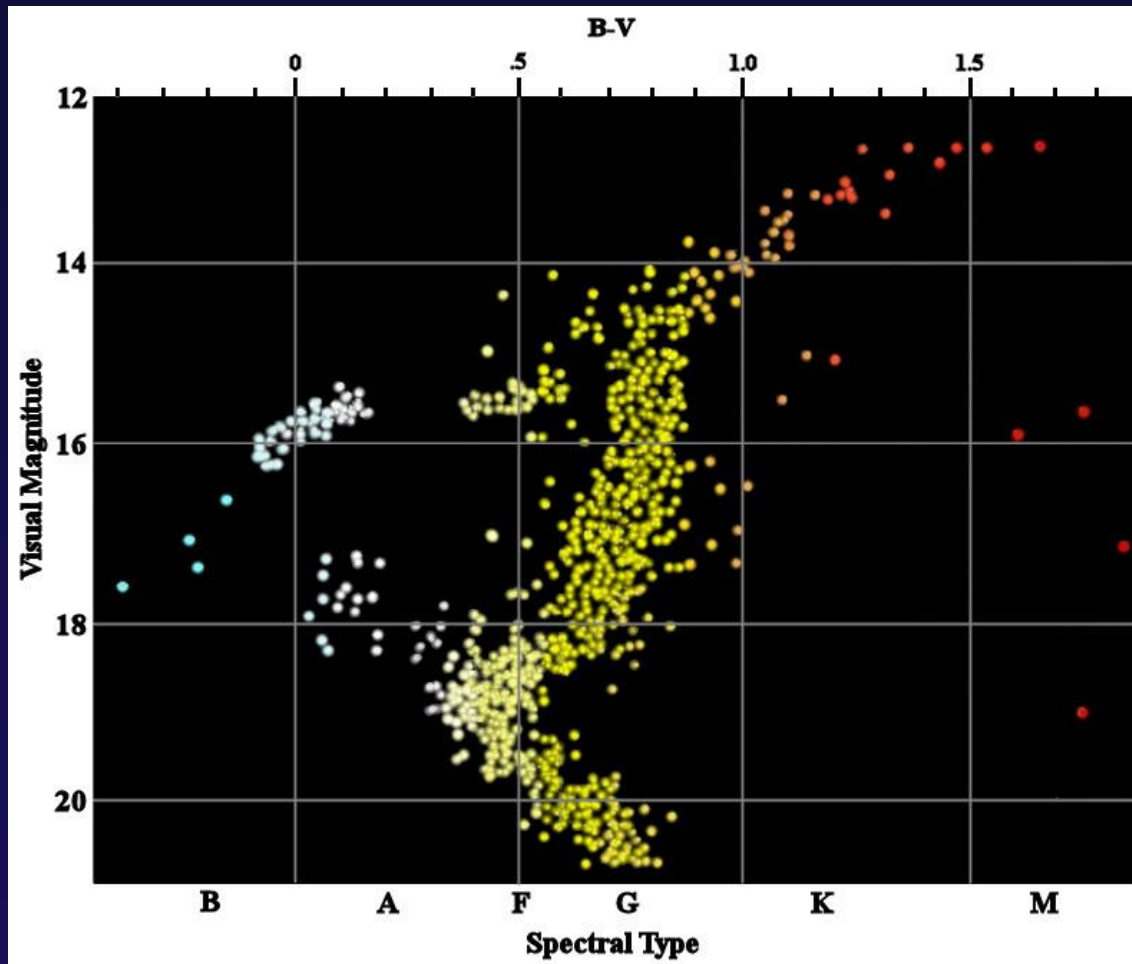


Χρηματοδότηση

- 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



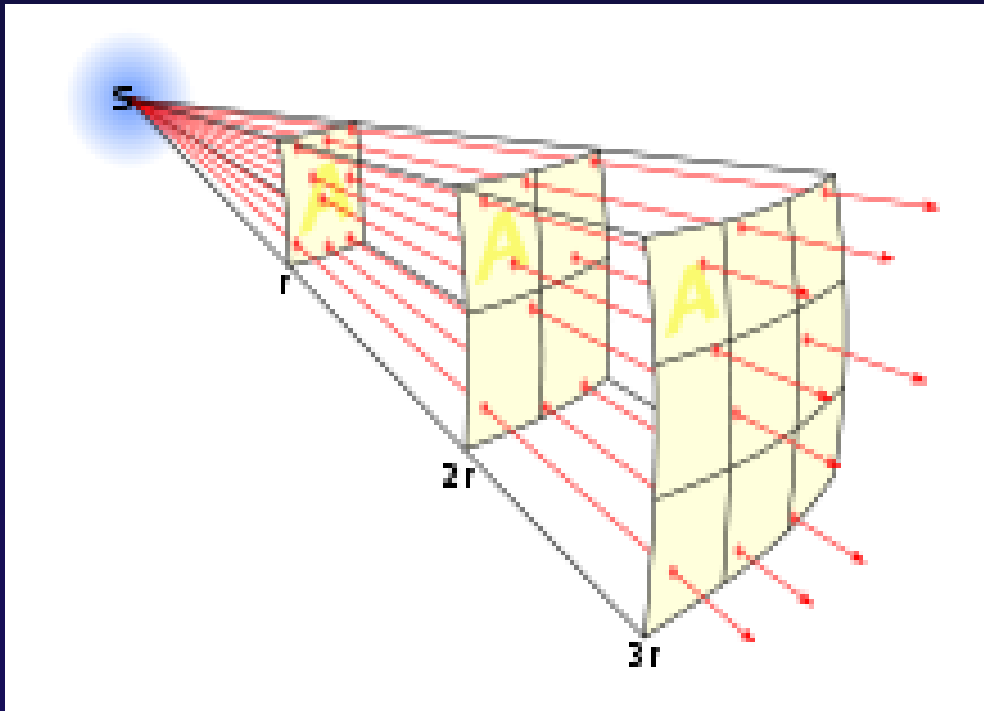
Διάγραμμα φασματικού δείκτη – αστρικού μεγέθους
για το σφαιρωτό σμήνος M3. Πηγή:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M3_color_magnitude_diagram.jpg

Κλ. Τσιγάνης
Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ

Όλη η πληροφορία που μπορούμε να πάρουμε από τα αστρικά αντικείμενα περιέχεται στην ακτινοβολία που εκπέμπουν (+ σωματιδιακή...)

Βασική αρχή: η φωτεινή ροή εξασθενεί με την απόσταση



Φ =φωτεινότητα

φαινόμενη λαμπρότητα

$$l = \Phi/4\pi R^2$$

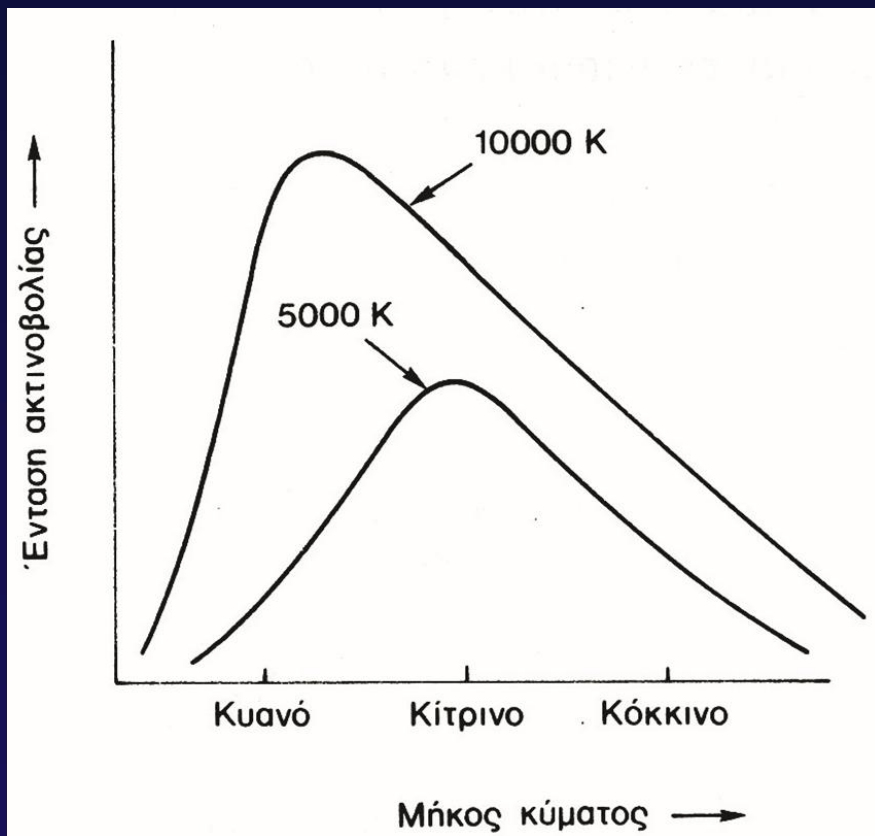
... ακόμη μικρότερη αν έχουμε απορρόφηση ή σκέδαση φωτονίων

