

ΑΣΤΡΙΚΑ ΣΜΗΝΗ

Τα ρολόγια του σύμπαντος

Δρ Μάνος Δανέζης

Επίκουρος Καθηγητής Αστροφυσικής

Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Φυσικής

Αστρικό σμήνος είναι 1 ομάδα από άστρα που

- Καταλαμβάνουν σχετικά μικρό χώρο στο διάστημα
- Αλληλεπιδρούν μεταξύ τους
- Διατηρούν τη συννοχή τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα
- Έχουν κοινές ιδιότητες



δηλαδή με λίγα λόγια αποτελούν **1 ΟΝΤΟΤΗΤΑ**



BINTEO

Τα άστρα ενός Α.Σ. παρουσιάζουν **δυναμική συνοχή**



ΒΙΝΤΕΟ

Τα άστρα που αποτελούν 1 αστρικό σμήνος παρουσιάζουν κοινές ιδιότητες αλλά και διαφορές.

κοινές ιδιότητες :

- Έχουν **ίδια ηλικία**
- Βρίσκονται σχεδόν στην **ίδια απόσταση**
- Έχουν **ίδια χημική σύσταση** → παίζει ρόλο στην εξέλιξη του σμήνους

διαφορές:

- έχουν **διαφορετική μάζα** → παίζει τον κυριότερο λόγο στην εξέλιξη του σμήνους

(έτσι τα πολύ μεγάλα άστρα εξαφανίζονται από το σμήνος πολύ γρήγορα)

ΕΙΔΗ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΣΜΗΝΩΝ

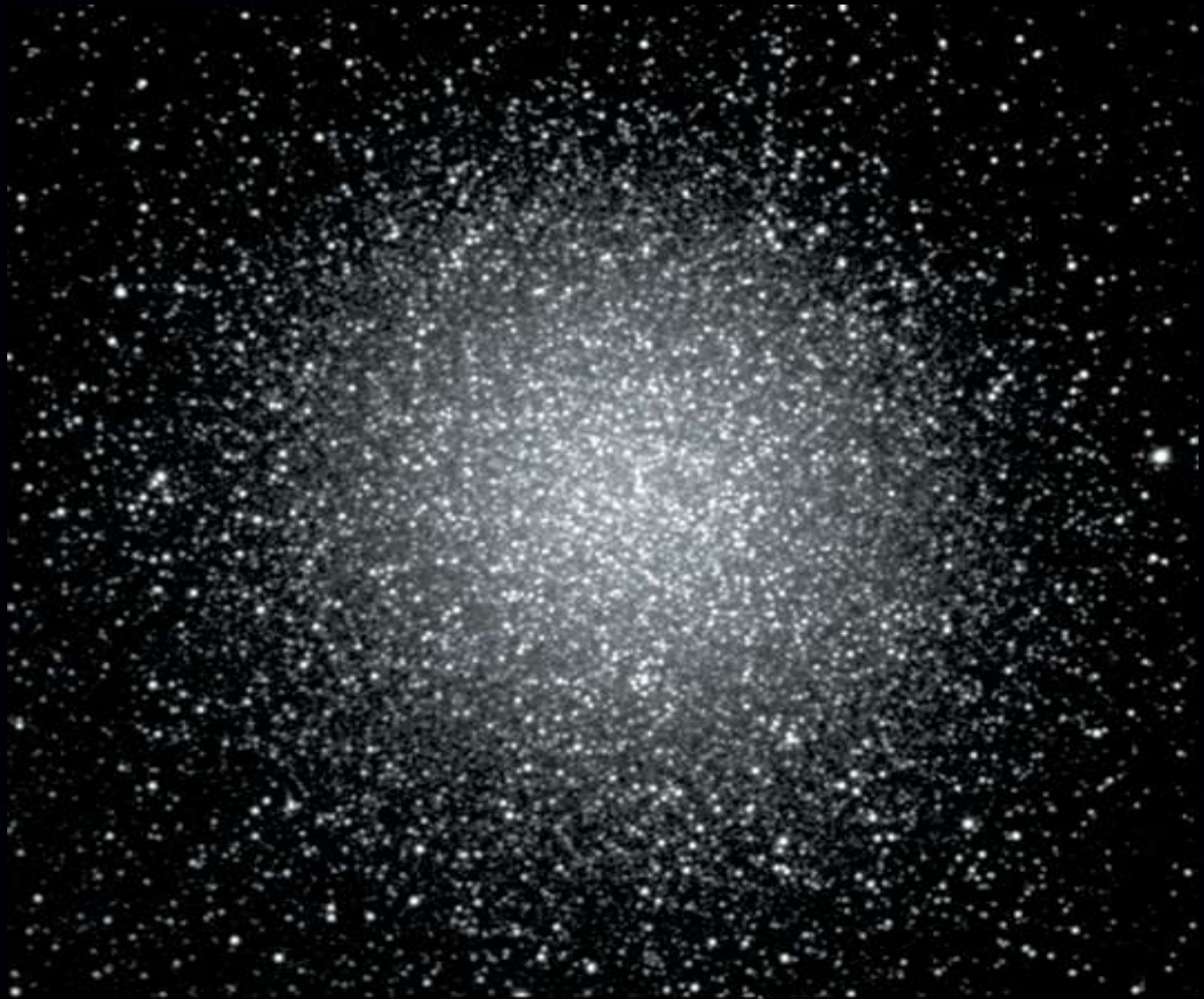
Τα αστρικά σμήνη χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το κριτήριο που επιλέγουμε.

Έτσι μπορούμε να τα κατατάξουμε ανάλογα με

- τη δυναμική εξέλιξη τους
- την ηλικία τους.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΙΔΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ			
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	σφαιρωτά σμήνη	συγκέντρω-ση $C > 10^3$	Πολύ ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις	$t = 10^9$ έτη	↓ πυκνότητας από το κέντρο προς τα έξω
	ανοιχτά σμήνη	συγκέντρω-ση $C < 10^3$	<u>Όχι</u> πολύ ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις	$t = 10^8$ έτη	π.χ. Πλειάδες
	σμήνη μέσα στο αέριο δημιουργί- ας τους	Γεννιούν- ται τώρα		$t = 10^6$ έτη	π.χ. Νέφος Μαγγελάνου
ΗΛΙΚΙΑ	Νεαρός πληθυσμός	Μικρή περιεκτικότητα σε ΜΕΤΑΛΛΑ		$2-40 M_{\text{ΗΛΙΟΥ}}$	$t=6 \cdot 10^6 - 10^9 \text{ y}$
	Γηραιός	Μεγάλη περιεκτικότητα σε		$0.5 - 2.5 M_{\text{ΗΛΙΟΥ}}$	$t=10^9 - 15 \cdot 10^9 \text{ y}$

ΣΦΑΙΡΩΤΑ ΣΜΗΝΗ



ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΜΗΝΗ



ΑΝΟΙΧΤΟ ΣΜΗΝΟΣ

The NGC/IC Project

NGC 2632
[M 44]



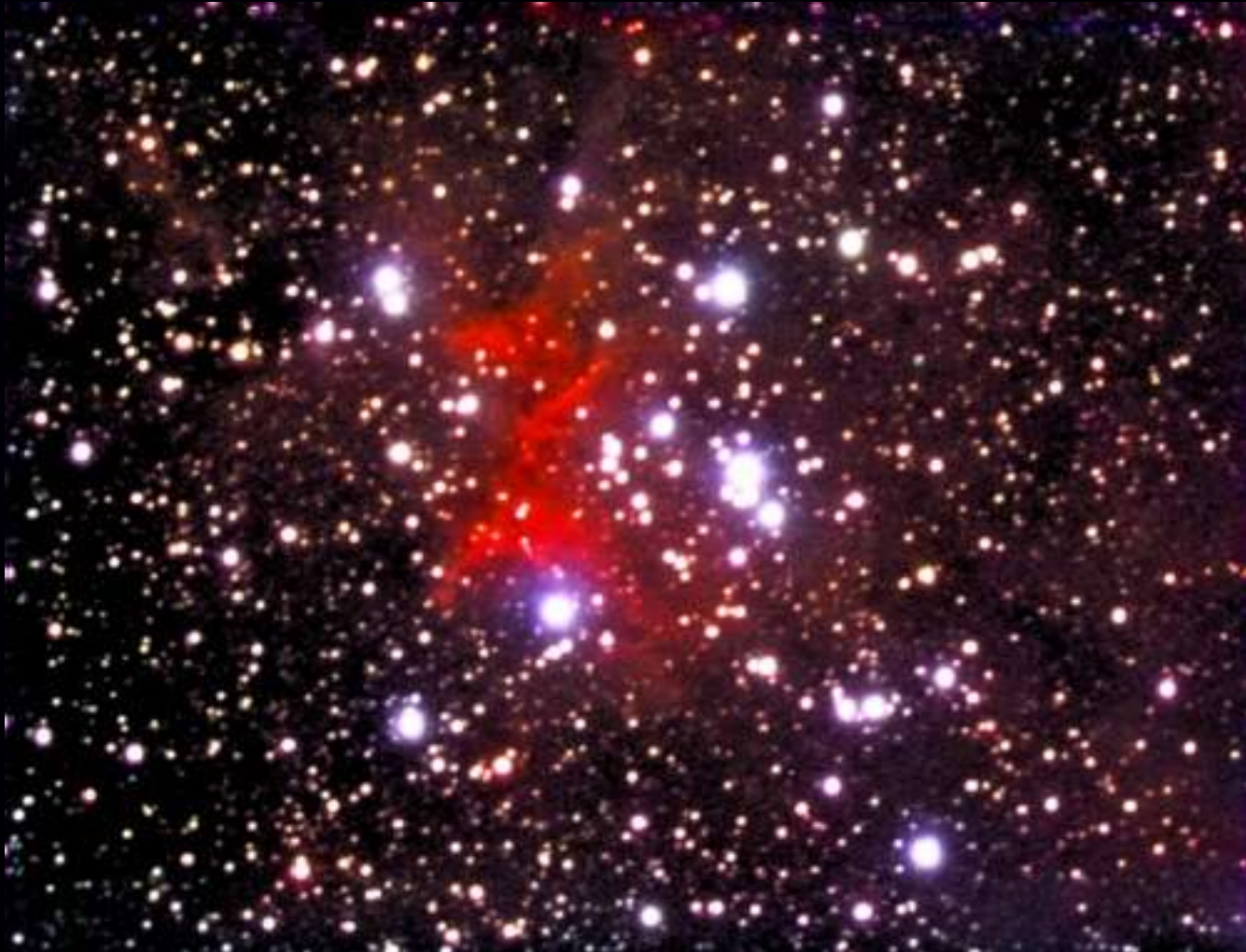
The NGC/IC Project

B.E.

ΜΕΓΑΛΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΣΜΗΝΟΣ

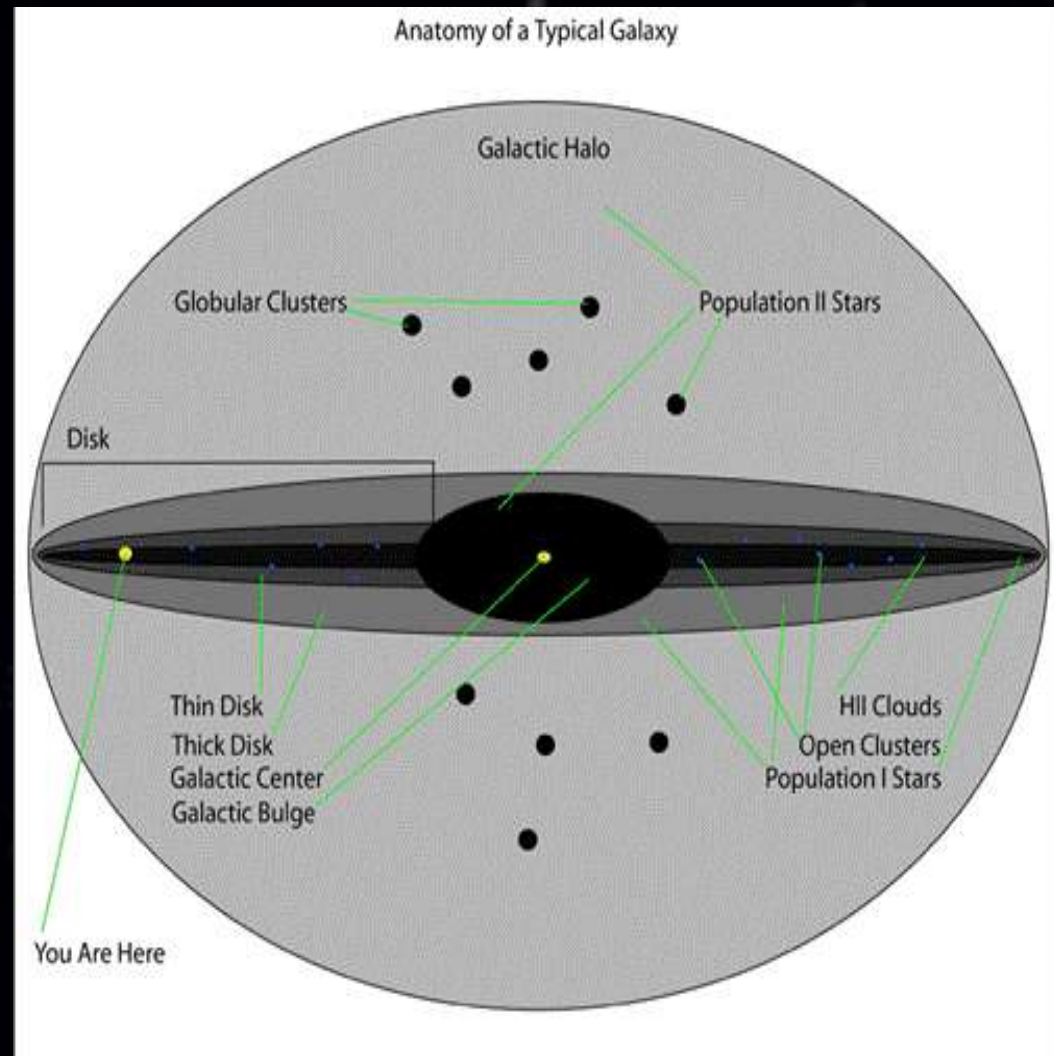


ΣΜΗΝΟΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΑΕΡΙΟ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ



Αν αναφερθούμε
εξειδικευμένα στα
αστρικά σμήνη του
Γαλαξία μας

διαπιστώνουμε ότι τα
αστρικά σμήνη μικρής
εξελικτικής ηλικίας είναι
όλα ανοικτά, ενώ τα
μεγάλης εξελικτικής
ηλικίας **είναι σφαιρωτά**.
Η παρατήρηση αυτή **δεν**
ισχύει βέβαια για τα
αστρικά σμήνη όλων των
άλλων γαλαξιών.



Ανοικτά σμήνη του Γαλαξία μας (Σμήνη μικρής εξελικτικής ηλικίας)

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των ανοικτών σμηνών είναι οι **σχετικά χαλαρές δυνάμεις που συγκρατούν τα αστέρια** τους μέσα στα ακανόνιστα όριά τους. (Κάποια από αυτά είναι τόσο αραιά ώστε δεν είναι δυνατόν να παρατηρήσουμε μια ιδιαίτερη συγκέντρωση των αστεριών τους σε κάποιο σημείο του ουρανού).

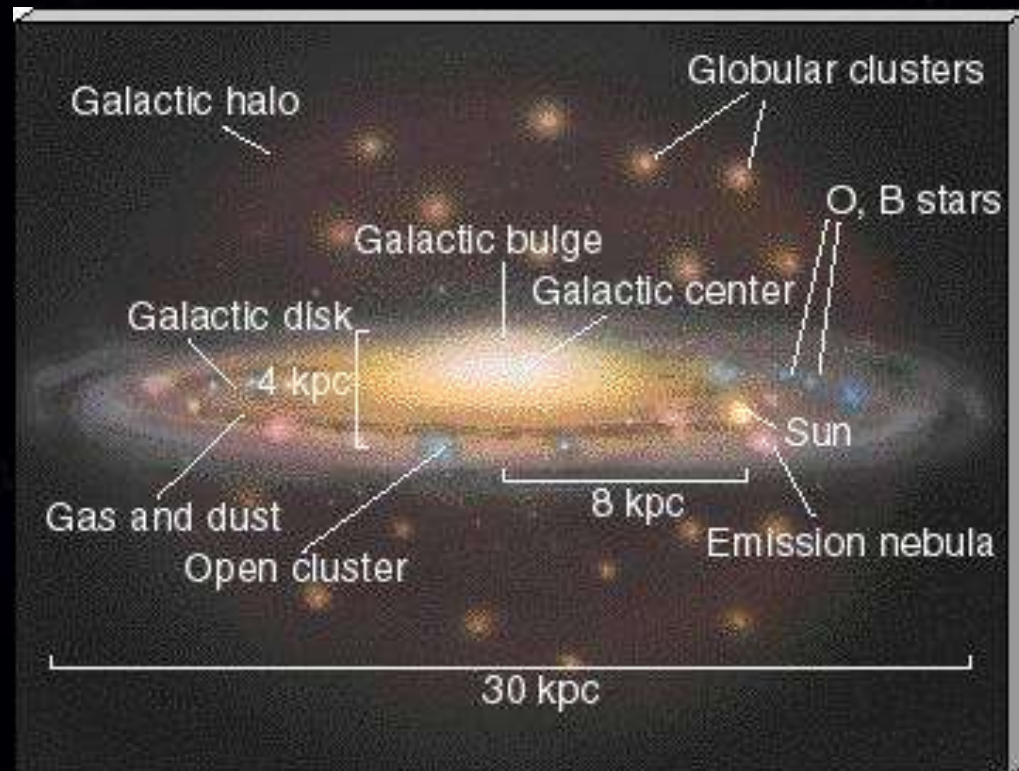
Τ' αστέρια που ανήκουν σ' αυτά τα σμήνη ξεχωρίζουν από τα άλλα, που τυχαία προβάλλονται στην ίδια περιοχή του ουρανού, από το γεγονός ότι κινούνται όλα προς την ίδια κατεύθυνση. Λόγω αυτής της κίνησής τους, τα ανοικτά αυτά σμήνη ονομάζονται και **«κινούμενα σμήνη»**.



