

Λαμπρότητες και μεγέθη των αστεριών

ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΡΟΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ΠΙΟ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΙΜΗ ΙΔΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΥΛΗΣ, όσον αφορά την Αστροφυσική, είναι **ότι εκπέμπει και απορροφά ενέργεια (ακτινοβολία) με χαρακτηριστικό και προκαθορισμένο τρόπο, που είναι συνάρτηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της εκπεμπούσης ή απορροφούσης ύλης.**

Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που αναφέρεται στην πηγή που εκπέμπει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η **Ειδική ένταση της ακτινοβολίας I_v** . Για την επιφάνεια που δέχεται την εκπεμπόμενη ακτινοβολία ορίζουμε το μέγεθος F_v , που ονομάζεται **Ροή της ακτινοβολίας**.

Η Ειδική ένταση της ακτινοβολίας I_v , είναι ένα μέγεθος που αφορά **την πηγή της ακτινοβολίας** και ειδικότερα αναφέρεται στην ποσότητα της ενέργειας –σε μια περιοχή συχνοτήτων– που εκπέμπεται απ’ αυτήν. Η συγκεκριμένη αυτή ποσότητα είναι αναλλοίωτη και σταθερή, όσον αφορά την πηγή και ως εκ τούτου είναι ανεξάρτητη της απόστασής της από τον παρατηρητή. Μετριέται μόνο για εκτεταμένες-πεπερασμένες πηγές, όπως είναι ο Ήλιος –όχι σημειακές– και εκφράζεται σε $\text{erg}\cdot\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$.

Τι είναι η ειδική ένταση ακτινοβολίας? Όπως γίνεται φανερό από τα προηγούμενα, η **Ειδική ένταση της ακτινοβολίας I_v είναι η ενέργεια που εκπέμπει η μονάδα επιφάνειας της πηγής, ανά μονάδα συχνότητας, στη μονάδα του χρόνου, ανά μονάδα στερεάς γωνίας (sr), κατά διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια.**

Σε αντίθεση με τη Ειδική ένταση της ακτινοβολίας, η Ροή της ακτινοβολίας F_v αναφέρεται **σε επιφάνειες που δέχονται ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από οποιαδήποτε πηγή (πεπερασμένη ή σημειακή) και ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή.**

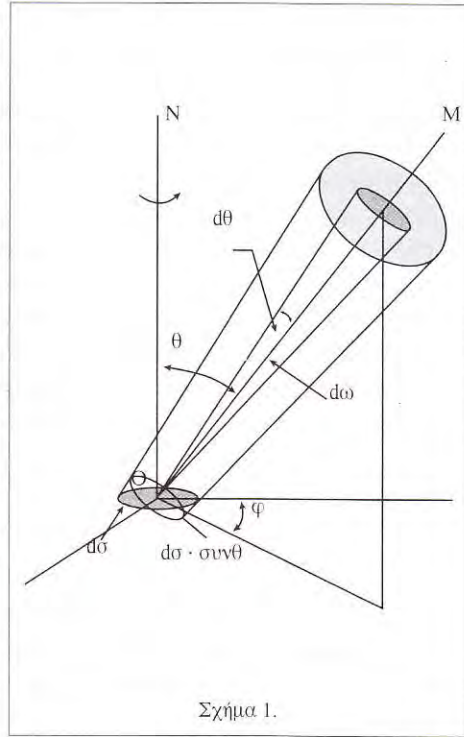
Τι είναι η ροή ακτινοβολίας? Η Ροή της ακτινοβολίας F_v είναι **η ενέργεια που συλλέγεται ανά μονάδα συλλεκτικής επιφάνειας, τοποθετημένης κάθετα στη διεύθυνση της οπτικής ακτίνας του άστρου, στη μονάδα του χρόνου** και, όπως θα δούμε στη συνέχεια, ταυτίζεται με τη φαινόμενη λαμπρότητα.

*Απόδειξη
 Ας μελετήσουμε όμως λίγο καλύτερα όλα τα προηγούμενα
 Έστω ένα σημείο $O(\chi, \psi, \zeta)$ μιας αστρικής ατμόσφαιρας και μια στοιχειώδη επιφάνεια $d\sigma$ στο σημείο αυτό. ON είναι η κάθετος πάνω στη $d\sigma$ και OM η διεύθυνση που σχηματίζει γωνία θ με την ON .

Η ενέργεια ακτινοβολίας dE_v , μεταξύ των συχνοτήτων ν και $\nu+d\nu$, που διασχίζει

σε χρόνο dt τη στοιχειώδη επιφάνεια $d\sigma$ κατά τη διεύθυνση OM και περιλαμβάνεται στη στοιχειώδη στερεά γωνία $d\omega$, είναι ανάλογη με το γινόμενο $d\sigma \cdot \text{συν}\theta \cdot d\omega \cdot dv \cdot dt$. Δηλαδή: $dE_v = I_v \cdot d\sigma \cdot \text{συν}\theta \cdot d\omega \cdot dv \cdot dt$ (βλέπε Σχήμα 1).

Ο συντελεστής αναλογίας I_v είναι η Ειδική ένταση της ακτινοβολίας στο σημείο $O(\chi, \psi, \zeta)$, κατά τη διεύθυνση OM (θ, φ) και τη χρονική στιγμή t . Όπως φαίνεται από το σχήμα, η ποσότητα ($d\sigma \cdot \text{συν}\theta$) είναι η προβολή της $d\sigma$ κατά τη διεύθυνση OM (θ, φ). Έτσι, η I_v είναι η ενέργεια ανά μονάδα στερεάς γωνίας και μονάδα συχνότητας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα επιφανείας καθέτως προς τη θεωρούμενη διεύθυνση ακτινοβολίας (Γ. Μπάνος: Γενική Αστρονομία, 1985, σελ. 156). Συνεπώς, έτσι όπως ορίστηκε, η I_v είναι συνάρτηση της θέσης, της διεύθυνσης, της συχνότητας και του χρόνου: $I_v = I_v(\chi, \psi, \zeta, \theta, \varphi, t)$.



