

Τα αστρικά Σμήνη

Οι ενώσεις

Έτσι ονομάζουμε τις χαλαρές συγκεντρώσεις αστεριών που έχουν παρόμοια κίνηση, όπου η πυκνότητα της μάζας αστεριών είναι μικρότερη της 0,1 ηλιακής ανά pc³. Μετά από μερικές δεκάδες εκ. έτη οι ενώσεις διαλύονται από τις παλιρροιακές γαλαξιακές δυνάμεις. Έτσι αποτελούνται μόνο από νεαρά αστέρια. Ανάλογα τον φασματικό τύπο των λαμπρότερων αστεριών τους τις χωρίζουμε σε α) OB ενώσεις, β) R, ενώσεις αστερών B,A μέσα σε νέφη αντανάκλασης και γ) T, ενώσεις από αστέρια T- Ταύρου. Οι OB περιέχουν και πολλά μικρά αστέρια, και μερικές φορές οι T και οι R είναι μέλη των ενώσεων OB, και μοιράζονται την ίδια χωρική ενότητα.

Υπολογίζουμε ότι κάθε 1000 έτη δημιουργείται μια τέτοια ένωση στον Γαλαξία μας.

.OB ενώσεις. Τουλάχιστον το 75%, ίσως και το 100% των αστερών OB ανήκει σε μια τέτοια ένωση, βάση των κινήσεών τους. Παρατηρούνται μόνο σε σπείρες και στο γαλαξιακό επίπεδο. Σχεδόν όλες αυτές οι ενώσεις στην περιοχή κοντά στον ήλιο παρατηρούνται στη ζώνη Gould, ένα δαχτυλίδι με κλίση 20 μοίρες στο γαλαξιακό επίπεδο. Περιλαμβάνουν από 20 ως μερικές εκατοντάδες OB αστέρια και έχουν διάμετρο 10-200 pc. Μερικές έχουν έντονη διαστολή, με εκτιμωμένη ηλικία μερικά εκ. έτη. Πολλές περιέχουν δομές, άρα υπάρχουν υποσύνολα αστεριών, με διαφορά ηλικίας μερικά εκ. έτη. Περιέχουν και πολλά μικρότερα αστέρια, τα οποία επισκιάζονται από το φως των μεγάλων.

Λόγω μικρής διάρκειας ζωής των μεγάλων OB αστερών, η ηλικία τους είναι σίγουρα σχετικά μικρή.

.T ενώσεις. Περιλαμβάνουν μόνο αστέρια μικρής μάζας, από 40 ως 400 αστέρια.

.R ενώσεις. Αστέρια A,B σε νέφη αντανάκλασης. Έχουν διάμετρο συνήθως 50 pc.

Τουλάχιστον το 90% ίσως και όλα τα αστέρια δημιουργούνται σε ομάδες. Οι ομάδες που είναι

βαρυτικά δεμένες με αστέρια παρόμοιας ηλικίας αποτελούν τα σμήνη.

.Ανοιχτά σμήνη. Βρίσκονται στον γαλαξιακό δίσκο και έχουν ελάχιστη μάζα τις 1000 ηλιακές. Έχουν σχετικά λίγα αστέρια και μεγάλη ηλικιακή ποικιλία, από σμήνη με αστέρια 1 εκ ετών μέχρι σμήνη με αστέρια 10 δις ετών. Τα νεαρά ανοιχτά σμήνη βρίσκονται σε περιοχές αστρογέννησης.

.Σφαιρωτά σμήνη. Βρίσκονται στην αλω του Γαλαξία και έχουν μέχρι 1 εκ. ηλιακές μάζες. Έχουν σφαιρική συμμετρία, μεγάλη αστρική πυκνότητα (100000 ηλιακές μάζες ανά pc³) και τα παλιότερα αποτελούν τον αρχαιότερο πληθυσμό αστερών στον Γαλαξία.

Αυτός ο παραδοσιακός διαχωρισμός δεν ικανοποιεί πια την μοντέρνα αστρονομία. Μεγάθη όπως ο αριθμός αστεριών, το μέγεθος του σμήνους, η συγκεντρωση αστεριών και η ηλικία πολλές φορές είναι όμοια και στις 2 κατηγορίες. Η μορφολογία των σμηνών έχει να κάνει με την δυναμική του περιβάλλοντος κατά τη δημιουργία τους. Ο παραδοσιακός διαχωρισμός βοηθάει όταν περιλαμβάνουμε και τα εξωγαλαξιακά σμήνη.

Όλα τα αστέρια ενός σμήνους έχουν την ίδια περίπου απόσταση από τη Γη. Έτσι η διαφορά στην φαινόμενη λαμπρότητα είναι και διαφορά στη απόλυτη λαμπρότητα. Συμπεραίνουμε την ηλικία ενός σμήνους από την κατάταξη των αστερών του στο διάγραμμα H/R, αφού τα αστέρια ίδιας ηλικίας, αλλά άλλης μάζας έχουν χρονικά διαφορετική εξέλιξη. Η ηλικία, η μεταλλικότητα, ο αποχρωματισμός (κοκκίνισμα) και η απόσταση των σμηνών μας δίνουν μια καλή εικόνα για την γαλαξιακή εξέλιξη. Σε μακρινούς γαλαξίες τα σμήνη είναι τα μόνα αντικείμενα που μας δίνουν τέτοιες πληροφορίες. Επίσης μας βοηθάνε στην κατανόηση της φυσικής των αστερών.

Τα σμήνη ως αστρικοί πληθυσμοί.

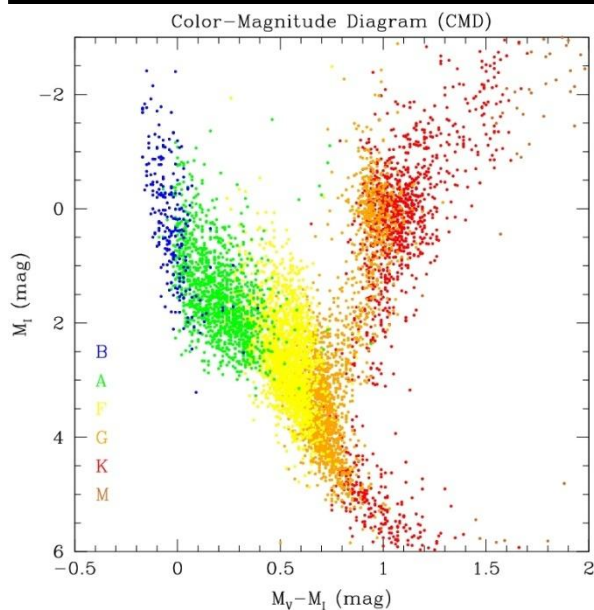
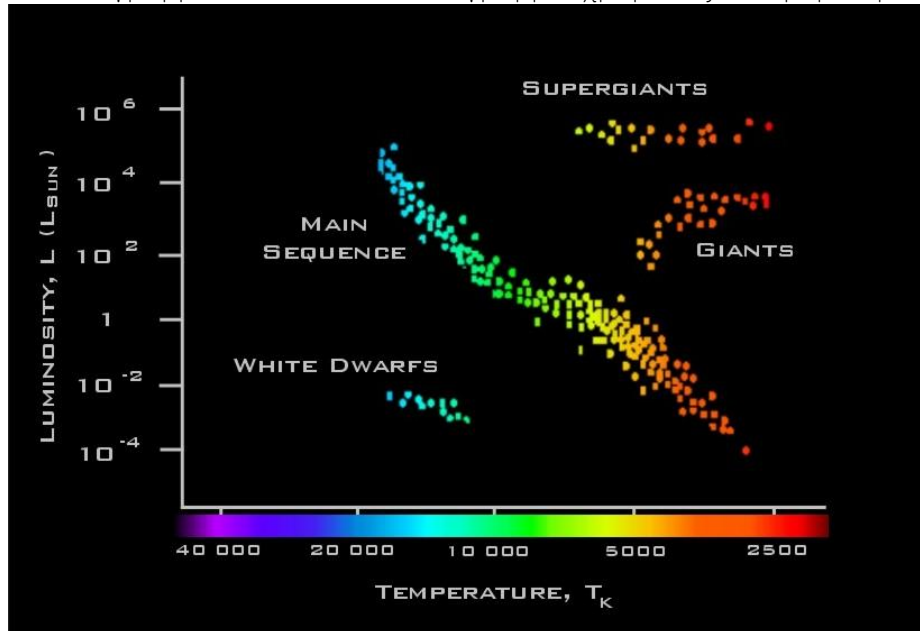
Σχετικά μεγέθη για περιγραφή πληθυσμού.

