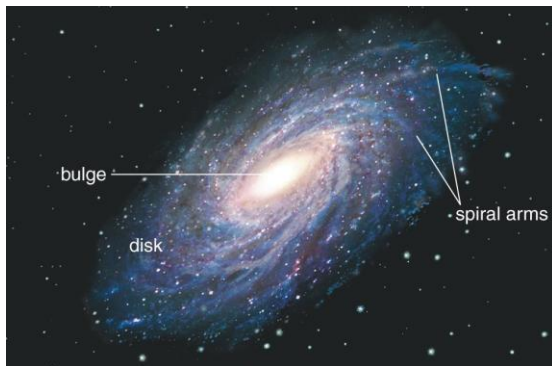


Ο Γαλαξίας μας

Διατάξεις και δομή του Γαλαξία μας

Ο Γαλαξίας μας αποτελείται από 5 μέρη που διαφέρουν ανάλογα με την σύστασή τους (αστρικό πληθυσμό), την γεωμετρία τους και την κινητική τους. Αυτές οι ενότητες είναι η κοιλιά (bulge), ο λεπτός δίσκος, ο παχύς δίσκος, η άλω του και το σκοτεινό (μη βαρυονικό) στέμμα του. Ο τύπος του Γαλαξία μας είναι Sb (-Sb+) I-II (κατά Hubble-Sandage), SAB (rs)bc-II (κατά de Vaucoulers). Η λαμπρότητά του είναι 20 δις ηλιακές λαμπρότητες, το μέγεθός του (διάμετρος) στην κοιλιά 1-2kpc, στον δίσκο 30kpc, στην άλω 100kpc και στο στέμμα 150-450 kpc. Η μάζα του είναι 150 δις ηλιακές, με 40 δις στον λεπτό δίσκο, 5 δις στον παχύ δίσκο, 15 δις στην κοιλιά και 4 δις στην άλω, και όλο το υπόλοιπο στο στέμμα του. Η μέση πυκνότητά του είναι (σε ακτίνα 8 kpc) 0,04 ηλιακές μάζες ανά τετραγωνικό πάρσεκ. Η μέση πυκνότητα στην περιοχή του Ηλίου είναι 0,1 ηλιακές μάζες ανά τετραγωνικό πάρσεκ, ή 4 άτομα (H) στο κυβικό εκατοστόμετρο. Οι πυκνότητες κατά περιοχές είναι 0,4 ηλιακές σε αστέρια ανά pc³ του λεπτού δίσκου, 0,03 ηλιακές σε αστέρια ανά pc³ του παχιού δίσκου, 0,001 ηλιακές σε αστέρια και 0,5 ηλιακές σε αέριο ανά pc³ στην άλω και 0,1 ηλιακές ανά pc³ στο στέμμα.

Ο λεπτός δίσκος είναι κυρίαρχος σε λαμπρότητα, αριθμό αστεριών, ορατή σκόνη και αέρια στον Γαλαξία. Αποτελεί το ζωντανό κομμάτι του Γαλαξία με σταθερή, ακόμα και σήμερα, αστρογέννηση. Αυτό οφείλεται στα διαθέσιμα αποθέματα αερίου. Ο Ήλιος βρίσκεται στον λεπτό δίσκο, 8 kpc από το γαλαξιακό κέντρο, 15 pc βόρεια του γαλαξιακού επιπέδου. Έχει γωνιακή ταχύτητα 220 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο.



Η Κοιλιά

Αποτελεί την κεντρική πλάτυση στον δίσκο. Έχει μια κεντρική ελλειψοειδή κορυφή (spheroidal cusp), μέσα σε ακτίνα 1 kpc. Η πλάτυση είναι της τάξης του 0,6. Η κεντρική πυκνότητα σε αστέρια είναι >100 εκατομμύρια ανά kpc³. Ο αστρικός πληθυσμός είναι πολύ πλούσιος σε μέταλλα, μέχρι (Fe) / (H) = +0,5. Η μέση ηλικία τους είναι τα 10 δις. έτη. Πρόκειται για γερασμένο πληθυσμό, αλλά αντίθετα από την γενική αναλογία ηλικίας- μεταλλικότητας, πολύ πλούσιος σε μέταλλα. Αυτό οφείλεται στα έντονα και πολλαπλά επεισόδια αστρογέννησης που βίωσε.

Διακρίνουμε 2 αστρικούς πληθυσμούς, έναν πιο παλαιό και έναν νεότερο, που μάλλον προέρχεται από μερική κατάρρευση του παχύ δίσκου (σχηματισμός της γαλαξιακής ράβδου). Το φως της κοιλιάς προέρχεται κυρίως από τους (πολύ λαμπρούς) ερυθρούς γίγαντες. Στο κεντρικό κυβικό πάρσεκ κυριαρχεί μια μεγάλης μάζας μαύρη τρύπα, με μάζα 4 εκατομμύρια ηλιακές. Η κινητική κυριαρχείται από μεγάλη διασπορά ταχυτήτων, μέχρι 150 χιλ./δευτερόλεπτο. Η σταθερή περιφορά είναι αργή, με 40 χιλ./δευτ/Κpc. Υπάρχει μία τριαξονική δομή που οδηγεί στην (εξωτερική της κοιλιάς) σπείρα.

Λεπτός δίσκος.

Η οπτική εικόνα του Γαλαξία μας στον ουρανό ορίζεται από την κατανομή των τοπικών σκοτεινών νεφών, έτσι ο γωνιακός βαθμός πυκνότητας του δίσκου δεν είναι αναγνωρίσιμος. Η πυκνότητα πέφτει σε γωνιακή κατεύθυνση ραγδαία, με μήκος κλίμακας 3kpc και ύψος 300pc. Στον λεπτό δίσκο υπάρχουν αστέρια όλων των ηλικιών, μέχρι 12 δις ετών. Τα νέα αστέρια είναι πιο πολύ συγκεντρωμένα στο μεσαίο επίπεδο (περιοχή αστρογέννησης). Η μεταλλικότητα(Fe)/(H) είναι -0,8 ως 0,3, και αυξάνεται αντίστροφα με την ηλικία ενός αστέρα. Στον δίσκο τα νεαρά αντικείμενα και τα μοριακά νέφη είναι καταταγμένα σε σπείρες. Η μεσοαστρική ύλη είναι καταταγμένη σε μια σχετικά λεπτή δομή με πάχος 250 πάρσεκ. Αποτελεί το 10% της μάζας του δίσκου, με το 0,5% να είναι σε σκόνη. Κυριαρχεί μια τριαξονική δομή με μέγεθος 3 kpc. Δεν έχει αποσαφηνιστεί αν αυτή ανήκει στην κοιλιά ή στον δίσκο. Η κινηματική του δίσκου κυριαρχείται από την διαφορά στις ταχύτητες περιστροφής των μελών του. Στην περιοχή του Ηλίου είναι 220 χιλ./δευτερόλεπτο, με περίοδο περιφοράς του Γαλαξία στα 230 εκ. έτη. Η διασπορά ταχυτήτων είναι τριαξονική και μικρή προς τη περιφορά, και αυξάνεται με την ηλικία του πληθυσμού.

Παχύς δίσκος

Ο παχύς δίσκος είναι χωρισμένος από τον λεπτό με ύψος κλίμακας 1 kpc. Τα αστέρια του είναι μεγάλης ηλικίας (10 δις ετών) και φτωχά σε μέταλλα ((Fe)/(H)=-1,2 ως -0.6). Ο παχύς δίσκος έχει μόνο μερικά εκατοστά από την πυκνότητα της ηλιακής περιοχής, και κυριαρχεί σε ένα ύψος 1-2 kpc πάνω από το γαλαξιακό επίπεδο. Η μάζα του είναι 10-20% αυτής του λεπτού δίσκου. Περιστρέφεται πιο αργά από τον λεπτό δίσκο, με μεγαλύτερη διασπορά ταχυτήτων.

Η Άλω

Η κοιλιά και ο (παχύς και λεπτός) δίσκος περιβάλλονται από την άλω. Αυτή είναι ένα πεπλατυσμένο σφαιρίδιο, μη ακριβώς καθορισμένο, με διάμετρο 50kpc και πλάτυση 0,8. Η πυκνότητα στην άλω πέφτει ραγδαία σε σχέση με τον παχύ δίσκο και τον ακόμα πυκνότερο λεπτό. Τα αστέρια της είναι μεγάλης ηλικίας (>10 δις έτη) και χαμηλής μεταλλικότητας ((Fe)/(H)=-3,5 ως -1). Εδώ έχουν βρεθεί τα πιο φτωχά σε μέταλλα αστέρια με (Fe)/(H)=-5,4.

Η άλω περιέχει 150- 200 σφαιρωτά σμήνη, με το μακρινότερο να είναι στα 70kpc απόσταση από το κέντρο του Γαλαξία. Η μάζα της είναι 100

εκατομμύρια ηλιακές. Τα αστέρια της είναι κυρίως κόκκινοι γίγαντες, μπλε υπεργίγαντες και κυρίας ακολουθίας. Η ποσότητα της μάζας της που προέρχεται από διαλυμένους νάνους γαλαξίες (ρεύματα αστέρων) είναι άγνωστη. Η άλως δεν περιστρέφεται, και έχει μεγάλη διασπορά ταχυτήτων (150 km/s).

Διακρίνουμε τους φτωχούς σε μέταλλα αστέρες κύριας ακολουθίας ενδιάμεσου και μεταγενέστερου τύπου από την κινηματική τους ή την διαφοροποίηση στην μεταλλικότητα, σε σχέση με αυτούς από το δίσκο. Όταν κινούνται πολύ γρήγορα και με μεγάλη θετική ή αρνητική κλίση στην κίνησή τους σχετικά με την περιοχή του Ηλίου ξέρουμε ότι πρόκειται για αστέρια της άλως που διαπερνάνε τον δίσκο. Η αιτία της μη συμβατής με τον δίσκο κίνησης είναι η μεγάλη διασπορά ταχύτητας και η μη περιστροφή της άλως.

Το ποσοστό σε αέριο είναι πολύ ασαφές, με αέριο τύπου στέμματος (θερμοκρασίας εκατομμυρίων βαθμών) αλλά και ψυχρό ατομικό αέριο, πολύ αραιωμένο, σε νέφη μεγάλων ταχυτήτων. Έτσι είναι δύσκολη η εκτίμηση της μάζας των αερίων.

Σκοτεινό στέμμα

Πρόκειται για ένα εκτεταμένο στέμμα από μη βαρυονική, την λεγόμενη σκοτεινή ύλη άγνωστης φύσεως, η οποία περιβάλλει τη βαρυονική ύλη (τον υπόλοιπο Γαλαξία). Η έκτασή του δεν είναι βέβαιη, με ακτίνα από 70–200 kpc. Η σκοτεινή ύλη δεν εκπέμπει, άρα δεν μπορεί να αποβάλλει θερμότητα και να καταρρεύσει σαν την ορατή ύλη. Έτσι διαχωρίστηκε από την βαρυονική ύλη αρκετά νωρίς στην ιστορία του σύμπαντος.

Κατανομή των αστέρων στην ουράνια σφαίρα.

Λαμπρότητα επιφάνειας της ουράνιας σφαίρας.

Η λαμπρότητα που παρατηρούμε στην ουράνια σφαίρα προέρχεται από 1) Το άμεσο φως των αστέρων. 2) Το Γαλαξιακό διαθλασμένο φως (διάθλαση από την μεσοαστρική σκόνη). 3) Το ζωδιακό φως (διάθλαση από την μεσοπλανητική σκόνη). 4) Η λάμψη της υψηλής ατμόσφαιρας (airglow). 5) Τα νεφελώματα εκπομπής, και οι άλλοι γαλαξίες (πολύ μικρή συμμετοχή στην λαμπρότητα). Τα 1 και 2 δίνουν τη λάμψη της γαλαξιακής ζώνης.

Η αναλογία των αστέρων στον Γαλαξία

Ο αριθμός των αστεριών αυξάνει πολύ με την πτώση της απόλυτης λαμπρότητάς τους. Σε 5 αστέρια mag 6 αντιστοιχούν 1800 αστέρια mag 12. Η κατανομή των αστέρων έχει τις εξής ιδιαιτερότητες

α) Τα λαμπρά αστέρια είναι αρκετά ομαλά κατανεμημένα, ενώ τα αμυδρά σε έναν μεγάλο κύκλο (γαλαξιακός ισημερινός), που μας δίνει την ορατή γαλαξιακή οδό. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε ένα πεπλατυσμένο σύστημα. Ο Ήλιος βρίσκεται στο κυρίως επίπεδο.

β) Μέσα στην Γαλαξιακή οδό ή Γαλαξιακή ζώνη, η κατανομή των αστεριών πλαταίνει προς τον Τοξότη (δηλαδή προς την κοιλιά, κατεύθυνση προς το κέντρο του Γαλαξία). Αυτό είναι μια απόδειξη ότι ο Ήλιος μας είναι μακριά από το γαλαξιακό κέντρο.

γ) Η σχετική συγκέντρωση προς το Γαλαξιακό επίπεδο είναι πολύ μεγάλη

για αστέρια O, B, Κηφείδες και ανοιχτά σμήνη. Η συγκέντρωση είναι επίσης μεγάλη για αστέρια A, νόβα, T-Ταύρου, νέφη εκπομπής και πλανητικά νεφελώματα. για αστέρια F, Μίρα και σκοτεινά νέφη υπάρχει μέτρια συγκέντρωση και μικρή για αστέρια G,K. Δεν έχουμε καθόλου άστρα RR Λύρας και σφαιρωτά σμήνη. Οι μεγάλοι γαλαξίες δείχνουν ισχυρότερη συγκέντρωση από τους νάνους.

Μικρή ή καθόλου γαλαξιακή συγκέντρωση δείχνουν αντικείμενα, τα οποία δεν είναι περιορισμένα στο Γαλαξιακό επίπεδο (σφαιρωτά σμήνη) ή αυτά που λόγω της μικρής λαμπρότητάς τους δεν είναι ορατά, παρά μόνο αυτά που βρίσκονται κοντά μας (νάνοι G,K). Το συμπέρασμα της μέτρησης της λαμπρότητας των περιοχών του Γαλαξία είναι ότι πρόκειται για έναν τυπικό σπειροειδή Γαλαξία, με τη δομή που αναφέραμε. Έχει μια ράβδο που κυρτώνει πέρα από τη τροχιά του Ηλίου. Η Γαλαξιακή άλως διαταράσσεται από ανομοιογένειες (ρεύματα, συμπυκνώσεις, μη συμμετρικότητα).

Η λαμπρότητα καθορίζεται άμεσα μόνο για τα σμήνη και για την περιοχή κοντά στον Ήλιο. Είναι δύσκολη η διάκριση της επιρροής των μη αναλυόμενων διπλών αστέρων στα στατιστικά μας. Ο διαχωρισμός αστέρων κ. ακολουθίας από τους γίγαντες και τους λ. νάνους είναι σημαντικός. Για παράδειγμα, σε έκταση 10 κυβικών πάρσεκ (στην περιοχή του Ηλίου) έχουμε αναλογικά 118 άστρα κ. ακολουθίας, 0,52 γίγαντες και 4,8 λ. νάνους. Σε μεγάλες αποστάσεις (άλω, κοιλιά, σφαιρωτά σμήνη, εξωγαλαξιακά αντικείμενα), παρατηρησιακά κυριαρχούν οι γίγαντες αστέρες (ανιχνεύονται πιο εύκολα, λόγω της μεγάλης λαμπρότητάς τους). Στη γειτονιά του Ηλίου λοιπόν υπολογίζουμε την μάζα των άστρων κ. ακολουθίας βάσει της σχέσης με το διάγραμμα λαμπρότητας-χρώματος και την μεταλλικότητά τους. Υπάρχει μια διόρθωση υπολογίζοντας τα διπλά άστρα και την σύνθεση του πληθυσμού, που σημαίνει την εξέλιξη των αστέρων και των ατμοσφαιρών τους. Πρέπει να διακρίνουμε την πραγματική λαμπρότητα από την φαινόμενη. Η εξέλιξη των αστέρων οδηγεί στην γρήγορη εξαφάνιση των μεγάλων, λαμπρών αστέρων λόγω μικρής παραμονής τους στην κ. ακολουθία. Έχουν εκραγεί ως σουπερνόβα ή πλέον είναι λευκοί νάνοι. Η σχέση μάζας/λαμπρότητας αλλάζει, με αργό ρυθμό, λόγω της αύξησης της μεταλλικότητας των αστεριών. Η χωρική κατανομή του αστρικού πληθυσμού αλλάζει με την ηλικία, λόγω δυναμικών εξελίξεων (ενδογαλαξιακών φαινομένων και εξωτερικής επίδρασης, όπως οι γαλαξιακές συγχωνεύσεις). Στα αστρικά σμήνη έχουμε πλέον δομή πυρήνα-άλως και κάθετη λέπτυνσή τους στην σπείρα, λόγω δυναμικής θέρμανσης. Η ανάμειξη ηλικιών αλλάζει καθοδικά στην κ. ακολουθία, εξαρτώμενη από την ιστορία της αστρικής εξέλιξης και την δυναμική θέρμανση.

Η γειτονιά του Ηλίου

Μέχρι απόσταση 5 πάρσεκ από τον Ήλιο μας, μας είναι γνωστά 68 άστρα σε 50 συστήματα (1 τύπου A, 1 F, 3 G, 6 K, 49 M νάνοι, 4 λευκοί νάνοι και 4 καφέ νάνοι). Τα κοντινότερα είναι τα άστρα του τριπλού συστήματος του α Κένταυρου. Πάνω από 50% των γειτόνων είναι διπλά ή πολλαπλά συστήματα. Μέχρι τα 25 πάρσεκ μας είναι γνωστά 3900 άστρα, με λαμπρότερο τον Αλντεμπαράν και τον Ρέγκουλους. Για 2500 άστρα έχουμε καλή αξιολόγηση της θέσης τους στο διάγραμμα χρώματος/λαμπρότητας

(παρόμοιο με το H/R). Επειδή τα αμυδρά αστέρια (νάνοι) είναι η πλειοψηφία στο σύνολο των αστεριών, υπολογίζουμε να υπάρχουν περίπου 8000 αστέρια σε αυτή την περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι τα 2/3 των (αμυδρών) νάνων δεν έχουν βρεθεί ακόμα. Αυτοί εκπέμπουν κυρίως στο υπέρυθρο, κάτι που περιορίζει την προσπάθεια ανακάλυψής τους στα διαστημικά τηλεσκόπια.

