

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης **Creative Commons** και ειδικότερα

Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 3.0 Ελλάδα

(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 3.0 Greece)



CC BY-NC-ND 3.0 GR

[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]

[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΠΟΣΟ “ΜΕΓΑΛΑ” ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΑΣΤΕΡΙΑ;

A) Ακτίνα αστέρων (Όγκος).

Στον Ήλιο, και τον Betelgeuse, μπορούμε να μετρήσουμε “απευθείας” τη “γωνιακή διαμέτρο”, α , των αστεριών. Αν γνωρίζουμε αυτή τη γωνία, τότε:

$$R (\equiv \text{ακτίνα του αστερά}) = d (\equiv \text{απόσταση του αστερά}) \times \tan(\alpha/2)$$

Για τον Ήλιο: $\alpha = 1919'' = 31.98' = 0.53^\circ = 9.3 \times 10^{-3} \text{ rad}$. Άρα:

$$R_{\odot} = \tan(\alpha/2) \times 1 \text{ AU} = 695500 \text{ km} (\sim 7 \times 10^8 \text{ m}), \text{ δηλαδή: } 1 \text{ AU} \sim 215 R_{\odot}.$$

Για τον Betelgeuse (από μετρήσεις με το HST), $\alpha = 0.125'' = 9.3 \times 10^{-3} \text{ rad}$, $d = 197 \text{ pc}$ (αλλά με σφάλμα $\pm 45 \text{ pc}$, που είναι αρκετά μεγάλο), άρα: $R_B \approx 12,4 \text{ AU} = 2650 R_{\odot}$.

Ο Betelgeuse είναι ένας “υπεργίγαντας” αστέρας: έχει ακτίνα (και λαμπρότητα) κατά πολύ μεγαλύτερη από του Ήλιου.

Για περίπου ~ 1000 ακόμα (γειτονικά) αστέρια, η γωνιακή διάμετρος έχει υπολογιστεί με μεθόδους συμβολομετρικές. Για τον Εγγύτερο του Κενταύρου:

$$\alpha = 1 \times 10^{-3} \text{ arcsec}, d = 1,3 \text{ pc}, \text{ άρα: } R_{PC} = 0.14 R_{\odot}.$$

Ο Εγγύτερος του Κενταύρου είναι ένας αστέρας “νάνος”: έχει ακτίνα (και λαμπρότητα) πολύ μικρότερη από του Ήλιου.

B) Μάζα αστέρων (Πυκνότητα)

Διπλό σύστημα αστέρων: δύο αστέρες που αλληλεπιδρούν βαρυτητικά και το σύστημα είναι δέσμιο.

Οι περισσότεροι αστέρες στη “γειτονιά του Ήλιου είναι σε διπλά συστήματα. Σ' ένα τέτοιο σύστημα, οι αστέρες εκτελούν (στη γενική περίπτωση) ελλειπτικές τροχιές γύρω από το Κέντρο Μάζας (ΚΜ) του συστήματος. Το επίπεδο και η περίοδος της τροχιάς είναι κοινά και για τα δυο αστέρια. Το ΚΜ βρίσκεται στην ευθεία που ενώνει τα δύο αστέρια, και η θέση του σ' αυτή καθορίζεται από τη σχέση:

$$\frac{a_B}{a_A} = \frac{M_A}{M_B} (1)$$

όπου a_B και a_A είναι οι αποστάσεις των αστέρων από το ΚΜ

και M_A, M_B είναι οι μάζες τους.

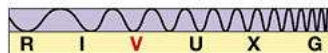
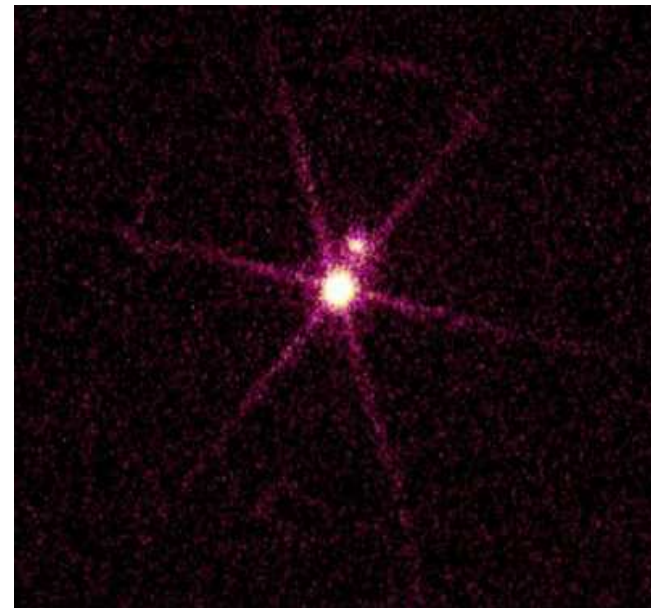
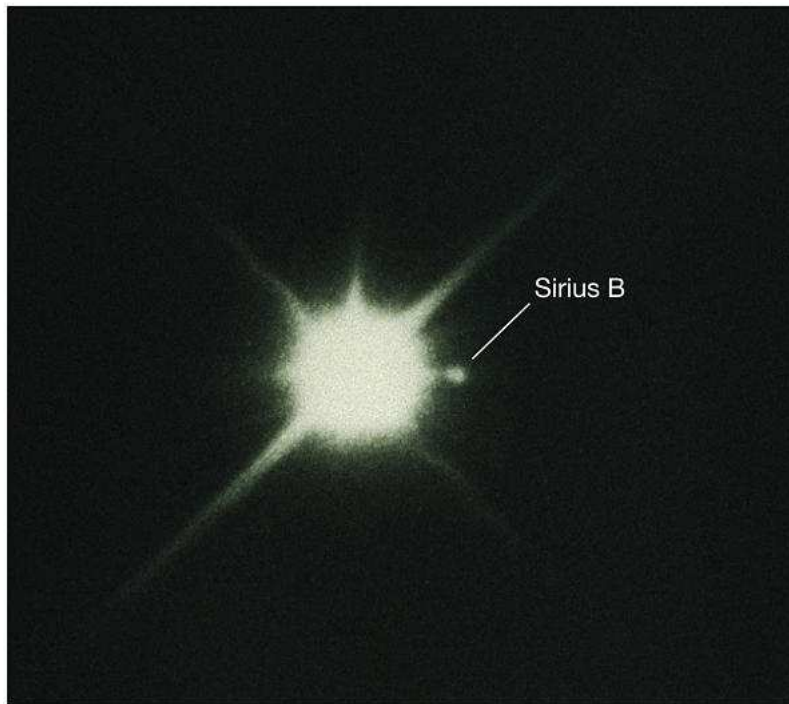
Για την περίοδο των τροχιών των αστέρων, P , ισχύει: $P^2 = \frac{4\pi^2}{G} a^3 \frac{1}{(M_A + M_B)} (2)$, όπου

