



Αστρονομία

Ενότητα # 4: Χαρακτηριστικά Μεγέθη Αστέρων

Νικόλαος Στεργιούλας
Τμήμα Φυσικής



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



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.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ

- *Κεφάλαιο 3^ο*

Ν. Στεργιούλας

ΓΩΝΙΩΔΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Η γωνιώδης απόσταση μετριέται σε ακτίνια (rad) ή σε μοίρες με υποδιαιρέσεις ($1^\circ = 60'$, $1' = 60''$).

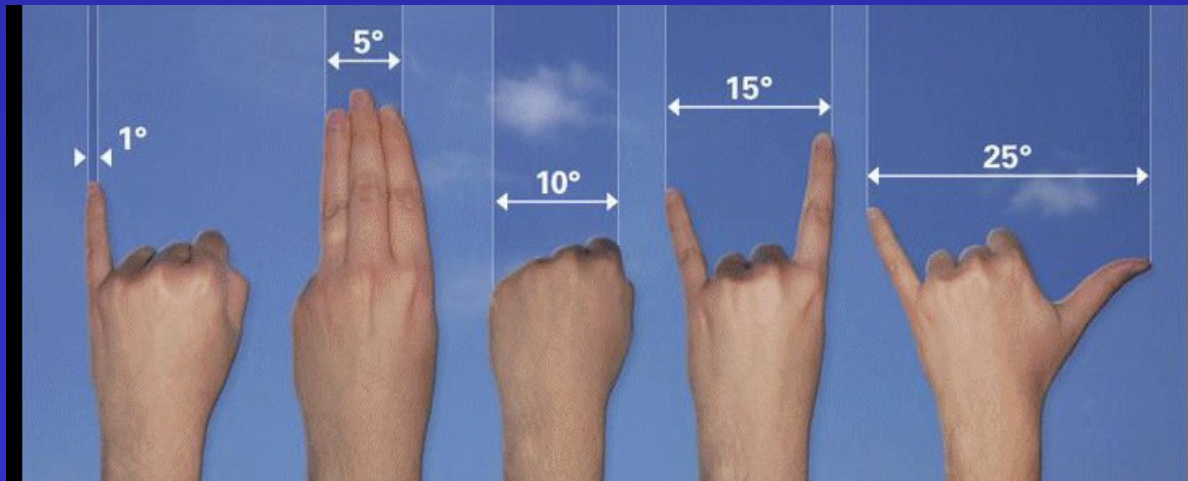
Ο δίσκος της Σελήνης εκτείνεται $\sim 30'$

Διακριτική ικανότητα:

ανθρώπινο μάτι > μερικά λεπτά τόξου

επίγεια τηλεσκόπια > $1''$

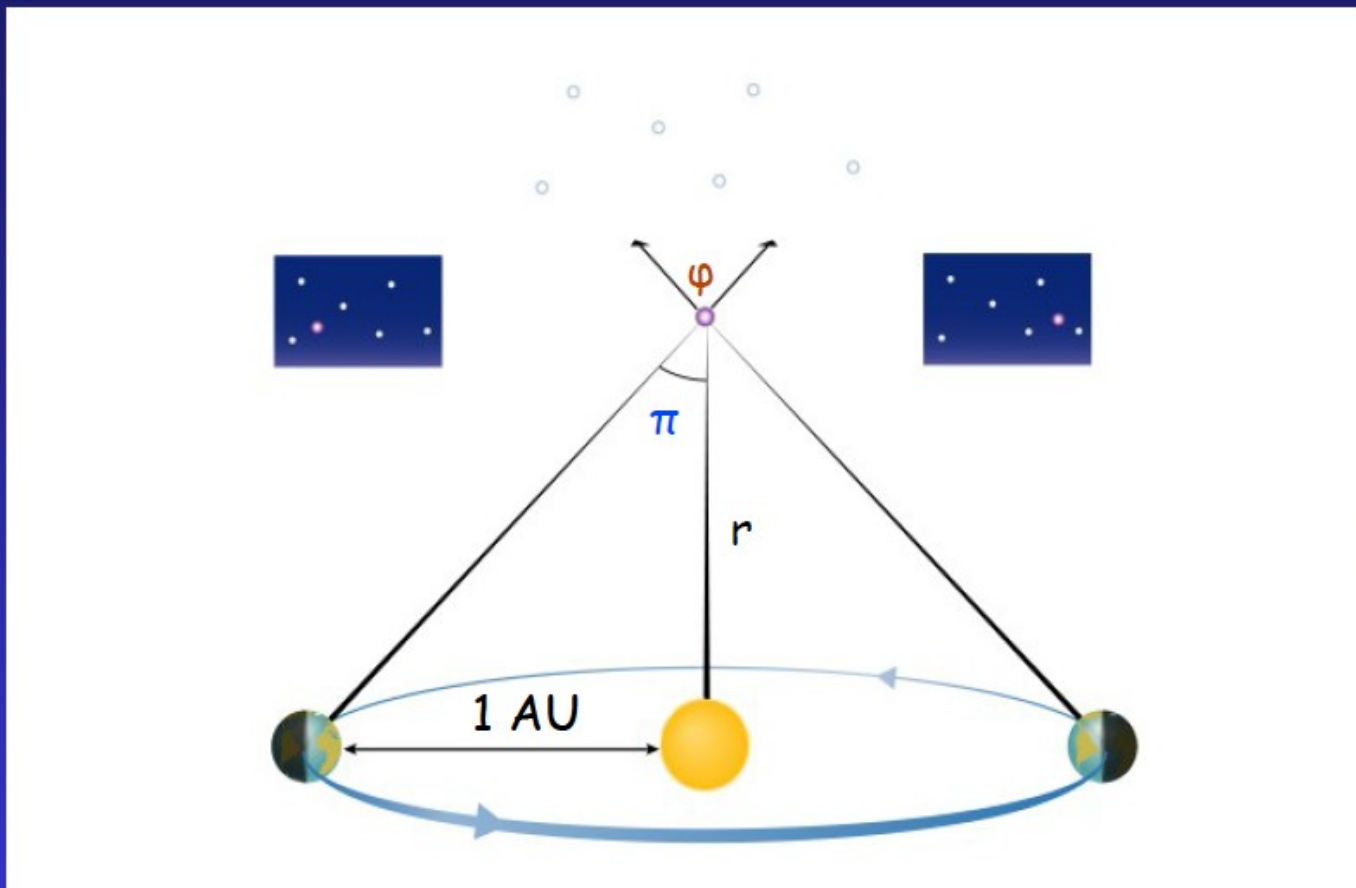
διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble > $0.1''$