Η κατανομή της μάζας είναι 0,12 άστρα σε 1 κυβικό πάρσεκ (μια κεφαλή καρφίτσας σε 125000 km³!). Σε άστρα έχουμε 0,04 ηλ. μάζες, σε μεσοαστρική ύλη (αέριο και σκόνη) 0,05 ηλ. μάζες. Σε μάζα μη ορατή, αλλά βαρυτικά διαπιστωμένη (αφανείς νάνοι κ.λπ.) 0,10 ηλ. μάζες. Η μάζα του στέμματος (σκοτεινή) είναι στην περιοχή μας λιγότερη από το 10% της συνολικής.

Η ζώνη του Gould

Τον χειμώνα τα λαμπρά αστέρια βρίσκονται νοτιότερα της Γαλαξιακής οδού (Ωρίωνας, Ταύρος, Μέγας Κύων), και το καλοκαίρι βορειότερα (Κύκνος, Λύρα). Αυτά τα μεγάλα, νεαρά άστρα φασματικής ομάδας O και B σχηματίζουν έναν μεγάλο κύκλο στον ουρανό, τη ζώνη του Gould. Φαίνεται ότι τα αστέρια O,B βρίσκονται εκτός Γαλαξιακού επιπέδου, σε ένα δευτέρο επίπεδο. Το επίπεδο της ζώνης αυτής έχει κλίση 15 μοίρες, και η άνω πλευρά του βρίσκεται στην κατεύθυνση του Γαλαξιακού κέντρου, ενώ η κάτω στην αντίθετη κατεύθυνση. Η ζώνη του Gould ξεχωρίζει και λόγω της σκόνης και των αερίων της (παρατηρήσεις στην φασματική γραμμή των 21 cm). Το συμπέρασμα είναι ότι η ζώνη αυτή είναι μια τοπική ζώνη νεαρότερης αστρογέννησης (για αυτό υπάρχουν ακόμα τα αστέρια O,B). Η αιτία της κλίσης της ζώνης προς το γαλαξιακό επίπεδο είναι άγνωστη (ίσως πρόκειται για ένα ρεύμα ύλης από διαλυμένο νάνο γαλαξία).

Η κατανομή των αστεριών και ποια είναι η βασική περιοχή τους στον Γαλαξία.

O ως B2 =50000, στις σπείρες
Οι υπόλοιποι της κυρίας ακολουθίας =100 δις, στον λεπτό δίσκο
Κηφείδες =10000, στις σπείρες
Ανοιχτά σμήνη =40000, στις σπείρες και γενικά στον λεπτό δίσκο
Γίγαντες =500 εκατομμύρια, στον λεπτό δίσκο
Καφέ νάνοι =10 δις, στον (λεπτό και παχύ) δίσκο
Λευκοί νάνοι =5 δις, γενικά στον δίσκο
Παλσαρ =50000, στον λεπτό δίσκο
Πλανητικά νεφελώματα =20000, γενικά στον δίσκο
Άστρα Μίρα (περιόδου 400-250 ημέρες)=1 εκ., στον δίσκο
RR Λύρας (περιόδου <0,4 ημέρες)=100000, στον δίσκο
Υπονάνοι =10 δις., στον παχύ δίσκο
Φτωχά σε μέταλλα άστρα της άλω=10 δις., στην άλω
Σφαιρωτά σμήνη =200, στην άλω.

Η κατανομή της μεσοαστρικής ύλης

Τα γαλαξιακά νέφη είναι συγκεντρωμένα στον λεπτό δίσκο, με μέσο πάχος

των νεφών (HI) τα 100 πάρσεκ και των μοριακών νεφών (περιοχή αστρογέννησης) τα 40 πάρσεκ. Η σκόνη (0,5 % της μάζας) είναι καλά κατανομημένη στα νέφη (HI) και στα μοριακά νέφη. Τα μοριακά και τα νέφη εκπομπής είναι συγκεντρωμένα στις σπείρες. Τα νέφη (HI) και τα θερμά αέρια είναι ίσα κατανομημένα στον δίσκο. Πολύ αραιό αέριο (HI) και καυτό, στεμματικό αέριο υπάρχει και στην άλω.

Αστρικοί πληθυσμοί

Μια παλιά κατάταξη των αστέρων ήταν η εξής. Έχουμε 2 κατηγορίες πληθυσμού, την I, τα νεαρά, υψηλής μεταλλικότητας άστρα στον δίσκο και την II, τα παλαιά χαμηλής μεταλλικότητας άστρα στην άλω. Αυτός ο καταμερισμός είναι όμως χονδρικός, αφού παλαιά άστρα, υψηλής όμως μεταλλικότητας, υπάρχουν στην κοιλιά και νεαρά, μέσης μεταλλικότητας στον δίσκο. Αν υπολογίσουμε και τα νεαρά σφαιρωτά με νέα, αλλά φτωχά σε μέταλλα άστρα που συναντάμε σε άλλους γαλαξίες, όπως στα νέφη του Μαγγελάνου, τότε η παράμετρος αυτή γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκη. Σήμερα ξέρουμε ότι κάθε υποσύστημα αστέρων είναι ένας άλλος πληθυσμός, όταν έχει τουλάχιστον 2, ή καλύτερα 3 από τις 4 βασικές ιδιαιτερότητες, την χωρική κατανομή, την κινηματική, την συγκέντρωση χημικών στοιχείων και την ηλικία. Ο Γαλαξίας μας έχει 5 πληθυσμούς, αυτό έχει να κάνει με τα στάδια εξέλιξης που περνάει κάθε γαλαξίας, ανάλογα το περιβάλλον του.

Πληθυσμός	Z/H	ηλικία σε δισ έτη	Τόπος	Κλασικά είδη
Ακραίος πληθυσμός II	0,002-0,2	10	Άλως	σφαιρωτά, RR Υπονάνοι, λ. νάνοι
Πληθυσμός II	0,05-0,5	10	Παχύς δίσκος, εσωτερική άλω	γρήγορα άστρα Μίρα
Πληθυσμός δίσκου	0,5-1	2-10	Παλιός λεπτός Δίσκος	RR, νόβα, Ήλιος πλανητικά.
Παλιός πληθυσμός I	1-2	0,5-5	Λεπτός δίσκος	A, F-K με ισχυρή γραμμή μετάλλων, K-M με απορρόφηση
Ακραίος πληθυσμός I	2-3	<0,5	Σπείρες	OB, Κηφείδες Ανοιχτά σμήνη, T-Ταύρου.

Z/H. Η σχέση βαρέων στοιχείων (>He) με το υδρογόνο (κατά βάρος). Για τον Ήλιο μας έχουμε Z/H= 1,9%.

Οι πληθυσμοί και οι ιδιαιτερότητές τους έχουν στενή σχέση με την δημιουργία και την εξέλιξη των γαλαξιών. Βασικό κριτήριό τους είναι η ηλικία τους. Τα παλαιότερα αντικείμενα δημιουργήθηκαν σε μια εποχή,

όταν ο Γαλαξίας δεν είχε πλατύνει σε σχήμα δίσκου, άρα έχουν μεγάλη διασπορά ταχύτητας προς το Γαλαξιακό επίπεδο.

Μέσω των πυρηνικών διεργασιών στα άστρα και της απελευθέρωσης μάζας από αυτά στον μεσοαστρικό χώρο, αυτός εμπλουτίζεται σε βαρύτερα στοιχεία. Έτσι τα μεταγενέστερα άστρα είναι πιο πλούσια σε μέταλλα. Σήμερα τα άστρα γεννούνται σε συμπυκνώσεις της μεσοαστρικής ύλης στις σπείρες. Έτσι έχουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση των νεαρών αντικειμένων του Γαλαξία μας στις σπείρες του.

Το γαλαξιακό κέντρο

Οι οπτικές παρατηρήσεις μας δεν μπορούν να φτάσουν στο κέντρο του Γαλαξία λόγω της μεσοαστρικής απορρόφησης (από την σκόνη), αλλά η παρατήρηση αυτής της περιοχής είναι δυνατή στο κοντινό υπέρυθρο και στα ραδιοκύματα.

.Η περιοχή μεταξύ 3 κιλοπαρσεκ και 500 πάρσεκ από το γαλαξιακό κέντρο.

Υπάρχει μία τριαξονική ραβδοειδής δομή στην κατανομή των αστερών, και η λαμπρότητα αυτής της δομής είναι 50 δις ηλιακές. Ο κύριος άξονας με ακτίνα 3 κιλοπαρσεκ βρίσκεται στο γαλαξιακό επίπεδο, με 15 μοίρες κλίση στην ευθεία θέασής μας. Η περιστροφή της ράβδου γίνεται με 50 km/s/kpc και υπάρχει ροή μοριακού αερίου κατά μήκος των άκρων της ράβδου. Η πυκνότητα στην περιοχή είναι 2×10^{21} άτομα (HI) στο τετρ. μέτρο στον βραχίονα των 3 kpc, ακτίνας 3,5 kpc, 10^{21} άτομα στο δακτυλίδι με ακτίνα 600 pc, και 4 ως $0,3 \times 10^{21}$ άτομα (HI) στο εσωτερικό δακτυλίδι, ακτίνας 100-500 pc.

.Η περιοχή μεταξύ 1 kpc και 100 pc.

Σε αυτήν την περιοχή υπάρχει μια κεντρική κορυφή στην κατανομή των αστεριών (cusp). Η πλάτυνση είναι 0,6 και φτάνει μέχρι το κεντρικό πάρσεκ (η περιοχή εκεί είναι σφαιρικά συμμετρική). Όλη αυτή η περιοχή είναι η κοιλιά του Γαλαξία. Η περιστροφή γίνεται με 40 km/s/kpc. Ο περιστρεφόμενος (εσωτερικός) δακτύλιος έχει ομαλή καμπύλη περιστροφής και συνορεύει σε ακτίνα 600 pc με ένα δακτυλίδι που παρουσιάζει κλίση 8 μοίρες. Το μοριακό αέριο (1 δις ηλιακών μαζών) κινείται παράλληλα με τον κύριο άξονα της ράβδου.

.Η περιοχή μεταξύ 150 και 10 πάρσεκ.

Σε αυτήν υπάρχουν 2 νέα και μεγάλης μάζας αστρικά σμήνη (Arhes, quintuplet) σε απόσταση 30 pc από το γαλαξιακό κέντρο, με μάζα 10000 ηλιακές το καθένα και ηλικία μερικά εκ. έτη (άρα έχουμε κάποια δραστηριότητα αστρογέννησης). Παρατηρούμε δομές σαν συμπυκνώματα στο συνεχές ραδιοφάσμα, με κυρίως μέλη τα SgrA και SgrB (κατά μήκος του γαλαξιακού ισημερινού). Στο SgrA υπάρχει σύνθετη δομή και κινηματική, με θερμικά ή μη θερμικά ραδιοτόξα (εκπομπές και μαγνητισμένα πεδία σύγκρουσης).

Η κεντρική περιοχή SgrA (Sagittarius A) αποτελείται από 4 μέλη. Το

SgrA δυτικό, μια θερμική πηγή, το Sgr A ανατολικό, μια μη θερμική πηγή, ίσως υπόλειμμα σουπερνόβα, τον συμπαγή πυρήνα (το γαλαξιακό κέντρο) SgrA# που βρίσκεται μέσα στο SgrA δυτικό, και την άλω με θερμικό και μη θερμικό υλικό, ένα δακτυλίδι γύρω από το κέντρο. (Σημείωση 1)

.Η περιοχή μεταξύ 10 και 0,1 πάρσεκ.

Πρόκειται για ένα δακτυλίδι γύρω από τον πυρήνα που αποτελείται από συμπυκνώματα ουδέτερου αερίου και μοριακών νεφών. Έχει κλίση στο γαλαξιακό επίπεδο 25 μοίρες και γωνιακή ταχύτητα 110 km/s. Στο εσωτερικό του συνορεύει με ένα πυκνό, μοριακό δακτυλίδι.

.Η περιοχή από 0,1 πάρσεκ ως το κέντρο

Εκεί το κοντινό υπέρυθρο φάσμα κυριαρχείται από κόκκινους γίγαντες και μπλε υπεργίγαντες. Σε αυτήν την περιοχή έχουμε αναλύσει πυκνά κινούμενα σμήνη αστεριών κυρίως μεγάλης μάζας, και πολλά νεαρά άστρα όπως BV, Wolf-Rayet, μπλε υπεργίγαντες. Τα νεαρά αστέρια είναι μοιρασμένα σε 3 υποσυστήματα, 1 σφαιροειδές (κεντρικό σμήνος) και 2 δίσκους με κλίση μεταξύ τους.

Το κεντρικό σμήνος έχει πυκνότητα αστεριών 100 εκατομμύρια/pc³. Η διασπορά ταχύτητας μεγαλώνει προς τα μέσα, από 150 σε 1000 km/s, σύμφωνα με τον νόμο του Κεπλερ για ένα αντικείμενο με τη μάζα της κεντρικής μαύρης τρύπας.

.Sagittarius A#

Είναι το κέντρο μάζας, γεωμετρίας και πυκνότητας του Γαλαξία μας. Υπάρχει μια ασθενής σημειακή πηγή στο κοντινό υπέρυθρο και μια συμπαγής μη θερμική πηγή στα ραδιοκύματα. Η λαμπρότητά του (δίσκος προσάυξησης) είναι από 40000 ως μερικές εκατοντάδες ηλιακές. Η έκτασή του είναι από 0,1 ως 1 ΑΕ και η μάζα του 4 εκατομμύρια ηλιακές. Πρόκειται για μια τυπική κεντρική μαύρη τρύπα σε γαλαξία. Η ακτίνα Schwarzschild της μαύρης τρύπας (ορίζοντας γεγονότων) είναι 0,08 ΑΕ. Η μάζα της εκτιμάται από την κίνηση αστεριών σε πολύ παραβολική τροχιά γύρω από την μ. τρύπα.

Σαν δραστηριότητα παρατηρούμε έναν ραδιοπίδακα πάνω από το γαλαξιακό επίπεδο (1-5 kpc), ακτινοβολία σχετικιστικών ηλεκτρονίων (20-200 pc), διαχέουσα ακτινοβολία X (<70 pc), γραμμή διάσπασης του (26Al) στα 1809 MeV και στα 511 keV, και γραμμή εξαΰλωσης ποζιτρονίων -ηλεκτρονίων.

Αυτά τα φαινόμενα εξηγούνται με ένα επεισόδιο έντονης αστρογέννησης, 100000 ηλιακών μαζών, πριν από 10 εκ. έτη. Ακόμα, στη μαύρη τρύπα χρεώνονται ακανόνιστα ξεσπάσματα στο κοντινό υπέρυθρο και στις ακτίνες X (εισορή συμπυκνωμάτων ύλης σε αυτήν).

Η μεσοαστρική ύλη.

Στον Γαλαξία η σκόνη και το αέριο σχηματίζουν έναν πολύ λεπτό δίσκο, με 80 pc πάχος για τα πυκνά μοριακά νέφη και τα νεαρά άστρα (περιοχή αστρογέννησης), 240 pc για το διαχέον μοριακό αέριο, που είναι σε μετάβαση σε ατομικό ουδέτερο αέριο, και 1 kpc για μείγμα διαχέον

ιονισμένο και ατομικό ουδέτερο αέριο. Στον δίσκο έχουμε συμπύκνωση της ύλης σε σπείρες, ενώ στις σπείρες υπάρχουν συμπυκνώσεις σε ξεχωριστά νέφη, που διαιρούνται σε λεπτότερες δομές. Την μεσοαστρική ύλη την διακρίνουμε σε

α) είδος της ύλης, αέριο ή σκόνη β) είδος της κατανομής, σε γενική κατανομή και σε πυκνά νέφη, γ) είδος της παρατήρησης, περιοχή των ραδιοκυμάτων -κυμάτων χιλιοστομέτρων- υπό- χιλιοστομέτρων (sub mm) και οπτικό- υπέρυθρο- υπεριώδες -ακτίνες χ. Έτσι έχουμε πολλούς συνδυασμούς κατηγοριών.

Γαλαξιακά νέφη

Έτσι ορίζουμε τα ακτινοβόλα νέφη αερίων και σκόνης. Τα πυκνά νέφη περιέχουν 100- 10 δις μόρια στο τετρ. εκατοστό. Η σκόνη έχει αναλογία μάζας 1/186 με το αέριο. Στην μεσοαστρική ύλη μπορούμε να διακρίνουμε 1) Μοριακά νέφη, με ουδέτερο αέριο μεγάλης πυκνότητας, $T_{kin} < 100K$, 2) Περιοχές (HI), με ουδέτερο αέριο μικρής πυκνότητας α) ψυχρό ($T_{kin} = 100K$), β) θερμό ($T_{kin} > 8000K$).

3) Περιοχές (HII) μέσης ως μικρής πυκνότητας, αιτία της διαχέουσας (H α) εκπομπής α) περιοχές (HII) με $T_{kin} = 10000K$, β) διαχέον μοριακό υδρογόνο, με $T_{kin} = 8000K$, γ) καυτό με $T_{kin} = 500000K$.

Οι δομές είναι πολύ διαφορετικές, από τελείως άμορφα νέφη μέχρι κανονικές δομές.

Σχεδόν πάντα υπάρχουν άστρα μέσα στα νέφη ή πολύ κοντά τους. Τα άστρα αυτά είναι η αιτία που τα νέφη ακτινοβολούν. Τα σκοτεινά πυκνά νέφη είναι κυρίως τόποι ενεργής ή μελλοντικής αστρογέννησης.

Στις νόβα παρατηρούμε να λάμπει όλο και μεγαλύτερο μέρος του νεφελώματος. Σε μεταβλητά άστρα η λαμπρότητα του νέφους μεταβάλλεται παράλληλα με αυτή του άστρου.

Υπάρχει σύνδεση μεταξύ της λαμπρότητας του αστέρα και το μέγεθος του νέφους. Από την αιτία της λαμπρότητας χωρίζουμε τα νέφη σε εκπομπής, όπου το αέριο ερεθίζεται τόσο ώστε να γίνει αυτόφωτο, και αντανάκλασης, όπου η σκόνη αντανάκλαει το φως των αστερών. Όταν το άστέρι είναι μεγαλύτερο από B1 με $T > 25000K$, άρα με ισχυρή υπεριώδης ακτινοβολία, το αέριο ερεθίζεται ώστε να λάμψει το ίδιο. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε ένα νέφος εκπομπής, ενώ σε πιο ψυχρά άστρα το φως αντανάκλαται από την σκόνη, άρα τότε έχουμε νέφος αντανάκλασης.

Νέφη εκπομπής και περιοχές (HII).

Τα νέφη εκπομπής μπορεί να είναι σε μέγεθος από 0.05 pc (εκτεταμένα κελύφη αστερών) ως 200 pc (μεγάλες αραιές δομές, όπως το νεφέλωμα της βόρειας Αμερικής). Η φυσική της εκπομπής τους είναι

α) Ακτινοβολία στο οπτικό και στο υπεριώδεις.

Σε λαμπρά νέφη διακρίνουμε μέχρι 300 γραμμές εκπομπής, στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο.