- Διάγραμμα H/R
- Διάγραμμα χρώματος- λαμπρότητας (χ/λ)
- Ηλικία
- Μεταλλικότητα
- Απόσταση
- Αποχρωματισμός

Η σχέση του H/R με το διάγραμμα χρώματος/ λαμπρότητας

Στο (θεωρητικό) H/R, η θεωρία της εξέλιξης των αστερών μας δείχνει τον δρόμο που ακολουθούν αστέρια διαφορετικής μάζας κατά την εξέλιξή τους. Η απόλυτη λαμπρότητα και η θερμοκρασία, οι 2 παράμετροι του H/R, δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμα. Αντίθετα, η φαινόμενη λαμπρότητα και το χρώμα είναι άμεσα παρατηρήσιμα. Η θεωρία συνδέει αυτά τα μεγέθη με το H/R και την μεταλλικότητα των αστερών. Οι υπολογισμοί της εξέλιξης ενός αστερά από το, θεωρητικού χαρακτήρα, H/R μπορούν να μεταφερθούν στο διάγραμμα χ/λ ενός επιθυμητού φωτομετρικού συστήματος.

Το διάγραμμα H/R και το διάγραμμα χρώματος/ λαμπρότητας.



Η μεταλλικότητα.

Η μεταλλικότητα αποτελεί (μαζί με την ηλικία) την βασική ιδιαιτερότητα ενός αστρικού πληθυσμού. Αυτές οι δύο παράμετροι μας δείχνουν την μορφολογία του διαγράμματος χ/λ ενός σμήνους. Η ακρίβεια του υπολογισμού της μεταλλικότητας πετυχαίνεται με υψηλής ανάλυσης φάσματα, και την ανάλυση της συμπεριφοράς των φασματικών γραμμών. Χοντρική μέτρηση της μεταλλικότητας αποτελεί η μέτρηση του χρώματος. Αν στο φάσμα εμφανίζονται πολλές γραμμές απορρόφησης, τότε έχουμε μια ένδειξη για υψηλή μεταλλικότητα. Το προτέρημα σε αυτή την μέθοδο είναι ότι έτσι μετράμε πολλά αντικείμενα μαζί. Είναι η μόνη δυνατότητα μέτρησης για τα εξωγαλαξιακά σμήνη.

Η κύρια ακολουθία και ο κλάδος των γιγάντων γίνονται πιο κόκκινα με την αύξηση της μεταλλικότητας (μετατοπίζονται πιο δεξιά στο διάγραμμα). Ο οριζόντιος κλάδος εξασθενεί, και τα αστέρια σε αυτόν καταλαμβάνουν την κόκκινη περιοχή τους.

Οι ισόχρονες καμπύλες.

Η γραμμή που συνδέει αστέρια ίδιας ηλικίας στις οδούς αστρικής εξέλιξης των 2 διαγραμμάτων, για διαφορετικά σμήνη, ονομάζεται ισόχρονη. Αφού τα άστρα διαφορετικής μάζας σε ένα σμήνος έχουν την ίδια ηλικία, το διάγραμμα χ/λ αποτελεί μια ισόχρονη ενός σμήνους. Τα διάφορα μέρη του χ/λ (κύρια ακολουθία, κλάδος υπογιγάντων, κλάδος γιγάντων, οριζόντιος κλάδος) αντιπροσωπεύουν καταστάσεις αστρικής εξέλιξης για ανεχόμενη μάζα, στο ίδιο χρονικό διάστημα. Για πολλά φωτομετρικά συστήματα οι θεωρητικά υπολογισμένες ισόχρονες είναι εφαρμόσιμες. Σημαντικοί παράμετροι για τις ισόχρονες αποτελούν η ηλικία, η μεταλλικότητα και η περιεκτικότητα σε ήλιο.

Η σημασία της ηλικίας.

Τα μεγάλης μάζας αστέρια εξελίσσονται πιο γρήγορα από τα μικρής μάζας. Έτσι το σημείο εκτροπής στα διαγράμματα κατευθύνεται με την αύξηση της ηλικίας ενός σμήνους προς μικρότερες λαμπρότητες. Λόγω του ότι ο αριθμός των αστεριών ανεβαίνει προς τις μικρότερες μάζες, ο κλάδος των γιγάντων και τα μεταγενέστερά του στάδια γίνονται όλο και πιο εκτεταμένα με την πάροδο του χρόνου.

Τα αστέρια σε ένα σμήνος επηρεάζονται βαρυστικά από τα γειτονικά τους, έτσι κατά την κίνησή τους μέσα σε αυτό αλλάζουν συχνά τροχιά. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα έχουν <ξεχάσει> τελείως την αρχική τους τροχιά. Τα σμήνη δεν έχουν αυστηρά καθορισμένα όρια.

Η μάζα ενός σμήνους.

Αντίθετα από τα διπλά συστήματα με μετρήσιμες παραμέτρους, στα σμήνη ο καθορισμός της μάζας είναι εξαρτώμενος από θεωρητικά μοντέλα. Γενικά, παραδοχές για την κατάσταση ισορροπίας, την ισοτροπία των τροχιών, την περιστροφή και την σφαιρική συμμετρία είναι απαραίτητες, ώστε να καθορίσουμε τη μάζα του σμήνους με τις περιορισμένες μετρήσεις μας (γωνιακή ταχύτητα, ιδία κίνηση).

Οι διάλυση των σμηνών.

Αποτελεί την βασική διαδικασία δημιουργίας του αστρικού πληθυσμού πεδίου. Συμβαίνει με 2 μηχανισμούς

1) Δυναμική αποσύνθεση. Μακροχρόνια διαδικασία διάλυσης σμηνών μεγάλης μάζας. Τα αστέρια διαφεύγουν με αργό ρυθμό από το σμήνος. Έτσι μόνο τα σμήνη μεγάλης μάζας φτάνουν την σημερινή ηλικία του σύμπαντος.

Σχετικιστικές δυνάμεις, όπως το πέρασμα ενός σμήνους κοντά από ένα νεφέλωμα ή μέσα από τον γαλαξιακό δίσκο (στην πάνω- κάτω κίνηση των αστεριών στον δίσκο) ενισχύουν την διαδικασία διάλυσης. Αρα, τα ανοιχτά

σμήνη, με την σχετικά μικρή μάζα τους, δεν ζουν όσο η σημερινή ηλικία του σύμπαντος, ενώ τα σφαιρωτά είναι μακρόβια, αλλά και δυναμικά εξελιγμένα. 2) Τα πολύ νεαρά σμήνη, που βρίσκονται ακόμα στο μητρικό τους νέφος από αέρια και σκόνη (embedded clusters) έχουν την ακόλουθη διαδικασία διάλυσης. Δέχονται εισροή ενέργειας από σ. νόβα, αστρικούς ανέμους και αστρικούς πίδακες (ιδίως από τα μεγάλης μάζας αστέρια). Η σκόνη και το αέριο απωθούνται από το σμήνος, με συνέπεια την απώλεια μάζας. Το υπόλοιπο σμήνος κινείται με την ταχύτητα του αρχικού, μεγαλύτερου σμήνος, με συνέπεια να είναι πολύ γρήγορο για την μάζα που απομείνει να το συγκρατήσει βαρυτικά, ιδίως όταν τερματίσουν τα μεγάλα αστέρια τους την ζωή τους. Το σμήνος προσπαθεί να ισορροπήσει μέσω της διαστολής του, χωρίς επιτυχία. Έτσι διαλύεται γρήγορα, όταν η απώλεια σε αέριο φτάσει το 50% της αρχικής μάζας του.