Εικόνα 1: Πρακτικός τρόπος μέτρησης της γωνιώδους απόστασης με τα δάχτυλα, έχοντας το χέρι τεντωμένο [1].

Η ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ

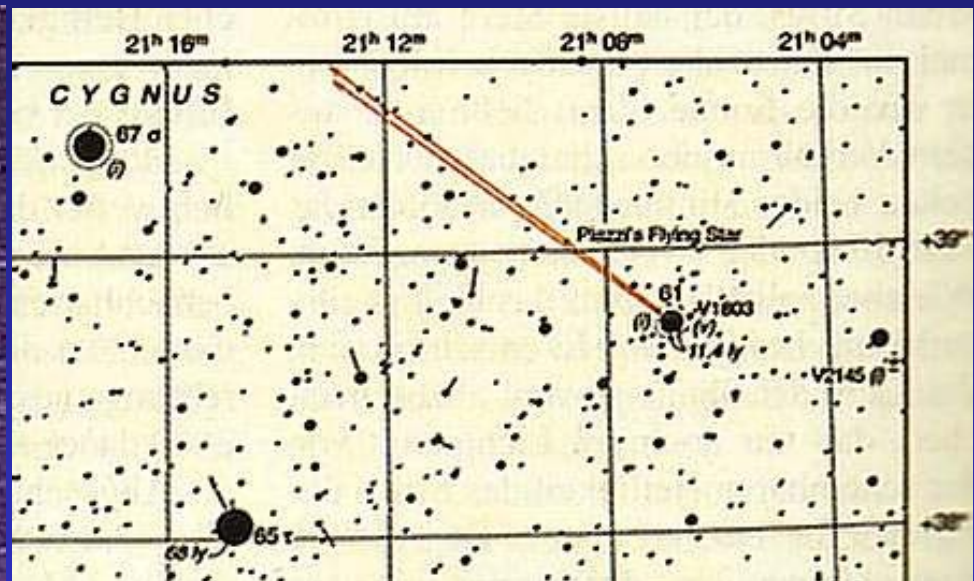
Για μέτρηση αποστάσεων σχετικά κοντινών αστέρων: $\pi = \varphi/2$



Εικόνα 2: Η θέση ενός κοντινού αστέρα σε σχέση με μακρινούς, όπως φαίνεται από δυο αντιδιαμετρικές θέσεις της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο. Με χρήση του φαινομένου της παράλλαξης μπορούν να μετρηθούν αποστάσεις σχετικά κοντινών αστέρων.

ΠΡΩΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗΣ

Η πρώτη μέτρηση της παράλλαξης ενός άστρου έγινε από τον Bessel το 1838 (61 Κύκνου).



Εικόνα 3: Ο αστέρας 61 Cygni, ο πρώτος του οποίου η απόσταση μετρήθηκε με τη μέθοδο της παράλλαξης το 1838 [3].

ΣΧΕΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗΣ - ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Η παράλλαξη π που μετράμε για έναν αστέρα, με βάση παρατηρήσεις που διαφέρουν χρονικά κατά 6 μήνες, σχετίζεται με την απόσταση r του αστέρα ως εξής:

$$\begin{aligned}\pi &\simeq \tan \pi = \frac{1 \text{ AU}}{r} && [\text{rad}] \\ &= \frac{180}{\pi} \times 60 \times 60 \frac{\text{AU}}{r} && ['] \\ &= 206265 \frac{\text{AU}}{r} && ['] \\ &= \frac{1 \text{ pc}}{r} && [']\end{aligned}$$

όπου ορίσαμε $1 \text{ pc (parsec)} = 206265 \text{ AU} = 3,26 \text{ έτη φωτός}$.

