

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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Παρατηρησιακά χαρακτηριστικά αστέρων

A. Πόσο μακριά βρίσκονται τα αστέρια;

Μέση απόσταση Γης-Ήλιου=1AU=149597870,7 km

Απόσταση αστέρα:

$$d = \frac{206264}{\rho''} \text{ AU} \quad \text{ή} \quad d = \frac{1}{\rho''} \text{ pc},$$

όπου ρ είναι η παράλλαξη του αστέρα (σε δευτερόλεπτα τόξου) και $1\text{pc} (\approx 3.1 \times 10^{16} \text{ m})$ είναι η απόσταση αστέρα για τον οποίο: $\rho = 1''$.

Άλλη μονάδα απόστασης: $1\text{ly} (= 1 \text{ έτος φωτός}) = 9.5 \times 10^{15} \text{ m}$ ($1\text{pc} \approx 3.3 \text{ ly}$).

B. Πόσο λαμπρά είναι τα αστέρια;

$L \equiv$ λαμπρότητα αστέρα, δηλαδή η εκπεμπόμενη ισχύ (ενέργεια/χρόνος) από την επιφάνεια του.

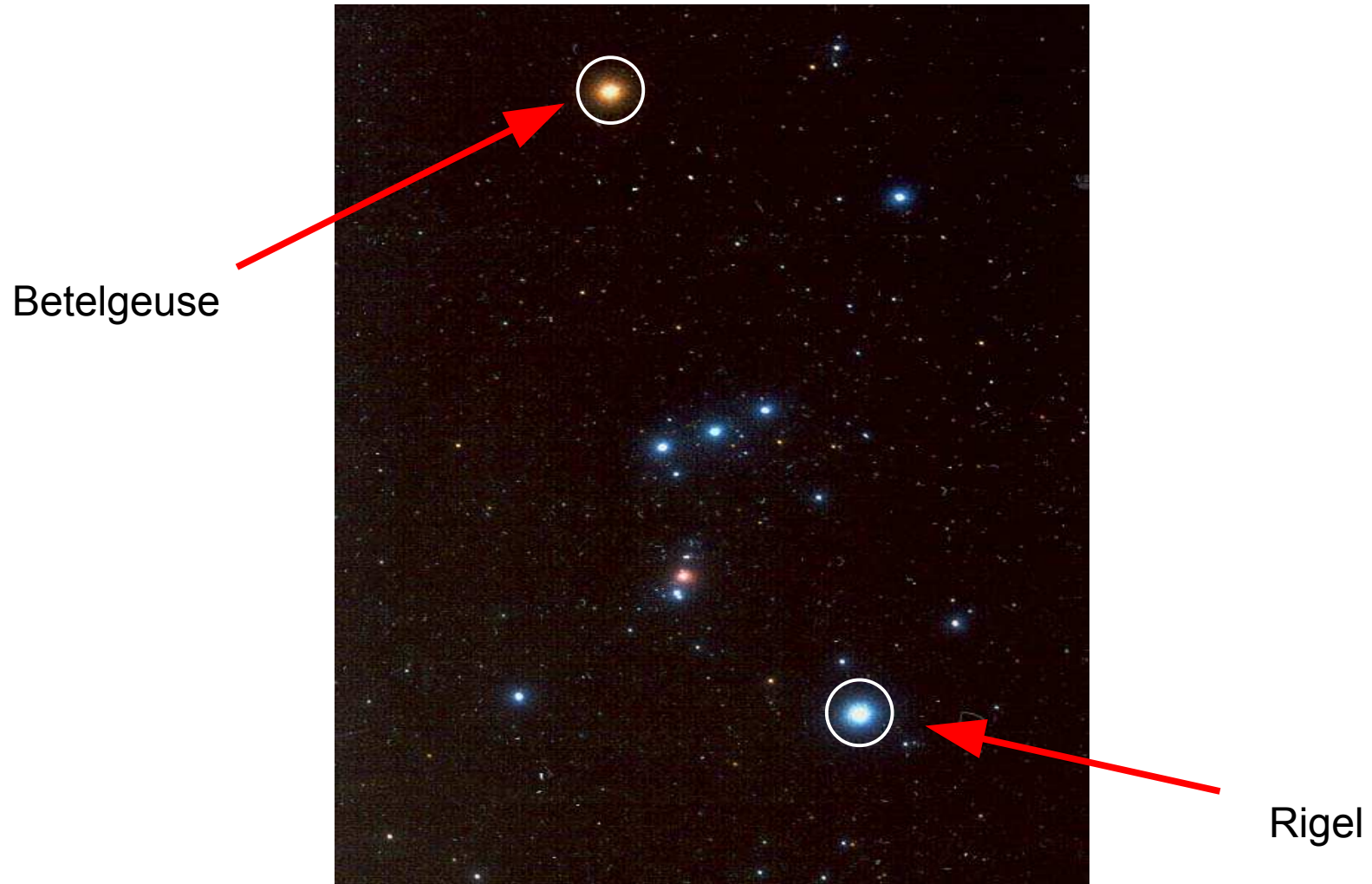
“Φωτεινότητα αστέρα”: $F = \frac{L}{4\pi d^2}$, όπου d η απόσταση του αστέρα.