Η φωτεινή ροή εξασθενεί αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης. Attribution: Borb. Πηγή:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg

Ακτινοβολία μέλανος σώματος

Θεωρητικά, οι αστέρες (ΚΑ) εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία περίπου ως μελανά σώματα → Planck



Το μ.κ. μέγιστης εκπομπής εξαρτάται από τη θερμοκρασία, T (νόμος Wien)

Ολική φωτεινότητα:
 $\Phi \sim \sigma T^4$ (Stefan-Boltzmann)

Για τον Ήλιο ($T \sim 5800$ K),
το μέγιστο αντιστοιχεί στο κίτρινο
χρώμα

..όπου και το μέγιστο της ευαισθησίας
του ανθρώπινου ματιού

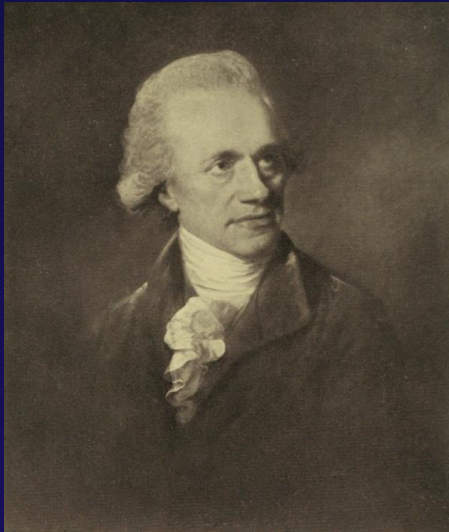
Η κατανομή ακτινοβολίας δύο σωμάτων με επιφανειακή θερμοκρασία 5000K και 10000K. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.



Ο αρχαίος Έλληνας αστρονόμος

Ίππαρχος. Πηγή:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hipparchos_1.jpeg



Ο W.Herschel από το ομώνυμο βιβλίο του Hector

Macpherson. Πηγή:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Herschel_1_from_p6_of_Hector_Macpherson_-_Herschel_\(1919\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Herschel_1_from_p6_of_Hector_Macpherson_-_Herschel_(1919).jpg)

Αστρικά Μεγέθη

Ίππαρχος (~135 π.Χ.): κατάταξη των αστέρων σε 6 μεγέθη (1=λαμπρότερος, 6 ίσα που διακρίνεται με το μάτι)

Herschel (1827): πειραματική απόδειξη ότι $m=1$ είναι περίπου 100 φορές πιο λαμπρός από $m=6$

Pogson (1865): για $\Delta m=1$ είναι

$$l_2/l_1=2.512$$

άρα $l_2/l_1 = 2.512^{m_1-m_2}$

➔ $m_1-m_2=2.5 \log(l_2/l_1)$

Αστρικά Μεγέθη

Απόλυτο Μέγεθος = το φαινόμενο μέγεθος που θα είχε ο αστέρας αν βρισκόταν σε απόσταση 10 pc


$$M - m = 5 - 5 \log(r)$$

Αν υπάρχει απορρόφηση ακτινοβολίας:

$$M - m = 5 - 5 \log(r) - A$$

* ορίζονται (κλασικά) δύο διαφορετικά μεγέθη:

α) οπτικό, m_v

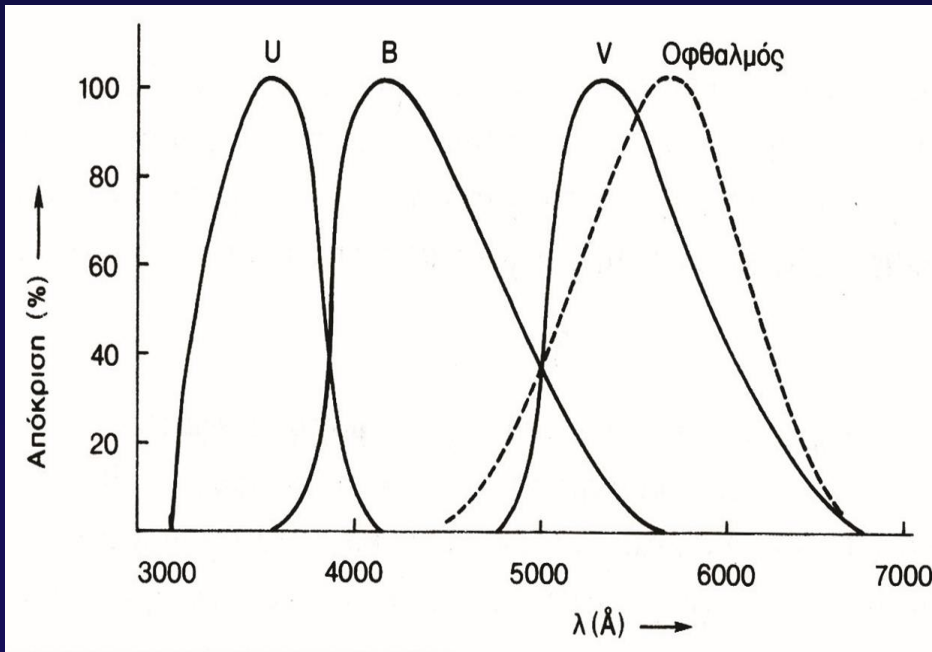
β) φωτογραφικό, m_{pg}

αφού ο κάθε “δέκτης” έχει ευαισθησία σε διαφορετική περιοχή του οπτικού H/M φάσματος

Φωτομετρικά φίλτρα (συστημα Johnson)

Για να μετρήσουμε *αντικειμενικά* το ποσοστό της H/M ακτινοβολίας που εκπέμπει ο αστέρας σε κάθε περιοχή του φάσματος (φασματική κατανομή) χρησιμοποιούμε **φίλτρα**

Το σύστημα Johnson αποτελείται από 3 πρότυπα φίλτρα (U-B-V)
.. επεκτείνεται στο UBV-GRI

