



ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΥΜΠΑΝ

Οι αποστάσεις στο γνωστό σύμπαν είναι πολύ μεγαλύτερες από ό,τι μπορεί να συλλάβει ο ανθρώπινος νους. Δε μετριοούνται σε μέτρα ή χιλιόμετρα. Δε μετριοούνται με υποδεκάμετρο, ή μετροταινία. Τα εργαλεία με τα οποία οι αστρονόμοι μετρούν τις αποστάσεις στο σύμπαν μπορούν να ταξινομηθούν σε επτά ομάδες:

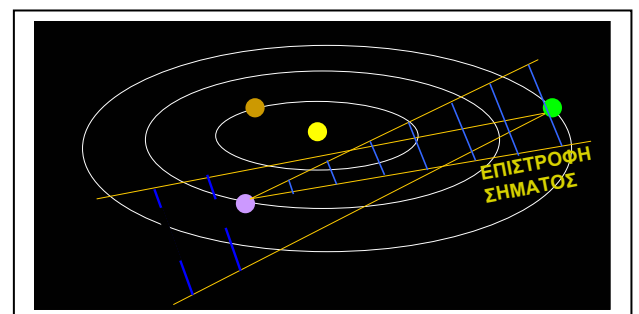
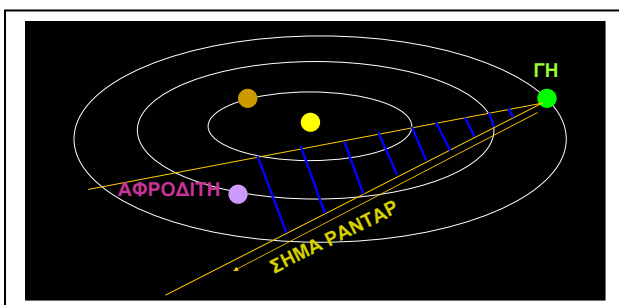
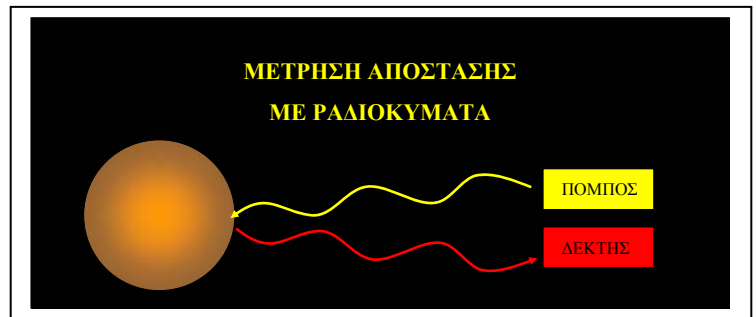
- Α΄ χρήση ραντάρ,
- Β΄ χρήση τριγωνομετρικής παράλλαξης,
- Γ΄ χρήση αστέρων ή γαλαξιών γνωστής (ή έστω τεκμαιρόμενης) απόλυτης λαμπρότητας,
- Δ΄ εκμετάλλευση του φαινομένου Doppler,
- Ε΄ εκμετάλλευση του διαγράμματος Hertzsprung-Russell και τέλος
- Ζ΄ εκμετάλλευση ιδιοτήτων των αστρικών φασμάτων.

Α΄ ΧΡΗΣΗ ΡΑΝΤΑΡ

Χρησιμοποιείται για **κοντινούς στόχους**, λόγω χάριν, τη Σελήνη, τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος και τους δορυφόρους τους.