“φαινόμενο μέγεθος αστέρα”: $m = -2.5 \log\left(\frac{F}{F_0}\right)$, όπου F_0 μία σταθερά.

“απόλυτο μέγεθος αστέρα”: $M = m$, αν το αστέρι βρισκόταν σε απόσταση 10 pc.

$$d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ pc.} \quad (m-M \equiv \text{distance modulus})$$

Γ. Πόσο ζεστά είναι τα αστέρια;



Φωτογραφία αστέρων στον αστερισμό του Ωρίωνα.
Δεν έχουν όλα τα αστέρια το ίδιο “χρώμα”.

Στοιχεία για την ακτινοβολία μέλανος σώματος:

1) Το φάσμα είναι συνεχές.

2) Νόμος του Wien: $\lambda_{\max} T = 0.003 \text{ mK}$ (Άρα: ΔΕΝ έχουν όλα τα αστέρια την ίδια επιφανειακή θερμοκρασία...).

3) Η εκπεμπόμενη ισχύ, ανά μήκος κύματος, σε κάθε μήκος κύματος, αυξάνει καθώς αυξάνει η θερμοκρασία.

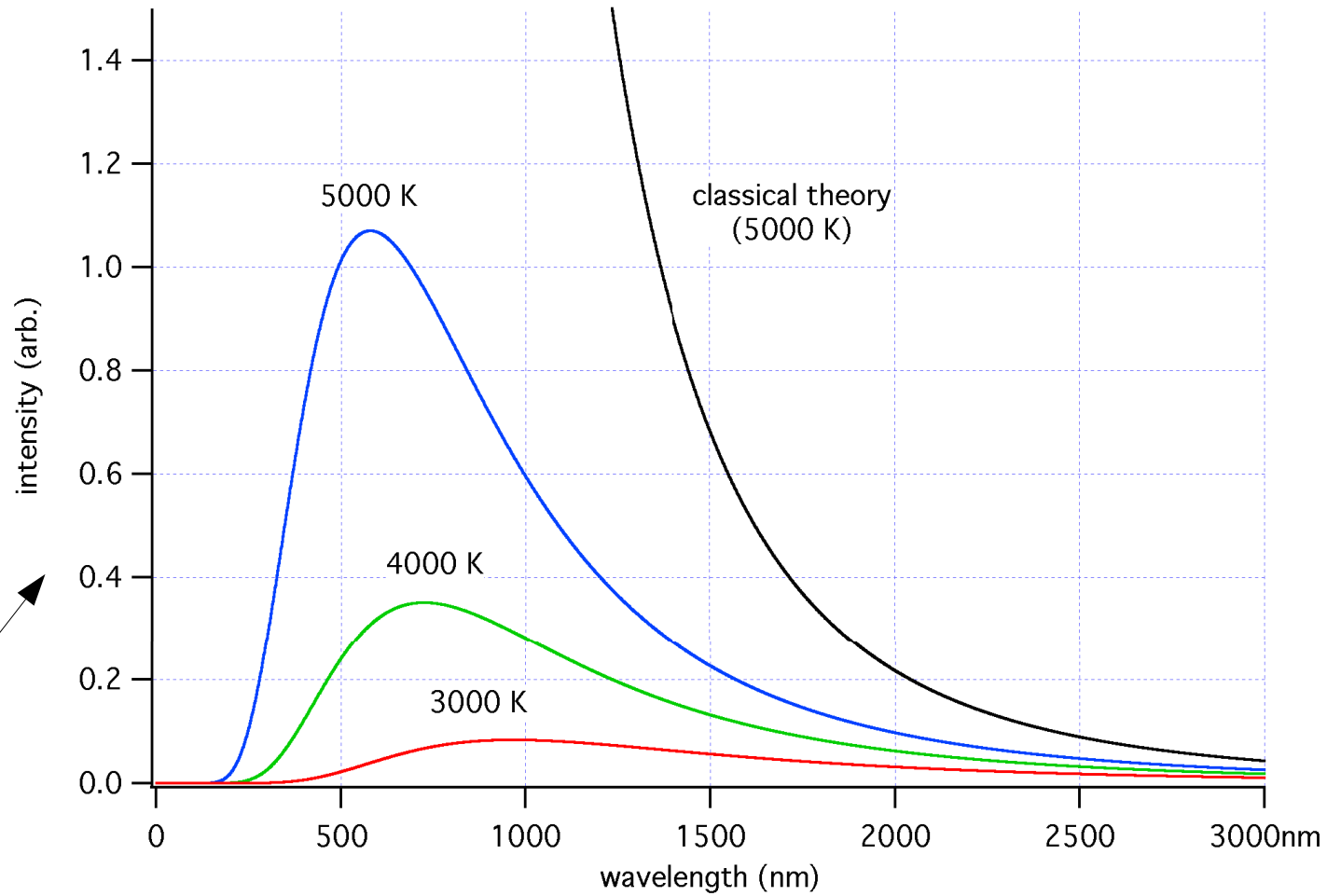
4) Νόμος Stefan-Boltzman: $L = A\sigma T^4$, όπου A η επιφάνεια του μέλανος σώματος. Για αστέρα ακτίνας R :