Στον Ήλιο, η Ροή της ακτινοβολίας υπολογίζεται βάσει της Ειδικής έντασης της ακτινοβολίας, που είναι το ποσόν των φωτονίων που δέχεται ο παρατηρητής από μια συγκεκριμένη διεύθυνση.

$$\text{Ισχύει: } F_v = \int_0^{4\pi} I_v \text{συν}\theta d\omega .$$

Συνεπώς Ροή της ακτινοβολίας και Ειδική ένταση συνδέονται. Για τα άστρα, που είναι σημειακές πηγές, αυτό που μετρούμε είναι η Ροή της ακτινοβολίας και από την ποσότητα αυτή υπολογίζουμε το I_v .

Συνήθως αντί του I_v χρησιμοποιούμε μια αντίστοιχη ποσότητα I_λ για την οποία ισχύει: $I_v \cdot dv = I_\lambda \cdot d\lambda$.

Αυτό πολύ απλά σημαίνει ότι αντί για περιοχή συχνοτήτων, μπορούμε να χρησιμοποιούμε περιοχή μηκών κύματος.

ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΣΤΡΩΝ

ΓΙΑ ΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣΟΥΜΕ ΤΗ ΦΥΣΗ ΕΝΟΣ ΑΣΤΕΡΙΟΥ χρειαζόμαστε τη συνολική ενέργεια την οποία εκπέμπει η φωτόσφαιρά του στον χώρο και την ενέργεια την οποία μπορούμε να συλλέξουμε μέσω κατάλληλων δεκτών.

Ας θεωρήσουμε, λοιπόν, ένα άστρο Σ , ακτίνας R , σε απόσταση r από τη Γη.

Από την επιφάνεια του αστεριού ($4\pi R^2$), σε χρόνο t εκπέμπεται, προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλες τις συχνότητες, ολική ενέργεια E .

Τι ονομάζουμε φωτεινότητα?

Η ποσότητα $L=E/t$ που στην ουσία είναι η ισχύς της ακτινοβολίας του αστεριού—ονομάζεται **φωτεινότητα*** (luminosity) του άστρου.

Η ποσότητα αυτή είναι ανεξάρτητη της απόστασής μας από το άστρο. Μετριέται σε erg/sec (=Watt) ή σε ηλιακές μονάδες, δηλαδή με μονάδα την ηλιακή φωτεινότητα ($L_{\odot}=3,84 \times 10^{33}$ erg/sec= $3,84 \times 10^{26}$ Watt).

Η ενέργεια του άστρου, που διέρχεται, καθ' όλες τις διευθύνσεις, στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα επιφανείας—κάθετη προς τη διεύθυνση της οπτικής ακτίνας—του άστρου στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας ονομάζεται *Ροή της ακτινοβολίας*.

Με τη φωτεινότητα και τη ροή της ακτινοβολίας του άστρου συνδέονται αντιστοιχώς δύο είδη λαμπροτήτων του, η *πραγματική* και η *φαινομένη λαμπρότητα***.

Σημειώνουμε ότι για λόγους πρακτικούς και προκειμένου να έχουμε μια άμεση σύγκριση των λαμπροτήτων των αστεριών, όπως θα δούμε και στη συνέχεια της ενότητας, οι αστρονόμοι χρησιμοποιούν την *απόλυτη λαμπρότητα* (βλέπε: Απόλυτο μέγεθος, σελίδα 110).

Ποια η σχέση φωτεινότητας—λαμπρότητας?

Αν, λοιπόν, φανταστούμε μια σφαίρα ακτίνας r με κέντρο το αστέρι φωτεινότητας L , τότε στη μονάδα επιφανείας της σφαίρας αυτής, η ροή της ακτινοβολίας θα ισούται με: $F_r = \frac{L}{4\pi r^2}$.

Η F_r είναι η *φαινομένη λαμπρότητα* ή απλώς η *λαμπρότητα* (brightness) του αστεριού στη θεωρούμενη απόσταση και στην ουσία είναι ο *φωτισμός* που παράγει το αστέρι στη δεδομένη απόσταση r . Συνδέεται δε με τη ροή της ακτινοβολίας για συγκεκριμένη περιοχή μηκών κύματος. Η ποσότητα $L=E/t$ που ορίσαμε παραπάνω ως φωτεινότητα του αστεριού, αντιστοιχεί στην πραγματική του λαμπρότητα. Τονίζουμε ότι η πραγματική λαμπρότητα αντιστοιχεί σε ακτινοβολίες όλων των μηκών κύματος—συλλέξιμες και μη συλλέξιμες—υπολογιζόμενη θεωρητικά.

Τι είναι η επιφανειακή λαμπρότητα?

Στην περίπτωση που $r=R$, δηλαδή στην επιφάνεια του αστεριού, η ροή της ακτινοβολίας ισούται με: $F_0 = \frac{L}{4\pi R^2}$ και καλείται *επιφανειακή λαμπρότητα* του άστρου.

Διαϊωντάς κατά μέλη τις δύο τελευταίες σχέσεις έχουμε: $\frac{F_r}{F_0} = \frac{R^2}{r^2}$ (1)

Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι η ροή της ακτινοβολίας και συνεπώς η φαινομένη λαμπρότητα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης.