a είναι ο μεγάλος ημιάξονας της τροχιάς της σχετικής θέσης των δύο αστέρων.

Αν γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του συστήματος (γωνία κλίσης επιπέδου τροχιάς, P , a_B , a_A και a) τότε μπορούμε να υπολογίσουμε από τις εξισώσεις (1) και (2) τις μάζες των αστέρων.

Τα διπλά συστήματα αστέρων κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη φαινόμενη απόσταση των αστέρων και τη δυνατότητα διαχωρισμού τους από γήινα τηλεσκόπια.

A) ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ: Μπορούν να διαχωριστούν ως ξεχωριστά αστέρια από τα τηλεσκόπια. Είναι συνήθως κοντινά συστήματα με μεγάλες περιόδους περιστροφής και μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των μελών του συστήματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, το σύστημα του Σείριου (Σείριος Α και Β).

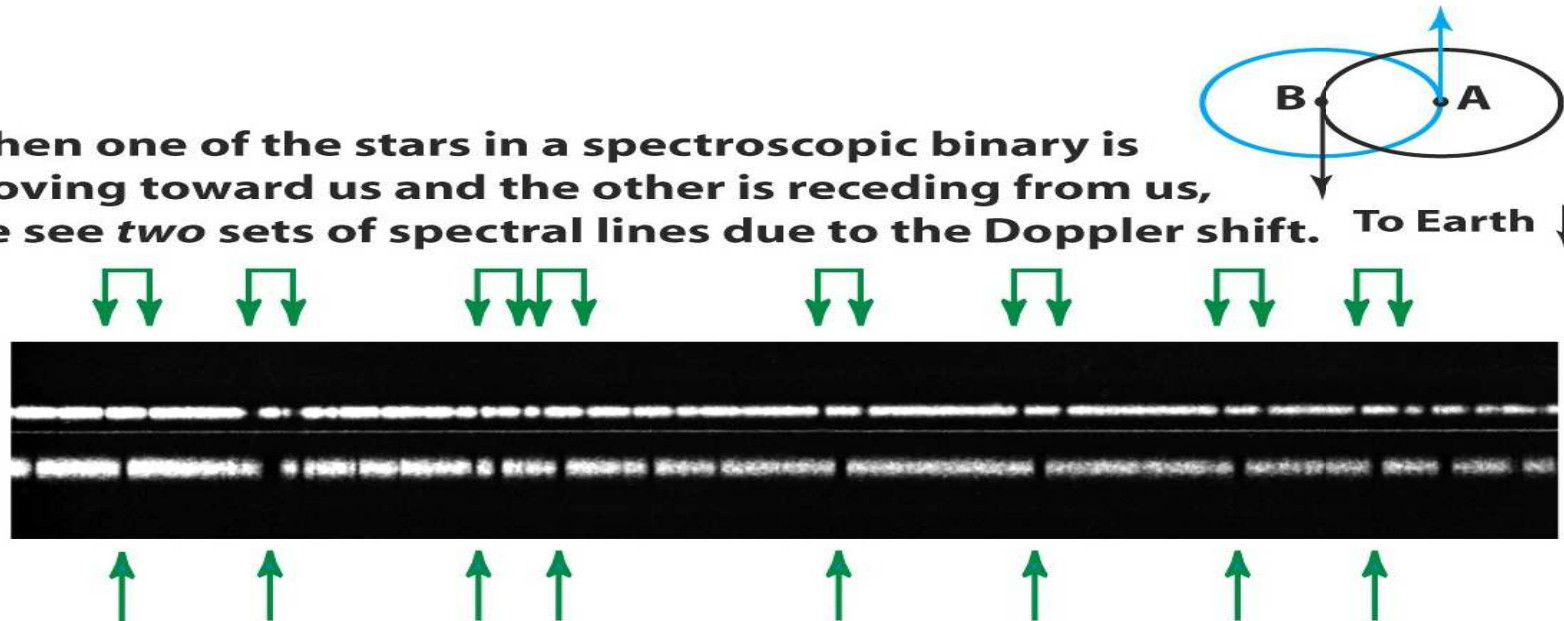


Στην περίπτωση που τα δύο αστέρια εμφανίζονται ως ένα, μπορούμε να καταλάβουμε ότι πρόκειται για διπλό σύστημα με δύο τρόπους:

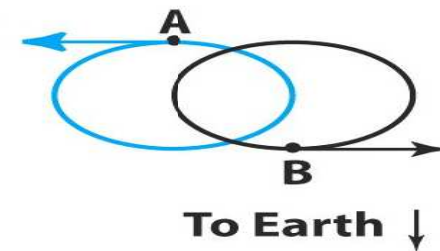
A) Στο οπτικό φάσμα εμφανίζονται ζεύγη ίδιων φασματικών γραμμών απορρόφησης που ταλαντώνονται γύρω από το μήκος κύματος αναφοράς της γραμμής.

(ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΑ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ - Spectroscopic Binary)

When one of the stars in a spectroscopic binary is moving toward us and the other is receding from us, we see *two* sets of spectral lines due to the Doppler shift.

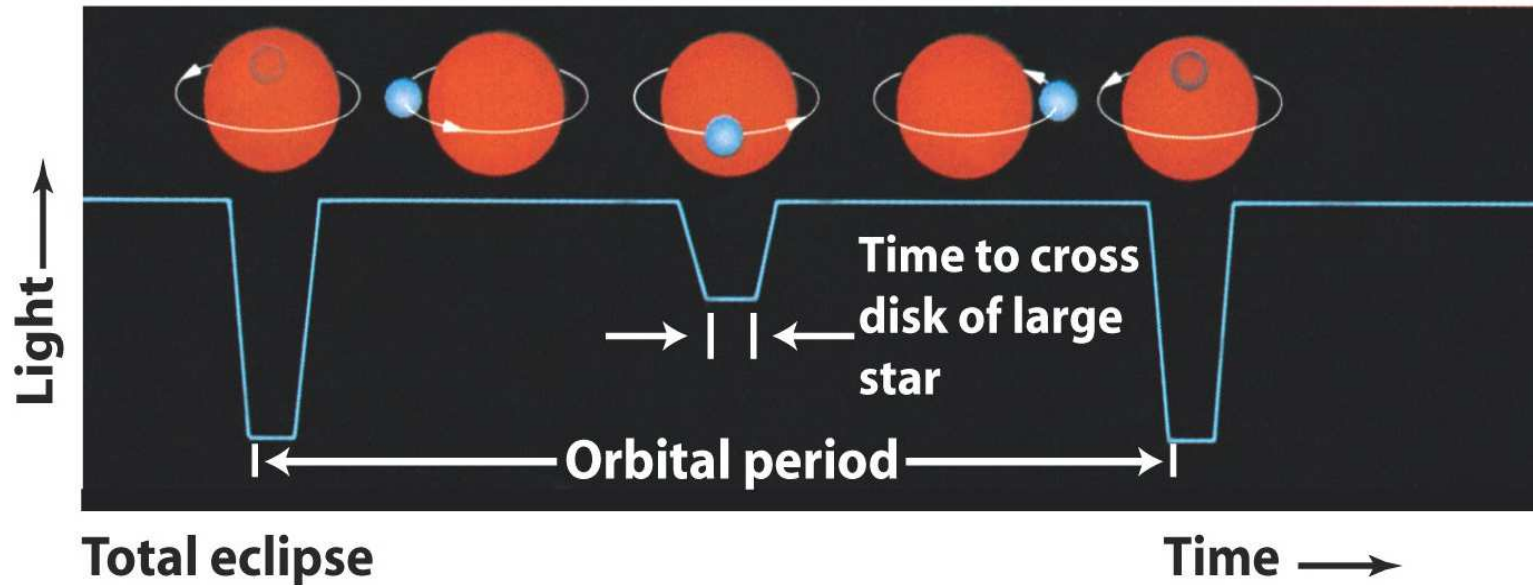


When both stars are moving perpendicular to our line of sight, there is no Doppler splitting and we see a *single* set of spectral lines.