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_e^4,$$

Όπου T_e η ενεργός (επιφανειακή) θερμοκρασία του αστέρα.

$$\text{Ισχύει: } F_{\text{επιφάνειας}} = L/(4\pi R^2) = \sigma T_e^4$$

Φάσμα ακτινοβολίας μέλανος σώματος



Μονάδες στον άξονα των y: $W m^{-2} nm^{-1} sr^{-1}$

Συστήματα φίλτρων, ολικό μέγεθος αστέρα, μεγέθη αστέρων σε καθορισμένες φασματικές περιοχές.

Ολική ή “βολομετρική” (bolometric) φωτεινότητα αστέρα:

$$F_{Bol} = \int_0^{\infty} F(\lambda) d\lambda = L_{bol} / (4\pi d^2) = 4\pi R^2 \sigma T_e^4 / (4\pi d^2)$$

Ολικό/“βολομετρικό” φαινόμενο μέγεθος αστέρα: $m_{bol} = -2.5 \log\left(\frac{F_{bol}}{F_0}\right)$, και

Ολικό/“βολομετρικό” απόλυτο μέγεθος αστέρα: $M_{bol} = m_{bol}$, όταν $d=10$ pc. Η σταθερά στην παραπάνω σχέση ισούται με F_{\odot} , και αφού $M_{\odot} = 4,74$, έχουμε:

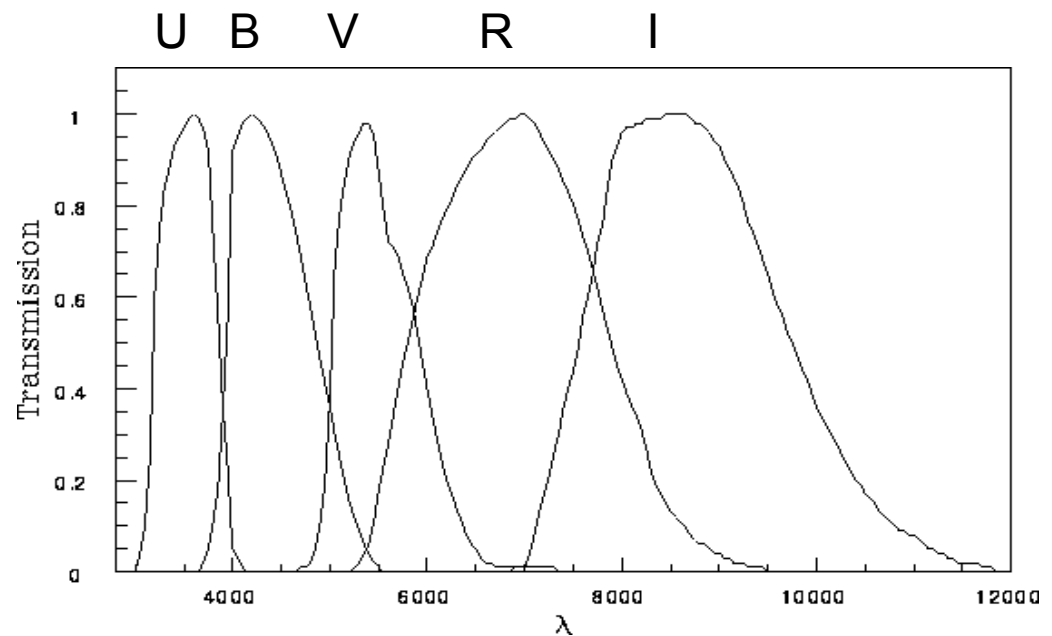
$$(L/L_{\odot}) = 10^{0.4(4.74 - M_{bol})}$$

Είναι δύσκολο να μετρήσουμε την ολική φωτινότητα πολλών αστέρων.

Συνήθως μετράμε τη φωτεινότητα αστέρων με τη χρήση φίλτρων (δηλαδή “χρωματισμένων” γυαλιών) που τοποθετούμε πριν από το δέκτη καταγραφής φωτός στο τηλεσκόπιο. Το πιο συνηθισμένο σύστημα οπτικών φίλτρων είναι το σύστημα “Johnson – Cousins”. Υπάρχουν 5 φίλτρα σε αυτό το σύστημα, που τα ονομάζουμε: U, B, V, R, I.

Η “καμπύλη διαπερατότητας”, $S(\lambda)$, αυτών των φίλτρων φαίνεται στο διάγραμμα δεξιά.

Η καμπύλη “φασματικής ευαισθησίας” του φίλτρου V είναι παρόμοια μ' εκείνη του ματιού μας.



Όταν παρατηρούμε ένα αστέρι με το τηλεσκόπιο μέσω ενός φίλτρου (π.χ. του V) εμείς μετράμε:

$$F_V = \int_0^{\infty} F(\lambda) S_V(\lambda) d\lambda$$

Το φάσμα του αστέρα
(ενέργεια ανά m^2 , ανά sec και
ανά μήκος κύματος)

Η καμπύλη φασματικής
ευαισθησίας του φίλτρου, του
τηλεσκοπίου και του ανιχνευτή.