Η τελευταία σχέση βέβαια ισχύει με την προϋπόθεση ότι δεν έχουμε απορρόφηση από την ατμόσφαιρα του αστεριού και από τη μεσοαστρική ύλη.

Από τη σχέση (1) συνεπάγεται $F_r = F_0 \frac{R^2}{r^2}$ και αυτή είναι η ροή της ακτινοβολίας

Ποια η πραγματική ροή στη γη?

που φτάνει στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Στον επίγειο παρατηρητή, όμως, φτάνει ένα μόνο μέρος της και συγκεκριμένα η ποσότητα: $\ell_v = \frac{R^2}{r^2} \int_0^{\infty} F_{0,v} H_v dv$ όπου:

* φωτεινός= ο παρέχων ή εκπέμπων δικό του φως, ο ισχυρώς φωτίζων, ο φέγγων.

** λαμπρός= ο λάμπων, λόγω οποιασδήποτε αιτίας. Έτσι, λαμπρότητα είναι η αίσθηση της φωτεινότητας από τον παρατηρητή. Η αίσθηση του φωτεινού.

$F_{\sigma, \nu}$ είναι η μονοχρωματική, συχνότητας ν , επιφανειακή λαμπρότητα του αστεριού, και H_{ν} μία συνάρτηση που εξαρτάται από τη μεσοαστρική ύλη, τη διαφάνεια της γήινης ατμόσφαιρας, τα οπτικά μέρη των οργάνων παρατήρησης (π.χ. τηλεσκόπιο, φωτόμετρο, φασματογράφος κ.ά.) και ακόμη από την ευαισθησία του δέκτη (π.χ. φωτογραφικής πλάκας) για τη συγκεκριμένη συχνότητα ν (Συνάρτηση ευαισθησίας).

Το φαινόμενο μέγεθος ενός αστεριού, όπως γίνεται φανερό, δεν εκφράζει τις πραγματικές διαστάσεις του, ούτε τη μάζα του, τον όγκο του ή τη συνολική ενέργεια που εκπέμπει, παρά μόνον τη φαινομένη λαμπρότητά του, όπως την αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι, σε σχέση πάντα με τη φαινομένη λαμπρότητα των άλλων αστεριών.

Όλα τα ορατά, με γυμνό οφθαλμό, αστερία, ταξινομήθηκαν από τον Ίππαρχο σε έξι μεγέθη. Στο πρώτο μέγεθος κατατάχθηκαν τα 20 λαμπρότερα αστερία, στο δεύτερο μέγεθος τα λιγότερο λαμπρά και τελικά στο έκτο μέγεθος αντιστοιχούν τα άστρα που μόλις διακρίνονται με γυμνό μάτι. **Δηλαδή, όσο μικρότερος είναι ο αριθμός που αντιπροσωπεύει το φαινόμενο μέγεθος, τόσο λαμπρότερο είναι το άστρο.**

Τι ορίζουμε
φαινόμενο
μέγεθος?

Σήμερα, όμως, με την ανάπτυξη της Παρατηρησιακής Αστροφυσικής **ορίζουμε ως φαινόμενο μέγεθος m ενός αστεριού τη ροή της ακτινοβολίας που συλλέγουμε από ένα άστρο σε μια συγκεκριμένη φασματική περιοχή.**

Η σχέση του Pogson *Απόδειξη

Έχοντας ορίσει ως φαινόμενο μέγεθος m ενός αστεριού, τη ροή της ακτινοβολίας που συλλέγουμε από το άστρο σε μια συγκεκριμένη φασματική περιοχή, πρέπει, για να συνδεθεί η ταξινόμηση των αστεριών κατά μέγεθος, όπως είχε γίνει στην αρχαιότητα, με τον σημερινό σύγχρονο ορισμό, να γίνουν οι πιο κάτω συλλογισμοί:

α) Για δύο αστερία με φαινόμενα μεγέθη m και n , η σχέση μεταξύ φαινομένων λαμπροτήτων ℓ_m, ℓ_n και των αντιστοίχων μεγεθών είναι η ακόλουθη: $\frac{\ell_m}{\ell_n} = c^{n-m}$ (1)
όπου c είναι μια σταθερά.

β) Τα αστερία πρώτου μεγέθους ορίστηκαν να είναι οπτικά εκατό φορές λαμπρότερα από τα αστερία έκτου μεγέθους (J. Herschel, 1830). Δηλαδή για δύο αστερία $m_1=1$ ου μεγέθους και $m_2=6$ ου μεγέθους, από τη σχέση (1) θα έχουμε:

$$\frac{\ell_1}{\ell_6} = 100 = c^{6-1} \rightarrow c^5 = 100 \rightarrow 5 \log c = \log 100 \rightarrow \log c = \frac{2}{5} \rightarrow c = 2,512.$$

Συνεπώς, ένα άστρο οποιουδήποτε ακέραίου μεγέθους είναι 2,512 φορές λαμπρότερο από τα αστερία που ανήκουν στο αμέσως επόμενο μεγαλύτερο αριθμητικά ακέραιο μέγεθος. Τότε από τη σχέση (1) έχουμε:

$$\frac{\ell_m}{\ell_n} = 2,512^{(n-m)} \rightarrow \log \frac{\ell_m}{\ell_n} = (n-m) \log 2,512 \rightarrow (n-m) = \frac{\log \frac{\ell_m}{\ell_n}}{\log 2,512} \rightarrow (n-m) = 2,5 \log \frac{\ell_m}{\ell_n}$$

Επειδή το ανθρώπινο μάτι έχει λογαριθμική ευαισθησία, συνέπεια η εμπειρική κλίμακα του Ίππαρχου να είναι λογαριθμική και να συμφωνεί με την καινούργια κλίμακα.