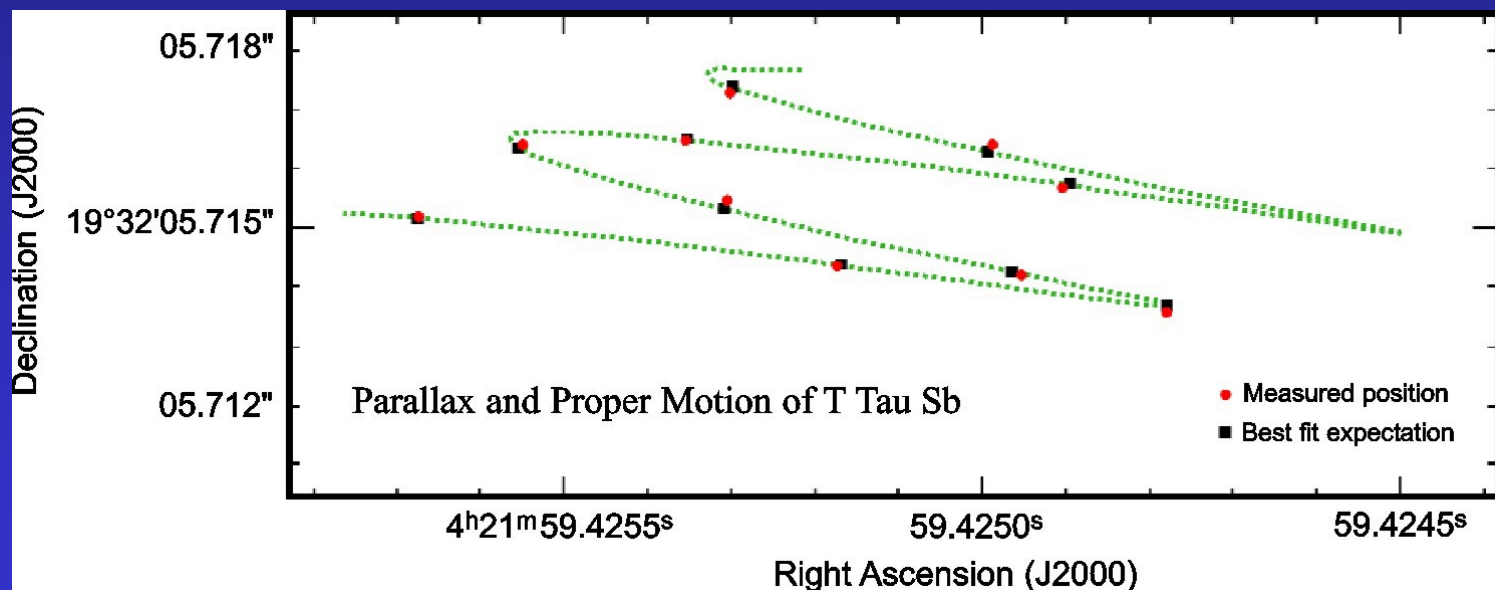
ΣΕ ΤΙ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ;

Για τον εγγύτερο αστέρα, τον α Κενταύρου:

$$\pi \simeq 0.''764 \quad \Rightarrow \quad r \simeq 1.3\text{pc} \simeq 4.2\text{ε.}\phi.$$

Άρα, **όλοι οι αστέρες**, βρίσκονται σε παράλλαξη $\pi < 1''$

Η μέτρηση της παράλλαξης επηρεάζεται από **ατμοσφαιρικές διαταραχές** και από την **ίδια κίνηση των αστέρων**.



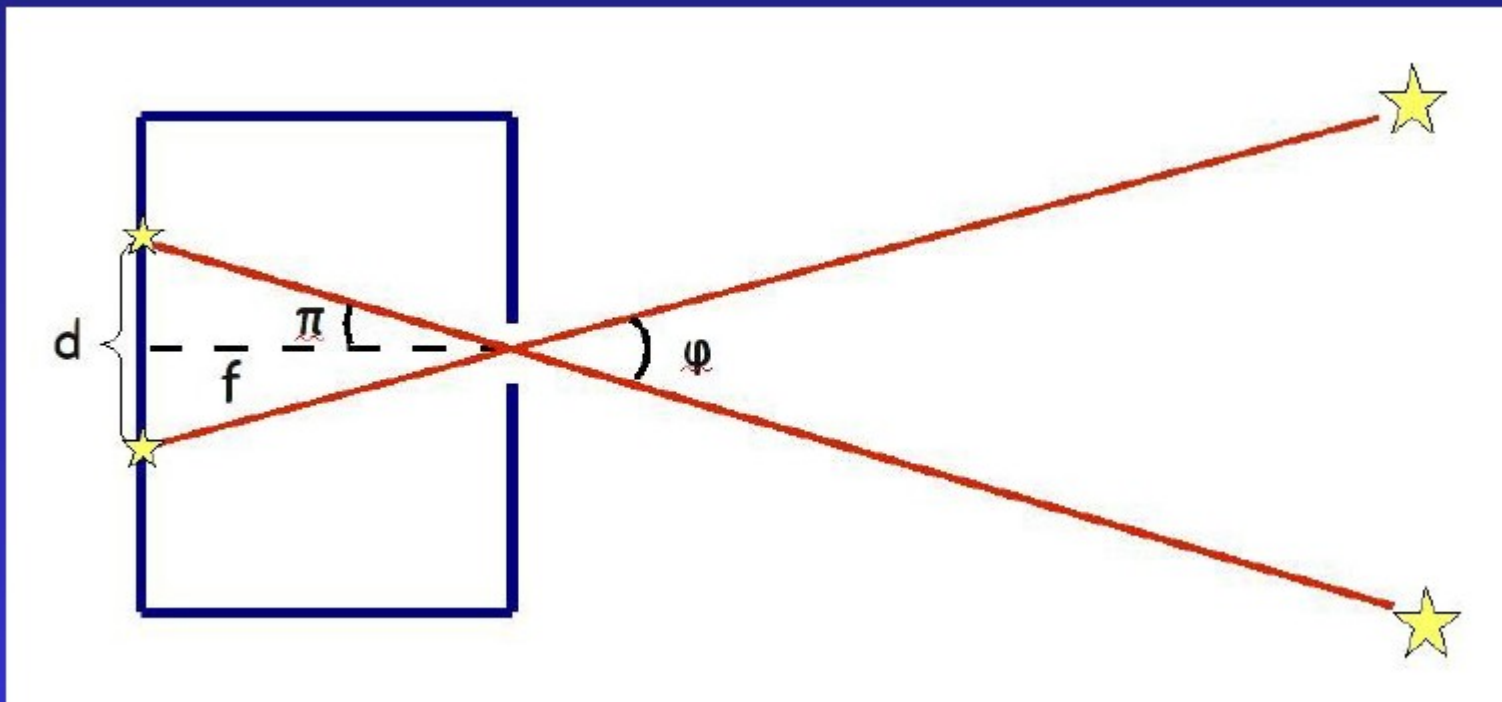
Εικόνα 4: Μετρήσεις Απόκλισης και Ορθής αναφοράς για τον αστέρα T Tau Sb [4].