Η δυναμική εξέλιξη.

Τα άστρα μικρής μάζας αποκτούν μεγαλύτερες ταχύτητες. Τα απόκεντρα μεγαλώνουν. Τα μεγάλης μάζας άστρα χάνουν ταχύτητα και βυθίζονται στο κέντρο του σμήνος. Σε σμήνη με μεγάλη πυκνότητα, ο πυρήνας του γίνεται όλο και πιο πυκνός, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τριπλά συστήματα.

Η αναλογία αστέρων μικρής- μεγάλης μάζας.

Υπάρχουν πολύ περισσότερα αστέρια μικρής μάζας από ότι μεγάλης. Έχει να κάνει με την περιεκτικότητα του νεφελώματος σε μέταλλα και την πυκνότητά του. Αν είναι φτωχό σε μέταλλα, τα αστέρια γεννούνται μόνο από μεγάλες περιοχές νεφελωμάτων. Αν όμως έχει αρκετά μέταλλα, μπορούν να γεννηθούν αστέρια απόμικρότερες περιοχές, άρα πιο μικρά. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μέταλλα βοηθούν να ψυχθεί το νεφέλωμα, ώστε να μπορέσει τοπικά να υπερिशύσει η βαρύτητα έναντι της θερμότητας (κινητικότητα των μορίων) και να αρχίσει η κατάρρευση, με αποτέλεσμα την δημιουργία αστέρων. Τα σμήνη με ελάχιστα μεγάλα αστέρια δεν εμπλουτίζονται σημαντικά, μέσω των εκρήξεων σ. νόβα, από βαρύτερα υλικά. Οι σ. νόβα συμβάλλουν καθοριστικά στην διάλυση του νέφους, απελευθερώνοντας το σμήνος από το αέριο. Τα σμήνη με μεγάλα αστέρια χάνουν γρήγορα μάζα, άρα και συνοχή, γιατί ένα σημαντικό μέρος της μάζας τους αποτελούν τα βραχύβια μεγάλα αστέρια, που μετά από λίγα εκ. έτη δεν θα υπάρχουν πια. Υπάρχει η άποψη πως πρέπει να γεννούνται πρώτα τα μικρής μάζας και μετά τα μεγάλης, αλλιώς θα εμπόδιζε η παρουσία τους την δημιουργία μικρών αστέρων. Επίσης τα μεγάλης μάζας αστέρια <ανάβουν>, δηλαδή ξεκινούν την σύντηξη, πιο γρήγορα από τα μικρής μάζας.

Τα ανοιχτά σμήνη

Γενικά

Η μορφολογία.

Η τυπική τους διάμετρος είναι μερικά παρσεκ. Η πυκνότητα ποικίλλει, από ελαφρά στατιστική αύξηση του πληθυσμού στο πεδίο, μέχρι μεγάλη συγκέντρωση αστέρων. Η ηλικία και ο βαθμός συγκέντρωσης καθορίζουν τη μορφολογία του σμήνος. Σε νεαρά πλούσια σε αστέρια σμήνη κυριαρχούν τα φάσματα μεγάλων αστέρων, ενώ στα πιο παλαιά τα φάσματα παρουσιάζουν διάχυση.

Ο καθορισμός του πληθυσμού.

Η καλύτερη μέθοδος καθορισμού του πληθυσμού είναι η μέτρηση γωνιακής ταχύτητας ή σε κοντινά σμήνη η μέτρηση της ίδιας ταχύτητας του σμήνος. Το μέγεθος ενός σμήνος ποικίλλει από 100 ηλ. μάζες ως μερικές δεκάδες χιλιάδες, που είναι ο μέσος όρος των σφαιρωτών σμηνών.

Υπάρχουν σμήνη που δεν ταιριάζουν ούτε στα ανοιχτά ούτε στα σφαιρωτά.

Ανοιχτά σμήνη του Γαλαξία μας.

Όταν μπορούμε να μετρήσουμε την απόσταση, την ηλικία, τον αποχρωματισμό και την μεταλλικότητα για τα σμήνη, αυτά μας χρησιμεύουν ως δείκτες αυτών των παραμέτρων στον Γαλαξιακό μας δίσκο. Σε 1800 σμήνη έχουμε μετρήσει την απόσταση των 1100, την ηλικία των 950, αλλά μόνο την μεταλλικότητα από 140 σμήνη. Τα νεαρά σμήνη είναι συγκεντρωμένα στον δίσκο, ενώ τα παλιότερα και στις παρυφές του Γαλαξία (σήμερα δεν υπάρχουν πια νεφελώματα αστρογέννησης εκεί).

Τα νεαρά σμήνη είναι πολύ περισσότερα από τα παλαιά. Μόνο τα μεγάλης μάζας σμήνη φτάνουν σε μεγάλη ηλικία. Ο μέσος όρος ζωής των σμηνών εκτιμάται στα 300 εκ. έτη. Αυτό συμφωνεί με τον χρόνο διάλυσης ενός τυπικού σμήνος 100 αστέρων, 1000 ηλ. μαζών και διαμέτρου 1 παρσεκ. Πολύ λίγα σμήνη έχουν χαμηλή μεταλλικότητα. Δεν παρατηρούμε μεγάλη διακύμανση στις μεταλλικότητες των σμηνών του δίσκου μας.

Πολλά σμήνη βρίσκονται ακόμη μέσα σε νεφελώματα με πολύ σκόνη. Έτσι είναι αόρατα, μπορούμε να τα δούμε μόνο στο υπέρυθρο. Η ηλικία τους είναι 0,5 - 3 εκ. έτη. Οι μάζες τους είναι από 20 ως 1700 ηλιακές, με μεγαλύτερο αυτό του τραπεζιού του Ωρίωνα. Τα περισσότερα αστέρια γεννούνται σε τέτοια <αόρατα> σμήνη. Μόνο το 4-7% των σμηνών αυτών επιβιώνει αρκετά, ώστε να καθαρίσουν από τη σκόνη και να γίνουν ορατά. Τα περισσότερα διαλύονται πολύ γρήγορα.