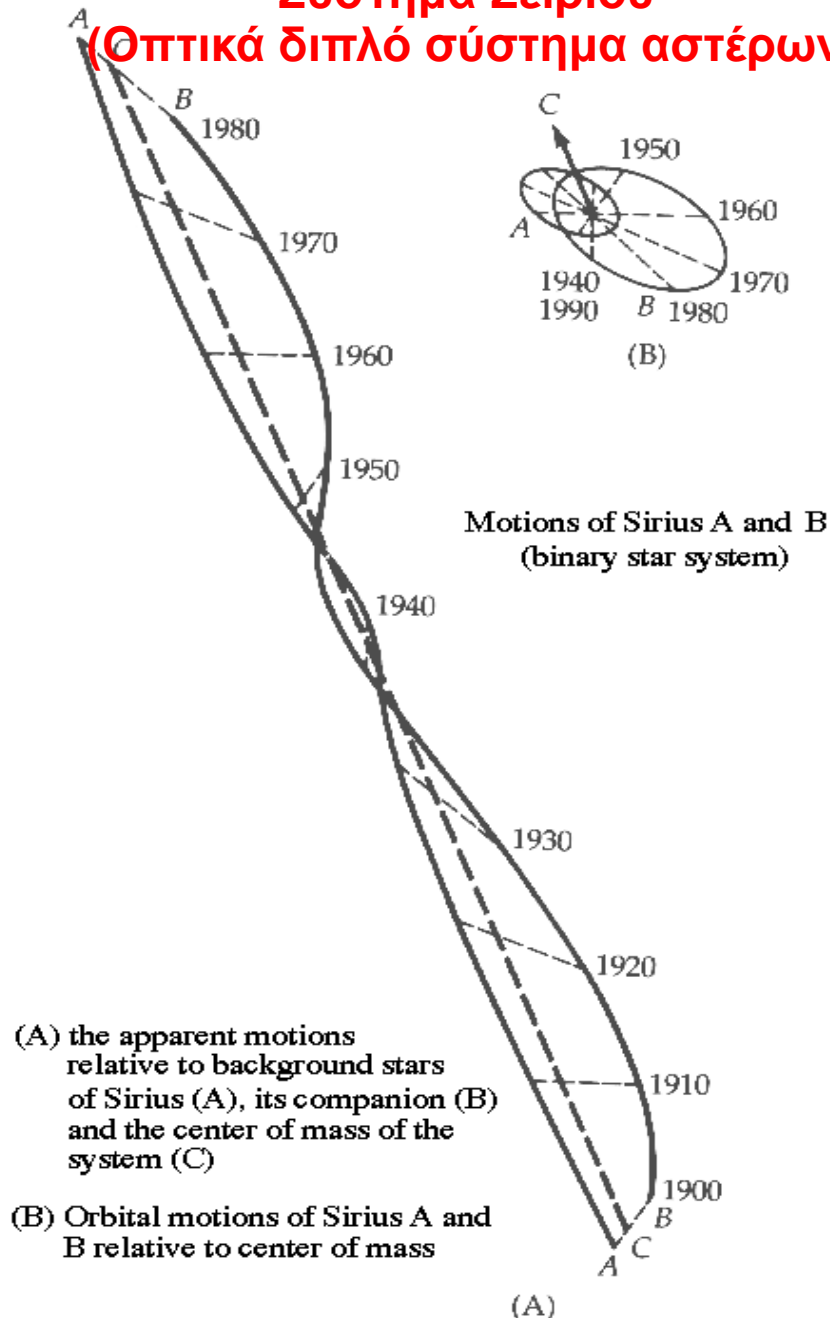


B) Η ευθεία παρατήρησης και το επίπεδο τροχιάς των αστέρων ταυτίζονται, οπότε παρατηρούμε περιοδική μείωση της φωτεινότητας του “αστέρα” καθώς το κάθε μέλος του συστήματος παρεμβάλλεται ανάμεσα στον παρατηρητή και στο άλλο μέλος περιοδικά.

(ΕΚΛΕΙΠΤΙΚΟΙ ΔΙΠΛΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ- Ecliptic Binary)



**Παράδειγμα καθορισμού μάζας:
Σύστημα Σείριου
(Οπτικά διπλό σύστημα αστέρων)**



Από τη μελέτη της σχετικής κίνησης των δύο αστέρων, γνωρίζουμε ότι:

$$P = 50,05 \text{ χρόνια}$$

Γωνία παρατήρησης του επιπέδου τροχιάς των δύο αστέρων: 43.4 μοίρες

α (γωνιακός μεγάλος ημιάξονας της σχετικής τροχιάς) = 7.50 arcsec, και άρα:

$$\alpha = \alpha'' \cdot d = 19.8 \text{ AU}$$

Οπότε: $M_A + M_B = \frac{a^3}{P^2} = 3.09 M_{\odot}$, όπου τα α και P τα μετράμε σε AU και χρόνια, αντίστοιχα.

Ταυτόχρονα, $\frac{M_A}{M_B} = \frac{a_B}{a_A} = 2.2$

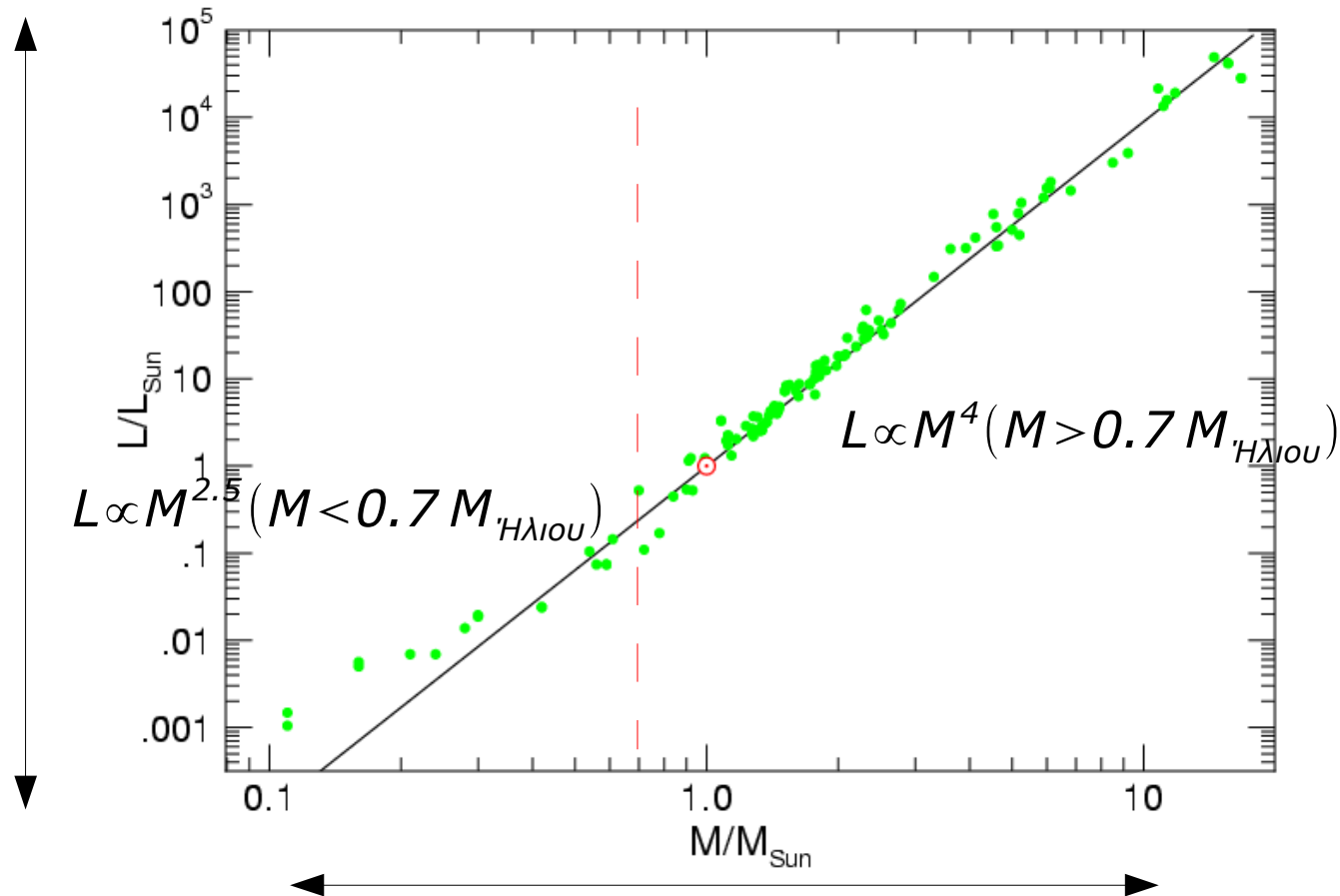
Λύνοντας το σύστημα των δύο εξισώσεων, ως προς τις άγνωστες μάζες, βρίσκουμε ότι:

$$M_A = 2.12 M_{\odot} \text{ και } M_B = 0.97 M_{\odot}$$

Σείριος B: μικρή ακτίνα, μικρή λαμπρότητα, μεγάλη μάζα, άρα πολύ μεγάλη πυκνότητα (μεγαλύτερη από 2 τόνους ανά κυβικό εκατοστό).