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΛΑΚΑ

Με υπέρθεση δύο φωτογραφιών, μετράμε την απόσταση d :

$$\pi \simeq \frac{d}{2f}$$

Για $\pi=1''$ και $f=10\text{m} \Rightarrow d=0.05\text{mm}$!



ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ

Για Η/Μ ενέργεια ΔE που διέρχεται κάθετα από επιφάνεια εμβαδού $\Delta \Sigma$ σε χρόνο Δt , ορίζουμε:

$$I = \frac{\Delta E / \Delta t}{\Delta \Sigma_{\perp}}$$

Φωτεινή ροή (Η/Μ)

Φωτισμός (οπτική)

(φαινόμενη) λαμπρότητα (αστρονομία)

Μονάδες: $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ ή W m^{-2}

ΑΣΤΡΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

Ορίστηκε το 130π.Χ. από τον Ίππαρχο.

$m = 1$: οι πιο λαμπροί αστέρες

$m = 6$: οι αμυδρότεροι αστέρες (με γυμνό μάτι)

Σχετίζεται με τον ψυχοφυσικό νόμο των Weber & Fechner:

“Ένταση αισθήματος ανάλογη προς λογάριθμο ερεθίσματος.”

Οπότε:

$$m = a \log l + c$$

ΑΣΤΡΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ

Ο Pogson παρατήρησε ότι:

$$\frac{l(m = 1)}{l(m = 6)} = 100$$

Οπότε, αν

$$m_1 = a \log l_1 + c$$

$$m_2 = a \log l_2 + c$$

$$\Rightarrow m_2 - m_1 = -a \log(l_1/l_2)$$

$$\Rightarrow 6 - 1 = -a \log 100$$

$$\Rightarrow a = -2.5$$

Άρα

$$m_2 - m_1 = 2.5 \log(l_1/l_2)$$

Υπολογισμός σταθεράς c : με βάση πρότυπο αστέρα με (m_1, l_1) .

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΣΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Ήλιος	-26.7
Πανσέληνος	-12.6
Αφροδίτη	-4.4
Άρης	-3.0
Σείριος	-1.6
Ουρανός	+5.5
Αμυδρ. αστ. με κυάλια	+9.5
Πλούτωνας	+13.7
Αμυδρ. αστ. με Hubble	+30

ΠΟΙΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ;

Οι αστροφυσικές πηγές Η/Μ ακτινοβολίας δεν είναι απολύτως μονοχρωματικές, αλλά εκπέμπουν μέσα σε ένα εύρος από μήκη κύματος λ_1 έως λ_2 .

