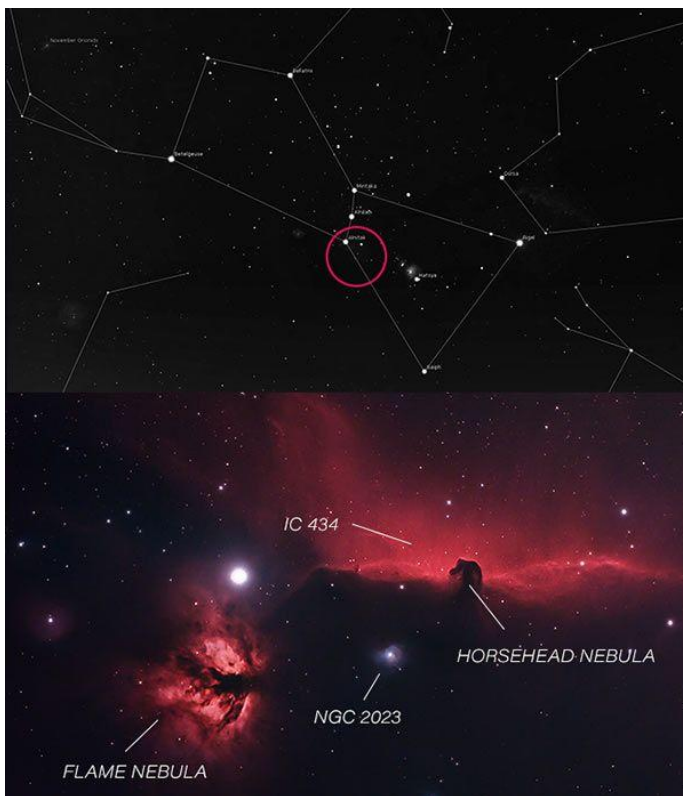


Ο ΡΑΔΙΟ- ΓΑΛΑΞΙΑΣ ΜΑΣ (ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΡΑΔΙΟΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ)

Η ΜΕΣΟΑΣΤΡΙΚΗ ΥΛΗ

Η μεσοαστρική ύλη αποτελείται από αέριο, λίγη σκόνη και σωματίδια διαφορετικής ενέργειας. Βρίσκεται σε υδροδυναμική ισορροπία όταν δεν επηρεάζεται από ενεργές περιοχές, όπως οι περιοχές αστρογέννησης και οι εκρήξεις σουπερνόβα. Δέχεται την ακτινοβολία των αστεριών. Η θερμοκρασία και η χημική σύσταση καθορίζει την εκπομπή της μεσοαστρικής ύλης στα ραδιοκύματα.

Αν και το ιονισμένο αέριο, η σκόνη και οι κοσμικές ακτίνες αποτελούν ένα ελάχιστο μέρος της μεσοαστρικής ύλης, η συνολική ενέργειά τους συγκρίνεται με αντικείμενα πολύ μεγαλύτερης μάζας, όπως τα μοριακά νεφελώματα και το ατομικό Υδρογόνο.



Το νεφέλωμα του Ωρίωνα και το νεφέλωμα της κεφαλής του αλόγου αποτελούνται από ιονισμένο αέριο, που εκπέμπει στο κόκκινο (H α), μέσα στο ψυχρό (20 K) μοριακό αέριο, που εμφανίζεται ως σκοτεινό (μαύρο) στην φωτογραφία.

Τα μοριακά νέφη και τα νέφη ατομικού αερίου που αποτελούν βασικά την μεσοαστρική ύλη βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, λόγω ισορροπίας των πιέσεών τους. Αν δεν διαταραχτεί αυτή η ισορροπία, μπορούν να παραμείνουν σταθερά.

Όμως συχνά μια εισροή ενέργειας σπάει αυτή την ισορροπία. Μία έκρηξη σουπερνόβα δημιουργεί ένα κρουστικό μέτωπο μεγάλης ταχύτητας, που παρατηρούμε ως νεφέλωμα σουπερνόβα (SNR, Supernova Remnant). Αυτό αλληλεπιδρά με την μεσοαστρική ύλη. Επίσης μια ξαφνική έκλυση ενέργειας από το κέντρο του Γαλαξία μπορεί να παράγει πίδακες και εκτινάξεις αερίου μεγάλης ταχύτητας, όπως διαστελλόμενα κελύφη. Αυτά αλληλεπιδρούν με την μεσοαστρική ύλη σε μεγάλη κλίμακα. Η ισχυρή ακτινοβολία στις υπεριώδεις από νεογέννητα αστέρια θερμαίνει την μεσοαστρική ύλη και διαστέλλει το ιονισμένο αέριο (expanding HII regions).

Τα μοριακά νέφη

Το μοριακό αέριο ανιχνεύεται βασικά από το μονοξείδιο του Άνθρακα, στα χιλιοστόμετρα (μήκος κύματος). Η απόσταση ενός μοριακού νέφους υπολογίζεται από την γωνιακή ταχύτητα του νέφους, με τη χρήση του νόμου της περιστροφής του Γαλαξία (θεωρητική ταχύτητα περιστροφής του Γαλαξία). Το πάχος των γραμμών του CO μας δίνει την διασπορά ταχυτήτων ενός νεφελώματος. Επίσης μπορούμε με την μέτρηση του CO να εκτιμήσουμε την μάζα του.

Σημαντική είναι η παραδοχή του ποσοστού CO στο μοριακό νεφέλωμα, αφού δεν ανιχνεύεται άμεσα το μοριακό Υδρογόνο. Στις κεντρικές περιοχές των γαλαξιών το CO πρέπει να είναι ενισχυμένο, λόγω γενικά μεγαλύτερης μεταλλικότητας. Αντίθετα, στα νέφη του Μαγγελάνου, που έχουν μικρότερη μεταλλικότητα από τον Γαλαξία μας, πρέπει να υπάρχει μικρότερη αναλογία CO. Κάτι παρόμοιο παρατηρούμε στον γαλαξία της Ανδρομέδας, στην κεντρική περιοχή των 2 Kpc. Αυτή περιέχει αέριο μικρής μεταλλικότητας, που συσσωρεύτηκε από τον γαλαξία.

Τα μοριακά νέφη με μάζα 1000- 100.000 ηλιακές και διαστάσεις 10- 30 pc ονομάζονται κανονικά, ενώ τα μεγαλύτερα (ως εκατομμύρια ηλιακές μάζες και διαστάσεις ως 50 pc) γιγάντια (GMC, giant molecular clouds). Οι πυκνότητες κυμαίνονται από 10^3 μόρια ανά cm^3 – 10^6 μόρια ανά cm^3 (περιοχές αστρογέννησης).

Τα μοριακά νέφη είναι συγκεντρωμένα προς τις κεντρικές γαλαξιακές περιοχές (κεντρικός δίσκος αερίου). Η πυκνότητα σε μοριακά νέφη κορυφώνεται στα 4 Kpc από το κέντρο του Γαλαξία (μοριακός δακτύλιος των 4 Kpc). Επίσης η παρουσία τους είναι πυκνότερη στις γαλαξιακές σπείρες.

Τα μεγαλύτερης μάζας από τα γιγάντια μοριακά νέφη στην γειτονιά του ηλίου έχουν 50 pc μέγεθος και μάζα ως 600.000 ηλιακές. Είναι τα σώματα με την μεγαλύτερη μάζα στον Γαλαξία, που έχουν βαρυτική συνοχή. Στον λεπτό γαλαξιακό δίσκο, σε απόσταση από το κέντρο του Γαλαξία 10 Kpc, αλλά και στον δίσκο των 4 Kpc στην κεντρική περιοχή, βρίσκονται διάσπαρτα μερικές χιλιάδες γιγάντια μοριακά νέφη,

συνολικής μάζας μερικά δις ηλιακές. Το υπόλοιπο μοριακό αέριο, μάζας 1 δις ηλιακές, βρίσκεται σε μικρότερης μάζας μοριακά νέφη. Αυτά έχουν πιο διάχυτη διασπορά από τα γιγάντια, βρίσκονται και στις περιοχές ανάμεσα στις σπείρες.

Το μοριακό αέριο ανιχνεύεται σε ύψος μέχρι 100 pc πάνω από το γαλαξιακό επίπεδο. Σε μερικούς γαλαξίες που βλέπουμε στην κόψη (edge-on) όπως ο NGC 891, το μοριακό αέριο ανιχνεύεται σε 1 Kpc πάχος του δίσκου.

Τα αστέρια δημιουργούνται μετά από βαρυτική κατάρρευση του πυκνού και ψυχρού μοριακού αερίου. Τα γιγάντια μοριακά νέφη συνδέονται συχνά με νεαρά αστέρια μεγάλης μάζας και περιοχές HII, που δημιουργήθηκαν από την υπεριώδη ακτινοβολία αυτών των αστεριών. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι Ori GMV, Ori Great Nebula και πολλές άλλες.



Το γιγάντιο μοριακό νέφος ρ Οφιούχου

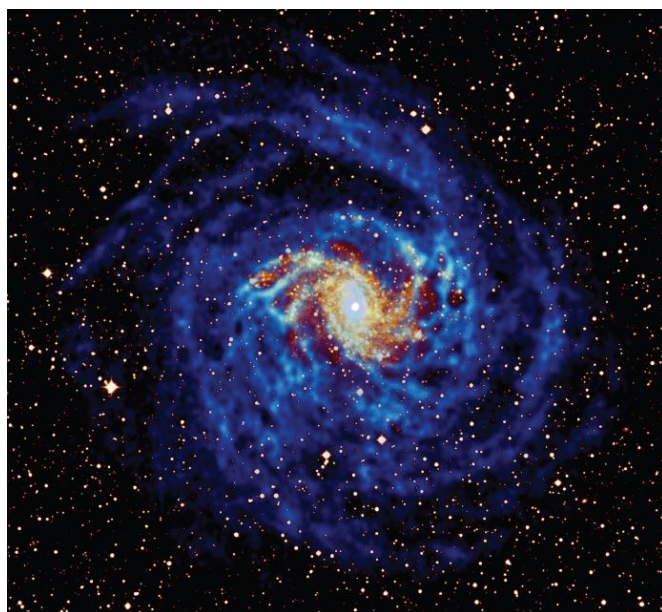
Η αναλογία μονοξειδίου του Άνθρακα με μοριακό Υδρογόνο

Η συνολική μάζα του μοριακού Υδρογόνου είναι ένα σημαντικό μέγεθος για την εξέλιξη του Γαλαξία. Η αναλογία CO- H₂ που δεχόμαστε προκύπτει από μοριακά νέφη της γειτονιάς του ηλίου και την διασπορά ταχυτήτων της φασματικής γραμμής του CO. Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε και για άλλους γαλαξίες όπως οι M31, M33 και τα Μαγγελανικά νέφη. Σε αυτούς τους κοντινούς γαλαξίες μπορούμε να αναλύσουμε μεμονωμένα νεφελώματα. Μια πιο ευρείας εφαρμογής αναλογία προκύπτει με τον υπολογισμό της έντασης των ακτινών γ, που σχετίζεται με τη μάζα στήλης (column mass) του ατομικού και μοριακού Υδρογόνου και την

πυκνότητα του CO στο γαλαξιακό επίπεδο. Χρησιμοποιούμε και την σχέση της πυκνότητας του CO με την εξάλειψη του ορατού φωτός (optical extinction), που συνδέεται με την πυκνότητα στήλης του Υδρογόνου. Η μεταλλικότητα ενός γαλαξία ή των διάφορων περιοχών του καθορίζει την σχέση CO- H₂.

Ο Γαλαξίας μας και ο M51 δείχνουν εμφανή ακτινωτή κλιμάκωση της παραπάνω αναλογίας. Επίσης σε αυτή την αναλογία απεικονίζεται και η ακτινική αναλογία του Οξυγόνου στον Γαλαξία.

Η θερμοκρασία διέγερσης του ατομικού Υδρογόνου είναι 100K στα νεφελώματα και 100- 1000K στο διάχυτο ατομικό Υδρογόνο, στις περιοχές ανάμεσα στις γαλαξιακές σπείρες και στον παχύ γαλαξιακό δίσκο. Τα νέφη ατομικού Υδρογόνου έχουν μέγεθος 10- 100 pc, πυκνότητα 10- 100 H cm³ και μάζα 100- 100.000 ηλιακές. Η συνολική ποσότητα του ατομικού Υδρογόνου στον Γαλαξία εκτιμάται, από τις παρατηρήσεις της έντασης της εκπομπής του στα 21 εκατοστόμετρα, στο 1 δις ηλιακές μάζες. Τα νέφη ατομικού Υδρογόνου έχουν διασπορά πλάτους 200 pc και το διάχυτο ατομικό Υδρογόνο είναι διάσπαρτο στον παχύ δίσκο με πλάτος 400pc. Η γωνιακή διασπορά του εκτείνεται από τα 3Kpc ως τα 30Kpc από το κέντρο του Γαλαξία. Είναι πολύ πιο εκτεταμένη από αυτή του μοριακού Υδρογόνου. Πιο κοντά στο κέντρο του Γαλαξία υπάρχει μόνο μοριακό Υδρογόνο. Η αυξημένη παρουσία του CO στην κεντρική περιοχή του Γαλαξία μας βοηθάει να μελετήσουμε την τοπική κινηματική της ύλης. Η μεγάλη διασπορά ταχυτήτων δείχνει την ταχεία περιστροφή και μεγάλη πυκνότητα του γαλαξιακού κέντρου. Ο δίσκος του Γαλαξία χωρίζεται σε 2 μέρη, το εξωτερικό όπου κυριαρχεί το ατομικό Υδρογόνο και το εσωτερικό με κυρίαρχο το μοριακό Υδρογόνο. Το ατομικό Υδρογόνο ταυτίζεται με τις σπείρες ενός γαλαξία.