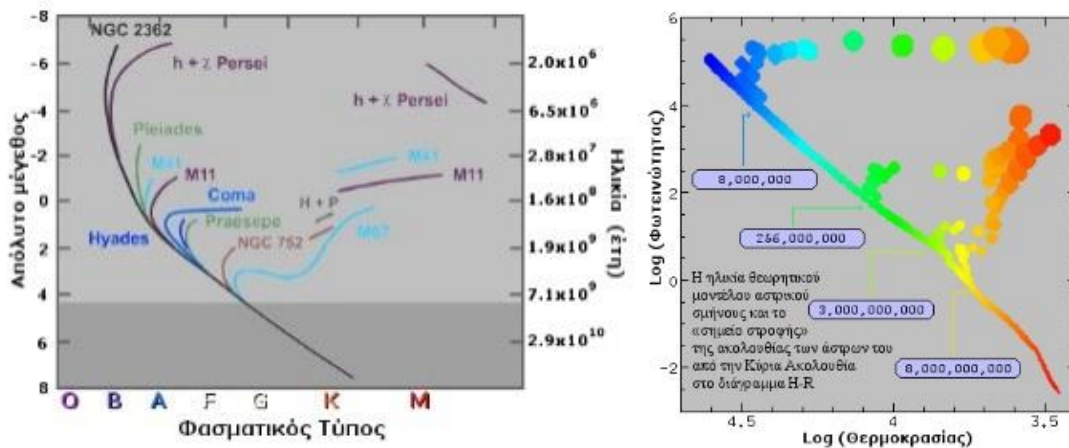
Η εξέλιξη των αστέρων μετά την κ. ακολουθία γίνεται πολύ σύντομη. Οι γίγαντες που καίνε ήλιο δεν είναι συνήθως παρατηρήσιμοι στα σμήνη, λόγω του πολύ μικρού αριθμού αστέρων σε ένα σμήνος, αρα και μικρής πιθανότητας ύπαρξής τους. Έτσι σπανίζουν και οι Κηφειδες σε αυτά. Η μετακίνηση του σημείου εκτροπής δείχνει την εξέλιξη του σμήνος στο χρόνο. Αρχίζει να εμφανίζεται ασυμπτωτικός κλάδος (καύση υδρογόνου και ηλίου στον φλοιό). Σε παλιότερα σμήνη βρίσκουμε αστέρια δ Σκουτι στον κλάδο των υπογιγάντων. Η ανακάλυψη λευκών νάνων είναι δύσκολη σε σμήνη, γιατί συνήθως κρύβονται από τον συνοδό τους. Λόγω της ασύμμετρης απώλειας μάζας του άστρου από το οποίο προέρχεται ένας λ. νάνος, αυτός μπορεί να αποκτήσει την ταχύτητα διαφυγής από το σμήνος. Στα σμήνη υπάρχουν και οι blue stragglers, άστρα με μεγαλύτερη θερμοκρασία και λαμπρότητα από το σημείο εκτροπής της κ. ακολουθίας. Έχουν μεγαλύτερη μάζα από ότι επιτρέπει η κανονική αστρική εξέλιξη. Μάλλον παίρνουν μάζα από συνοδό ή προέρχονται από σύγκρουση αστεριών. Είναι συγκεντρωμένα στο κέντρο του σμήνος, περισσότερο στα σφαιρωτά σμήνη.

Κινητικά σμήνη (υποκατηγορία των ανοιχτών, co-moving group).

Πολύ χαλαρής σύνδεσης σμήνη, στα οποία η σχέση των αστεριών φαίνεται μόνο από την κοινή τους κίνηση στο χώρο.

Σφαιρωτά σμήνη.

Αυτό που τα διαχωρίζει από τα ανοιχτά είναι η μεγάλη τους ηλικία. Τσωςμερικά νεαρά ανοιχτά σμήνη του γαλαξιακού δίσκου να εξελιχτούν σε σφαιρωτά. Το μεγαλύτερο μέρος των σφαιρωτών είναι συγκεντρωμένο σε μια ακτίνα 40 kpc, και τα πιο μακριά στα 100 kpc. Οι μάζες τους ποικίλλουν από 700 ως 2,5 εκ. ηλ. μάζες. Η μεταλλικότητά τους είναι από (Fe)/(H) - 2,3δεχως αυτή του ηλίου. Η εσωτερική τους ομοιογένεια διαφέρει για κάποια στοιχεία. Ο σίδηρος και τα μέταλλα της ομάδας του είναι πολύ ομογενή, ενώ για τα στοιχεία (C), (N), (O), (Na), (Mg), (Al) η ανομοιογένεια είναι κανόνας. Τα σμήνη στην Γαλαξιακή αλω εμφανίζονται πιο πλούσια σε μέταλλα από αυτά στην κοιλιά του Γαλαξία. Εντύπωση κάνει η διαφορά αναλογίας των (C), (N) στους ερ. γίγαντες (πλούσιοι και φτωχοί σε (C), (N) γίγαντες). Αιτία για αυτό είναι ο κύκλος σύντηξης CNO σε ερ. γίγαντες με κέλυφος συναγωγής, που αλλάζει τη σύσταση της επιφάνειας αυτών των άστρων. Ανάλογες ανωμαλίες βρέθηκαν και σε αστέρια της κ. ακολουθίας, ως αποτέλεσμα του εμπλουτισμού τους από αστέρια του ασυμπτωτικού κλάδου.



Οι φάσεις εξέλιξης των αστερών μικρής μάζας.

Η διαφορά των διαγραμμάτων χρώματος- λαμπρότητας των σφαιρωτών σε σχέση με τα πολύ νεότερα ανοιχτά είναι ότι τα άστρα μικρής μάζας στα σφαιρωτά έχουν φτάσει σε προχωρημένα στάδια εξέλιξης.

.Στην κ. ακολουθία τα άστρα καίνε το υδρογόνο σε ήλιο στον πυρήνα. Η μέση μάζα τους στο σημείο εκτροπής (turn-off point) είναι 0,8 ηλιακές.

.Ο κλάδος των υπογιγάντων (subgiant branch-SGB). Τα αστέρια που μετά την κύρια ακολουθία μπαίνουν σε αυτόν, καίνε υδρογόνο στον φλοιό έξω από τον πυρήνα, με αποτέλεσμα ο πυρήνας τους, που πλέον αποτελείται από ήλιο, να συστέλλεται, απελευθερώνοντας ενέργεια που διαστέλλει τα εξωτερικά στρώματα του άστρου, που έτσι ψύχονται. Η λαμπρότητά του δεν αλλάζει πολύ, αλλά πέφτει η θερμοκρασία της επιφάνειας του αστέρα (μετακίνηση στο διάγραμμα προς τα δεξιά).

.Ο κλάδος των γιγάντων (red giant branch-RGB).Ο πυρήνας εκφυλίσεται, στο κέλυφος του αστέρα γίνεται συναγωγή (ανακάτεμα εσωτερικής με εξωτερικής ύλης), και το αστέρι αναζητεί ισορροπία μέσω ισχυρής διαστολής, όταν βρίσκεται στην κορυφή του κλάδου. Έχουμε την εκρηκτική καύση του ηλίου στον πυρήνα (heliumflash), που μάλλον συνοδεύεται από ισχυρή απώλεια μάζας (δεν έχει παρατηρηθεί άμεσα, αρα μάλλον είναι μια πολύ βραχύβια φάση, που όμως δεν συμβαίνει στα μεγάλα αστέρια.)

.Ο οριζόντιος κλάδος (horizontal branch-HB). Σε αυτόν το αστέρι πετυχαίνει μια νέα ισορροπία, μέσω (ομαλής) καύσης ηλίου στον πυρήνα και καύσης υδρογόνου στον φλοιό. Η θέση του άστρου στον ορ. κλάδο έχει να κάνει με την μεταλλικότητά του (όσο πιο χαμηλή, τόσο πιο μπλε), αλλά και με την μάζα του μετά από την απώλεια μάζας στην κορυφή του RGB.

.Ο ασυμπτωτικός κλάδος γιγάντων (asymptotic giant branch-AGB). Όταν το αστέρι βρίσκεται πια σε αυτόν στο διάγραμμα H/R, έχουμε σε αυτό καύση υδρογόνου και ηλίου στους φλοιούς, ενώ στο διαστελλόμενο κέλυφος γίνεται πάλι συναγωγή. Ο εκφυλισμένος πυρήνας αποτελείται πλέον από άνθρακα και οξυγόνο. Το κέλυφος είναι ασταθές, με θερμικούς παλμούς και μεγάλη απώλεια μάζας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλανητικού νεφελώματος και εξέλιξης του άστρου σε λ. νάνο.

Υπάρχουν διαφορές στη μορφολογία των διαγραμμάτων ανάμεσα σε πλούσια και φτωχά σε μέταλλα σφαιρωτάσμήνη.

Πλούσια σε μέταλλα.

Η κ. ακολουθία και ο κλάδος γιγάντων είναι πιο κόκκινα, και ο οριζόντιος κλάδος σε μεγάλη αναλογία (Fe)/(H) μπορεί να εκφυλιστεί σε μικρούς κόμπους (η αποτύπωση στο διάγραμμα).