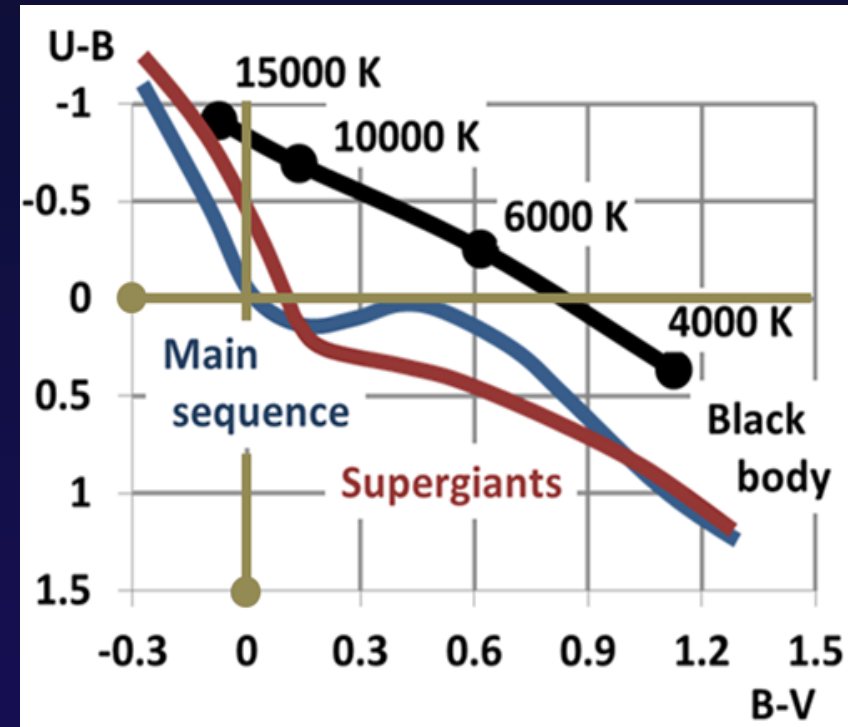
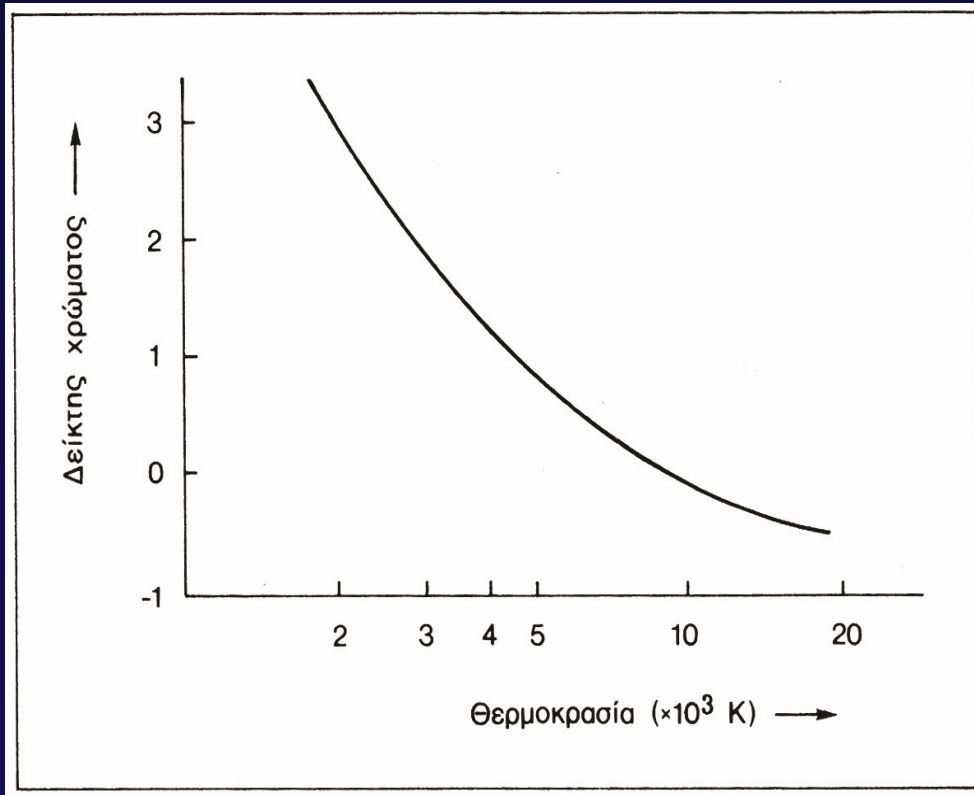


Οι διαφορές μεταξύ των μεγεθών U-B και B-V ονομάζονται δείκτες χρώματος (color indices)

και εξαρτώνται άμεσα από την επιφανειακή θερμοκρασία του αστέρα

Η απόκριση των φίλτρων U, B και V που χρησιμοποιούνται στην αστρονομία καθώς και του οφθαλμού. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σεραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993

Υπεροχή χρώματος - Απορρόφηση



Η σχέση του δείκτη χρώματος $B-V$ με την επιφανειακή θερμοκρασία ενός αστέρα. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.

Διάγραμμα των δύο χρωμάτων. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Effective_temperature_and_color_index.png

Υπεροχή χρώματος: $E_{B-V} = (B-V) - (B-V)_o$

Απορρόφηση: $A_V = 3 E_{B-V}$

Γιατί χρειαζόμαστε ακριβείς φωτομετρικές μετρήσεις

Σύγκριση με

αστροφυσικά πρότυπα:

Εύρεση φυσικών

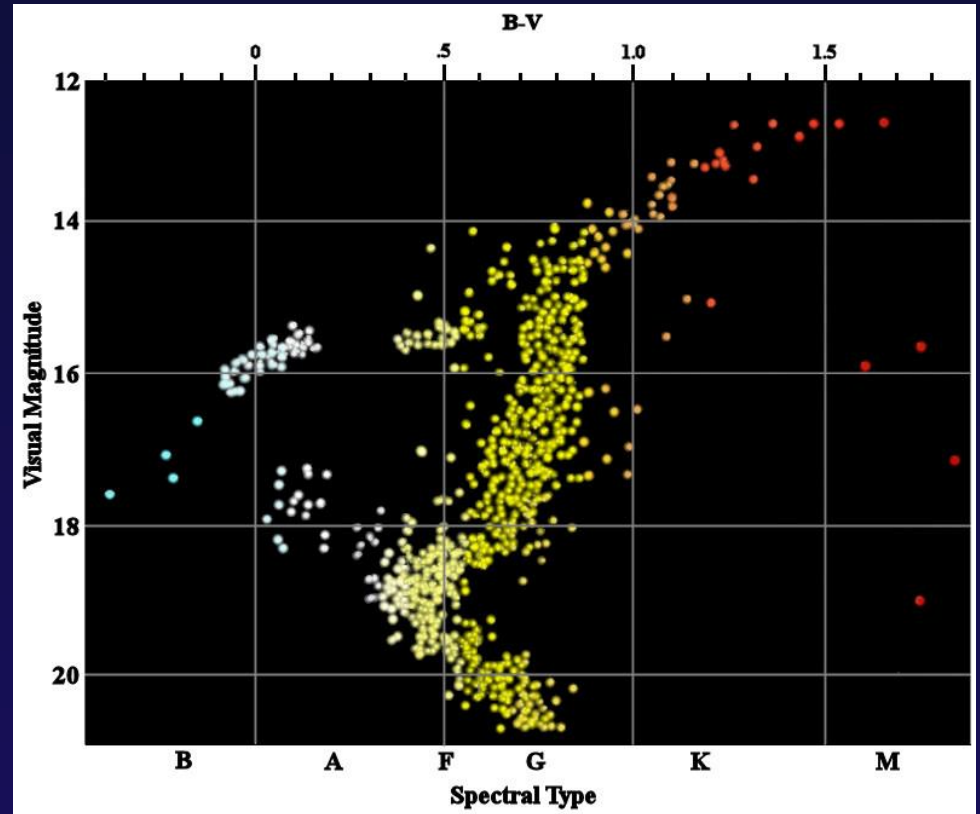
παραμέτρων και

ιδιοτήτων

π.χ. ηλικία ενός σμήνους

Διάγραμμα φασματικού

δείκτη – αστρικού μεγέθους



Διάγραμμα φασματικού δείκτη – αστρικού μεγέθους για το σφαιρωτό σμήνος M3. Πηγή:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M3_color_magnitude_diagram.jpg

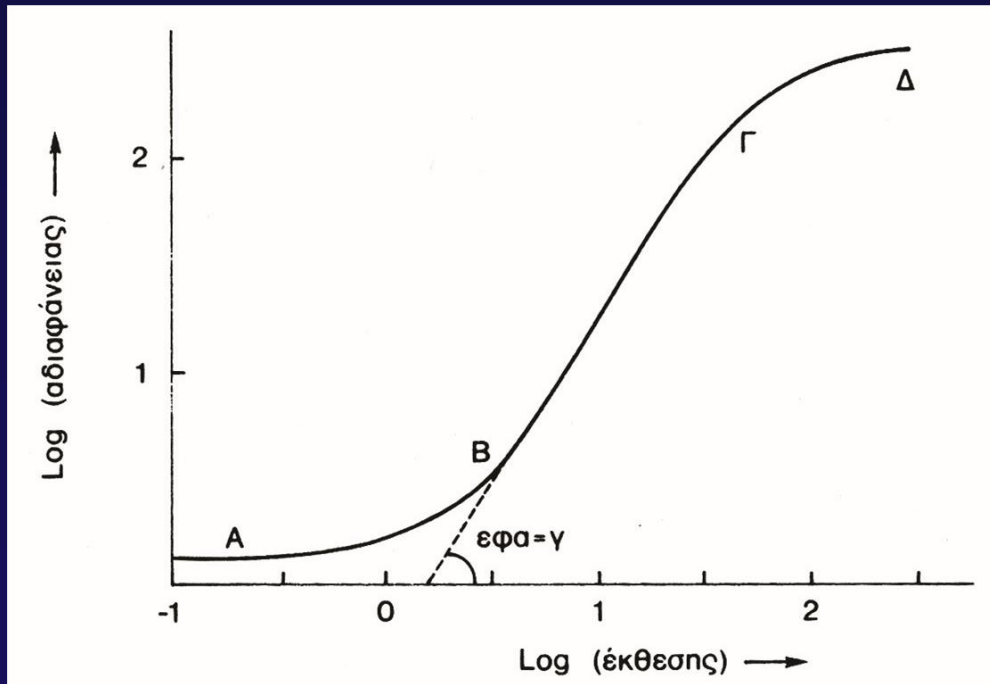
Φωτομετρικοί Δέκτες - Φωτόμετρα

α) Μάτι: μπορεί να διακρίνει διαφορές ~ 0.1 μεγέθη (κάν'τε το!)