Άρα, μπορούμε να ορίσουμε τα μεγέθη ενός αστέρα στα διάφορα φίλτρα, π.χ. στο V, ως εξής:

$$m_V = -2.5 \log \frac{F_V}{F_0}, \text{ και άρα:}$$

$$U \equiv m_U = C_U - 2.5 \log(F_U), \quad B \equiv m_B = C_B - 2.5 \log(F_B), \quad V \equiv m_V = C_V - 2.5 \log(F_V) \quad \text{κλπ.}$$

Όπου οι σταθερές C_V, C_B, C_U, \dots , ορίζονται ως εξής:

$$C_U = -2.5 \log(F_{U, Vega}), \quad C_B = -2.5 \log(F_{B, Vega}), \quad C_V = -2.5 \log(F_{V, Vega}) \quad \text{κλπ}$$

$$\text{και άρα: } m_{U, Vega} = m_{B, Vega} = m_{V, Vega} = \dots = 0$$

Γιατί κάνουμε παρατηρήσεις με περισσότερα από ένα φίλτρα;

Επειδή θέλουμε να υπολογίσουμε τη συνολική φωτεινότητα ενός αστέρα.

Στην πράξη όμως, τη συνολική φωτεινότητα μπορούμε να τη βρούμε από το m_V :

$$BC = m_{bol} - m_V = M_{bol} - M_V$$

Όπου “BC” είναι ο λεγόμενος “συντελεστής συνολικής (βολομετρικής) διόρθωσης”. Μπορεί να υπολογισθεί υποθέτοντας θεωρητικά μοντέλα εκπομπής αστέρων για τον υπολογισμό των M_{bol} και M_V για διάφορες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας, T_{eff} .

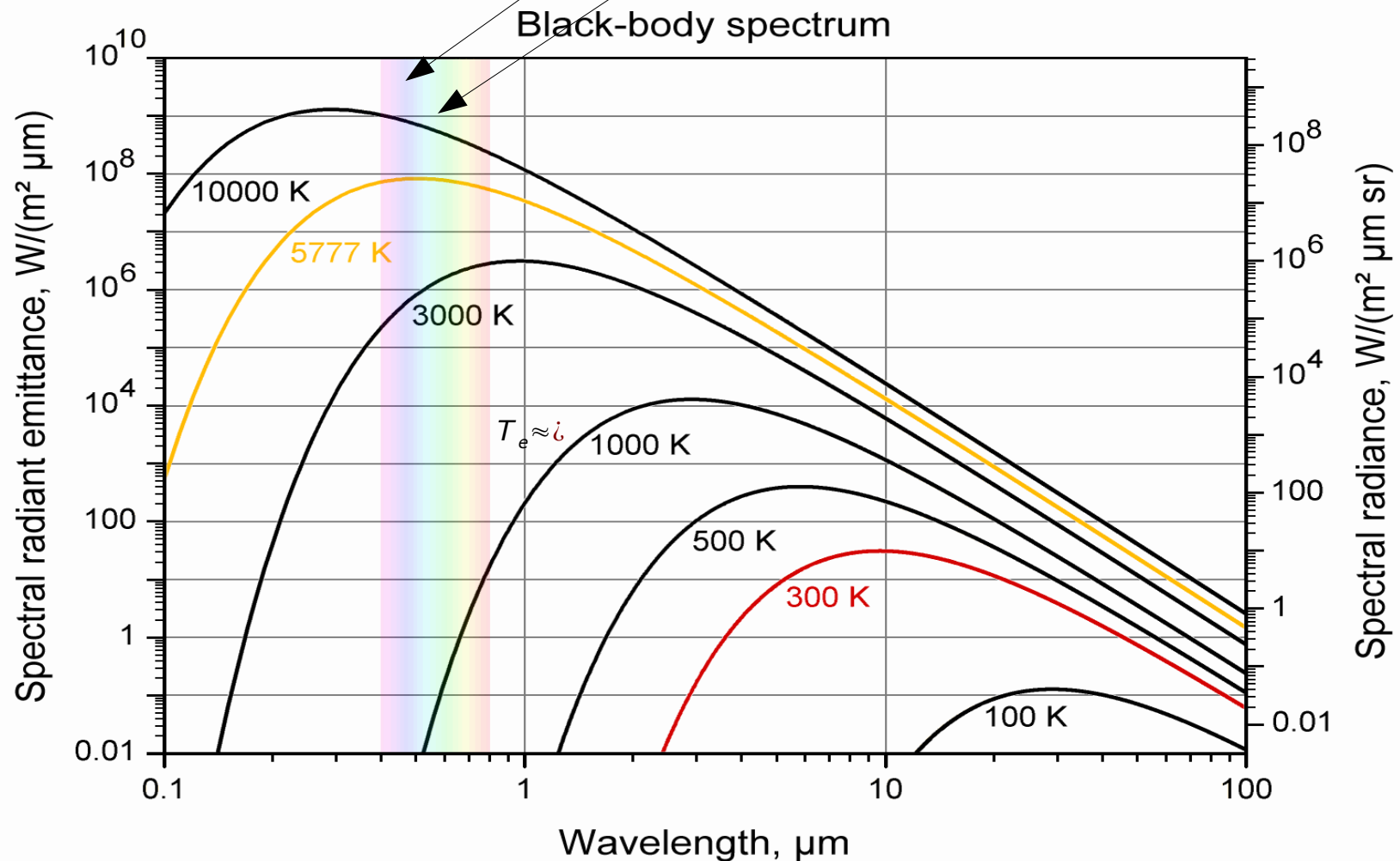
Για αστέρια με $T_{eff} \sim 6700$ K, $BC \sim 0$ (το μεγαλύτερο μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας διέρχεται μέσω του φίλτρου V.) Για όλα τ' άλλα αστέρια $BC < 0$, επειδή:

Για αστέρια με $T_{eff} > 6700$ K, “χάνουμε” φωτόνια σε μικρότερα μήκη κύματος, ενώ για αστέρια με $T_{eff} < 6700$ K, “χάνουμε” φωτόνια σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. (Για τον Ήλιο, $BC = -0.09$).

Άρα, θα μας αρκούσαν παρατηρήσεις “μόνο” σε ένα φίλτρο για να υπολογίσουμε τη συνολική φωτεινότητα ενός αστέρα. Τι μας χρειάζονται οι παρατηρήσεις στα άλλα φίλτρα;

Επειδή θέλουμε να υπολογίσουμε την επιφανειακή θερμοκρασία, T_{eff} ενός αστέρα (χωρίς να χρειαστεί να έχουμε το συνολικό φάσμα του αστέρα), γνώση που είναι αναγκαία για να βρούμε το BC.

Βασιζόμαστε στο γεγονός ότι τα F_B , F_V , κλπ, εξαρτώνται από το T_{eff} .



Επομένως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις διαφορές μεταξύ μεγεθών στα διάφορα φίλτρα για να υπολογίσουμε το T_{eff} .

Αυτές οι διαφορές ονομάζονται “δείκτες χρώματος”, και συνήθως ορίζονται ως η διαφορά μεγέθους σε μικρότερο μήκος κύματος μείον το μέγεθος σε μεγαλύτερο μήκος κύματος. Συνηθισμένοι δείκτες χρώματος είναι οι:

$$B-V \equiv m_B - m_V, \quad U-B \equiv m_U - m_B, \quad \text{και} \quad V-R \equiv m_V - m_R.$$

Μπορούμε τώρα θεωρητικά να υπολογίσουμε τη σχέση μεταξύ T_{eff} και δεικτών χρώματος για φάσμα μέλανος σώματος, αλλά στην πράξη χρησιμοποιούμε διάφορες εμπειρικές σχέσεις όπως την παρακάτω για το δείκτη $B-V$:

$$T_{\text{eff}} \approx \frac{9000 \text{ K}}{(B-V) + 0.93},$$

που ισχύει για αστέρια με δείκτη χρώματος $-0.1 \leq B-V \leq 1.4$ (ή ισοδύναμα, με θερμοκρασία: $4000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 11000 \text{ K}$). Άρα ο υπολογισμός του δείκτη χρώματος μπορεί να μας βοηθήσει στον υπολογισμό της επιφανειακής θερμοκρασίας ενός αστέρα.