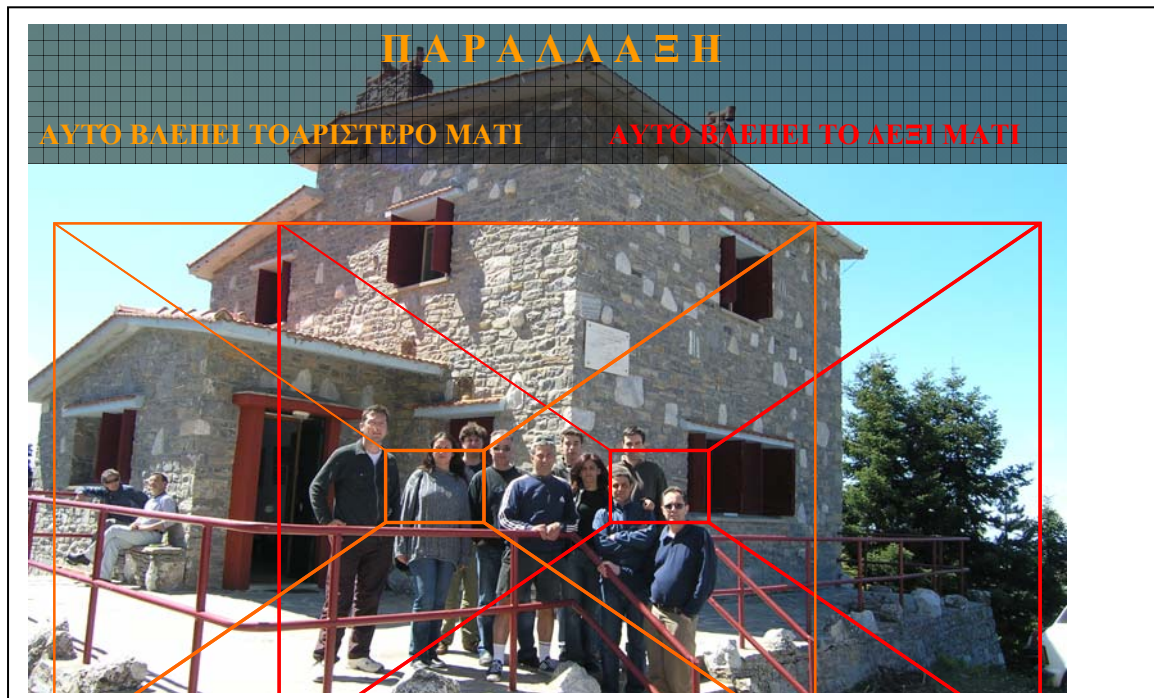
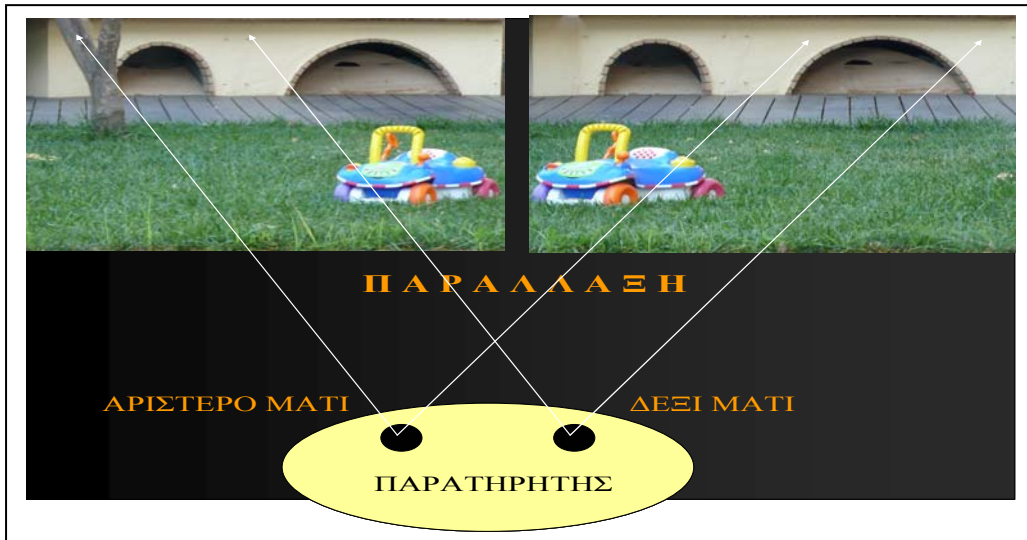
Πώς λειτουργεί: στέλνουμε ραδιοκύματα πάνω σε ένα επιλεγμένο στόχο, πχ. την Αφροδίτη, και με ισχυρά ραδιοτηλεσκόπια ανιχνεύουμε το **ανακλώμενο σήμα**. Με γνωστή την ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό, ο **χρόνος επιστροφής του σήματος** αποκαλύπτει την απόσταση του στόχου.

Αυτή η μέθοδος περιέχει πολύ μικρό σφάλμα (της τάξης των 5 μέτρων) αλλά δυστυχώς έχει πολύ μικρό βεληνεκές.

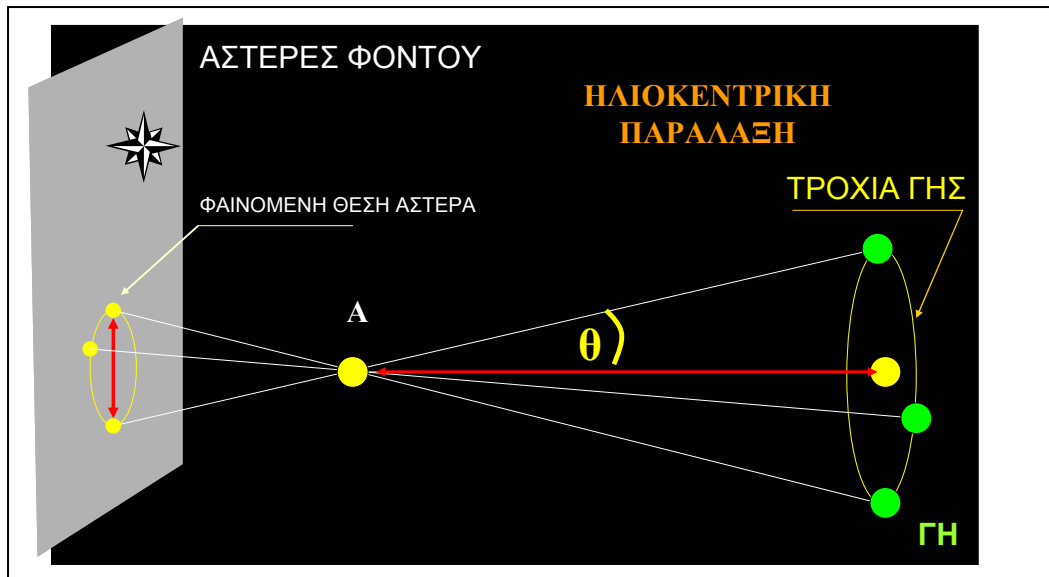


Β΄ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΞΗΣ

Αν τοποθετήσουμε το δάκτυλό μας εμπρός από τη μύτη μας και παρατηρήσουμε το πεδίο μπροστά μας πρώτα με το δεξί μάτι και μετά με το αριστερό θα διαπιστώσουμε ότι τα αντικείμενα του πεδίου **αλλάζουν θέση** σε σχέση με το δάκτυλό μας. Το φαινόμενο λέγεται **παράλλαξη**. Μάλιστα όσο **κοντύτερα** φέρουμε το δάκτυλό μας, τόσο **εντονότερο** είναι το φαινόμενο.