1) Όταν ένα άστρο μεγαλύτερης μάζας από κατηγορίας B1 διεγείρει το νέφος, το (H) ιονίζεται. Ο από ιονισμός (σύλληψη ενός ηλεκτρονίου από τον πυρήνα (H)), που επαναφέρει το ηλεκτρόνιο στην κατάσταση ηρεμίας,

έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ενός φωτονίου στις γραμμές Balmer. Έτσι έχουμε μια έντονη χαρακτηριστική λάμψη (H α) στα νέφη εκπομπής. Όλα τα νέφη εκπομπής είναι περιοχές (HII) με μεγάλη πυκνότητα σωματιδίων. Τα νέφη (HII) με μικρή πυκνότητα δεν ακτινοβολούν.

2) Η επανασύνδεση του (HII) δίνει μια γραμμή εκπομπής στα 30,38 nm. Αυτό το μήκος κύματος μπορεί να διεγείρει το ιόν (OIII) από τη κατάσταση ηρεμίας στη 3d3P2 (τροχιακά ηλεκτρονίων), με αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων κατά την επαναφορά του στην κατάσταση ηρεμίας.

3) Μέσω σύγκρουσης ηλεκτρονίων, τα άτομα διεγείρονται σε <απαγορευμένες> γραμμές ((OII), (OIII), (NII), (FeII), (NeIII)). Έτσι ονομάζουμε τους ιονισμούς που δεν μπορούν να συμβούν στα χημικά στοιχεία σε Γήινες συνθήκες. Σε ομοιόμορφες πυκνότητες του μεσοαστρικού αερίου, οι περιοχές (HII) γύρω από καυτά άστρα ή σμήνη σχηματίζουν σφαίρες με σαφή όρια που ανιχνεύονται στο (H α). Στην διαδικασία της δημιουργίας αστέρων μεγάλης μάζας σχηματίζονται στο εσωτερικό των μοριακών νεφών συμπαγείς περιοχές (HII). Όταν αυτές λόγω της διαστολής τους φτάσουν τα όρια του νέφους και τα ξεπεράσουν, μπορεί (λόγω μικρότερης εξωτερικής πίεσης) να εξαπλωθούν, σχηματίζοντας μια μέσο-νεφελώδεις περιοχή (φαινόμενο Champagner).

β) Ακτινοβολία στα ραδιοκύματα.

1) Γραμμές επανασύνδεσης. Πρόκειται για κανονική μετάβαση από πολύ διεγερμένες καταστάσεις (H) και (He), κυρίως σε μήκος κύματος εκατοστόμετρων. Είναι εφικτό να συμβεί μόνο σε περιοχές μικρής πυκνότητας, όπου σπανίζουν οι συγκρούσεις μεταξύ των ατόμων.

2) Θερμική ακτινοβολία. Η θερμική εκπομπή ιονισμένου αερίου στα ραδιοκύματα είναι ακτινοβολία ελεύθερη-ελεύθερη.

3) Μη θερμική ακτινοβολία. Μάλλον πρόκειται για ακτινοβολία σχετικιστικής φύσης από ηλεκτρόνια που κινούνται με σχεδόν την ταχύτητα του φωτός.

Στο εσωτερικό των νεφών εκπομπής έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις των ταχυτήτων, που υπερβαίνουν την τοπική ταχύτητα του ήχου (στο νεφέλωμα του Ωρίωνα η διακύμανση είναι 25 km/s, ενώ η ταχύτητα του ήχου 8 km/s). Έτσι έχουμε έναν υπερηχητικό στροβιλισμό, με κρουστικά μέτωπα.

Πλανητικά νεφελώματα

Έτσι ονομάζουμε το λίγο ή πολύ συμμετρικά δακτυλιοειδές νέφος γύρω από ένα κεντρικό άστρο πληθυσμού II που εγκατέλειψε τον ασυμπτωτικό κλάδο στο διάγραμμα H/R και είναι πλέον ένας λευκός νάνος, με εκφυλισμένη ύλη. Στον Γαλαξία μας είναι γνωστά 2000 πλανητικά, και το 1/3 από αυτά βρίσκονται στην κοιλιά του. Εκτιμάται ότι ο πληθυσμός τους είναι συνολικά πάνω από 30000. Σε άλλους γαλαξίες μας είναι συνολικά γνωστά 6000 πλανητικά (τα 2600 από αυτά στον M31).

Τα διαφορετικά σχήματά τους έχουν να κάνουν με την οπτική τους γωνία. Μάλλον έχουν όλα 3 λοβούς. Στους πόλους της έλλειψης ανοίγει το σχήμα τους, περισσότερο σε πλ. νέφη που προέρχονται από σχετικά μεγάλα άστρα (το πολύ με 8 ηλιακές μάζες στην κύρια ακολουθία, τα μεγαλύτερης μάζας δίνουν εκρήξεις σουπερνόβα). Έξω από το πλ. νέφος συχνά διακρίνουμε

ένα αμυδρό κέλυφος, που μάλλον είναι ύλη από τον παλαιό αστρικό άνεμο του αστεριού, όταν ήταν ακόμη κόκκινος γίγαντας.

Τα πλανητικά νέφη είναι μοριακά νέφη με ιονισμένο αέριο και στο κέντρο τους παρουσιάζουν εκπομπή ακτινών X από μια φούσκα με καυτό αέριο (λόγω της έντονης ακτινοβολίας από τον λευκό νάνο). Οι διατάσεις τους είναι από 0,03 pc ως 1 pc. Η ταχύτητα εξάπλωσής τους από 20 ως 50 km/s και η μάζα του νέφους (χωρίς τον λευκό νάνο) είναι συνήθως στις 0,2 ηλιακές.

Το φάσμα τους είναι τυπικό για ιονισμένο αέριο πλούσιο φάσμα εκπομπής. Οι γραμμές επανασύνδεσης είναι (H I), (He I), (He II) στο οπτικό, υπέρυθρο και ραδιοκύματα και (C), (N), (O) ανάμεσα σε άλλα, στο οπτικό. Οι απαγορευμένες (ερεθίσματα από συγκρούσεις) είναι (O II), (O III), (Ne III), (IV), (V), (N II), (S II), (S III), (Ar III), (Ar IV), (Ar V), (Fe III), (Fe V) στο οπτικό, (C IV) και (C III) στο υπεριώδες και (S IV), (Ne III) στο υπέρυθρο.

Το συνεχές είναι επανασύνδεσης στο ορατό και υπέρυθρο και επιβράδυνσης από εκεί μέχρι τα ραδιοκύματα. Στο υπέρυθρο έχουμε συνεχές από τη σκόνη (100-1000K), πολυχρωματικούς υδρογονάνθρακες και πυρίτιο.

Οι μοριακές γραμμές εκπομπής είναι (CO), (HCN), (CN), (C₂H), (H₂CO) (mm). Η θερμοκρασία των ηλεκτρονίων είναι 10000K και η πυκνότητά τους 1000-100000 σε cm⁻³. Το κεντρικό αστέρι (λευκός νάνος) δίνει φάσμα O, Of ή WR. Συχνά είναι διπλό φάσμα O+WR. Η θερμοκρασία του είναι 25000-100000K και η λαμπρότητά του 1000-10000 ηλιακές.

Το αστέρι λάμπει στις υπεριώδεις. Έτσι το (H) ιονίζεται μέσα στο νέφος. Με την επανασύνδεσή του εμφανίζεται η σειρά Balmer. Οι γραμμές των ιόντων των (O), (N), (Ne) γίνονται (μέσω συγκρούσεων) όμοια δυνατές με τη σειρά Balmer, παρά την περιορισμένη ποσότητα αυτών των στοιχείων. Τα στοιχεία (He), (C), (N) είναι συχνά εμπλουτισμένα, λόγω δημιουργίας τους στο άστρο που προηγήθηκε του λευκού νάνου. Τα (O), (Ne), (S), (Ar) δείχνουν μικρή παρουσία σε σύγκριση με τις περιοχές (H II), μάλλον επειδή αυτά τα άστρα ήταν φτωχά σε μέταλλα (μεγάλης ηλικίας, <10 δις ετών).

Επίσης παρατηρούμε στοιχεία βαρύτερα του σιδήρου, αποτέλεσμα της αργής απορρόφησης νετρονίων (s process) σε αυτά τα άστρα.

Η αστρική εξέλιξη που οδηγεί στην δημιουργία των πλανητικών νεφών είναι η μετάβαση ενός άστρου μεσαίας μάζας (1-8 ηλιακές) από τον ασυμπτωτικό κλάδο στην περιοχή των λευκών νάνων. Στον ασυμπτωτικό κλάδο τα άστρα ελκύουν αργούς, αλλά ισχυρούς αστρικούς ανέμους. Τελικά τα εξωτερικά στρώματα απομακρύνονται από το (πολύ διασταλμένο λόγω αστρικής εξέλιξης) άστρο. Ο διαστελλόμενος πια καυτός απομείναντας αστέρας ιονίζει το περιβάλλον αέριο και το σπρώχνει με έναν γρήγορο (2000 km/s) άνεμο, δημιουργώντας το κελυφοειδές νέφος. Μετά την παύση των θερμοπυρηνικών συντήξεων, το άστρο γίνεται ένας λ. νάνος. Όλη η φάση του πλ. νεφελώματος διαρκεί λιγότερο από 30000 έτη, μετά το κέλυφος είναι τόσο αραιό που δεν μπορεί να παρατηρηθεί. Το χρονοδιάγραμμα των φάσεων του πλανητικού νεφελώματος είναι 10000 έτη για το κέλυφος (ένα στάδιο πριν το πλανητικό νεφέλωμα, όταν το αστέρι βρίσκεται ακόμα στον ασυμπτωτικό κλάδο), 1000 έτη για το πρώτο-πλανητικό νέφος (ο αστρικός άνεμος του λευκού νάνου δεν έχει ακόμα καθαρίσει την κοντινή του περιοχή και τα νέφη δεν έχουν ακόμα ιονιστεί) και 10000 έτη για το πλανητικό νεφέλωμα, το οποίο έχει

αρκετά σαφές σχήμα. Άρα το πλανητικό νεφέλωμα είναι ένα πολύ βραχύβιο αντικείμενο, κάτι που επηρεάζει αρνητικά το παρατηρήσιμο πλήθος τους. Τα νέφη σε νόβα ή σουπερνόβα μπορεί να μοιάζουν με πλανητικά, με φάσματα εκπομπής, αλλά η φυσική της δημιουργίας τους είναι τελείως διαφορετική.

Τα νέφη αντανάκλασης.

Όταν το άστρο που ερεθίζει το νέφος είναι μικρότερης μάζας από B1 (<25000K), η υπεριώδης ακτινοβολία του δεν φτάνει να κάνει το νέφος να εκπέμπει. Έτσι το νέφος φωτίζεται μόνο, και η σκόνη του αντανάκλαει το φως του άστρου. Το φάσμα και το χρώμα είναι σχεδόν ίδιο με αυτό από ένα νέφος εκπομπής. Το φως έχει μικρότερο αποχρωματισμό και παρουσιάζει πολικότητα. Αυτό μας δείχνει ότι τα σωματίδια σκόνης που αντανάκλουν έχουν διάμετρο 10στη-4mm και δεν είναι σφαιρικά, αλλά επιμήκη.

Δεν υπάρχει σαφές όριο ανάμεσα σε νέφος αντανάκλασης και εκπομπής, πολλές φορές σε ένα νεφέλωμα έχουμε και τα δύο, δηλαδή σκόνη που να αντανάκλαει το αστρικό φως και αέριο που να απορροφάει και να εκπέμπει το αστρικό φως, όπως συμβαίνει στο νεφέλωμα του Ωρίωνα.

Σκοτεινά και μοριακά νέφη.

Είναι ουδέτερα ψυχρά νέφη που κυριαρχούνται από το μοριακό (H₂). Δεν μας επιτρέπουν να δούμε τις περιοχές που βρίσκονται πίσω από αυτά. Περίπου το 1/3 της Γαλαξιακής οδού είναι καλυμμένο με σκοτεινά νέφη (το χώρισμα στον Κύκνο, ή το Coalsack). Η έκτασή τους είναι 1-100 pc. Τα μεγάλα νέφη έχουν δομή με συμπυκνώματα. Τα νέφη αυτά είναι πολύ συγκεντρωμένα στο γαλαξιακό επίπεδο, ελάχιστα έχουν γαλαξιακό πλάτος >10 μούρες. Η μάζα τους είναι 10-100000 ηλιακές και η μοριακή πυκνότητά τους >10000 μόρια στο κυβικό cm.

Η απορρόφηση στο οπτικό ποικίλλει από μερικά mag για μεγάλα νέφη ως 1000 mag στα πυκνότερα κέντρα των νεφών. Έτσι στο ορατό δεν μπορούμε να δούμε τα άστρα πίσω από αυτά. Στο υπέρυθρο η απορρόφηση είναι μόνο 10% από ότι στο ορατό. Εκεί, τα νέφη με απορροφητικότητα 10 mag στο ορατό είναι διαπερατά για το υπέρυθρο. Έτσι μπορούμε να δούμε μέχρι το Γαλαξιακό κέντρο. Πολλές φορές έχουμε και εκπομπή στο υπέρυθρο. Η σκόνη θερμαίνεται και ερεθίζονται οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες από τα άστρα μέσα ή κοντά στο νέφος.

Παρατηρήσιμα μόρια.

Στα cm και στα mm σε ψυχρά πυκνά νέφη παρατηρούμε σύνθετα, κυρίως οργανικά μόρια. Έχουμε μόρια με 2-13 άτομα, το μεγαλύτερο από αυτά είναι το (HC₁₁N). Από αυτά το 1/3 είναι ανόργανα και τα 2/3 οργανικά. Το μεγαλύτερο μέρος τους είναι θετικά ή αρνητικά ιόντα.

Συμμετέχουν 14 στοιχεία με τα εξής ισότοπα

(1H), (2H=D), (12C), (13C), (14,15,16N), (16,17,18O), (19F), (23Na), (24Mg), (27Al), (28,29,30Si), (31P), (32,33,34S), (35Cl), (39K), (56Fe).

Εξωγαλαξιακά έχουμε μετρήσει 36 διαφορετικά μόρια.

Τα συχνότερα είναι τα (H₂), (CO), (CH), (CS), (NH₃), (H₂CO). Το (H₂)

είναι 10000 φορές πιο συχνό από το επόμενο συχνό μόριο (CO). Τα πολύπλοκα μόρια (π.χ. (CH₃CH₂OH)) βρίσκονται μόνο σε λίγες πηγές. Οι πλουσιότερες περιοχές είναι οι SgrA, SgrB2, το Γαλαξιακό μας κέντρο. Μάλλον υπάρχει ένας μοριακός δακτύλιος γύρω από αυτό. Η αναλογία του ισοτόπου (C12)/(C13) ποικίλει σχετικά με την απόσταση από το Γαλαξιακό κέντρο, από 20 ως 77. Μερικά μόρια ανακαλύφθηκαν πρώτα στην μεσοαστρική ύλη και μετά δημιουργήθηκαν στη Γη ((HNC), (CCH), (CN), (HCO+), (N₂H+)).

Οι μηχανισμοί της μοριοσύνθεσης.

Κυρίως υπάρχουν 2 οδοί (παράγοντες) για την μοριοσύνθεση (χημικές αντιδράσεις), α) η χημεία αέριας φάσης και β) η χημεία στις επιφάνειες της σκόνης.

α) Στις χαμηλές θερμοκρασίες της μοριακής μεσοαστρικής ύλης είναι πιθανές μόνο εξώθερμες αντιδράσεις. Πολλές εξώθερμες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα μόνο μετά την υπέρβαση μιας τιμής ενέργειας δράσης. Πολλές φορές οι αντιδράσεις ιόντων-μορίων δεν έχουν καμία ενέργεια δράσης, και είναι το πεδίο όπου μπορούν να σχηματιστούν μόρια στην αέρια φάση.

β) Για την δημιουργία πολλών μορίων είναι απαραίτητη η σκόνη, ακόμη και για το πιο συχνό μόριο (H₂). Κατά κανόνα 2 άτομα έλκονται σε 1 κόκκο σκόνης, κινούνται και συγκρούονται, δημιουργώντας το μόριο, ενώ η ενέργεια που απελευθερώνεται κερδίζεται από το κόκκο σκόνης, που δρα σαν καταλύτης. Όταν θερμανθεί η σκόνη (π.χ. από την ακτινοβολία λόγω της γέννησης ενός αστεριού) τα μόρια αυτά εξατμίζονται από την σκόνη και εμπλουτίζουν την μεσοαστρική ύλη.

Περιοχές (H1).

A) Οπτική ζώνη.

Το ψυχρό και γενικά κατανεμημένο αέριο δεν μπορεί να παρατηρηθεί άμεσα, αλλά απορροφάει ακτινοβολία από τα άστρα πίσω του. Οι μεσοαστρικές φασματικές γραμμές ξεχωρίζουν από τις αστρικές 1) λόγω μεγάλης ευκρίνειας, 2) μικρής γωνιακής ταχύτητας, 3) συστηματικής αύξησης της απόστασης από το άστρο. Στο ψυχρό μεσοαστρικό αέριο τα μόρια είναι στη βασική τους κατάσταση. Στο ορατό έχουμε (Ca), (Ca+), (Na), (Ti+), (K), (Fe), (CN), (CH), (CH+). Πιο έντονες είναι οι γραμμές των (H), (K), (Ca), (Na), (D).

Στο υπεριώδες έχουμε (H), (C), (N), (O), (Mg), (Si), (P), (S), (Ar), (Mn), (Fe), συχνά με πολλές κλίμακες ιόντων, με 20 γραμμές για το (H₂). Και στο υπέρυθρο έχουμε έντονες γραμμές απορρόφησης, με καλύτερες αυτές των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAH). Οι γραμμές εμφανίζονται συχνά πολλαπλές. Η κύρια γραμμή έχει ένταση ανάλογα την απόσταση και μικρή γωνιακή ταχύτητα, άρα είναι από γενικά κατανεμημένο αέριο, ενώ οι δευτερεύουσες είναι πιο αδύναμες και προέρχονται από ξεχωριστά πυκνά νέφη. Η χημική σύσταση του μεσοαστρικού αερίου είναι όμοια με αυτή των αστέρων πληθυσμού I.