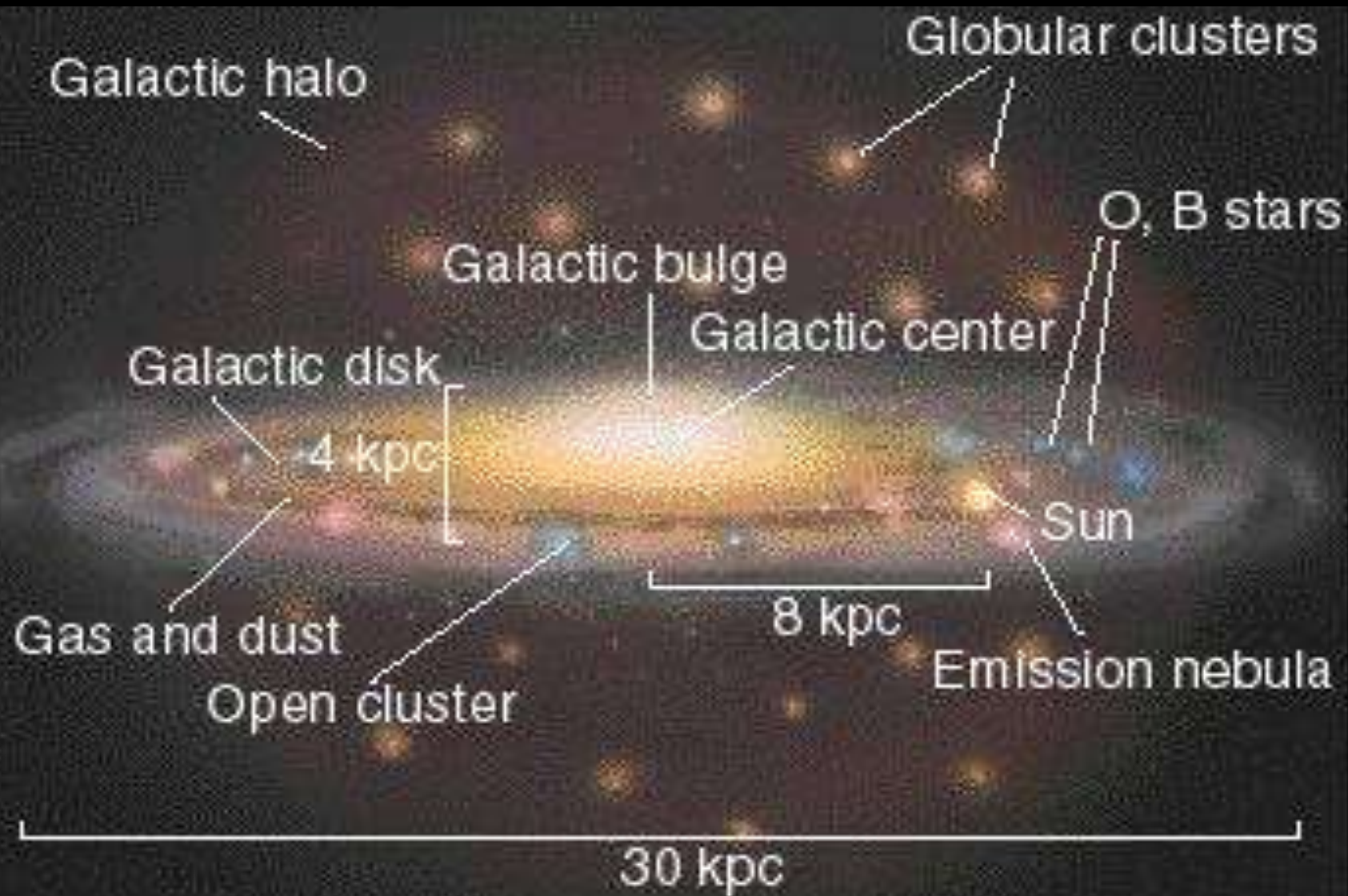
Βρίσκονται συγκεντρωμένα **στην περιοχή του γαλαξιακού επιπέδου** και όσο πιο νέα είναι, τόσο η απόστασή τους από αυτό είναι μικρότερη. Αυτή η παρατήρηση αποδείχτηκε πολύ σημαντική διότι:

α. Η επισήμανσή τους πάνω στον ουρανό μάς δίνει τη δυνατότητα να σκιαγραφήσουμε τόσο τη **θέση του γαλαξιακού επιπέδου**, όσο και των σπειρών του Γαλα-ξία μας.

β. Η θέση τους κοντά στο γαλαξιακό επίπεδο που είναι πλούσιο σε μεσοαστρική σκόνη και αέρια, τα καθιστά **ιδανικές περιοχές για τη γέννηση νέων άστρων**.



Πιστεύουμε ότι αυτά πρόκειται να διαλυθούν μέσα σε λίγα δισ. χρόνια.



Σφαιρωτά σμήνη του Γαλαξία μας

(Σμήνη μεγάλης εξελικτικής ηλικίας)

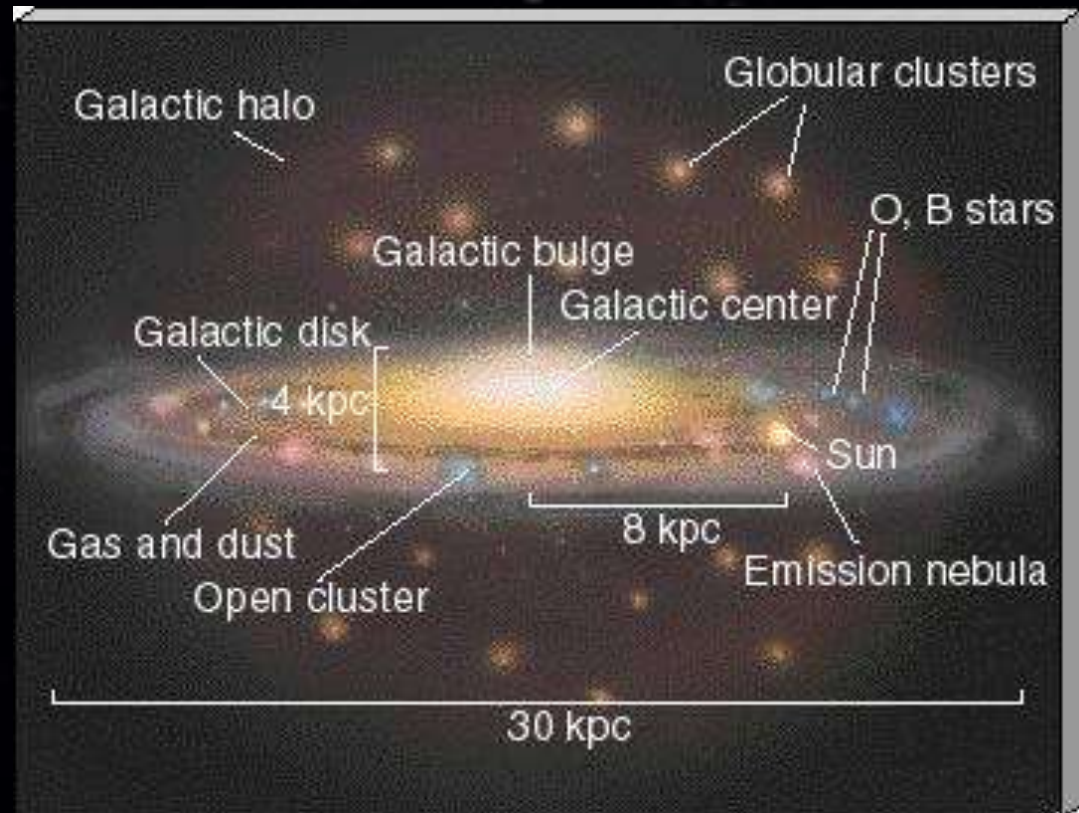
Είναι σφαιρικές συγκεντρώσεις χιλιάδων αστεριών, τα οποία συγκρατούνται μέσα στα όρια του σμήνους από ισχυρότατες ελκτικές δυνάμεις.

Η πυκνότητα τους μειώνεται σταδιακά από το κέντρο του προς τις εξωτερικές περιοχές του, έτσι ώστε **η προβολή του πάνω στην ουράνια σφαίρα να έχει τη μορφή ενός δίσκου με ασαφή όρια**, τα οποία χάνονται βαθμιαία μέσα στο αστρικό πέπλο του Σύμπαντος.



Τα **σφαιρωτά σμήνη του Γαλαξία μας, κατανέμονται σφαιρικά γύρω από το κέντρο** του καλύπτοντας έναν χώρο διαμέτρου 50 pc. Μέσα σ' αυτόν τον σφαιρικό χώρο, ο αριθμός τους ελαττώνεται όσο πλησιάζουμε το γαλαξιακό επίπεδο. Τέλος, αν φθάσουμε σε μια ζώνη πλάτους 306 pc ή 1.000 ε.φ. γύρω από το επίπεδο του Γαλαξία δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε σχεδόν κανένα σφαιρωτό σμήνος (εικόνα, αποδεδειγμένα πλαστή)

Ολόκληρο το σύστημα αυτό των σφαιρωτών σμηνών, όπως έχει αποδειχθεί, περιστρέφεται γύρω από το κέντρο του Γαλαξία μας με ταχύτητα που φθάνει τα 80 Km/sec περίπου*.