Φτωχά σε μέταλλα.

Η κ. ακολουθία και ο κλάδος των γιγάντων είναι πιο μπλε και ο οριζόντιος κλάδος πιο εκτεταμένος και μετατοπισμένος στο μπλε. Σε μεγάλης ηλικίας σμήνη το χρώμα είναι ένας καλός οδηγός της μεταλλικότητας, κάτι πολύ σημαντικό για τα αμυδρά εξωγαλαξιακά σμήνη.

Η ηλικία των σφαιρωτών σμηνών.

Απόλυτη ηλικία.

Η ηλικία των σφαιρωτών ορίζεται κατά κανόνα απο την απόλυτη λαμπρότητα του σημείου εκτροπής της κ. ακολουθίας. Η ηλικιακή κλίμακα εδραιώνεται με θεωρητικές ισόχρονες. Παράγοντες ανασφάλειας των αποτελεσμάτων αυτών είναι ο βαθμός κατανόησης των ισόχρονων (της φυσικής των αστέρων), ο βαθμός της συναγωγής, καθώς και η χημική σύσταση, η μεταλλικότητα, ο αποχρωματισμός κ. λ. π. Έτσι η απόλυτη ηλικία είναι αβέβαιη κατά 2 δις έτη, με μέγιστη τα 14 δις έτη, αποτέλεσμα που συμφωνεί αρκετά με τα κοσμολογικά μοντέλα της ηλικίας του σύμπαντος.

Σχετική ηλικία.

Οι σχετικές ηλικίες υπολογίζονται πιο εύκολα. Ένα μέτρο ηλικίας είναι η διαφορά λαμπρότητας μεταξύ του σημείου εκτροπής και του οριζοντίου κλάδου. Η μέτρηση αυτή δεν επηρεάζεται από την απόσταση ή την απορρόφηση ακτινοβολίας από τη μεσοαστρική ύλη, αφού δεν αποτελεί απόλυτη μέτρηση. Η λαμπρότητα του οριζοντίου κλάδου μειώνεται με την αύξηση της μεταλλικότητας, όπως και η λαμπρότητα του σημείου εκτροπής. Έτσι η μεταλλικότητα έχει δευτερεύουσα σημασία σε αυτήν την μέτρηση (δεν επηρεάζει την διαφορά λαμπρότητας τους). Το συμπέρασμα είναι ότι δεν έχουν όλα τα σφαιρωτά την ίδια ηλικία. Τα φτωχά σε μέταλλα έχουν την ίδια ηλικία, περίπου 13 δις έτη, όπως και τα πλούσια σε μέταλλα της Γαλαξιακής κοιλιάς. Νεαρότερα σφαιρωτά βρίσκουμε στην άλω (από 7 δις ετών). Σε άλλους γαλαξίες έχουμε ανακαλύψει νεαρότερα σφαιρωτά σμήνη.

Η δυναμική τους.

Στα σφαιρωτά παρατηρούμε μείωση των μικρών αστέρων στο κέντρο τους. Τα μεγάλα αστέρια κινούνται πιο αργά, με αποτέλεσμα να πέφτουν προς το κέντρο του σμήνους. Τα μικρά αστέρια στις εξωτερικές τους περιοχές διαφεύγουν εύκολα, λόγω των παλλιροϊκών δυνάμεων του Γαλαξία. Έτσι μένει ένα κέντρο με σχετικά μεγάλη αναλογία σε μεγαλύτερα άστρα (τα πολύ μεγάλα έχουν εκραγεί απο νωρίς). Στο Tucanae 47 παρατηρήθηκε η μετανάστευση λ. νάνων (υπολείμματα αστέρων μετά από μεγάλη απώλεια μάζας) από το κέντρο προς τις εξωτερικές περιοχές του σφαιρωτού σμήνους, λόγω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων με αστέρες μεγαλύτερης μάζας.

Η κίνηση των σφαιρωτών γύρω από τον Γαλαξία είναι πολύ ελλειπτική. Τα σφαιρωτά έχουν απώλεια σε άστρα, που σταδιακά πρέπει να οδηγήσει στη διάλυσή τους.

Οι μεταβλητοί αστέρες στα σφαιρωτά σμήνη.

Η μεταβλητότητα εμφανίζεται, όταν μια ισόχρονη περάσει από την λωρίδα αποσταθεροποίησης. Τα αστέρια παρουσιάζουν μεταβλητότητα στον οριζόντιο κλάδο (άστρα RR Λυρας) και στον ασυμπτωτικό κλάδο γιγάντων (άστρα W- Παρθένου). Έτσι, αν κάποια σμήνη έχουν πολύ χαμηλό δείκτη μεταλλικότητας $(Fe)/(H)$, σημαίνει ότι έχουν τον οριζόντιο κλάδο τελείως στην μπλε πλευρά της λωρίδας αποσταθεροποίησης, άρα λίγα ή καθόλου άστρα RR Λύρας. Σμήνη με πολύ υψηλό δείκτη $(Fe)/(H)$ έχουν τον ορ. κλάδο στην κόκκινη πλευρά της λωρίδας, άρα πάλι λίγα ή καθόλου RR. Μόνο τα σμήνη με μεσαίο δείκτη $(Fe)/(H)$ ή με ανώμαλο οριζόντιο κλάδο έχουν πολλά άστρα RR Λυρας. Εκτός απο τον δείκτη αυτόν, και η μορφολογία του οριζοντίου κλάδου αποτελεί μια σημαντική παράμετρος.

Τα σμήνη με αστέρια RR δείχνουν διχοτομία στις περιόδους τους.

.Σμήνη Oosterhoff -1. Έχουν περιόδους 0,55 ημ. και είναι μέσης μεταλλικότητας. Τα αστέρια RR σχηματίζουν ένα μείγμα από λίγο εξελιγμένα και μη εξελιγμένα αστέρια οριζοντίου κλάδου.

.Σμήνη Oosterhoff -2. Έχουν περιόδους 0,65 ημ. και είναι φτωχά σε μέταλλα, με πιο μεγάλη λαμπρότητα, λόγω μεγαλύτερης περιόδου. Τα αστέρια RR είναι στον μπλε οριζόντιο κλάδο και διασχίζουν τη λωρίδα αποσταθεροποίησης σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα διπλά αστέρια.

Ο σχηματισμός διπλών αστέρων σε πυκνές περιοχές.

.Η παγίδευση ενός αστέρα από παλλιροϊκές δυνάμεις σε κοντινό πέρασμα από άλλο αστέρι Η ενέργεια της τροχιάς μπορεί να παραμορφώσει/ δονήσει τα αστέρια με αποτέλεσμα ένα βαρυτικά δεσμευμένο ζευγάρι.

.Συνάντηση 3 σωμάτων. Ανταλλαγή συνολικά θετικής (ίδιας κατεύθυνσης) ενέργειας τροχιάς. Το 1ο άστρο παίρνει ενέργεια τροχιάς (εκτινάσσεται από το σύστημα), ενώ τα άλλα 2 μένουν πίσω ως βαρυτικά δεσμευμένο ζευγάρι.

.Τα πρωτογενή διπλά έχουν αυξημένη πιθανότητα να έχουν συναντηθεί με 3ο σώμα, με αποτέλεσμα τον βραχυχρόνιο σχηματισμό 3πλου συστήματος. Πίσω μένει ένα στενό διπλό άστρο.

Blue stragglers.