Με μπλε χρώμα είναι το ατομικό, με κίτρινο το μοριακό Υδρογόνο

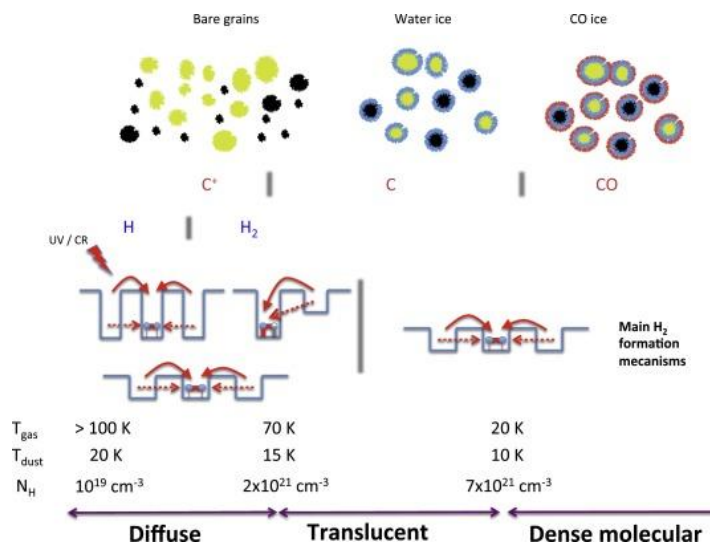
Η μετάβαση από ατομικό σε μοριακό Υδρογόνο

Το μοριακό και το ατομικό Υδρογόνο είναι τα 2 βασικά συστατικά της μεσοαστρικής ύλης. Η αναλογία τους αποτελεί βασική παράμετρο της κατάστασης της μεσοαστρικής ύλης ενός γαλαξία. Όπως είδαμε, το μοριακό Υδρογόνο κυριαρχεί στις εσωτερικές περιοχές του Γαλαξία μας, ενώ από ακτίνα 10 Kpc κυριαρχεί το ατομικό Υδρογόνο. Τοπικά τα 2 είδη Υδρογόνου δεν αναμειγνύονται και βρίσκονται σε ισορροπία μέσω πίεσης. Το μικρότερης πίεσης και μεγαλύτερης θερμοκρασίας ατομικό Υδρογόνο είναι πιο διάχυτο από το μοριακό. Η φάση μετάβασης εξαρτάται από την πίεση, την μεταλλικότητα, την αστρική ακτινοβολία και το μέγεθος /μάζα ενός νεφελώματος.

Υποθέτουμε ότι ο βασικός μηχανισμός της μετάβασης είναι η καταλυτική δράση των κόκκων σκόνης, όπου προσκολλώνται άτομα Υδρογόνου και ενώνονται σε μοριακό Υδρογόνο. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση (πυκνότητα του Υδρογόνου και της σκόνης) και η μεταλλικότητα, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η μετάβαση.

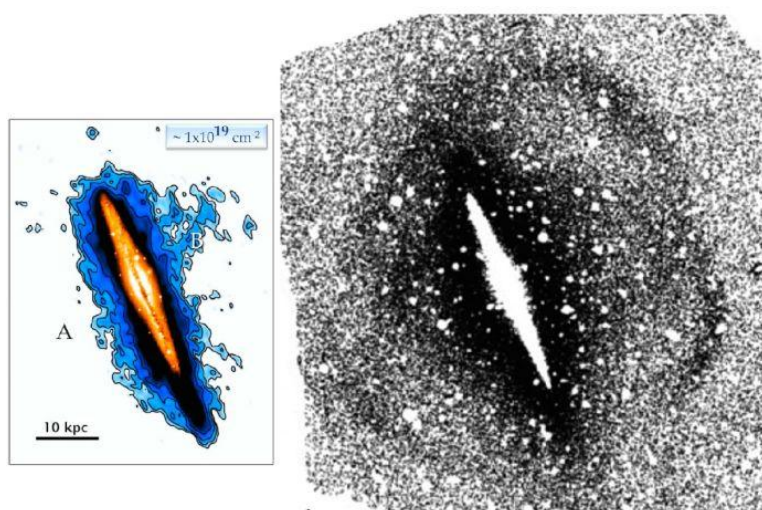
Από την άλλη, το μόρια του Υδρογόνου διασπώνται από την υπεριώδη ακτινοβολία των αστεριών, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ιονισμένο αέριο (HII). Όσο πιο ισχυρή είναι η αστρική ακτινοβολία (ιδίως με την παρουσία αστεριών μεγάλης μάζας) τόσο ελαττώνεται το μοριακό Υδρογόνο. Η μεγάλη μάζα των γιγάντιων νεφελωμάτων οδηγεί σε απόσβεση της υπεριώδους ακτινοβολίας στο πυκνό εσωτερικό τους, ενισχύοντας την δημιουργία μοριακού υδρογόνου.

Στην γειτονιά του ηλίου, η αναλογία μοριακού- ατομικού Υδρογόνου είναι 1 προς 5. Όπως είδαμε αυτή η αναλογία κυμαίνεται από περιοχή σε περιοχή του Γαλαξία, και ανά γαλαξία. Η γωνιακή εξέλιξη της παραπάνω αναλογίας απεικονίζει την εξέλιξη του γαλαξιακού δίσκου. Μία σημαντική παράμετρος είναι ο ρυθμός αστρογέννησης. Οι ισχυροί άνεμοι από τα αστέρια μεγάλης μάζας και οι εκρήξεις σουπερνόβα καταστρέφουν τα μόρια, αλλά ενισχύουν την μεταλλικότητα.



Γενικά η εκπομπή του μονοξειδίου του Άνθρακα συνδέεται με περιοχές μεγάλης πυκνότητας της ύλης, και η εκπομπή του ατομικού Υδρογόνου σε περιοχές διάχυτης ύλης. Η εικόνα που συνδυάζει τις 2 παραπάνω εκπομπές μας δίνει μια πλήρη απεικόνιση της διασποράς της μεσοαστρικής ύλης. Οι καμπύλες περιστροφής του CO και του HI φτάνουν στο μέγιστο στα 3 Kpc από το γαλαξιακό κέντρο (μέχρι εκεί αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του Γαλαξία). Μετά η ταχύτητα περιστροφής είναι σταθερή, επιβεβαιώνοντας την σχέση Tully- Fisher (επίπεδη καμπύλη ταχύτητας γαλαξιακής περιστροφής).

Η διασπορά του αερίου στους γαλαξίες χαρακτηρίζεται από έναν κύριο δακτύλιο μοριακού αερίου ακτίνας μερικών Kpc, την κεντρική περιοχή μοριακού αερίου και εκτεταμένες περιοχές ατομικού αερίου στις πιο εξωτερικές περιοχές, όπως οι γαλαξιακές σπείρες. Στον γαλαξία NGC891 παρατηρούμε τον μοριακό δακτύλιο των 4 Kpc και το μοριακό αέριο στην κεντρική περιοχή, ενώ η πυκνότητα του μοριακού Υδρογόνου ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση από το κέντρο του γαλαξία. Η πυκνότητα του ατομικού Υδρογόνου είναι σχετικά σταθερή στο μεγαλύτερο μέρος του δίσκου, ενώ είναι πολύ ελαττωμένη στο εσωτερικό του γαλαξία. Σε ακτίνα 8 Kpc (ανάλογη της γειτονιάς του ηλίου στον δικό μας Γαλαξία) η πυκνότητα του αερίου είναι $0,5 \text{ άτομα/cm}^3$, ενώ στον δικό μας Γαλαξία είναι $0,7$. Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και στον γαλαξία NGC 4565, όπου παρατηρούμε τον μοριακό δακτύλιο των 5 Kpc και την σταθερότητα του ατομικού Υδρογόνου για 20 Kpc. Στον μοριακό δακτύλιο είναι ενισχυμένο και το ιονισμένο Υδρογόνο. Η διαφορά αυτού του γαλαξία με άλλους είναι ότι το μοριακό Υδρογόνο δεν κυριαρχεί στην εσωτερική του περιοχή. Αυτό συνδυάζεται με το γεγονός ότι δεν παρατηρούμε ταχεία περιστροφή της κεντρικής περιοχής. Αυτός ο γαλαξίας, όπως και ο M31, δείχνουν ελάττωση του μεσοαστρικού αερίου στην κεντρική περιοχή.



NGC891 Μοριακό (κίτρινο) και ατομικό αέριο (μπλε)

Το μοριακό μέτωπο

Είδαμε ότι το μοριακό αέριο είναι κυρίαρχο στις εσωτερικές περιοχές των γαλαξιών. Η αναλογία του ελαττώνεται με την γαλαξιοκεντρική απόσταση. Σε ακτίνα 10 Kpc από το γαλαξιακό κέντρο η αναλογία του σχεδόν μηδενίζεται. Έτσι ο γαλαξιακός δίσκος χωρίζεται σε 2 μέρη. Στην εσωτερική περιοχή μοριακού Υδρογόνου και στην εξωτερική περιοχή ατομικού Υδρογόνου. Το όριο ανάμεσα στις 2 περιοχές ονομάζεται μοριακό μέτωπο. Αυτό το μέτωπο εξαρτάται από την φάση της μετάβασης από ατομικό σε μοριακό Υδρογόνο, σε γαλαξιακή κλίμακα, και συνδέεται με την εξέλιξη της μεσοαστρικής ύλης και γενικότερα την εξέλιξη ενός γαλαξία. Η ισορροπία ανάμεσα στις 2 περιοχές εξαρτάται από την πίεση του αερίου, την μεταλλικότητα και την ισχύ της αστρικής ακτινοβολίας. Οι 2 πρώτοι παράγοντες ενισχύουν την μετάβαση σε μοριακό αέριο, ενώ ο τρίτος καταστρέφει τα μόρια.

Η θερμοκρασία και η διασπορά ταχυτήτων των νεφών μοριακού και ατομικού αερίου δεν κυμαίνεται τόσο έντονα ανάλογα την απόσταση από το γαλαξιακό κέντρο. Φαίνεται η πίεση του αερίου να είναι ανάλογη του συνόλου ατομικού - μοριακού αερίου. Το πεδίο αστρικής ακτινοβολίας είναι ανάλογο του ρυθμού αστρογέννησης, που εξαρτάται από την πυκνότητα του αερίου. Η μεταλλικότητα σε έναν γαλαξία ελαττώνεται ακτινικά.

Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Ο ΘΑΝΑΤΟΣ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΙΩΝ

Τα αστέρια δημιουργούνται μέσω βαρυτικής κατάρρευσης των πυκνών περιοχών των μοριακών νεφών. Έτσι οι περιοχές αστρογέννησης ταυτίζονται με τις συγκρούσεις μοριακών νεφελωμάτων. Οι σπείρες των γαλαξιών αποτελούν βασικές περιοχές αστρογέννησης. Το κρουστικό κύμα του αερίου ενός γαλαξία, που προκαλείται από τα κύματα πυκνότητας, συμπιέζει το μεσοαστρικό αέριο. Η ύλη στις γαλαξιακές σπείρες έχει συμπυκνώματα, που έχουν διαφορετική ταχύτητα περιστροφής γύρω από το γαλαξιακό κέντρο. Ακόμα, αναπτύσσονται παλιρροϊκές δυνάμεις ανάμεσα στις εσωτερικές και τις εξωτερικές περιοχές του γαλαξιακού δίσκου. Στον Γαλαξία μας ο δίσκος των 4 Kpc αποτελεί την περιοχή με την πιο έντονη αστρογέννηση, μιας και είναι η πιο πυκνή περιοχή μοριακού αερίου. Επίσης έντονη αστρογέννηση συμβαίνει στην πυκνή κεντρική περιοχή του Γαλαξία μας.

Ο ρυθμός αστρογέννησης

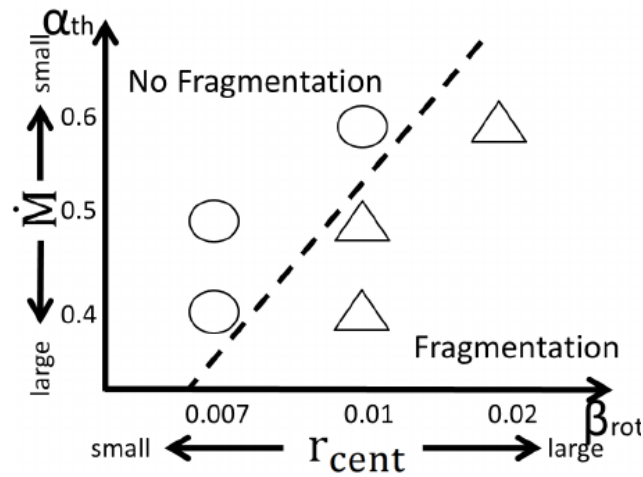
Είδαμε ότι η διασπορά του ιονισμένου Υδρογόνου ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με το μοριακό Υδρογόνο. Επίσης αυτή η διασπορά μας δείχνει τους σπειροειδείς βραχίονες των γαλαξιακών δίσκων. Η πυκνότητα του ιονισμένου Υδρογόνου απεικονίζει τον ρυθμό αστρογέννησης. Τα νεαρά αστέρια μεγάλης μάζας, φασματικού τύπου O και B, εξελίσσονται γρήγορα με εκρήξεις σουπερνόβα τύπου

II, μετά από μερικά εκατομμύρια έτη. Τότε εκλύουν κινητική ενέργεια στην μεσοαστρική ύλη και την εμπλουτίζουν χημικά με βαρύτερα στοιχεία. Το χρονοδιάγραμμα ενός επεισοδίου αστρογέννησης (δημιουργία αστεριών σε ένα νεφέλωμα, όταν γίνουν κατάλληλες οι συνθήκες) διαρκεί περίπου 1 εκατομμύρια έτη. Αυτό είναι το διάστημα της συστολής (ελεύθερης πτώσης) του πυκνού πυρήνα ενός νέφους. Είναι πολύ σύντομο με τον τυπικό χρόνο περιφοράς ενός νέφους γύρω από τον γαλαξία (100 εκατομμύρια έτη). Είδαμε ότι η διάρκεια ζωής των αστεριών μεγάλης μάζας είναι επίσης μικρή, και η λαμπρότητά τους ξεπερνάει την λαμπρότητα των, πολύ μεγαλύτερου πλήθους, μικρής μάζας αστεριών. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα οι βραχίονες σε έναν γαλαξία, που φιλοξενούν τα αστέρια μεγάλης μάζας, να λάμπουν περισσότερο από την περιοχή ανάμεσά τους.

Ο ρυθμός αστρογέννησης (SFR, star formation rate, πόσα αστέρια γεννιούνται σε έναν γαλαξία το έτος) ενός γαλαξία υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις αστεριών μεγάλης μάζας (OB associations) και από την (αστρική) εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας. Ο ρυθμός αστρογέννησης αυξάνεται ανάλογα την πυκνότητα του αερίου, που μπορεί να μετρηθεί από την γραμμή εκπομπής του ατομικού Υδρογόνου ή τις φασματικές γραμμές του μονοξειδίου του Άνθρακα (που μας δείχνουν το μοριακό Υδρογόνο). Η σχέση ανάμεσα στην πυκνότητα του αερίου και στον ρυθμό αστρογέννησης ονομάζεται νόμος του Schmidt.