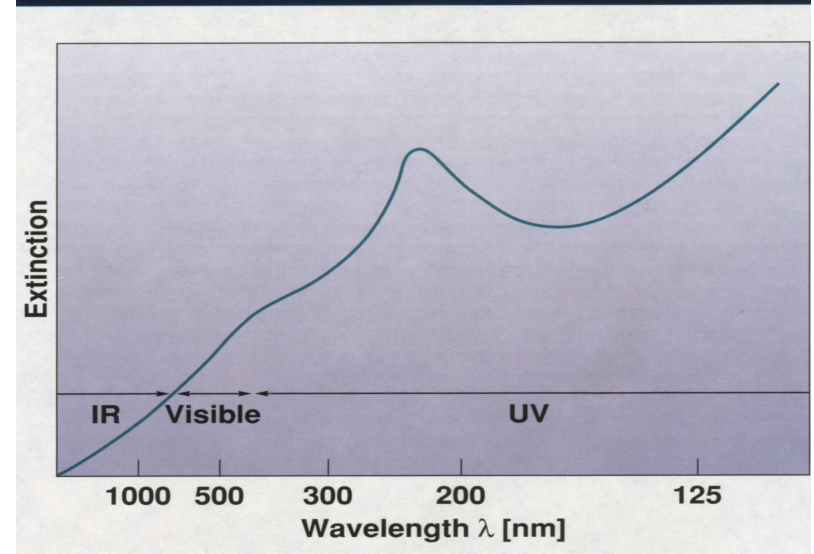
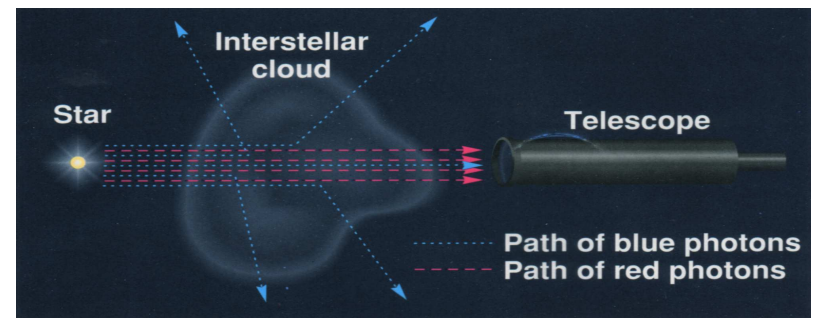
Για τον Βέγα, $T_{\text{eff}} \approx 10000 \text{ K}$ και εξ' ορισμού, $B-V=U-B=\dots=0$.

Για αστέρια με $T_{\text{eff}} > 10000 \text{ K}$, $B-V < 0$ και $B-V > 0$ για αστέρια με $T_{\text{eff}} < 10000 \text{ K}$.

Οπότε, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αστέρια σε δύο μόνο φίλτρα, να υπολογίσουμε την ενεργό θερμοκρασία, την τιμή της παραμέτρου BC και άρα και την ολική λαμπρότητά τους (αν γνωρίζουμε την απόστασή τους).

Όμως, το φως των άστρων υπόκειται στην επίδραση της μεσοαστρικής σκόνης που το απορροφά, αλλά με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα μήκη κύματος. Η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη στα μικρότερα μήκη κύματος (στο “μπλε” φως) οπότε τα αστέρια εμφανίζονται περισσότερο κόκκινα απ’ ότι είναι στην πραγματικότητα.

Αν όμως έχουμε μετρήσεις του μεγέθους αστέρων σε διάφορα φίλτρα, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την απορρόφηση στα διάφορα μήκη κύματος, να διορθώσουμε τους παρατηρούμενους δείκτες χρώματος και άρα να υπολογίσουμε την σωστή ενεργό θερμοκρασία και το συντελεστή “συνολικής” διόρθωσης.



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

