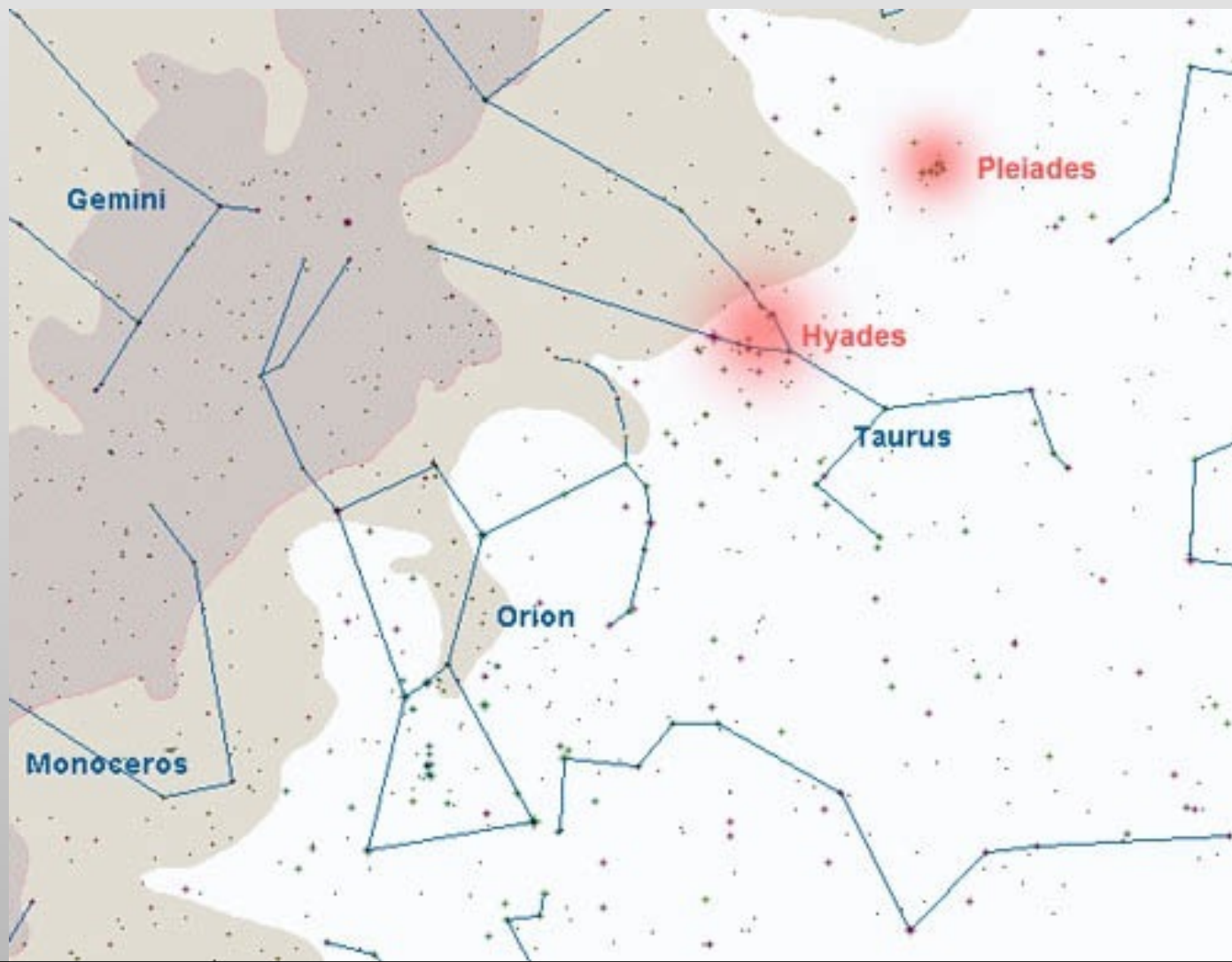


Αστρικά Σμήνη: Απόσταση του Σμήνους των Υάδων



Επειδή τα Αστρικά Σμήνη:

- (α) βρίσκονται στην ίδια απόσταση (άρα $\delta m = \delta M$) και διεύθυνση και επομένως πάσχουν από την ίδια Γαλαξιακή και ατμοσφαιρική απορρόφηση,
- (β) γεννήθηκαν από το ίδιο νέφος μεσοαστρικής ύλης και άρα έχουν ίδια αρχική μεταλλικότητα και ίδια ηλικία.

χρησιμοποιούνται επιστημονικά για να:

1. Μελετάμε την αστρική εξέλιξη μέσω του διαγράμματος H-R
2. Να υπολογίζουμε αποστάσεις κοντινών γαλαξιών
3. Να υπολογίζουμε την χημική σύσταση του Σύμπαντος
4. Υπήρξαν η αιτία του λεγόμενου «Προβλήματος της Ηλικίας του Σύμπαντος»

Τυπική χωρική Πυκνότητα Αστέρων: Η γειτονιά του Ήλιου μας

- Υπάρχουν 66 αστέρες σε ακτίνα 5.18 pc
 - Άρα:

$$N_* = \frac{66}{\frac{4\pi}{3} (5.18)^3} = 0.11 \text{ αστερες/pc}^3$$

Επομένως η μέση απόσταση των αστέρων είναι

$$N_*^{-1/3} \sim 2.07 \text{ pc}$$

Αστρικά σμήνη

Υπάρχουν 2 είδη αστρικών σμηνών βαρυτικώς δεσμευμένα

Σφαιρωτά Σμήνη



- Μεγάλη πυκνότητα
- Βρίσκονται στην Άλω του Γαλαξία μας
- Γηρασμένοι σχηματισμοί ($\sim 10^{10}$ έτη)
- Χαμηλή μεταλλικότητα
- Περιέχουν μεγάλο αριθμό μεταβλητών αστέρων

Ανοιχτά Σμήνη



- Μικρή πυκνότητα
- Βρίσκονται στο Γαλαξιακό δίσκο
- Συνήθως νεαροί σχηματισμοί ($\sim 10^7$ έτη)
- Μεγάλη μεταλλικότητα

Μέγεθος Αστρικών Σμήνων

Τα αστρικά σμήνη έχουν μέγεθος πολύ μικρότερο των γαλαξιών

Σφαιρωτά Σμήνη:
περιέχουν αστέρες
ίδιας ηλικίας
~40 pc

Γαλαξίες: περιέχουν
αστρικούς πληθυσμούς
διαφόρων ηλικιών
~20,000 pc



Ο ελλειπτικός γαλαξίας M87 στο σμήνος της Παρθένου

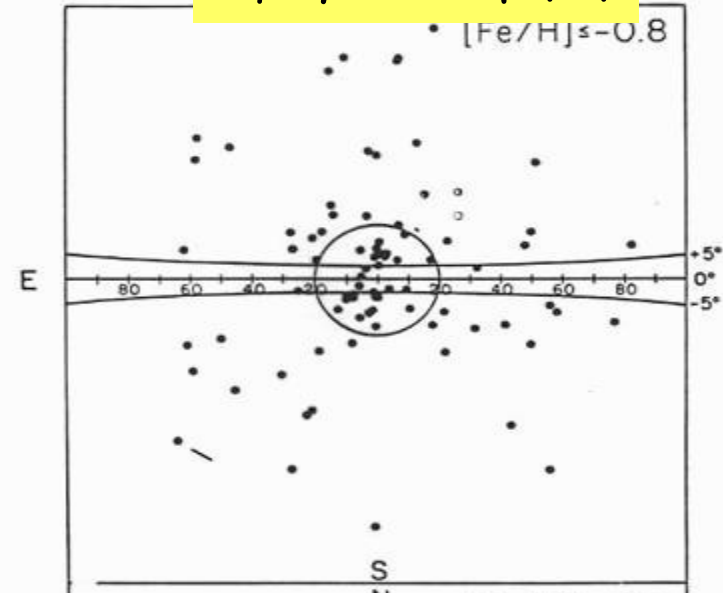


Σφαιρωτά Σμήνη
(N=15-20,000)

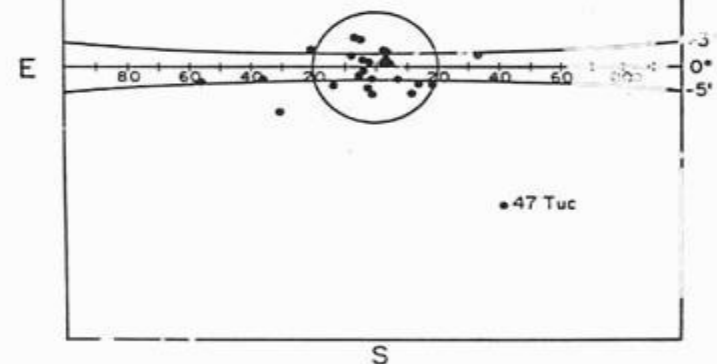
Η Γαλαξιακή κατανομή Αστρικών Σμηνών



Σφαιρωτά Σμήνη:

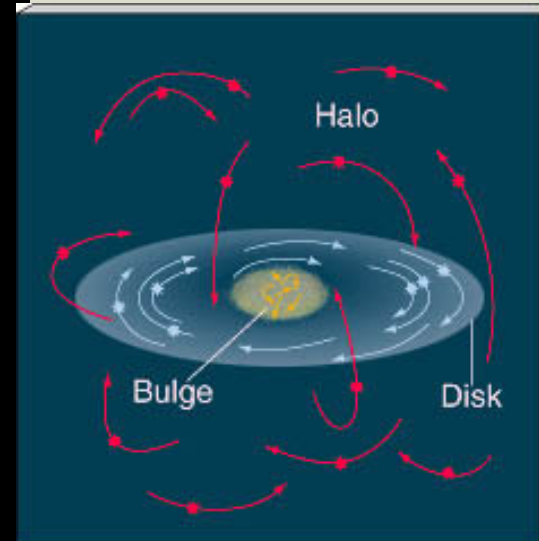
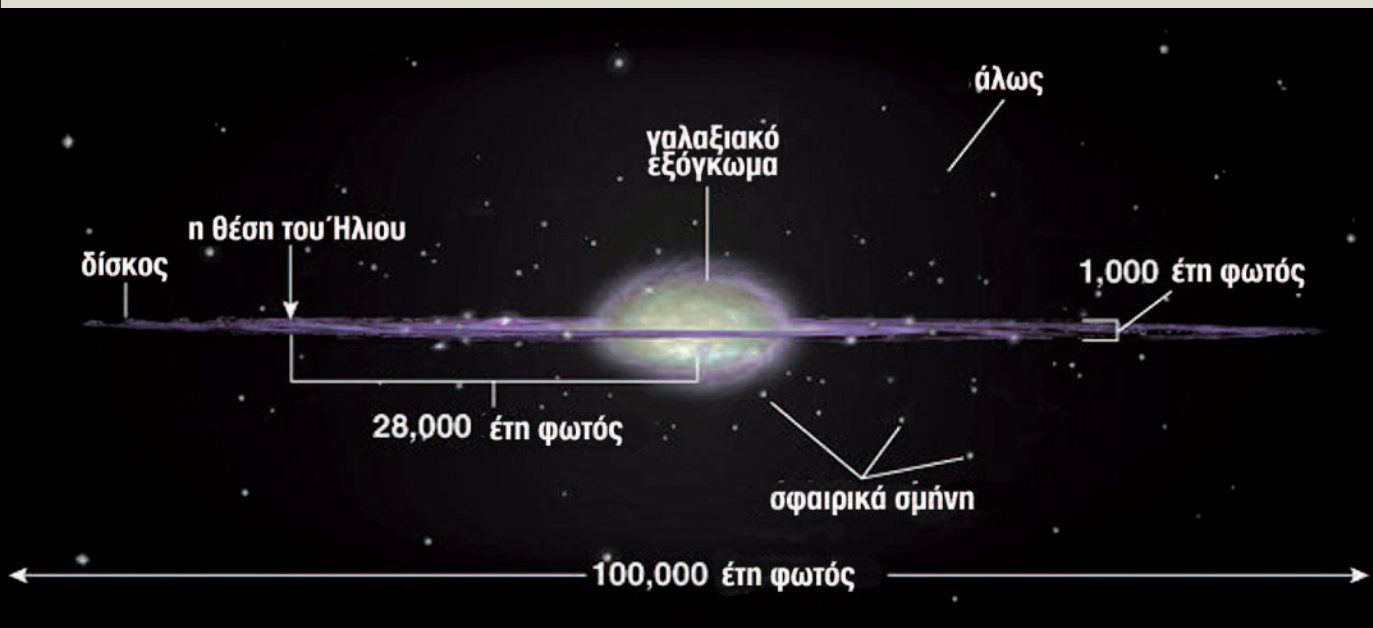


Ανοιχτά Σμήνη



Η Γαλαξιακή κατανομή Σφαιρωτών Σμηνών

Έχουν βρεθεί ~200 σφαιρωτά σμήνη στο Γαλαξία μας
Μέγιστη απόσταση από το κέντρο του Γαλαξία: 200 kpc



Σφαιρική κατανομή γύρω από το κέντρο του Γαλαξία

Σφαιρωτά Σμήνη


- Κεντρική συγκέντρωση, σφαιρική δομή, περιέχουν μεταξύ 10^5 και 10^6 αστέρες
- Τυπική διάμετρος ~ 40 pc, με εύρος διαμέτρων από ~ 20 έως ~ 100 pc

Άρα η **αστρική πυκνότητα** είναι: 1-1000 αστέρες /pc³

Συγκρίνετε με πυκνότητα κοντά στον Ήλιο (0.11/pc³)

Πυκνότητα Σφαιρωτών Σμηνών

Στις εξωτερικές περιοχές των σμηνών υπάρχουν περί τα 0.5 αστέρια ανά κυβικό parsec.

A photograph of a globular cluster, showing a dense concentration of stars in the center that becomes sparser towards the edges. Two red arrows are overlaid on the image: one points from the text on the left towards the outer region of the cluster, and the other points from the text on the right towards the bright, dense core of the cluster.