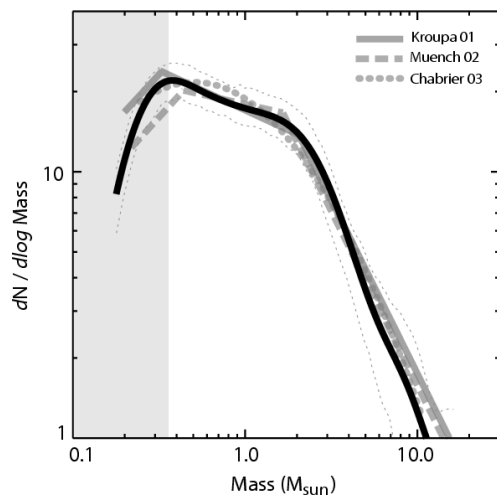
Η κρίσιμη μάζα

Τα αστέρια δημιουργούνται κατά κύριο λόγο σε γιγάντια μοριακά νέφη. Αυτά τεμαχίζονται σε μικρότερες, πιο πυκνές περιοχές λόγω ασταθειών (κυρίως βαρυτικών) στην μεσοαστρική ύλη, όπως αναφέραμε παραπάνω. Η βαρυτική κατάρρευση αυτών των τμημάτων δημιουργεί τους πρωτοαστέρες. Ο χρόνος που χρειάζεται για την κατάρρευση ονομάζεται χρόνος Jeans και ισούται με τον χρόνο της ελεύθερης πτώσης μιας πυκνής περιοχής, περίπου 1 εκατομμύριο έτη. Η κρίσιμη μάζα ώστε να σημειωθεί αυτή η βαρυτική αστάθεια καθορίζεται από το κρίσιμο μέγεθος του τμήματος που καταρρέει και ονομάζεται μάζα Jeans. Σε ένα μοριακό νέφος πυκνότητας $10.000 \text{ H}_2 \text{ cm}^{-3}$ και θερμοκρασίας 10K η μάζα Jeans είναι μόλις 0,1 ηλιακές. Αποτελεί το κατώτερο όριο μάζας για τα μοριακά νεφελώματα. Τα νεφελώματα με μεγαλύτερη μάζα μπορούν να δημιουργήσουν αστέρια. Τα αστέρια δημιουργούνται σε ένα εύρος μάζας μοριακών νεφελωμάτων πάνω από αυτό το όριο. Τα αστέρια που γεννήθηκαν από ένα νεφέλωμα σχηματίζουν ένα ανοιχτό αστρικό σμήνος. Αποτελούν τα τυπικά αστέρια πληθυσμού I (νεότερης πληθυσμιακής ομάδας) στον γαλαξιακό δίσκο. Αντίθετα τα σφαιρωτά σμήνη, που είναι αρχαία αντικείμενα, φιλοξενούν αστέρια της παλαιότερης πληθυσμιακής ομάδας II.



Η συνιστώσα αστρικής μάζας (IMF, Initial mass function)

Αυτή η συνιστώσα μας δείχνει την αναλογία αστεριών με διαφορετικές μάζες σε ένα σύνολο αστεριών. Δηλαδή πόσα αστέρια μικρής και πόσα μεγάλης μάζας δημιουργούνται. Κορυφώνεται στα αστέρια μικρής μάζας (περίπου 0,5 της ηλιακής μάζας). Οι μάζες των αστεριών σε ένα σμήνος κυμαίνονται από 0,1 ηλιακή ως δεκάδες ηλιακές (όμως τα αστέρια πολύ μεγάλης μάζας <ζουν> λίγα εκατομμύρια έτη, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν στα σμήνη που δεν είναι πολύ νεαρά). Έτσι η μάζα ενός αστρικού σμήνους καθορίζεται από το πλήθος αστεριών μικρής μάζας. Η αστρική μάζα ενός γαλαξία κυριαρχείται από γηραιά αστέρια πληθυσμού II, αλλά η λαμπρότητά του από τα αστέρια μεγάλης μάζας πληθυσμού I.



Το θεώρημα Virial

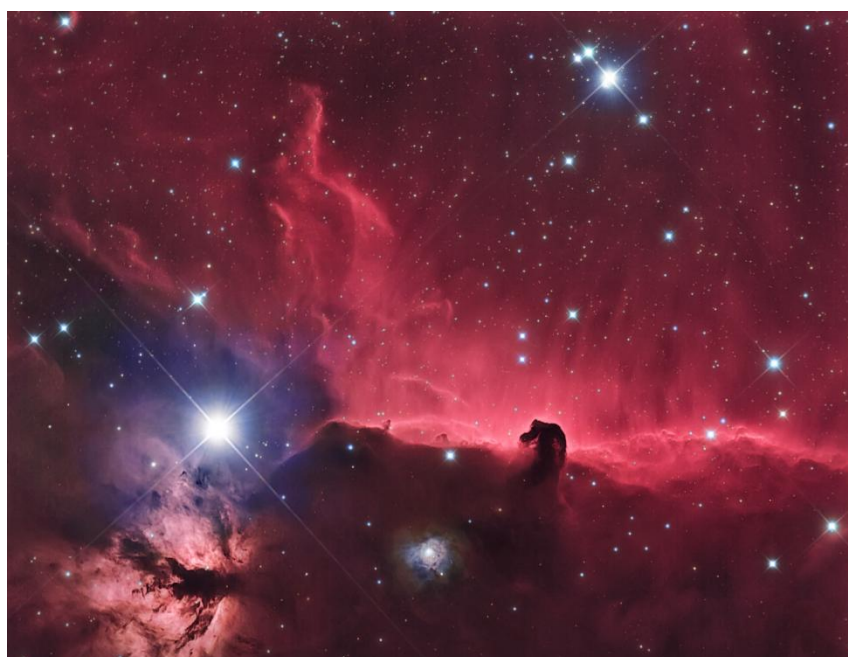
Εκφράζει την βαρυτική εξισορρόπηση, την διαστολή ή συστολή των μεσοαστρικών νεφών ενός γαλαξία. Για να ισορροπήσει ένα νεφέλωμα, η εσωτερική διασπορά ταχυτήτων της ύλης (στροβιλισμοί) εξισορροπεί την βαρυτική ενέργεια.

Η κατάρρευση των νεφελωμάτων

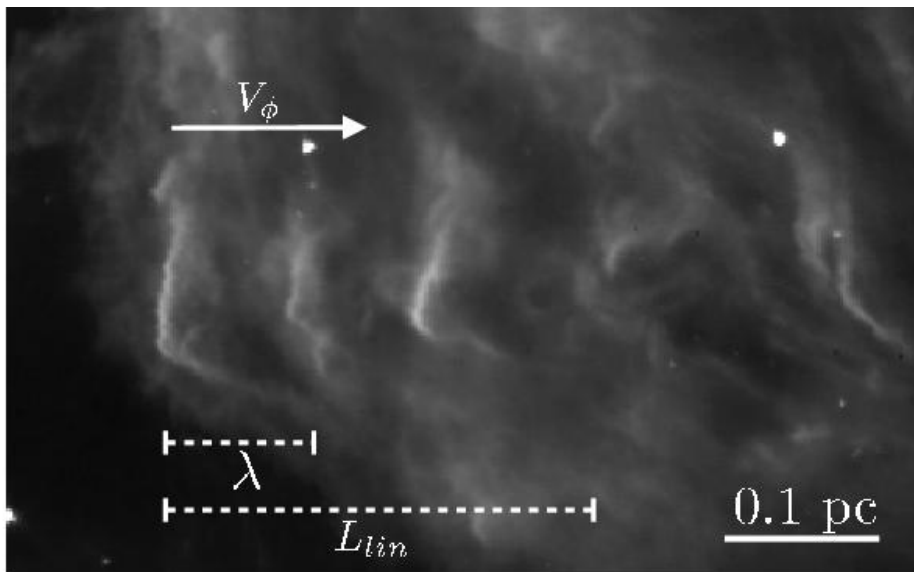
Η βασική αιτία κατάρρευσης ενός τμήματος νεφελώματος είναι η βαρύτητα. Μία δευτερεύουσα αιτία κατάρρευσης είναι η θερμική αστάθεια. Ακόμα και αν η βαρύτητα δεν επαρκεί για να συμπιέσει το αέριο ενός τμήματος νεφελώματος σε κατάρρευση, μπορεί αυτό να συμπιεστεί από την πίεση του αερίου γύρω από αυτό. Σε μια σταθερή κατάσταση, η ψύξη και η θέρμανση του αερίου βρίσκονται σε ισορροπία (οι μηχανισμοί τους). Αν το νέφος δεχτεί μια διατάραξη της πίεσης, η ψύξη θα είναι ενισχυμένη και μπορεί να κυριαρχήσει της θέρμανσης. Η εσωτερική πίεση θα ελαττωθεί με αποτέλεσμα την συμπίεση του αερίου.

Τύποι αστάθειας της μεσοαστρικής ύλης

.Αστάθεια Rayleigh- Taylor. Πρόκειται για ένα γνωστό φαινόμενο που παρατηρούμε όταν ρίχνουμε νερό πάνω από λάδι, σε συνθήκες βαρύτητας (Γη). Το νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν κύματα στην επιφάνεια που θα εξελιχτούν σε μακρόστενες δομές –σταγόνες μέσα στο λάδι. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει στην μεσοαστρική ύλη όταν ένα μοριακό νέφος επιταχύνεται από ένα αέριο μεγάλης πίεσης (και θερμοκρασίας), όπως μια διαστελλόμενη περιοχή HII. Το μοριακό αέριο που δέχτηκε την πίεση επιταχύνεται προς την περιοχή μικρότερης πυκνότητας, σαν να υπήρχε βαρυτικό πεδίο στην ίδια κατεύθυνση. Μια γνωστή τέτοια περίπτωση είναι το νεφέλωμα της κεφαλής του ίππου, στον Ωρίωνα. Το σκοτεινό νέφος μεγάλης πυκνότητας επιταχύνεται από το ιονισμένο Υδρογόνο (ιονίστηκε από τους αστρικούς ανέμους των νεαρών αστεριών του νεφελώματος), σχηματίζοντας τις θεαματικές δομές στην περιοχή μικρότερης πυκνότητας.



.Αστάθεια Kelvin- Helmholtz. Πρόκειται για τον μηχανισμό δημιουργίας κυμάτων σε μια επιφάνεια νερού, όπως ο ωκεανός, μέσω του ανέμου. Προκαλείται από την κίνηση διάτμησης (shear motion) των 2 μέσων (νερό και αέρας). Στην μεσοαστρική ύλη, προκαλείται όταν ένα νεφέλωμα αντιμετωπίζει την διαφορεική ροή (άνεμο) του αερίου γύρω του. Συμβαίνει συχνά στην επιφάνεια ενός πυκνού πυρήνα (κολόνα, Pillar) ενός νεφελώματος που αναπτύσσεται μέσω της αστάθειας Rayleigh- Taylor, όπου το ιονισμένο Υδρογόνο ρέει γύρω από την κολόνα ή όταν αυτή αναπτύσσεται μέσα στην περιοχή HII. Σε μεγαλύτερη κλίμακα, αυτή η αστάθεια συμβαίνει σε κίνηση διάτμησης του αερίου του γαλαξιακού δίσκου σε παρακείμενες ροές αερίου διαφορεικής γαλαξιακής περιστροφής. Σχηματίζονται κυματοειδείς δομές που αναπτύσσονται γωνιακά από τους βραχίονες.



.Αστάθεια Parker (Magnetic Inflation). Το γαλαξιακό μαγνητικό πεδίο διεισδύει στον μεσοαστρικό χώρο. Στο μεσοαστρικό αέριο υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια που παγιδεύονται στο μαγνητικό πεδίο, με αποτέλεσμα ακόμα και το ουδέτερο μεσοαστρικό αέριο και τα νέφη να δεσμεύονται στις μαγνητικές γραμμές. Το μεσοαστρικό αέριο και οι γαλαξιακές μαγνητικές γραμμές δεσμεύονται μεταξύ τους. Όλη η μαγνητισμένη μεσοαστρική ύλη, το αέριο και οι κοσμικές ακτίνες, εγκλωβίζονται στον γαλαξιακό δίσκο, από την βαρύτητα του δίσκου. Το αέριο και οι κοσμικές ακτίνες δεν μπορούν να κινηθούν κάθετα, αλλά μόνο παράλληλα με τις μαγνητικές γραμμές. Ας θεωρήσουμε ότι οι μαγνητικές γραμμές είναι παράλληλες με τον γαλαξιακό δίσκο. Τότε η μεσοαστρική ύλη θα τις ακολουθεί. Το αέριο που βρίσκεται στην κορυφή των γραμμών θα πιέζεται προς τα μέσα από την βαρύτητα του δίσκου και οι κοσμικές ακτίνες θα παραμείνουν στις μαγνητικές γραμμές. Η βαρύτητα του αερίου τείνει να παρασύρει τις μαγνητικές γραμμές προς το

γαλαξιακό εσωτερικό, ενώ η πίεση της κοσμικής ακτινοβολίας τις συγκρατεί. Έτσι προκαλείται πλευστότητα (buoyancy) κοντά στην κορυφή των γραμμών, με τις γραμμές να επεκτείνονται προς την γαλαξιακή άλω. Οι μαγνητικές γραμμές θα σχηματίσουν αψίδες στην γαλαξιακή άλω.

Περιβάλλοντα αστρογέννησης

Τα κύματα πυκνότητας του γαλαξιακού δίσκου προκαλούνε ένα γαλαξιακό κρουστικό κύμα που συμπιέζει την μεσοαστρική ύλη. Το αέριο συμπιέζεται από το κρουστικό κύμα και σχηματίζει τους γαλαξιακούς βραχίονες, ενώ ατομικό Υδρογόνο μεταφέρεται στα μοριακά νέφη. Στην κεντρική περιοχή του Γαλαξία ένα ωοειδές δυναμικό (oval potential) του εσωτερικού δίσκου προκαλεί ένα ισχυρό κρουστικό μέτωπο αερίου. Το αέριο επιταχύνεται προς τον δίσκο της κεντρικής περιοχής του Γαλαξία, όπου σχηματίζονται μοριακά νέφη, με αποτέλεσμα την εντατική αστρογέννηση.