Τελικά, για δύο αστερία φαινομένων μεγεθών m_1 και m_2 και αντίστοιχων ροών της ακτινοβολίας που φθάνουν στον παρατηρητή ℓ_1 και ℓ_2 , ισχύει: $m_1 - m_2 = 2,5 \log \frac{\ell_2}{\ell_1}$.

Η τελευταία εξίσωση είναι γνωστή ως σχέση του Pogson (1856), από τον Άγγλο αστρονόμο Norman Robert Pogson (1829-1891) που την εισήγαγε, και είναι απόρροια του ψυχοφυσικού νόμου των Weber-Fechner*, σύμφωνα με τον οποίον η ένταση των αισθημάτων (φαινόμενο μέγεθος) είναι ανάλογη του λογαρίθμου των ερεθισμάτων (φαινομένη λαμπρότητα).

Όπως είδαμε, το φαινόμενο μέγεθος ενός άστρου είναι συνάρτηση της ροής της ακτινοβολίας L_v που φτάνει στον παρατηρητή. Αυτή η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου μετριέται σε αστρικά μεγέθη. Για παράδειγμα λέμε ότι το φαινόμενο μέγεθος του Ήλιου είναι -26,8 μεγέθη (magnitudes) και γράφουμε $-26^m,8$ ή $m_{\odot} = -26,8 \text{ mag}$.

Όπως, λοιπόν, έχει αποδειχθεί, ένα αστέρι οποιουδήποτε μεγέθους είναι 2,512 φορές λαμπρότερο από τ' αστέρια του αμέσως επόμενου ακέραιου μεγέθους.

Η νέα αυτή σχέση μεταξύ φαινομένου μεγέθους και φαινομένης λαμπρότητας μας δίνει τη δυνατότητα να επεκτείνουμε την κλίμακα των φαινομένων μεγεθών των αστεριών πέραν του 6ου, αλλά και πριν του 1ου μεγέθους.

νεται λαμπρότερο από κάποιο άλλο άστρο μεγαλύτερο σε όγκο και φωτεινότερο, που όμως απέχει από τη Γη πολύ περισσότερο απ' όσο το προηγούμενο.

Ο Ήλιος μας, για παράδειγμα, φαίνεται σαν το λαμπρότερο άστρο στον ουρανό, όχι γιατί είναι το φωτεινότερο ή το μεγαλύτερο σε όγκο άστρο, αλλά γιατί είναι σχετικά πάρα πολύ κοντά στη Γη. Είναι σημαντικό, λοιπόν, να ορίσουμε τις κύριες μονάδες μέτρησης των αποστάσεων των ουρανίων σωμάτων, ώστε να έχουμε κάποια ιδέα για τις τεράστιες αποστάσεις που μας χωρίζουν από αυτά.

Ποιες οι μέθοδοι

προσδιορισμού των αποστάσεων?

Ο προσδιορισμός των αποστάσεων των ουρανίων σωμάτων γίνεται με διάφορες μεθόδους, που γενικά **υποδιαιρούνται σε γεωμετρικές και φωτομετρικές.**

α) Γεωμετρικές

1. Με την ετήσια παράλλαξη.
2. Με τις δυναμικές παραλλάξεις, που εφαρμόζονται στα διπλά συστήματα της Κυρίας Ακολουθίας, και
3. Με την αιώνια παράλλαξη, που εφαρμόζεται στον προσδιορισμό των αποστάσεων σημανών και στηρίζεται στην κίνηση του ηλιακού μας συστήματος.

β) Φωτομετρικές

Αυτές ουσιαστικά βασίζονται στη σύγκριση του φαινομένου μεγέθους με το απόλυτο μέγεθος των άστρων και διαφέρουν μεταξύ τους στον τρόπο προσδιορισμού του απόλυτου μεγέθους. Συνεπώς, μπορούμε να υπολογίζουμε αποστάσεις.

1. Με τις φασματοσκοπικές παραλλάξεις, όπου προσδιορίζουμε το απόλυτο μέγεθος M , από το διάγραμμα H-R.
 2. Με τα διαγράμματα απόλυτο μέγεθος-χρώμα ή δύο χρωμάτων, που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσδιορισμό των αποστάσεων των αστρικών σημανών.
 3. Με τους μεταβλητούς αστέρες RR Lyrae.
 4. Με τους κηφειδες μεταβλητούς αστέρες, στους οποίους η περίοδος μεταβολής της λαμπρότητας σχετίζεται με το απόλυτο μέγεθος.
- Και βέβαια αποστάσεις μπορούμε να μετρούμε με τους κυανούς υπεργίγαντες, τους γαλαξίες και τη μετατόπιση Doppler*.