B) Ραδιοκύματα

Η σημαντικότερη γραμμή του υδρογόνου στα ραδιοκύματα είναι αυτή των 21 cm. Είναι μια άκρως απαγορευμένη γραμμή, με μέση διάρκεια ζωής τα 11 εκ. έτη. Εμφανίζεται λόγω μεγάλης περιεκτικότητας της μεσοαστρικής ύλης σε (H) και πρόκειται για ερεθισμό του ανωτέρου σθένους, μέσω συγκρούσεων (κατά μέσο όρο ένα άτομο συγκρούεται με κάποιο άλλο κάθε 100 έτη στην μεσοαστρική ύλη). Σήμερα έχουμε πολλές απεικονίσεις της Γαλαξιακής οδού στη γραμμή των 21 εκατοστών. Κανονικά την παρατηρούμε σαν εκπομπή, άρα κατευθείαν, σε αντίθεση με τις μεσοαστρικές γραμμές απορρόφησης από φάσματα των αστέρων που βρίσκονται πίσω από τα νέφη. Τα ραδιοκύματα περνάνε ανεμπόδιστα μέσα από τα νέφη σκόνης. Έτσι έχουμε πρόσβαση σε παρατηρήσεις που είναι αδύνατον να γίνουν στο ορατό.

Γενικά κατανεμημένη σκόνη.

Έχει ισχυρή γαλαξιακή συγκέντρωση, και μέση πυκνότητα 10στη-26g/cm. Αποτελείται κυρίως από (C), (N), (O), (Mg), (Al), (Si), (Ca), (Fe), (Ni). Σημαντικά ισχυρά υλικά της σκόνης είναι οι δεσμοί του πυριτίου σε άμορφη κατάσταση, αλλά και σε κρυσταλλική (Olivin, Pyroxen), όπως και οργανικές ενώσεις (PAH, Trolitit). Πολλά στοιχεία και μόρια παρουσιάζονται στη σκόνη σε μορφή πάγου ((H₂O), (CO), (CO₂), (CH₄), (HCN), (NH₃), (SiH₄), (SiO), (H₂S), (SO), (SO₂)).

Μεσοαστρική εξάλειψη A (σε mag) είναι η εξασθένηση του φωτός από απορροφήσεις και διάχυση. Η σκόνη (εκτός των σκοτεινών νεφών) παράγει μια συνεχή, αυξανόμενη με την απόσταση, ελάττωση του αστρικού φωτός. Κατά μέσο όρο αυτή είναι 0,3 mag/kpc, ενώ στο γαλαξιακό επίπεδο είναι 2,0 mag/kpc. Η ελάττωση αλλοιώνει τα αποτελέσματα του υπολογισμού της απόστασης με το τετράγωνο της λαμπρότητας και αποτελεί μεγάλο πρόβλημα στις μετρήσεις στην αστρονομία.

Η ελάττωση έχει επίσης ως αποτέλεσμα τον αποχρωματισμό (λόγω μεγαλύτερης απορρόφησης του μπλε τα άστρα φαίνονται πιο κόκκινα).

Μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο, πολικότητα.

Οι ενδείξεις για την ύπαρξη του μεσοαστρικού μαγνητικού πεδίου είναι η μεσοαστρική πολικότητα του φωτός των αστέρων, η πολικότητα της ακτινοβολίας της σκόνης (ευθυγράμμιση των κόκκων), η πυκνότητα ενέργειας και ισοτροπία της κοσμικής ακτινοβολίας και η μη θερμική σύνθεση της Γαλαξιακής ακτινοβολίας ραδιοκυμάτων. Η δομή των μαγνητικών γραμμών ακολουθεί κατά μήκος τις σπείρες του Γαλαξία.

Μεσοαστρική πολικότητα του αστρικού φωτός.

Από την παρατήρηση 10000 αστέρων συμπεραίνουμε ότι α) ο βαθμός πολικότητας (το πολύ μερικές μονάδες τοις εκατό) είναι ανάλογος του μεσοαστρικού αποχρωματισμού και της εξάλειψης. β) Η μέγιστη πολικότητα είναι κοντά στον γαλαξιακό ισημερινό. Όπου κοιτάζουμε κάθετα σε σπείρες (Περσέας/ Κασσιόπη, Κένταυρος/ Norma) η κατεύθυνση πολικότητας είναι κατά μήκος των σπειρών, και όπου κοιτάζουμε στη κατεύθυνση της σπείρας (Κύκνος, Κηφέας, Puppis/ Vela) είναι ακανόνιστα κατανεμημένα, μερικές φορές περιπλεγμένα. γ) Από τα 330 ως

τα 1000 nm η εξάρτηση από το μήκος κύματος είναι περιορισμένη. Τα συμπεράσματα είναι ότι έχουμε ανισοτροπία της ελάττωσης, άρα τα στερεά σωματίδια δεν είναι σφαιρικά, αλλά κυλινδρικά. Οι μεγάλοι άξονες των σωματιδίων είναι ιδίας κατεύθυνσης. Αυτό επιτυγχάνεται από ένα μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο κατά μήκος των σπειρών, με ισχύ τουλάχιστον 0,1 tesla. Η πολικότητα είναι κατά μήκος του μαγνητισμού.

Μεσοαστρική πολικότητα της ακτινοβολίας της σκόνης.

Ενώ το αστρικό φως αποκτάει την πολικότητά του από την διάχυση στη σκόνη, η θερμική ακτινοβολία της σκόνης μπορεί να έχει από μόνη της πολικότητα. Σε αυτή την περίπτωση η κατεύθυνση της πολικότητας είναι κάθετη στο μαγνητικό πεδίο, αφού το πολωμένο φως λάμπει κυρίως στην κατεύθυνση του μεγάλου ημιάξονα των σωματιών σκόνης, κατατάσσοντάς τα κάθετα στο μαγνητικό πεδίο. Η πολικότητα της σκόνης ακολουθεί πολλές φορές τις διάφορες δομές κατά μήκος. Το αέριο μπορεί να ακολουθεί τις κάθετες σε αυτές τις δομές μαγνητικές γραμμές και να καταρρέει στην δομή. Σε μικρότερη κλίμακα παρατηρούμε ένα συμπύκνωμα των μαγνητικών γραμμών σε σχήμα κλεψύδρας.

Σχέση σκόνης/αερίου και συνολική αναλογία στην μεσοαστρική ύλη.

Σκόνη και αέριο παρουσιάζονται κυρίως μαζί. Δρύνει μαζί, αλλά δεν έχουν αυστηρή συνύπαρξη. Ενώ η αναλογία σκόνης στο καυτό μέρος της μεσοαστρικής ύλης με θερμοκρασία άνω της δημιουργίας κόκκων (>1400 K) περιορίζεται, το μερίδιο της σκόνης στα ψυχρά νέφη είναι σημαντικό. Η αναλογία της σκόνης με το (H) και το (H₂) στην μεσοαστρική ύλη, στην Γαλαξιακή οδό, είναι 0.0073. Η μάζα του αερίου είναι 186 φορές αυτή της σκόνης. Το συνολικό μερίδιο της μεσοαστρικής ύλης στην μάζα του Γαλαξία είναι αέριο 5 δις ηλιακές μάζες, άστρα 50 δις ηλιακές μάζες, και η συνολική δυναμική μάζα, συμπεριλαμβανομένης της σκοτεινής ύλης, είναι 1 τρις ηλιακές.

Γαλαξιακή ακτινοβολία ραδιοκυμάτων.

Σημαντικές πηγές της είναι οι περιοχές (HII), τα υπολείμματα σουπερνόβα και τα παλσαρ. Όλα αυτά υπάρχουν, σε μεγάλη συγκέντρωση, κατά μήκος του γαλαξιακού επιπέδου. Στον Γαλαξία μας αναγνωρίστηκαν σαν διακριτές ραδιοπηγές υπολείμματα σουπερνόβα, γαλαξιακά νέφη εκπομπής (HII), πλανητικά νέφη, εκλάμψεις από αστέρια, παλσαρ και το κέντρο του Γαλαξία. Τα υπολείμματα σουπερνόβα και οι περιοχές (HII) είναι συμπαγή ή εκτεταμένα αντικείμενα κατά μήκος του γαλαξιακού επιπέδου. Ξεχωρίζουν από το φάσμα και την πολικότητά τους. Η δομή τους είναι συνήθως κελυφοειδής. Υπάρχουν και διάχυτα αντικείμενα με μέγιστη εκπομπή στο κέντρο τους (πληριόνια, τα υπολείμματα σουπερνόβα όπου τα παλσαρ δεν έχουν δημιουργήσει κενά με τον άνεμό τους ανάμεσα σε αυτά και τα νεφελώματά τους). Τα φάσματα των κελυφοειδών υπολειμμάτων σουπερνόβα είναι <απότομα> και η ακτινοβολία τους είναι γραμμικά πολωμένα. Πρότυπο ενός νέου κελυφοειδής υπολείμματος σουπερνόβα είναι το Κασσιόπη Α με διάμετρο 3,5 pc. Προέρχεται από μια σουπερνόβα του 1680, που λόγω της μεσοαστρικής σκόνης δεν ήταν ορατή

από τη Γη. Τα πληριόνια έχουν <επίπεδο> φάσμα (ίδιας έντασης σε πολλά μήκη κύματος), σχεδόν εφάμιλλο με τις αδύναμες στο οπτικό περιοχές (HII). Όπως είναι γραμμικά πολωμένα, σε αντίθεση με τις περιοχές (HII). Πρότυπό τους αποτελεί το νεφέλωμα του Καρκίνου (Ταύρος Α). Ακόμη και σήμερα, 1000 έτη μετά το ξέσπασμά του είναι το λαμπρότερο αντικείμενο στα ραδιοκύματα με μήκος κύματος >10 cm. Έχει αποδειχτεί ότι πολλά πληριόνια περιλαμβάνουν παλσαρ. Τα πληριόνια είναι η πρώτη φάση του νεφελώματος γύρω από ένα σχετικά νεαρό παλσαρ. Με την πάροδο του χρόνου το παλσαρ θα καθαρίσει με τον ισχυρό άνεμό του την περιοχή ανάμεσα σε αυτό και το νεφέλωμα.

Όλο και ανακαλύπτουμε νέα υπολείμματα σουπερνόβα. Ή είναι πολύ μακρινά συμπαγή και μάλλον νεαρά αντικείμενα ή πολύ εκτεταμένα και με ασθενή ακτινοβολία κελυφοειδές υπολείμματα, που είναι μάλλον μεγάλης ηλικίας και πολύ κοντά μας. Περιμένουμε να συμβαίνει μια έκρηξη σουπερνόβα κάθε 50 έτη στον Γαλαξία μας. Αν και τα υπολείμματά τους είναι πολύ λαμπρά αντικείμενα, η συμμετοχή τους στην συνολική εκπομπή ραδιοκυμάτων του Γαλαξία είναι μικρή.

Στα μεγάλα μήκη κύματος, οι περιοχές (HII) είναι εμφανείς, ανάλογα την πυκνότητα των ηλεκτρονίων τους.

Μέχρι σήμερα κανένα από τα είδη των αστέρων δεν υπολογίζεται ως εκπομπή ραδιοκυμάτων. Τα περισσότερα αστέρια παρουσιάζουν πολύ ασθενής εκπομπή σε αυτά τα μήκη κύματος.

Διάχυτη συνεχής γαλαξιακή ακτινοβολία

Η κατανομή της

Η συνεχής ραδιοακτινοβολία αναλύεται στους εξής παράγοντες

α) Συμπαγής ζώνη εκπομπής, με πολυάριθμα γαλαξιακά αντικείμενα (<3 μοίρες).

β) Διάχυτη ζώνη ακτινοβολίας μέχρι τις 20 μοίρες, ανάλογα το μήκος κύματος, με κατανομή όμοια με αυτήν των αστέρων.

Αυτές οι 2 κατηγορίες αποτελούν την γαλαξιακή εκπομπή από τον δίσκο. γ) Παράγοντες της άλως, εκπομπή του παχύ δίσκου μέχρι τους πόλους, αναμειγμένη με ακτινοβολία από την κοντινή περιοχή του Ηλίου.

δ) Εξωγαλαξιακή ακτινοβολία, όπως η ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου και οι μη αναλυμένες εξωγαλαξιακές εκπομπές-ανάλογα τη γωνία και το μήκος κύματός τους.

Αυτοί οι 2 τελευταίοι παράγοντες είναι ισότροποι.

Έχουν συντεθεί πολλοί χάρτες της ακτινοβολίας όλου του ουρανού σε διάφορα μήκη κύματος και με διαφορετική γωνιακή ανάλυση. Οι χάρτες στα ραδιοκύματα έδειξαν τα εξής.

1) Υπάρχει συγκέντρωση ραδιοκυμάτων στον δίσκο, αλλά μικρότερη από αυτή των αστέρων. Όσο μεγαλώνει η συχνότητα (μικρότερα μήκη κύματος), ενισχύεται αυτή η συγκέντρωση.

2) Στο γαλαξιακό επίπεδο υπάρχει ισχυρή συγκέντρωση στην κεντρική περιοχή, ισχυρότερη από αυτή των αστέρων. Σε μεγαλύτερα μήκη κύματος η συγκέντρωση εξαπλώνεται κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο.

3) Η κατανομή των ραδιοκυμάτων κατά μήκος του γαλαξιακού ισημερινού είναι ασύμμετρη, λόγω των σπειρών στον δίσκο.

4) Έχουμε τοπικές μεγάλες δομές σε μορφή λωρίδων (loop I- loop IV). Ίσως

υπάρχουν περισσότερες, πιο αμυδρές τέτοιες δομές. Κάποιες από αυτές μπορεί να είναι απομεινάρια εκρήξεων σουπερνόβα.

Οι παράγοντες της γαλαξιακής ραδιοακτινοβολίας είναι

1) Η θερμική εκπομπή του μεσοαστρικού αερίου. Είναι ο κυριότερος υποψήφιος, ιδίως κοντά στο γαλαξιακό επίπεδο σε μικρά μήκη κύματος και σε συγκεκριμένες περιοχές εκτός της γαλαξιακής οδού (π.χ. Ωρίωνας).

2) Μοναχικές πηγές στο δίσκο. Τα υπολείμματα σουπερνόβα και οι περιοχές (HII) έχουν σημαντικό ποσοστό της γαλαξιακής ραδιοακτινοβολίας μόνο κατά μήκος του γαλαξιακού ισημερινού. Το ποσοστό ραδιοακτινοβολίας από άστρα νετρονίων και άλλα άστρα είναι αναλογικά ασήμαντο.

3) Σχετικιστική ακτινοβολία στο μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο. Από την ισοτροπία της κοσμικής ακτινοβολίας, την πολικότητα του φωτός των αστέρων και την αναλογία της περιστροφής των παλσαρ μπορούμε να υπολογίσουμε το μεσοαστρικό μαγνητικό πεδίο σε 0,1-1 ntesla. Στην κοσμική ακτινοβολία υπάρχουν σχετικιστικά ηλεκτρόνια που κινούνται σχεδόν με την ταχύτητα του φωτός. Αυτά υποχρεώνονται από το μαγνητικό πεδίο σε κυκλικές ή σπειροειδές τροχιές, και μετατρέπουν τη κινητική τους ενέργεια σε ακτινοβολία. Η ένταση εξαρτάται από την πυκνότητα των σχετικιστικών ηλεκτρονίων, το ενεργειακό φάσμα τους και την ισχύ του μαγνητικού πεδίου.

Το φάσμα της γαλαξιακής σχετικιστικής ακτινοβολίας γίνεται απότομο στα μικρά μήκη κύματος, και στα κύματα μήκος εκατοστόμετρων εκφράζει το (μετρήσιμο) ενεργειακό φάσμα των σχετικιστικών ηλεκτρονίων. Η σχετικιστική ακτινοβολία θα έπρεπε είναι θεωρητικά γραμμικά πολωμένη ως και 75%. Συνήθως όμως μετράμε 10-20% πόλωση, αφού το μαγνητικό πεδίο έχει κανονική, αλλά και ακανόνιστη μορφή. Το κανονικό μαγνητικό πεδίο ακολουθεί τις σπείρες του Γαλαξία. Και αυτό, αλλά και η πυκνότητα των σχετικιστικών ηλεκτρονίων μειώνονται με την απόσταση από το γαλαξιακό κέντρο.

Η μη θερμική σχετικιστική ακτινοβολία είναι ο κύριος παράγοντας στη συνεχή ραδιοακτινοβολία από τα cm ως τα m. Τα σχετικιστικά ηλεκτρόνια της κοσμικής ακτινοβολίας επιταχύνονται από δυνατά ωστικά κύματα των υπολειμμάτων σουπερνόβα ή από ωστικά κύματα της μεσοαστρικής ύλης. Η ισχύ του μαγνητικού πεδίου έτυχε σημαντικής ενίσχυσης κατά την δημιουργία του Γαλαξία, από το φαινόμενο του δυναμό. Το μερίδιο της θερμικής και της μη θερμικής ακτινοβολίας σε αυτό είναι ασαφές.

Γαλαξιακή γραμμική ακτινοβολία.

Το ουδέτερο μεσοαστρικό υδρογόνο εκπέμπει κυρίως στα 21 cm. Λόγω μικρής απορρόφησης στην μεσοαστρική ύλη, αυτή η ακτινοβολία έχει μεγάλη σημασία στην χαρτογράφηση της δομής του Γαλαξία. Οι γραμμικές ακτινοβολίες μορίων στα cm και sub mm κάνουν δυνατή την έρευνα της μεσοαστρικής χημείας.

Κίνηση των αστέρων, δυναμική.

Σε αυτή τη παράγραφο,

u = ταχύτητα, σχετική με το γαλαξιακό κέντρο.

V = ταχύτητα, σχετική με τον Ήλιο.

U, V, W =καρτεσιανοί παράγοντες της ταχύτητας

EB = ίδια κίνηση

RG = γωνιακή ταχύτητα

Σχετική κίνηση του Ηλίου

Το πιο εμφανές μέτρο στις κινήσεις των αστέρων είναι ο κατοπτρισμός της κίνησης του Ηλίου σε σχέση με τα άλλα άστρα, το ονομαζόμενο παραλλακτικό μερίδιο.

Το αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι τα άστρα μπροστά να (φαίνεται πως) έρχονται προς εμάς, τα άστρα πίσω από τον Ήλιο να μένουν πίσω και τα άστρα στις πλευρές του να μας προσπερνάνε. Ως $apex$ ορίζουμε το σημείο προς το οποίο κατευθύνεται ο Ήλιος, και $antapex$ το αντίθετο σημείο. Από την παρατήρηση, εκτός από το $apex$, κερδίζουμε και την ταχύτητα του Ηλίου σε σχέση με το κινητικό κέντρο της παρατηρούμενης αστρικής ομάδας. Η εικόνα αλλοιώνεται από τις σχετικές κινήσεις των άλλων αστέρων. Το αποτέλεσμα των παρατηρήσεων μας δείχνει το $apex$ να είναι στον αστερισμό του Ηρακλή. Στη στατιστική μέθοδο που ακολουθούμε χρησιμοποιούμε την παραδοχή ότι τα άλλα άστρα έχουν τυχαία κατανομή κινήσεων, που μας δίνει κατά μέσο όρο μηδέν. Για να το επαληθεύσουμε, εξετάζουμε τα υπόλοιπα της αφαίρεσης $V_{star} - V_{sun}$. Το αποτέλεσμα είναι ότι δεν έχουμε κανονικότητα. Υπάρχει εξάρτηση από το γαλαξιακό μήκος (διαφορική γαλαξιακή περιστροφή) και από την ομάδα αστέρων (διαφορετική κινητική συμπεριφορά κάθε ομάδας).