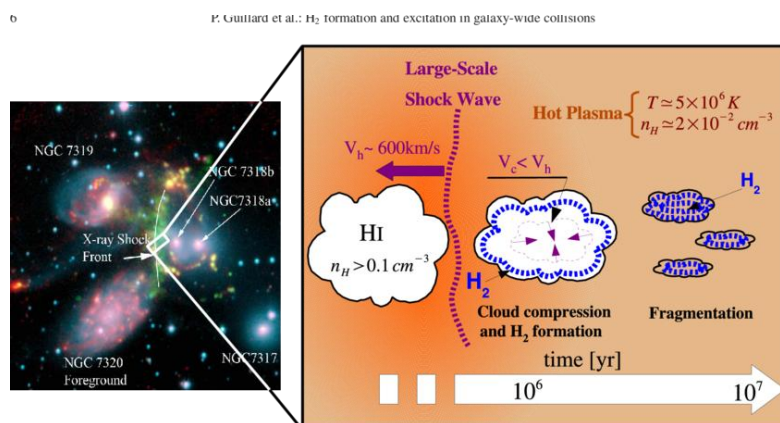
Τα αστέρια γεννιούνται μέσω κατάτμηση πυκνών πυρήνων των μοριακών νεφών, λόγω βαρυτικής αστάθειας των διακυμάνσεων της πυκνότητας. Αυτά πυροδοτούνται από την τοπική συμπίεση του αερίου μέσω διεύδυσης εξωτερικού κρουστικού κύματος ή εσωτερικών στροβιλισμών. Οι συγκρούσεις ανάμεσα στα τμήματα των νεφών ή ολόκληρα νέφη, συγκρούσεις με διαστελλόμενα νεφελώματα σουπερνόβα, ή με διαστελλόμενο ιονισμένο αέριο, ακόμα και πίδακες από τον γαλαξιακό πυρήνα, αποτελούν τις βασικές αιτίες συμπίεσης του μεσοαστρικού αερίου.

Το μεσοαστρικό αέριο κατά την διάρκεια της συμπίεσης από γαλαξιακά κρουστικά κύματα είναι σχεδόν ισόθερμο, επειδή ο χρόνος ψύξης του ξεπερνάει το χρονοδιάγραμμα της συμπίεσης (εξελίσσεται πιο αργά). Η αστρογέννηση είναι πιο έντονη στην κεντρική γαλαξιακή περιοχή, επειδή το αέριο που διεϊσδύει εκεί έχει μεγαλύτερη (υπερηχητική) ταχύτητα, και στα νέφη που συγκρούονται με υπερηχητική ταχύτητα.

Ο σχηματισμός των μοριακών νεφών

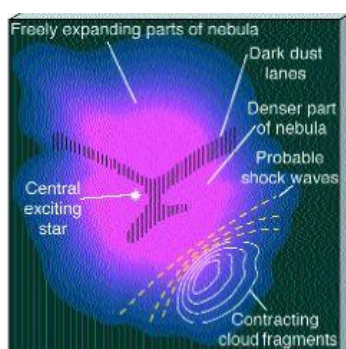
Η συμπίεση μεγάλης κλίμακας του μεσοαστρικού αερίου του δίσκου δημιουργεί τα μοριακά νέφη, ακόμη και τα γιγάντια μοριακά νέφη. Τα μοριακά νέφη περιέχουν σκόνη, έτσι τα παρατηρούμε σαν σκοτεινές γραμμές στους δίσκους των γαλαξιών. Τα αστέρια γεννιούνται κατά ομάδες (σμήνη) σε αυτά. Αρχικά το χρώμα σε μια περιοχή αστρογέννησης είναι μπλε, λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας των αστεριών μεγάλης μάζας. Σύντομα, μετά την εξέλιξη των αστεριών μεγάλης μάζας επικρατεί το κόκκινο χρώμα που οφείλεται στην εκπομπή της σκόνης (επανεκπομπή του αστρικού φωτός).

Κατά την γαλαξιακή περιστροφή το μεσοαστρικό αέριο ρέει στους σπειροειδείς βραχίονες, όπου συμπιέζεται από το γαλαξιακό κρουστικό μέτωπο. Δημιουργούνται τα μοριακά νέφη. Επειδή τα αστέρια μεγάλης μάζας δεν προλαβαίνουν να εγκαταλείψουν τους βραχίονες σε περιοχές ανάμεσά τους (λόγω σύντομης διάρκειας ζωής), λάμπουν μόνο μέσα σε αυτούς, με αποτέλεσμα οι βραχίονες να εμφανίζονται ιδιαίτερα λαμπροί. Αυτή η πηγή λαμπρότητας μας δείχνει τα μοριακά νεφελώματα αλλά και το γαλαξιακό κρουστικό μέτωπο ενός σπειροειδή γαλαξία.



Οι περιοχές ιονισμένου Υδρογόνου (HII regions)

Σφαίρα Stromgren. Σε ένα νεαρό αστρικό σμήνος τα αστέρια μεγάλης μάζας (τύπου O,B) ιονίζουν το γύρω τους μοριακό αέριο (από το νεφέλωμα που δημιουργήθηκαν) με την υπεριώδη ακτινοβολία τους. Έτσι μια περιοχή αστρογέννησης συνδέεται συνήθως με περιοχή ιονισμένου Υδρογόνου. Γύρω από τα αστέρια μεγάλης μάζας δημιουργείται μια σφαίρα όπου ο ιονισμός κυριαρχεί της επανασύνδεσης των ατόμων. Αυτή η σφαίρα ονομάζεται σφαίρα Stromgren. Το ιονισμένο αέριο στην σφαίρα διαστέλλεται. Η θερμοκρασία του είναι στους 10.000 βαθμούς, με αποτέλεσμα να μην βρίσκεται σε ισορροπία πίεσης με το πολύ ψυχρότερο (10-100K) αέριο έξω από τη σφαίρα. Το ιονισμένο αέριο έχει μεγαλύτερη πίεση και διαστέλλεται υπερηχητικά. Δημιουργεί ένα κρουστικό μέτωπο, που στα όρια της διαστελλόμενης σφαίρας Stromgren σχηματίζει μια διεπαφή με το γύρω μοριακό αέριο. Το μοριακό αέριο συμπιέζεται με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν οι συνθήκες δευτερογενής αστρογέννησης (sequential star formation).



Σημαντικές περιοχές αστρογέννησης

Το μοριακό νέφος του Ωρίωνα είναι μια περιοχή αστρογέννησης, όπως φαίνεται από τις παρατηρήσεις στο υπέρυθρο (στο υπέρυθρο μπορούμε να δούμε μέσα από τη σκόνη). Η περιοχή συνδέεται με την περιοχή ιονισμένου Υδρογόνου Ori A, που παρατηρούμε στα ραδιοκύματα, και την περιοχή Orion Great Nebula στο οπτικό φως, με ηλικία μερικά εκατομμύρια έτη. Επίσης αυτή η περιοχή αστρογέννησης συνδέεται με μια ομάδα νεαρών αστεριών, 10 εκατομμυρίων ετών, σε απόσταση μερικά πάρσεκ, και μια άλλη ομάδα αστεριών ηλικίας 100 εκατομμυρίων ετών, λίγο πιο μακριά. Στην φασματική γραμμή Ηα φαίνεται ότι όλα αυτά περικλείονται από ένα διάχυτο κέλυφος ιονισμένου Υδρογόνου ακτίνας 100 pc. Η δευτερογενής αστρογέννηση που παρατηρούμε έχει μετατοπιστεί σε σχέση με τα παλαιότερα επεισόδια αστρογέννησης.

Το M17 είναι μια περιοχή ιονισμένου Υδρογόνου που συνδέεται με γιγάντια μοριακά νέφη έκτασης 100 pc, κατά μήκος του γαλαξιακού επιπέδου. Παρατηρούμε δευτερογενής αστρογέννηση. Το M16 είναι μεγαλύτερης ηλικίας. Η διαστολή του φαίνεται στην εκπομπή του Ηα και συνδέεται με περιοχή θερμικής ραδιοεκπομπής. Σε αυτή την εκπομπή απεικονίζεται ένα κέλυφος μεγέθους 50 pc που βρίσκεται μέσα σε ένα μεγαλύτερο διαστελλόμενο κέλυφος ατομικού Υδρογόνου.

Το νεφέλωμα της Ροζέτας. Πρόκειται για μια μεγάλη περιοχή μοριακού Υδρογόνου που περικλείει μια κεντρική περιοχή αστρογέννησης με αστέρια τύπου O, B. Όλο το νεφέλωμα συνορεύει με ένα γιγάντιο μοριακό νέφος.

Το Sgr B2 είναι μια περιοχή ιονισμένου Υδρογόνου στην κεντρική περιοχή του Γαλαξία μας. Περιέχει μερικές συμπαγείς πηγές εκπομπής ραδιοκυμάτων και διαστέλλεται με υποηχητική ταχύτητα (δεν δημιουργεί κρουστικό μέτωπο). Περικλείεται από ένα κέλυφος με πυκνούς πυρήνες μοριακού Υδρογόνου με 10.000 ηλιακές μάζες ο καθένας. Οι πυκνοί πυρήνες προέρχονται από κατάτμηση του μοριακού αερίου που συμπιέστηκε από το κρουστικό κύμα του ιονισμένου αερίου. Όλη η περιοχή βρίσκεται στο κέντρο ενός γιγάντιου μοριακού νεφελώματος διαμέτρου 50 pc και μάζας 1 εκατομμύριο ηλιακές. Η αποτελεσματικότητα αστρογέννησης είναι ακόμα μικρή σε σχέση με άλλες περιοχές. Μάλλον η αστρογέννηση είναι ακόμα στο ξεκίνημά της σε αυτή την περιοχή.



Το νεφέλωμα M17

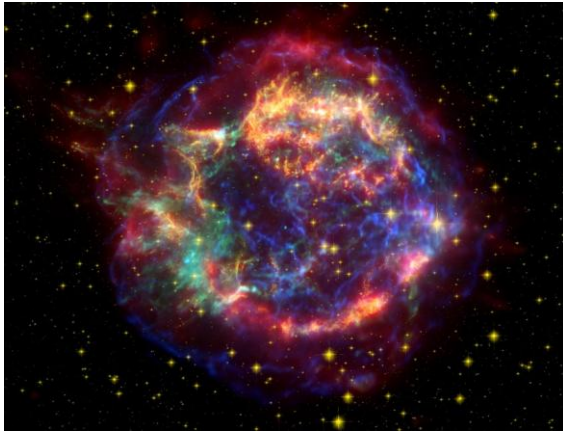
Εκρήξεις σουπερνόβα και νεφελώματα (*supernovae and supernova remnants*)

Οι εκρήξεις σουπερνόβα χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, τις θερμοπυρηνικές εκρήξεις λευκών νάνων (SN Ia) που υπερβαίνουν το όριο μάζας Chandrasekhar και αυτές που προέρχονται από κατάρρευση πυρήνα αστεριού μεγάλης μάζας (SN Ib, SN Ic, SN II). Η ύλη που έχει εκτιναχτεί πριν από την έκρηξη αλλά και αυτή που εκτινάσσεται από μία έκρηξη σουπερνόβα σχηματίζει ένα διαστελλόμενο κέλυφος. Αυτό δημιουργεί ένα πολύ ισχυρό κρουστικό μέτωπο στην μεσοαστρική ύλη που θα συναντήσει. Στον Γαλαξία μας αναμένουμε να συμβαίνουν 2-3 εκρήξεις σουπερνόβα κάθε αιώνα (αν και η τελευταία παρατηρήθηκε πριν από 400 έτη!). Οι SN Ia είναι όλες παρόμοιες λαμπρότητας (προέρχονται από ίδιας μάζας αντικείμενα), πιο λαμπρές από τις σύνηθες σουπερνόβα κατάρρευσης αστρικού πυρήνα, αλλά με μικρότερη κινητική ενέργεια (μικρότερη μάζα του νεφελώματος). Η λαμπρότητα στις SN Ia κορυφώνεται σε λίγες ημέρες, ενώ στις σουπερνόβα κατάρρευσης αστρικού πυρήνα περίπου σε ένα μήνα (*περισσότερα για τις σουπερνόβα και τα νεφελώματά τους θα βρείτε στο σχετικό κείμενο στην ιστοσελίδα, κείμενα PDF, λοιπά αστρονομικά θέματα, εκρήξεις υπερκαινοφανών*).

Οι εκρήξεις σουπερνόβα (υπερκαινοφανείς) προμηθεύουν την μεσοαστρική ύλη με σημαντική ποσότητα κινητικής ενέργειας και θερμότητας, συμβάλλοντας στην δημιουργία στροβιλισμών. Θερμαίνουν και συμπιέζουν τα ατομικά και μοριακά νεφελώματα ενεργοποιώντας τις διαδικασίες αστρογέννησης. Επίσης συμπιέζουν τα μαγνητικά πεδία, εκπέμπουν κοσμική ακτινοβολία και εμπλουτίζουν την μεσοαστρική ύλη με βαρύτερα χημικά στοιχεία. Τα αστέρια μεγάλης μάζας ζούνε μόνο για λίγα εκατομμύρια έτη. Έτσι καταλήγουν σε σουπερνόβα κατάρρευσης αστρικού πυρήνα κοντά στην περιοχή όπου δημιουργήθηκαν. Οι εκρήξεις σουπερνόβα ενεργοποιούν ένα δευτερεύων επεισόδιο αστρογέννησης.

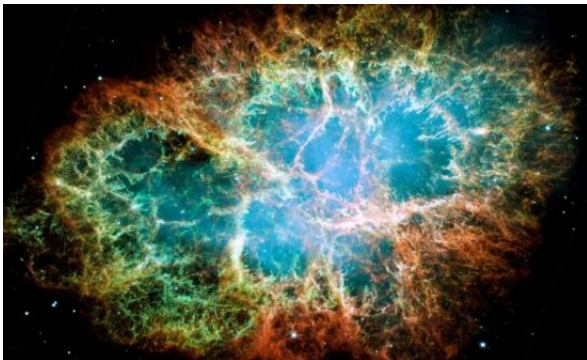
Τα νεφελώματα σουπερνόβα χωρίζονται σε

.Νεφέλωμα με κέλυφος. Πρόκειται για σφαιρικά νεφελώματα σουπερνόβα με <νήματα>. Σε αυτά παρατηρούμε μια σφαιρική διαστολή λόγω της αρχικής έκρηξης που σημειώθηκε στο κέντρο του νεφελώματος. Έχουν διάμετρο 10- 30pc και υπερηχητική ταχύτητα διαστολής, τουλάχιστον 100 km/s. Το Cas A είναι ένα νεαρό (λίγων εκατοντάδων ετών) νεφέλωμα με κέλυφος που διαστέλλεται με 2000 km/s. Τα νήματα περιέχουν συστατικά με διαφορετικές θερμοκρασίες, ανάμεσα σε 1000 K και 100.000 K, κάτι που φαίνεται από τις φασματικές γραμμές τους (H α , H β για θερμοκρασία αερίου 10.000 K, HeI, NII, OI, OIII για μερικές δεκάδες χιλιάδες K). Το εσωτερικό του κελύφους περιέχει ιονισμένο αέριο θερμοκρασίας εκατομμυρίων βαθμών, και εκπέμπει στις ακτίνες X.