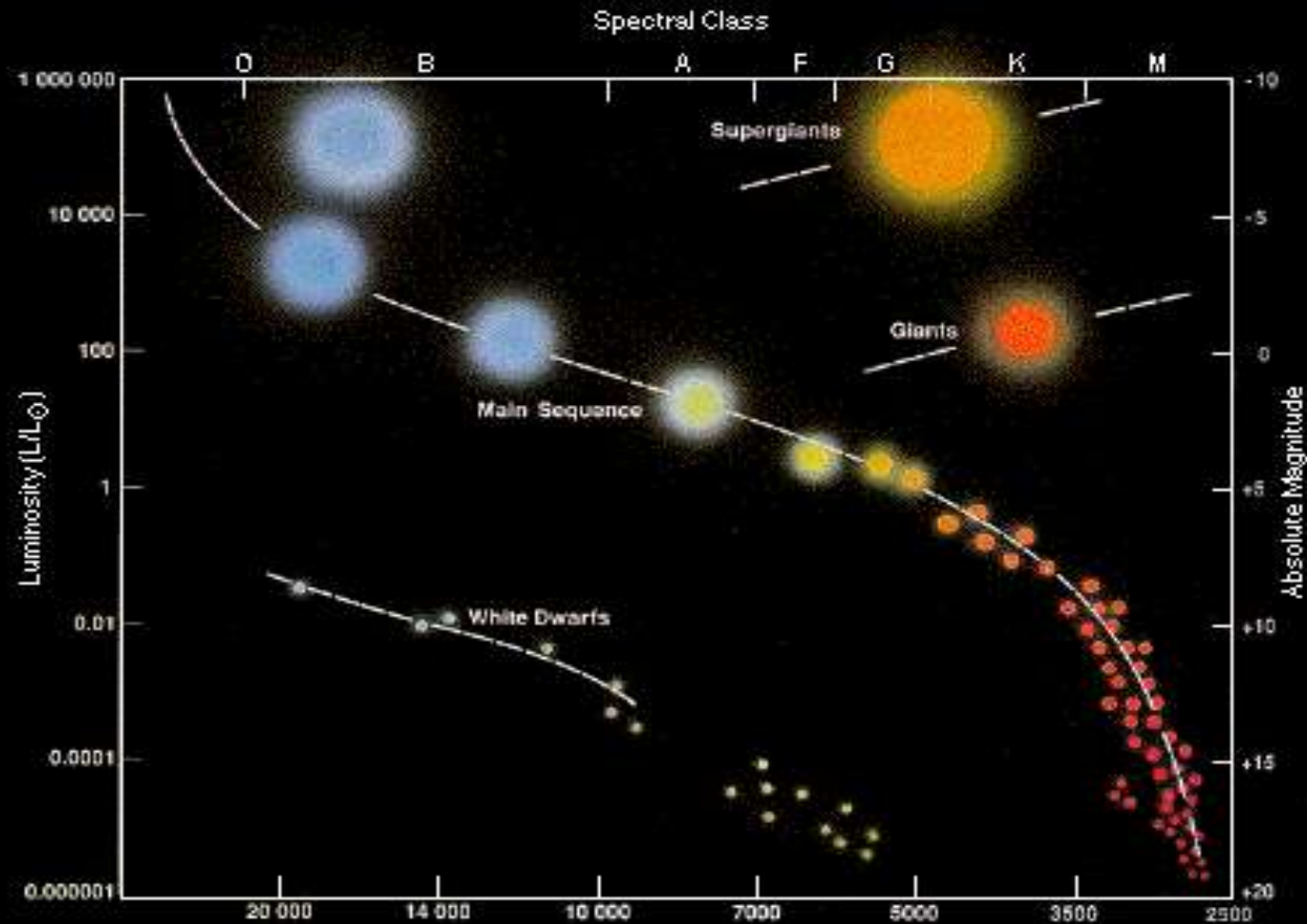
Το γεγονός όμως που κινεί το ενδιαφέρον κάθε παρατηρητή είναι ότι **τα σφαιρωτά σμήνη δεν ισοκατανέμονται γύρω μας**, αλλά η μεγαλύτερη συγκέντρωσή τους παρατηρείται προς τη διεύθυνση του αστερισμού του Τοξότη. Το φαινόμενο αυτό είναι ενδεικτικό του γεγονότος ότι **η Γη και κατ' επέκταση ολόκληρο το ηλιακό μας σύστημα δεν βρίσκεται στο κέντρο του Γαλαξία μας**.

Διάγραμμα HR Αστρικών Σμηνών

Το διάγραμμα H-R στη γενική του μορφή κατασκευάζεται από αστέρια **διαφορετικών μαζών και ηλικιών**. Αυτό σημαίνει ότι η θέση κάθε αστεριού πάνω σ' αυτό το διάγραμμα εξαρτάται και από τις δύο αυτές παραμέτρους.

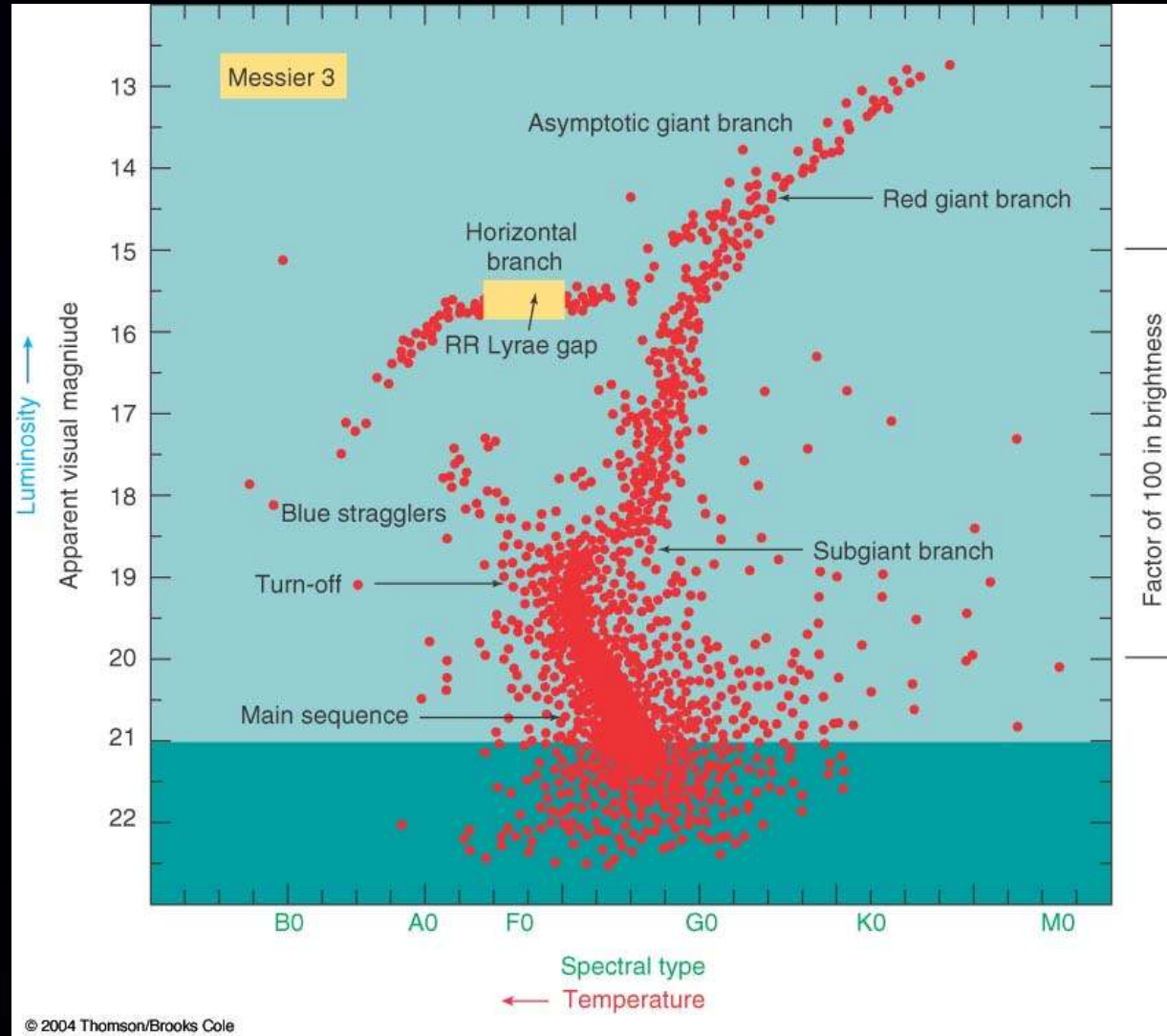
Στην **περίπτωση όμως των σμηνών**, όπως δεχόμαστε σήμερα, επειδή τ' αστέρια τους έχουν δημιουργηθεί την ίδια περίπου περίοδο, τα σχηματιζόμενα διαγράμματα H-R περιλαμβάνουν **μόνο αστέρια της ίδιας περίπου ηλικίας** και, ως εκ τούτου, η θέση τους στο διάγραμμα H-R **εξαρτάται μόνον από τη μάζα τους**. Το γεγονός αυτό μάς δίνει τη δυνατότητα να μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται αστέρια τής αυτής ηλικίας, διαφορετικής, όμως, μάζας.

Η θέση των άστρων του ίδιου Α.Σ. πάνω στο διάγραμμα Η.Ρ. εξαρτάται μόνο από τη μάζα τους



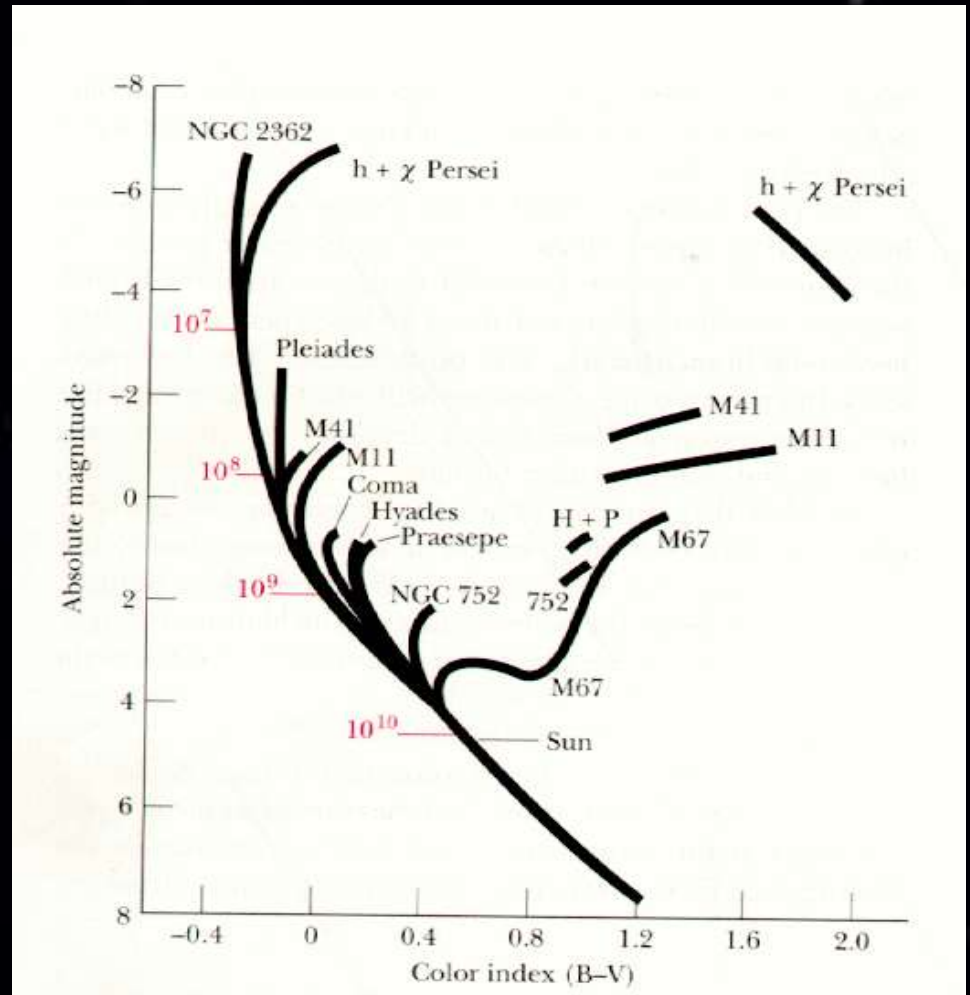
Αφού ‘όλα τα αστέρια του σμήνους γεννήθηκαν την ίδια περίοδο