Σε σφαιρωτά σμήνη, αλλά και σε μερικά ανοιχτά, παρατηρούμε άστρα με μεγαλύτερη θερμοκρασία και λαμπρότητα από τα άστρα στο σημείο εκτροπής. Η ύπαρξη τους δεν μπορεί να εξηγηθεί μέσω της κανονικής αστρικής εξέλιξης. Σε πολλά σφαιρωτά αυτά τα αστέρια είναι πιο πολύ συγκεντρωμένα στο κέντρο, άρα έχουν μεταναστεύσει δυναμικά. Έχουν μεγαλύτερη μάζα από άλλα άστρα. Αυτό πετυχαίνεται με α) Απευθείας σύγκρουση 2 αστέρων, β) Συγχώνευση 2 στενών διπλών, γ) Μεταφορά μάζας σε διπλό, χωρίς συγχώνευση αστέρων. Πιθανά είναι και τα 3 σενάρια, αλλά επειδή η παρουσία τους δεν συνδυάζεται αποκλειστικά με πυκνά σφαιρωτά σμήνη, όπου η πιθανότητες σύγκρουσης είναι μεγάλες, το 1ο σενάριο δεν είναι το επικρατέστερο.

Οι πηγές ακτινών X.

Οι πηγές ακτινών X στα σφαιρωτά είναι πολύ περισσότερες από ότι στο Γαλαξιακό πεδίο. Οι αστρικές ισχυρές πηγές ακτινών X μπορούν να προέλθουν μόνο από προσάυξη σε ένα πυκνό σώμα (άστρο νετρονίων ή μ. τρύπα), άρα σε στενά διπλά συστήματα. Επειδή ο τροφοδότης αστέρας έχει περιορισμένη μάζα, τους ονομάζουμε διπλούς ακτινών X μικρής μάζας (low-mass x-ray binaries).

Τα μιλλισεκοντ παλσαρ.

Έχουμε διαπιστώσει 140 παλσαρ σε σφαιρωτά. Είναι πιο πιθανά να τα βρούμε εκεί από ότι στο Γαλαξιακό πεδίο. Συνήθως είναι στενά διπλά συστήματα, με πολύ μικρούς συνοδούς (0,01 ηλ. μάζας). Φαίνεται ότι αυτοί οι αστ. νετρονίων αιχμαλωτίζουν ένα μικρό άστρο, λόγω της πυκνότητας σε αστ. Έτσι μεταφέρεται μάζα και φυγόκεντρος στο παλσαρ, με αποτέλεσμα την μείωση της περιόδου περιστροφής τους, αντίθετα με την κανονική εξέλιξη τους, που θα ήταν η αύξηση της περιόδου περιστροφής (τα πάλσαρ επιταχύνονται αντί να επιβραδύνονται).

Οι μαύρες τρύπες.

Στα σφαιρωτά του Γαλαξία μας δεν έχουμε παρατηρήσει μαύρες τρύπες (σε αντίθεση με σφαιρωτά στον γαλαξία της Ανδρομέδας). Θέμα συζήτησης είναι η ύπαρξη μεσαίων μαύρων τρυπών (μάζας 10000 ηλίων) στα κέντρα των σφαιρωτών.

Τα σφαιρωτά του Γαλαξία μας ως σύστημα.

Ιδιότητες του συστήματος.

Ο κατάλογος των σφαιρωτών στον Γαλαξία μας περιέχει 150 αντικείμενα. Η μεταλλικότητά τους αυξάνει στα πλησιέστερα προς στο κέντρο του Γαλαξία. Υπο-πληθυσμοί.

Ο πληθυσμός της κοιλιάς του Γαλαξία.

Τα σφαιρωτά εκεί είναι πλούσια σε μέταλλα, με $(Fe)/(H) > -0.8$ dex) στην εσωτερική Γαλαξιακή περιοχή, με απόσταση από το κέντρο του Γαλαξία < 8 kpc. Έχουμε περίπου 40 τέτοια σφαιρωτά. Οι κινητικές και χημικές

ιδιότητές τους είναι όμοιες με άστρα του πεδίου της περιοχής, άρα είναι πληθυσμός της περιοχής της κοιλιάς. Είναι πολύ παλαιά αντικείμενα.

Ο πληθυσμός της αλω.

Στην άλω υπάρχουν πιο φτωχά σε μέταλλα σφαιρωτά ($Fe/H < -0.8$ dex). Είναι πιο εκτενή και πιο σφαιρικά. Η φτωχή σε μέταλλα αλω διαπερνάει όλον τον Γαλαξία. Στην άλω υπάρχουν και νεότερα σφαιρωτά (μεταξύ 7 και 12 δις έτη).

Το ω Κενταύρου, ένα ιδιαίτερο σφαιρωτό.

Με διαφορά το μεγαλύτερης μάζας και απλούστερο σφαιρωτό σμήνος του Γαλαξία μας (3,6 εκ ηλ. μάζες). Έχει πλατύ κλάδο γιγάντων και μεγάλο εύρος μεταλλικότητας, αλλά είναι άγνωστο αν αυτό οφείλεται στην έντονη συναγωγή στον κλάδο των γιγάντων. Δεν έχει ομοιογενή πληθυσμό. Κάποια πλούσια σε μέταλλα αστέρια του, είναι κατά μερικά δις. έτη νεότερου πληθυσμού από τα παλιά. Μάλλον πρόκειται για αστέρια δευτέρης γενιάς αστρογέννησης στο σμήνος.

Το ω ήταν κάποτε ο πυρήνας ενός νάνου γαλαξία που παγιδεύτηκε στον δικό μας Γαλαξία.

Αλλα παγιδευμένα σφαιρωτά.

Και άλλα σφαιρωτά έχουν εξωγαλαξιακή καταγωγή. Γαλαξίες νάνοι με μικράσφαιρωτά πέφτουν στη Γαλαξιακή άλω και διαλύονται, με αποτέλεσμα τα σφαιρωτά τους να γίνονται μέλη του Γαλαξία μας.

Τα εξωγαλαξιακά σμήνη.

Την τελευταία δεκαετία κερδίσαμε νέα γνώση από τη μελέτη εξωγαλαξιακών σμηνών. Βασικά πρόκειται για σφαιρωτά σμήνη, γιατί τα ανοιχτά εξωγαλαξιακά δεν διακρίνονται, ακόμα και οι Πλειάδες δεν θα ήταν ορατές από τα νέφη του Μαγγελάνου.

Στην τοπική ομάδα γαλαξιών.

Στο μεγάλο νέφος του Μαγγελάνου.

Έχουμε ανακαλύψει εκεί 13 σφαιρωτά μεγάλης ηλικίας, πολύ φτωχά σε μέταλλα ($(Fe)/(H) = -2$). Επίσης ανακαλύψαμε πολλά μέσης και μικρής ηλικίας σφαιρωτά, με μεγάλη μάζα. Έχουμε τα μπλε σφαιρωτά, στα οποία τα λαμπρά αστέρια κ. ακολουθίας ορίζουν το χρώμα. Για πρώτη φορά βλέπουμε ότι η δημιουργία σφαιρωτών σμηνών δεν περιορίζεται στα πρώτα χρόνια του σύμπαντος. Εντύπωση κάνει ότι δεν υπάρχουν σφαιρωτά 3-4 δις ετών και 10-12 δις ετών, ενώ βρίσκουμε σφαιρωτά σμήνη με τις υπόλοιπες ηλικίες (age gap). Κενό υπάρχει επίσης και στην μεταλλικότητα ($-0,7 < Fe/H < -2$). Μάλλον μια κοντινή συνάντηση με το μικρό νέφος του Μαγγελάνου πριν 3 δις έτη σήμανε έντονη αστρογέννηση και δημιουργία (ξανά) σφαιρωτών σμηνών εκείνη την εποχή.

Τα νεαρά σφαιρωτά είναι καλά αντικείμενα για την δοκιμή των υπολογισμών της αστρικής εξέλιξης. Περιέχουν πολλά αστέρια, αφού ζουν ακόμα τα μεγάλα άστρα σε αυτά, την εξέλιξη των οποίων μπορούμε να καθορίσουμε καλά, άρα έχουμε μεγάλο πεδίο παραμέτρων της ηλικίας και της μεταλλικότητας. Έτσι κατανοούμε καλά όλα τα σχετικά διαγράμματα χρώματος/ λαμπρότητας.