Την παράλλαξη εκμεταλλευόμαστε για τη μέτρηση της απόστασης **κοντινών αστέρων**. Λόγω της **περιφοράς** της Γης γύρω από τον Ήλιο, τα πολύ κοντινά άστρα φαίνεται να **αλλάζουν θέση** από μήνα σε μήνα στον ουράνιο θόλο σε σχέση με τα πιο μακρινά αστέρια του φόντου.



Δηλαδή ένα κοντινό αστέρι μέσα σε ένα ολόκληρο γήινο χρόνο **διατρέχει μια έλλειψη** σε σχέση με τα άστρα του φόντου. Ο μεγάλος άξονας αυτής της έλλειψης μετριέται σε **δευτερόλεπτα της μοίρας** πάνω σε φωτογραφικές πλάκες και λέγεται **ετήσια παράλλαξη αστέρα** (ή ηλιοκεντρική παράλλαξη). Με γνωστή τη μέση απόσταση Γης-Ήλιου και με μετρημένη τη γωνία θ (το μισό της ετήσιας παράλλαξης) είναι εύκολο χρησιμοποιώντας τριγωνομετρία να συναγάγουμε την απόσταση του αστέρα.

Ο τύπος είναι $d=1/p$ (d σε parsec, p σε arcsec)

Το εγγύτερο άστρο, ο Εγγύτατος Κενταύρου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη παράλλαξη 0.762 arcsec και άρα απέχει 1.31 parsec (4,3 ε.φ)

Το σφάλμα αυτής της μεθόδου έχει να κάνει με την ανάλυση της εικόνας που επεξεργαστήκαμε και προφανώς γίνεται μεγαλύτερο όσο πιο απομακρυσμένους αστέρες προσπαθούμε να μετρήσουμε γιατί η ετήσια παράλλαξη γίνεται μικρότερη.

Γ' ΧΡΗΣΗ ΑΣΤΕΡΩΝ

Ή ΓΑΛΑΞΙΩΝ ΓΝΩΣΤΗΣ ΑΠΟΛΥΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΤΗΤΑΣ

Είναι γνωστό ότι η ένταση του φωτός μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης ανάμεσα στο αντικείμενο και τον παρατηρητή. Αν λόγου χάριν τοποθετήσουμε λάμπες **γνωστής πραγματικής λαμπρότητας** (π.χ. των 100 watt) σε διαφορετικές αποστάσεις γύρω μας και μετρήσουμε με φωτόμετρο από σταθερή θέση την ένταση της κάθε λάμπας, μπορούμε από το **φαινόμενο μέγεθος** να συναγάγουμε την απόσταση κάθε λάμπας.

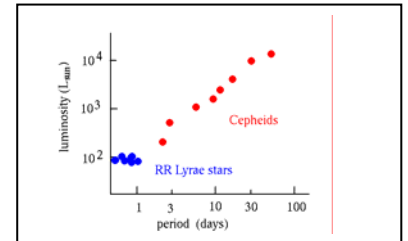
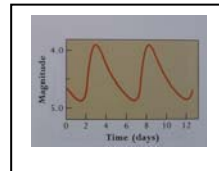
Οι αστρονόμοι έχουν στη διάθεσή τους αρκετά ουράνια αντικείμενα γνωστής (ή έστω τεκμαιρόμενης) απόλυτης λαμπρότητας, για να συναγάγουν την απόσταση υπολογίζοντας τη διαφορά ανάμεσα στην απόλυτη και τη φαινόμενη λαμπρότητα.

Αυτά τα αντικείμενα στην παγκόσμια βιβλιογραφία αναφέρονται ως **standard candles** και είναι:

i. οι μεταβλητοί αστέρες τύπου **RR Λύρας** και οι **Κηφείδες**.

Αυτά τα άστρα έχουν μελετηθεί αρκετά και είναι πολύ καλά μετρημένα τα μέγιστα και τα ελάχιστα τους. Για τα κοντινότερα από αυτά έχουμε καταμετρημένες αποστάσεις με τη μέθοδο της ηλιοκεντρικής παράλλαξης (ή άλλες μεθόδους) και έτσι με τους υπολογισμούς ανάμεσα στην απόλυτη και τη φαινόμενη λαμπρότητα άλλων αστερών ίδιου τύπου συνάγουμε ακριβή συμπεράσματα για τις πραγματικές αποστάσεις τους.