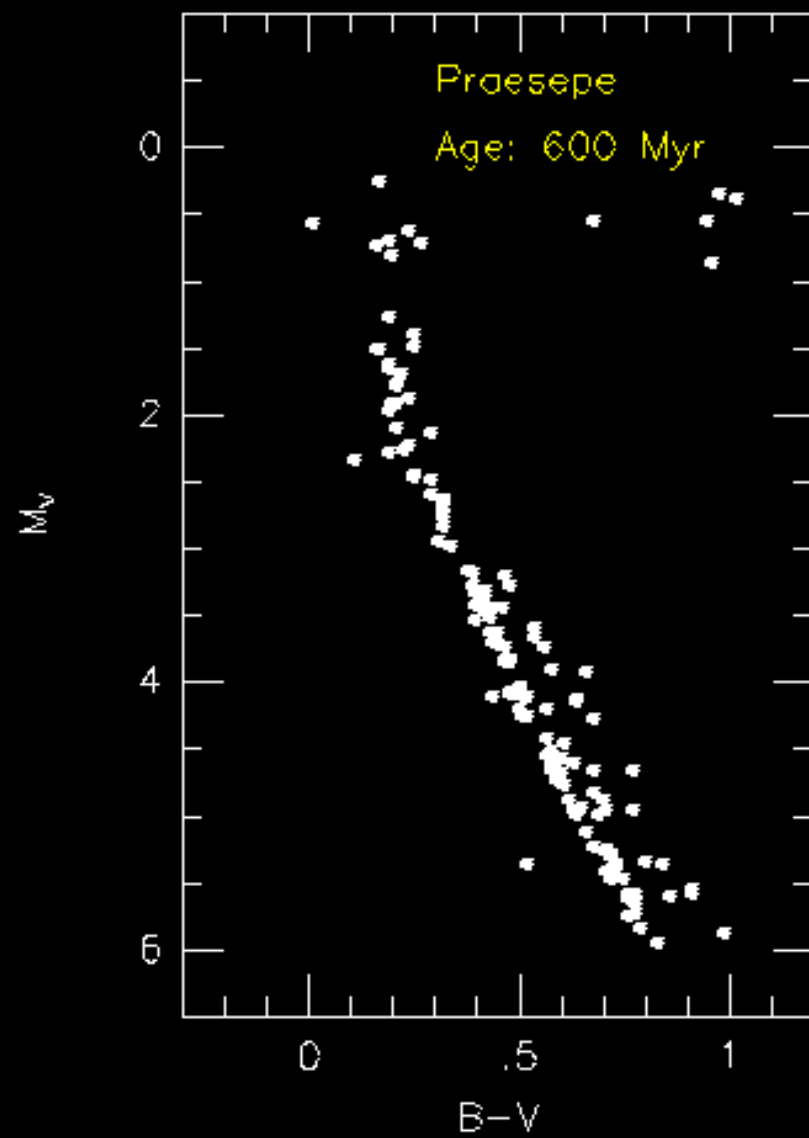
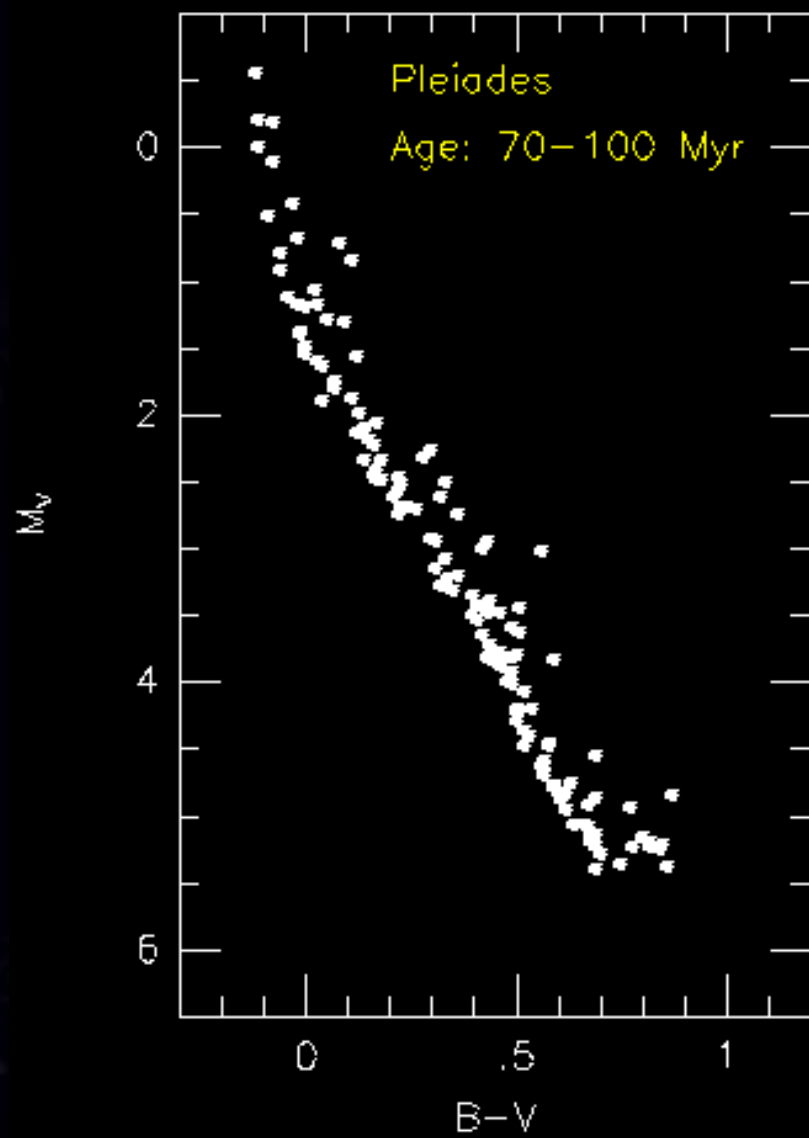
Το γεγονός αυτό μάς δίνει τη δυνατότητα να μελετήσουμε τον **τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται αστέρια της αυτής ηλικίας, διαφορετικής, όμως, μάζας.**

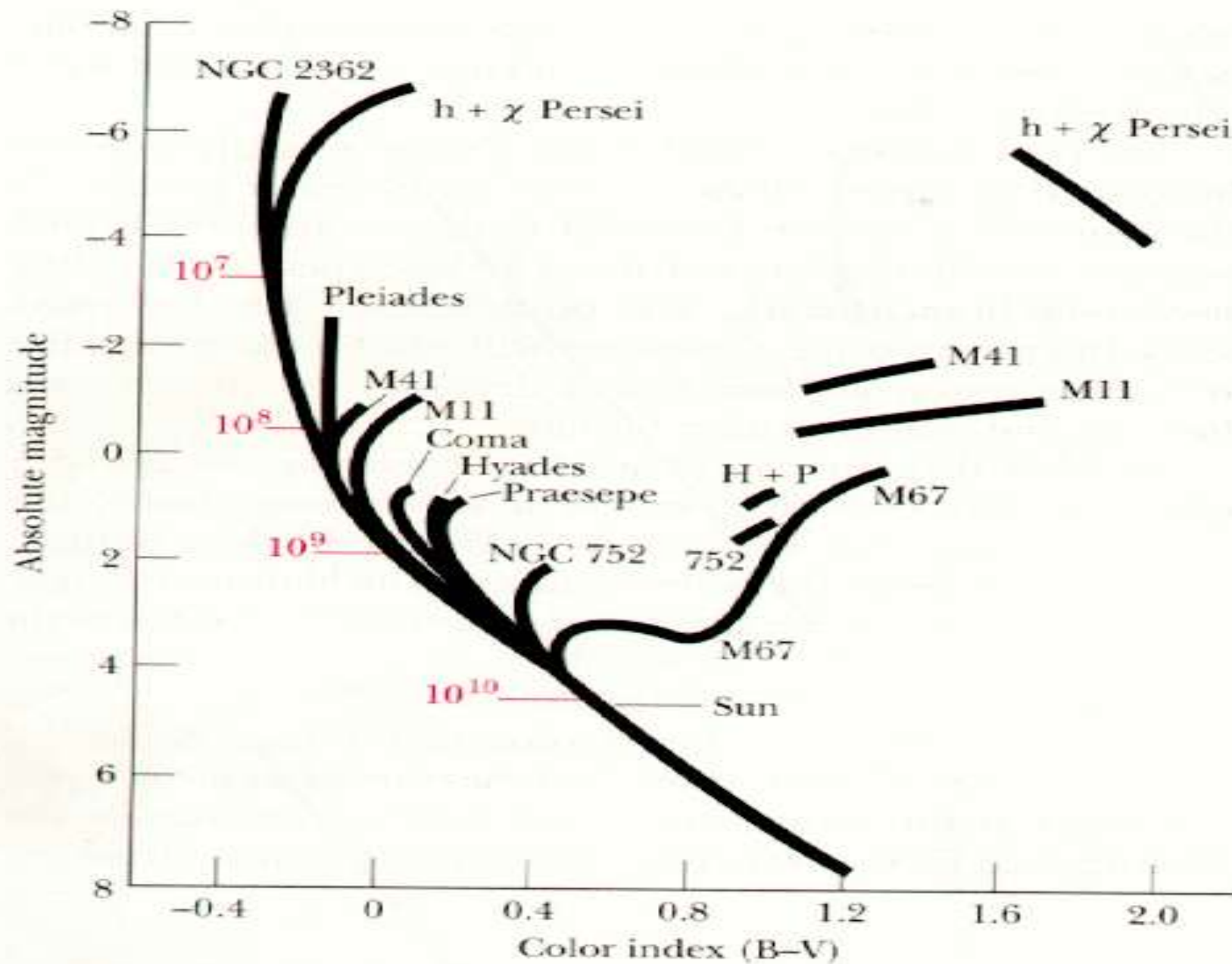


Το **διάγραμμα H-R των ανοικτών σμηνών**, όπως παρα-τηρούμε στο σχήμα παρουσιάζει μια λεπτή Κυρία Ακολουθία της οποίας το ακρότατο σημείο κάμπτεται δεξιά προς τα επάνω. Όσο νεότερο είναι ένα σμήνος, τόσο πιο ψηλά, πάνω στην Κυρία Ακολουθία, βρίσκεται το σημείο καμπής του προς τον κλάδο των γιγάντων