Έτσι ορίζουμε μια βασική Ηλιακή κίνηση (basic solar motion).

1) Εμπειρικός ορισμός, οι μέσες τιμές της κατανομής ταχύτητας των αστέρων κοντά στον Ήλιο U, V, W που μας τις δίνει το κινητικό κέντρο της συγκεκριμένης ομάδας αστέρων και

2) Δυναμικός ορισμός, η κίνηση του Ηλίου σχετικά με το σημείο, που στην ακτίνα του Ηλίου από το γαλαξιακό κέντρο περιφέρεται σε κυκλική τροχιά γύρω από το κέντρο του Γαλαξία. Το τοπικό σχετικό σύστημα κίνησης των αστέρων που λαμβάνουμε έτσι ονομάζεται τοπικό σύστημα ηρεμίας (local standard of rest = LSR). $U_{sun} = -U$, $W_{sun} = -W$, ο παράγοντας V δεν είναι σαφώς καθορισμένος στο LSR.

Τα αποτελέσματα αυτής της μέτρησης είναι $U_{sun} = 10$ km/s, $V_{sun} = 5,2$ km/s, $W_{sun} = 7,2$ km/s. Η ταχύτητα στον χώρο είναι $V_{sun} = 13,4$ km/s. Για αυτή την μέτρηση χρησιμοποιούνται άστρα του δίσκου που βρίσκονται κοντά στον Ήλιο (δορυφόρος HIPPARCOS). Μεγάλες αποκλίσεις έχουμε για άστρα στον παχύ δίσκο με $V = 40$ km/s, αλλά και για άστρα στην άλω και για τα σφαιρωτά σμήνη με $V = 200$ km/s, που δεν συμμετέχουν στην περιστροφή του Γαλαξία. Σε αυτές τις αποκλίσεις φαίνεται η περιφορά του Ηλίου γύρω από τον Γαλαξία. Η μετάβαση από τον δίσκο στην άλω είναι κλιμακωτή.

Η περιστροφή του Γαλαξία.

A) Αποτελέσματα παρατήρησης.

Απομονώνουμε τα κανονικά κοντινά στον Ήλιο αστέρια. Μετά την αφαίρεση της σχετικής κίνησης του Ηλίου μένει ένας συστηματικός ρυθμός κίνησης σχετικά με το γαλαξιακό μήκος. Δημιουργείται ένα διπλό κύμα στο

διάγραμμα των RG,EB (EB= ιδία κίνηση, RG= γωνιακή ταχύτητα).

B) Φαινόμενη σημασία του <διπλού κύματος>.

α) Γραμμικό πεδίο ρεύματος με διαφορική περιστροφή. Για το RG υπάρχει συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρατήρησης. Και για το EB υπάρχει συμφωνία, αλλά ενώ θα έπρεπε να είναι πάντα θετικό, είναι κυρίως αρνητικό. β) Αυτή η μετατόπιση του EB υπάρχει όταν συνυπολογίζουμε την τροχιά του Ηλίου γύρω από το κέντρο του Γαλαξία με τους ακόλουθους γενικούς υπολογισμούς. Το ανώτερο πεδίο ρεύματος είναι προσαρμοσμένο στον Γαλαξία, άρα περιστρεφόμενο. Το σύστημα συντεταγμένων της αστρονομίας θέσεως στην οποία μετράμε το EB είναι απόλυτο. Τα 2 συστήματα περιστρέφονται αντίθετα.

Γ) Μαθηματική προσέγγιση.

Ο στόχος της είναι να καθορίσει όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους ανεξάρτητα, ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα σταθερών της Γαλαξιακής περιστροφής.

Για την απόστασή μας από το Γαλαξιακό κέντρο έχουμε ακριβή καθορισμό από τα άστρα RR Lύρας κοντά στο Γαλαξιακό κέντρο, τα σφαιρωτά σμήνη και τον απόλυτο ημιάξονα της τροχιάς Κεπλερ του άστρου S2 γύρω από την κεντρική γαλαξιακή μαύρη τρύπα. Το συμπέρασμα είναι η τιμή των 8 kpc .

Παίρνουμε διάφορες τριγωνομετρικές τιμές από την κίνηση του Ηλίου, σχετικά με αντικείμενα που δεν συμμετέχουν στη περιστροφή του Γαλαξία (άστρα της άλως, σφαιρωτά, εξωγαλαξιακά αντικείμενα) και την μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας της μ. τρύπας.

Δ) Μέτρηση με ραδιοαστρονομία.

Η παρατήρηση της γραμμής των 21 εκ. μας δίνει την μέτρηση της απόστασης και τις γωνιακές ταχύτητες των νεφών. Το αποτέλεσμα είναι ότι ο Γαλαξίας έχει ισορροπημένη ταχύτητα περιστροφής (ανάμεσα στα κοντινά στο κέντρο και τα μακρινά από αυτό αντικείμενα), όπως έχουν και άλλοι γαλαξίες, κάτι που σημαίνει την ύπαρξη σκοτεινής άλω μεγάλης μάζας, ίση με 1 τρις ηλιακές μάζες. Στο εσωτερικό του Γαλαξία η ταχύτητα αυτή αυξάνεται γραμμικά από το μηδέν.

Ιδίες κινήσεις των αστέρων

Αφού αφαιρέσουμε όλες τις συστηματικές επιδράσεις (ιδία κίνηση του Ηλίου, γαλαξιακή περιστροφή) μένουν οι ίδιες κινήσεις των αστέρων μέσα στην ομάδα τους, και η κατανομή των ταχυτήτων τους.

1) Κανονικά αστέρια στην περιοχή του Ηλίου

Η κατανομή των ταχυτήτων τους περιγράφεται από την ελλειψοειδή κατανομή 3 αξόνων (κατανομή S Schwarzschild). Η απόκλιση Vertex είναι η διαφορά μεταξύ του μεγάλου άξονα της έλλειψης και της κατεύθυνσης προς το κέντρο. Την παρατηρούμε μέχρι τις 20 μοίρες. Αίτιο αυτής της διαφοράς είναι μάλλον η επίδραση των σπειρών και των τοπικών συμπυκνώσεων στο συμμετρικό προς τον άξονα περιστροφής βαρυτικό πεδίο.

Οι ταχύτητες αυξάνονται με την ηλικία των αστέρων. Αυτό δεν έπρεπε να συμβαίνει, επειδή οι γαλαξίες είναι ανεξάρτητα συστήματα. Αποτελεί ένδειξη της ύπαρξης αντικειμένων μεγάλης μάζας όπως τα μοριακά νέφη ή τμήματα των σπειρών που μέσω βαρυτικών αλληλεπιδράσεων επιταχύνουν τα άστρα.

Ασύμμετρο Drift

Το μετράμε σε ομάδες με διαφορετική ηλικία και ταχύτητα αστερών στην περιοχή του Ηλίου, των οποίων μετράμε τη ταχύτητα περιφοράς σε σχέση με τον Ήλιο.

Θεωρία επίκυκλων

Η ταχύτητα των αστερών μεγαλώνει στο περιγαλαξιακό και μικραίνει στο απογαλάξιο. Έτσι χρησιμοποιούμε επίκυκλους στους υπολογισμούς μας.

2) Άστρα του παχύ δίσκου και της γαλαξιακής άλως.

Τα άστρα του παχύ δίσκου περιφέρονται με 40km/s πιο αργά από τα άστρα του λεπτού δίσκου, ενώ αυτά της άλως πολύ αργά ή καθόλου. Και οι τροχιές τους είναι πολύ πιο έκκεντρες από αυτές των αστερών του δίσκου.

Η σπειροειδής δομή.

Ο Γαλαξίας μας είναι σπειροειδής τύπου Sb. Αυτό εξακριβώθηκε με παρατηρήσεις στο υπέρυθρο και στα ραδιοκύματα.

Οπτική παρατήρηση.

α) Πολύ νεαρά αντικείμενα

Οι σπείρες χαρακτηρίζονται από την αυξημένη πυκνότητα της μεσοαστρικής ύλης. Όσο πιο νεαρά είναι τα αντικείμενα που δημιουργούνται από αυτήν, τόσο πιο πολύ είναι συγκεντρωμένα στις σπείρες.

β) Δομή σπειρών μεγάλης κλίμακας στον Γαλαξία.

Η θέση των σπειρών φανερώνεται σε απεικονίσεις του ουρανού στο υπέρυθρο. Σε γαλαξιακό πλάτος 0 οι σπείρες είναι στο μέγιστο πυκνότητας, αν τις κοιτάζουμε οριζόντια. Σε συνδυασμό με άλλες παρατηρήσεις (άστρα OB, Κηφείδες, περιοχές (HII), περιοχές αστρογέννησης) μας δίνεται μια εικόνα τεσσάρων σπειρών, με μόνο τις 2 από αυτές να φτάνουν το εσωτερικό του Γαλαξία.

Ραδιοπαρατήρηση (γραμμές υδρογόνου).

Τα προτερήματα εδώ είναι ότι τα ραδιοκύματα διαπερνούν σχεδόν ανεμπόδιστα τα μεσοαστρικά νέφη σκόνης, και ότι συνδυάζουν την γωνιακή ταχύτητα και την απόσταση με βάση τη γαλαξιακή περιστροφή. Το αποτέλεσμα είναι η διάκριση 4 σπειρών μέχρι την ακτίνα των 20 kpc. Ένα πρόβλημα είναι ότι κοιτάζοντας από την θέση του Ηλίου στον Γαλαξία έχουμε γωνιακά παραποιημένες μορφές (δάκτυλα θεού), που οφείλονται σε λάθη στην μέτρηση της απόστασης (μη κυκλικές επιδράσεις των νεφών (HI)). Στο εσωτερικό της τροχιάς του Ηλίου, οι μετρήσεις δεν μας δίνουν αξιοποιήσιμη εικόνα.

Περιοχές (HII)

Σε αυτές πετυχαίνουμε τον συνδυασμό των οπτικών και ράδιο-μετρήσεων. Οι μεγάλες περιοχές (HII) είναι και οπτικά αντικείμενα, των οποίων η απόσταση μετρείται φωτομετρικά, αλλά και εκπέμπουν πολύ ερεθισμένες γραμμές υδρογόνου στα ραδιοκύματα.

Η θεωρία των κυμάτων πυκνότητας.

Η θεώρηση των σπειροειδών δομών ως κύματα πυκνότητας.

Τα κύματα πυκνότητας σχηματίζονται από όλο τον αστρικό πληθυσμό, όπως

και τα αμυδρά αστέρια, αλλά κυριαρχούν τα άστρα μεγάλου πληθυσμού όπως αυτά του H/R. Επίσης υπάρχει το φαινόμενο η μεσοαστρική σκόνη και το μεσοαστρικό αέριο να συγκεντρώνονται στις σπείρες, δημιουργώντας αυξημένη αστρογέννηση. Έτσι οι σπείρες είναι πιο αναγνωρίσιμες από την κατανομή των νεαρών αντικειμένων (άστρα OB, νεαρά σμήνη, περιοχές HII). Η γωνιακή ταχύτητα του σταθερά περιστρεφόμενου κύματος πυκνότητας είναι 20 km/s/kpc .

Κοσμική ακτινοβολία

Πρόκειται για σωματίδια μεγάλης ενέργειας της μεσοαστρικής ύλης, που είναι υπό-σχετικιστικά στο μεγαλύτερο μέρος του ενεργειακού τους φάσματος.

Τα πρωτεύοντα σωματίδια έχουν ηλεκτρικό φορτίο και είναι πλήρως ιονισμένα πρωτόνια, σωματίδια α , βαριοί πυρήνες ατόμων, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια, και αδρονικά αντισωματίδια.

Τα δευτερεύοντα σωματίδια είναι κβάντα ακτίνων γ , νετρίνα, ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια και ελαφροί πυρήνες ατόμων, που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση με άτομα αερίων χαμηλής ενέργειας και φωτόνια στις πηγές τους ή στην μεσοαστρική ύλη. Η ύπαρξη και των 2 ομάδων έχει επιβεβαιωθεί από μπαλόνια και δορυφόρους λίγο έξω από την ατμόσφαιρα (σε 40 χιλιόμετρα ύψος). Τα κβάντα γ υψηλής ενέργειας εμφανίζονται μέσω της δευτερεύουσας, οπτικής ακτινοβολίας Τσερένκοφ στο έδαφος της Γης. Πηγές της κοσμικής ακτινοβολίας θεωρούνται οι εκρήξεις σουπερνόβα στον Γαλαξία μας. Τα σωματίδια υψηλής ενέργειας έχουν εξωγαλαξιακή προέλευση και μάλλον προέρχονται από ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες ή εκρήξεις ακτίνων γ .

Η ενεργειακή κατανομή των γαλαξιακών πρωτευόντων σωματιδίων. Η κατανομή ταχύτητας είναι ισότροπη, αλλά η ροή εξαρτάται πολύ από την ενέργεια του σωματιδίου. Η κατανομή είναι μη θερμική. Σε χαμηλές ενέργειες η ροή είναι χαοτική, λόγω επίδρασης του μαγνητικού πεδίου του Ηλίου. Σε μεγαλύτερες ενέργειες έχουμε υποβάθμιση της ροής από την αλληλεπίδραση με την ακτινοβολία υποβάθρου.

Σχετικές χημικές αναλογίες.

Είναι πολύ όμοιες με τις συμπαντικές αναλογίες και αυτές της θερμικής μεσοαστρικής ύλης. Μερικές χαρακτηριστικές διαφορές είναι ότι οι, λόγω νουκλεοσύνθεσης, σημαντικές διαφορές μεταξύ των αναλογιών των διαφόρων ατομικών πυρήνων στην θερμική μεσοαστρική ύλη έχουν εξαλειφθεί από διαδικασίες διάσπασης σε συγκρούσεις των πυρήνων. Αυτό είναι πολύ εμφανές στα σπάνια ελαφριά στοιχεία (Li), (Be), (B). Οι σχετικές χημικές αναλογίες σε ενέργειες 1GeV, μαζί με αυτές της θερμικής μεσοαστρικής ύλης (ηλιακό σύστημα), έχουν μεγάλη ομοιότητα, κάτι που δείχνει ότι η κοσμική ακτινοβολία από την μεσοαστρική ύλη προωθείται μέσω της επιτάχυνσης των σωματιδίων. Η μέση ηλικία της κοσμικής ακτινοβολίας (ο χρόνος που κατά μέσο όρο χρειάζεται ένα σωματίδιό της για να συγκρουστεί με ύλη του Γαλαξία) στον δίσκο και στην άλω είναι 20 εκατομμύρια έτη, χίλιες φορές το χρόνο της διάβασης του φωτός από όλο τον γαλαξιακό δίσκο. Η μεγάλη αυτή χρονική διάρκεια της κοσμικής ακτινοβολίας πρέπει να ενισχύεται από το γαλαξιακό

μαγνητικό πεδίο. Η ροή της κοσμικής ακτινοβολίας άρχισε προ τουλάχιστον 100 εκ. έτη, αλλά λόγω της παρουσίας της σε όλο τον Γαλαξία είναι περίπου σταθερή. Η ενέργειά της είναι μόλις το 1 χιλιοστό αυτής που παράγεται μέσα στα αστέρια.

Η κοσμική ακτινοβολία συμμετέχει σε όλες τις διαδικασίες μεγάλου μεγέθους στον Γαλαξία, όπως η δημιουργία μεγάλων μοριακών νεφών και ο γαλαξιακός άνεμος, καθώς και στην δημιουργία χημικών στοιχείων στην μεσοαστρική ύλη, μιας και διεισδύει βαθιά μέσα στα νέφη.

Η δημιουργία και η εξέλιξη του Γαλαξία μας.

Υπάρχουν 2 παλαιότερες ανταγωνιστικές θεωρίες για την εξήγηση της δημιουργίας της άλω του Γαλαξία μας.

α) Η μονολιθική κατάρρευση (1962)

Βασίζεται σε παρατηρήσεις που μας δείχνουν ότι τα άστρα κοντά στον Ήλιο, που είναι φτωχά σε μέταλλα, κινούνται σε πιο έκκεντρες τροχιές. Κατά την δημιουργία των αρχαίων αστέρων ο Γαλαξίας δεν μπορούσε να ήταν σε δυναμική ισορροπία, αλλά σε κατάσταση ταχείας κατάρρευσης (διάρκειας 100 εκατομμυρίων ετών) ενός μεγάλου ομογενούς σφαιροειδούς, του πρωτογαλαξία. Έτσι εξηγείται η εκκεντρικότητα των τροχιών αυτών των αστέρων (τα αρχαία άστρα βρίσκονται συνήθως στην άλω). Τα προβλήματα αυτής της θεωρίας είναι ότι η σχέση (Fe)/(H) και εκκεντρικότητας τροχιών είναι σωστή για ένα δείγμα αστέρων της άλω αλλά και του δίσκου, όχι μόνο για αυτά στην άλω. Επίσης, το γεγονός ότι τα φτωχά σε μέταλλα άστρα αυξάνονται όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του Γαλαξία δεν συνδυάζεται με αυτή την θεωρία.

β) Το σενάριο του χτισίματος (bottom-up) (1978).

Αφορμή της θεωρίας είναι η ελλιπής μεταλλικότητα και η μεγάλη διαφορά ηλικίας των σφαιρωτών σμηνών στην εξωτερική άλω. Η θεωρία Bottom-up υποστηρίζει ότι ο Γαλαξίας μας δημιουργήθηκε από αργή και χαοτική συγχώνευση (merging) πολλών μικρών προγαλαξιακών αντικειμένων. Τα προβλήματα εδώ είναι ότι σήμερα γνωρίζουμε πως η κατανομή πυκνότητας των αστέρων στο εσωτερικό της άλω του Γαλαξία είναι πολύ ισορροπημένη, με συνεχές μετάβαση σε σχεδόν σφαιρική κατανομή σε μεγάλες αποστάσεις. Υπάρχει συνεχής μείωση της ταχύτητας περιστροφής των αστέρων της άλω, όσο αυξάνεται το ύψος πάνω από τον δίσκο. Η δημιουργία μιας τέτοιας χωρικής και κινητικής κατανομής μέσω χαοτικής συγχώνευσης δεν προβλέπεται από τη φυσική.