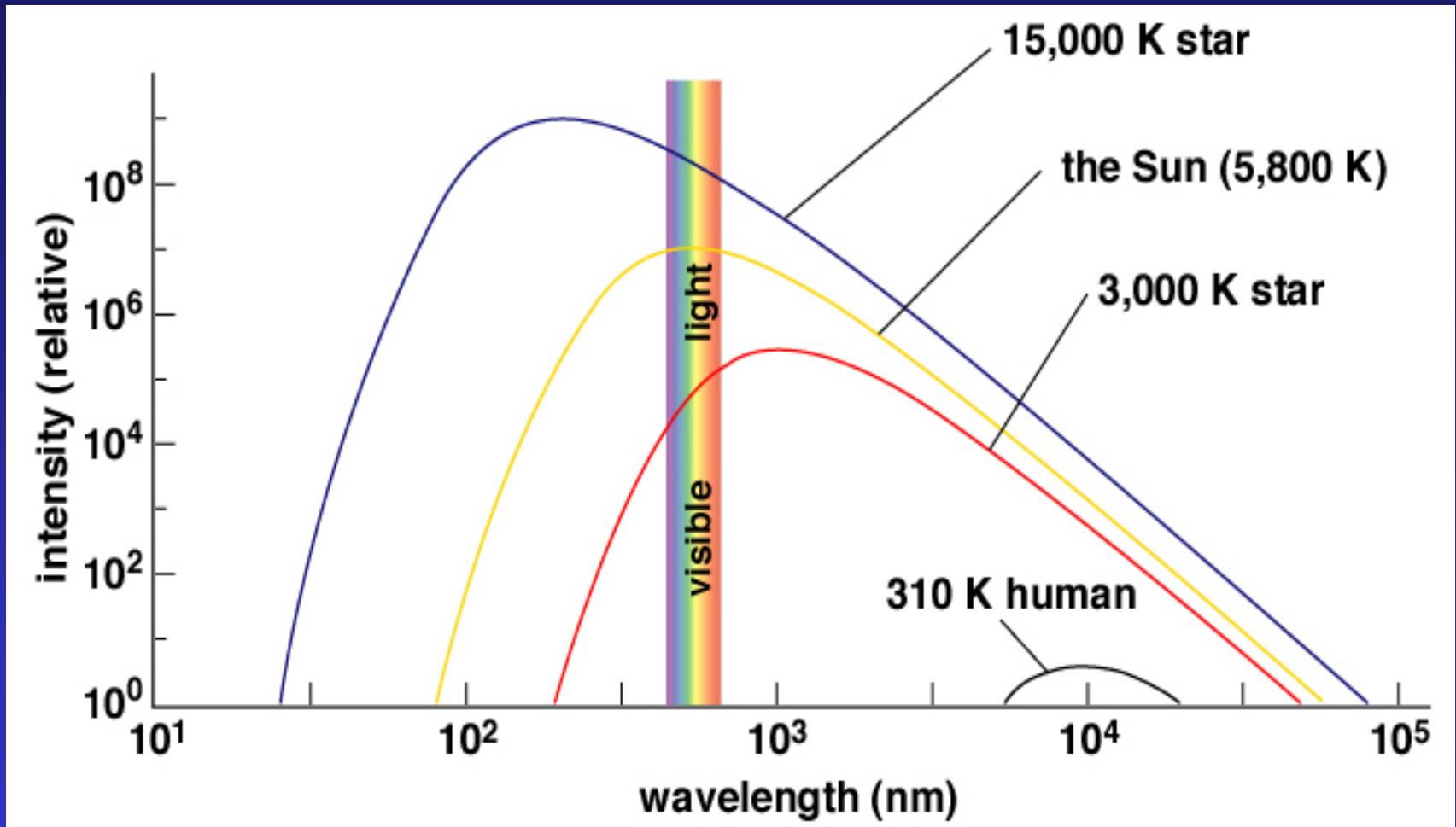
Με τα αστρονομικά όργανα, **δεν μπορούμε να συλλέξουμε όλη** τη ροή Η/Μ ακτινοβολίας μέσα στο εύρος $\lambda_1=0$ έως $\lambda_2= \infty$.

Όπως ορίσθηκε προηγουμένως, το μέγεθος m εκφράζει τη λαμπρότητα ενός αστέρα **μόνο στη μικρή περιοχή του Η/Μ φάσματος που συμπίπτει με το ορατό φως.**

Σύγχρονα αστρονομικά όργανα, επιτρέπουν τη μέτρηση της λαμπρότητας και σε **άλλες περιοχές του Η/Μ φάσματος.**

Μπορούμε έτσι να ορίσουμε **αντίστοιχα αστρικά μεγέθη** γι' αυτές τις περιοχές.

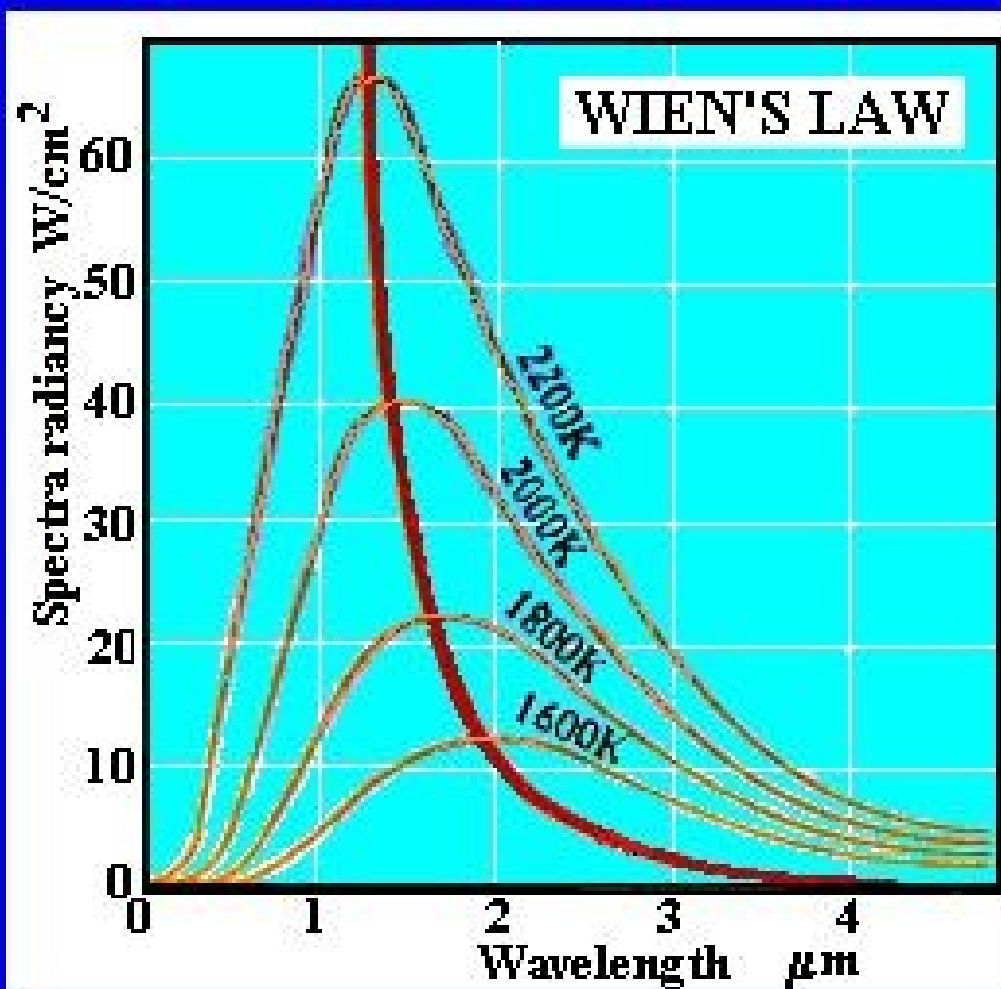
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΛΑΝΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ



Εικόνα 5: Η περιοχή του ορατού στην ακτινοβολία μελανού σώματος, για αστέρες διαφόρων θερμοκρασιών [5].

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ WIEN

$$\lambda_{peak} = \frac{2900}{T} \quad \begin{array}{l} \lambda_{peak} \text{ in } \mu\text{m} \\ T \text{ in K} \end{array}$$



Εικόνα 6: Ο νόμος του Wien, που εκφράζει το μήκος κύματος στο μέγιστο της εκπομπής μελανού σώματος για ορισμένη θερμοκρασία [6].

ΠΟΙΑ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ;

Στην πράξη, αν καθορίσουμε μια συγκεκριμένη περιοχή με εύρος λ_1 έως λ_2 , τότε η λαμπρότητα σ' αυτή την περιοχή είναι

$$l = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{dl}{d\lambda} d\lambda$$

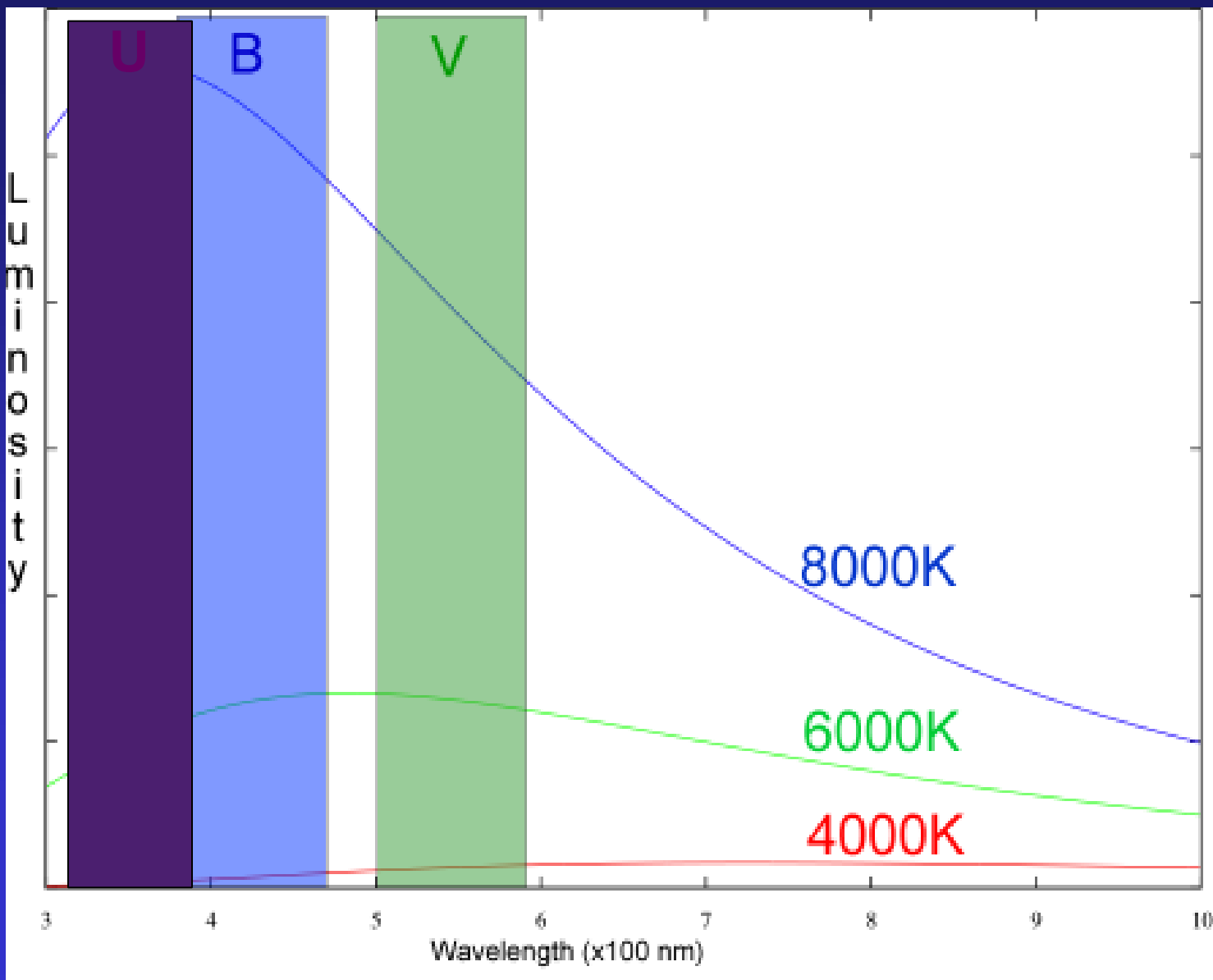
ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τριχρωματικό σύστημα U-B-V (και οι τρεις περιοχές στο οπτικό τμήμα του Η/Μ φάσματος!). Προτάθηκε από τον Johnson (1950).