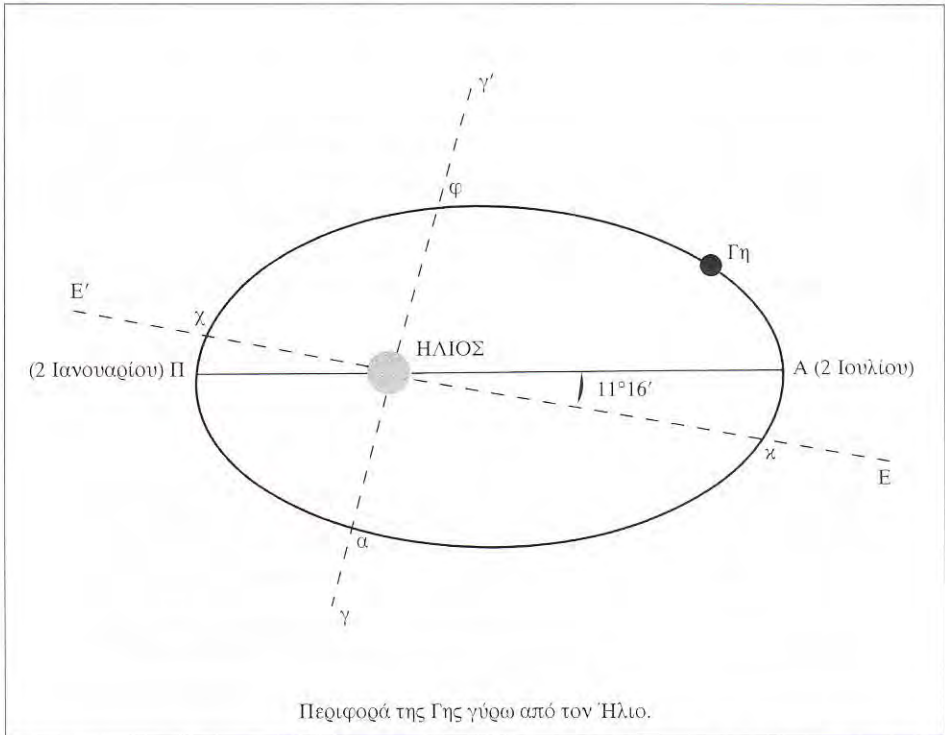
Αστρονομική μονάδα—έτος φωτός

ΩΣ ΓΝΩΣΤΟΝ, ΟΙ ΤΡΟΧΙΕΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ είναι ελλείψεις, εκ των οποίων ο Ήλιος κατέχει μία των εστιών τους. Το πλησιέστερο σημείο της τροχιάς της Γης από τον Ήλιο λέγεται περιήλιο (Π). Στο σημείο αυτό βρίσκεται η Γη στις αρχές Ιανουαρίου εκάστου έτους. Τότε η απόσταση Γης-Ήλιου είναι περίπου 147.000.000 Km. Αντίθετα, το πιο απομακρυσμένο σημείο της τροχιάς της Γης από τον Ήλιο ονομάζεται αφήλιο (Α). Στο σημείο αυτό βρίσκεται η Γη στις αρχές Ιουλίου εκάστου έτους. Τότε η απόσταση Γης-Ήλιου είναι περίπου 152.000.000 Km.

Άρα, όπως έχει υπολογιστεί η μέση απόσταση του Ήλιου από τη Γη είναι περίπου ίση με 149,6 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Επειδή οι γνωστές σε όλους μας μονάδες μήκους—που χρησιμοποιούμε στις γήινες μετρήσεις μας—είναι πολύ μικρές για να μετρούμε τις τεράστιες αστρικές αποστάσεις, χρησιμοποιούμε την απόσταση Γης-Ήλιου ως μονάδα μέτρησης των αποστάσεων των γειτονικών μας ουρανίων σωμάτων και την ονομάζουμε *αστρονομική μονάδα (Astronomical Unit, A.U.)*.

Όμως και η μονάδα αυτή συνεχίζει να είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με τις τεράστιες αποστάσεις των μακρινών άστρων. Έτσι, για να μετρούμε τις κολοσσιαίες α-

* Για περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά τη μέτρηση των αποστάσεων των ουρανίων σωμάτων, παραπέμπουμε τους αναγνώστες μας στο βιβλίο του καθηγητή Χρήστου Δ. Γούδη: Αστροφυσική I, Βασικές Έννοιες Αστροφυσικής. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών. Πάτρα 1989.



στρικές και γαλαξιακές αποστάσεις χρησιμοποιούμε ως μονάδα μέτρησης το έτος φωτός (ε.φ.), που ορίζεται ως η απόσταση την οποία διανύει το φως σε ένα έτος, αν κινείται συνεχώς με την ταχύτητά του, των 300.000 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο*. Αυτή η μονάδα μήκους, αν μετατραπεί σε χιλιόμετρα, ισούται με 9,5 τρισεκατομμύρια χιλιόμετρα (1 ε.φ.= $9,5 \times 10^{12}$ Km). Το έτος φωτός είναι μία πραγματικά τεράστια απόσταση, ασύλληπτη για τα γήινα μέτρα. Αρκεί να αναλογιστούμε ότι η Σελήνη, απέχει από τη Γη μόλις 1 δευτερόλεπτο φωτός. Ομοίως το φως του Ήλιου μας για να φτάσει σε μας χρειάζεται περίπου 8 πρώτα λεπτά, ενώ το φως από τον Εγγύτατο Κενταύρου –τον πλησιέστερο σε μας απλανή αστέρα– το παρατηρούμε με χρονική καθυστέρηση 4,27 ετών. Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας, ο πλησιέστερος στον δικό μας σπειροειδής γαλαξίας, απέχει περίπου 2.200.000 έτη φωτός. Αυτό σημαίνει ότι το φως που λαμβάνουμε σήμερα από τον γαλαξία αυτόν ακτινοβολήθηκε πριν από δύο εκατομμύρια διακόσιες χιλιάδες έτη. Ουσιαστικά, λοιπόν, δεν βλέπουμε το παρόν του, αλλά το απώτατο παρελθόν του γειτονικού μας γαλαξία.

Ετήσια παράλλαξη και παρσέκ

ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗ π ΤΟΥ ΑΣΤΕΡΙΟΥ Σ, ονομάζουμε τη γωνία με την οποία φαίνεται από το αστέρι η ακτίνα της γήινης τροχιάς (1 Α.Υ.) γύρω από τον Ήλιο.

Από το ορθογώνιο τρίγωνο Γη-Ήλιος-αστέρι (Σ), έχουμε:

* Η πλέον ακριβής μέθοδος μέτρησης της ταχύτητας του φωτός, από το 1983, καθορίζει ότι $c=299.792.458$ m/sec.