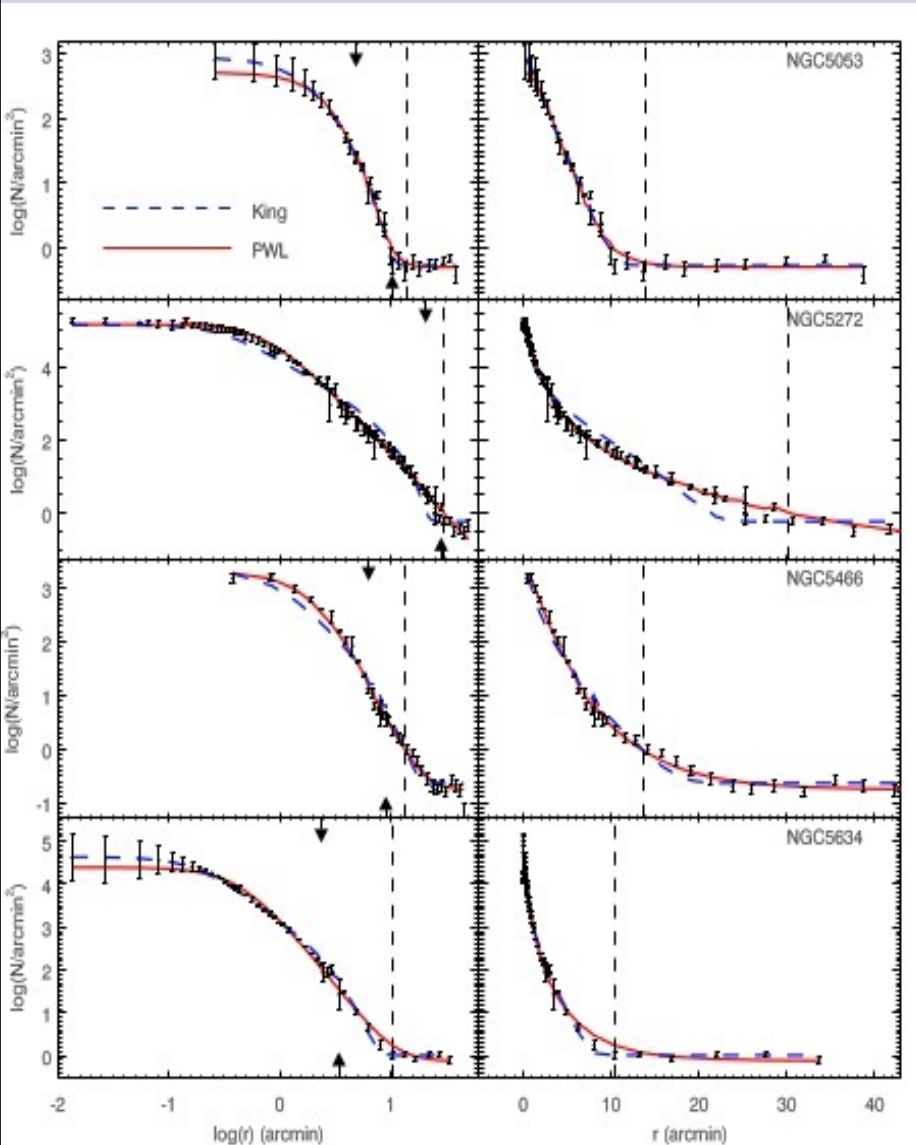
Στο κέντρο των σμηνών η πυκνότητα φτάνει και τα 1000 αστέρια ανά κυβικό parsec!

Πυκνότητα Σφαιρωτών Σμηνών

Στη βάση της κατανομής πυκνότητας των Σφαιρωτών Σμηνών:

$$N_s = N_0 \left[1 + \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right]^{-\gamma/2}$$

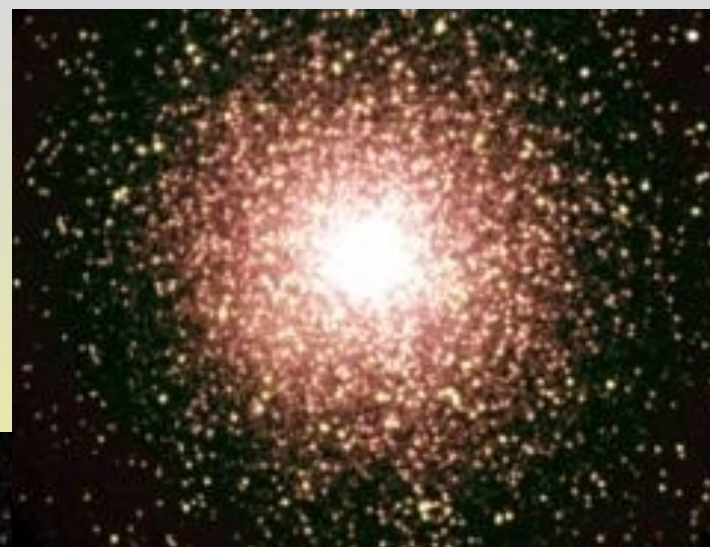
κατηγοριοποιούνται σε 2 είδη:
Διαταραγμένα παλλιροιακά ($M < 10^5 M_\odot$) και **μη διαταραγμένα** ($M > 10^5 M_\odot$). Τα δεύτερα έχουν πιο «ρηχές» κατανομές πυκνοτητας ($\gamma < 4$) από τα πρώτα ($\gamma > 4$).



Πανόραμα Σφαιρωτών Σμηνών



M80



47 Tuc

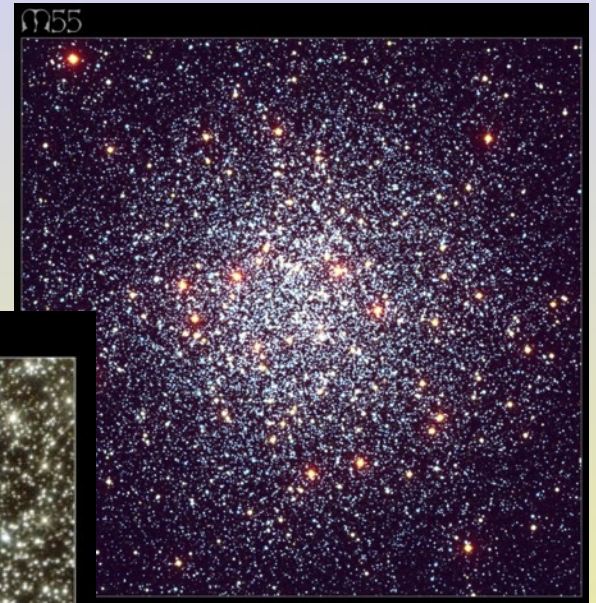


M75

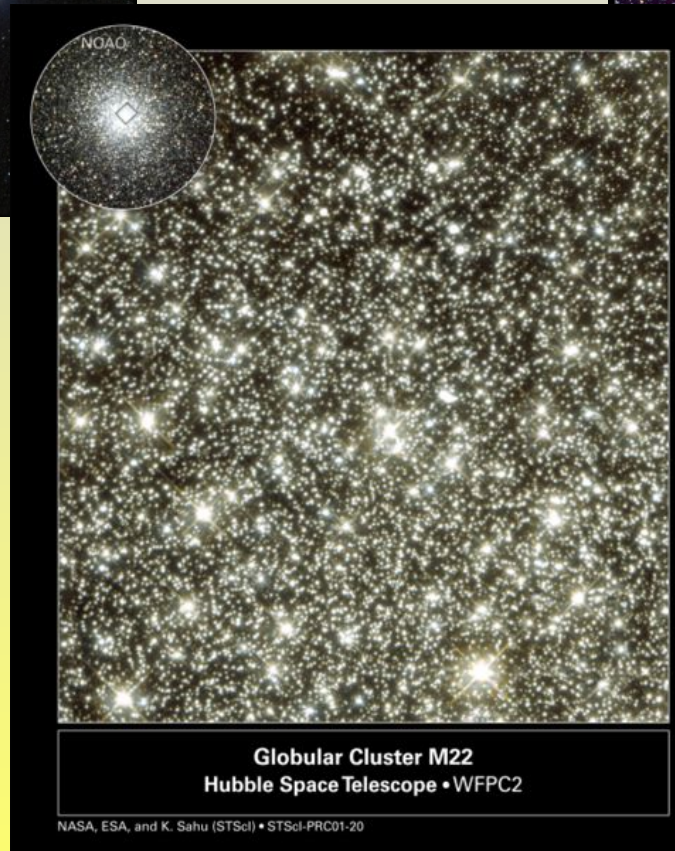
Πανόραμα Σφαιρωτών Σμηνών



M13 στον Ηρακλή

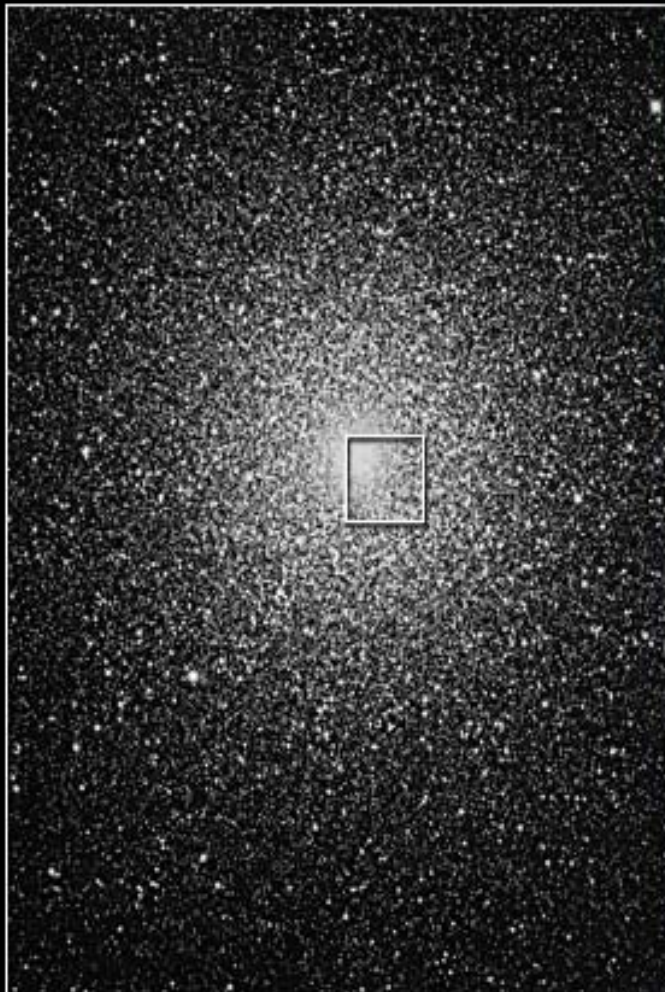


M55 στον Τοξότη



M22 στον Τοξότη

Globular Cluster 47 Tucanae



Ground • AAT

NASA and R. Gilliland (STScI)
STScI-PRC00-33

Hubble Space Telescope • WFPC2

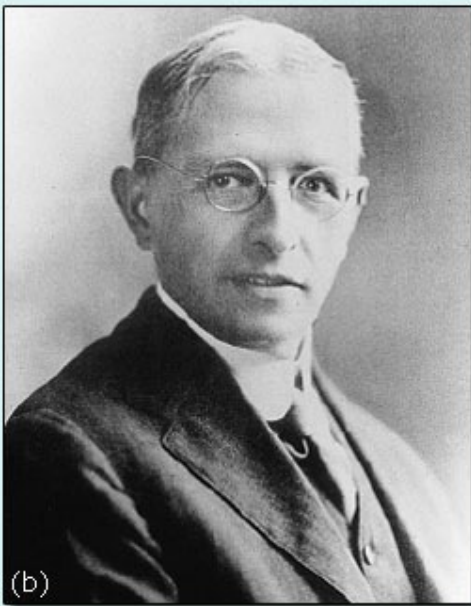
Διαγράμματα HR

Ejnar Hertzsprung

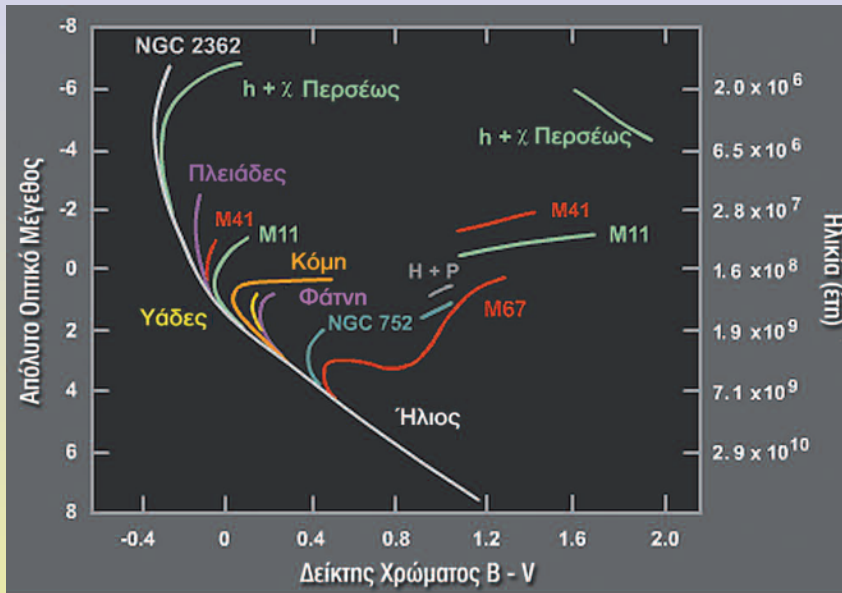


Henry Norris Russell

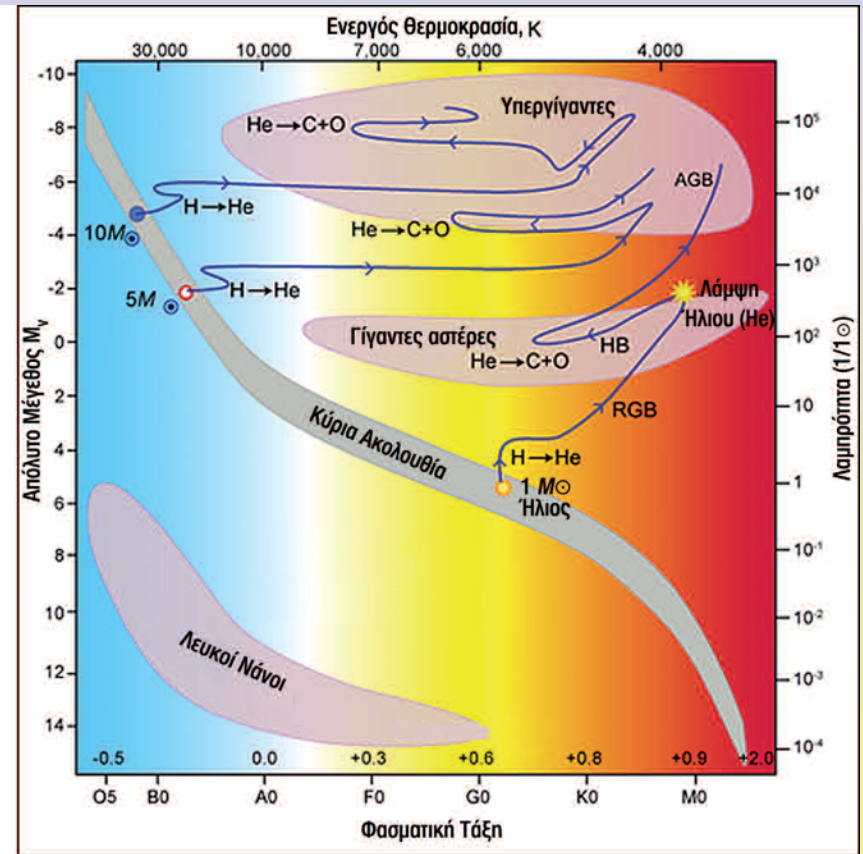
1906/1913



Επανάληψη βασικών στοιχείων Αστρικής Εξέλιξης



Σύνθετο διάγραμμα H-R διαφόρων σμηνών. Η ηλικία των σμηνών εκτιμάται από τη θέση του σημείου εκτροπής τους από την κύρια ακολουθία.