-- ευαισθησία στο “κίτρινο”

β) Φωτογραφική πλάκα: “αντικειμενική” καταγραφή της φωτεινής ροής

-- ευαισθησία στο “μπλε”



... αν γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά της πλάκας

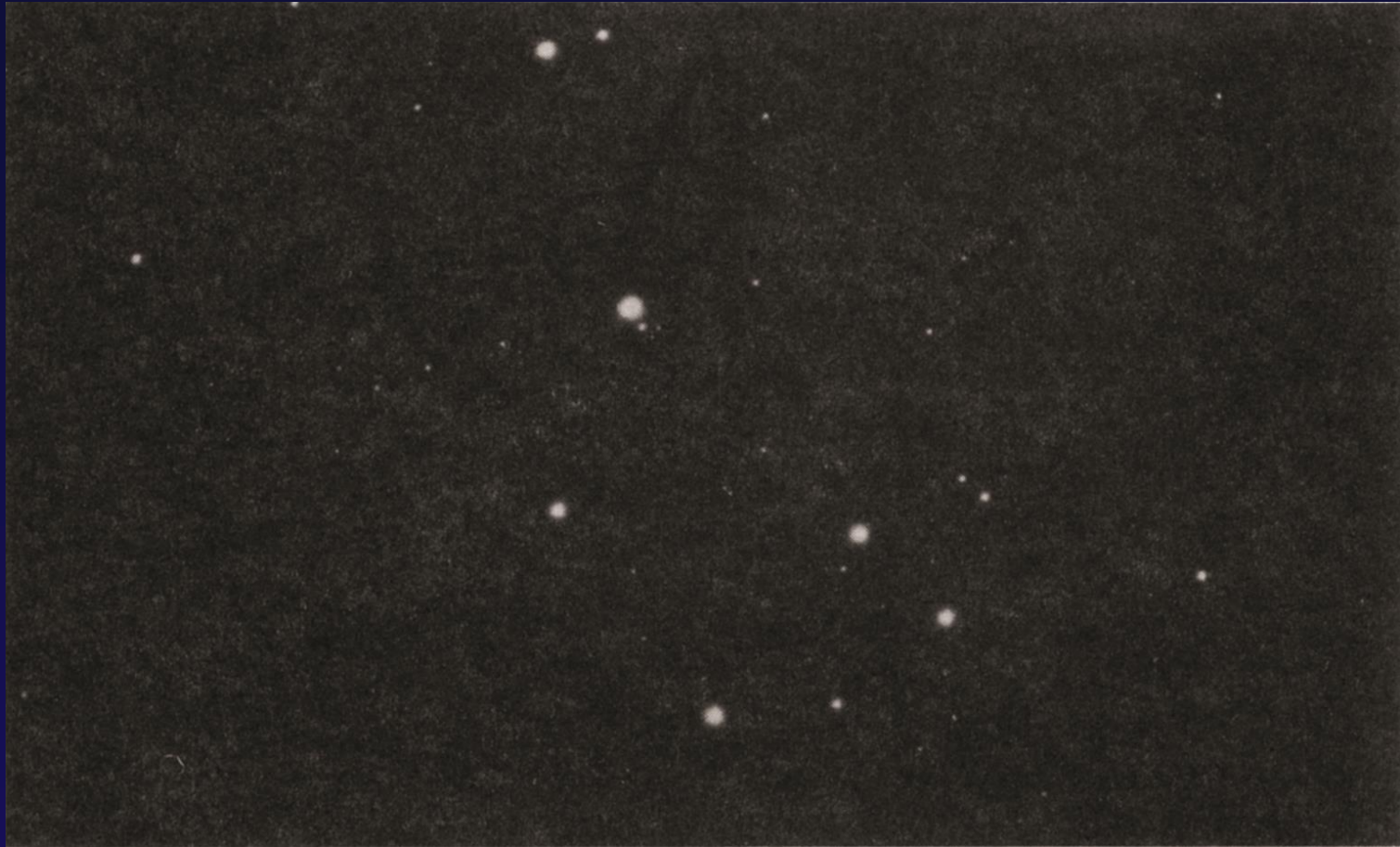
Καμπύλη αμαύρωσης
 $\gamma = \text{contrast}$

Καμπύλη αμαύρωσης φωτογραφικής πλάκας. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι.,

Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων

Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.

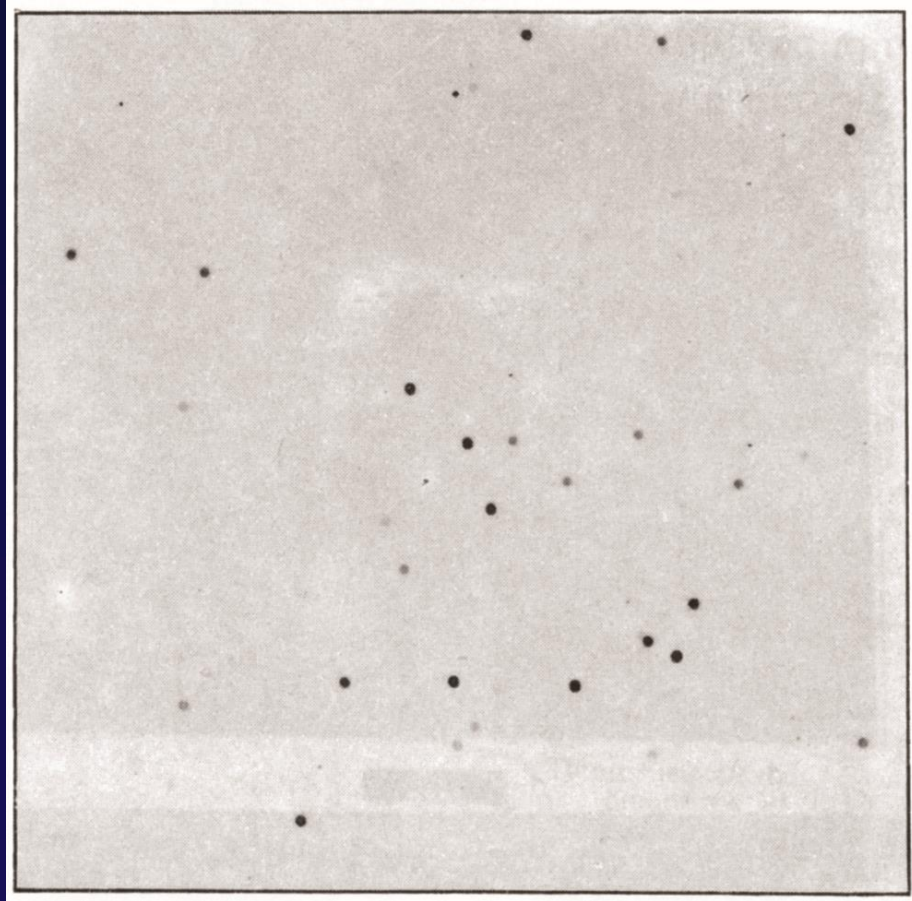
Η περιοχή των Πλειάδων



Η περιοχή των Πλειάδων (εστιακή φωτογραφία). Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.