Η δημιουργία της άλω δεν εξηγείται ούτε από την μονολιθική κατάρρευση, ούτε από την συγχώνευση προγαλαξιακών αντικειμένων. Η άλω περιλαμβάνει μόνο το 1% των αστέρων του Γαλαξία μας. Χρειάζεται μια γενικότερη θεωρία, ώστε να κατανοήσουμε την δημιουργία του Γαλαξία μας και γενικά των σπειροειδών γαλαξιών. Πρέπει να υπολογιστούν παράγοντες όπως οι κοσμολογικές αρχές, οι ιδιότητες της σκοτεινής ύλης, η σύνδεση μεταξύ ηλικίας αστέρων -χημικής σύνθεσης και η κινητική τους.

Το ιεραρχικό σενάριο και οι προβλέψεις του.

Το σενάριο αυτό προβλέπει

.Την κατάρρευση πρωτογενών συμπυκνώσεων, των οποίων η γραμμική

σταθερά πυκνότητας είναι μεγαλύτερη από $\delta_c=1.686$. Στο μεταξύ έχουμε πτώση της μέσης πυκνότητας του σύμπαντος.

.Αργή αύξηση της άλω μέσω πετυχημένης συγχώνευσης μικρότερων υπο-αλέων (νάνοι γαλαξίες).

.Η δημιουργία των πρώτων (πληθυσμού III) αστέρων είναι εφικτή μόνο στην άλω, λόγω μάζας και θερμοκρασίας, που επιτρέπουν την ψύξη του αερίου (H), (H₂). Σε θερμοκρασία άνω από τους 10000 K δεν είναι εφικτή η ψύξη του (H). Η ψύξη του (H) πετυχαίνεται από ανάμειξη με (H₂).

.Η λεπτομερής προσομοίωση της εξέλιξης των μεγάλων δομών και της ξεχωριστής σκοτεινής άλως είναι εφικτή όταν μειώνεται η επίδραση των βαρυονίων.

.Οι σημερινοί γαλαξίες είναι εμβαπτισμένοι σε αργά περιστρεφόμενες, τριαξονικές και ισορροπημένες άλως σκοτεινής ύλης.

.Υπάρχει πλούσια δομή της σκοτεινής άλως. Αποτελείται από εκατοντάδες ως χιλιάδες υπο-άλως.

.Είναι πιθανή η κατάταξη των σωματιδίων της σκοτεινής ύλης σε έναν σκοτεινό δίσκο, μέσω δυναμικής τριβής κατά την πτώση (προσαύξηση) υπο-αλεών σε μικρή γωνία με την άλω.

.Η περιγραφή της δημιουργίας των σπειροειδών γαλαξιών με την βοήθεια υδροδυναμικών προσομοιώσεων είναι εφικτή με τον υπολογισμό του βαθμού της αστρογέννησης, των εκρήξεων σουπερνόβα και άλλων παραγόντων.

.Από νωρίς στο σύμπαν ($z=2..3$) έχουμε την εμφάνιση σπειρών από την κατάρρευση (προσαύξηση) πλουσίων σε αέρια δορυφόρων-γαλαξιών.

Το πρόβλημα των περισσότερων προσομοιώσεων είναι ότι έχουμε μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας ή και καταστροφή της σπείρας ως την εποχή $z=0$, από συνεχές βομβαρδισμό από υπο-άλως. Μια λύση είναι η ηρεμία προσαύξησης από $z=2$ στον Γαλαξία μας, άρα να μην έχουμε από τότε σημαντικές συγχωνεύσεις (major merger). Η προσαύξηση είναι κυρίως χαλαρών, πλουσίων σε αέρια συστημάτων, που δικαιολογεί την αστρογέννηση στον λεπτό δίσκο. Η εικόνα που έχουμε, σύμφωνα με την οποία η αστρογέννηση κορυφώθηκε στο σύμπαν στην εποχή $z=2-4$, ενισχύει αυτήν την λύση.

Αυτό που γνωρίζουμε σήμερα είναι ότι ο Γαλαξίας μας χτήστηκε από συγχωνεύσεις κυρίως ανώμαλων νάνων γαλαξιών. Η ύλη προσαυξήθηκε σχετικά ομαλά στον δίσκο, κάτι που επέτρεψε την διατήρησή του και την μη κατάρρευση του δίσκου σε ελλειπτικό γαλαξία. Παρατηρούμε ίχνη από 2 κορυφώσεις αστρογέννησης, κάτι που δικαιολογεί τους 2 αστρικούς πληθυσμούς του γαλαξιακού πυρήνα και την μεταγενέστερη δημιουργία του λεπτού δίσκου.

Ο Γαλαξίας μας ως πρότυπο δημιουργίας σπειροειδών γαλαξιών.

Υπάρχει αναλογία μεταξύ της ηλικίας των αστέρων, της χημικής σύστασης και της κινητικής μεμονωμένων δομών του Γαλαξία μας. Η σχέση αυτή στον Γαλαξία μας μοιάζει με αυτές άλλων σπειροειδών του σημερινού (κοντινού) σύμπαντος, διαφέρει όμως από δείγματα του παρελθόντος. Οι γαλαξίες δημιουργούνται με την ίδια διαδικασία σε όλο το σύμπαν, και η κατανόηση του δικού μας είναι ένα ιδανικό πειραματικό πεδίο. Έχουμε τη δυνατότητα να κατανοήσουμε ανεξήγητες παραμέτρους της ιεραρχικής δομικής δημιουργίας, από μετρήσεις του Γαλαξία και της τοπικής ομάδας του. Υπάρχει ένα πρόβλημα, αυτό των εκλιπόντων

γαλαξιών-δορυφόρων (missing satellite problem). Δημιουργήθηκε όταν κατά την προσομοίωση ΛDCM (προσομοίωση ψυχρής σκοτεινής μάζας) εμφανίστηκαν εκατοντάδες υπό-άλως μέσα στη διάμετρο ενός γαλαξία σαν τον δικό μας, ενώ παρατηρούμε μόνο μερικές δεκάδες δορυφόρους γαλαξίες στον ουρανό. Οι 3 προτάσεις για λύση είναι

- α) Οι μεγάλες θερμικές ταχύτητες της σκοτεινής ύλης (warm dark matter) εμποδίζουν την δημιουργία αλέων κάτω από ένα κατώφλι ταχύτητας. Η θερμή σκοτεινή ύλη έχει μικρότερη δομή και αραιότερο πυρήνα.
- β) Η ύπαρξη αστροφυσικών διαδικασιών, που υποβαθμίζουν την δημιουργία αστέρων σε μικρές άλως, όπως η εμπόδιση κατάρρευσης νεφών λόγω του φωτοϊονισμού από την κοσμική ακτινοβολία στις υπεριώδεις ή λόγω των επιρροών από σουπερνόβα.
- γ) Η παραδοχή ότι οι περισσότεροι γαλαξίες-δορυφόροι δεν έχουν ανακαλυφθεί λόγω της μικρής τους λαμπρότητας. Με το πρόγραμμα sloan digital sky survey (SDSS) ελπίζουμε να διπλασιάσουμε τους γαλαξίες-δορυφόρους που γνωρίζουμε. Υπάρχει και πρόβλεψη για την ανακάλυψη εκατοντάδων τέτοιων γαλαξιών.

Άμεσες ενδείξεις για την ιεραρχική δημιουργία των γαλαξιακών δομών.

1) Ροές αστέρων στην εξωτερική άλω (παλιρροϊκές ροές)
Η αλληλεπίδραση με το βαρυτικό πεδίο του Γαλαξία οδηγεί στην συσσώρευση βαρυονικής και μη ύλης από τα εξωτερικά στρώματα γαλαξιών-δορυφόρων και σφαιρωτών σμηνών. Σε κάθε τέτοια διαδικασία συσσώρευσης σχηματίζονται 2 <ουρές> ή αστρικά ρεύματα -ένα μπροστινό και ένα πίσω. Αυτό εξηγείται με την θεωρία των 3 σωμάτων της ουράνιας μηχανικής. Τα βαρυτικά δεσμευμένα άστρα σε δορυφόρους-γαλαξίες μπορούν, μέσω ελαφριών εξωτερικών επιδράσεων, να πάρουν αρκετή ενέργεια και να εξοκείλουν κοντά στα σημεία Lagrange L1 και L2. Αυτά είναι τα σημεία όπου ένα άστρο χάνει τη βαρυτική του σύνδεση με τον δορυφόρο-γαλαξία ή το σφαιρωτό σμήνος.
Η μοντελοποίηση της κατανομής ενός παλιρροϊακού ρεύματος αφήνει συμπεράσματα για το δυνητικό σχήμα του Γαλαξία μας.
Το δυνητικό σχήμα μεταβάλλεται από ελαφριά πεπλατυσμένο στο εσωτερικό, σε σχεδόν σφαιρικό στην άλω. Η επιβεβαίωση της μετάβασης από το εσωτερικό προς την εξωτερική άλω έρχεται από την διαφορετική κινητική των 2 αστρικών πληθυσμών.

2) Υπό-δομή στον δίσκο

Η κατάρρευση και η προσαύξηση των δορυφόρων-γαλαξιών και των σκοτεινών υπό-αλέων έπρεπε να αφήνουν τα σημάδια τους στον δίσκο. Υπάρχουν παραδείγματα, μέσω εξομοιώσεων.

- .Το ρεύμα του Μονόκερου είναι πιθανόν ένα υπόλειμμα του γαλαξία- νάνου της μεγάλης Άρκτου.
- .Έχουμε στημόνι (warp) στον δίσκο (ασυμμετρία μεταξύ 1ου και 4ου τέταρτου του παχύ δίσκου)
- .Έχουμε ροές- κινούμενα σμήνη (moving groups), δηλαδή ομάδες αστέρων σε παρόμοιες γαλαξιακές τροχιές και με ισχυρές συσχετίσεις στο διάγραμμα ταχυτήτων.
- .Υπολογίζουμε την ύπαρξη αξιοσημείωτου αριθμού αστέρων με πολύ

έκκεντρες τροχιές στον παχύ δίσκο.

3) Νέφη μεγάλων ταχυτήτων (high velocity clouds)

Πρόκειται για μεμονωμένα συμπαγή νέφη αερίων στην άλω με μεγάλη αρνητική ταχύτητα σε σχέση με το γαλαξιακό κέντρο (400 km/s). Αποτελούνται κυρίως από ατομικό υδρογόνο, με εξωτερικές στρώσεις ιονισμένου αερίου (HII), και είναι πολύ φτωχά σε μέταλλα ($(Fe)/(H) < -1$). Τα νέφη αυτά αποτελούν άμεση απόδειξη της εισροής αερίων στον Γαλαξία μας.

Η μαύρη τρύπα στο κέντρο του Γαλαξία.

Η μάζα της κεντρικής μαύρης τρύπας είναι 4 εκατομμύρια ηλιακές.

Οι μαύρες τρύπες στις προσομοιώσεις Λ CDM.

Το παρακάτω σενάριο αναπαριστάνει την αναλογία γαλαξιακής μάζας/ μάζας της κεντρικής μαύρης τρύπας αρκετά καλά, αλλά πολλές λεπτομέρειες μένουν ανεξήγητες.

1) Η πρωτογενής μαύρη τρύπα δημιουργήθηκε από άστρα πληθυσμού III (μάζας πάνω από 100 ηλιακές) με $z=12\dots 15$.

2) Στην εξέλιξη ενός γαλαξία συμβαίνουν μεγάλες συγχωνεύσεις (major mergers, με την μάζα του γαλαξία που συσσωρεύεται να ξεπερνάει το $\frac{1}{4}$ της μάζας του γαλαξία που τον συσσωρεύει), που οδηγούν σε ισχυρές δυναμικές τριβές με την σκοτεινή ύλη και στο βύθισμα της μαύρης τρύπας προς το κέντρο της άλω. Επίσης μικρότερες συγχωνεύσεις (minor mergers, κυρίως νάνων γαλαξιών) λαμβάνουν χώρα στις εξωτερικές περιοχές της άλω.

3) Έχουμε γρήγορη αύξηση της μάζας της μαύρης τρύπας στο γαλαξιακό κέντρο μέσω α) συγχώνευσης με άλλες μαύρες τρύπες β) Επικάθιση από αέρια της κεντρικής περιοχής.

Σχέση μεταξύ των αστρικών παραμέτρων και της μορφολογίας του Γαλαξία μας.

Η κατανομή πυκνότητας, ταχύτητας, ηλικίας και η αναλογία των στοιχείων στα αστέρια μας δίνει τις ενδείξεις της δημιουργίας των διαφόρων δομών του Γαλαξία μας.

1) Παχύς και λεπτός δίσκος.

Εδώ έχουμε το κοσμολογικό πρόβλημα στροφορμής των εξομοιώσεων Λ CDM, δηλαδή ότι τα βαρυόνια πέφτουν προς τα μέσα και συμπυκνώνονται, δημιουργώντας δομές μέσω της ψύξης τους. Έτσι μεταφέρουν ένα μεγάλο μέρος της στροφορμής τους στην σκοτεινή ύλη της άλω, μέσω δυναμικής τριβής με αυτήν.

Με αυτόν τον τρόπο θα είχαμε υπερβολικά γρήγορη κατανάλωση των αερίων, μέσω έντονης αστρογέννησης στο γαλαξιακό κέντρο. Αρα θα είχαμε από νωρίς ($z=10\dots 3$) τη δημιουργία υπερβολικά πυκνών δίσκων ή μιας κοιλιάς χωρίς δίσκο.

Η λύση σε αυτό το παράδοξο είναι η επιρροή από βαρυτικά γεγονότα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η μετρίαση της διαδικασίας συμπύκνωσης από εκρήξεις σουπερνόβα, με συνέπεια την θέρμανση του ψυχρού αερίου, την καθυστέρηση της κατάρρευσής του και την δημιουργία γαλαξιακών ανέμων.

Αυτό οδήγησε σε περιορισμό της αστρογέννησης και στην δημιουργία αποθέματος από θερμό αέριο, το οποίο αργότερα συγκεντρώθηκε και δημιούργησε σταδιακά τον δίσκο (σε αστρογέννηση δεύτερης φάσης). Έτσι είχαμε την δημιουργία του δίσκου σε βαθμίδες. Η θεωρητική κατανομή των χημικών στοιχείων από την επίδραση των εκρήξεων σουπερνόβα συμφωνεί με τις παρατηρήσεις μας.

Ο παχύς δίσκος κυριαρχείται από παλαιά άστρα 10-12 δις ετών, ενώ ο λεπτός από ετερογενή άστρα 1 εκατομμυρίων (πρόσφατη αστρογέννηση) ως 12 δις ετών. Από τη μικρή διασπορά ταχύτητας του παλαιού λεπτού δίσκου προκύπτει ένα ανώτερο σύνορο σημαντικής συγχώνευσης στο $z=2$ (εποχή μέγιστης αστρογέννησης στο σύμπαν). Από τότε είχαμε μόνο ομαλή επικάθιση ύλης ή σημαντική συγχώνευση με την παρουσία πολύ αερίου. Το τελευταίο δίνει την πιθανότητα δημιουργίας νέου λεπτού δίσκου, αφού το αέριο αποσβένει την στροφορμή ενός δορυφόρου-γαλαξία και την ανακατανέμει. Αυτό θα ήταν σύμφωνο με τη παραδοχή της δημιουργίας του παχύ δίσκου από την αλληλεπίδραση μιας σημαντικής συγχώνευσης με τον προ- $z=2$ υφιστάμενο δίσκο. Από την ηλικία $z=2$ έχουμε 30-40% πιθανότητες για πλούσια σε αέρια συγχώνευση και μόνο 20% για φτωχή σε αέρια συγχώνευση. Η ομαλή εισροή ύλης είναι το μυστικό στην διατήρηση του δίσκου (σπειροειδής μορφή του Γαλαξία) και όχι κατάρρευση σε ελλειπτικό.

Η δημιουργία του παχύ δίσκου.

Είναι ακόμα αδιευκρίνιστη, αλλά υπάρχουν αρκετοί μηχανισμοί (μερικοί από αυτούς είναι αλληλεπικαλυπτόμενοι), όπως

-Μια μοναδική σημαντική αναθέρμανση ενός δίσκου από την εποχή $z=2$ λόγω μιας σημαντικής συγχώνευσης.

-Συνεχής αδιαβαθμική θέρμανση του λεπτού δίσκου. Αυτό σημαίνει αργή ανάπτυξη της μάζας του δίσκου, όπου τα ήδη υπάρχοντα άστρα μεγαλώνουν την διασπορά των ταχυτήτων τους (θερμαίνονται). Όμως αποβάλλουν πολύ γρήγορα και αποτελεσματικά θερμική ενέργεια μέσω ψύξης (αδιαβαθμικά) όσο διαρκεί η αργή επικάθιση αερίου στο επίπεδο του δίσκου, μέσω μερικής συγχώνευσης με γαλαξίες-νάνους ή σκοτεινές υπό-άλως. Έτσι δημιουργούνται τα νεαρότερα άστρα του παχύ δίσκου με ηλικία μικρότερη των 8 δις ετών.

-Απ ευθείας απόθεση αστέρων από γαλαξίες-δορυφόρους στο επίπεδο του δίσκου μέσω παλιρροϊκών δυνάμεων, υπό την επίδραση δυναμικής τριβής των δορυφόρων και της λόγω αυτής μείωσης της εκκεντρικότητας της τροχιάς τους. Αυτό ισχύει κυρίως για συμπαγείς, μεγάλης μάζας δορυφόρους. Και η σχέση λαμπρότητας-μεταλλικότητας της τοπικής ομάδας γαλαξιών συμφωνεί με την ύπαρξη τμήματος ενός μεγάλης μάζας γαλαξία-δορυφόρου στον πλούσιο σε μέταλλα παχύ δίσκο. Τα υπολείμματα διαφόρων γαλαξιών εποίκούν διάφορες ακτινωτές περιοχές του Γαλαξία μας. Επίσης έτσι είναι δυνατή η εισροή γηραιών αστέρων σε πιο πρόσφατα δημιουργημένες περιοχές.

-Ανακάτεμα αστέρων και αερίων στον παχύ δίσκο, σε ακτινωτή κατεύθυνση (radial mixing) στον δίσκο, μέσω 2 μηχανισμών.

1) Αύξηση της εκκεντρικότητας των αστρικών τροχιών μέσω διατήρησης της στροφορμής, π.χ. μέσω διασποράς των μοριακών νεφών και άλλων βαρυτικών διαταραχών. Αυτό με την πάροδο του χρόνου φέρνει κατανομή των αστέρων σε μεγαλύτερες τροχιές. Έτσι εξηγείται η μεγαλύτερη

διασπορά της αναλογίας $(Fe)/(H)$ σε γηραιά άστρα στην περιοχή του Ηλίου.