Χρώμα	Ενεργό μήκος κύματος λ_0	Εύρος $\lambda_1 - \lambda_2$
Υπεριώδες (Ultraviolet)	3500 Å	3300 - 4000 Å
Κυανό (Blue)	4300 Å	3900 - 4900 Å
Οπτικό (Visual)	5500 Å	5050 - 5950 Å

Φωτογραφική πλάκα: $\lambda_0 = 4400 \text{ \AA}$. Άρα: $m_{pg} \approx m_B \neq m_V$!

ΦΙΛΤΡΑ U, B, V

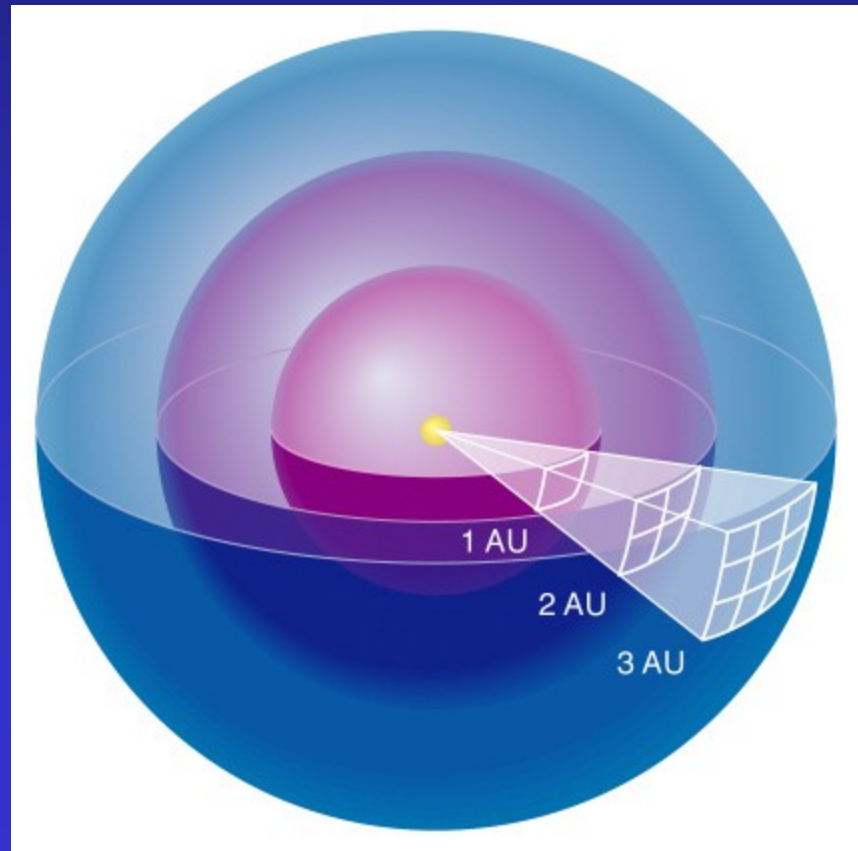


Εικόνα 7: Οι περιοχές του υπεριώδους (U), κυανού (B) και οπτικού (V) φωτός, που αποτελούν το φωτομετρικό σύστημα UBV.

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ

Αν ένας αστέρας εκπέμπει σχεδόν ισοτροπικά με **ολική Η/Μ ροή F** στην επιφάνειά του ακτίνας R , τότε ορίζουμε την **φωτεινότητα**

$$L = 4\pi R^2 F = 4\pi R^2 \int_0^\infty F_\lambda d\lambda$$



ΕΝΕΡΓΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Εάν προσεγγίσουμε τον αστέρα ως ένα μελανό σώμα που εκπέμπει **την ίδια ολική ροή F** όσο κι ο αστέρας στην επιφάνειά του, τότε σύμφωνα με τον νόμο των Stefan-Boltzmann μπορούμε να ορίσουμε μια **ενεργό θερμοκρασία T_{eff}**

$$\int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda = \sigma T_{\text{eff}}^4$$

Οπότε

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$

Η **φαινόμενη λαμπρότητα** σε κάποια **απόσταση r** από τον αστέρα είναι

$$l = \frac{L}{4\pi r^2}$$

(εάν αγνοήσουμε την απορρόφηση Η/Μ ακτινοβολίας από τη μεσοαστρική ύλη).

ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΕΣ U-B-V

Στο σύστημα U-B-V ορίζουμε τη φωτεινότητα στο υπεριώδες

$$L_U = 4\pi R^2 \int_{\lambda_{U_1}}^{\lambda_{U_2}} F_\lambda d\lambda$$

και την αντίστοιχη λαμπρότητα

$$l_U = \frac{L_U}{4\pi r^2}$$

Ομοίως ορίζονται οι L_B, l_B και L_V, l_V .

Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε στη συνέχεια να ορίσουμε τρία διαφορετικά φαινόμενα αστρικά μεγέθη

$$m_U, m_B \text{ και } m_V$$

ΒΟΛΟΜΕΤΡΙΚΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ

Με βάση την ολική φωτεινότητα L , μπορεί κανείς να ορίσει και μια **ολική (βολομετρική) λαμπρότητα** l_{bol}

$$l_{bol} = \frac{L}{4\pi r^2}$$

αυτή όμως δε μπορεί να μετρηθεί πειραματικά, αλλά υπολογίζεται μόνο θεωρητικά. Ομοίως, ορίζουμε κι ένα **βολομετρικό μέγεθος** m_{bol} , όχι όμως από τη σχέση μεταξύ m και l , αλλά με θεωρητικούς υπολογισμούς, χρησιμοποιώντας τα m_U , m_B και m_V και T_{eff} .

Βολομετρική διόρθωση $BC = m_{bol} - m_V$

ΔΕΙΚΤΕΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Δείκτης χρώματος (color index, CI) = η διαφορά των φαινόμενων μεγεθών σε δυο διαφορετικές φασματικές περιοχές.

$$CI = m_{pg} - m_V$$

$$B-V = m_B - m_V$$

$$U-B = m_U - m_B$$

Οι δείκτες χρώματος δεν εξαρτώνται από την απόσταση του αστέρα, αν αγνοήσουμε τη μεσοαστρική απορρόφηση!

Εξαρτώνται κατά βάση από την ενεργό θερμοκρασία:

Ψυχροί αστέρες \rightarrow μέγιστο στο ερυθρό $\rightarrow CI > 0$

Θερμοί αστέρες \rightarrow μέγιστο στο υπεριώδες $\rightarrow CI < 0$

ΕΡΥΘΡΗ ΜΕΣΟΑΣΤΡΙΚΗ ΧΡΩΣΗ

Στην πραγματικότητα, η μεσοαστρική απορρόφηση επιρεάζει τους δείκτες χρώματος και μάλιστα η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη σε μικρότερα μήκη κύματος (σκέδαση Mie):

$$\text{απορρόφηση} \sim 1/\lambda$$

Άρα, οι αστέρες εμφανίζονται **ερυθρότεροι** απ' ότι στην πραγματικότητα (**φαινόμενο ερυθρής μεσοαστρικής χρώσης**).

Η διόρθωση της τιμής των δεικτών χρώματος γίνεται με τη βοήθεια του **διαγράμματος δύο χρωμάτων, B-V - U-B**.

ΕΡΥΘΡΗ ΜΕΣΟΑΣΤΡΙΚΗ ΧΡΩΣΗ

Αν οι πραγματικοί δείκτες χρώματος είναι $(U-B)_0$ και $(B-V)_0$, τότε ορίζουμε την **υπεροχή χρώματος**

$$E_{B-V} = (B-V) - (B-V)_0$$

Εμπειρικά, βρίσκουμε την **απορρόφηση σε αστρικά μεγέθη**:

$$A_V = 3E_{B-V}$$

$$A_B = 4E_{B-V}$$

ΑΠΟΛΥΤΑ ΜΕΓΕΘΗ

Για να ταξινομήσουμε αντικειμενικά τους αστέρες με βάση τις φυσικές τους ιδιότητες και όχι με βάση τη φαινόμενη λαμπρότητά τους, χρησιμοποιούμε την φωτεινότητα L σε μια συμβατική απόσταση $r_A = 10\text{pc}$ για να ορίσουμε την **απόλυτη λαμπρότητα**

$$l_A = \frac{L}{4\pi r_A^2}$$

καθώς και το **απόλυτο μέγεθος M** σ' αυτή την απόσταση. Διαιρώντας την παραπάνω σχέση με τη γενική σχέση

$$l = \frac{L}{4\pi r^2}$$

ΑΠΟΛΥΤΑ ΜΕΓΕΘΗ

Βρίσκουμε

$$\frac{l}{l_A} = \frac{10^2}{r^2}$$

(όπου η απόσταση r είναι εκφρασμένη σε pc). Οπότε

$$M - m = 2.5 \log(l/l_A) = 5 - 5 \log r$$

Διορθώνοντας και για την μεσοαστρική απορρόφηση κατά A ,
τελικά

$$M - m + A = 5 - 5 \log r$$

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Measuring the Night Sky

Fort Worth Astronomical Society

<http://www.fortworthastro.com/beginner1.html>

3. 61 Cygni, Hipparchus, Bessel and Stellar Parallax

Hellenica, Information about Greece

<http://www.mlahanas.de/Greeks/Astronomy2.htm>

4. Parallax and Proper Motion of τ Tau Sb

Interferometers I

<http://www.cv.nrao.edu/course/ast534/Interferometers1.html>

5. Thermal Radiation, Astronomy 10 Lecture 8

Bryan Mendez, Lecture Notes, UCLA Berkeley

<http://cse.ssl.berkeley.edu/bmendez/ay10/2002/index.html>

6. Wien's Law

Wien's Law Translation

<http://translation.babylon.com/english/Wien%27s%20Law/>



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΧΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Νικόλαος Τρυφωνίδης
Θεσσαλονίκη, 31 Μαρτίου 2014



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