Αποτελέσματα μετρήσεων “γειτονικών” άστρων, για τα οποία γνωρίζουμε τη μάζα, το μέγεθος και την απόσταση.

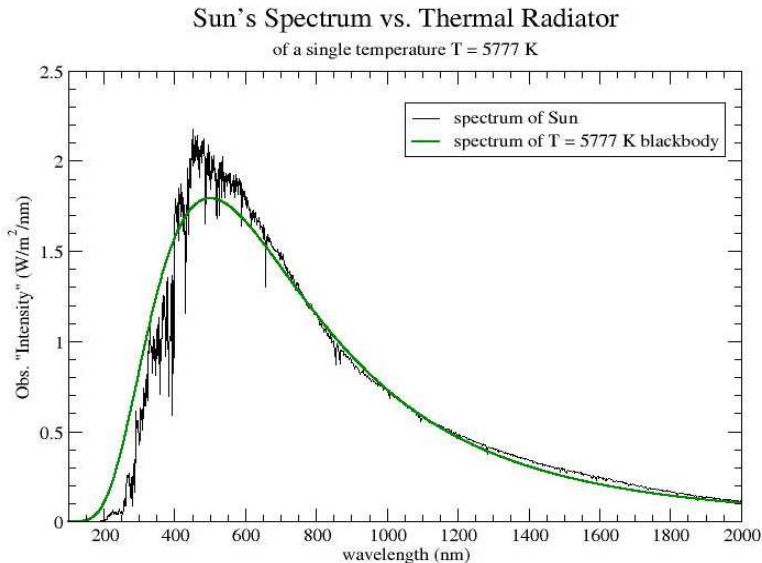
Σχέση Λαμπρότητας-Μάζας



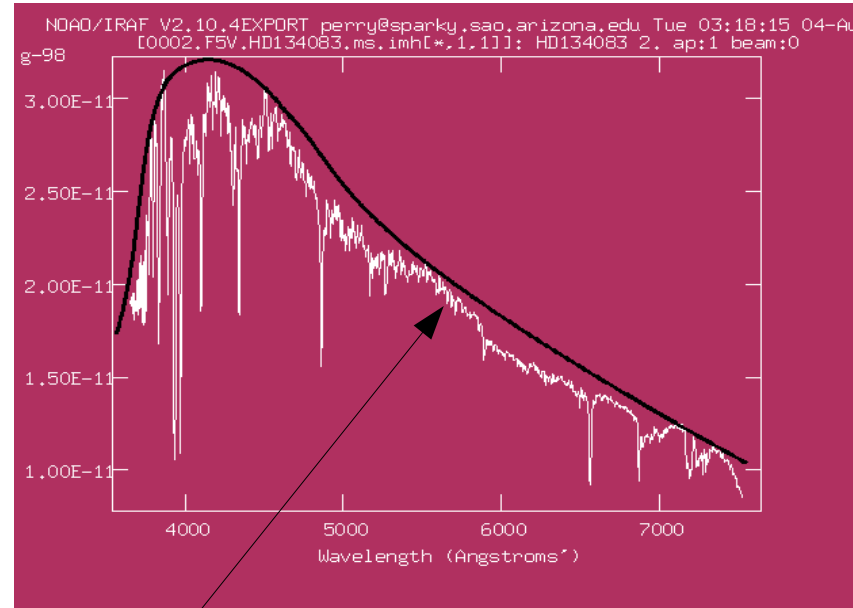
Πολύ σημαντική σχέση, που πρέπει να εξηγηθεί.

Μεγάλο εύρος τιμών μάζας και λαμπρότητας.

Φάσματα Αστέρων: Καλή προσαρμογή φάσματος μέλανος σώματος, αλλά εμφανίζονται αποκλίσεις. Πιο χαρακτηριστική, η ύπαρξη γραμμών απορρόφησης.



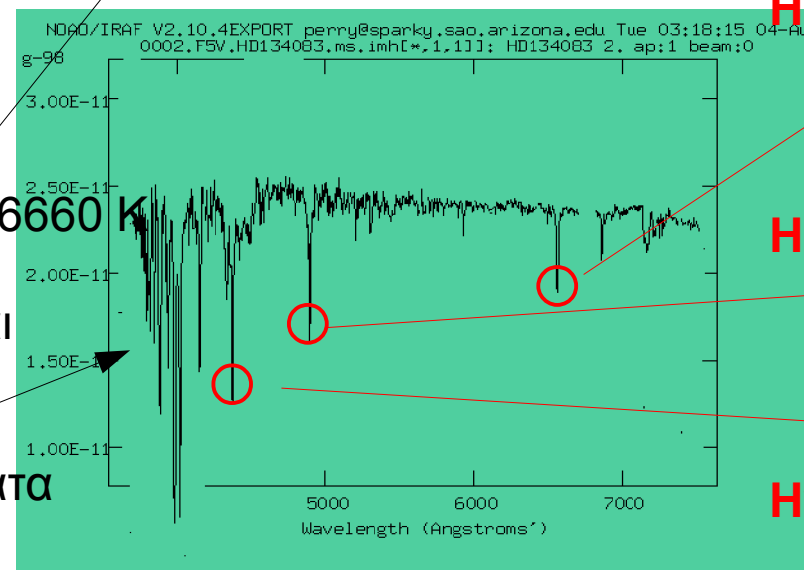
Ήλιος



Αστέρι: HD134083
 Φάσμα μέλανος σώματος θερμοκρασίας ~ 6660 K

Αποκλίσεις πραγματικού φάσματος και φάσματος μέλανος σώματος.