Ειδικά για τους Κηφείδες, οι μετρήσεις της Henrietta Leavitt (Harvard 1880) έδειξαν ότι **συσχετίζεται η απόλυτη λαμπρότητα με την περίοδο**. Έτσι η μέτρηση της περιόδου (που είναι ευκολότερη και ακριβέστερη) καταδεικνύει το απόλυτο μέγεθος που σε σύγκριση με το φαινόμενο μέγεθος αποκαλύπτει την απόσταση.



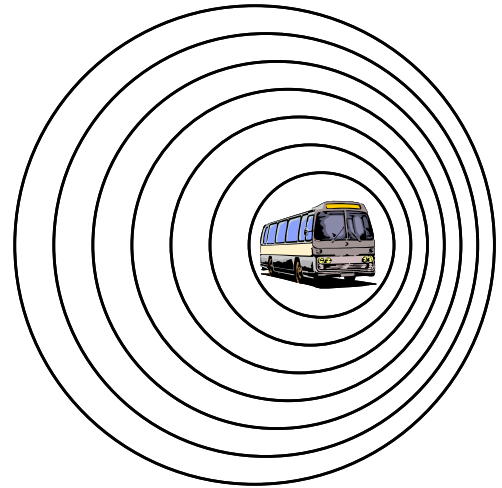
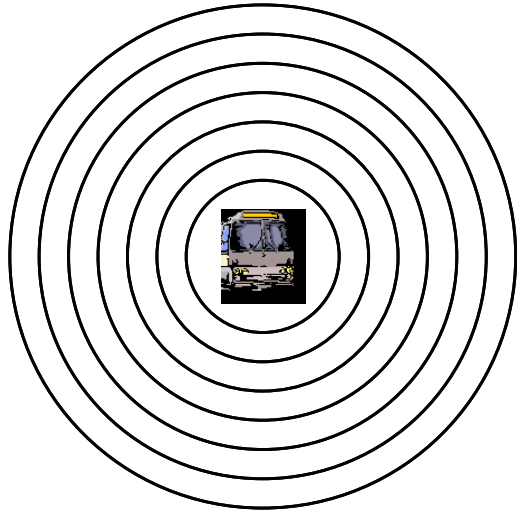
- ii. Κυανοί υπεργίγαντες
- iii. Σφαιρωτά σμήνη
- iv. Σουπερνόβα
- v. Γαλαξίες



Για τις τέσσερις παραπάνω κατηγορίες οι αστρονόμοι κάνουν μετρήσεις και υπολογίζουν στατιστικά τους μέσους όρους λαμπρότητας, σε συνδυασμό μάλιστα με τα θεωρητικά μοντέλα για την εξέλιξη των άστρων και των γαλαξιών μπορούν να έχουν μια βάση σύγκρισης απόλυτου-φαινόμενου μεγέθους για τον υπολογισμό της απόστασης. Προφανώς σε αυτή τη μέθοδο υπεισέρχονται πολλά σφάλματα (τόσο από τη μέτρηση όσο και από τη θεωρία) αλλά με τέτοια αντικείμενα το βεληνεκές της μέτρησης φτάνει πολύ μακριά.

Δ΄ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ DOPPLER

Φαινόμενο Doppler παρουσιάζεται κάθε φορά που μια πηγή κυμάτων **κινείται** σε σχέση με τον παρατηρητή. Όλοι το έχουμε παρατηρήσει με ασθενοφόρα οχήματα που **πλησιάζοντας δίνουν οξύτερο τόνο** ενώ **απομακρυνόμενα βαρύτερο**. Στα σχήματα που ακολουθούν βλέπουμε:



α΄

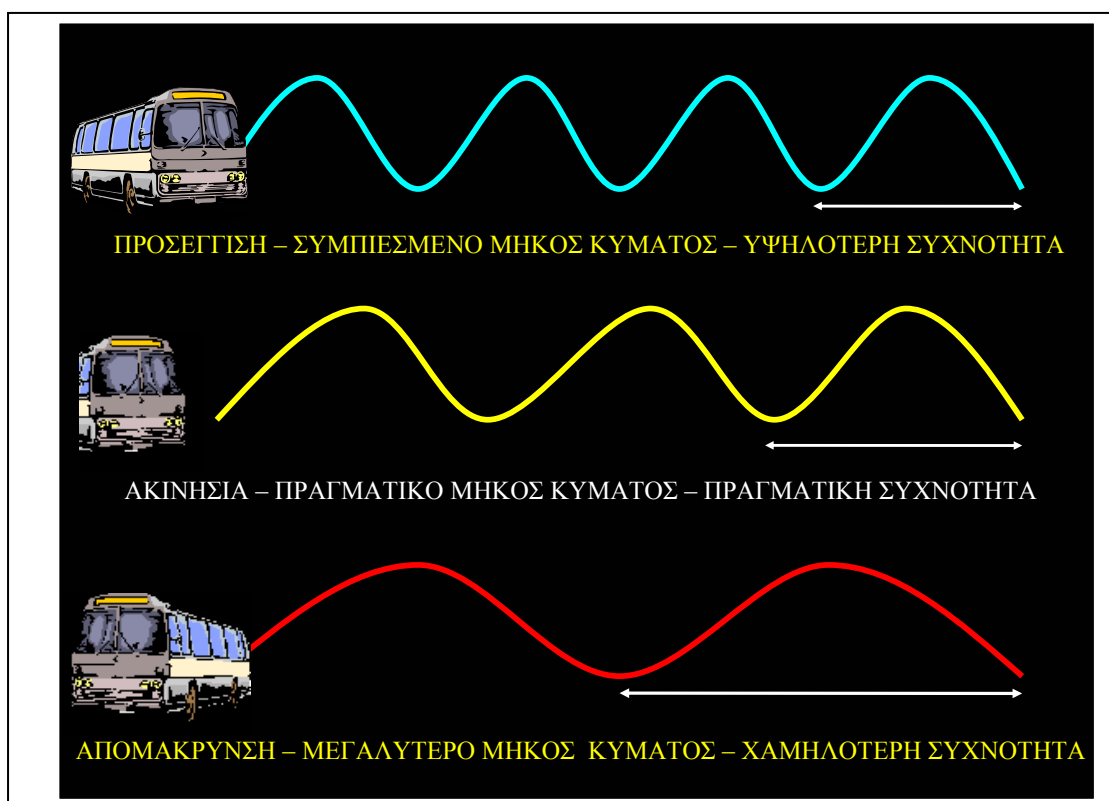
όταν πηγή και παρατηρητής είναι ακίνητοι (ή έχουν μηδενική σχετική ταχύτητα μεταξύ τους) τα κύματα φτάνουν στον παρατηρητή με το **πραγματικό** μήκος τους