Το νεφέλωμα σουπερνόβα Cas A

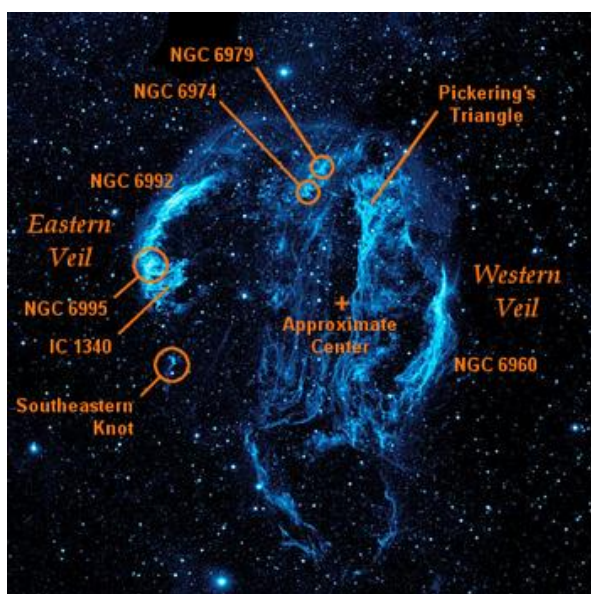
.Τα νεφελώματα με πλήρες εσωτερικό (πληριόνια, plerions). Πολλά νεφελώματα σουπερνόβα είναι άμορφα και δεν παρουσιάζουν ένα ξεκάθαρο κέλυφος, αλλά το εσωτερικό τους είναι <γεμισμένο>. Το νεφέλωμα του Καρκίνου αποτελεί ένα χαρακτηριστικό δείγμα. Τα νήματα (filaments) που περιέχει έχουν χαοτική κατανομή. Διεγείρονται από σωματίδια υψηλής ενέργειας, που εκπέμπονται από ένα αστέρι νετρονίων. Το αστέρι νετρονίων, μετά την κατάρρευση αστρικού πυρήνα (το υπόλειμμα του αστρικού πυρήνα) κινείται με μεγάλη ταχύτητα, με αποτέλεσμα να διαταραχθεί το σφαιρικό σχήμα του νεφελώματος.



Η διάρκεια ζωής των νεφελωμάτων σουπερνόβα (πριν αφομοιωθούν από την μεσοαστρική ύλη) είναι περίπου 100.000 έτη. Υπολογίζουμε ότι στον Γαλαξία μας υπάρχουν 2500 τέτοια νεφελώματα. Αυτός ο αριθμός μας δίνει και την αναμενόμενη συχνότητα των εκρήξεων σουπερνόβα (1 κάθε 40 έτη). Ένα νεφέλωμα σουπερνόβα διαστέλλεται ελεύθερα (χωρίς σημαντική αντίσταση) όταν η μάζα της μεσοαστρικής ύλης που δέχεται το κρουστικό κύμα είναι μικρότερη από τη μάζα του νεφελώματος (αρχική φάση του νεφελώματος, όπως το νεφέλωμα του Καρκίνου). Όταν η μάζα της μεσοαστρικής ύλης που δέχεται το κρουστικό μέτωπο ξεπεράσει την μάζα του νεφελώματος, λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας του κελύφους, η διαστολή του τελευταίου επιβραδύνεται. Αυτό συνήθως συμβαίνει μετά από 100 έτη. Μετά από 10.000 έτη η ψύξη του αερίου που δέχτηκε το κρουστικό μέτωπο είναι σημαντική. Ο χρόνος ψύξης της ύλης είναι συγκρίσιμος με

την ηλικία του νεφελώματος. Το κέλυφος του νεφελώματος συμπιέζεται, και τεμαχίζεται σε νήματα και άλλες δομές μέσω θερμικών και υδροδυναμικών ασταθειών. Μετά από 100.000 έτη, όταν το νεφέλωμα έχει διασταλεί στα 30 pc διάμετρο, το κέλυφος διαλύεται μέσω αλληλεπίδρασης με στροβιλισμούς της μεσοαστρικής ύλης και συγκρούσεων με άλλα νεφελώματα.

Παράδειγμα αλληλεπίδρασης μεσοαστρικών νεφών με νεφελώματα σουπερνόβα αποτελεί το Cygnus Loop. Αν η μάζα και το μέγεθος του μεσοαστρικού νεφελώματος είναι αρκετά μεγάλα, το κρουστικό μέτωπο συμπιέζει το μεσοαστρικό νεφέλωμα, ενώ μικρότερα μεσοαστρικά νεφελώματα <εξαερίζονται> λόγω της θερμότητας του κρουστικού μετώπου. Τα νεφελώματα σουπερνόβα ενεργοποιούν τον μηχανισμό αστάθειας Rayleigh- Taylor, επειδή επιταχύνεται πυκνή ύλη μέσα σε πιο αραιή. Αυτή η αστάθεια είναι η αιτία της δημιουργίας των νημάτων και των άλλων δομών των νεφελωμάτων σουπερνόβα.



Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΓΑΛΑΞΙΩΝ

Ο Γαλαξίας μας

Ο Γαλαξίας μας είναι ένας τυπικός γαλαξίας Sb. Η απόσταση του ηλίου από το κέντρο του Γαλαξία είναι 8 Kpc. Η γνώση της απόστασης από το κέντρο του Γαλαξία είναι η πιο βασική παράμετρος για την κατανόηση και την περιγραφή του Γαλαξία μας. Μπορούμε να συμπεράνουμε την μάζα του και το μέγεθός του. Άμεσα μπορούμε να δούμε μόνο ένα μικρό μέρος του Γαλαξία μας.

Μία μέθοδος μέτρησης της απόστασης του κέντρου του Γαλαξία είναι η παραδοχή ότι το κέντρο της διασποράς των σφαιρωτών σμηνών ταυτίζεται με το γαλαξιακό κέντρο. Τα σφαιρωτά σμήνη έχουν σχεδόν σφαιρική διασπορά στην γαλαξιακή

κοιλιά και στην γαλαξιακή άλως. Οι αποστάσεις των σφαιρωτών σμηνών (άρα και η διασπορά τους) μετριοούνται με τους μεταβλητούς αστέρες τύπου RR Lyr, μέσω της σχέσης περιόδου μεταβολής- λαμπρότητας, ή με φασματοσκοπική παράλλαξη. Μία άλλη μέθοδος μέτρησης της απόστασης του κέντρου του Γαλαξία είναι η άμεση παρατήρηση των μεταβλητών τύπου Mira στο υπέρυθρο, πάλι με την παραδοχή της σφαιρικής κατανομής. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα της άμεσης παρατήρησης ξεπερνώντας το εμπόδιο της σκόνης (υπέρυθρο). Όμως η πιο άμεση μέθοδος είναι η παράλλαξη της ραδιοπηγής Sgr A, που ταυτίζεται με την κεντρική μαύρη τρύπα του Γαλαξία μας. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι μέτρησης της απόστασης του γαλαξιακού κέντρου, όπως οι H₂O maser sources και οι X-ray busters.



Πρόσφατες μετρήσεις στα ραδιοκύματα έδειξαν ότι ο Γαλαξίας περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα από ακτίνα 200 pc ως ακτίνα 50 Kpc, μετά αυτή επιβραδύνεται σταδιακά. Αυτό μας δείχνει την κατανομή της γαλαξιακής μάζας (νόμος του Κέπλερ).

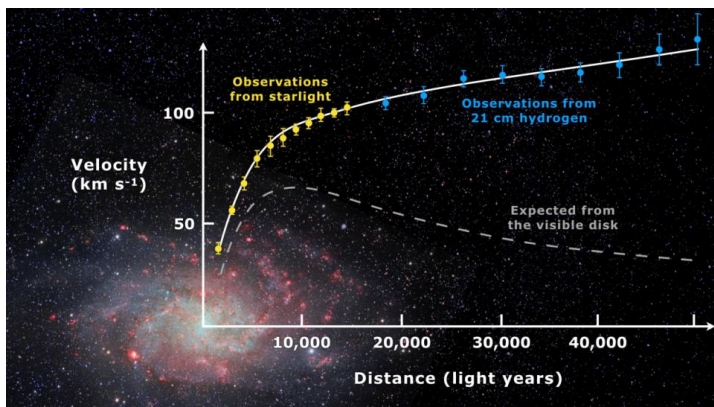
Τα αστέρια και το αέριο στον γαλαξιακό δίσκο σχηματίζουν συμπυκνώματα, τους βραχίονες. Οι βραχίονες έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα από τις περιοχές ανάμεσά τους. Το αέριο που εισρέει στους βραχίονες έχει διαφορά ταχύτητας μερικές δεκάδες km/s από αυτό που εκρέει. Αυτή η διαφορά ταχύτητας είναι υπερηχητική, και στον γαλαξιακό δίσκο δημιουργείται ένα κρουστικό μέτωπο από το αέριο. Το αέριο συμπιέζεται στους βραχίονες, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η αστρογέννηση. Γεννιούνται αστέρια μεγάλης μάζας, που λάμπουν κοντά στις σκοτεινές γραμμές της σκόνης. Το γαλαξιακό κρουστικό μέτωπο αποτελεί μηχανισμό εμπλουτισμού της κεντρικής γαλαξιακής περιοχής σε αέριο. Το αέριο έχει απώλεια ταχύτητας περιφοράς του Γαλαξία λόγω κάθετης κίνησης στον δίσκο. Αν η τροχιά του

συρρικνωθεί αρκετά, μπορεί να παρατηρηθεί εισροή του αερίου στην γαλαξιακή ράβδο. Πρόκειται για τον πιο αποτελεσματικό μηχανισμό εμπλουτισμού σε αέριο της κεντρικής γαλαξιακής περιοχής. Ακόμη, το γαλαξιακό κρουστικό μέτωπο συμπιέζει και τα μαγνητικά πεδία, που είναι δεσμευμένα στην μεσοαστρική ύλη.

Η περιστροφή των γαλαξιών

Οι καμπύλες περιστροφής των γαλαξιών παρατηρούνται από τις εκπομπές στο οπτικό (H α) και στην γραμμή H I των 21 cm. Η κατανομή του ατομικού Υδρογόνου μας δείχνει μια ελάττωση προς την κεντρική περιοχή, ως ακτίνα μερικά Kpc, λόγω της σταθερής καμπύλης περιστροφής. Στην κεντρική περιοχή η σκόνη και η μεγάλη λαμπρότητα αποτελούν εμπόδια για μετρήσεις στο ορατό φως. Επίσης η κλίση ενός γαλαξία προς εμάς είναι σημαντική για την μέτρηση της καμπύλης περιστροφής. Για μετρήσεις στην κεντρική περιοχή χρησιμοποιούμε την εκπομπή του CO (για το μοριακό αέριο). Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε την ταχεία περιστροφή του δίσκου σε έναν γαλαξιακό πυρήνα.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η αρκετά ευθύγραμμη καμπύλη περιστροφής, αρχικά για το μοριακό αέριο (κίτρινο) και μετά για το ατομικό (μπλε). Αν η ύλη ενός γαλαξία ήταν μόνο η βαρυονική (δεν υπήρχε σκοτεινή ύλη), η καμπύλη περιστροφής θα ήταν η διακεκομμένη στην εικόνα (βαθμιαία ελάττωση της ταχύτητας περιστροφής)



Η καμπύλη περιστροφής ενός γαλαξία καθορίζεται από την ισορροπία ανάμεσα στην μάζα και την φυγόκεντρο. Έτσι αυτή η καμπύλη δείχνει την διασπορά της γαλαξιακής μάζας. Μετά την αρχική κλιμάκωση, η καμπύλη παραμένει σταθερή για μεγάλη γαλαξιοκεντρική απόσταση. Από την παρατηρούμενη ελάττωση της ύλης με την γαλαξιοκεντρική απόσταση στο ορατό φως (αστέρια και νεφελώματα) αλλά και στα ραδιοκύματα (ατομικό Υδρογόνο) συμπεραίνουμε ότι η σταθερότητα της καμπύλης στις εξωτερικές γαλαξιακές περιοχές οφείλεται στην σκοτεινή ύλη. Η σκοτεινή ύλη μπορεί να εξηγήσει παρόμοιες ασυμφωνίες ανάμεσα στην ύλη που

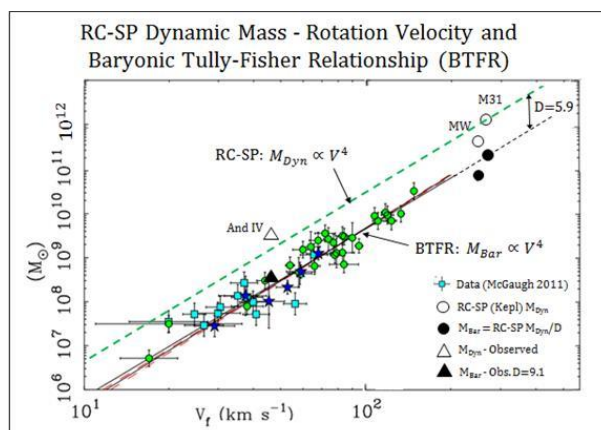
παρατηρούμε σε γαλαξιακά σμήνη και την ύλη που απαιτείται για την βαρυτική συνοχή τους.

Με την βοήθεια της καμπύλης περιστροφής χωρίζουμε τον Γαλαξία μας σε 4 μέρη.

1) Το κέντρο του Γαλαξία, με 5 εκατομμύρια ηλιακές μάζες και ακτίνα 120 pc. Ταυτίζεται με την κλιμάκωση της καμπύλης περιστροφής. 2) Η γαλαξιακή κοιλιά με 10 δις ηλιακές μάζες και ακτίνα 750 pc. 3) Ο δίσκος με 160 δις ηλιακές μάζες και ακτίνα 6 Kpc, με πάχος 0,5 Kpc. 4) Η άλως (ορατή και σκοτεινή) με 300 δις ηλιακές μάζες και ακτίνα 15 Kpc. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια χονδρική ταύτιση με την ανατομία του Γαλαξία μας που προκύπτει από διαφορετικές μεθόδους. Η μάζα του γαλαξιακού κέντρου είναι σημαντική για την ανάπτυξη της γαλαξιακής κοιλιάς. Ένα θεωρητικό μοντέλο προβλέπει ότι η επίπεδη καμπύλη του δίσκου (ομαλή κατανομή της μάζας) οφείλεται στην ιξώδης συστολή (viscous contraction) ενός πρωτογαλαξιακού δίσκου με συνεχόμενη αστρογέννηση. Το χρονοδιάγραμμα του ιξώδους (της συστολής) ταυτίζεται χονδρικά με τον ρυθμό αστρογέννησης. Με αυτή την παραδοχή εξηγείται η σταθερότητα του γαλαξιακού δίσκου, αλλά δεν μπορεί να εξηγηθεί η μεγάλη συσσώρευση μάζας στο γαλαξιακό κέντρο. Θα πρέπει αρχικά η συστολή- κατάρρευση μάζας στην κεντρική περιοχή να ήταν μεγαλύτερης κλίμακας από τον ρυθμό αστρογέννησης.