Αυτό συμβαίνει επειδή στα νεότερα ανοικτά αστρι-κά σμήνη, **λόγω του μικρού χρόνου ζωής τους**, μόνο τ' αστέρια της Κυρίας Ακολουθίας που είχαν μεγάλες μάζες και τα οποία βρίσκονται στην υψηλότερη περιοχή του διαγράμματος H-R έχουν προλάβει να εξελιχθούν προς τον κλάδο των γιγάντων.





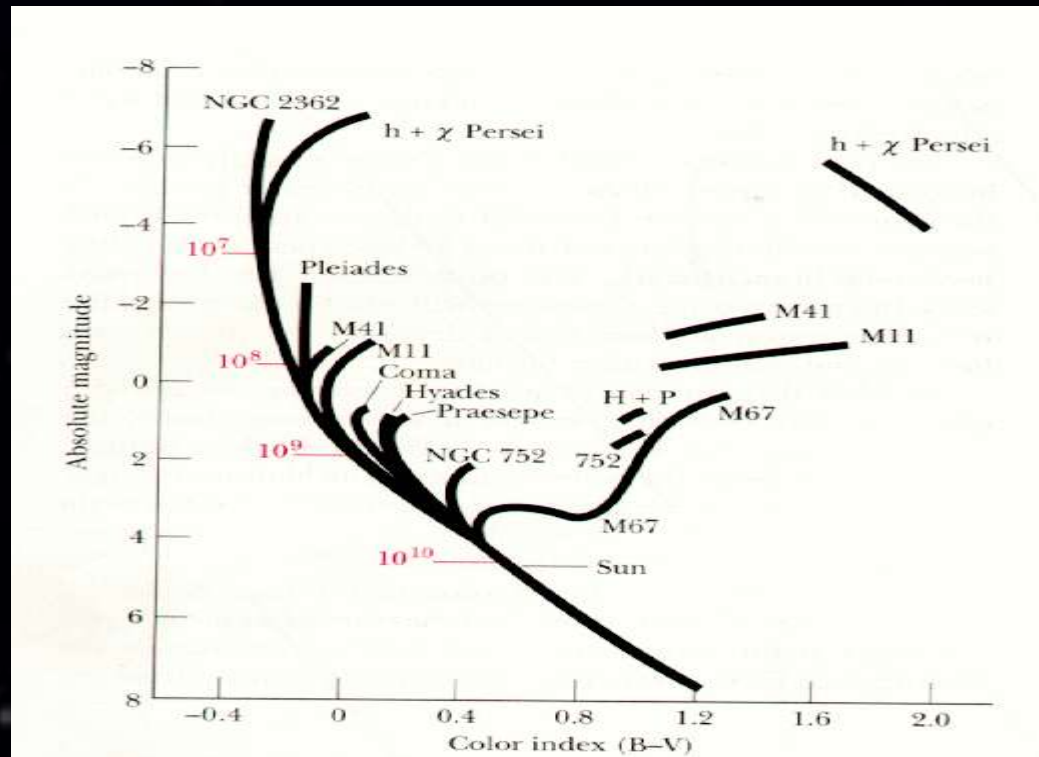


Η προηγούμενη παρατήρηση σημαίνει ότι όσο περνάει ο καιρός, τα μαζικότερα αστέρια του σμήνους, που καταλαμβάνουν τις υψηλότερες θέσεις της Κυρίας Ακολουθίας του διαγράμματος H-R, εξελίσσονται προς τον κλάδο των γιγάντων απομακρυνόμενα από την Κυρία Ακολουθία. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η Κυρία Ακολουθία να συρρικνώνεται προς τα κάτω και ως εκ τούτου το σημείο καμπής της να μετατοπίζεται όλο και πιο χαμηλά.

Ιδιαίτερο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζει η θέση που καταλαμβάνουν οι ερυθροί γίγαντες στα διαγράμματα H-R των ανοικτών σμηνών. Στα νεότερα και μέσης ηλικίας ανοικτά σμήνη, η περιοχή των ερυθρών γιγάντων είναι εντελώς απομονωμένη στην πάνω δεξιά περιοχή του διαγράμματος H-R, μακριά από την Κυρία Ακολουθία. Η κενή από αστέρες περιοχή που παρεμβάλλεται μεταξύ Κυρίας Ακολουθίας και ερυθρών γιγάντων ονομάζεται

«χάσμα Hertzsprung».

Η προηγούμενη παρατήρηση σημαίνει ότι όσο περνάει ο καιρός, τα μαζικότερα αστέρια του σμήνους, που καταλαμβάνουν τις υψηλότερες θέσεις της Κυρία Ακολουθίας του διαγράμματος H-R, εξελίσσονται προς τον κλάδο των γιγάντων απομακρυνόμενα από την Κυρία Ακολουθία. **Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η Κυρία Ακολουθία να συρρικνώνεται προς τα κάτω και ως εκ τούτου το σημείο καμπής της να μετατοπίζεται όλο και πιο χαμηλά.**



ΣΦΑΙΡΩΤΟ ΣΜΗΝΟΣ

Η πυκνή ύλη στο κέντρο του αστρικού σμήνους δημιουργεί ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο, το οποίο είναι ικανό να συγκρατήσει με την έλξη του τα αστέρια που τείνουν να απομακρυνθούν από το σύστημα.

ΒΙΝΤΕΟ



Το φυσικό αυτό φαινόμενο, που είναι και η κύρια αιτία της ευστάθειας ενός τέτοιου αστρικού συστήματος, περιγράφεται αναλυτικά μέσω του επόμενου φυσικού νόμου:

«Η μέση τιμή του τετραγώνου της ταχύτητας όλων του αστεριών ενός σμήνους είναι ανάλογη της μάζας του και αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας του».