Εστιακή φωτογραφία \longrightarrow διάμετρος ειδώλου \sim μεγέθους

Η περιοχή του Σκορπιού



Η περιοχή του Σκορπιού (εξωεστιακή φωτογραφία). Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.

Εξω-εστιακή φωτογραφία → βαθμός αμαύρωσης ειδώλου
~ μεγέθους

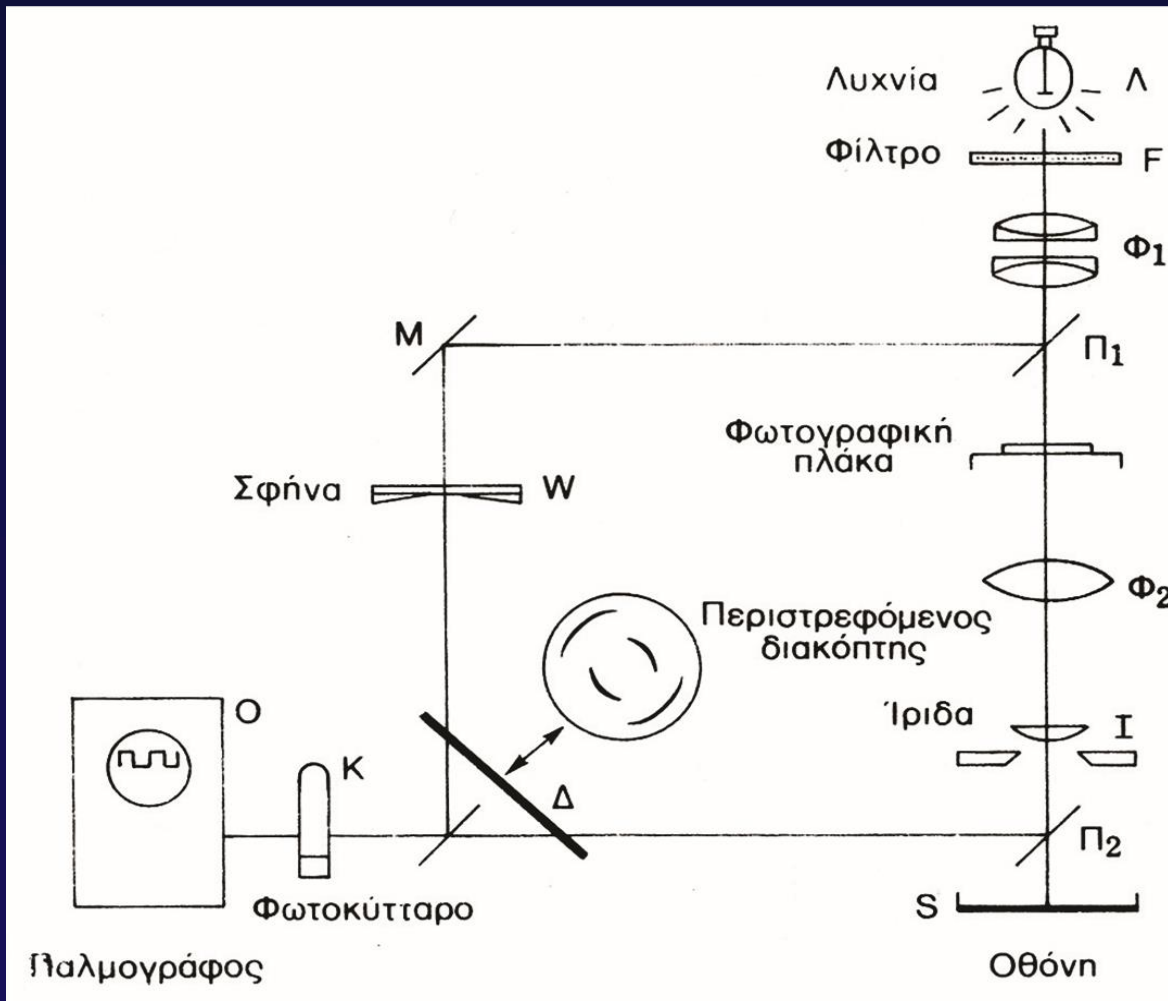
Ιριδοφωτόμετρο



*Το ιριδοφωτόμετρο του
Εργαστηρίου Αστρονομίας*

Το ιριδοφωτόμετρο τύπου ASCANIA του Εργαστηρίου
Αστρονομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

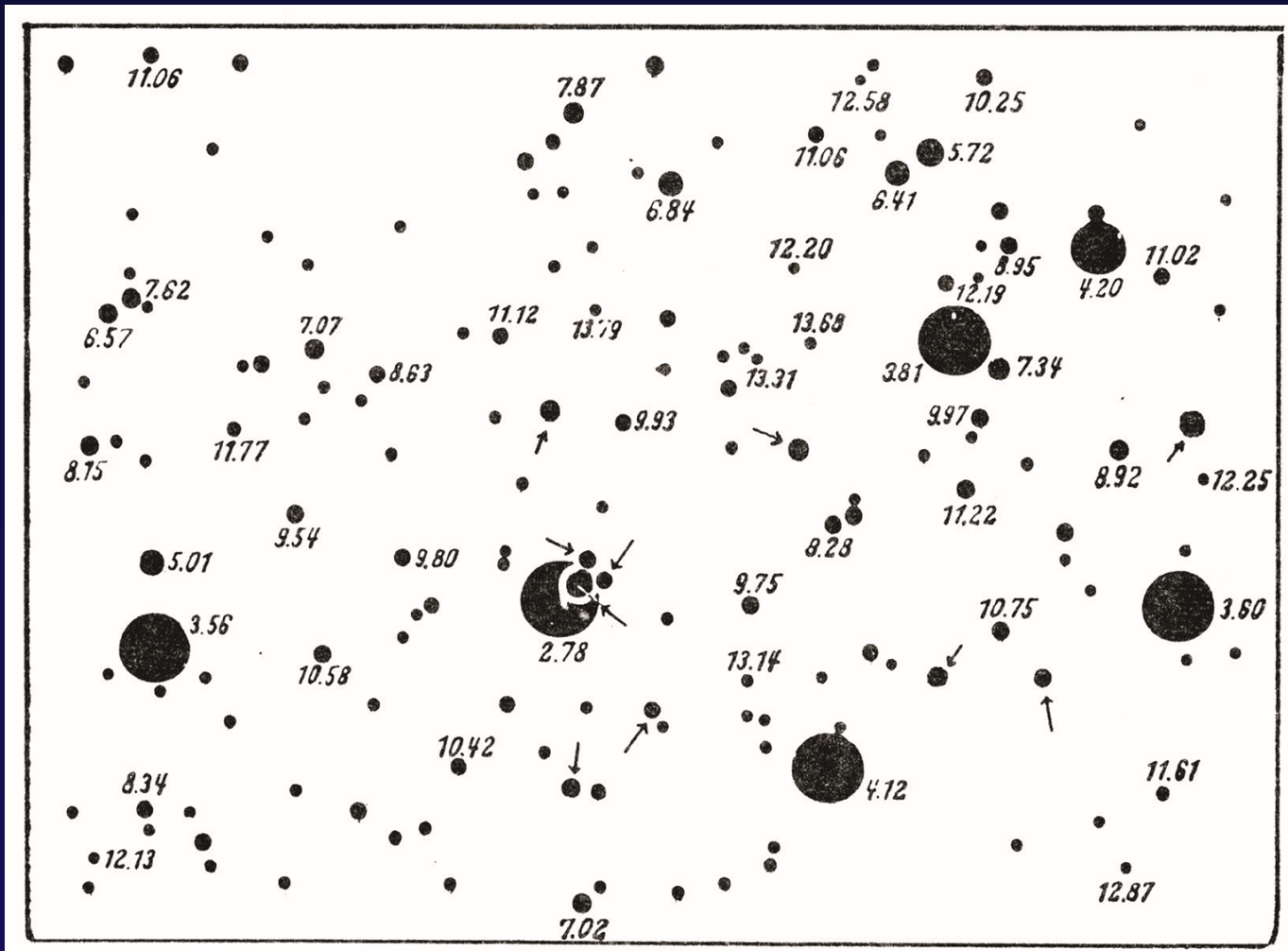
Φωτομετρία με το Ιριδοφωτόμετρο



Αρχή λειτουργίας

Διάγραμμα λειτουργίας του ιριδοφωτόμετρου. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

Φωτομετρία με το Ιριδοφωτόμετρο



Χάρτης της περιοχής των Πλειάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

Χάρτης της περιοχής των Πλειάδων

Φωτογραφική φωτομετρία



Η περιοχή των Υάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.