Η σχέση HI Tully- Fisher

Υπάρχει μια σχέση της ταχύτητας περιστροφής και της γαλαξιακής μάζας, άρα και της λαμπρότητας. Αυτή η σχέση μας βοηθάει να εκτιμήσουμε αποστάσεις με τη χρήση της εκπομπής του HI στα 21 cm. Μετρώντας την ταχύτητα περιστροφής, που αντιστοιχεί σε ορισμένη μάζα (λαμπρότητα), μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση από την φαινόμενη λαμπρότητα ενός γαλαξία. Η εκπομπή του CO συμπληρώνει την μέτρηση της περιστροφής των γαλαξιών για τις εσωτερικές περιοχές τους. Επίσης η εκπομπή του μονοξειδίου του Άνθρακα προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια από την γραμμή του ατομικού Υδρογόνου στα 21 εκατοστά. Έτσι είναι πιο κατάλληλη για τους γαλαξίες που είναι πιο μακριά από μερικές εκατοντάδες Mpc.



ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΓΑΛΑΞΙΑ ΜΑΣ

Από την κεντρική περιοχή του Γαλαξία μας μπορούμε να διακρίνουμε δομές στα ραδιοκύματα. Αυτές αντιστοιχούν σε έναν λεπτό δίσκο που παρουσιάζει έντονη αστρογέννηση, κάθετες δομές που είναι κυρίως μη θερμικής εκπομπής και συνδέονται με μαγνητικά πεδία, και το γαλαξιακό κέντρο που είναι γνωστό ως ραδιοπηγή Sgr A.

Η εκπομπή στα ραδιοκύματα είναι μια σύνθεση θερμικής (free-free ή αλλιώς bremsstrahlung) και μη (σύγχροτρον) εκπομπής. Διαφέρουν στα χαρακτηριστικά του φάσματος. Συνήθως οι θερμικές πηγές έχουν πιο <επίπεδο> φάσμα, αλλά στην κεντρική περιοχή του Γαλαξία όλες οι πηγές παρουσιάζουν <επίπεδο> φάσμα. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και στους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (AGN, active galactic nuclei). Ένας πιο άμεσος τρόπος να διακρίνουμε την ακτινοβολία σύγχροτρον είναι η μέτρηση της γραμμικής πολικότητας. Η μεγάλη πολικότητα (50% για την κεντρική γαλαξιακή περιοχή) σημαίνει ότι το μαγνητικό πεδίο είναι σε σχεδόν τέλεια διάταξη, που αποτελεί μηχανισμό εκπομπής ακτινοβολίας σύγχροτρον.

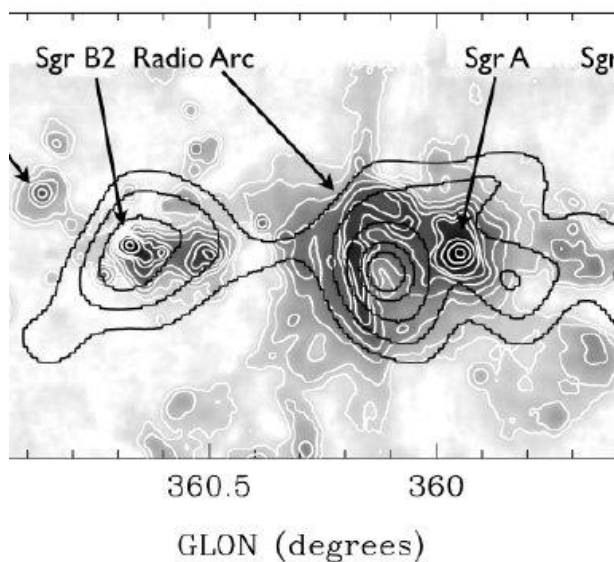
Η ραδιοπηγή Sgr A είναι η πιο ισχυρή από όλες. Οι υπόλοιπες ραδιοπηγές κοντά στο γαλαξιακό επίπεδο είναι θερμικές όπως οι περιοχές ιονισμένου Υδρογόνου (HII) και μη θερμικές όπως τα νεφελώματα των σουπερνόβα. Ο κεντρικός δίσκος έχει πάχος 50 pc και ακτίνα 200 pc. Περιέχει πολλά συμπυκνώματα που αποτελούν περιοχές εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας. Οι περισσότερες είναι ενεργές περιοχές αστρογέννησης και περιοχές ιονισμένου Υδρογόνου (είδαμε ότι αυτές οι περιοχές διαφορετικής κατάστασης του Υδρογόνου συνδέονται). Μερικές από τις περιοχές HII είναι οι Sgr B, C, D, E. Η συνολική μάζα του HII στον κεντρικό δίσκο είναι 2 εκατομμύρια ηλιακές μάζες. Ο ρυθμός αστρογέννησης της περιοχής, με έκταση μόλις μερικές εκατοντάδες pc, αναλογεί στο 10% της συνολικής αστρογέννησης του Γαλαξία. Οι περιοχές ιονισμένου Υδρογόνου έχουν γύρω τους διαστελλόμενα κελύφη μοριακού Υδρογόνου.

Λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης μοριακού αερίου σε μόλις μερικές εκατοντάδες pc στην κεντρική γαλαξιακή περιοχή, η αποτελεσματικότητα αστρογέννησης (πόσο αποτελεσματικά καταναλώνεται το αέριο για την δημιουργία αστεριών) είναι μικρότερη της κανονικής, παρά την αυξημένη αστρογέννηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το αέριο συσσωρεύτηκε πρόσφατα (σε γαλαξιακό χρόνο), με αποτέλεσμα να μην πρόλαβαν να σχηματιστούν τα ανάλογα αστέρια. Οι παρατηρήσεις της γραμμής εκπομπής του CO δείχνουν διασπορά του μοριακού αερίου σε όλη την κεντρική περιοχή, με μεγάλη συγκέντρωση στα λίγα εκατοντάδες εσωτερικά pc. Η αυξημένη αστρογέννηση συνδέεται με την συγκέντρωση του μοριακού Υδρογόνου. Η διασπορά της έντασης της εκπομπής στο ράδιο - συνεχές και των γραμμών εκπομπής του μοριακού Υδρογόνου στην κεντρική περιοχή, κοντά

στο γαλαξιακό επίπεδο, παρουσιάζουν συσχέτιση. Επίσης παρουσιάζουν ασυμμετρία ως προς το γαλαξιακό κέντρο.

Η πηγή εκπομπής ραδιοκυμάτων Sgr B

Περιέχει συμπαγείς περιοχές ιονισμένου Υδρογόνου με ισχυρή θερμική εκπομπή (γραμμές επανασύνδεσης). Η θέση και η ταχύτητα της Sgr B2 ταυτίζεται με ένα πυκνό μοριακό νέφος. Παρατηρούμε απορρόφηση της εκπομπής ραδιοκυμάτων από το μόριο του νερού, που σημαίνει ότι το μοριακό νέφος βρίσκεται μπροστά από την πηγή (στην γραμμή θέασης). Μάλλον η αστρογέννηση στην Sgr B2 συμβαίνει στην πίσω πλευρά του μοριακού νέφους σχετικά με την γραμμή θέασης. Το μοριακό νέφος αποτελεί τμήμα μιας μεγαλύτερης δομής (σύμπλεγμα) μοριακού αερίου (Sgr B2 molecular complex). Η μάζα του συμπλέγματος είναι 1,5 εκατομμύρια ηλιακές. Η θερμική πηγή Sgr B1 είναι κοντά στην Sgr B2. Η πρώτη συνδέεται με μια δομή βρόγχου μοριακού Υδρογόνου, ένα μοριακό κέλυφος γύρω από την Sgr B1. Το κέλυφος αυτό διαστέλλεται και έχει διαστάσεις 30 X 40 pc. Βάση της ταχύτητας διαστολής του εκτιμάται η ηλικία του στο 1 εκατομμύριο έτη. Εκείνη την εποχή η Sgr B1 ήταν πιο ενεργή από σήμερα. Η μάζα του κελύφους είναι στα 2 εκατομμύρια ηλιακές. Τέτοια κελύφη ή δακτύλιοι σχηματίζονται από τους αστρικούς ανέμους και τις εκρήξεις σουπερνόβα στις πολύ ενεργές περιοχές αστρογέννησης. Δημιουργούν μια κοιλότητα στο μοριακό νέφος και επιταχύνουν την ύλη γύρω από τις περιοχές αστρογέννησης. Μάλλον τα κελύφη εξελίσσονται σε δακτυλίους.

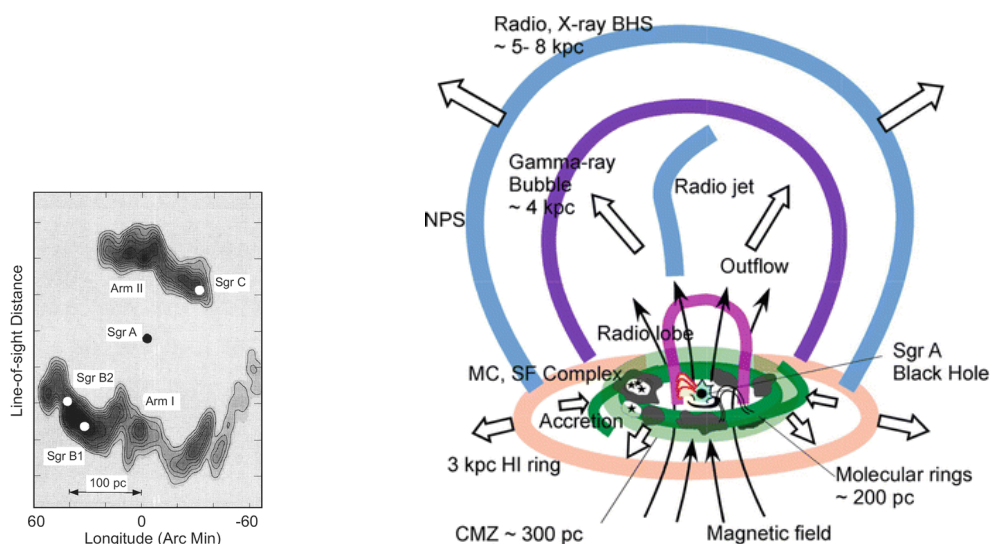


Η πηγή Sgr C

Αυτό το μοριακό σύμπλεγμα εκτείνεται για 35 pc κατά μήκος αλλά και κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο. Συνδέεται με μια ακόμη δομή μοριακού Υδρογόνου.

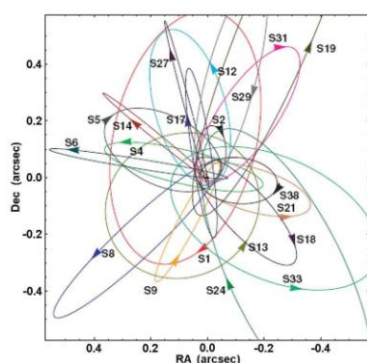
Ο μοριακός δακτύλιος

Χωρίζεται σε 2 βραχίονες (Arm I, II). Έχουν συνολική μάζα 30 εκατομμύρια ηλιακές, σχεδόν ίσα μοιρασμένη. Σχηματίζουν έναν δακτύλιο με μήκος μεγάλου άξονα (διάμετρο) 240 pc και ακτίνα 120 pc.



Η κεντρική μαύρη τρύπα- ραδιοπηγή Sgr A

Η κεντρική ραδιοπηγή της περιοχής Sgr A δεν μπορεί να αναλυθεί χωρικά. Αυτό το γεγονός και η μικρή περίοδος μεταβλητότητας της πηγής μας δείχνουν ότι πρόκειται για ένα υπέρπυκνο αντικείμενο με μέγεθος μικρότερο από 1 δις χιλιόμετρα (η περίοδος μεταβολής μιας πηγής επί την ταχύτητα του φωτός μας δίνει το μέγεθός της). Από τις γωνιακές ταχύτητες των πολύ κοντινών της αστεριών και του ιονισμένου αερίου στην πηγή Sgr A μετράμε την μάζα της (3,6 εκατομμύρια ηλιακές μάζες). Η καμπύλη τροχιάς της περιοχής μας δείχνει ότι η μάζα δεν ελαττώνεται στον πυρήνα (όπως θα έπρεπε λόγω ελάττωσης του όγκου, η μάζα σε ακτίνα 0 θα έπρεπε να είναι 0), κάτι που μπορεί να εξηγηθεί μόνο με την ύπαρξη μιας μοναδικότητας (μαύρης τρύπας). Τα αστέρια σε τροχιά γύρω από την μαύρη τρύπα έχουν μεγάλες ταχύτητες, ως 1500 km/s, και πολύ ελλειπτικές τροχιές. Πλησιάζουν την μαύρη τρύπα ως τις 400 αστρονομικές μονάδες.



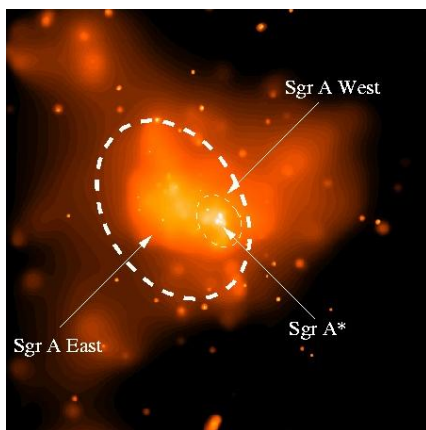
Αστέρια σε τροχιά γύρω από την κεντρική μαύρη τρύπα

Κεντρικές μαύρες τρύπες σε άλλους γαλαξίες

Γενικά κάθε γαλαξίας έχει μια υπερμεγέθη μαύρη τρύπα στο κέντρο του. Στον γαλαξία NGC 4258 η μάζα της κεντρικής μαύρης τρύπας είναι στα 40 εκατομμύρια ηλιακές, βάση των ταχυτήτων των αστεριών που είναι σε τροχιά γύρω της.