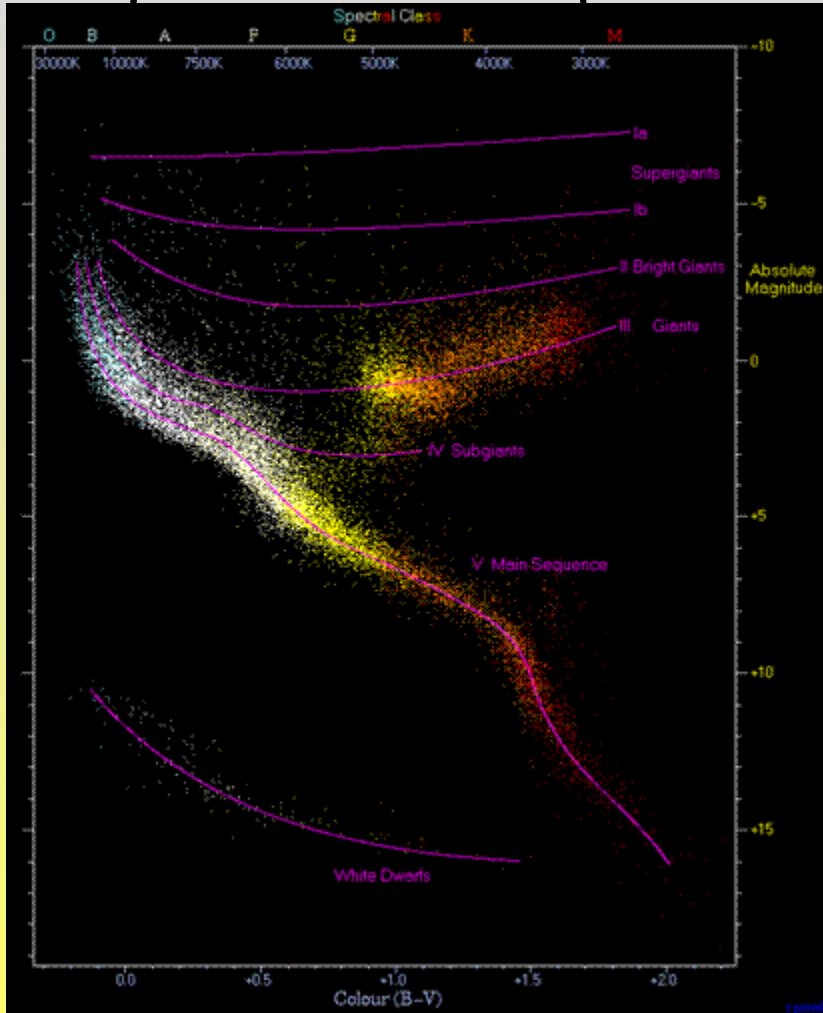


Κύρια Ακολουθία: Καύση Υδρογόνου
Κλάδος Ερυθρών Γιγάντων (RGB): Καύση κελύφων υδρογόνου
Οριζόντιος κλάδος (HB): Καύση Ηλίου στο πυρήνα

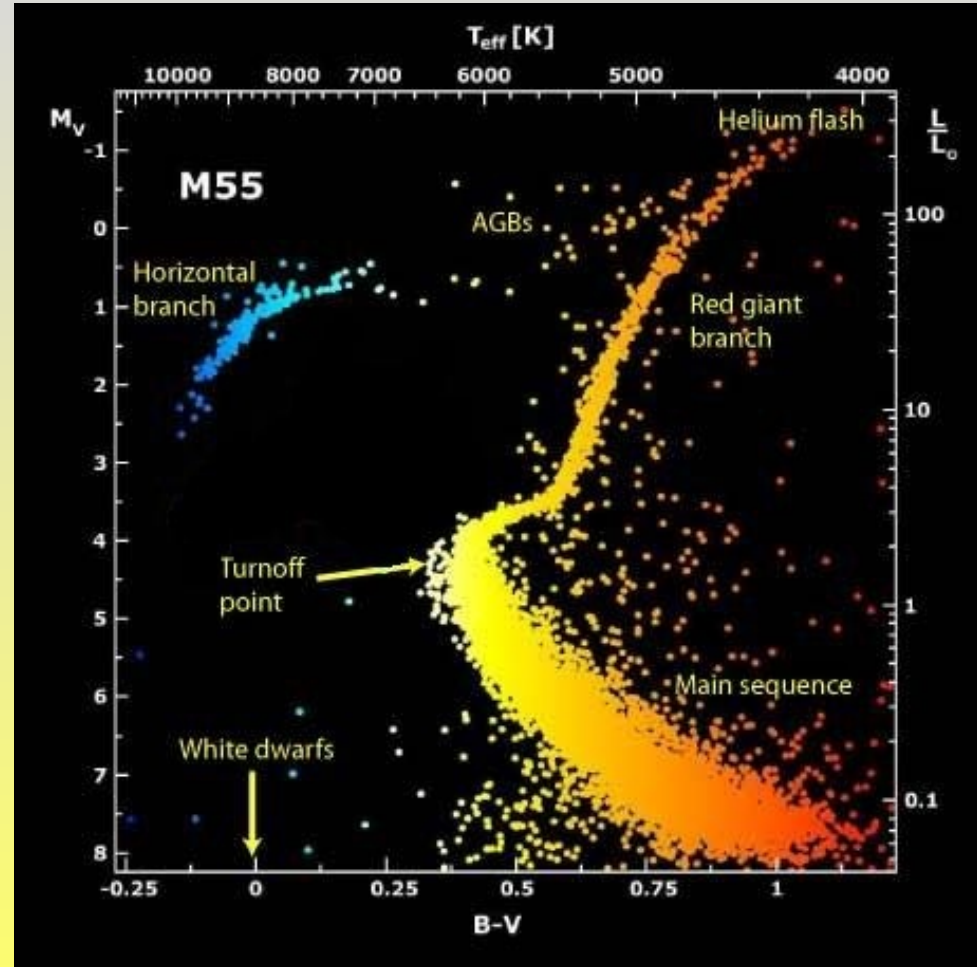
Ασυμπτωτικός κλάδος ερυθρών Γιγάντων (AGB): καύση κελύφων Ηλίου & Υδρογόνου αλλά πυρήνας CO

Σύγκριση Διαγραμμάτων HR

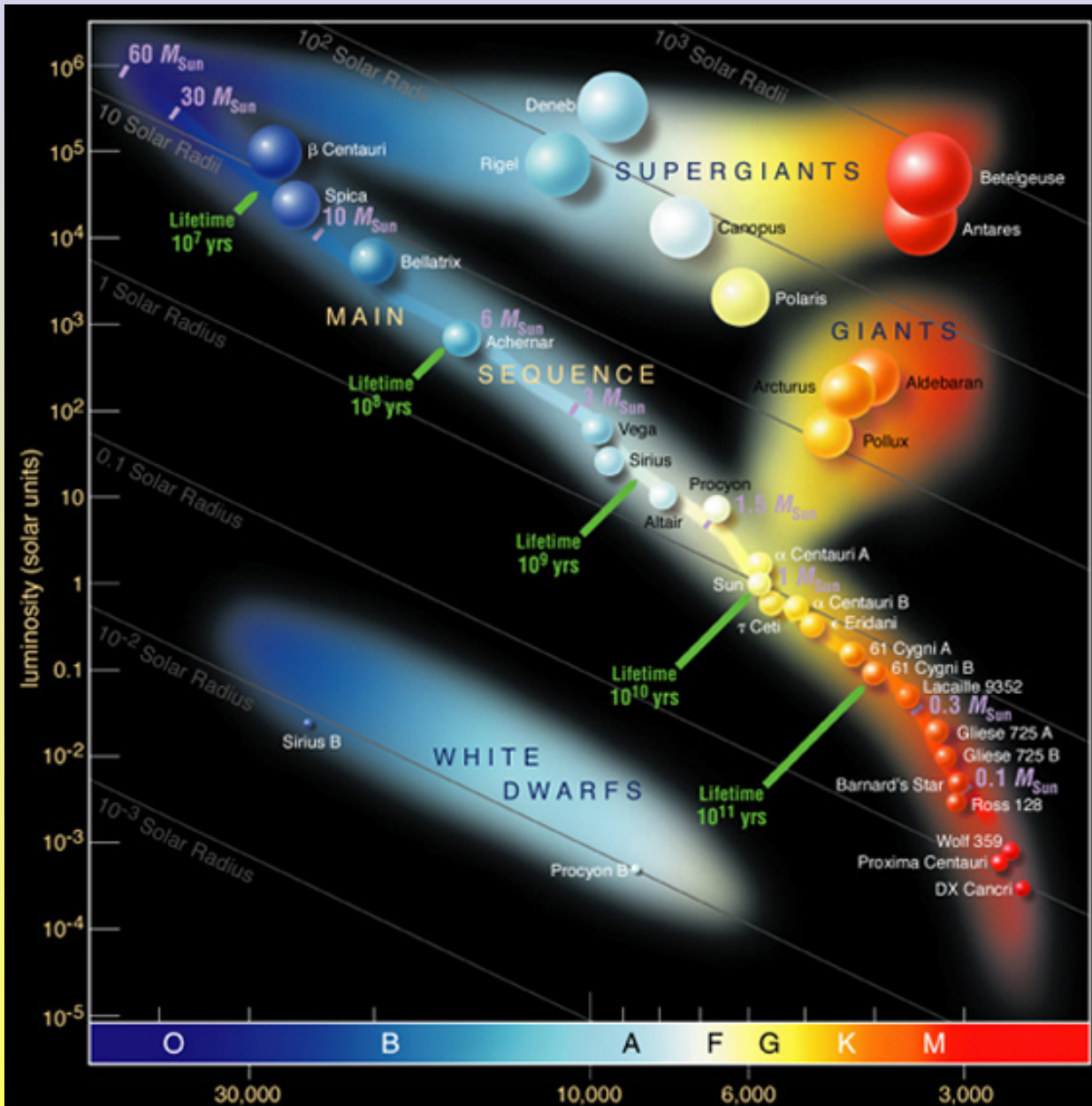
Διάγραμμα HR κοντινών αστέρων όλων των ηλικιών



Διάγραμμα HR Σφαιρωτού Σμήνους ίδιας ηλικίας αστέρων



Διάγραμμα HR της Γειτονιάς του Ήλιου

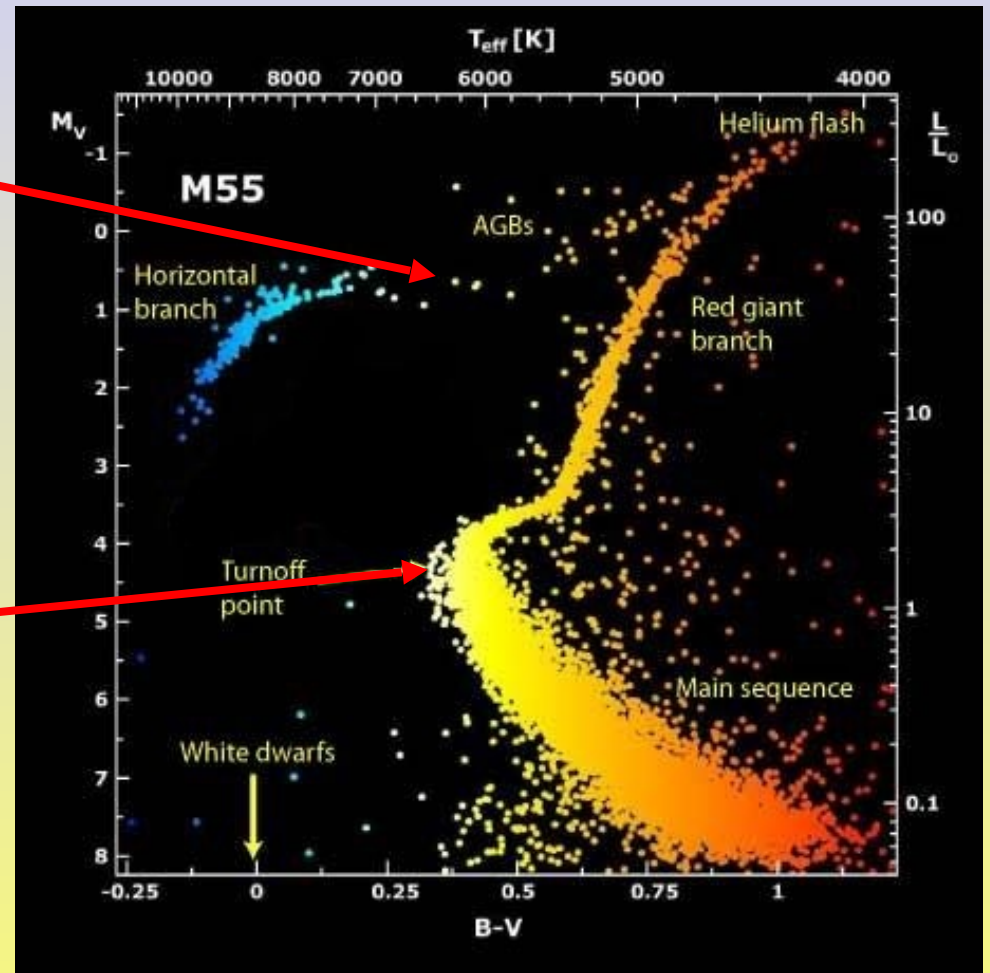


Διάγραμμα H-R Σφαιρωτού Σμήνου

Χάσμα RR Lyrae

(δεν είναι πραγματική έλλειψη αστέρων, αλλά περιοχή αστάθειας όπου τα αστέρια πάλλονται)