Στα σμήνη μεγάλης μάζας με ηλικία 100 εκ. έτη στο μεγάλο νεφέλωμα του Μαγγελάνου έχουμε πολλά αστέρια 5 ηλ. μαζών στην λωρίδα αποσταθεροποίησης στο H/R. Πολλά από αυτά τα αστέρια γίνονται Κηφείδες, που είναι σημαντικοί μεταβλητοί για τον υπολογισμό της απόστασής τους. Οι αλλαγές στις περιόδους τους μας δείχνουν πως περνάνε μέσα από τη λωρίδα αυτή. Αν μεγαλώσει η περίοδός τους αυξάνουν θερμοκρασία, ενώ αν μικρύνει χάνουν θερμοκρασία. Στα νεαρά σφαιρωτά μεγάλης μάζας τα λαμπρότερα άστρα καίνε ήλιο, άρα δεν είναι στην κύρια ακολουθία.

Αφού τα σμήνη δεν έχουν απωλέσει τα μεγάλα τους αστέρια, η αρχική μάζα τους δεν έχει μειωθεί. Έτσι ο πλούτος (ποικιλία) σε είδη αστεριών

αποτελεί έναν καλό στατιστικό ορισμό της αρχικής μάζας. Ο συνδυασμός νεαρό σμήνος- χαμηλή μεταλλικότητα είναι άγνωστος για τον δικό μας Γαλαξία. Η μεταλλικότητα δεν εξαρτάται μόνο από την ηλικία, αλλά έχουν σημασία οι διαφορετικές συνθήκες δημιουργίας των σφαιρωτών σμηνών σε σχέση με αυτές στον Γαλαξία μας.

Το μικρό νέφος του Μαγγελάνου.

Τα σφαιρωτά του είναι πολύ μικρότερα από ότι αυτά στο μεγάλο. Δεν υπάρχει κενό ηλικίας ή μεταλλικότητας.

Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας και οι συνοδοί του.

Λόγω απόστασης έχουμε μόνο λίγα διαγράμματα χρώματος/ λαμπρότητας. Το σύστημα των σφαιρωτών του είναι πολύ πιο εκτεταμένο από ότι στον Γαλαξία μας. Έχουμε 500 πιστοποιημένα από τη γωνιακή ταχύτητα τους και άλλα 500 υποψήφια, λόγω χρώματος και λαμπρότητας. Ηλικία και μεταλλικότητα έχουμε μετρήσει σε 200. Υπάρχουν κάποια πολύ παλαιά, 13 δις ετών και πολλά 10 δις ετών, μεσαίας ηλικίας, και λιγότερα με ηλικία κάτω από 1 δις έτη. Τα νεαρά έχουν μάζες 100000 ηλιακές. Η μεταλλικότητα είναι όμοια με αυτή των σμηνών του Γαλαξία μας, με κορυφές στα $-1,4$ και $-0,4$. Οι γραμμές (C), (N) είναι πιο δυνατές από ότι στα σφαιρωτά του Γαλαξία μας.

Νάνοι γαλαξίες στο τοπικό σμήνος.

Οι περισσότεροι δεν έχουν σφαιρωτά σμήνη.

Τα σφαιρωτά σε ελλειπτικούς γαλαξίες.

Η δυσκολία της μελέτης μακρινών σφαιρωτών είναι η αναγνώρισή τους. Μόνο τα πολύεκτεταμένα ξεχωρίζουν και δεν μπερδεύονται με άλλους γαλαξίες ή άστρα του πεδίου. Στους ελλειπτικούς ξεχωρίζουν πιο εύκολα, λόγω μεγάλης ομοιογένειας της λαμπρότητας αυτών των γαλαξιών (δεν έχουν λαμπρό δίσκο) και του μεγαλύτερου πλούτου τους σε άστρα. Σε ελλειπτικούς νάνους γαλαξίες βρίσκουμε λίγα σφαιρωτά. Τα σφαιρωτά στους ελλειπτικούς δεν είναι ενός μόνο πληθυσμού, έχουμε μπλε φτωχά σε μέταλλα και κόκκινα πλούσια σε μέταλλα. Τα κόκκινα ακολουθούν την μορφολογία του γαλαξία σε βάθος, ενώ τα μπλε σε ρηχό επίπεδο, αποτέλεσμα της φτωχής σε μέταλλα γαλαξιακής άλως. Σε πολύ πλούσια συστήματα σφαιρωτών (σε γαλαξίες στο κέντρο του γαλαξιακού σμήνος) δεν έχουμε πολύ πλούσια ή πολύ φτωχά σε μέταλλα σφαιρωτά. Η επιρροή από το περιβάλλον (εμπλουτισμός) είναι έντονη, αφού πρόκειται για πυρήνες νάνων γαλαξιών με ισχυρή έκρηξη αστρογέννησης.

Τα σφαιρωτά σμήνη ως δυναμικοί δείκτες.

Βρίσκουμε σφαιρωτά σε μεγάλες αποστάσεις από τους ελλειπτικούς τους γαλαξίες. Εκεί το φως των γαλαξιών είναι πολύ ασθενές για φασματοσκοπία. Αυτά τα σμήνη μας βοηθάνε στον υπολογισμό της άλως της σκοτεινής ύλης (εξωτερικό στέμμα γύρω από την ορατή άλω) του γαλαξία τους, μέσω υπολογισμού της γωνιακής τους ταχύτητας. Το συμπέρασμα από αυτές τις μετρήσεις είναι ότι οι ελλειπτικοί γαλαξίες που βρίσκονται σε ομάδες έχουν πολύεκτεταμένη άλω σκοτεινής ύλης.

Υπερ-πυκνοί νάνοι γαλαξίες ή σφαιρωτά σμήνη?

Υπάρχουν αντικείμενα με σχήμα σφαιρωτού σμήνος και με μάζα ανάμεσα σε αυτή των κανονικών σφαιρωτών και αυτή των νάνων γαλαξιών (ultra compact dwarf). Πρόκειται για <απογυμνωμένα> κέντρα διαλυμένων νάνων γαλαξιών? Η μεγάλης ηλικίας μπλε συμπαγή σφαιρωτά?

Τα σφαιρωτά σε σπειροειδείς γαλαξίες και σε γαλαξίες αστρογέννησης (star buster).

Διακρίνονται φωτομετρικά πιο δύσκολα από ότι στους ελλειπτικούς γαλαξίες, λόγω ανομοιογενές υποβάθρου, με σκόνη και αστρογέννηση. Μόνο σε κοντινούς σπειροειδείς είναι εφικτός ο διαχωρισμός τους.

Τα αρχαία σφαιρωτά δεν έχουν μελετηθεί πολύ. Κυρίως τα βλέπουμε σε γαλαξίες που κοιτάμε από το πλαι. Τα συναντάμε πιο πολύ σε ελλειπτικούς γαλαξίες, ίσως επειδή αυτοί βρίσκονται σε πυκνότερες περιοχές, όπως ομάδες και σμήνη γαλαξιών.

Τα νεαρά μεγάλης μάζας σφαιρωτά.

Σε πολλούς σπειροειδείς γαλαξίες υπάρχουν αξιοσημείωτα πλήθη νεαρών, μεγάλης μάζας σφαιρωτών. Η δημιουργία σφαιρωτών είναι μια κανονική διαδικασία σε περιοχές αστρογέννησης. Ο βαθμός δημιουργίας τους αυξάνει εκθετικά με τον ρυθμό αστρογέννησης, άρα η έντονη αστρογέννηση ευνοεί τις συνθήκες δημιουργίας σφαιρωτών σμηνών. Ο Γαλαξίας μας έχει λίγα νεαρά σφαιρωτά, που είναι όμως πολύ μεγάλης μάζας.