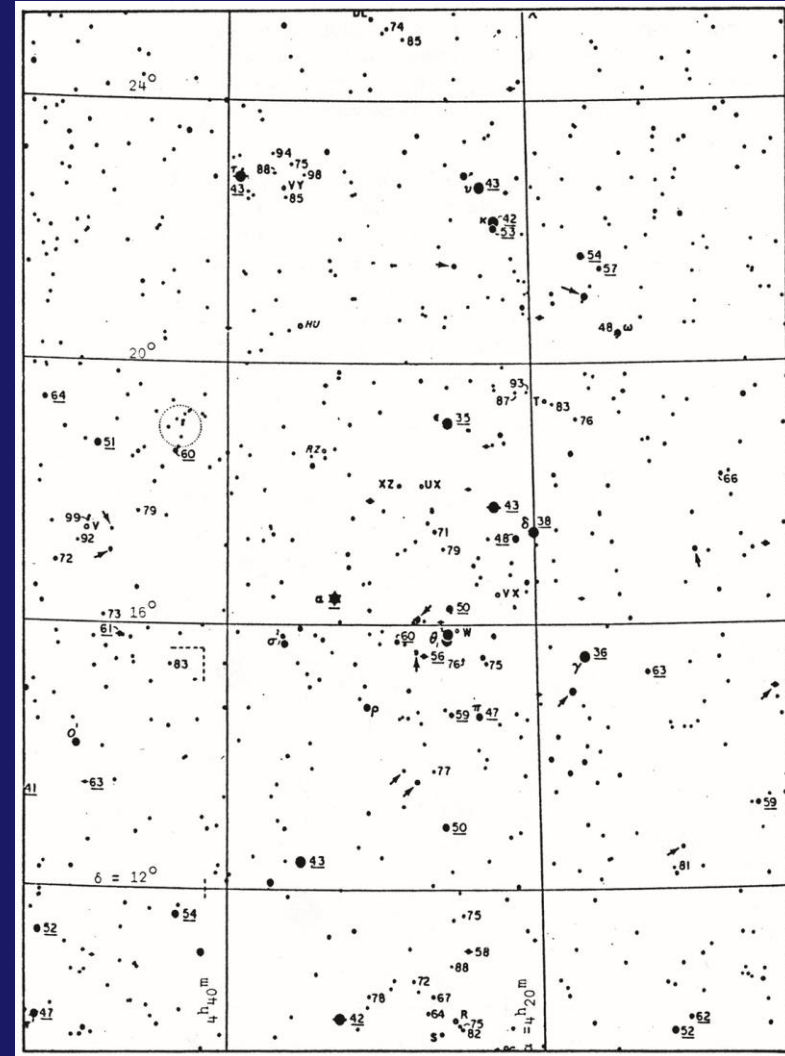
Η περιοχή των Υάδων

Φωτογραφική φωτομετρία



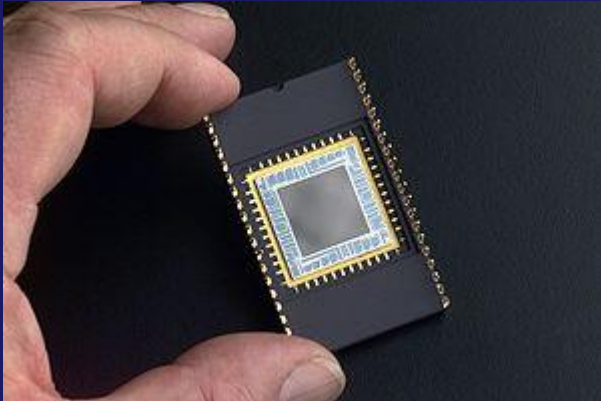
Η περιοχή των Υάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι.,
Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία,
Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.

*Χάρτης της περιοχής
των Υάδων*



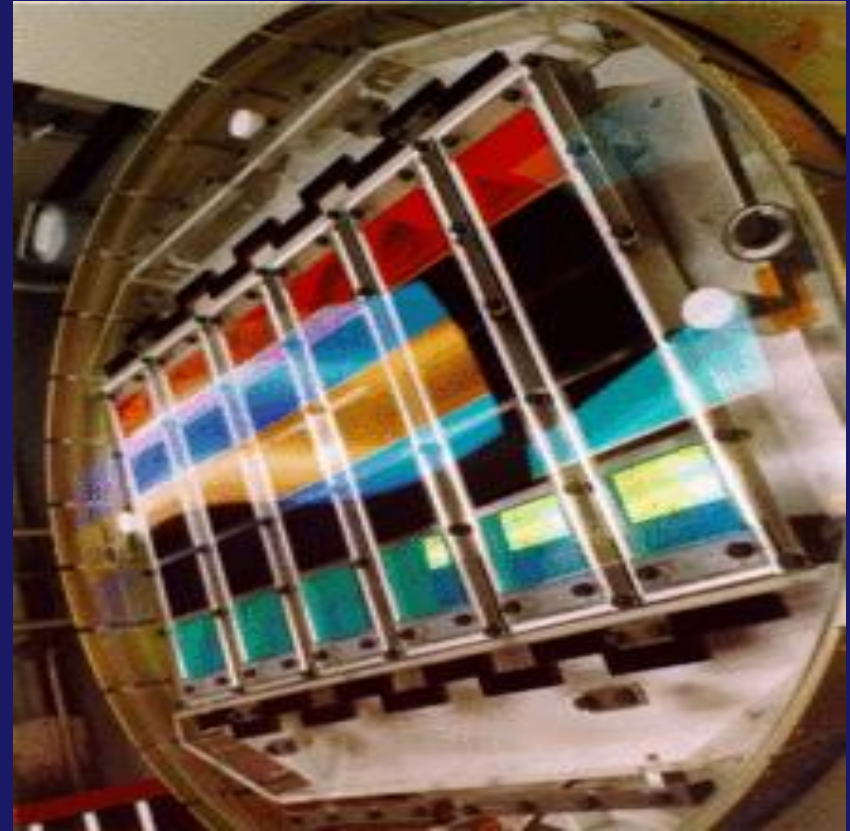
Χάρτης της περιοχής των Υάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι.,
Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις
Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

Ψηφιακή Φωτομετρία με τη χρήση CCD



Πλακίδιο CCD. Πηγή:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD.jpg>



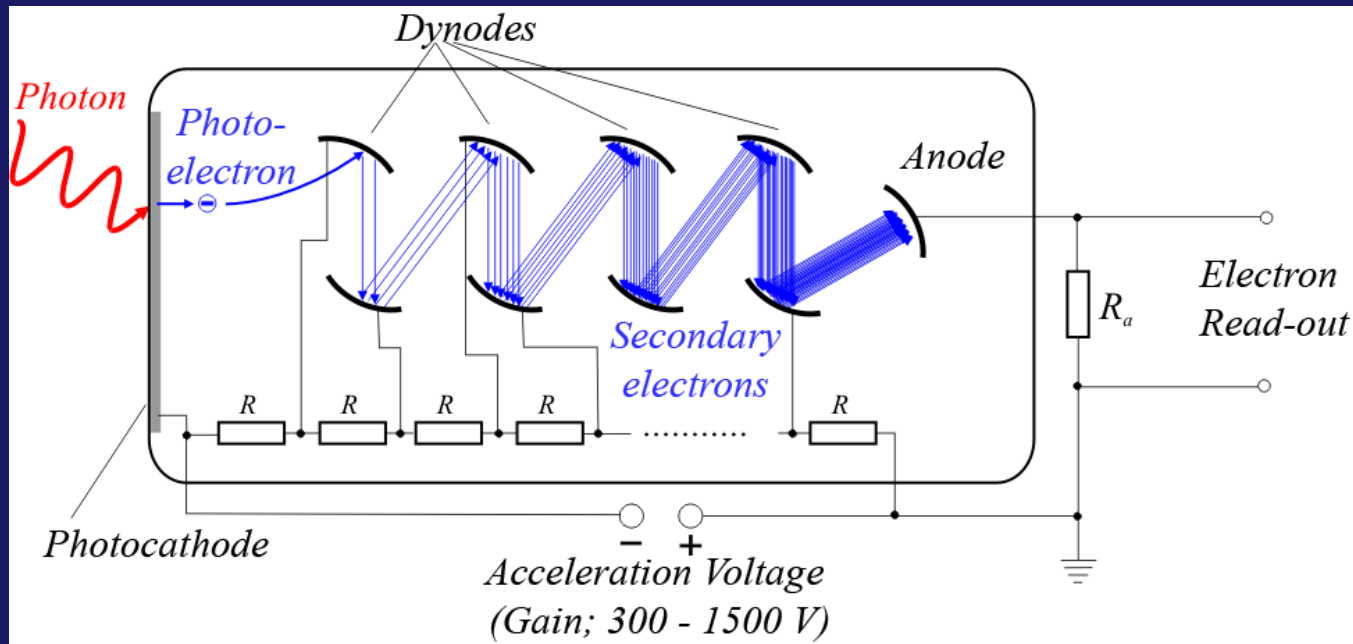
Συστοιχία από 30 CCDs – η κάμερα του Sloan Digital Sky Survey. Πηγή:

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:SDSSFaceplate.gif>

στο επόμενο...

Φωτοηλεκτρική φωτομετρία

Τυπική διάταξη ενός φωτοπολλαπλασιαστή



Τυπική διάταξη ενός φωτοπολλαπλασιαστή. Πηγή:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photomultiplier_schema_en.png

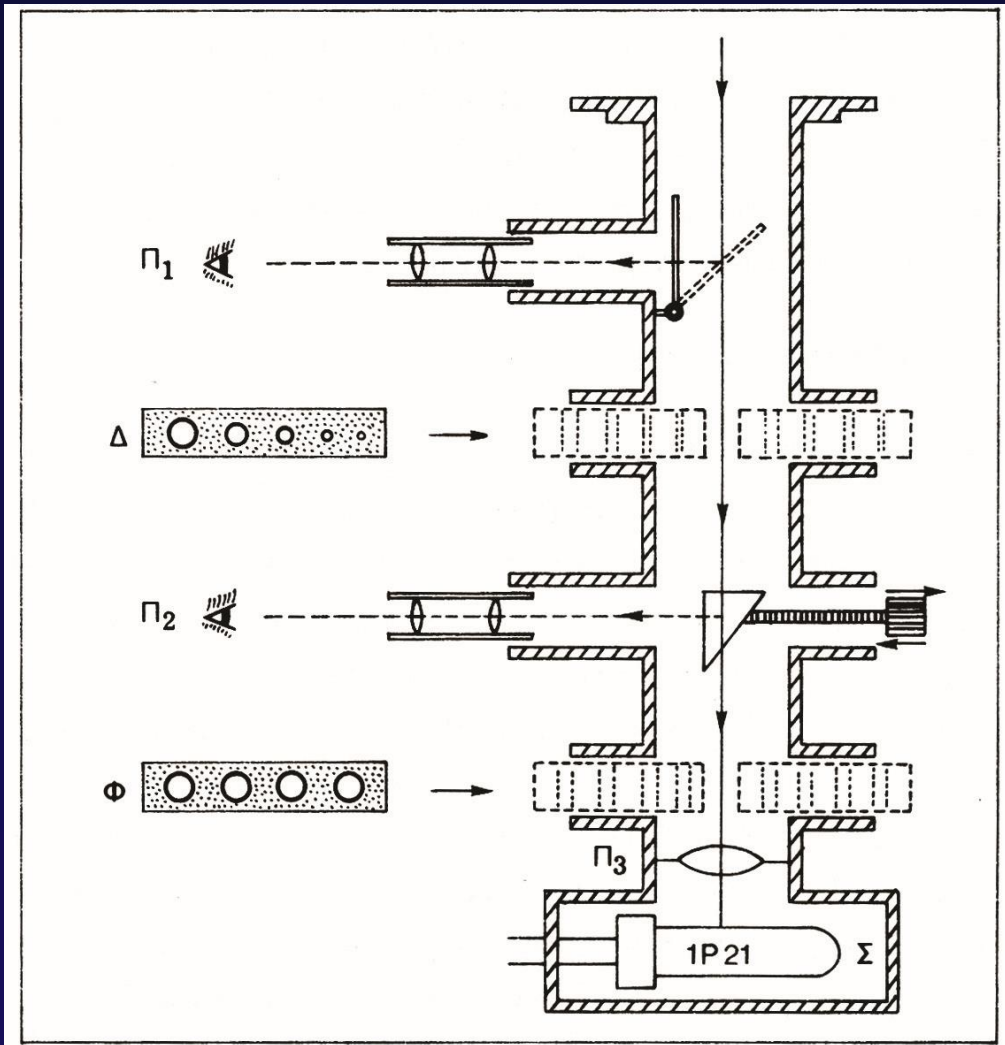
Φωτοπολλαπλασιαστής.

Πηγή:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pmside.jpg>

Ευαίσθητη και εξαιρετικής ταχύτητας παρατήρηση
για ένα μόνο αστέρα κάθε φορά

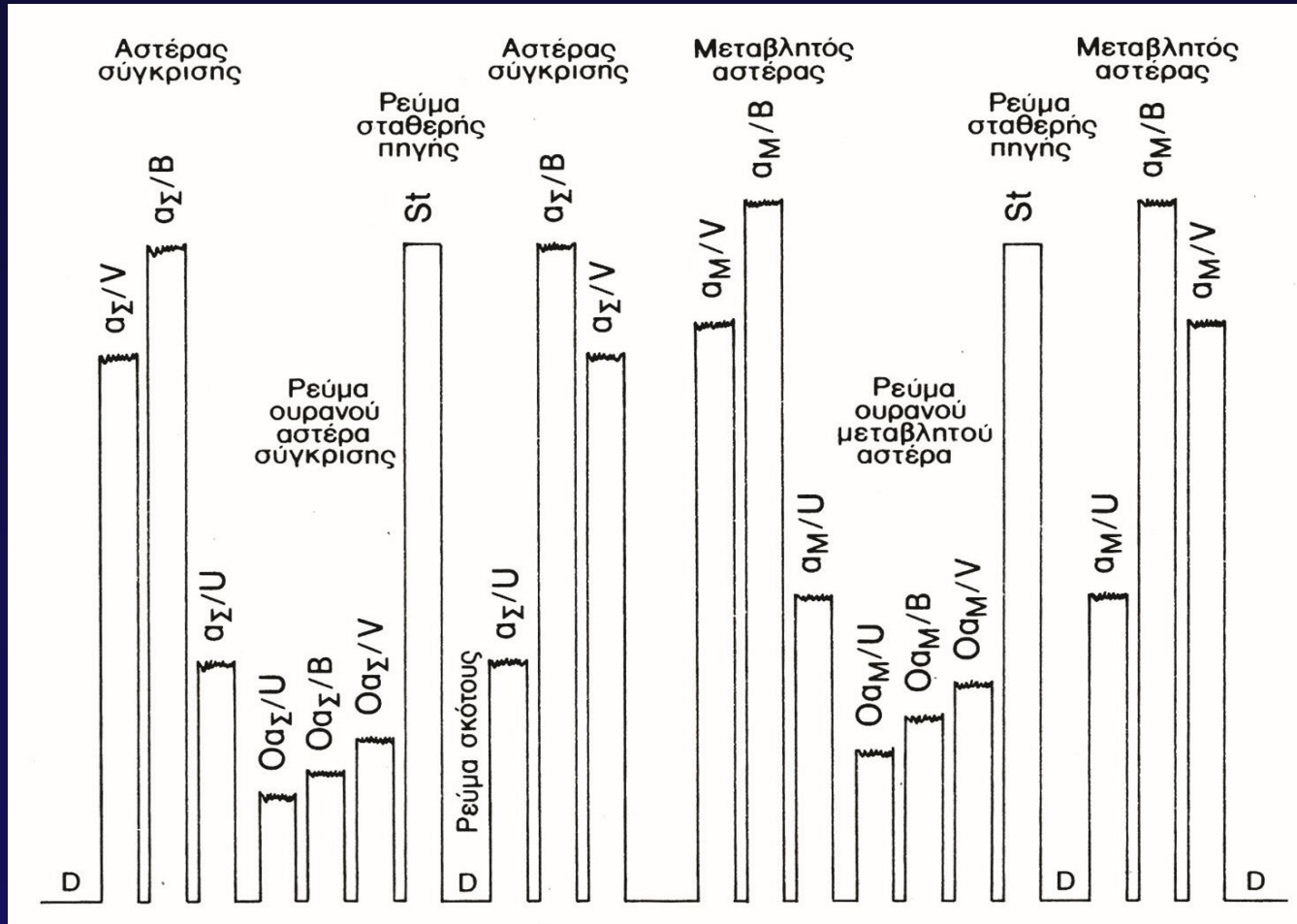
Φωτοηλεκτρική φωτομετρία



Φωτοηλεκτρική διάταξη

Διάταξη οργάνων για φωτοηλεκτρική φωτομετρία. Πηγή:
Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία,
Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