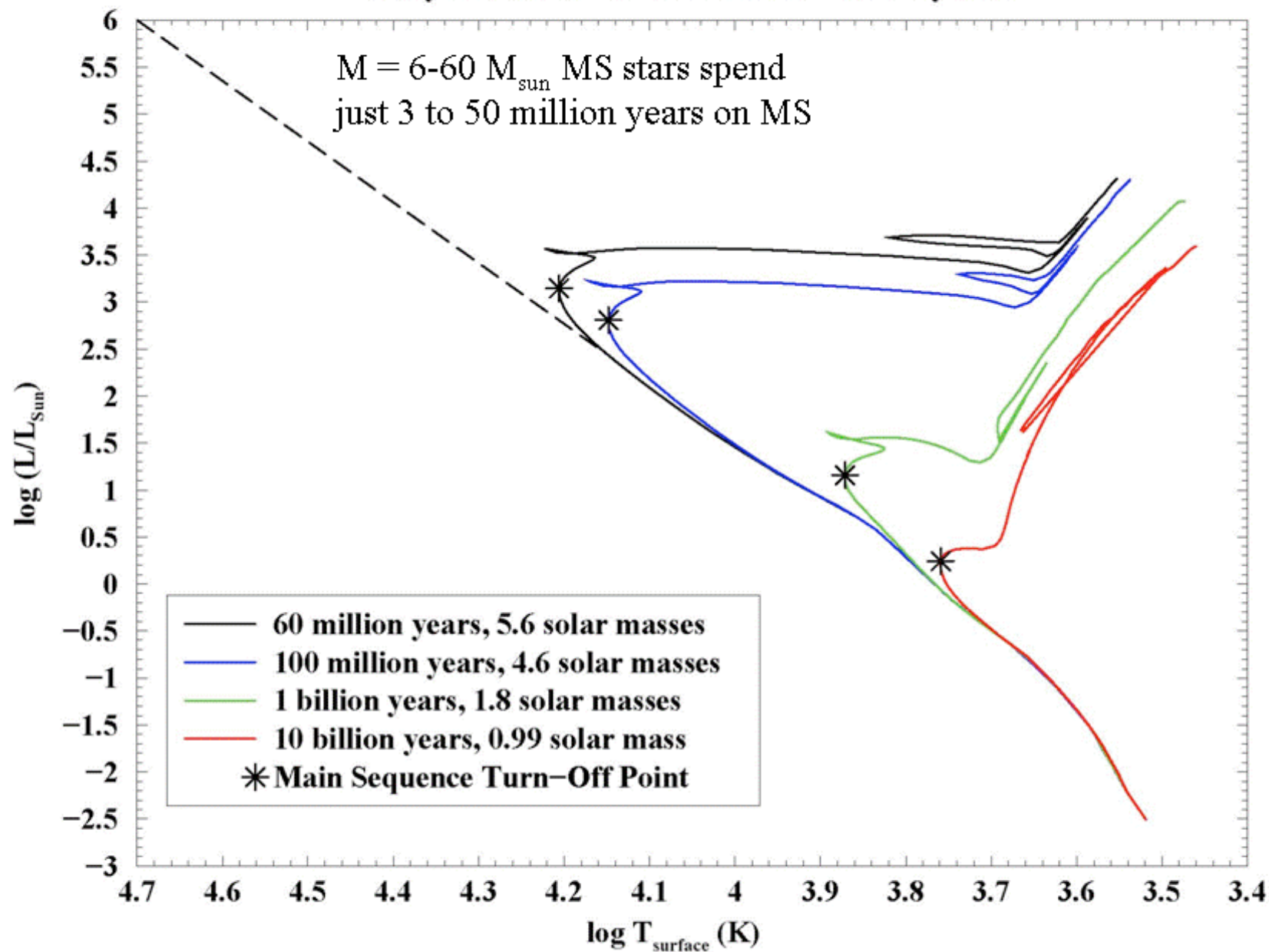
Σημείο Εκτροπής: Δείκτης ηλικίας του σμήνου



Η ηλικία ενός σφαιρωτού σμήνου βρίσκεται από το σημείο εκτροπής, καθώς ο χρόνος, t , που απαιτείται για να εξαντληθεί το υδρογόνο σε ένα αστέρα είναι $t \sim M^{-3}$

HR Diagrams for star clusters of 4 ages

heavy element abundance fraction = 0.019 by mass



Ανοιχτά σμήνη

Χαλαρές (ανοιχτές) δομές (βαρυτικά δεσμευμένες) ακανόνιστου σχήματος που περιέχουν 100 έως 1000 αστέρες. Με την πάροδο του χρόνου διαλύονται λόγω (α) βαρυτικών αλληλεπιδράσεων με μεγάλα νέφη, (β) παλιρροιογόνων δυνάμεων του Γαλαξία και τέλος (γ) λόγω αλληλεπιδράσεων βαρυτικών των αστέρων του ίδιου σμήνους. Παρατηρούνται κυρίως στο επίπεδο του Γαλαξία ($|b| < 5^\circ$)

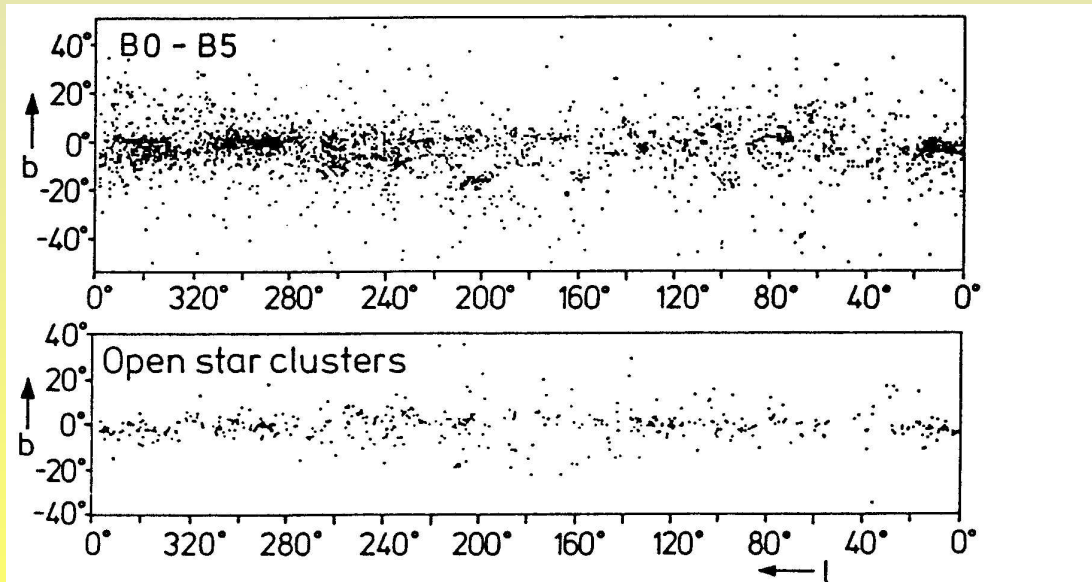
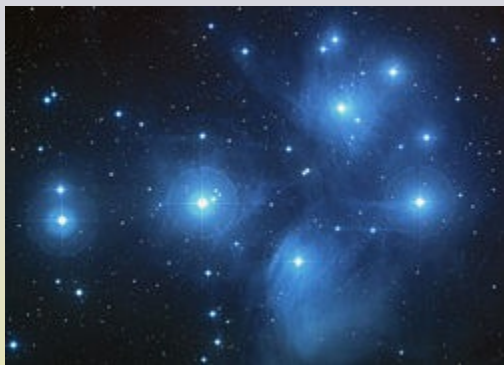


Fig. 3.2. Apparent distribution of the B0- to B5-stars (from Charlier, 1926) and of the open star clusters (from Collinder, 1931)

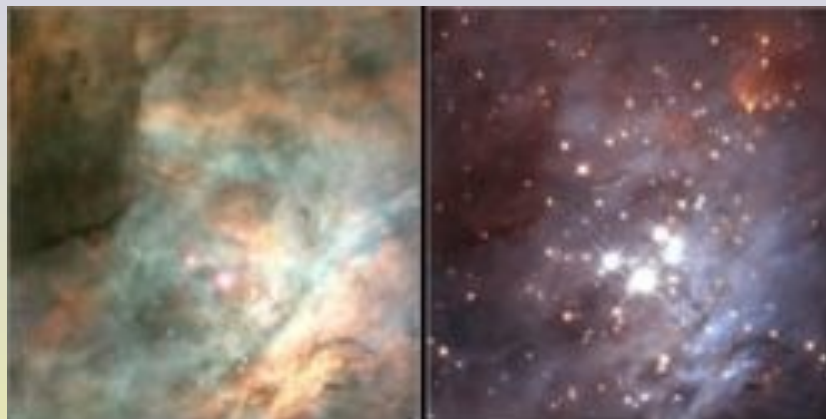
Ανοιχτά σμήνη

- Η διάμετρός τους είναι από 5 έως 20 pc
- Άρα περιέχουν 0.1 έως 5 αστέρες /pc
- Μεγαλύτερη μεταλλικότητα από Σφαιρωτά Σμήνη **(ΓΙΑΤΙ:)**
- Έχουν βρεθεί μέχρι στιγμής ~400 (μπορεί να υπάρχουν όμως μέχρι και 18000).