γ΄

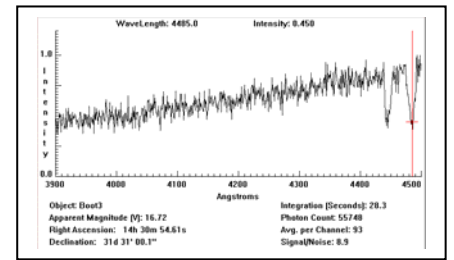
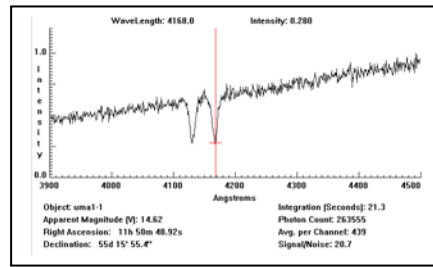
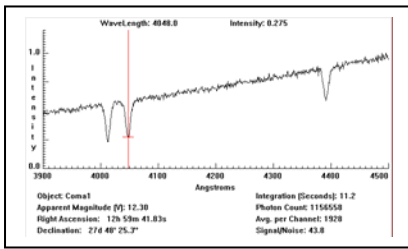
η πηγή και ο παρατηρητής απομακρύνονται. Το μήκος κύματος **επιμηκώνεται**

β΄

η πηγή και ο παρατηρητής πλησιάζουν. Το μήκος κύματος **βραχύνεται**



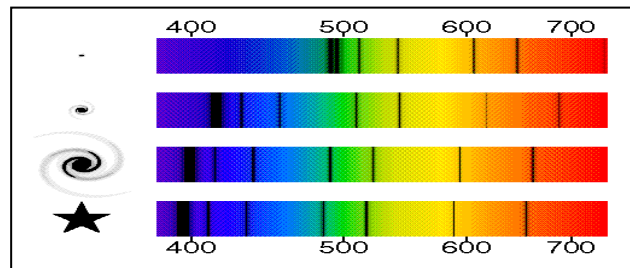
Όπως τα ηχητικά κύματα, έτσι και το φως υφίσταται **μετατόπιση** προς το βραχύτερο μήκος κύματος (**προς το ιώδες**) αν η φωτεινή πηγή πλησιάζει τον παρατηρητή, ή προς το μεγαλύτερο μήκος κύματος (**προς το ερυθρό**) αν η πηγή απομακρύνεται.



Η ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΓΑΛΑΞΙΕΣ
Παρατηρούμε από αριστερά προς τα δεξιά ολοένα και μεγαλύτερη μετατόπιση προς το ερυθρό. Αυτό σημαίνει ότι ο τρίτος γαλαξίας (δεξιά) απομακρύνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα και άρα βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση.

Μετατόπιση προς το ερυθρό:

ενός πολύ μακρινού γαλαξία
ενός κοντινότερου
ενός πολύ κοντινού
και ενός διπλανού μας αστέρα



Η μετατόπιση μετριέται εύκολα στα φάσματα των αστέρων (ή των γαλαξιών), αλλά από μόνη της δε δείχνει απόσταση! Δείχνει μόνο ταχύτητα (απομάκρυνσης ή προσέγγισης)! Ωστόσο εκμεταλλευόμενοι τον εμπειρικό τύπο του Hubble μπορούμε από την ταχύτητα να συναγάγουμε την απόσταση.