2) Μεταβολή της στροφορμής μέσω ανταλλαγής αστέρων και αερίων κοντινών περιοχών, κοντά στις σπείρες. Έτσι έχουμε μετανάστευση φτωχών σε μέταλλα αστέρων (Fe/H) από το εξωτερικό του δίσκου προς τα μέσα και το αντίθετο, μέχρι και για μερικά kpc. Έτσι εξηγείται η ύπαρξη πολύ πλούσιων σε μέταλλα αστέρων στον παχύ δίσκο και του ανακατέματος της σχέσης ηλικίας /μεταλλικότητας στην περιοχή του Ηλίου.

Η κοιλιά στον Γαλαξία μας.

Υπάρχουν 2 είδη γαλαξιακών κοιλιών.

α) Η κλασσική κοιλιά, που προέρχεται από συγχωνεύσεις και επικαθίσεις (γρήγορη ανάπτυξη) και β) Οι ψευδο-κοιλίες, που δημιουργούνται μέσω δυναμικών διαδικασιών του δίσκου (αργή ανάπτυξη). Φωτομετρικές και φασματοσκοπικές παρατηρήσεις μας δείχνουν ότι η κοιλιά του Γαλαξία μας κυριαρχείται από γηραιά (12 δις ετών), αλλά πλούσια σε μέταλλα αστέρια, αντίθετα με αυτά του γηραιού, φτωχού σε μέταλλα παχύ δίσκο. Ο εμπλουτισμός από στοιχεία α (στοιχεία με πυρήνα πολλαπλάσιο του πυρήνα του ηλίου) σημαίνει γρήγορη, παλαιά αστρογέννηση (οι σουπερνόβα τύπου II εμπλουτίζουν την περιοχή τους με στοιχεία α πριν οι σουπερνόβα τύπου Ia απελευθερώσουν σίδηρο, και μειώσουν πάλι την αναλογία $\alpha/(Fe)$). Αυτό αποτελεί ένδειξη για κλασσική κοιλιά με αστρογέννηση μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας. Μόνο στο εσωτερικό (ακτίνας 100 pc) της κοιλιάς έχουμε νεαρά άστρα, άρα και σήμερα ζωντανή αστρογέννηση.

Τουλάχιστον τα μισά σφαιρωτά βρίσκονται στην κατεύθυνση της κοιλιάς, και μερικά από αυτά είναι χαρακτηριστικά του πληθυσμού της κοιλιάς, ενώ μερικά είναι πιο πολύ χαρακτηριστικά της άλω, ίσως προερχόμενα από γαλαξίες-δορυφόρους. Τέλος, και η ύπαρξη ράβδου συνηγορεί στην δυναμική εξέλιξη της κοιλιάς.

Η αστρική άλω.

Ενώ παλιότερα περιγράφαμε την άλω ως ένα συμπαγές σώμα, τώρα επικρατεί η ύπαρξη τουλάχιστον 2 μερών της,

- η εσωτερική, λιγότερη φτωχή σε μέταλλα ($(Fe)/(H) = -1,6$) που κυριαρχεί σε ακτίνα 5-10 kpc (μοιάζει με τον παχύ δίσκο).

- η εξωτερική, φτωχή σε μέταλλα ($(Fe)/(H) = -2,2$), από ακτίνα 20 kpc.

Η περιστροφή της εσωτερικής άλω κοντά στον δίσκο ισούται σταθερά με μηδέν και αυξάνεται με την κάθετη απόσταση από αυτόν σε -30 km/s/kpc , από απόσταση 2 kpc. Η περιστροφή της εξωτερικής άλω κοντά στο δίσκο είναι -80 km/s . Σε συνδυασμό με νεότερες προσομοιώσεις ΛCDM έχουμε το εξής σενάριο δημιουργίας της άλω.

- Η αρνητική τιμή στην περιστροφή της σημαίνει ότι έγιναν σημαντικές διεργασίες κατά την δημιουργία της εσωτερικής άλω. Έτσι η εσωτερική άλω έχει και ενδογενή άστρα, αλλά και άστρα που συσώρευσε με την βαρυτική έλξη της.

- Η εξωτερική άλω δημιουργήθηκε από συσσωρεύσεις μικρότερων (νάνων) γαλαξιών.

Οι δορυφόροι- γαλαξίες του Γαλαξία μας ως ύλη της δημιουργίας της άλω.

Γενικά παρατηρούμε χαμηλότερη αναλογία $\alpha/(\text{Fe})$ σε δεδομένη $(\text{Fe})/(\text{H})$ σε αστρικούς πληθυσμούς σε γαλαξίες- νάνους από ότι στην άλω. Αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχουν παρατηρήσεις για άστρα με χαμηλή σχέση $\alpha/(\text{Fe})$ και στην άλω. Οι πληθυσμοί των πολύ αμυδρών νάνων- γαλαξιών είναι φτωχότεροι σε μέταλλα από αυτούς της άλω. Υπάρχει σημαντικός αριθμός από ακραία φτωχά σε μέταλλα άστρα $(\text{Fe}/(\text{H}) < -3)$. Το σχήμα της διασποράς της αναλογίας $(\text{Fe})/(\text{H})$ αυτών των αστερών συμφωνεί παρ' όλα αυτά με πολύ φτωχά σε μέταλλα άστρα της άλω. Αυτοί οι πολύ αμυδροί νάνοι μπορεί να δημιουργήθηκαν πριν τον συμπαντικό επανιονισμό. Η εξήγηση, μέσω των μοντέλων δημιουργίας αστερών και της παραπάνω προσομοίωσης, είναι ότι

-Οι φτωχοί σε μάζα νάνοι γαλαξίες χάνουν πολύ αέριο από τους ανέμους των εκρήξεων σουπερνόβα (δεν το συγκρατούν βαρυτικά), άρα η αστρογέννηση καθυστερεί να εκδηλωθεί σε αυτούς. Υπάρχει και αναλογία του ρυθμού αστρογέννησης με το συνολικό διαθέσιμο μοριακό αέριο σε έναν γαλαξία, άρα στους νάνους η αστρογέννηση είναι υποβαθμισμένη. Η αρχικά έντονη αστρογέννηση αυξάνει την αναλογία $(\text{Fe})/(\text{H})$ γρήγορα, όσο η σχέση $\alpha/(\text{Fe})$ είναι αυξημένη, μέχρι που σε χρονικό διάστημα 1 δις έτη οι σουπερνόβα Ια την μειώνουν αισθητά. Ασθενής αστρογέννηση σημαίνει ότι η αναλογία $(\text{Fe})/(\text{H})$ ανέρχεται αργά και η $\alpha/(\text{Fe})$ μειώνεται.

-Έχουμε επιβράδυνση λόγω δυναμικής τριβής ανάλογα με τη μάζα, πιθανά κυρίως από λαμπρότερους, μεγαλύτερης μάζας και μεταλλικότητας γαλαξίες- δορυφόρους που εισέρχονται στον Γαλαξία και επιβιώνουν αρκετά ώστε να αποθέσουν τα άστρα τους στην εσωτερική άλω και στον δίσκο.

Οι προσομοιώσεις έχουν σημαντική συμμετοχή στην κατανόηση της δημιουργίας της άλως μέσω μερικών πρότερων (πριν 10 δις έτη) συγχωνεύσεων.

-Η μεταλλικότητα στους πιο λαμπρούς γαλαξίες- νάνους δείχνει ότι τα φτωχά σε μέταλλα άστρα βρίσκονται στις εξωτερικές τους περιοχές. Αυτά τα άστρα ήταν τα πρώτα που αποσπάστηκαν από αυτούς.

Οι ανώμαλοι νάνοι γαλαξίες έχουν το προφίλ για να θεωρηθούν οι θεμέλιοι λίθοι του Γαλαξία μας.

Η δομή των χωρικών φάσεων ως βοήθημα της γαλαξιακής αρχαιολογίας.

Μετά από κάποιον χρόνο ηρεμίας (μετά τις αρχικές μαζικές συσσωρεύσεις) για τον Γαλαξία μας ισχύουν οι εξισώσεις Boltzmann για μεμονωμένα χωρίς συγκρούσεις άστρα, χωρίς τον υπολογισμό των συμμετριών ή μιας στατικής κατάστασης. Από την συντήρηση των φάσεων πυκνότητας χώρου γύρω από κάθε άστρο συμπεραίνουμε ότι η σημερινή χωρική πυκνότητα αντικατοπτρίζει αυτήν πολύ νεότερων εποχών. Αυτό αποτελεί αξίωμα της Γαλαξιακής αρχαιολογίας (η ανεύρεση των πιο παλαιών αστεριών του Γαλαξία από την μεταλλικότητά τους).

Η λύση της εξίσωσης Boltzmann αποτελεί μια καθολική συνιστώσα του

διαστήματος κίνησης, όπως η ενέργεια και οι παράγοντες στροφορμής, κάθετα στον Γαλαξιακό δίσκο και μέσα σε αυτόν. Η αναζήτηση υπό- δομής, στον χώρο αυτών των διαστημάτων για παράδειγμα, και το δραστικό κινητικό διάστημα (μεγέθη που χαρακτηρίζουν την ενδογαλαξιακή τροχιά και διατηρούνται πάνω από μερικά δισετά έτη) επιτρέπουν την μελέτη των δομικών υλικών από τα οποία αποτελείται ο Γαλαξίας μας.

Για παράδειγμα, η ροή Helmi, η πιο σημαντική ροή αστέρων στην περιοχή του Ηλίου, αποκαλύπτει τον τριαξονικό χώρο ως συμπύκνωμα δείγματος των κοντινών στον Ήλιο αστέρων της άλω που έχουν σχετικές ταχύτητες 1000 και 2000 km/s .

Τα άστρα εμφανίζονται επίσης σαν σμήνος κοινής κίνησης. Είναι ήδη γνωστά 30 άστρα σε διάστημα 2 kpc που ανήκουν σε αυτό το ρεύμα. Το σύστημα από το οποίο προήρθαν είναι ο νάνος- γαλαξίας του Χημικού φούρνου ή αυτός του Τοξότη.

Οι μελέτες της τοπικής δομής χωρικών φάσεων του Γαλαξία δείχνουν ότι οι προβλέψεις της ΛCDM πετυχαίνουν μια πλούσια υπό- δομή των αστέρων και της σκοτεινής ύλης. Το πεδίο της γαλαξιακής αρχαιολογίας θα έχει στο μέλλον έναν ρόλο- κλειδί για την μελέτη της δημιουργίας του Γαλαξία μας και των δομικών του υλικών. Η τελική διαλογή θα γίνει από την αποστολή GAIA, η οποία θα μετρήσει σε 6-D συντεταγμένες χωρικών φάσεων, εκατομμύρια άστρα.

Σημείωση 1

Σχετικά με τον δίσκο.

Ένα χαρακτηριστικό του Γαλαξία μας είναι ότι είναι υπερβολικά επίπεδος για το μέγεθός του. Δηλαδή, ένα ασυνήθιστα μεγάλο μέρος (80%) των αστεριών του κινείται σε ένα επίπεδο γύρω από το κέντρο του Γαλαξία, σχηματίζοντας τον δίσκο. Η περιφορά των αστέρων (σε περίπου 250 εκ. έτη) είναι ελλειπτική, κάνοντάς τα να διπλασιάζουν την ελάχιστη απόστασή τους από το κέντρο κατά την τροχιά τους. Επίσης κινούνται πάνω- κάτω (κάθετα) στο πάχος του δίσκου. Τα μισά αστέρια βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 6,5 kpc από το γαλαξιακό κέντρο. Ο Ήλιος μας είναι στα 8,2 kpc και μόλις 25 pc από την κεντρική του δίσκου, που έχει συνολικό πλάτος 350 pc . Επειδή ο Ήλιος μας βρίσκεται στη μέση του πλάτους του δίσκου, βλέπουμε τον δίσκο στον ουρανό ως ζώνη.

Τα αστέρια που γεννηθήκαν σε αυτόν ακολούθησαν την τροχιά του. Τα περισσότερα αστέρια κράτησαν αυτήν την ιδιότητα, μιας και ο Γαλαξίας μας δεν έτυχε μεγάλων, λόγω συγχωνεύσεων, διαταράξεων. Αν ο Γαλαξίας μας βρισκόταν σε πιο πυκνό περιβάλλον (στο κέντρο ενός μεγάλου σμήνος), μάλλον θα είχε βιώσει μεγάλες συγχωνεύσεις, με αποτέλεσμα να είχε μετατραπεί σε ελλειπτικό.

Μένουν κάποια ανοιχτά ερωτήματα όπως το ποιοι παράγοντες καθορίζουν το πάχος του δίσκου, και αν αυτό ήταν τόσο από την αρχική του φάση που περιείχε σχεδόν μόνο αέριο ή τα αστέρια που δημιουργήθηκαν αργότερα το επέκτειναν με τις κινήσεις τους? Εδώ μας βοηθάει η ταξινόμηση των αστέρων κατά ηλικία. Έτσι βλέπουμε ότι ο δίσκος ήταν αρχικά πιο πυκνός και μικρότερος (συγκέντρωση των παλιών αστεριών) και μετά έγινε πιο αραιός και πιο εκτεταμένος (διασπορά των πιο νέων αστεριών).

Με την φασματοσκοπική εξέταση των αστερών του Γαλαξία μας μπορούμε να τα χωρίσουμε κατά μεταλλικότητα (σχέση $(Fe)/(H)$) και τον εμπλουτισμό σε στοιχεία α (πυρήνες πολλαπλάσιοι του στοιχείου ήλιου, π.χ. άνθρακας, σχέση $\alpha/(Fe)$).

Τα αστέρια με χαμηλή μεταλλικότητα, αλλά εμπλουτισμένα με στοιχεία α είναι τα αρχαιότερα. Οι κατηγορίες αυτές ονομάζονται MAP (mono-age populations). Μας βοηθάνε να δούμε την κατανομή αστεριών που έχουν κοινή αναλογία χημικών στοιχείων. Τα αστέρια αλλάζουν ταχύτητα και θέση στο δίσκο με την πάροδο του χρόνου λόγω βαρυτικής αλληλεπίδρασης με άλλα αστέρια και με τον δίσκο συνολικά, έτσι δεν μπορούμε να συμπεράνουμε την αρχική θέση τους από τη τωρινή. Αν λοιπόν φτιάξουμε χάρτες με τα MAPs, συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν πολλά ενδιάμεσα στάδια από τον παχύ μέχρι τον λεπτό δίσκο. Ακόμα βλέπουμε ότι ο δίσκος χτίστηκε από μέσα προς τα έξω. Κάτι που συμφωνεί με το επικρατέστερο σενάριο χτισίματος γαλαξιών (από μέσα- προς τα έξω). Αρχικά υπήρχε πολύ αέριο που άρχισε να καταρρέει στις εσωτερικές περιοχές του Γαλαξία, σχηματίζοντας τα πρώτα αστέρια (παχύς δίσκος). Το αέριο που ακολούθησε σχημάτισε τον λεπτό δίσκο με τα νεότερα αστέρια. Αυτό το αέριο είχε περισσότερη στροφορμή, με αποτέλεσμα να σχηματίσει έναν λεπτό, εκτεταμένο και αραιό δίσκο. Δεν υπήρχε κάποια εποχή στην ιστορία του Γαλαξία που να ξεχώρισε, όπως θα μπορούσε να συμβεί με μια μεγάλη συγχώνευση άλλου Γαλαξία. Αυτό θα συμβεί όταν ενωθεί ο Γαλαξίας μας με αυτόν της Ανδρομέδας.

Ακόμα, οι MAPs μας βοηθάνε να κατανοήσουμε την βαρυτική κατανομή στον δίσκο. Έτσι τα αστέρια και τα αέρια συμμετέχουν με 70% και η σκοτεινή ύλη με 30% στην συνολική μάζα του δίσκου. Η σκοτεινή ύλη είναι κυρίαρχος στις εξωτερικές περιοχές του Γαλαξία. Αυτή η ανάλυση είναι εφικτή μόνο για τον Γαλαξία μας, λόγω της τρισδιάστατης εικόνας του και της ικανότητας να εξετάζουμε πολλά αστέρια ξεχωριστά. Τώρα δημιουργούμε τρισδιάστατες (φασματικές και όχι οπτικές) εικόνες για άλλους γαλαξίες)

Οι σπείρες δεν είναι σταθερές δομές. Αλλάζουν συνέχεια, καθώς τα αστέρια κινούνται μέσα στον δίσκο. Όπως είπαμε, τα αστέρια ακολουθούν έκκεντρες τροχιές γύρω από το κέντρο του Γαλαξία, δίνοντας αυτήν την εικόνα της ασύμμετρης σπείρας.

Σημείωση 2.

Το εξωγαλαξιακό φως υποβάθρου.

Το πείραμα CIBER (Cosmic Infrared Background Experiment) μελέτησε το εξωγαλαξιακό φως υποβάθρου. Αυτή η ακτινοβολία είναι διάχυτη, δεν φαίνεται να προέρχεται από κάποια συγκεκριμένη πηγή και συμβάλλει στον θόρυβο του υποβάθρου. Ανακαλύφτηκε από το τηλεσκόπιο υπέρυθρων Spitzer. Στην αρχή υποψήφιος πηγές της ήταν μακρινοί αμυδροί γαλαξίες και αρχέγονες μαύρες τρύπες. Το σημερινό σενάριο είναι ότι η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από άστρα που εξοστρακίστηκαν από τους γαλαξίες τους κατά τη διάρκεια γαλαξιακών συγχωνεύσεων ή δημιουργίας γαλαξιών.

Η χωρική διασπορά και κυρίως οι φασματικές ιδιότητες επιβεβαιώνουν αυτήν την θεωρία. Στις παρατηρήσεις μεταξύ μήκος κύματος 1.1 και 1.6 μικρόμετρα πρέπει να ξεχωρίζουν οι προερχόμενες από μεγάλη μετατόπιση στο ερυθρό πηγές του πρωίμου σύμπαντος από τα μεμονωμένα αστέρια. Από τις μετρήσεις έπρεπε να αφαιρεθούν το ζωδιακό φως και γνωστά άστρα και γαλαξίες. Η ανάλυση των φασμάτων μας δείχνει ότι το υπόβαθρο αυτό προέρχεται από αστέρια που έχουν διασκορπιστεί σε γαλαξιακές κλίμακες και δεν αναγνωρίζονται ως μεμονωμένες πηγές εκπομπής. Έτσι είναι πιθανό τα μισά αστέρια του σύμπαντος να βρίσκονται εκτός γαλαξιών!

Σημείωση 3

Τύποι γαλαξιών και τα φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Κανονικοί σπειροειδείς (μεταγενέστερου τύπου). Πολύ επίπεδοι δίσκοι που υποστηρίζονται από την περιστροφή τους, με σπειροειδείς βραχίονες (όπου έχουμε αστρογέννηση) και μια κεντρική ράβδο (χωρίς νεαρά άστρα). Μάζα 1 δις- 1 τρις ηλιακές, μέγεθος 6-100 κpc, λαμπρότητα 100 εκ.- 100 δις ηλιακές.