Πανόραμα ανοιχτών σμηνών



Πλειάδες



Γένεση Σμήνους στο νεφέλωμα του Ωρίωνα



NGC 346



Νεαρό σμήνος φωτίζει το νεφέλωμα της Αράχνης

Πανόραμα ανοιχτών σμηνών



Διπλό σμήνος του Περσέα



M7 στο Σκορπιό ~100 αστέρες



M38 στον Ηνίοχο

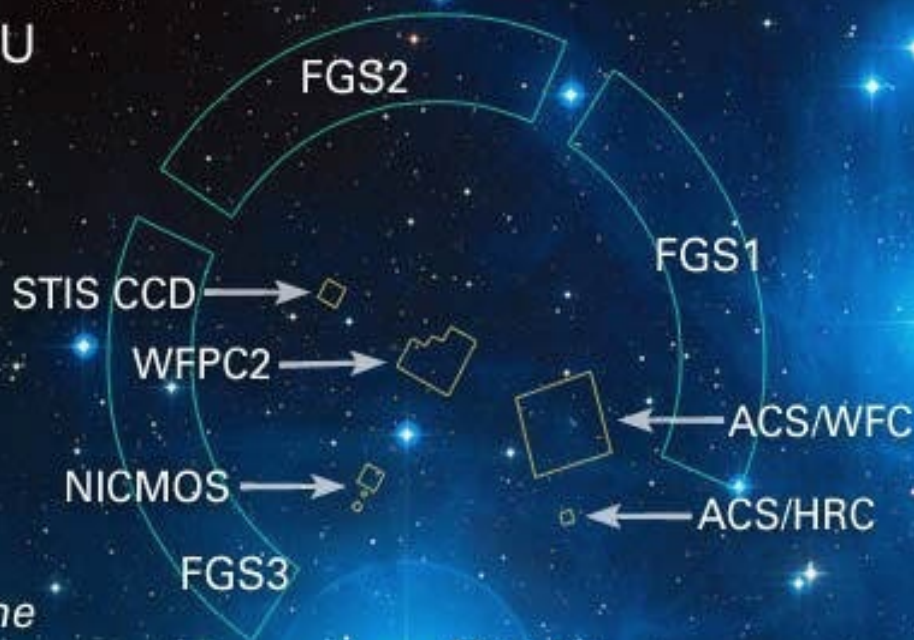


Υάδες στον Ταύρο

The Pleiades • M45

POSS2/UKSTU

I R B



Sterope

Taygeta

Maia

Caleano

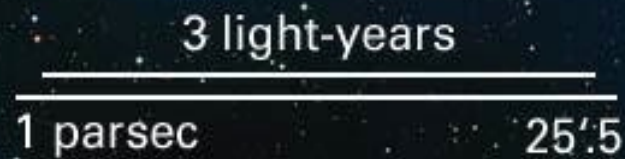
Pleione

Alcyone

Electra

Atlas

Merope





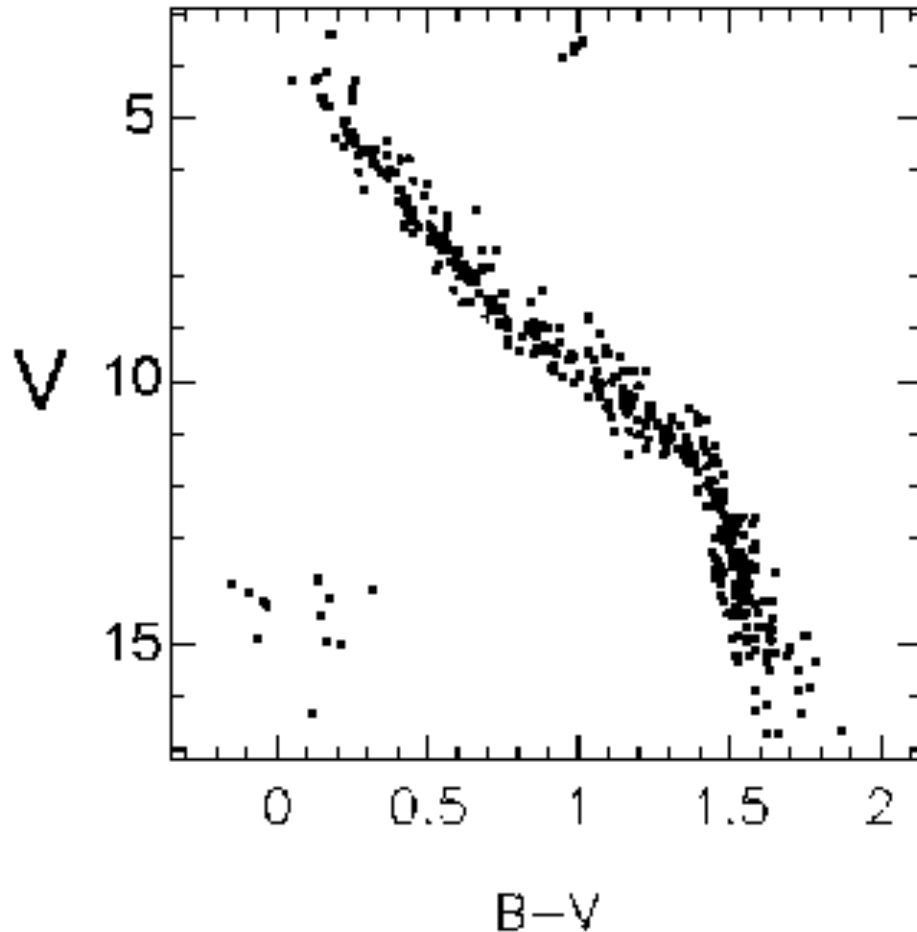
h & Chi Persei - Διπλό σμήνος στον Περσέα



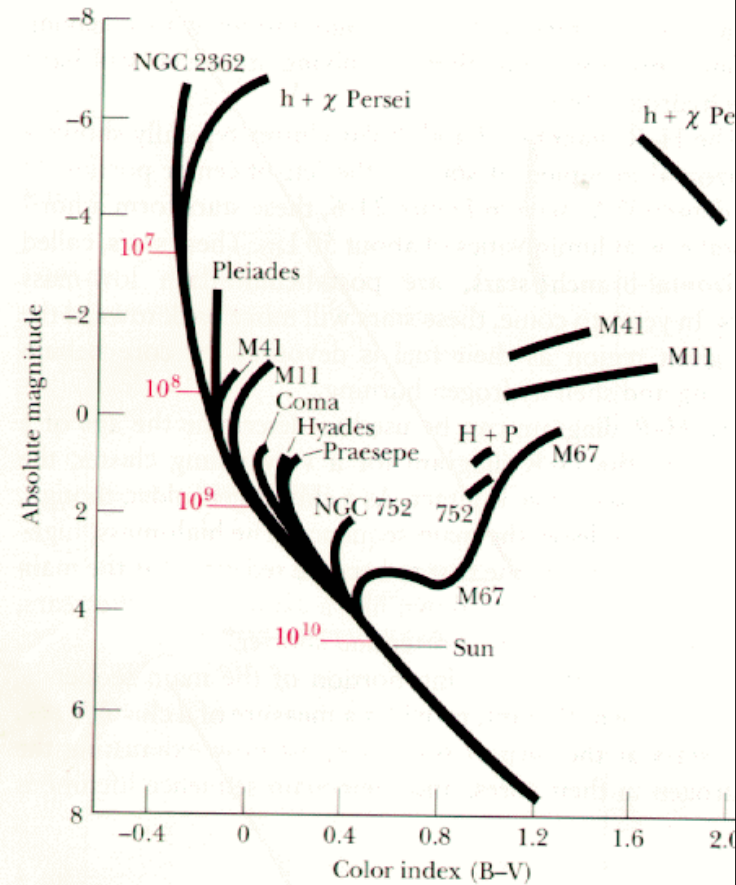
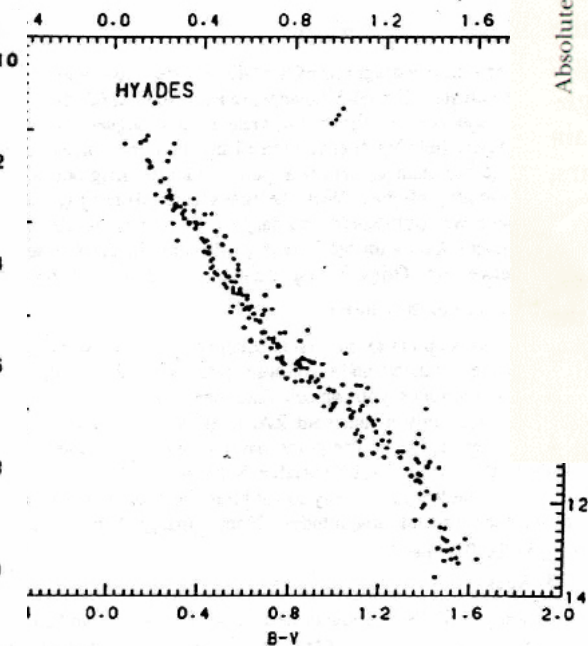
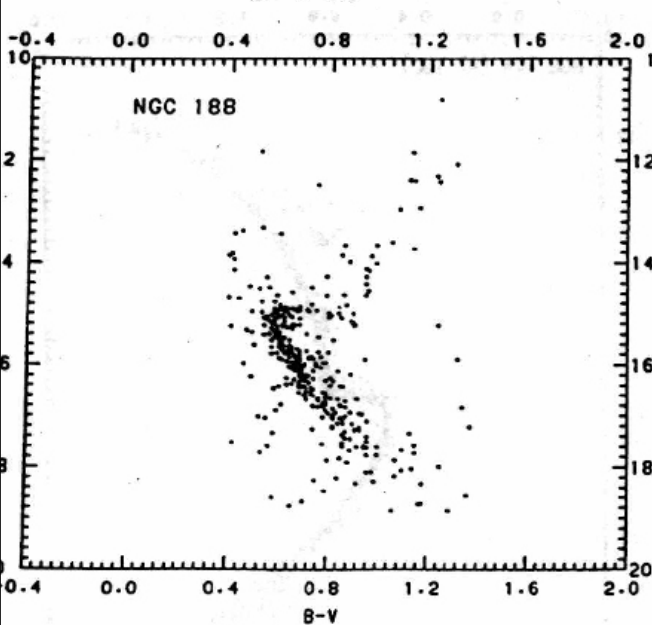
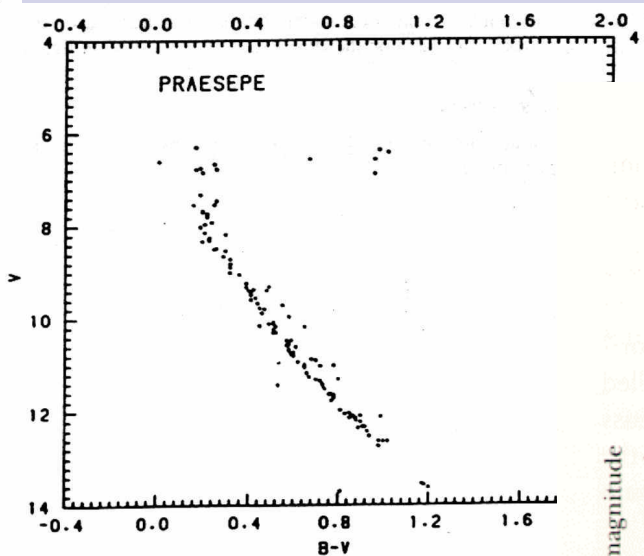
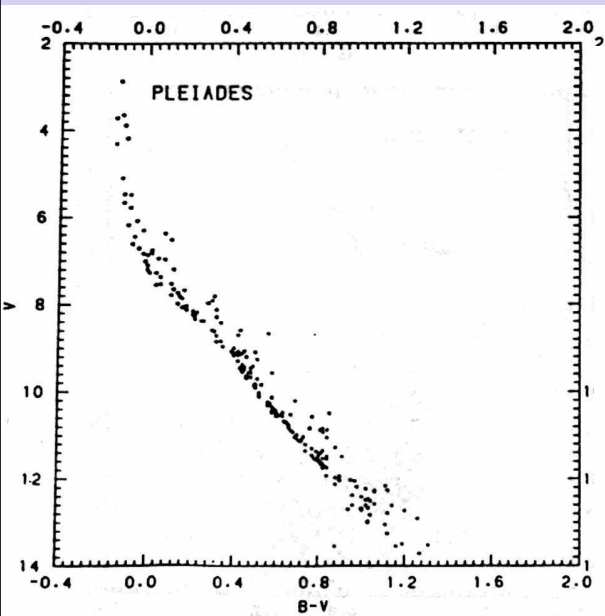
**Messier 35 και NGC2158 - Ανοιχτά σμήνη
διαφορετικών ηλικιών**

Διάγραμμα H-R Υάδων

Τα νεαρά Ανοιχτά Σμήνη κυριαρχούνται φυσικά από αστέρια της Κύριας Ακολουθίας. Εάν στο διάγραμμα H-R δεν υπάρχει εμφανές σημείο εκτροπής **τι σημαίνει;;**