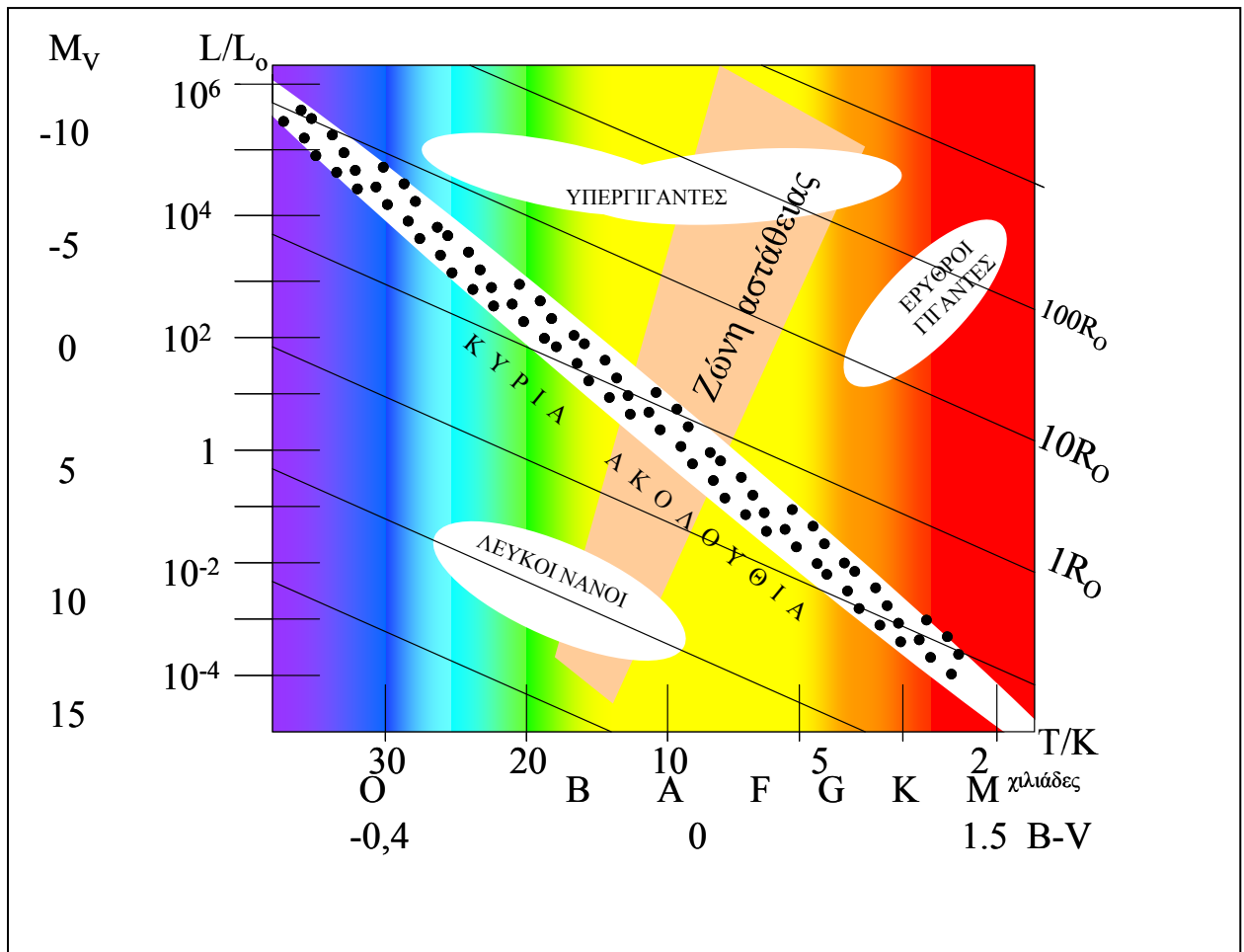
$V=H \cdot r$ (όπου V η ταχύτητα, H η σταθερά του Hubble, r η απόσταση)

Προφανώς αξιοποιώντας και τις εναλλακτικές μεθόδους μέτρησης προσδιορίζουμε με ολοένα και μεγαλύτερη ακρίβεια τη σταθερά του Hubble ώστε να έχουμε μικρότερα περιθώρια σφάλματος. Αυτή η μέθοδος έχει βεληνεκές που φτάνει τα όρια του γνωστού σύμπαντος. Το ρεκόρ ερυθρής μετατόπισης 4,25 προς το παρόν κατέχει ο γαλαξίας 8C1435+635.

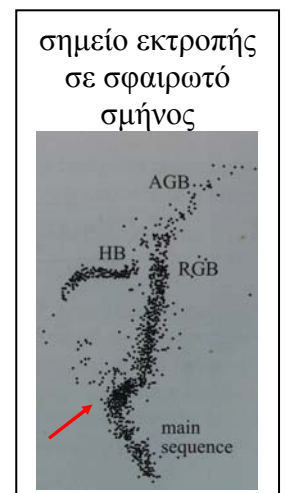
Ε' ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HERTZBRUNG-RASSEL

Το περίφημο διάγραμμα Hertzsprung-Russell είναι το δυνατότερο εργαλείο ταξινόμησης αστέρων στα χέρια των αστρονόμων. Πρόκειται για ένα πίνακα δύο αξόνων. Στον **οριζόντιο** εμφανίζεται η **απόλυτη θερμοκρασία** των άστρων (ή εναλλακτικά ο δείκτης χρώματος B-V, ή η ταξινόμηση Harvard OBAFGKM) αυξανόμενη από δεξιά προς τα αριστερά και στον **κατακόρυφο** η **απόλυτη λαμπρότητα**, ή εναλλακτικά το φαινόμενο μέγεθος. Τα περισσότερα άστρα εμπίπτουν σε μια ζώνη που τέμνει το διάγραμμα διαγώνια από άνω αριστερά (υψηλή θερμοκρασία και λαμπρότητα) ως κάτω δεξιά (μικρή θερμοκρασία και λαμπρότητα) και είναι γνωστή ως **κύρια ακολουθία**. Σε αυτή περνάν όλα τα άστρα το μεγαλύτερο