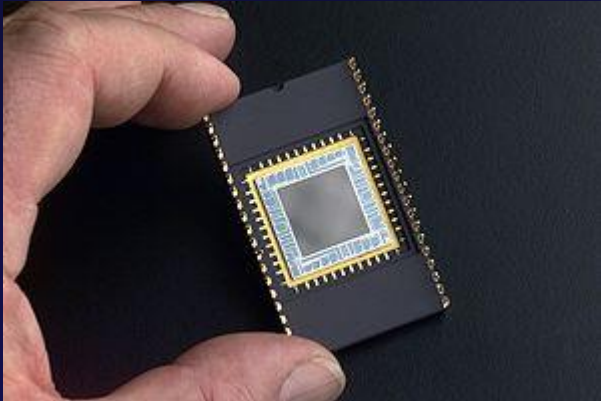
Φωτοηλεκτρική παρατήρηση (γράφημα)



Παράδειγμα αυτογραφήματος φωτοηλεκτρικών παρατηρήσεων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.

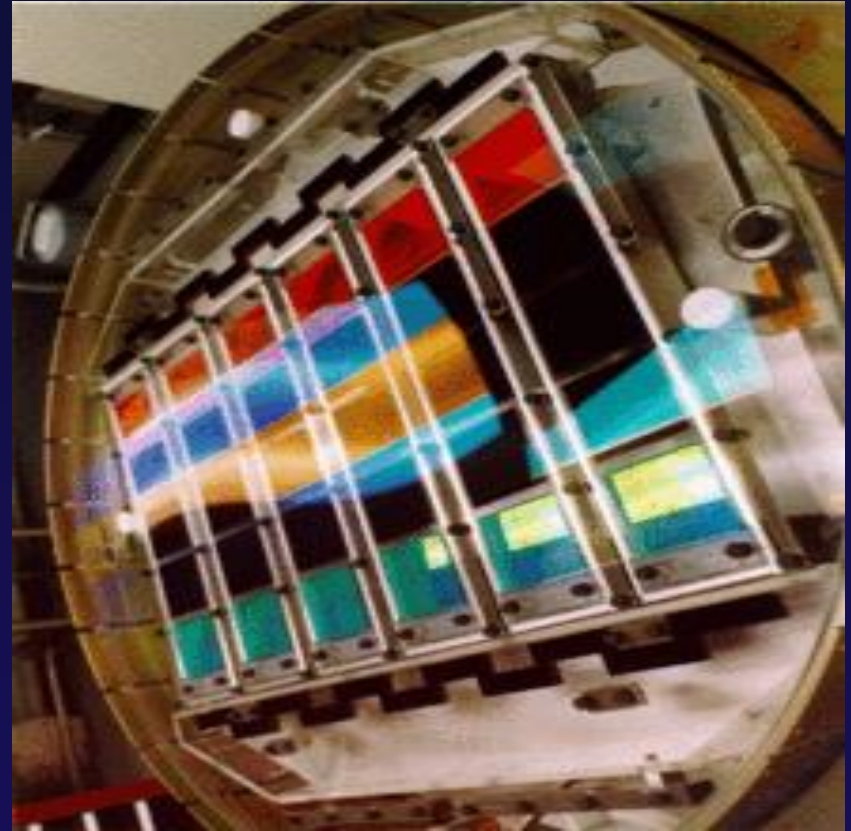
$$\ell_{\Sigma}/\ell_{M} = d_{\Sigma}/d_{M} \rightarrow \Delta_m = m_M - m_{\Sigma} = 2.5 \log(\ell_{\Sigma}/\ell_{M}) = 2.5 \log(d_{\Sigma}/d_{M})$$

Ψηφιακή Φωτομετρία με τη χρήση CCD



Πλακίδιο CCD. Πηγή:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD.jpg>



Συστοιχία από 30 CCDs – η κάμερα του Sloan Digital Sky Survey. Πηγή:

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:SDSSFaceplate.gif>

στο επόμενο...

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Διαφάνεια	Πνευματικά δικαιώματα
Διαφ.1	-
Διαφ.2	-
Διαφ.3	-
Διαφ.4	«Διάγραμμα φασματικού δείκτη – αστρικού μεγέθους για το σφαιρωτό σμήνος M3. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M3_color_magnitude_diagram.jpg »
Διαφ.5	«Η φωτεινή ροή εξασθενεί αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης. Attribution: Borb. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg .»
Διαφ.6	«Η κατανομή ακτινοβολίας δύο σωμάτων με επιφανειακή θερμοκρασία 5000K και 10000K. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.»
Διαφ.7	Επάνω: «Ο αρχαίος Έλληνας αστρονόμος Ίππαρχος. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hipparchos_1.jpeg Κάτω: «Ο W.Herschel από το ομώνυμο βιβλίο του Hector Macpherson. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Herschel_from_p6_of_Hector_Macpherson_-_Herschel_(1919).jpg »
Διαφ.8	-
Διαφ.9	«Η απόκριση των φίλτρων U, B και V που χρησιμοποιούνται στην αστρονομία καθώς και του οφθαλμού. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.»
Διαφ.10	Αριστερά: «Η σχέση του δείκτη χρώματος B-V με την επιφανειακή θερμοκρασία ενός αστέρα. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.» Δεξιά: «Διάγραμμα των δύο χρωμάτων. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Effective_temperature_and_color_index.png »
Διαφ.11	«Διάγραμμα φασματικού δείκτη – αστρικού μεγέθους για το σφαιρωτό σμήνος M3. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M3_color_magnitude_diagram.jpg »
Διαφ.12	«Καμπύλη αμαύρωσης φωτογραφικής πλάκας. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.»
Διαφ.13	«Η περιοχή των Πλειάδων (εστιακή φωτογραφία). Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.»
Διαφ.14	«Η περιοχή του Σκορπιού (εξωεστιακή φωτογραφία). Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.»



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Διαφ.15	«Το ιριδοφωτόμετρο τύπου ASCANIA του Εργαστηρίου Αστρονομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης»
Διαφ.16	«Διάγραμμα λειτουργίας του ιριδοφωτόμετρου. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.»
Διαφ.17	«Χάρτης της περιοχής των Πλειάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.»
Διαφ.18	Αριστερά: «Τυπική διάταξη ενός φωτοπολλαπλασιαστή. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photomultiplier_schema_en.png Δεξιά: «Φωτοπολλαπλασιαστής. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pmside.jpg »
Διαφ.19	«Διάταξη οργάνων για φωτοηλεκτρική φωτομετρία. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.»
Διαφ.20	«Παράδειγμα αυτογραφήματος φωτοηλεκτρικών παρατηρήσεων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.»
Διαφ.21	«Η περιοχή των Υάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.»
Διαφ.22	Αριστερά: «Η περιοχή των Υάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 1993.» Δεξιά: «Χάρτης της περιοχής των Υάδων. Πηγή: Αυγολούπη Σ.Ι., Σειραδάκη Ι.Χ., Παρατηρησιακή Αστρονομία, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009.»
Διαφ.23	Αριστερά: «Πλακίδιο CCD. Πηγή: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD.jpg Δεξιά: «Συστοίχια από 30 CCDs – η κάμερα του Sloan Digital Sky Survey. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/File:SDSSFaceplate.gif ».





Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Αναστασίου Μαγδαληνή

Θεσσαλονίκη, 15/09/2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