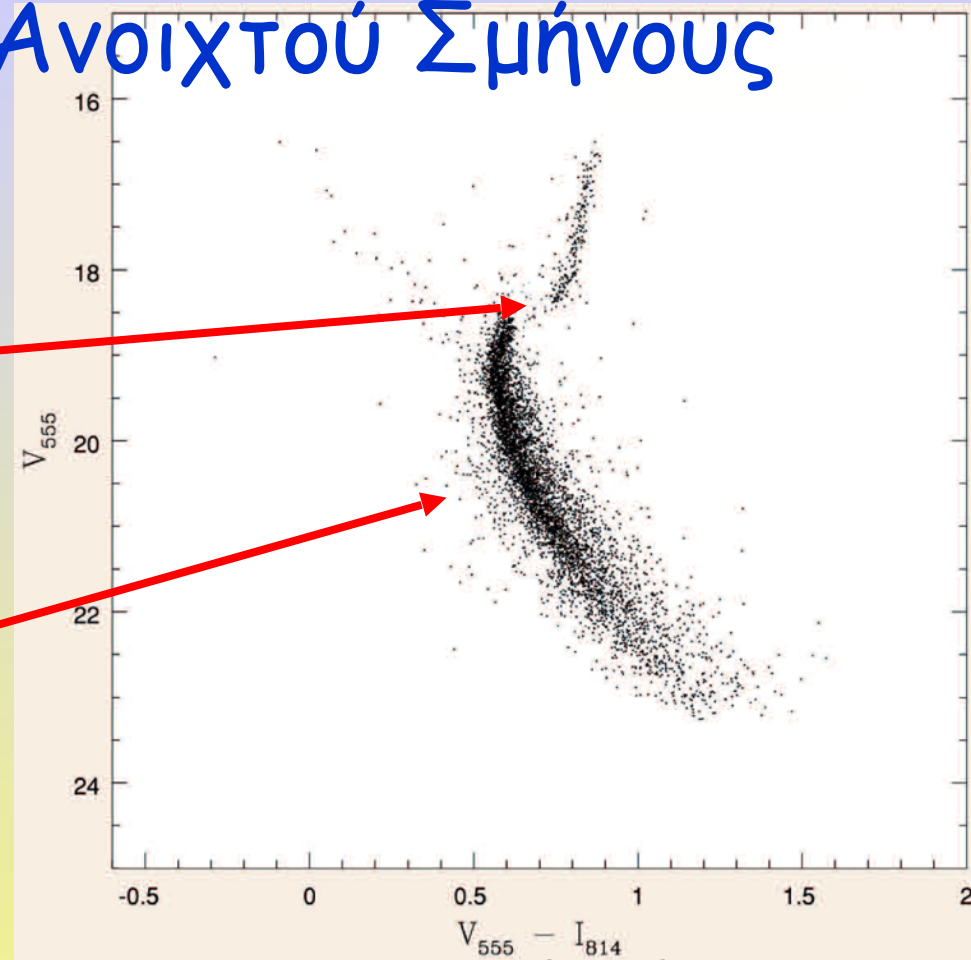
Διαγράμματα H-R Ανοιχτών Σμηνών



Διάγραμμα H-R Ανοιχτού Σμήνου

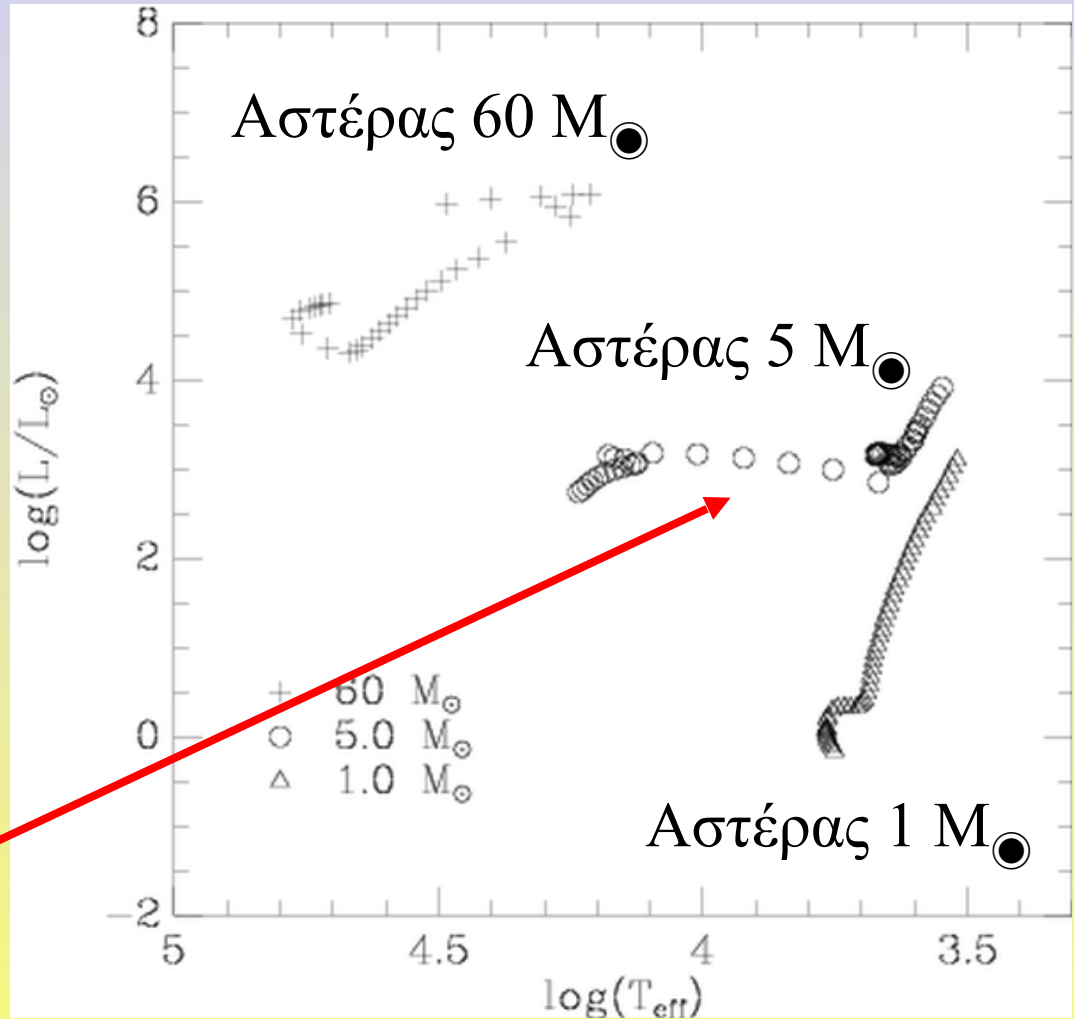
Χάσμα Hertzsprung

Κύρια ακολουθία



Χάσμα Hertzsprung: Οφείλεται στην ταχύτατη εξέλιξη στο κλάδο των γιγάντων αστέρων με Μάζα $\sim 5 M_{\odot}$, αφού τελειώσουν τα αποθέματα H στο πυρήνα ο οποίος καταρρέει βαρυτικά, παράγοντας βαρυτική ενέργεια, ενώ διαστέλλονται τα εξωτερικά τοιχώματα του αστέρα.

Διάγραμμα H-R Ανοιχτού Σμήνους



Χάσμα Hertzsprung

Κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε εξέλιξη 100.000 ετών

Ταξινόμηση Ανοιχτών Σμηνών

Λαμβάνεται υπόψη

- Ο βαθμός συγκέντρωσης των αστέρων του σμήνους (I-IV),
- Η ακτινική κατανομή της λαμπρότητας του σμήνους (1-3)
- Η αφθονία του σε αστέρες (p-poor, m-medium, r-rich).

Παράδειγμα:

Σμήνος της Φάτνης (Praesepre NGC 2632) : **II 3 m**

Διπλό σμήνος η και χ του Περσέα (NGC 869 και NGC 884)

και οι Πλειάδες: **I 3 r**.

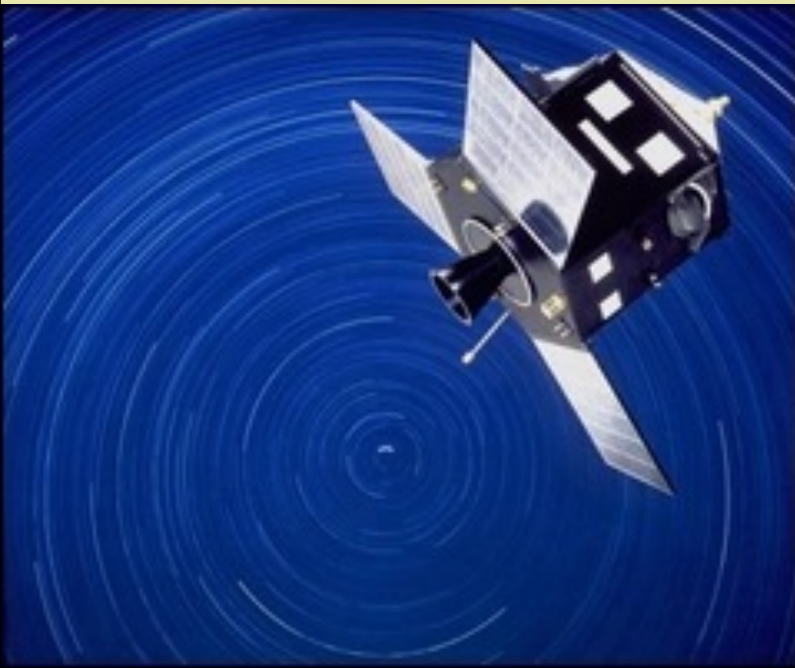
Αποστάσεις Αστέρων μέσω της κίνησης (παρατηρητή ή ίδια κίνηση)

- Τα άστρα απέχουν πολύ μεγάλες αποστάσεις. Το εγγύτερο άστρο (prox Centauri) απέχει από τη Γη 300,000 φορές την απόσταση Γης-Ηλίου
- Μια μέθοδος απευθείας υπολογισμού της απόστασης των εγγυτέρων αστέρων είναι μέσω της **Τριγωνομετρικής Παράλλαξης**.
- Μια άλλη μέθοδος είναι μέσω του **σημείου σύγκλισης της φαινομένης κίνησης** των αστέρων ανοιχτών σμηνών αστέρων (πχ. Υάδες).

Οι πιο ακριβείς μετρήσεις παραλλάξεων- δορυφόρος Hipparcos

High Precision Parallax Collecting Satellite

Μέτρησε 2.4 εκατομμύρια αστέρια, από τα οποία τα
~118,000 με προσέγγιση καλύτερη από 0.001 arcsec

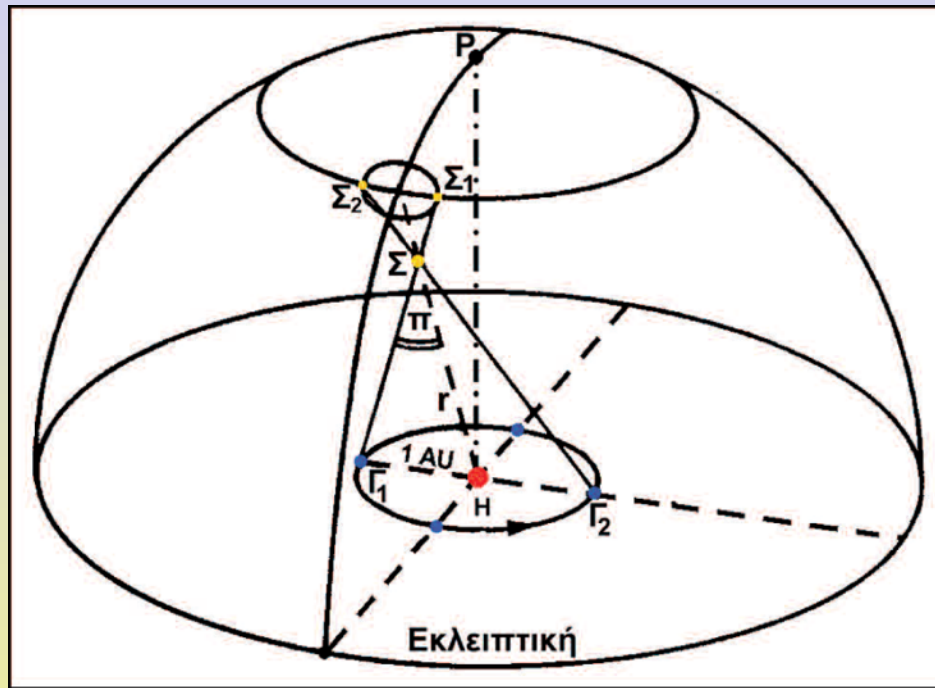


Η απόσταση των Υάδων μετρήθηκε με
μεγάλη ακρίβεια να έχει τιμή:

46.34 ± 0.27 pc

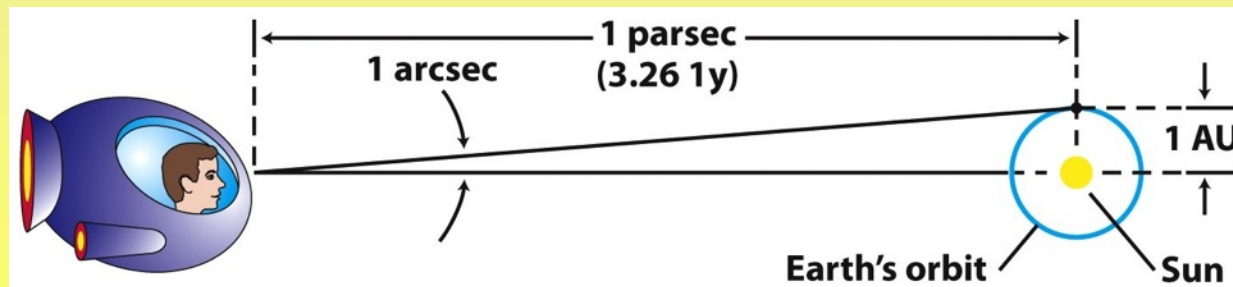
ESA 1993

Παραλλακτική απόσταση



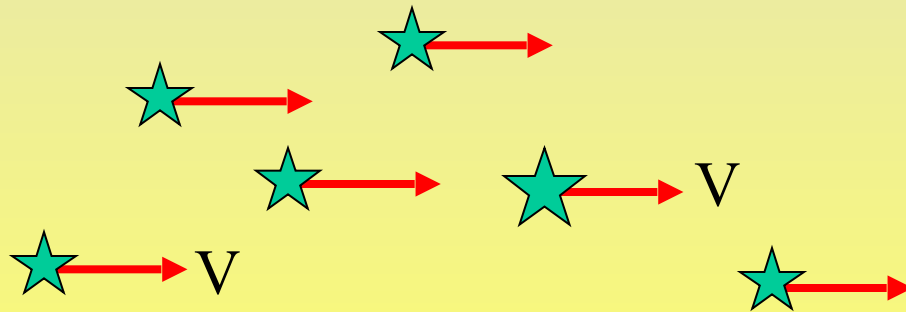
$$r_{pc} = 1 \text{ AU} / \tan(\pi) = 1 \text{ AU} / \pi (\text{rad}) = 206265 \text{ AU} / \pi'' = 1 \text{ pc} / \pi''$$

Ορισμός
του
Πάρσεκ

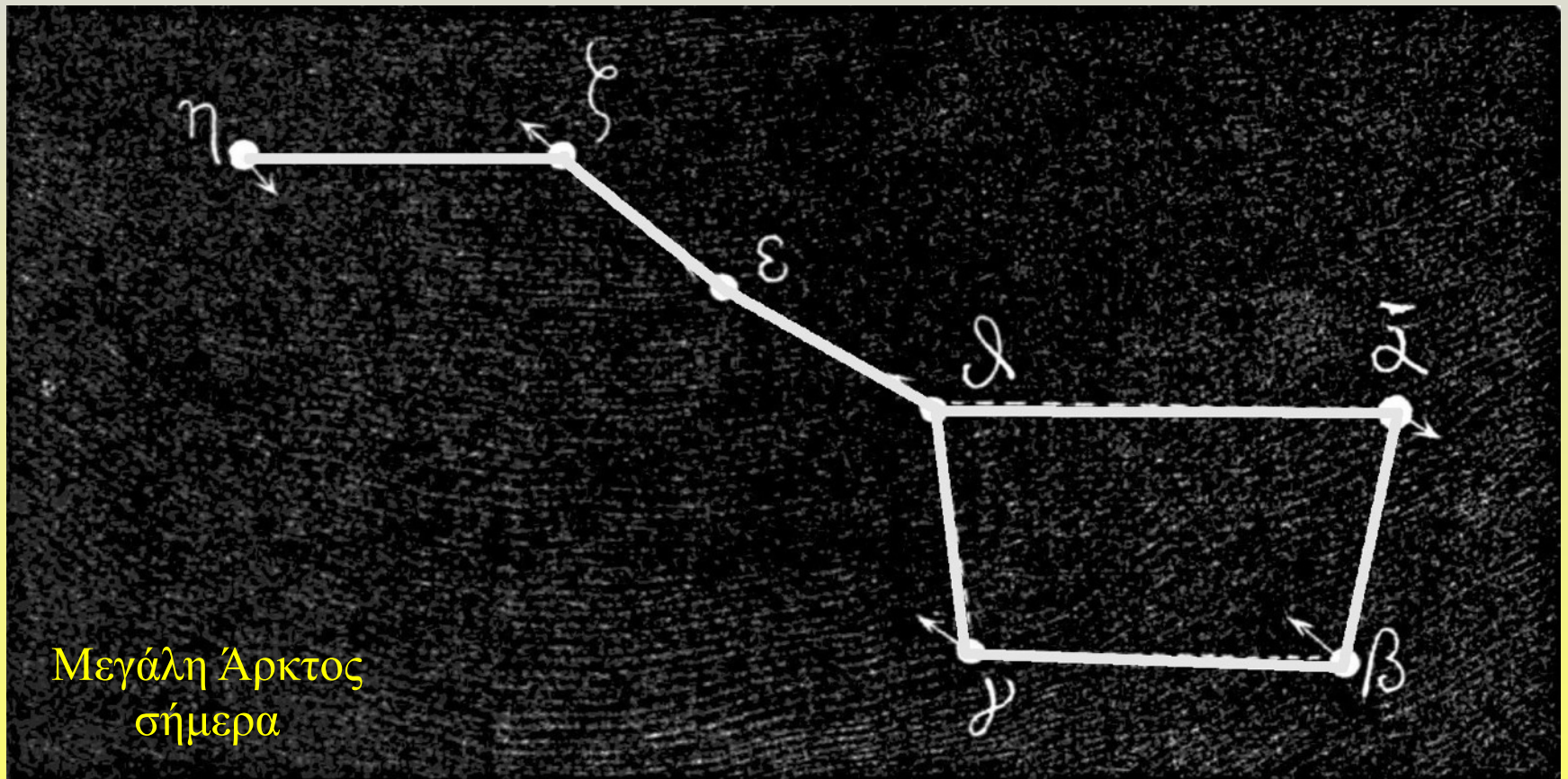


Φαινόμενη συγκλίνουσα κίνηση σμήνους, μ''