$$V^2 = GM/2R$$

V είναι η μέση ταχύτητα των αστεριών του σμήνους

M η μάζα του σμήνους

R η ακτίνα του σμήνους

G παγκόσμια σταθερά βαρύτητας

Από θεώρημα Virial $2T + V = 0$ όπου

T η κινητική ενέργεια και **V** η δυναμική ενέργεια

$$T = 1/2(MV^2)$$

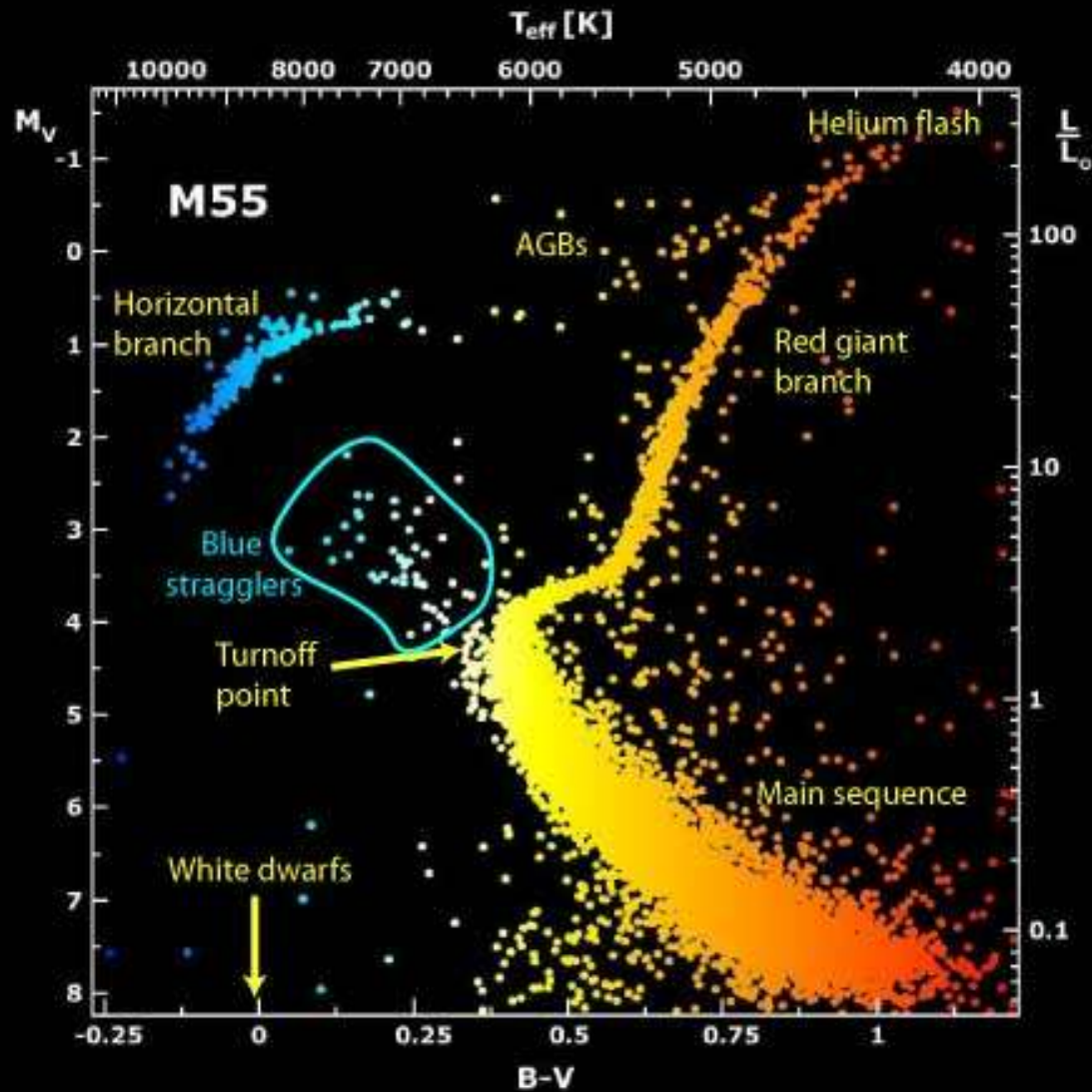
$$V = -GM^2/2R$$

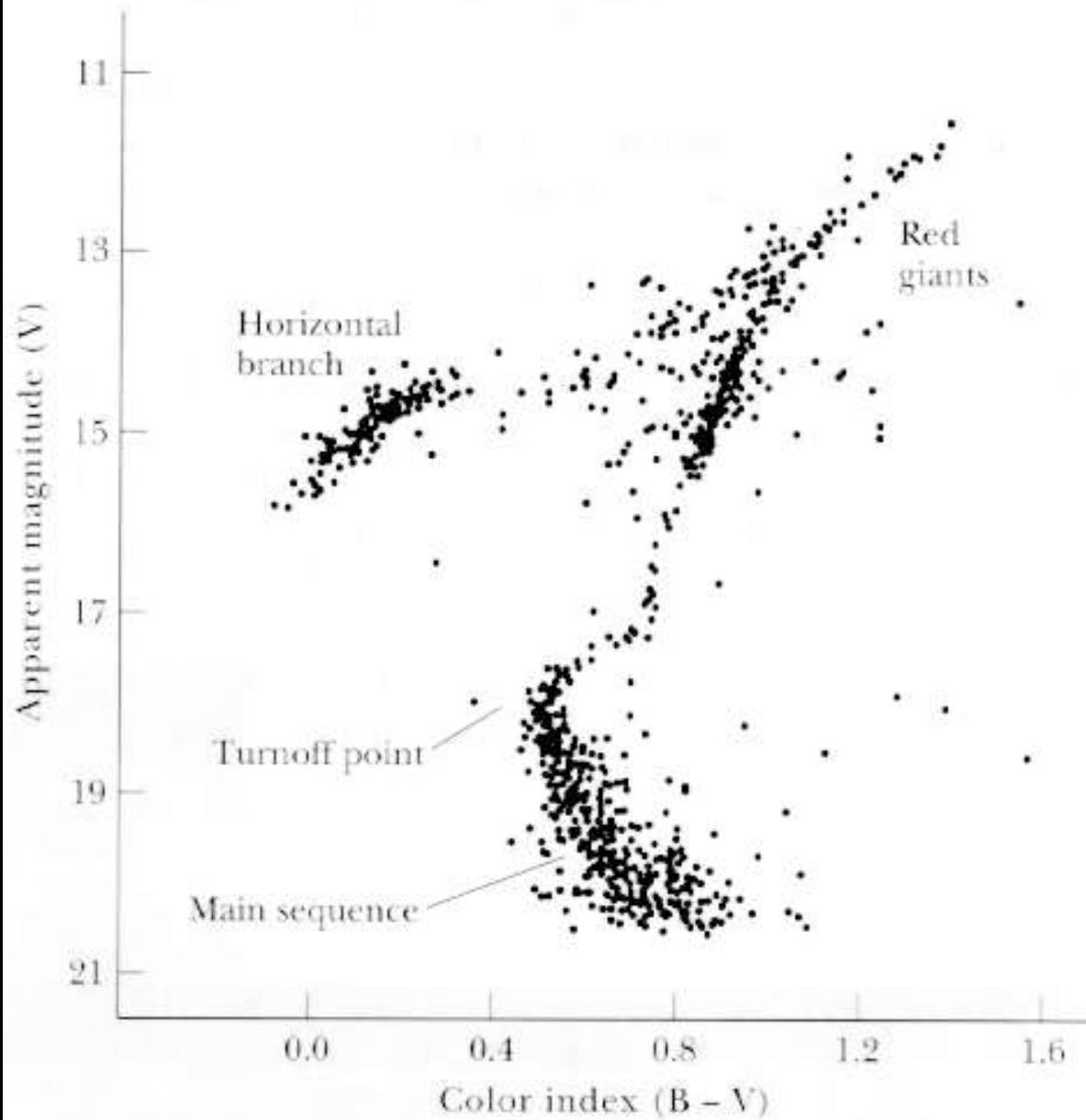
Επειδή η μέση ταχύτητα **V** είναι σταθερή πρέπει όταν φεύγει ένα αστέρι και μικραίνει το **M** να μικραίνει και η ακτίνα **R**, δηλαδή το σμήνος συσπειρώνεται



BINTEO

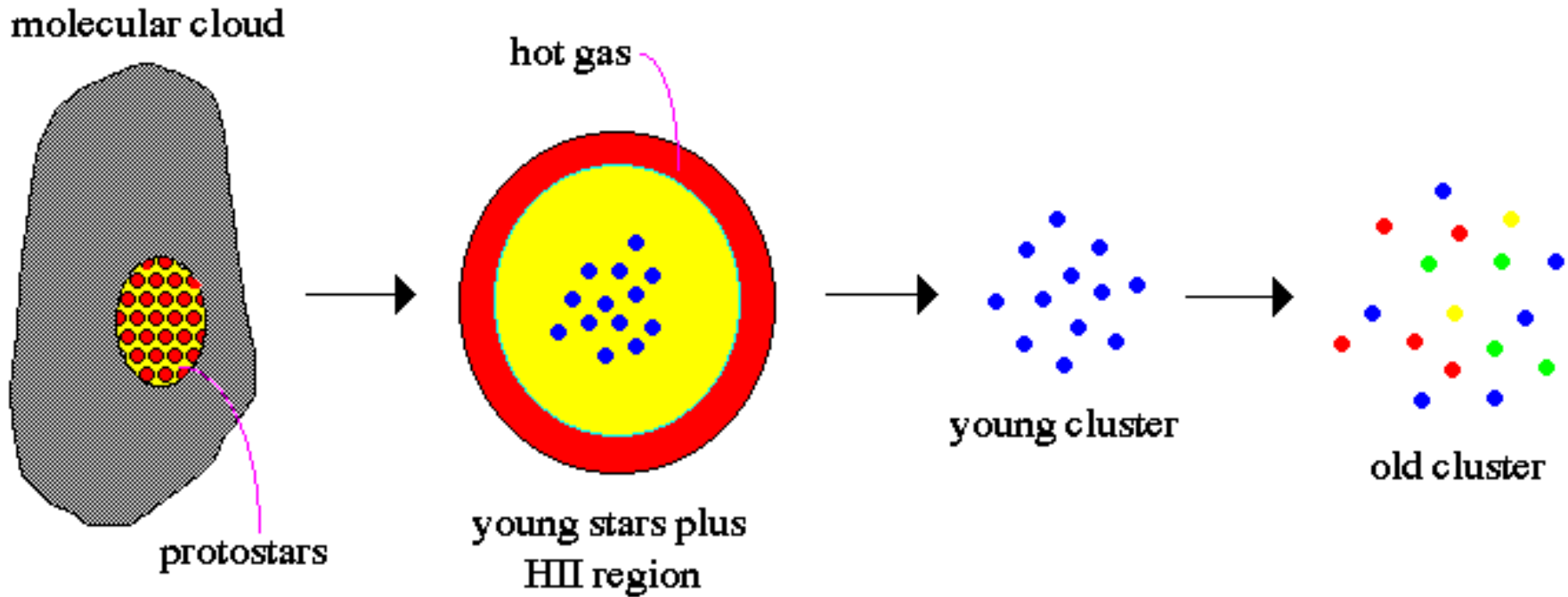
Το HR των σφαιρωτών σμηγών





ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ & ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΣΤΡΙΚΟΥ ΣΜΗΝΟΥΣ (Α.Σ.)

Star cluster formation



Από τη στιγμή της γέννησης του και μετά το Α.Σ. μεταβάλλεται λόγω της επίδρασης των ελκτικών δυνάμεων του γαλαξία, έως ότου σιγά-σιγά διαλύεται. Όσο αυτές αυξάνονται τόσο αποσπάται μάζα από το Α.Σ. Έτσι όσο πιο κοντά στο κέντρο του γαλαξία αυτό βρίσκεται, τόσο πιο εύκολα διαλύεται. Γενικά η συνοχή ενός Α.Σ. καθορίζεται από την ακτίνα του πυρήνα του.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΣΤΡΙΚΟΥ ΣΜΗΝΟΥΣ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ Α.Σ.