Τι ονομάζουμε
ετήσια παρά-
λλαξη?
*Απόδειξη:

$$\eta\mu\pi = \frac{H\Gamma}{r} \rightarrow \eta\mu\pi = \frac{1 \text{ A.U.}}{r}$$

Έτσι, αν γνωρίζουμε την παράλλαξη π του αστεριού, μπορούμε να προσδιορίσουμε την απόστασή του r από μας.

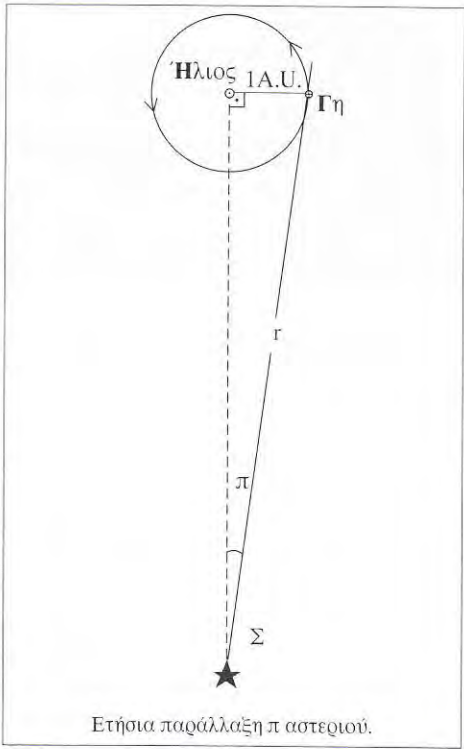
Η παράλλαξη π , όμως, είναι πάντα γωνία πάρα πολύ μικρή, μικρότερη από το τόξο του $1''$. Επειδή, λοιπόν, $\pi < 1''$, για πολύ μικρές γωνίες, ισχύει $\eta\mu\pi = \pi$ και έτσι έχουμε: $\pi = 1 \text{ A.U.}/r$ (rad), αλλά ένα ακτίνιο, δηλαδή $1 \text{ rad} = 206.265''$ και έτσι:

$$\pi'' = 206.265 \frac{\text{A.U.}}{r} \rightarrow r = 206.265 \frac{\text{A.U.}}{\pi''}$$

Όσο μακρύτερα από τη Γη βρίσκεται ένα αστέρι τόσο μικρότερη θα είναι η παράλλαξή του, αντίθετα, όσο πλησιέστερα βρίσκεται προς τη Γη, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παράλλαξή του. Το άστρο με τη μεγαλύτερη παράλλαξη είναι ο Εγγύτατος Κενταύρου με $\pi = 0,763$ δευτερόλεπτα τόξου.

Ός μία επιπλέον μονάδα μέτρησης των αποστάσεων των ουρανίων σωμάτων χρησιμοποιούμε **το παρσέκ (pc)**, που προέρχεται από τη σύντμηση των λέξεων *parallax second* και **ισούται με την απόσταση στην οποία ένα αστέρι παρουσιάζει παράλλαξη ίση με $\pi = 1''$** .

Για $\pi = 1''$ από την προηγούμενη σχέση έχουμε: $r = 206.265 \text{ A.U.} = 1 \text{ pc}$. Συνεπώς ισχύει: $r(\text{pc}) = 1/\pi''$, και ακόμη: $1 \text{ pc} = 3,262 \text{ ε.φ.} = 206.265 \text{ A.U.} = 30,857 \times 10^{12} \text{ Km}$. Το παρσέκ, λοιπόν, αντιπροσωπεύει μονάδα μήκους 30,857 τρισεκατομμυρίων χιλιομέτρων, δηλαδή μια τρομακτική απόσταση μήκους σε σύγκριση με τις μετρούμενες γήινες αποστάσεις.



Μονάδες μέτρησης αστρονομικών αποστάσεων
 1 pc = 3,262 ε.φ. = 206.265 A.U. = $30,857 \times 10^{12} \text{ Km}$
 1 Kiloparsec (Kpc) = 1.000 pc = 10^3 pc
 1 Megaparsec (Mpc) = 1.000 Kpc = 10^6 pc
 1 ε.φ. = $9,4605 \times 10^{12} \text{ Km} = 0,3066 \text{ pc}$

Εγγύτατος Κενταύρου

Στα οπτικώς διπλά άστρα (βλέπε σελίδα 148 Β' τόμος) ανήκει το σύστημα του α Κενταύρου (Rigel). Είναι το πλησιέστερο στον Ήλιο ζεύγος άστρων με φαινόμενα μεγέθη $m_1 = 0,1$ και $m_2 = 1,4$ – με μάζες $1,14 M_{\odot}$ και $0,86 M_{\odot}$ – και με διαμέτρους $D_1 = 1,23 D_{\odot}$ και $D_2 = 0,87 D_{\odot}$ αντίστοιχα.

Γύρω από τα δύο μέλη του ζεύγους περιφέρεται σε απόσταση $2^{\circ} 11'$ από το κέντρο μάζας των δύο πρώτων και τρίτο άστρο· δηλαδή στην ουσία το σύστημα των άστρων του Rigel είναι τριπλό. Το τρίτο άστρο, με φαινόμενο μέγεθος $m_3 = 11$, απέχει από το ζεύγος 10^5 A.U. και χρειάζεται 4×10^5 έτη για να συμπληρώσει μια πλήρη περιφορά γύρω απ' αυτό. Η ακριβής θέση του είναι $\alpha = 14^{\text{h}} 26^{\text{m}}$, $\delta = -62^{\circ} 28'$ και η παράλλαξή του ισούται με $\pi = 0,763$. Είναι η μεγαλύτερη παράλλαξη που έχει παρατηρηθεί και έτσι το αμυδρό αυτό αστέρι φασματικού τύπου M5e παρουσιάζει τη μικρότερη απόσταση από τη Γη. Απέχει «μόνο» $1,31 \text{ pc} = 4,27 \text{ ε.φ.}$ ή 270.000 A.U. και γι' αυτόν τον λόγο ονομάζεται Εγγύτατος Κενταύρου (Proxima Centauri). Ο α Κενταύρου, ο πρωτεύων αστέρας του τριπλού ζεύγους παρουσιάζει παράλλαξη $\pi = 0,760$, δηλαδή βρίσκεται στην απόσταση των $1,315 \text{ pc}$.