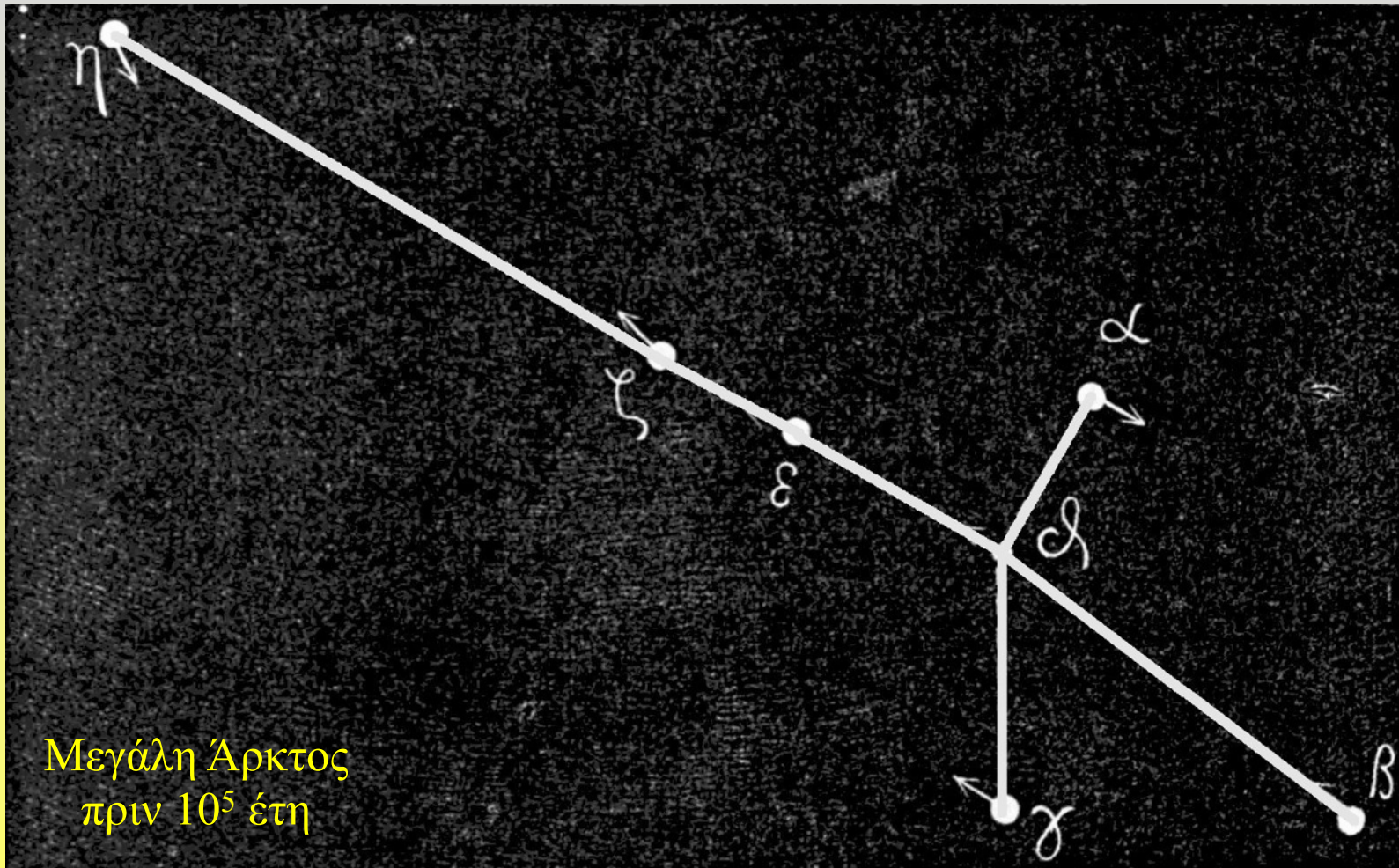
- Οφείλεται στην πραγματική κίνηση των αστέρων του σμήνους προς μια ορισμένη διεύθυνση στο διάστημα
- Οι αστέρες δημιουργήθηκαν από το ίδιο νεφέλωμα και κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση



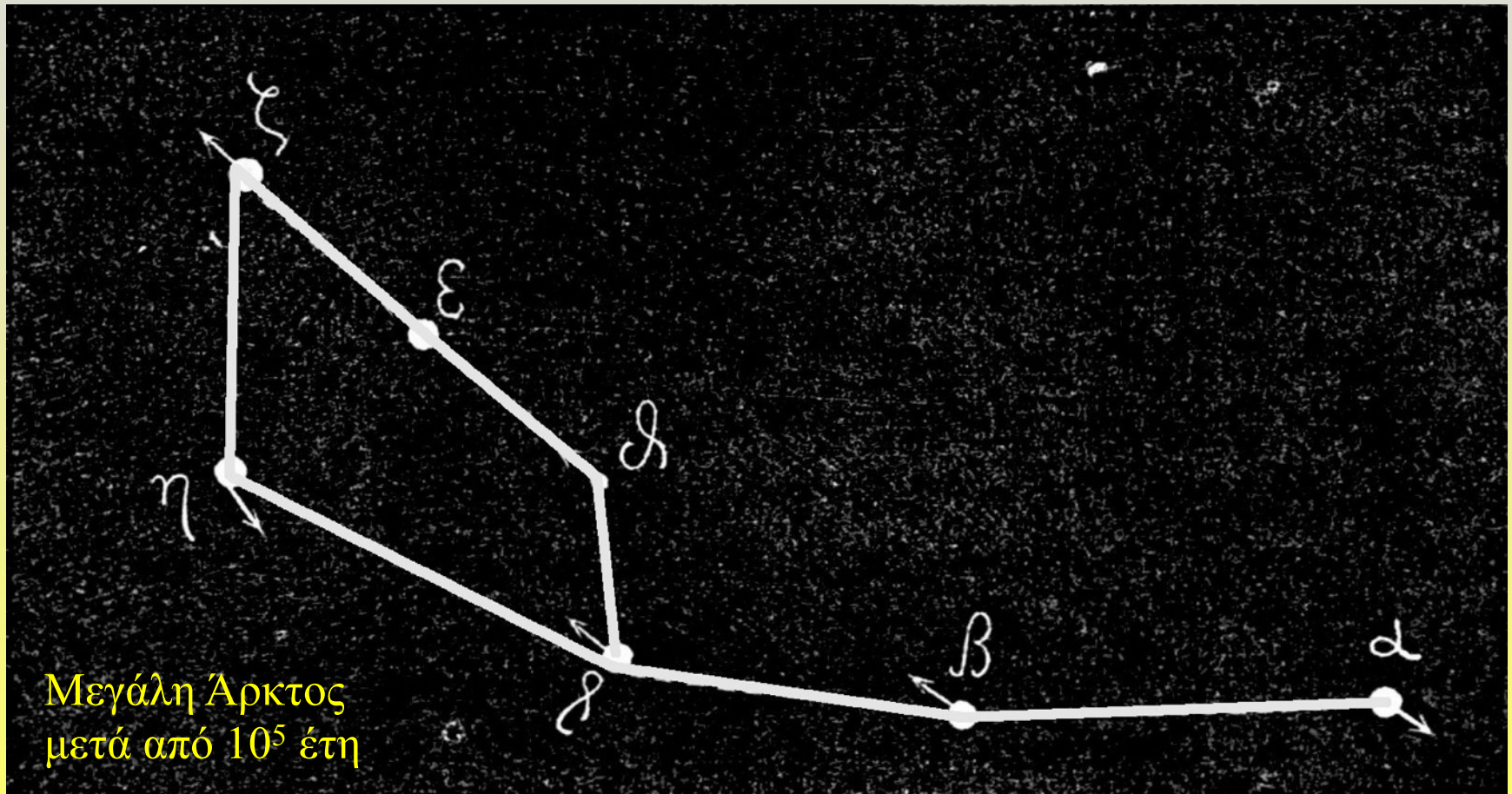
Μεταβολή του Σχήματος των αστερισμών λόγω Ιδίας Κίνησης



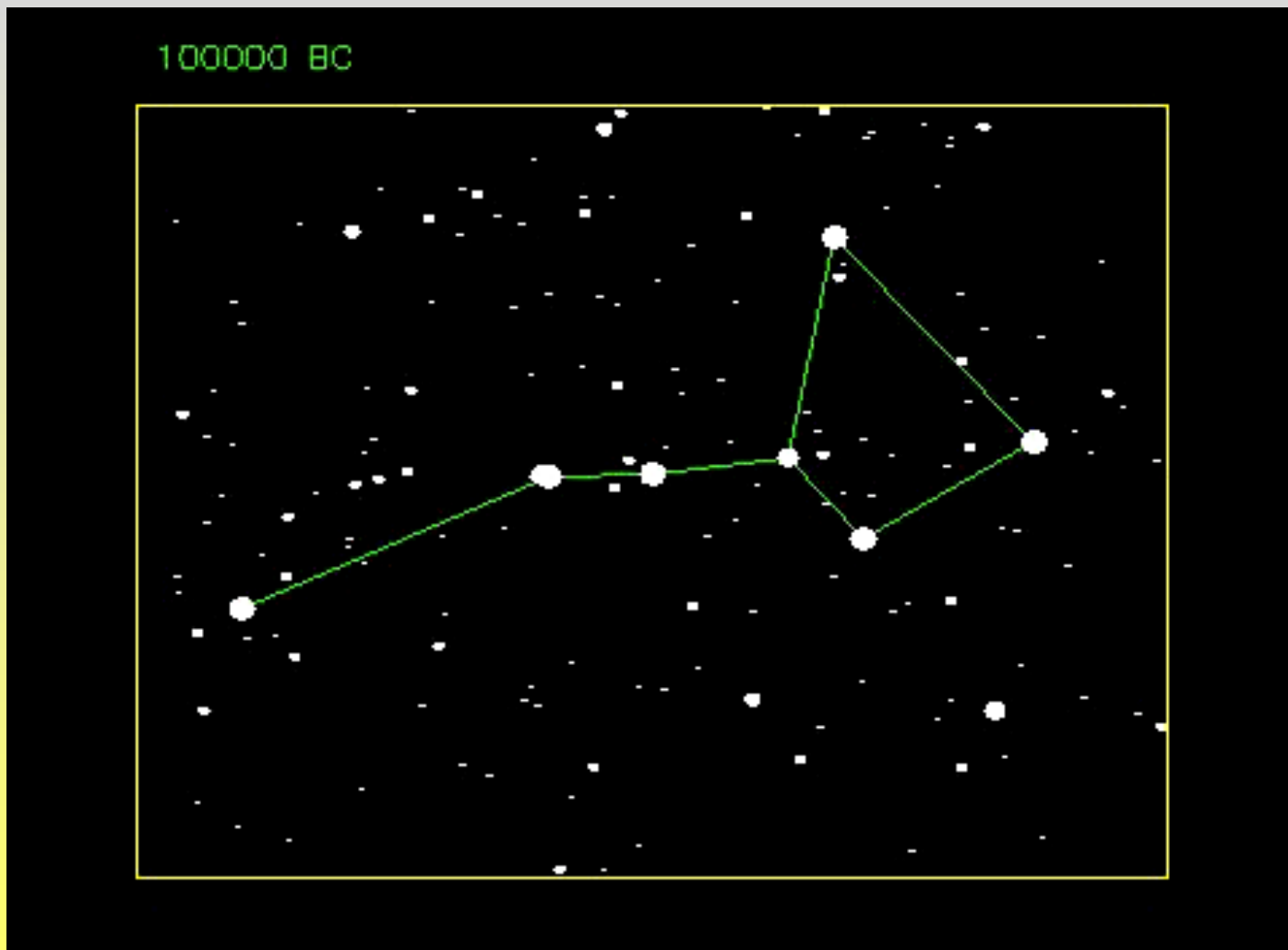
Μεταβολή του Σχήματος των αστερισμών λόγω Ιδίας Κίνησης



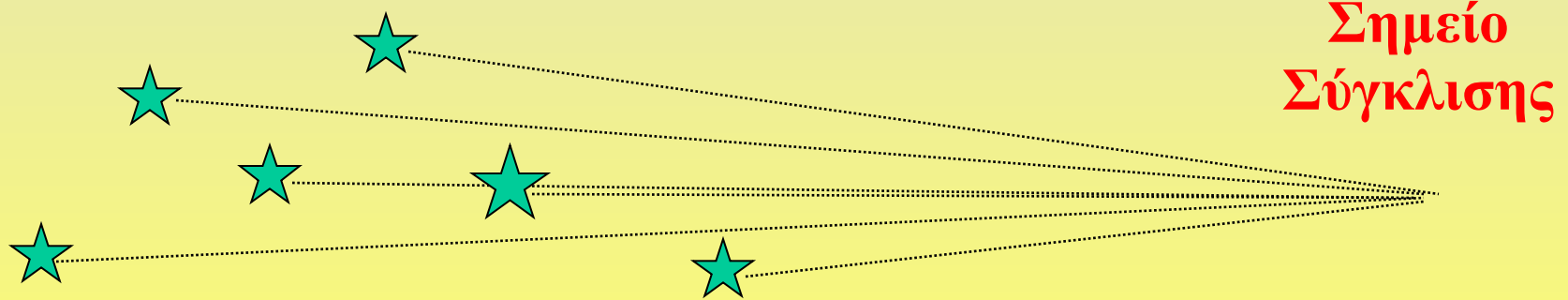
Μεταβολή του Σχήματος των αστερισμών λόγω Ιδίας Κίνησης