Κύριες γραμμές απορρόφησης στα φάσματα αστέρων:
 Γραμμές της σειράς Balmer του Υδρογόνου.



H α : $\lambda=6563$ Å

H β : $\lambda=4861$ Å

H γ : $\lambda=4341$ Å

Φασματική ταξινόμηση αστέρων

Εκτός από την “κατάταξη” των αστέρων με βάση το “μέγεθος” τους (απόλυτο, φαινόμενο, βολομετρικό ή στα σιάφορα φίλτρα...), τα αστέρια κατηγοριοποιούνται και με βάση την ενεργό θερμοκρασία τους.

Το πλήρες φάσμα ενός αστέρα μας δίνει και το σύνολο της πληροφορίας που χρειαζόμαστε.

Τα αστρικά φάσματα κυριαρχούνται από γραμμές απορρόφησης.

Το ποιες γραμμές θα εμφανιστούν εξαρτάται από: **α)** τη χημική σύσταση στην φωτόσφαιρα του αστέρα, **β)** την ενεργό θερμοκρασία.

Η ένταση των γραμμών απορρόφησης εξαρτάται άμεσα από την T_{eff} .

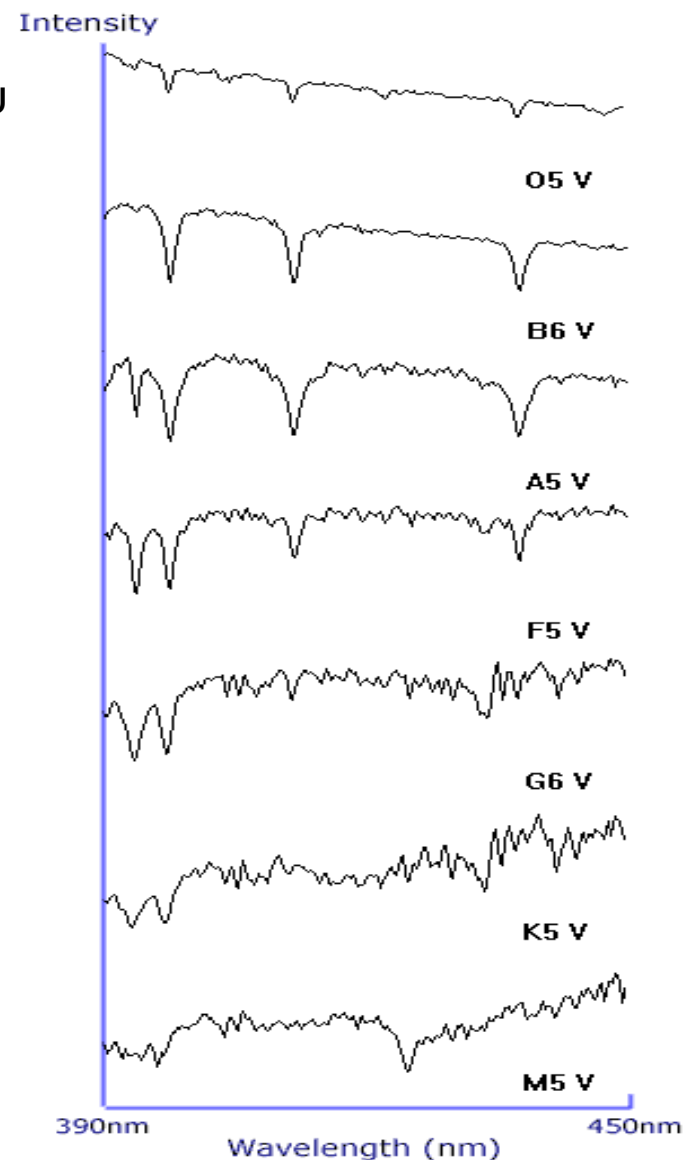
Οι συνηθέστερες γραμμές απορρόφησης στα φάσματα ενός αστέρα είναι οι γραμμές της σειράς Balmer του υδρογόνου (είναι το σοτιχείο με τη μεγαλύτερη αφθονία στο Σύμπαν).

Η ένταση των γραμμών απορρόφησης Balmer του υδρογόνου εξαρτάται από την ενεργό θερμοκρασία της φωτόσφαιρας του αστέρα. Είναι μέγιστη για αστέρες με $T_{\text{eff}} \sim 10000 \text{ K}$, και είναι πολύ μικρή για αστέρες με $T_{\text{eff}} \gg 10000$ ή $\ll 10000 \text{ K}$.

Πως μπορούμε να υπολογίσουμε την ενεργό θερμοκρασία σε αυτές τις περιπτώσεις; Από την ύπαρξη γραμμών απορρόφησης άλλων στοιχείων.

Επομένως, έχει νόημα να ταξινομήσουμε τα αστέρια με βάση την ένταση των γραμμών απορρόφησης του υδρογόνου και να καθορίσουμε με αυτό τον τρόπο την ενεργό θερμοκρασία τους.