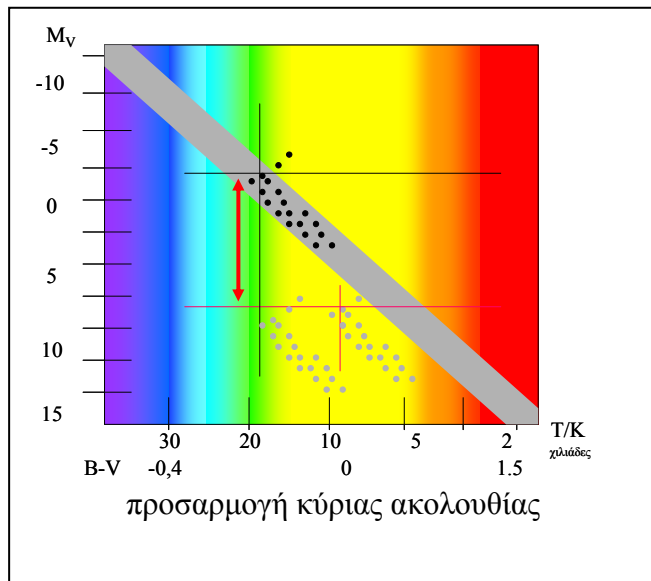
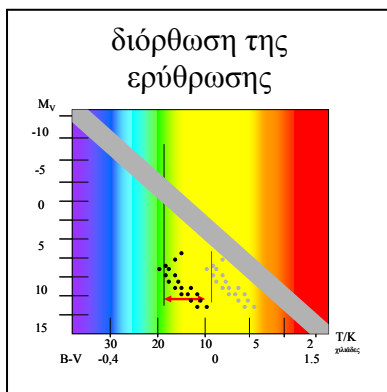
μέρος της ζωής τους (άσχετα από άλλες τους ιδιότητες). Υπάρχουν και άλλα τμήματα στο διάγραμμα όπου τα άστρα συνωστιζονται.



Το σημαντικό είναι ότι ο συνωστισμός των άστρων σε διάφορα σημεία ή η απουσία τους από άλλα σημεία του διαγράμματος είναι αποκλειστική συνάρτηση του χρόνου που ξοδεύουν σε κάθε φάση της ζωής τους (ένα σημείο του διαγράμματος που απεικονίζει μια μακροχρόνια φάση, παρουσιάζει συνωστισμό αστέρων, ενώ ένα σημείο που απεικονίζει μια βραχύχρονη φάση, παρουσιάζει απουσία αστέρων). Ειδική σημασία έχει το **σημείο εκτροπής από την κύρια ακολουθία**. Είναι το σημείο εκείνο πάνω στην κύρια ακολουθία ψηλότερα από το οποίο τα άστρα ενός σμήνους (είτε ανοιχτού είτε σφαιρωτού) έχουν **εξαντλήσει της κύρια φάση** της ζωής τους και επομένως **έχουν εκτραπεί** από την κύρια ακολουθία.



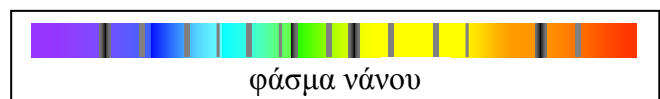
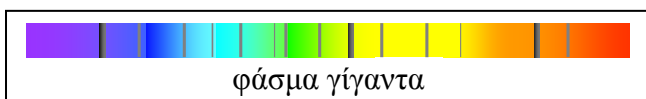
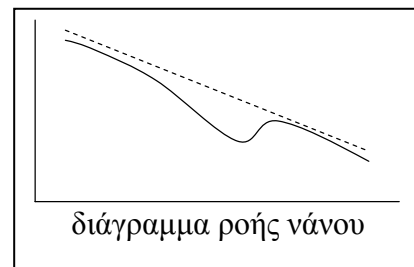
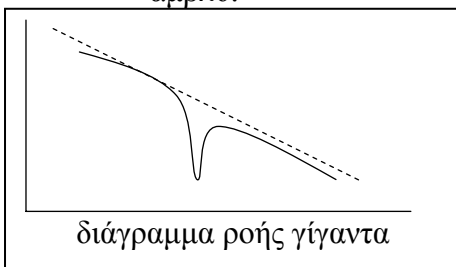
Επειδή όλα τα σμήνη παρουσιάζουν σημείο εκτροπής και βέβαια παρουσιάζουν τμήμα του σμήνους επί της κύριας ακολουθίας κάτω από το σημείο εκτροπής μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αυτό το γεγονός: στην πραγματικότητα όταν παίρνουμε το διάγραμμα H-R ενός σμήνους αυτό βρίσκεται δεξιότερα και χαμηλότερα από την πραγματική του θέση στον πίνακα. **Δεξιότερα** γιατί το φως του σμήνους περνώντας μέσα από τα νεφελώματα που βρίσκεται στην πορεία του ως το όργανο μέτρησης, υφίσταται **ερύθρωση** και **χαμηλότερα** γιατί το **φαινόμενο μέγεθος** του είναι προφανώς μικρότερο από το απόλυτο. Αν λοιπόν διορθώσουμε από ανεξάρτητες μετρήσεις την ερύθρωση (μετακινώντας το διάγραμμα του σμήνους αριστερότερα όσο χρειάζεται) μετακινούμε κατόπιν το σμήνος κατακόρυφα στο διάγραμμα μέχρι να **προσαρμοστεί** η κύρια ακολουθία του σμήνους με την κύρια ακολουθία του διαγράμματος και έτσι προκύπτει το απόλυτο μέγεθος. Από τη διαφορά ανάμεσα στο απόλυτο και το φαινόμενο μέγεθος υπολογίζουμε την απόσταση.