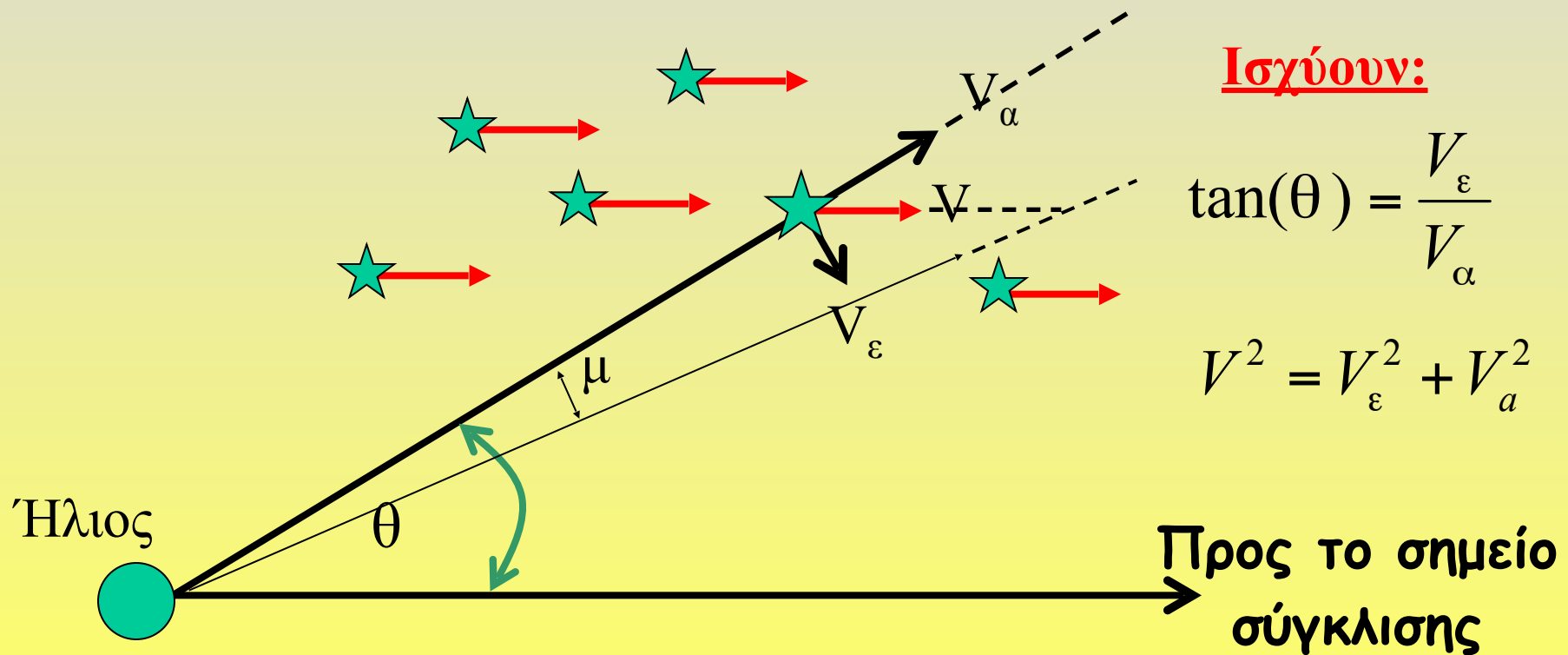
Μεταβολή του Σχήματος των αστερισμών λόγω Ιδίας Κίνησης



Όλοι οι αστέρες του σμήνους φαίνονται να συγκλίνουν σε ένα σημείο της ουράνιας σφαίρας. (Όπως, παράλληλες γραμμές φαίνονται να συγκλίνουν σε ένα σημείο (ή να αποκλίνουν από ένα σημείο) όταν τις βλέπουμε στο άπειρο.



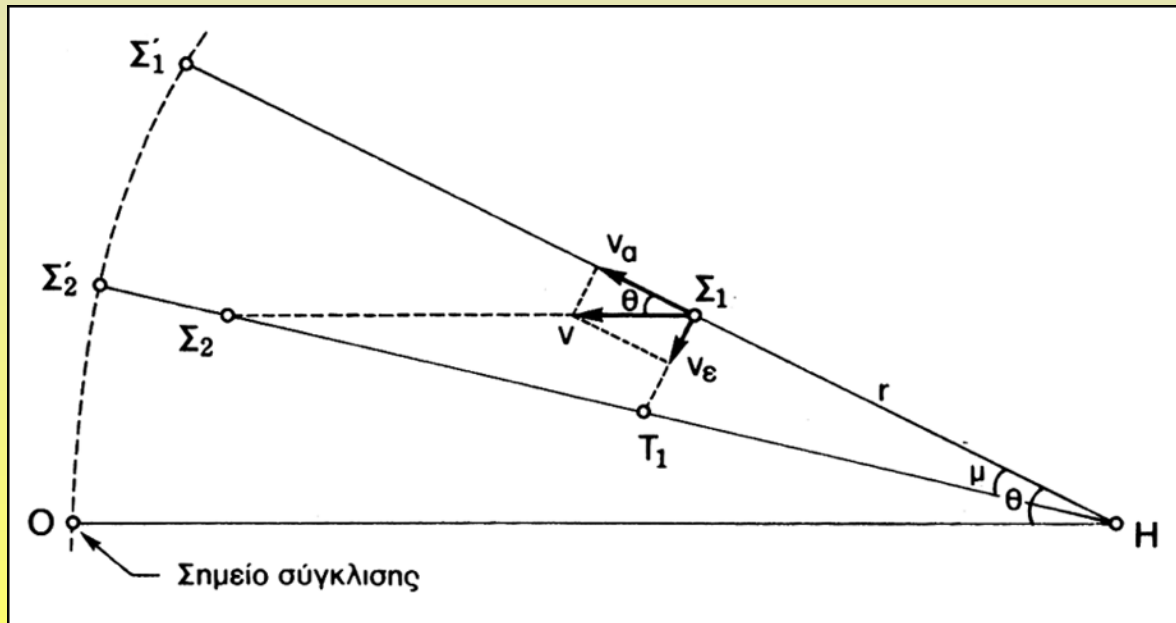
- Το σημείο σύγκλισης σχηματίζει γωνία θ με τη διεύθυνση "Ήλιος - σμήνος"
- Η ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας, V_a , υπολογίζεται μέσω της μετατόπισης Doppler



- Το σημείο σύγκλισης βρίσκεται εύκολα αν μετρήσουμε την ίδια κίνηση του κάθε αστέρα
- Γνωρίζοντας το σημείο σύγκλισης, μπορούμε να βρούμε την απόσταση του σμήνους
- Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την απόσταση κυρίως του σμήνους των Υάδων
- Είναι μια πολύ ικανοποιητική μέθοδος, δεδομένου πως δεν χρειάζεται να κάνει κανείς καμία παραδοχή για τις ιδιότητες των υπό παρατήρηση αστέρων.

• Μέθοδος:

- Βρίσκουμε το σημείο σύγκλισης από παρατηρήσεις της ίδιας κίνησης των αστέρων του σμήνους.
- Υπολογίζουμε τη γωνία θ για κάθε αστέρα χρησιμοποιώντας σφαιρική τριγωνομετρία.
- Βρίσκουμε την εφαπτομενική συνιστώσα (V_ϵ) μέσω της σχέσης: $V_\epsilon = V_a \tan(\theta)$



H: Ήλιος

$\Sigma_1 \rightarrow \Sigma_2$: Μετακίνηση του αστέρα σε 1 έτος

$\Sigma_1 \rightarrow T_1$: Εφαπτομενική μετακίνηση σε 1 έτος

r : απόσταση αστέρα

μ = ίδια κίνηση αστέρα

$$V_\epsilon = \frac{\Sigma_1 T_1}{1 \text{ έτος}} = \frac{r \tan \mu}{3.156 \times 10^7 \text{ s}}$$

Αλλά: 1 έτος = 3.156×10^7 s και 1AU = 1.496×10^8 km

Επομένως:

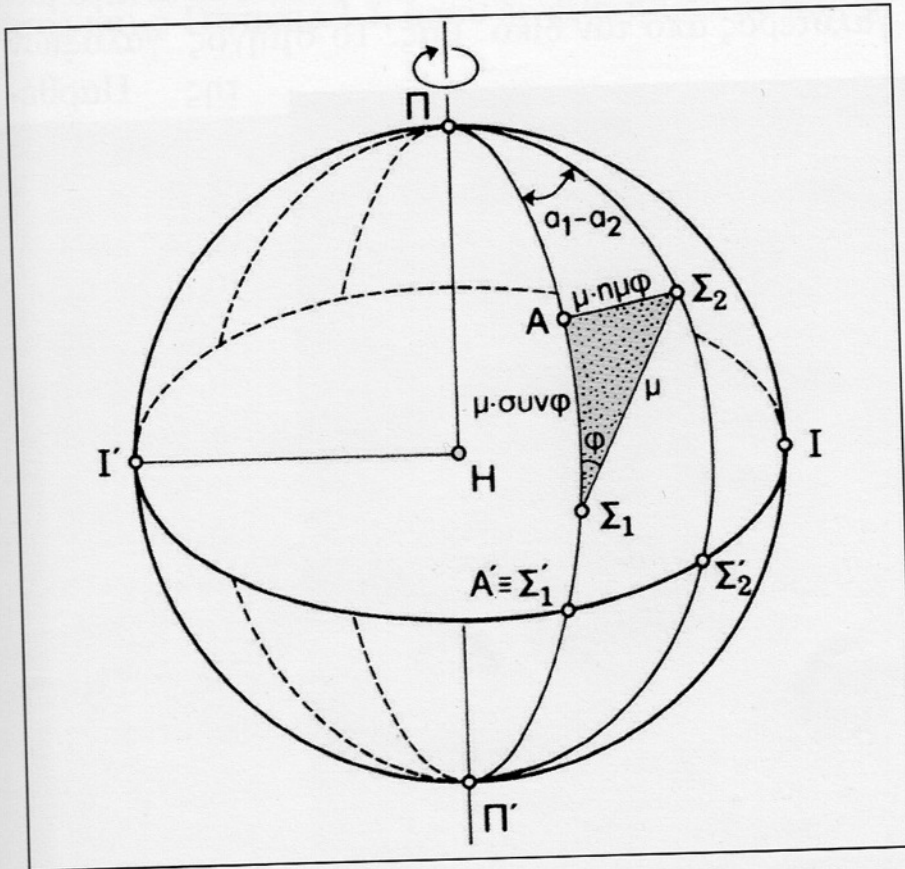
$$V_\varepsilon = \frac{\Sigma_1 T_1}{1 \text{ έτος}} = \frac{r \tan \mu}{3.156 \times 10^7 \text{ s}}$$

ή

$$V_\alpha \tan(\theta) = \frac{1.496 \times 10^8 r \mu''}{3.156 \times 10^7 \text{ s}}$$

$$r(\text{pc}) = \frac{V_\alpha}{4.74 \mu''} \tan(\theta)$$

Αλλά: 1 έτος = 3.156×10^7 s και 1AU = 1.496×10^8 km



Σχήμα 3-15. Ιδία κίνηση κατά ορθή αναφορά και απόκλιση.

$$\mu = \Sigma_1 \Sigma_2$$

$$A \Sigma_2 = \Sigma_1' \Sigma_2' \quad \text{συν} \delta = \mu_\alpha \text{συν} \delta$$

$$A \Sigma_1 = -\mu_\delta$$

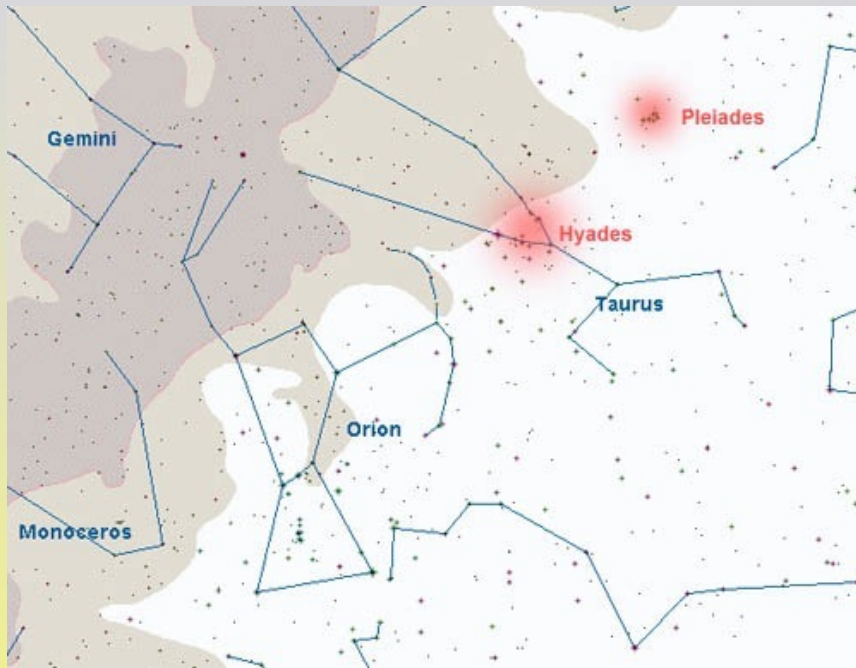
$$\rightarrow \mu = \sqrt{\mu_\delta^2 \cos^2 \delta + \mu_\alpha^2}$$

$$r(\text{pc}) = \frac{V_\alpha}{4.74 \mu''} \tan(\theta)$$

Βασικές Υποθέσεις για την χρήση της μεθόδου

- Τα άστρα του σμήνους κινούνται παράλληλα προς άλλα
- Το σμήνος δεν περιστρέφεται γύρω από κάποιο άξονα συμμετρίας
- Το σμήνος δεν διαστέλλεται ή συστέλλεται
- Τα άστρα που χρησιμοποιούνται ανήκουν στο σμήνος.

Το σμήνος των Υάδων



✓ Βρίσκεται στον αστερισμό του Ταύρου. Είναι ένα ανοιχτό σμήνος ηλικίας $\sim 6.2 \times 10^8$ ετών)

✓ Η απόστασή του είναι περίπου 46.3 pc