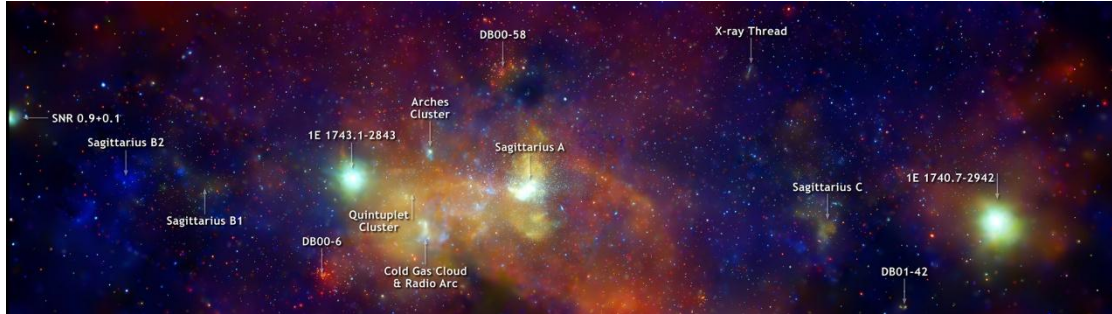
Η δραστηριότητα κοντά στην κεντρική μαύρη τρύπα του Γαλαξία μας

Ο γαλαξιακός πυρήνας έχει γύρω του αέριο κατανεμημένο σε 3 σπείρες με βραχίονες, μεγέθους 3 pc. Αυτές παρουσιάζουν θερμική εκπομπή στα ραδιοκύματα. Οι σπείρες ταυτίζονται με τον οβάλ σχήματος δίσκο μοριακού αερίου ακτίνας 3 pc. Όλη αυτή η περιοχή ονομάζεται Sgr A West. Στο ανατολικό άκρο αυτών των σπειρών υπάρχει η δομή Sgr A East, ένα κέλυφος που εκπέμπει στο συνεχές στα ραδιοκύματα. Το <απότομο> (steep) φάσμα του, που δείχνει μη θερμική εκπομπή, παραπέμπει σε νεφέλωμα σουπερνόβα.



Από την Sgr A εκτείνονται νήματα προς τα βόρεια, σχηματίζοντας μια γέφυρα ανάμεσα στην Sgr A και την δομή της αψίδας ραδιοκυμάτων (Radio arc). Στα νήματα κυριαρχούν οι φασματικές γραμμές επανασύνδεσης του Υδρογόνου και το μοριακό Υδρογόνο. Τα νήματα αυτά ονομάζονται θερμικά νήματα της αψίδας (thermal arched filaments). Κατά μήκος τους αναπτύσσεται ένα μαγνητικό πεδίο. Έτσι υποθέτουμε ότι η γέφυρα είναι μια μαγνητική-ιονισμένη δομή που συνδέει την αψίδα με την Sgr A. Το αέριο παρουσιάζει ροή προς το κέντρο και συσσωρεύεται στον μοριακό δακτύλιο του πυρήνα. Η γέφυρα βρίσκεται σε δυναμική αλληλεπίδραση με την αψίδα. Η αψίδα εκπέμπει στο συνεχές στα ραδιοκύματα και αναλύεται σε πολλά νήματα. Αυτά εκτείνονται κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο για 100 pc. Το μέσο της αψίδας παρουσιάζει μεγάλη πολικότητα (μαγνητικό πεδίο με μεγάλη κανονικότητα). Οι μαγνητικές γραμμές αναπτύσσονται παράλληλα με την γέφυρα, δηλαδή κάθετα με το γαλαξιακό επίπεδο.

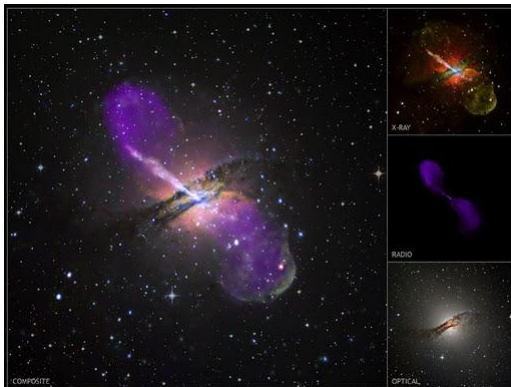
Ο κεντρικός βρόγχος ραδιοεκπομπής (GCL, galactic center lobe) είναι μια δομή με 2 κορυφές και με διάμετρο 200 pc που αναπτύσσεται κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο. Οι 2 κορυφές δείχνουν μια κυλινδρική δομή. Πρόκειται για αέριο από έκρηξη στην περιοχή του γαλαξιακού πυρήνα, που δημιούργησε ένα διαστελλόμενο κέλυφος, ή αέριο που επιταχύνθηκε από το μαγνητικό πεδίο, κατά την συσσώρευση αερίου στον δίσκο του πυρήνα.



Οι μαγνητικές γραμμές αναπτύσσονται από το κέντρο του Γαλαξία κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο. Διαστρεβλώνονται λόγω της γαλαξιακής περιστροφής.

Αστρογέννηση στην κεντρική περιοχή του Γαλαξία

Η κύρια δομή κίνησης (spur) αερίου στα ραδιοκύματα είναι η north polar spur (NPS), που απεικονίζει έναν βρόγχο (loop). Αυτός ο βρόγχος παρατηρείται και στις ακτίνες Χ. Η μεγαλύτερη διπολική δομή κελύφους που εκπέμπει από το κέντρο του Γαλαξία προήλθε από ένα ή περισσότερα τοπικά γεγονότα. Μια ξαφνική απελευθέρωση ενέργειας στο γαλαξιακό κέντρο, όπως μια έκρηξη ή έντονη αστρογέννηση, έγινε η αιτία της κάθετης εκτίναξης αερίου που σαρώνει με κρουστικά μέτωπα την γαλαξιακή άλω. Τα κρουστικά μέτωπα διαστέλλονται σφαιρικά στην αρχική φάση, αλλά διαστέλλονται με μεγαλύτερη ταχύτητα κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο, όπου η πίεση και η μάζα του αερίου είναι μικρότερη. Το κρουστικό μέτωπο απέκτησε διπολικό σχήμα Ω, κάθετα στον δίσκο. Το μέτωπο απέκτησε μεγάλη θερμοκρασία και μεγάλη συμπίεση από τα μαγνητικά πεδία, με αποτέλεσμα να εκπέμπει ακτινοβολία σύγχροτρον στα ραδιοκύματα και στις μαλακές ακτίνες Χ.



Γαλαξίες αστρογέννησης

Με το όρο αστρογέννηση εννοούμε την μαζική δημιουργία αστεριών (starburst), με ρυθμό πολύ μεγαλύτερο, 1000 φορές από τον συνήθη σε έναν γαλαξία, και σε μικρό χρονικό διάστημα (100.000 έτη). Στις περιοχές αστρογέννησης παρατηρούμε ομάδες (associations) αστεριών OB, περιοχές HII και τεράστια μοριακά νέφη. Ακόμα και σφαιρωτά σμήνη μπορούν να δημιουργηθούν σε αυτές τις περιοχές.

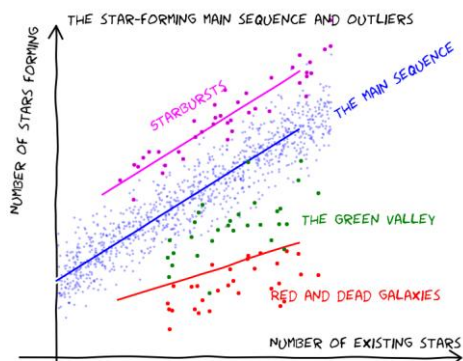
Η ισχυρή εκπομπή στις υπεριώδεις από τα αστέρια μεγάλης μάζας ιονίζει το κοντινό αέριο, με αποτέλεσμα να εκπέμπει θερμική ακτινοβολία <πέδησης> (bremsstrahlung). Η ισχυρή εκπομπή υπεριώδους ακτινοβολίας επίσης θερμαίνει την σκόνη. Αυτή εκπέμπει στο μακρινό υπέρυθρο με ακτινοβολία μελανού σώματος. Οι περιοχές αστρογέννησης αποτελούν τις περιοχές με την πιο ισχυρή ακτινοβολία στο μακρινό υπέρυθρο.

Τα αστέρια μεγάλης μάζας προμηθεύουν με κινητική και θερμική ενέργεια τον μεσοαστρικό χώρο μέσω των μεγάλης ταχύτητας ανέμων τους. Οι εκρήξεις σουπερνόβα επίσης προμηθεύουν με ενέργεια τον μεσοαστρικό χώρο, μέσω της κοσμικής ακτινοβολίας και τα κρουστικά μέτωπα που αναπτύσσουν. Η αλληλεπίδραση των νεφελωμάτων σουπερνόβα με την μεσοαστρική ύλη έχει ως συνέπεια την εκπομπή διάχυτης μη θερμικής ακτινοβολίας σύγχροτρον από τα ηλεκτρόνια της κοσμικής ακτινοβολίας. Το μεσοαστρικό αέριο που θερμάνθηκε από τις παραπάνω διεργασίες εκπέμπει διάχυτη ακτινοβολία στο ορατό, στο υπεριώδες και στις ακτίνες Χ (ανάλογα την θερμοκρασία του). Η θερμική και η κινητική ενέργεια, άρα η πίεση που αναπτύσσεται, μπορεί να είναι τόσο ισχυρή ώστε να εκδιώξει το αέριο από τον γαλαξιακό δίσκο. Αυτό το παρατηρούμε ως εκροή αερίου κάθετα στον γαλαξιακό δίσκο.

Το φάσμα ενός γαλαξία αστρογέννησης, όπως ο M82, απεικονίζει την φάση αστρογέννησης που αυτός διανύει. Ο M82 εκπέμπει 100 φορές πιο ισχυρά στο μακρινό υπέρυθρο από τον Γαλαξία μας, στο κεντρικό 1 Kpc του. Αυτή είναι και η διαφορά στον ρυθμό αστρογέννησης των 2 γαλαξιών. Ο M82 έχει μεγαλύτερη αναλογία μάζας αερίου/ αστεριών από τον Γαλαξία μας (συσσώρευσε αέριο μέσω αλληλεπίδρασης από άλλον γαλαξία), έτσι υπήρχε η <καύσιμη ύλη> για εκρηκτική αστρογέννηση.

Οι γαλαξίες αστρογέννησης παρουσιάζουν μεγάλη λαμπρότητα σε όλα τα μήκη κύματος, αλλά και υψηλή αναλογία σήματος/ θορύβου. Έτσι μπορούν να παρατηρηθούν πιο εύκολα από άλλους γαλαξίες. Συνήθως έχουν ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως εκτίναξη ύλης. Οι πιο κοντινοί μας είναι οι M82, NGC253. Σε αυτούς μελετάμε μεγέθη όπως ο ρυθμός αστρογέννησης (SFR, star formation rate) και η συνιστώσα αρχικής αστρικής μάζας (IMF, initial mass function). Δυναμικά φαινόμενα όπως η κίνηση των αερίων, οι στροβιλισμοί και τα κρουστικά

μέτωπα απεικονίζονται στα ραδιοκύματα αλλά και στο οπτικό φως, μέσω της εκπομπής του CO. Η φάση της εκρηκτικής αστρογέννησης είναι σημαντική για την εξέλιξη ενός γαλαξία. Δεν είναι σαφές αν πρόκειται για μια μοναδική ή επαναλαμβανόμενη φάση γαλαξιακής εξέλιξης. Καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την χημική εξέλιξη ενός γαλαξία, την αναλογία αερίου/ αστεριών και την διάρκεια της κυριαρχίας του γαλαξιακού δίσκου.



Στην κύρια ακολουθία (Main Sequence) βρίσκεται ο Γαλαξίας μας

O M82

Ο M82 είναι ένας γαλαξίας που τον βλέπουμε στην κόψη (edge-on). Ανήκει στην ομάδα γαλαξιών του M81, του οποίου είναι και συνοδός. Χαρακτηρίστηκε ως ανώμαλος γαλαξίας (Irregular type II). Η ιδιαίτερη μορφολογία του παρουσιάζει πολλές νηματοειδείς δομές που εκτείνονται από τον γαλαξιακό δίσκο. Περιέχει πολύ σκόνη πάνω από το γαλαξιακό επίπεδο. Το ατομικό αέριο εκτείνεται γύρω από τον γαλαξία (άλως), ως αποτέλεσμα της βαρυτικής αλληλεπίδρασης με τον M81. Υπάρχει μια γέφυρα ατομικού Υδρογόνου που ενώνει τους 2 γαλαξίες. Επίσης παρατηρούμε ατομικό Υδρογόνο στην κεντρική περιοχή του (σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στον Γαλαξία μας). Στις ακτίνες Χ απεικονίζεται το μεγάλης θερμοκρασίας (10 εκατομμύρια K) αέριο στην κεντρική περιοχής του, που εκτείνεται κάθετα ως την άλω του. Υπάρχει ένας μηχανισμός θέρμανσης του αερίου στην κεντρική περιοχή. Έχουμε ανακαλύψει εκεί πολλά νεαρά νεφελώματα σουπερνόβα, που δείχνουν συχνότητα 1 σουπερνόβα κάθε λίγα έτη. Πρόκειται για φαινόμενα που συμβαίνουν και στον Γαλαξία μας, αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα από ότι στον M82. Το CO μας δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά ταχυτήτων του μοριακού αερίου στην κεντρική περιοχή του M82, λόγω της μεγάλης δυναμικής της περιοχής. Παρατηρούμε μια εκτεταμένη άλω από μοριακό Υδρογόνο κατά μήκος του μικρού γαλαξιακού άξονα, που συνδέεται με εκροή αερίου από τον γαλαξία.

Στο μεσαίο και μακρινό υπέρυθρο παρατηρούμε την διασπορά αστεριών μικρής επιφανειακής θερμοκρασίας όπως οι υπεργίγαντες με περιαστρικά κελύφη μόλις 500- 800K. Φαίνεται το κεντρικό αστρικό σμήνος να συμπίπτει χωρικά με την

κεντρική περιοχή στον εσωτερικό δακτύλιο αερίου των 200 pc, όπου το μοριακό αέριο είναι πιο αραιό. Το ίδιο συμπέρασμα βγαίνει και από την εκπομπή της σκόνης. Το ατομικό Υδρογόνο στον M82 επίσης σχηματίζει έναν δακτύλιο. Να τονίσουμε ότι η αναλογία μοριακού/ ατομικού Υδρογόνου στην κεντρική περιοχή του M82 είναι 50- 50, αντίθετα με τους <κανονικούς> γαλαξίες, όπου το ατομικό αέριο σχεδόν είναι ανύπαρκτο στις κεντρικές περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι η κεντρική περιοχή του γαλαξία συσώρευσε με μεγάλη ένταση ατομικό αέριο από εξωτερικές περιοχές.