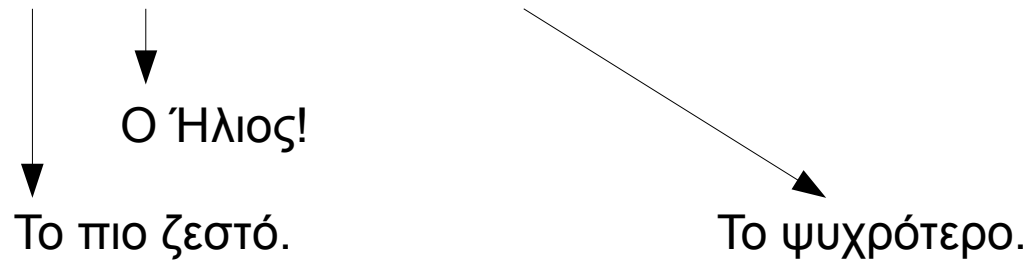
Spectral Class	Intrinsic Color	Temperature (K)	Prominent Absorption Lines
O	Blue	41,000	He+, O++, N++, Si++, He, H
B	Blue	31,000	He, H, O+, C+, N+, Si+
A	Blue-white	9,500	H(strongest), Ca+, Mg+, Fe+
F	White	7,240	H(weaker), Ca+, ionized metals
G	Yellow-white	5,920	H(weaker), Ca+, ionized & neutral metal
K	Orange	5,300	Ca+(strongest), neutral metals strong, H(weak)
M	Red	3,850	Strong neutral atoms, TiO



Comparison of 1D intensity spectra for Main Sequence stars

Το κάθε γράμμα χωρίζεται σε υποκατηγορίες. Πχ:

G1, G2, G3, G4, ..., G9



Τα ψυχρότερα αστέρια στην παραπάνω κατηγορία είναι εκείνα κατηγορίας M9, με $T_{\text{eff}} \sim 2400 \text{ K}$.

Σήμερα, στην παραπάνω ταξινόμηση έχουν προσταθεί και αστέρια κατηγορίας

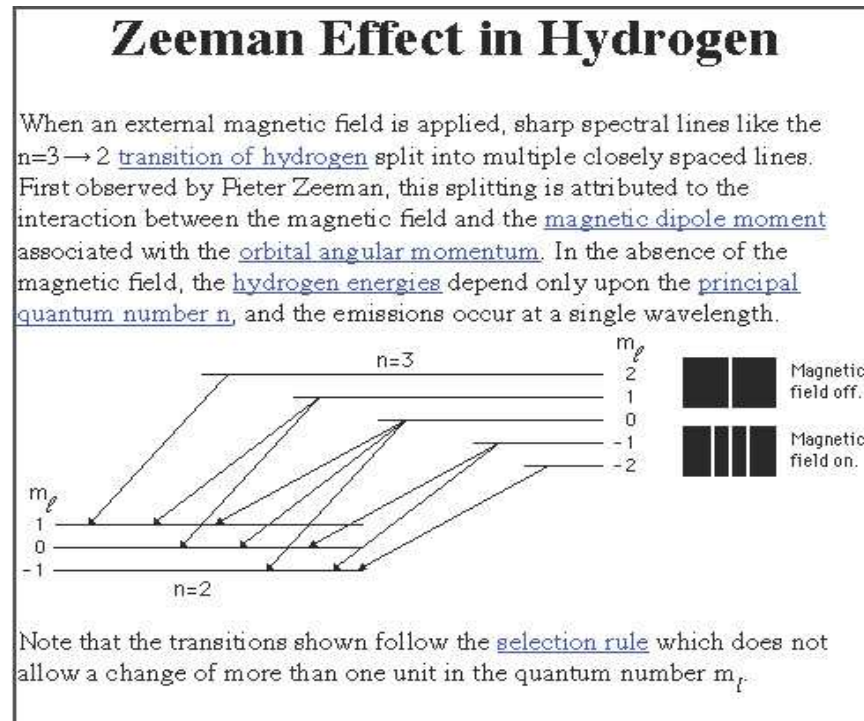
L ($T_{\text{eff}} \sim 2000 \text{ K}$)

T ($T_{\text{eff}} < 1300 \text{ K}$).

(Αστέρια κατηγορίας “Καφέ Νάνων”).

Πληροφορίες που μας προσφέρονται από τη μελέτη φασμάτων αστέρων:

- 1) Υπολογισμός περιεκτικότητας στοιχείων στην επιφάνειά τους.
- 2) Υπολογισμός ακτινικής συνιστώσας ταχύτητας αστέρα (μέσω της μέτρησης της μετατόπισης του μήκους κύματος των γραμμών απορρόφησης προς μικρότερα ή μεγαλύτερα μήκη κύματος λόγω φαινομένου Doppler).
- 3) Μέτρηση μαγνητικού πεδίου του αστέρα μέσω του διαχωρισμού των ενεργειακών επιπέδων του ατόμου λόγω φαινομένου Zeeman.



4) Υπολογισμός της ταχύτητας περιστροφής του αστέρα, μέσω της μέτρησης του εύρους των φασματικών γραμμών.

Οι γραμμές απορρόφησης στα φάσματα των αστέρων έχουν πεπερασμένο πλάτος, για διάφορους λόγους. Σε περιστρεφόμενα αστέρια, η ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας αλλάζει (σε μέτρο και φορά) κατά μήκος του ημισφαιρίου του αστέρα που βλέπουμε.

Ως εκτούτου, λόγω φαινομένου Doppler, η γραμμή απορρόφησης από τα διάφορα τμήματα της επιφάνειας του αστέρα θα μετατοπίζεται είτε προς μεγαλύτερα είτε προς μικρότερα μήκη κύματος.

Άρα, περιμένουμε τη γραμμή απορρόφησης να έχει πεπερασμένο πλάτος (εύρος), που θα είναι ανάλογο της ταχύτητας περιστροφής του αστέρα.