Η δυναμική εξέλιξη ενός αστρικού σμήνους (Α.Σ.) χαρακτηρίζεται από τη μεταβολή 3 παραμέτρων: ρ_o , r_c και r_t , όπου:

➤ ρ_o = η πυκνότητα του πυρήνα του Α.Σ. που εκφράζεται ως

$$\rho_o = \text{το πλήθος των άστρων} / \text{μονάδα όγκου}$$

r_c = η ακτίνα του πυρήνα του Α.Σ. (ο πυρήνας χαρακτηρίζει την περιοχή μεγάλης πυκνότητας του κέντρου)

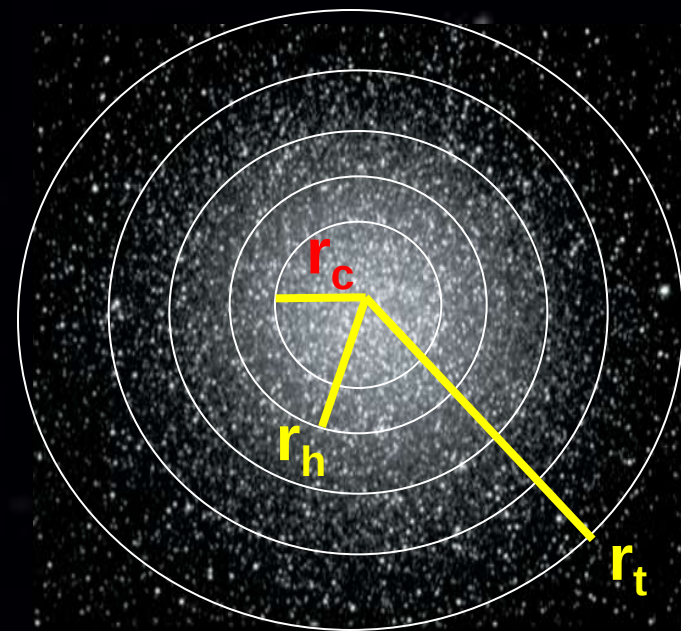
➤ r_t = η μέγιστη ακτίνα του Α.Σ. (παλιρροιακή ακτίνα) που φθάνει μέχρι τις περιοχές όπου η πυκνότητα ρ των άστρων είναι ίση με αυτή του αστρικού υπόβαθρου, δηλαδή είναι το σημείο όπου εκμηδενίζονται οι 2 “αντιμαχόμενες” δυνάμεις:

- ελκτικές δυνάμεις από το γαλαξία που τείνουν να διασπείρουν τα άστρα του Α.Σ.
- ελκτικές δυνάμεις από το Α.Σ. (παλιρροιακές δυνάμεις)

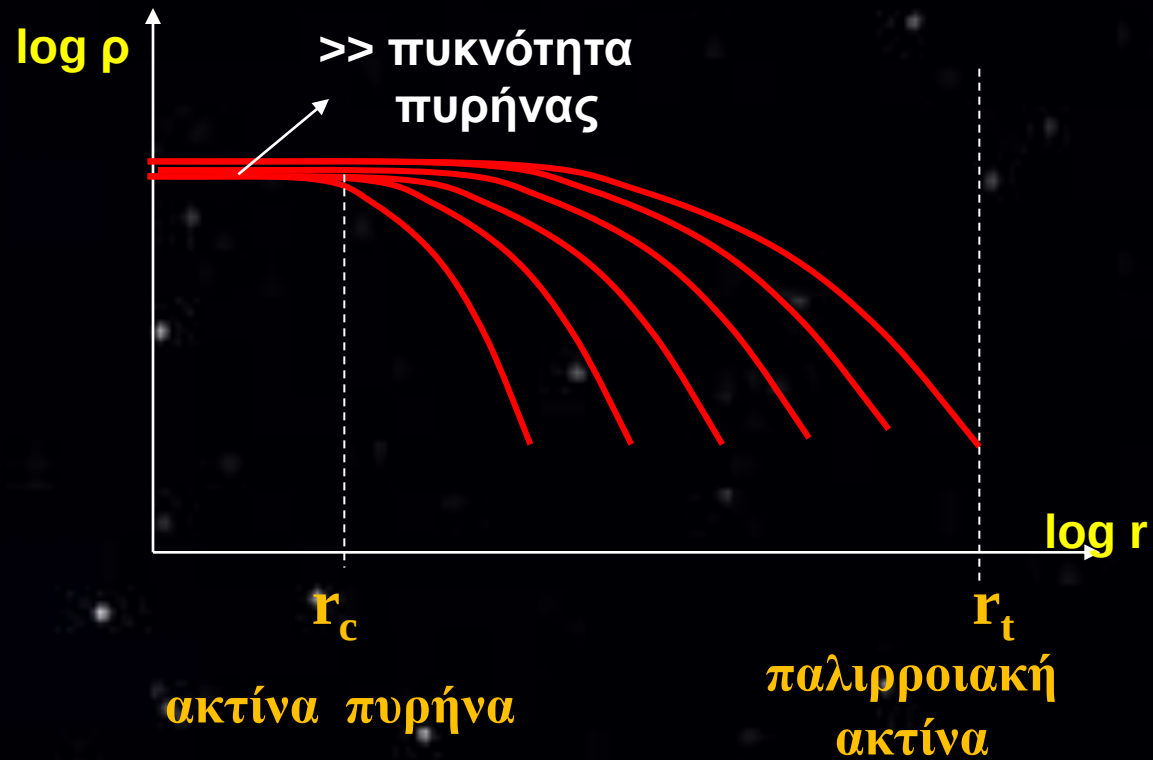
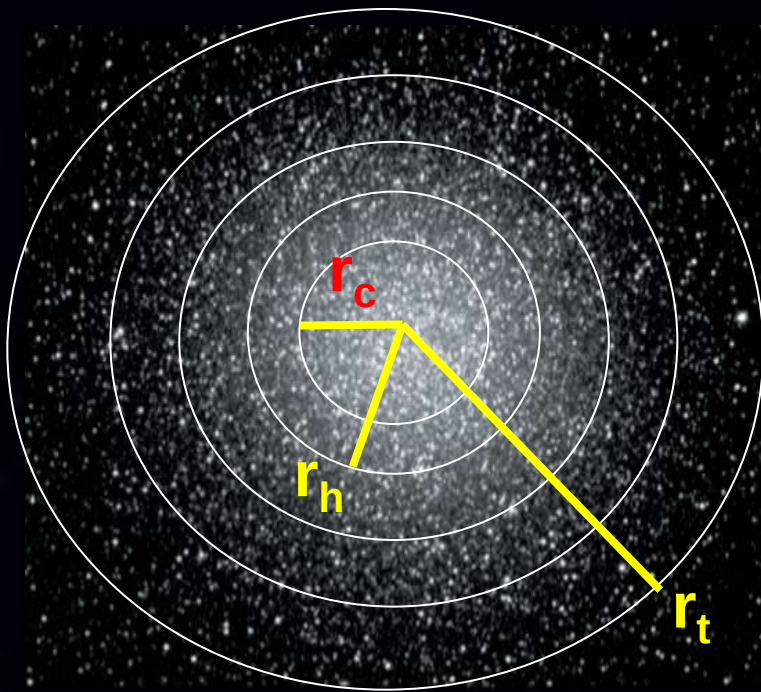
Πυκνότητα σμήνους



Κατανομή Πυκνότητας



ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ Α.Σ.



- Η πυκνότητα είναι συνάρτηση της απόστασης από το κέντρο του Α.Σ. και είναι αποτέλεσμα της κατανομής των ταχυτήτων v .
- Οι ταχύτητες v των  ακολουθούν κατανομή Maxwell.
- Τα  μικρής ή μεγάλης μάζας είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα.

ΘΑΝΑΤΟΣ ΑΣΤΡΙΚΩΝ ΣΜΗΝΩΝ

Μετά την πάροδο ενός μεγάλου σχετικά χρονικού διαστήματος το αστρικό σμήνος διαλύεται. Οι λόγοι που δύναται να συμβάλουν στη διάλυση του σμήνους είναι:

- οι δυνάμεις των  του Α.Σ. να είναι αντίρροπες προς τις ελκτικές
- να υφίσταται άσκηση δυνάμεων από  εκτός του Α.Σ.
- λόγω διέλευσης μεσοαστρικών νεφών διαμέσου του Α.Σ.
- λόγω της δράσης μεταβαλλόμενων παλιρροϊκών δυνάμεων του γαλαξία στο Α.Σ., κατά την περιστροφή αυτού γύρω από το γαλαξιακό πυρήνα
- λόγω της διαφορετικής περιστροφής του γαλαξία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τα  που βρίσκονται στις εξωτερικές περιοχές του Α.Σ. να απομακρύνονται.

Ποια η σημασία των αστρικών σημνών ?

- 1η πληροφορία : **ΧΡΟΝΟΣ**

Μέσω των Α.Σ. καταλάβαμε την πορεία της αστρικής εξέλιξης και την αποδείξαμε.

- 2η πληροφορία : **ΑΠΟΣΤΑΣΗ**

- 3η πληροφορία : ποιο είναι **ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ ΜΑΣ**

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΕΙΔΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
ΜΟΡΦΟ-ΛΟΓΙΑ	σφαιρωτά σμήνη	συγκέντρωση $C > 10^3$	$t = 10^9$ έτη	↓ πυκνότητας από το κέντρο προς τα έξω
	ανοιχτά σμήνη	συγκέντρωση $C < 10^3$	$t = 10^8$ έτη	π.χ. Πλειάδες
	σμήνη μέσα στο αέριο που δημιουργήθηκαν		$t = 10^6$ έτη	Γεννιούνται τώρα π.χ. Νέφος Μαγγελάνου
ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	Πολύ ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις		σφαιρωτά σμήνη	
	<u>Όχι</u> πολύ ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις		ανοιχτά σμήνη	ή γαλαξιακά σμήνη
ΗΛΙΚΙΑ	Νεαρός πληθυσμός	Μικρή περιεκτικότητα σε M	$2-40 M_{\text{ΗΛΙΟΥ}}$	$t=6 \cdot 10^6 - 10^9$ έτη
	Γηραιός πληθυσμός	Μεγάλη περιεκτικότητα σε M	$0,5-2,5 M_{\text{ΗΛΙΟΥ}}$	$t=10^9 - 15 \cdot 10^9$ έτη