Τι είναι το παρσεκ?

Εφαρμογή

Ο Εγγύτατος Κενταύρου απέχει από τη Γη 1,31 pc και συνεπώς το φως του για να φτάσει σε μας χρειάζεται μόλις 4,27 χρόνια. Αναλογιστήκαμε ποτέ πόσα χρόνια θα έκανε ένα σύγχρονο διαστημόπλοιο με ταχύτητα 11 Km/sec για να τον επισκεφθεί;

Εφ' όσον $1 \text{ pc} = 30,857 \times 10^{12} \text{ Km}$, ο Εγγύτατος Κενταύρου απέχει από τη Γη:
 $1,31 \times 30,857 \times 10^{12} \text{ Km} = 40,42267 \times 10^{12} \text{ Km}$.

Συνεπώς το διαστημόπλοιο ταχύτητας 11 Km/sec θα διατρέξει αυτήν την απόσταση σε:
 $3,6751545 \times 10^{12} \text{ sec}$.

Επειδή $1 \text{ έτος} = 3,155693 \times 10^7 \text{ sec}$, συμπεραίνουμε ότι το διαστημόπλοίο μας θα φτάσει στον Εγγύτατο Κενταύρου σε 116.461 γήινα χρόνια!

ΑΠΟΛΥΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΣΤΕΡΙΟΥ (M)

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ (m) ΕΝΟΣ ΑΣΤΕΡΙΟΥ, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, ορίζει τη ροή της ακτινοβολίας που συλλέγουμε απ' αυτό και όχι τη συνολική ροή της ακτινοβολίας που παράγει. Συνεπώς, η φαινομένη λαμπρότητα ενός αστεριού, άρα και το φαινόμενο μέγεθός του δεν εξαρτώνται μόνο από τον ρυθμό της εκλυόμενης από το αστέρι ενέργειας, αλλά και από την απόσταση στην οποία αυτό βρίσκεται. Δηλαδή, ένα αστέρι μικρό σε διαστάσεις και λίγο φωτεινό, μπορεί να φαίνεται λαμπρό αν βρίσκεται κοντά στη Γη, ενώ ένα άλλο πραγματικά φωτεινότερο και μεγαλύτερο σε όγκο να φαίνεται αμυδρό γιατί απέχει πάρα πολύ από τη Γη. Έτσι ο Σείριος (α CMa) έχει φαινόμενο μέγεθος -1,5 mag και είναι ο λαμπρότερος αστέρας του νυχτερινού ουρανού –αν και είναι μόνο 23 φορές φωτεινότερος από τον Ήλιο– γιατί βρίσκεται σχετικά κοντά στη Γη, σε απόσταση 8,15 ε.φ. ή 2,63 pc, ενώ ο γίγαντας Betelguese (α Ori) αν και είναι περίπου 14.000 φορές φωτεινότερος από τον Ήλιο, έχει φαινόμενο μέγεθος μόνο 0,9 mag γιατί απέχει από τη Γη 652 ε.φ. ή 200 pc. Ως εκ τούτου, προκειμένου να γνωρίζουμε ποιο αστέρι είναι στην πραγματικότητα πιο λαμπρό και ποιο φαίνεται λαμπρό απλώς και μόνο λόγω της απόστασής του, ορίστηκε το «*απόλυτο μέγεθος του αστεριού*».

Απόλυτο μέγεθος (M) ενός αστεριού είναι το φαινόμενο μέγεθος που αυτό θα παρουσίαζε, αν το τοποθετούσαμε σε απόσταση ίση με 10 pc. Η προκύπτουσα λαμπρότητα τότε καλείται απόλυτη λαμπρότητα του άστρου.

Με τον τρόπο αυτόν, αν τοποθετήσουμε θεωρητικά όλα τα αστέρια σε απόσταση ίση με 10 pc και βρούμε το απόλυτο μέγεθός τους, μπορούμε να δούμε ποιο αστέρι είναι στην πραγματικότητα φωτεινότερο από κάποιο άλλο. Δηλαδή στην ουσία δημιουργούμε μια κλίμακα απόλυτων λαμπροτήτων.

Έτσι, αν τοποθετήσουμε τον Ήλιο μας σε απόσταση 10 pc θα φαίνεται σαν αστέρας περίπου +5ου μεγέθους, δηλαδή πολύ πιο αμυδρός από τον Σείριο, ο οποίος έχει απόλυτο μέγεθος +1,40. Ο γίγαντας Betelguese έχει απόλυτο μέγεθος -5,6 και αυτό αποδεικνύει ότι στην πραγματικότητα είναι ένα πολύ φωτεινό άστρο.

Ενδιαφέρον είναι να αναφερθεί ότι όπως αποδείχτηκε μαθηματικά (βλέπε: σχέση του Pogson, σελίδα 104) αν m είναι το φαινόμενο μέγεθος ενός αστεριού και r η απόστασή του από τη Γη, το απόλυτο μέγεθος του αστεριού M^* συνδέεται με τα προηγούμενα μεγέθη μέσω της σχέσης: **$M = m + 5 - 5 \log r + A_v$** .