Νεότερου τύπου (ελλειπτικοί). Με πολύ λίγη σκόνη και αέριο, κυριαρχούνται από μεγάλης ηλικίας αστέρια. Έχουν μάζα 1 εκ- 100 τρις ηλιακές, μέγεθος 1- 150 κpc και λαμπρότητα 1 εκ- 1 τρις ηλιακές.

Ραβδωτοί. Σπειροειδείς με σπείρες αερίων και σκόνης που καταλήγουν σε ράβδο που διασχίζει τον πυρήνα. Έχουν όμοιες μάζες και λαμπρότητες με τους σπειροειδείς, αλλά πιο εμφανείς ράβδο.

Ανώμαλοι. Σε αυτούς δεν κυριαρχεί ένας δίσκος ή μια ράβδος, με το 10%- 20% της μάζας τους να είναι αέριο. Με μάζα 1 εκ- 100 δις ηλιακές, διάμετρο 1- 10 κpc και λαμπρότητα 1 εκ- 1 δις ηλιακές.

Αστρογέννησης. Με μεγάλο απόθεμα αερίων και υψηλός βαθμός αστρογέννησης. Μπορεί να είναι κανονικοί ή ακανόνιστοι στο σχήμα. Με μάζα 1 εκ- 10 δις ηλιακές, μέγεθος 100-1000 κpc, και λαμπρότητα 1 δις- 100 τρις ηλιακές.

(E)ULIRG ((Ακραία) πολύ λαμπροί στο υπέρυθρο γαλαξίες). Με πολύ σκόνη, πιθανώς περιέχουν ισχυρούς AGN, μεγαλύτερης λαμπρότητας από 1 τρις ηλιακές. Επίσης με έντονη αστρογέννηση. Πολύ λαμπροί στο υπέρυθρο.

Νάνοι. Πολύ αμυδροί γαλαξίες, μάζας 1 εκ. ηλιακές και έκτασης 1000 pc.

Σημείωση 4

Νέος τύπος γαλαξία.

Στην Κώμη της Βερενίκης ανακαλύψαμε 47 πολύ αμυδρά και εκτεταμένα αντικείμενα. Πρόκειται για πολύ αμυδρούς γαλαξίες σε απόσταση 300 εκ. ετών φωτός από εμάς, στο σμήνος της Κώμης. Λόγω της ασθενούς λαμπρότητας και της μεγάλης χωρικής έκτασης που καταλαμβάνει ο καθένας τους ονομάστηκαν UDK (Ultra diffuse Galaxies). Πολλοί από αυτούς καταλαμβάνουν χωρική έκταση όση και ο Γαλαξίας μας, ή ακόμη μεγαλύτερη. Η μάζα τους είναι ένα μικρό κλάσμα αυτής του

Γαλαξία μας, μόλις 60 εκ. ηλιακές (έναντι 400 δις ηλιακών μαζών του Γαλαξία μας). Τα <κόκκινα> φάσματά τους δείχνουν ότι περιέχουν κυρίως μεγάλης ηλικίας και μικρής μάζας αστέρια, σαν το Ήλιο μας ή ακόμη μικρότερα.

Παραμένει μυστήριο το πώς δημιουργήθηκαν. Εικάζεται ότι αυτοί οι γαλαξίες έχασαν πριν 13 δις έτη το μεγαλύτερο μέρος σκόνης και αερίων από αλληλεπιδράσεις με άλλους γαλαξίες 9κάτι συνηθισμένο σε πυκνά γαλαξιακά σμήνη) και έτσι δημιούργησαν μόνο περιορισμένο αριθμό αστεριών. Ένας χάρτης της σκοτεινής τους ύλης θα ήταν πολύ αποκαλυπτικός.

Σημείωση 5

Αναλαμπές ακτινών X της κεντρικής μαύρης τρύπας
Στις 13-9-13 το Chandra παρατήρησε μια αναλαμπή ακτινών X στην κεντρική μαύρη τρύπα του Γαλαξία μας. Μάλιστα η λαμπρότητά της στο υπέρυθρο αυξήθηκε κατά 400 φορές σε σχέση με αυτή της φάσης ηρεμίας. Η αναλαμπή αυτή ήταν 3 φορές πιο λαμπρή από κάθε άλλη τέτοια. Μια άλλη αναλαμπή τον Οκτώβριο του 2014 ήταν 200 φορές πιο λαμπρή από την κατάσταση ηρεμίας.

Για τα αίτια αυτών των αναλαμπών υπάρχουν 2 εκδοχές.

Η μια εκδοχή είναι ένας μεγάλος αστεροειδής να πέρασε πολύ κοντά από την μ. τρύπα με αποτέλεσμα να κομματιαστεί πριν τον καταπιεί. Κατά την διάλυση του αστεροειδή θερμαίνονται πολύ, λόγω της τριβής, τα μικρά κομμάτια του. Αυτά εκπέμπουν ακόμα και στις ακτίνες X (που μετράει το Chandra), πριν διαβούν τον ορίζοντα γεγονότων της μαύρης τρύπας. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι τέτοια ξεσπάσματα πρέπει να διαρκούν μερικές ώρες, όπως και έγινε σε αυτές τις περιπτώσεις. Η δεύτερη εκδοχή είναι να πρόκειται για σπάσιμο των μαγνητικών γραμμών της μ. τρύπας. Αυτές περιπλέκονται (όπως και στον Ήλιο μας) και στριμώχνονται όλο και περισσότερο, μέχρι να σπάσουν και να δημιουργηθεί μια νέα δομή τους. Έτσι απελευθερώνουν ενέργεια κατά το σπάσιμο, που και αυτή εκπέμπεται βραχυχρόνια στις ακτίνες X.

Σημείωση 6

Οι αναλογίες των χημικών στοιχείων.

Πολλές φορές χρησιμοποιούμε τα αστέρια για την εκτίμηση της ηλικίας του Γαλαξία μας. Τα αστέρια έχουν ένα χημικό αποτύπωμα, με το οποίο μπορούμε να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του Γαλαξία.

Τα αστέρια μεγάλης μάζας (που ήταν πολλά στον νεαρό Γαλαξία), μετά την σύντομη ζωή τους, εμπλουτίζουν την μεσοαστρική ύλη με στοιχεία α (στοιχεία που προέρχονται από την σύντηξη με έναν πυρήνα ηλίου, π.χ. ο άνθρακας συντηκείται σε οξυγόνο). Η αφθονία αυτών των στοιχείων υπερτερεί στην εξέλιξη των αστεριών μεγάλης μάζας. Τα μικρότερα αστέρια θα καταλήξουν σε λευκούς νάνους μετά την εξέλιξή τους στο διάγραμμα H/R, και θα εκραγούν ως σουπερνόβα Ια, με αποτέλεσμα να εμπλουτίσουν την μεσοαστρική ύλη σε σίδηρο. Έτσι η αναλογία των στοιχείων α με το σίδηρο αποτελεί έναν τρόπο χρονολόγησης. Η ηλικία των αστεριών μετριέται πολύ καλά (80% ακρίβεια) με φασματοσκοπικές και αστρομετρικές μετρήσεις, έτσι έχουμε αναπτύξει μια στατιστική σχέση ανάμεσα στην ηλικία των αστεριών και την αναλογία στοιχείων α/σίδηρο.

Να σημειώσουμε ότι αυτή η σχέση δεν είναι καθολική, δεν ισχύει για τον αστρικό πληθυσμό της γαλαξιακής κοιλιάς, όπου παρατηρούμε τα αστέρια να είναι παλαιά αλλά και μεγάλης μεταλλικότητας. Υπάρχουν καμπύλες που δείχνουν την διαφορά σε αυτήν την αναλογία ανάμεσα στον λεπτό με τον παχύ δίσκο.

Όμως βρέθηκε μια ομάδα αστεριών (που τώρα είναι ερ. γίγαντες), των οποίων η ηλικία, βάσει αστρομετρικών αποτελεσμάτων και φασματοσκοπικών μετρήσεων, δεν ταιριάζει με την αναλογία των στοιχείων τους. Να σημειώσουμε ότι η αρχική μεταλλικότητα δεν μεταβάλλεται στην ατμόσφαιρα του αστεριού, μόνο σε πολύ προχωρημένο στάδιο της εξέλιξής του. Έτσι έχουμε αυτά τα αστέρια να παρουσιάζουν μεγάλη αναλογία σιδήρου για την ηλικία τους (2-3 δις έτη).

Τα κοντινά μας αυτά αστέρια ίσως προέρχονται από την ύλη νάνου γαλαξία που συσσωρεύτηκε στον δικό μας, κάτι που υποστηρίζεται από το γεγονός ότι τα περισσότερα βρίσκονται στις εσωτερικές περιοχές του δίσκου, άρα κάπου συγκεκριμένα (έχουν περιορισμένη διασπορά). Η άλλη εκδοχή είναι να πρόκειται για αστέρια που άλλαξε η χημική τους ταυτότητα λόγω συσσώρευσης ύλης από συνοδούς αστέρα.

Σημείωση 7

Αμυδροί νάνοι δορυφόροι

Η επισκόπηση Dark Energy Survey (DES), που έχει ως στόχο την μελέτη της προέλευσης και κατανομής της σκοτεινής ενέργειας, ανακάλυψε πλήθος υποψήφιων ακραία αμυδρών νάνων γαλαξιών (ultra-faint dwarf galaxies) κοντά στον Γαλαξία μας. Αυτά τα αντικείμενα έχουν διάμετρο ανάμεσα σε 55 και 590 έτη φωτός και βρίσκονται σε απόσταση 80000-700000 έτη φωτός από εμάς. Τα μικρότερα από αυτά περιέχουν μόλις 500 αστέρια, πλήθος που παραπέμπει σε ανοιχτό σμήνος. Το μέγιστο της λαμπρότητάς τους φτάνει μόλις το 1 δισεκατομμυριοστό αυτής του Γαλαξία μας. Από τα φάσματά τους είδαμε ότι περιέχουν πολύ περισσότερη ύλη από την ορατή- κάτι που σημαίνει ότι περιβάλλονται από πολύ σκοτεινή ύλη. Βρίσκονται κοντά στα Μαγγελανικά νέφη, κάτι που μας κάνει να πιστεύουμε ότι πρόκειται για δορυφόρους των 2 αυτών δορυφόρων γαλαξιών, που είναι σύμφωνο με την θεωρία της κατανομής της σκοτεινής ύλης.

Σημείωση 8

Ένα γιγάντιο νέφος πλησιάζει την Γαλαξία μας

Ένα γιγάντιο νέφος βρίσκεται σε τροχιά σύγκρουσης με τον Γαλαξία μας. Η σύγκρουση αναμένεται να προκαλέσει τη γέννηση εκατομμυρίων νέων άστρων. Η NASA έδωσε στη δημοσιότητα καινούργια στοιχεία και εικόνες του νέφους από τις τελευταίες παρατηρήσεις που έγιναν σε αυτό με επίγεια και διαστημικά τηλεσκόπια. Οι επιστήμονες γνωρίζουν πλέον την προέλευση, την ταχύτητα, την πορεία αλλά και την κατάληξη του νέφους. Ξέρουν το χρόνο, το σημείο αλλά και το αποτέλεσμα της σύγκρουσης.

Το νέφος κινείται σε απόσταση δεκάδων χιλιάδων ετών φωτός από τον Γαλαξία μας. Τα τελευταία χρόνια τα ολοένα και πιο ισχυρά επίγεια και διαστημικά τηλεσκόπια επέτρεψαν την καλύτερη παρατήρηση του. Πριν από λίγο καιρό ερευνητές χρησιμοποιώντας τα τηλεσκόπια VLA και GBT εντόπισαν **το νέφος σε απόσταση 8.000 ετών φωτός από τον Γαλαξία**. Οι υπολογισμοί που έκαναν δείχνουν ότι αν το νέφος συνεχίσει να κινείται έτσι **θα πέσει πάνω στον Γαλαξία σε περίπου 30 εκατομμύρια έτη**. Νέες παρατηρήσεις που έγιναν με το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble αποκαλύπτουν σημαντικά δεδομένα για το νέφος.

Οι επιστήμονες με βάση τα νέα δεδομένα εκτιμούν ότι το νέφος ξεκίνησε το ταξίδι του προς τον γαλαξία μας **πριν από περίπου 70 εκ. έτη**. Υπολογίζουν ότι το νέφος κινείται με ταχύτητα

μεγαλύτερη από 1 εκ. χλμ/ώρα και θα συγκρουστεί με τον γαλαξία μας σε περίπου 30 εκατ. έτη. Η σύγκρουση αυτή εκτιμάται ότι **θα οδηγήσει στη γέννηση περίπου δύο εκατομμυρίων άστρων μικρής μάζας. Αναμένεται επίσης να οδηγήσει και στη γέννηση μεγάλου αριθμού άστρων που θα έχουν μικρή διάρκεια ζωής και θα αυτοκαταστρέφονται σε εκρήξεις σουπερνόβα.**

Σημείωση 9

Ασυνήθιστο γαλαξιακό νεφέλωμα.

Το ασυνήθιστο νεφέλωμα CO-0,40-0,22 βρίσκεται μόλις 200 έτη φωτός από το Γαλαξιακό κέντρο. Το νέφος αυτό παρουσιάζει μεγάλη διασπορά ταχύτητας των μορίων του, μέχρι και 100 km/s. Η μόνη εξήγηση για αυτό (η απόσταση παραμένει μεγάλη για άμεση επιρροή από την κεντρική μαύρη τρύπα μας) είναι ότι φιλοξενεί μια μαύρη τρύπα μεσαίου μεγέθους (αυτές που ψάχνουμε!) με αποτέλεσμα το αέριο στον δίσκο προσαύξεσης να αναπτύσσει τεράστιες ταχύτητες. Δεν εντοπίστηκε κάποιο συμπαγές αντικείμενο στο υπέρυθρο ή στις ακτίνες X. Η μάζα της υποψήφιας μαύρης τρύπας εκτιμάται στις 100000 ηλιακές.

Σημείωση 10

Η χαρτογράφηση της ηλικίας των αστεριών του Γαλαξία μας.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης της επισκόπησης SDSS με το όνομα APOGEE έχει εντοπίσει πάνω από 100000 ερυθρούς γίγαντες στον Γαλαξία μας. Αυτοί έχουν το πλεονέκτημα να είναι πολύ λαμπροί, ανεξάρτητα από την μάζα τους (ηλικία και χημική σύσταση).

Μέχρι τώρα χρησιμοποιούσαμε 3 μεθόδους για τον καθορισμό της ηλικίας των αστεριών. 1) την παρατήρηση αστεριών στα ανοιχτά σμήνη, όπου όλα τα αστέρια είναι ίδιας ηλικίας, κάτι που επιτρέπει τον υπολογισμό της ηλικίας τους από την θέση του σμήνους στο διάγραμμα H/R. Δυστυχώς τα ανοιχτά σμήνη είναι σπάνια, τα περισσότερα αστέρια του Γαλαξία έχουν διαφύγει βαρυτικά από τα αρχικά τους σμήνη. 2) Την εκτίμηση της ηλικίας των υπογιγάντων, δηλαδή αστεριών λίγο πριν την φάση του κόκκινου γίγαντα (μόλις έπαψε η σύντηξη του υδρογόνου στους πυρήνες τους). Μια σειρά παραμέτρων (θερμοκρασία, επιφανειακή βαρυτική επιτάχυνση, χημική σύσταση, ιδίως η αναλογία Fe/H) που προκύπτουν από τα φάσματά τους μας επιτρέπουν την εκτίμηση της ηλικίας τους. Αυτοί όμως δεν είναι τόσο λαμπροί όσο οι ερυθροί γίγαντες, με αποτέλεσμα να ανιχνεύονται πιο δύσκολα. 3) Μια ποιοτική προσέγγιση, η εκτίμηση βάσει των βαρέων στοιχείων στις επιφάνειες των αστεριών (από την αστρική συναγωγή), που μας δείχνει πόσο εμπλουτισμένο σε βαρέα στοιχεία είναι το περιβάλλον όπου σχηματίστηκε το αστέρι. Αυτή η παράμετρος αποτελεί μάλλον δείκτη για το πόσες γενιές αστεριών έχουν περάσει παρά για την ηλικία του αστέρα.

Το APOGEE χρησιμοποιεί 2 διαφορετικές μεθόδους.

- 1) την αστροσεισμολογία των ερυθρών γιγάντων. Τα αστέρια δεν είναι ακίνητες μπάλες πλάσματος, αλλά μεταβάλλουν το μέγεθός τους και την λαμπρότητά τους περιοδικά λόγω διαδικασιών της υδροστατικής ισορροπίας τους (εξισορρόπηση της βαρύτητας με την πίεση), σε διαστήματα από λεπτά ως ημέρες. Ανάλογα με αυτούς τους παλμούς υπολογίζουμε για τους (λαμπρούς) ερυθρούς γίγαντες ιδιότητες όπως την μάζα, που μας οδηγεί στην ηλικία. Η μάζα καθορίζει το χρονικό διάστημα που ένα αστέρι θα παραμείνει στην κ. ακολουθία,

άρα πόσο γρήγορα έγινε ερ. γίγαντας. Η φάση του ερ. γίγαντα στην αστρική εξέλιξη είναι πολύ σύντομη, έτσι μπορούμε με την μάζα του να υπολογίσουμε καλά την ηλικία του. Αυτό το έχουμε πετύχει μέχρι τώρα για 2000 ερ. γίγαντες. Όσο πιο μεγάλο είναι το αστέρι, τόσο πιο πολύ συντήκει το υδρογόνο με τον κύκλο C-N-O. Αυτό μας δείχνει ανάλογη ελάττωση της αναλογίας του άνθρακα 12 και αύξηση του αζώτου 14 στο φάσμα του, που μας επιτρέπει τον υπολογισμό της μάζας του. Αυτό συμβαίνει επειδή στην φάση του ερ. γίγαντα υλικό από το εσωτερικό του αστέρα ανεβαίνει στην επιφάνειά του, λόγω ισχυρής συναγωγής.

- 2) Η άλλη μέθοδος είναι η στατιστική σύγκριση των φασμάτων των ερ. γιγάντων βάση των ιδιοτήτων τους όπως η θερμοκρασία, η βαρυτική επιτάχυνση και η μάζα.

Ο χάρτης των αστρικών ηλικιών μας δείχνει ότι ισχύει το μοντέλο του χτισίματος του γαλαξιακού δίσκου από μέσα προς τα έξω, αφού τα περισσότερα παλαιά αστέρια βρίσκονται στο εσωτερικό του δίσκου και τα νεαρά στο επίπεδό του. Αυτό το μοντέλο γαλαξιακής εξέλιξης πρέπει να ισχύει γενικά.