Σμήνη σε συγχωνευμένους γαλαξίες.

Κατά τη συγχώνευση γαλαξιών δημιουργούνται συγκρούσεις αερίων και η αστρογέννηση φτάνει μέχρι τις 1000 ηλιακές μάζες το έτος. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν πολλά νεαρά σμήνη μεγάλης μάζας. Μερικά έχουν μάζα ανάμεσα σε σφαιρωτό και γαλαξία νάνο. Είναι αποτελέσματα δημιουργίας πολλών σμηνών μεγάλης μάζας σε μικρό χώρο, που γρήγορα ενωθήκαν σε ένα αντικείμενο.

Η δημιουργία των σφαιρωτών.

Η δημιουργία των αστέρων και των σμηνών δεν έχει κατανοηθεί με κάθε λεπτομέρεια. Αφού σχεδόν όλα τα αστέρια γεννούνται σε σμήνη, τα σμήνη αποτελούν μέρος της ιεραρχίας της εξέλιξης του σύμπαντος.

Σε μεγάλης μάζας πυκνά σμήνη υπάρχει έντονη ενέργεια σύνδεσης. Αντίθετο αποτέλεσμα προκαλείται από τις εκρήξεις σουπερνόβα, τους δυνατούς αστρικούς άνεμους από αστέρια τύπου O, ίσως και από τους πίδακες των νεογέννητων αστέρων.

Υποθετικά, ένα απομονωμένο δημιουργημένο άστρο O θα υποβάθμιζε τη αστρογέννηση σε μεγάλη έκταση γύρω του. Τα μοριακά νέφη όπου συμβαίνει η αστρογέννηση είναι κάποιας πυκνότητας. Στα πιο πυκνά τους μέρη οι εκρήξεις σουπερνόβα χάνουν πολύ από την επίδρασή τους. Άρα τα βαρυστικά ασταθή μοριακά νέφη πρέπει να φέρουν ένα μεγάλο μέρος τους σε υψηλή πυκνότητα πριν την έντονη αστρογέννηση, που περιλαμβάνει και αστέρια μεγάλης μάζας.

Τα μοριακά νέφη μπορεί να έχουν εντόνους στροβιλισμούς, ίσως προερχόμενοι από τη γενικά μεγάλη αστρογέννηση του γαλαξία. Η αστρογέννηση αρχίζει μόνο όταν μειωθεί αρκετά ο στροβιλισμός. Μόνο όταν η πυκνότητα είναι αρκετή, ώστε η κατάρρευση να είναι ασυγκράτητη (επικράτηση της βαρύτητας) αρχίζει η αστρογέννηση. Σε πολύ πυκνά περιβάλλοντα δημιουργούνται σμήνη μεγάλης μάζας (όπως π.χ. σε γαλαξίες συγχώνευσης).

Σε γρήγορης κατάρρευσης μικρής μάζας νέφη έχουμε ασθενής αστρογέννηση (μικρό βαθμό αποτελεσματικότητας εξέλιξης του αερίου για αστρογέννηση).

Ο ρόλος της μεταλλικότητας ίσως να είναι σημαντικός στην αποτελεσματικότητα της αστρογέννησης. Η σκόνη βοηθάει την

δημιουργία μορίων και αποτελεί ασπίδα κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας των γειτονικών αστέρων O. Γενικά έχουμε πιο εύκολα αστρογέννηση σε μικρής μάζας νέφη, άρα όχι πολλά μεγάλης μάζας σμήνη. Η χαμηλή μεταλλικότητα αντίθετα, ευνοεί την κατάρρευση μόνο μεγάλων νεφών, που είναι πιο ανθεκτικά στις ακτινοβολίες από σουπερνόβα και άστρα O.

Η γρήγορη συγχώνευση των μικρών σμηνών μέσα σε ομάδα σμηνών οδηγεί στην δημιουργία μεγάλης μάζας σφαιρωτών, ή ίσως υπερ-πυκνούς νάνους γαλαξίες.

Σημείωση 1

Αναθεώρηση της ηλικίας των αρχαίων αστρικών σμηνών.

Τα αρχαία σφαιρωτά μάλλον δημιουργήθηκαν σε δυο εποχές, με το φως τους να προέρχεται από 11,5 και 12,5 δις ετη πριν. Δημιουργήθηκαν μέσα στους γαλαξίες, και όχι πριν από αυτούς.

Σημείωση 2

Ανοιχτά σμήνη

Ενώ γνωρίζουμε τη ύπαρξη 3000 ανοιχτών σμηνών στον Γαλαξία μας, η ανάλυση των δεδομένων των παρατηρήσεων μας επιτρέπει να γνωρίζουμε κάποια στοιχεία (ηλικία, απόσταση και διάμετρο) για μόλις 1250 από αυτά. Μας βοηθάνε εδώ πολύ οι ισόχρονες, δηλαδή τα σημεία αποκοπής κάθε σμήνος από την κύρια ακολουθία του διαγράμματος H/R, που μας δείχνουν την ηλικία του σμήνος (όλα τα αστέρια ενός ανοιχτού σμήνους έχουν περίπου την ίδια ηλικία). Ένα πρόβλημα, πέρα από την απορρόφηση του αστρικού φωτός από την σκόνη, μιας και τα ανοιχτά σμήνη βρίσκονται στον <σκοτισμένο> δίσκο του Γαλαξία μας, είναι η μεγάλη διασπορά των αστεριών με την πάροδο του χρόνου. Έτσι στις Υάδες παρατηρούμε, μέσω των κινήσεων και των ταχυτήτων των αστεριών, να έχουν βαρυτική σύνδεση μόλις το 1/3 από τα αστέρια που αρχικά σχημάτισαν το σμήνος. Ενώ η απόσταση του κέντρου του σμήνος των Υάδων απέχει 150 έτη φωτός από εμάς, στα 650 εκατομμύρια ζωής του σμήνος μερικά αστέρια του έφτασαν να βρίσκονται 100 έτη φωτός μακριά από το σμήνος! Ένα σημαντικό συμπέρασμα από τη μελέτη των ανοιχτών σμηνών είναι η τιμή της συνιστώσας αρχικής μάζας, δηλαδή πόσα αστέρια συγκεκριμένης μάζας δημιουργούνται από ένα μοριακό νέφος που παρουσιάζει αστρογέννηση (initial mass function). Έτσι γνωρίζουμε ότι δημιουργούνται ελάχιστα μεγάλα αστέρια, σε σχέση με τα μικρά, κάτι που εξαρτάται πολύ τις φυσικές συνθήκες του.

Σημείωση 3

Αντίθετα με τα αρχαία (10 με 13 δις ετών) σφαιρωτά σμήνη του Γαλαξία μας, στα Μαγγελανικά νέφη παρατηρούμε πολύ νεαρότερα σφαιρωτά. Το NGC 1783 στο μεγάλο Μαγγελανικό έχει ηλικία 1,4 δις έτη, μετά από φασματοσκοπική μελέτη του. Μια ομάδα ερευνητών από το πανεπιστήμιο του Πεκίνου ανακάλυψε σε αυτό άλλους 2 αστρικούς πληθυσμούς, 890 εκατομμυρίων και 490 εκατομμυρίων ετών αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα έδωσαν έρευνες των σφαιρωτών NGC 1696 και NGC 411 στο μικρό Μαγγελανικό. Αυτό σημαίνει ότι στα σφαιρωτά τα αστέρια δημιουργούνται σε δόσεις. Φαίνεται πως όταν πλησιάζουν το κυρίως επίπεδο του γαλαξία στον οποίο φιλοξενούνται εμπλουτίζονται από σκόνη και αέριο. Αυτό δημιουργεί μια νέα αναζωπύρωση του σχηματισμού αστεριών, μιας και τα σφαιρωτά σμήνη θεωρούνται φτωχά σε αέριο και σκόνη αντικείμενα.