* Τα απόλυτα μεγέθη των αστεριών περιλαμβάνονται μεταξύ $M = -9$ και $M = 20$ μεγέθη. Το απόλυτο οπτικό μέγεθος του Ήλιου είναι $M_v = 4,8$ μεγέθη, ενώ το αντίστοιχο οπτικό μέγεθός του είναι ίσο με $m_v = -26,8$ μεγέθη. Για τις αποστάσεις των κοντινών απλανών, βλέπε Πίνακα σελίδα 198.

Τι είναι το απόλυτο μέγεθος ενός αστέρα?

Ποια η σχέση απόλυτου-φαινόμενου μεγέθους?

Εστω ℓ_0 η λαμπρότητα αστεριού μεγέθους M στην απόσταση $r_0=10$ pc και εφ' όσον οι λαμπρότητες είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης, για το ίδιο αστέρι με παραμέτρους ℓ, m, r έχουμε: $\frac{\ell_0}{\ell} = \frac{r^2}{r_0^2} \rightarrow \frac{\ell_0}{\ell} = \frac{r^2}{100}$.

Αν εφαρμόσουμε τη σχέση του Pogson, η οποία ισχύει για οποιαδήποτε μεγέθη, με το r μετρούμενο πάντα σε pc, έχουμε:

$$m-M = 2,5 \log \frac{\ell_0}{\ell} \rightarrow m-M = 2,5 \log \left(\frac{r^2}{100} \right) \rightarrow m-M = 5 \log r - 5.$$

Βέβαια, η προηγούμενη σχέση ισχύει αν δεν λάβουμε υπόψη μας ότι το φως των αστεριών μέχρι να φτάσει στη Γη απορροφάται εν μέρει από το μεσοαστρικό υλικό. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αστέρι να γίνεται αμυδρότερο κατά A μεγέθη.

Συνελπώς, λαμβάνοντας υπόψη μας τη μεσοαστρική αυτή απορρόφηση η προηγούμενη σχέση θα πάρει τη μορφή: $m-M = 5 \log r - 5 + A_v$ όπου A_v είναι η απορρόφηση στο ορατό (visual), που συνήθως ισούται με μηδέν όταν η ακτινοβολία προέρχεται από σώματα που απέχουν μέχρι και 100 pc.

Μελετώντας τις προηγούμενες σχέσεις διαπιστώνουμε ότι ο υπολογισμός της διαφοράς μεταξύ φαινομένου και απολύτου μεγέθους ενός αστεριού δίνει τη δυνατότητα να υπολογίζουμε την απόστασή του. Για τον λόγο αυτόν ονομάσαμε την ποσότητα $(m-M)$ μέτρο της απόστασης (modulus).

Ως παράδειγμα αναφέρουμε ότι σε μέτρο απόστασης $(m-M)=0$ μεγέθη αντιστοιχεί απόσταση 10 pc και σε μέτρο απόστασης 5 μεγέθη αντιστοιχεί απόσταση 100 pc. Συνελπώς η γνώση της ποσότητας $(m-M)$ μας δίνει ένα μέτρο της απόστασης των ουραίων σωμάτων και έτσι δικαιολογείται η ονομασία της.

Ένα πρακτικό πρόβλημα

Ένα πρακτικό πρόβλημα του οποίου τη λύση πρέπει να γνωρίζει κάθε ερασιτέχνης αστρονόμος είναι το ερώτημα σε ποια μεγίστη απόσταση r σε pc, μπορεί να παρατηρηθεί ένα αστέρι απόλυτου μεγέθους M με γυμνό μάτι.

Γνωρίζοντας ότι με το γυμνό μάτι μπορούμε να παρατηρήσουμε αστέρια μέχρι το έκτο μέγεθος, ($m=6$), η ζητούμενη απόσταση – με την προϋπόθεση $A_v=0$ – δίνεται από τη σχέση:
 $r = 10^{(m-M+5)/5}$ pc $\rightarrow r = 10^{(6-M+5)/5}$ pc $\rightarrow r = 10^{(11-M)/5}$ pc.

1η εφαρμογή

Η απόσταση του Ήλιου είναι μία αστρονομική μονάδα και το φαινόμενο μέγεθός του ίσο με -26,8 μεγέθη. Ποιο θα είναι το απόλυτό του μέγεθος;

Λύση

Η απόσταση του Ήλιου είναι μία αστρονομική μονάδα (1 A.U.) ή $r=1/206.265$ pc. Από τη σχέση:
 $m - M = 5 \log r - 5 \rightarrow M = m - 5 \log r + 5 \rightarrow M = 26,8 - 5 \log \frac{1}{206,265} + 5 \rightarrow M = -26,8 + 26,6 + 5 = 4,8$ μεγέθη.

Δηλαδή στην απόσταση των 10 pc ο Ήλιος θα ήταν ένα αμυδρό αστέρι $M_v=4,8$ μεγεθών, όχι εύκολα ορατό με γυμνό μάτι.

2η εφαρμογή

Γνωρίζοντας ότι το απόλυτο μέγεθος του Ήλιου είναι $M_v=4,8$ μεγέθη, να βρούμε τη σχέση που συνδέει το απόλυτο βολομετρικό μέγεθος M_{bol} ενός άστρου (βλέπε σελίδα 130) με την απόλυτη λαμπρότητά του, που μπορεί να υπολογιστεί από τη μελέτη του φάσματός του.

Λύση

$$M_v - M_{bol} = 2,5 \log \frac{L}{L_\odot} \rightarrow 4,8 - M_{bol} = 2,5 \log \frac{L}{L_\odot} \rightarrow \frac{L}{L_\odot} = 1,81 \cdot 0,4 M_{bol}.$$