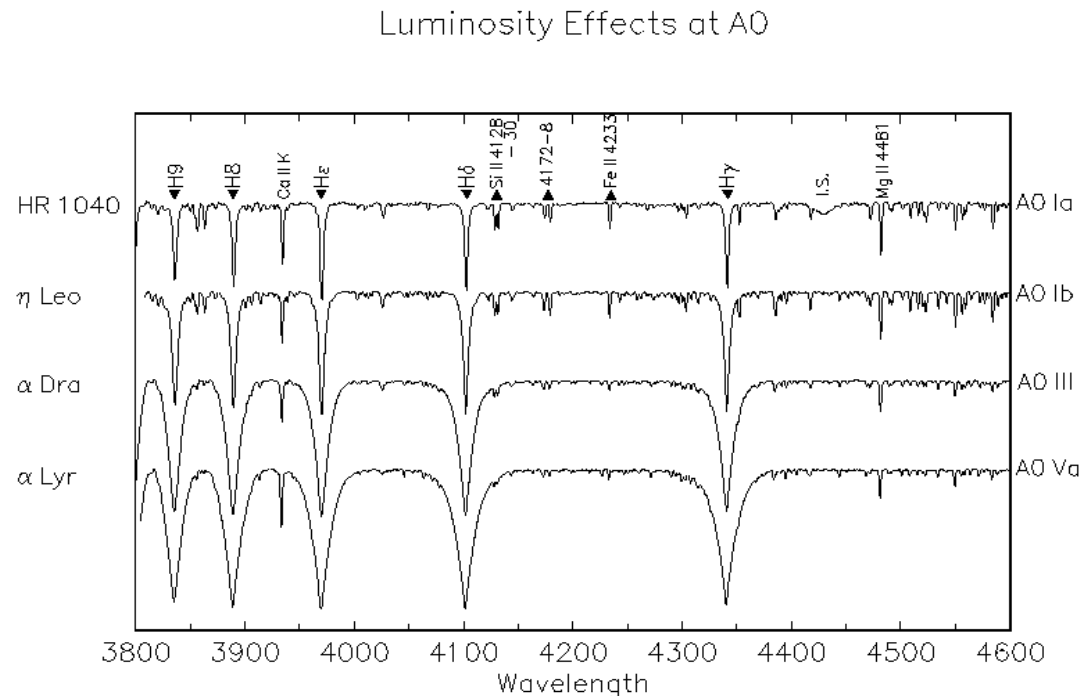
Το εύρος της πεπλάτυνσης της γραμμής είναι το ίδιο για όλες τις φασματικές γραμμές απορρόφησης που εμφανίζονται στο φάσμα του αστέρα.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ ΑΣΤΕΡΩΝ

Οι παράγοντες που καθορίζουν το φάσμα ενός αστέρα είναι: T_{eff} , \vec{u} , ω , \vec{B} , και πίεση στην επιφάνεια του αστέρα.

1930: Οι Morgan & Keenan, πρότειναν ένα νέο σύστημα ταξινόμησης των αστέρων, το οποίο λειτουργεί συμπληρωματικά στο σύστημα OBAFGKM. Το νέο σύστημα βασίζεται στην έννοια της: Κατηγορίας Λαμπρότητας. Σύμφωνα με αυτή την ταξινόμηση,

Αστέρια της **IΔΙΑΣ** ενεργούς θερμοκρασίας, χωρίζονται σε έξι κατηγορίες λαμπρότητας, με βάση το ΠΛΑΤΟΣ των γραμμών απορρόφησης.



Κατ. Λαμπρότητας

- I (Ib+Ib)
- II
- III
- IV
- V
- VI

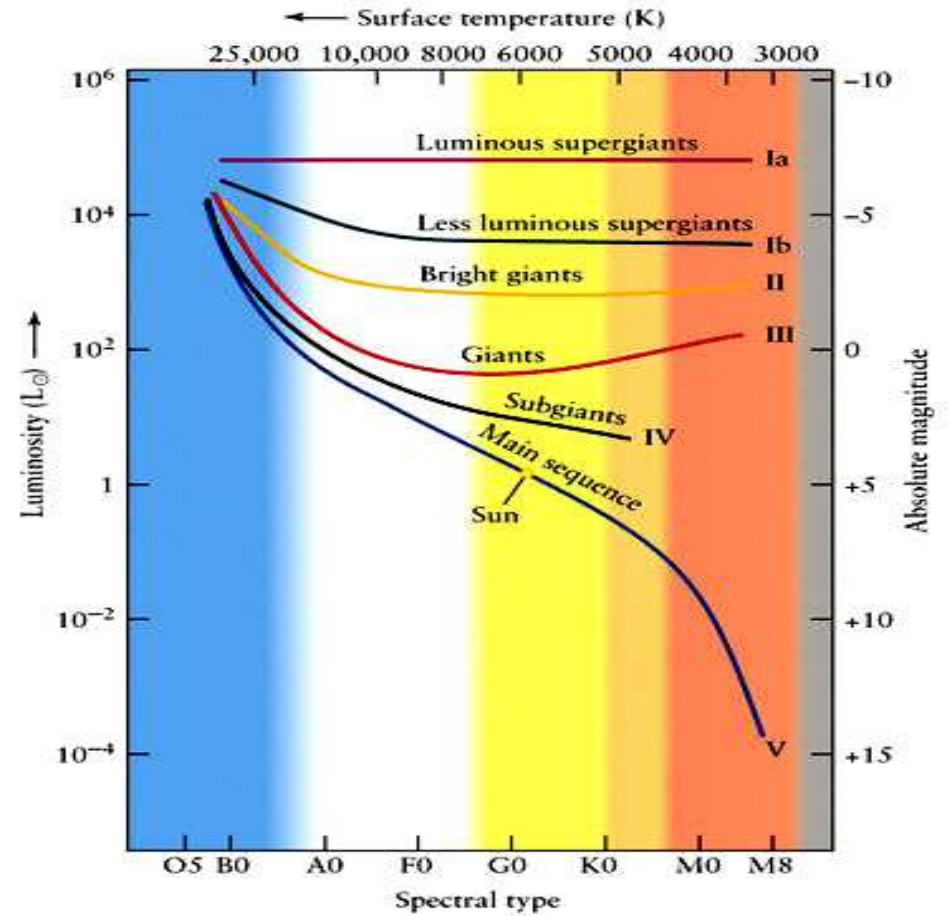
Πλάτος γραμ.
απορρόφησης

↙
αυξάνεται

R (και L)

↘
ελαττώνεται

Ήλιος, Σείριος, Βέγα, α Κενταύρου: V
Beltegeuse: I
Αρκτούρος: III



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