Η ακρίβεια της μέτρησης αποστάσεων με προσαρμογή της κύριας ακολουθίας έχει να κάνει κυρίως με το σφάλμα που εμπεριέχεται στην απαλοιφή της ερύθρωσης.

Ζ' ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ

Είναι ήδη γνωστό ότι αν γνωρίζουμε για συγκεκριμένο ουράνιο σώμα το απόλυτο και το φαινόμενο μέγεθος του μπορούμε από τη διαφορά τους να συναγάγουμε την απόσταση. Μερικές φορές (απουσία άλλων κριτηρίων) στον υπολογισμό του απολύτου μεγέθους χρησιμοποιούμε το **διάγραμμα ροής φωτεινής έντασης** (flux density) των αστερών για να διαπιστώσουμε αν πρόκειται για νάνο ή για γίγαντα: οι τελευταίοι δίνουν ένα βαθύ και οξυγόνιο διάγραμμα ενώ οι πρώτοι ένα ρηχό και αμβλύ.



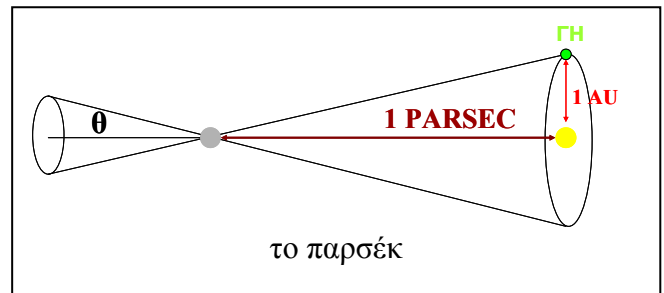
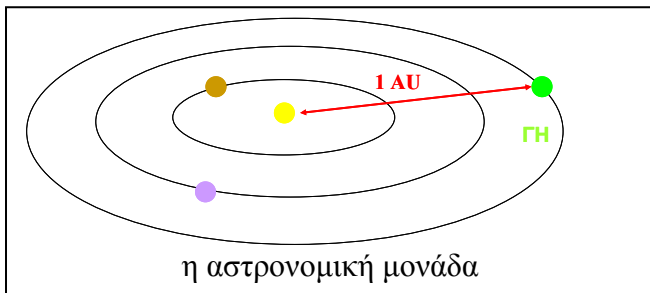
Αυτή η μέθοδος υπολογισμού του απολύτου μεγέθους για την συναγωγή της απόστασης ονομάζεται **φασματοσκοπική παράλλαξη**. Προφανώς δεν έχει καμία σχέση με την ηλιοκεντρική ή τριγωνομετρική παράλλαξη.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΣΥΜΠΛΑΝ

Μετά τα εργαλεία μέτρησης σκόπιμο είναι να δοθούν και οι μονάδες μέτρησης αποστάσεων.

Η **θεμελιώδης** μονάδα μέτρησης στην αστρονομία λέγεται **Αστρονομική Μονάδα** (**au**, astronomical unit) και ορίζεται ως η μέση απόσταση Γης-Ηλίου.

Η μεγαλύτερη μονάδα μέτρησης στην αστρονομία λέγεται **παρσέκ** (**pc**, parsec από το parallax second) και ορίζεται ως η απόσταση εκείνη από την οποία ένας παρατηρητής θα έβλεπε την απόσταση Γης-Ηλίου (την αστρονομική μονάδα) ως παράλλαξη ενός δευτερολέπτου!



Παράλληλα με αυτές χρησιμοποιούμε και το **έτος φωτός** (**ly**, light year) ως μονάδα μέτρησης όχι χρόνου αλλά απόστασης. Πρόκειται για την απόσταση που διανύει το φως σε ένα ολόκληρο (γήινο) έτος.

$$\frac{299.980.000 \text{ m} * 60 \text{ sec} * 60 * 24 * 365}{1 \text{ sec}} = 94.601,6928 \times 10^{11} \text{ m}$$

οι μεταξύ τους σχέσεις δίνονται εδώ:

$$1 \text{ au} = 1,495978 \times 10^{11} \text{ m} (= 8 \text{ λεπτά φωτός})$$

$$1 \text{ ly} = 94.601,6928 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$1 \text{ pc} = 308.567,8 \times 10^{11} \text{ m} = 3,262 \text{ έτη φωτός}$$

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΟ ΒΕΛΗΝΕΚΕΣ ΚΑΘΕ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