Στα ραδιοκύματα η εκπομπή του M82 έχει 2 συστατικά. Η ακτινοβολία σύγχροτρον μέσω του ισχυρού μαγνητικού πεδίου και η κοσμικές ακτίνες αποτελούν την κύρια πηγή, και η θερμική ακτινοβολία από το ιονισμένο αέριο την δευτερεύουσα. Υπάρχουν και πολλές διακριτές πηγές μικρής διαμέτρου, που αναλογούν σε νεαρά νεφελώματα σουπερνόβα. Στις ακτίνες X η εκπομπή είναι ευθυγραμμισμένη κατά μήκος του μικρού άξονα του γαλαξία, και προέρχεται από την κεντρική περιοχή του δακτυλίου των 200 pc. Η κεντρική περιοχή του M82 θερμαίνει το αέριο, μέσω των εκρήξεων σουπερνόβα, με αποτέλεσμα την εκπομπή ακτίνων X.

Παρόμοια φαινόμενα παρατηρούμε και στον NGC 253.



Ο γαλαξίας M82

Οι 2 βασικές δομές μοριακού Υδρογόνου στην κεντρική περιοχή του M82 είναι ο δακτύλιος των 200pc και η κυλινδρική άλως εκροής αερίου μεγάλης ταχύτητας. Η μάζα του κυλίνδρου είναι 50 εκατομμύρια ηλιακές και η ακτίνα του 300 pc, ενώ το πάχος του είναι 200 pc. Εκτείνεται κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο σε ύψος 1 Kpc. Το αέριο εκρέει μέσω του δακτυλίου με ταχύτητα 300 km/s. Η ενέργειά του οφείλεται στις εκρήξεις σουπερνόβα του δακτυλίου. Στον κύλινδρο παρασύρονται και μοριακά νέφη, με αποτέλεσμα να παρατηρούμε σε αυτόν σκοτεινές γραμμές σκόνης.

Η εκροή αερίου που παρατηρούμε στον M82 (και στον NGC 253) εξηγείται καλά με το θεωρητικό μοντέλο διπολικού κελύφους και αστρικού αερίου. Ένα ισχυρό κρουστικό μέτωπο από τις εκρήξεις σουπερνόβα σαρώνει την μεσοαστρική ύλη και

την άλω. Το κρουστικό μέτωπο εκτείνεται πολύ πιο γρήγορα κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο από ότι κατά μήκος του, διεισδύοντας στην άλω. Το πυκνό αέριο του δίσκου επιβραδύνει την οριζόντια επέκτασή του. Έτσι παίρνει το γνωστό από τον Γαλαξία μας σχήμα Ω. Επίσης αποτελεί πηγή εκπομπής ακτινών Χ. Ο ψυχρός μοριακός δακτύλιος πρέπει να είχε μικρότερο χρόνο ψύξης από το χρονοδιάγραμμα εισροής του αερίου (εκτιμάται στα 10 εκατομμύρια έτη), ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί.

Τα μαγνητικά πεδία

Από την κεντρική περιοχή του Γαλαξία εκτείνεται ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, κάθετα στο γαλαξιακό επίπεδο. Υπερισχύει του Γαλαξιακού μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται κατά μήκος του δίσκου. Η συσσώρευση αερίου από τον δίσκο συστρέφει το κάθετο μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο, σε συνδυασμό με τους αστρικούς ανέμους και τις εκρήξεις σουπερνόβα, αποτελούν τους μηχανισμούς επιτάχυνσης αερίου προς την άλω, όπως η κυλινδρική δομή που παρατηρούμε στον M82.

Η γαλαξιακή ράβδος

Οι παλιρροϊκές δυνάμεις δημιουργούν μια ράβδο στην κεντρική περιοχή ενός γαλαξία. Στον M82, 10 εκατομμύρια έτη μετά το κοντινό του πέρασμα από τον M81, δημιουργήθηκε η ράβδος του. Αιτία είναι μια απότομη ροή αερίου προς το εσωτερικό του, που δεν μπορούσε να συγκρατήσει ο γαλαξιακός δίσκος.

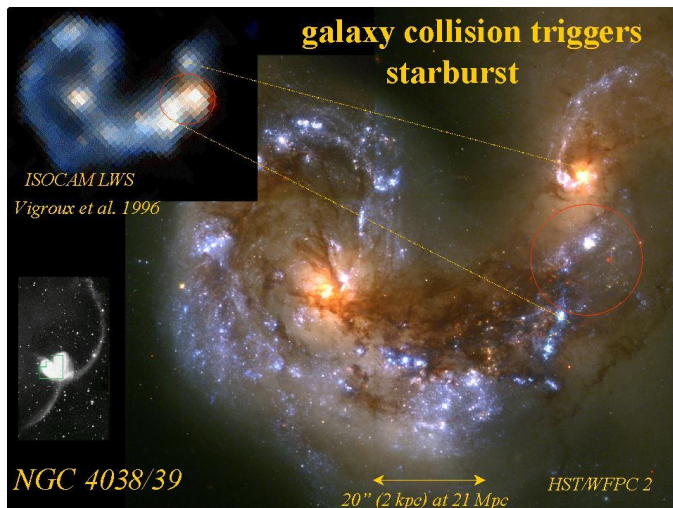
Αυξημένος ρυθμός αστρογέννησης

Ο ρυθμός αστρογέννησης στον M82 ήταν πολύ μεγάλος. Αυτό είχε ως συνέπεια την δημιουργία πολλών αστεριών μεγάλης μάζας, άρα μεγάλης έντασης ακτινοβολία στο ορατό και στο υπεριώδες. Η σκόνη των μοριακών νεφελωμάτων την απορρόφησε σε μεγάλο βαθμό και ακολούθησε εκπομπή της σκόνης στο υπέρυθρο. Οι εκρήξεις σουπερνόβα και οι ισχυροί αστρικοί άνεμοι εμπλούτισαν την μεσοαστρική ύλη με κινητική και θερμική ενέργεια. Δημιουργήθηκε σημαντική ποσότητα ιονισμένου Υδρογόνου. Η πίεση του αερίου αυξήθηκε, μέσω της θέρμανσης, με αποτέλεσμα την συμπίεσή της στον δίσκο των 200 pc και την εκροή αερίου από τον δίσκο. Η συμπίεση μέσω κρουστικών μετώπων αύξησε την πυκνότητα και τις συγκρούσεις των νεφελωμάτων. Αυτό έδωσε νέα ώθηση στην αστρογέννηση (αύξησε τον ρυθμό της). Αυτή η αλυσιδωτή αντίδραση αστρογέννησης, ή εκρηκτική αστρογέννηση (starburst) διαρκεί μέχρι να εξαντληθεί το αέριο στα μοριακά νεφελώματα μέσω της αστρογέννησης ή να απομακρυνθεί το αέριο μέσω των μηχανισμών που αναφέραμε.

Τα βήματα της εκρηκτικής αστρογέννησης είναι

- 1) Η σύγκρουση ή μεγάλη προσέγγιση 2 γαλαξιών επιφέρει παλιρροϊκές διαταραχές. Η ισχύ τους είναι ανάλογη της μάζας και της γωνίας της σύγκρουσης. Αν έχουν την ίδια φορά περιστροφής οι παλιρροϊακές δυνάμεις είναι ισχυρότερες .
- 2) Οι παλιρροϊκές διαταραχές έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ράβδου εσωτερικά του γαλαξιακού δίσκου.
- 3) Η ράβδος δημιουργεί ένα ισχυρό κρουστικό μέτωπο στο αέριο, που σημαίνει ταχεία συσσώρευση αερίου προς το κέντρο του γαλαξία. Δημιουργείται μια πυκνή σε αέριο κεντρική περιοχή στον γαλαξία. Σε συνδυασμό με το ισχυρό κάθετο μαγνητικό πεδίο η συσσώρευση αερίου πυροδοτεί μια εκροή ψυχρού αερίου προς τον δίσκο, κατά μήκος των συστρεφόμενων μαγνητικών πεδίων.
- 4) Η αύξηση της πυκνότητας του αερίου και ο στροβιλισμός στην κεντρική περιοχή έχουν ως αποτέλεσμα την απότομη αύξηση του ρυθμού αστρογέννησης.
- 5) Η υπεριώδης και οπτική ακτινοβολία των νεαρών αστεριών απορροφάται από την σκόνη, που εκπέμπει στο υπέρυθρο.
- 6) Οι αστρικοί άνεμοι των αστεριών μεγάλης μάζας και οι εκρήξεις σουπερνόβα διεγείρουν την μεσοαστρική ύλη αυξάνοντας την θερμοκρασία και τον στροβιλισμό της. Η κεντρική περιοχή με το πυκνό αέριο διαστέλλεται και δημιουργείται ένας δίσκος, που συμπυκνώνεται μέσω των κρουστικών μετώπων.
- 7) Η συμπύκνωση του δακτυλίου αυξάνει τον ρυθμό αστρογέννησης. Σε μια αλυσιδωτή αντίδραση επαναλαμβάνονται τα στάδια 4- 6.
- 8) Όταν αυξηθεί αρκετά η πίεση του αερίου, το άνω μέρος του δίσκου διαφεύγει κάθετα. Σχηματίζεται μια ευθυγραμμισμένη εκροή αερίου μεγάλης θερμοκρασίας. Γύρω από την εκροή υπάρχει ένας κύλινδρος μοριακού αερίου, που επιταχύνεται από την συστροφή των μαγνητικών γραμμών.
- 9) Μέσω της εκροής και της διαστολής του δακτυλίου το αέριο της κεντρικής περιοχής εξαντλείται. Η πυκνότητα του αερίου ελαττώνεται και ο ρυθμός αστρογέννησης μειώνεται. Η φάση εκρηκτικής αστρογέννησης στην κεντρική περιοχή έλαβε τέλος.
- 10) Αν ο γαλαξίας δεν έχει στην διαγαλαξιακή περιοχή του αέριο προς συσσώρευση ή δεν δέχεται παλιρροϊακές διαταραχές (φάσεις 1- 3) η εκρηκτική αστρογέννηση συμβαίνει μόνο μια φορά (Impulse Starburst, ISB).
- 11) Αντίθετα, αν οι συνθήκες το επιτρέπουν, οι φάσεις 1 και 2 επαναλαμβάνονται (Recurrent Starburst, RB).
- 12) Μπορεί να συμβεί και ένας πιο σύντομος κύκλος εκρηκτικής αστρογέννησης, αν η βαρύτητα της κεντρικής περιοχής μπορεί να αναγκάσει το αέριο που εκρέει να ξαναπέσει στο εσωτερικό του, όπως μάλλον συμβαίνει στον

Γαλαξία μας. Αυτός είναι ένας άλλος τύπος επαναλαμβανόμενης εκρηκτικής αστρογέννησης (RB). Τελικά το αέριο θα εξαντληθεί στην αστρογέννηση.



Τα Μαγγελανικά νέφη

Τα 2 Μαγγελανικά νέφη, μαζί με τον Γαλαξία μας, αποτελούν ένα δυναμικό σύστημα βαρυτικής αλληλεπίδρασης. Τα 2 Μαγγελανικά νέφη είχαν μια στενή προσέγγιση πριν από 100 εκατομμύρια έτη. Οι παλιρροϊκές δυνάμεις δημιούργησαν μια ράβδο στο μεγάλο Μαγγελανικό νέφος, που απεικονίζεται στις παρατηρήσεις του ατομικού Υδρογόνου. Επίσης, τα πολλά μπλε (νεαρά) σφαιρωτά σμήνη που παρατηρούμε σε αυτό, σημαίνουν ότι σημειώθηκε ένα επεισόδιο εκρηκτικής αστρογέννησης εκείνη την εποχή. Υπάρχει και σήμερα δραστηριότητα αστρογέννησης, όπως στο σύμπλεγμα 30 Dor. Τα 2 Μαγγελανικά νέφη έχουν αρκετό αέριο, και περικλείονται από ένα κέλυφος ατομικού αερίου.



ΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Το μέγιστο της πολικότητας που μπορεί να φτάσει μια περιοχή με ένα ιδανικά ευθυγραμμισμένο μαγνητικό πεδίο, είναι 70%. Όμως τα μεσοαστρικά μαγνητικά πεδία δεν έχουν τόσο καλή ευθυγράμμιση, αλλά είναι περισσότερο περιπλεγμένα και τυχαία. Επίσης, η γαλαξιακή εκπομπή στα ραδιοκύματα ανακατεύεται με θερμική εκπομπή. Οι πηγές εκπομπής στα ραδιοκύματα αποτελούν ένα μείγμα πηγών εκπομπής ακτινοβολίας σύγχροτρον και θερμικής εκπομπής του αερίου. Έτσι η πολικότητα περιορίζεται σε μερικά μόλις ποσοστά. Στην γαλαξιακή κεντρική περιοχή, όπου το φάσμα στα ραδιοκύματα είναι <επίπεδο> (flat), η μέγιστη δυνατή πολικότητα είναι μικρότερη (54%). Η αψίδα παρουσιάζει πολικότητα 50%, που δείχνει ότι το μαγνητικό πεδίο της είναι σχεδόν τέλεια ευθυγραμμισμένο.

Μια άλλη μορφή πολικότητας παρατηρούμε στο υπέρυθρο από την εκπομπή της σκόνης. Οι κόκκοι σκόνης ευθυγραμμίζονται σε μεγάλο βαθμό με το μαγνητικό πεδίο.

Ο μεσοαστρικός χώρος στην γειτονιά του ηλίου (ακτίνα μερικές εκατοντάδες πάρσεκ) περιέχει ατομικό και ουδέτερο αέριο, καθώς και ιονισμένο πλάσμα. Το ουδέτερο αέριο ανιχνεύεται από το μονοξείδιο του Άνθρακα. Τα μοριακά νέφη παρατηρούνται με εκπομπή στο υπέρυθρο από τη σκόνη τους, αλλά και την εξάλειψη του ορατού φωτός (σκοτεινές περιοχές). Το καυτό πλάσμα παρατηρείται ως διάχυτη ακτινοβολία υποβάθρου στις ακτίνες Χ. Η ακτινοβολία σύγχροτρον της τοπικής περιοχής είναι πολύ αδύναμη σε σχέση με την εκπομπή από τον γαλαξιακό δίσκο. Έτσι είναι δύσκολη η παρατήρηση της πολικότητας. Πιο εύκολα μετράμε την πολικότητα που οφείλεται στην σκέδαση του φωτός από την σκόνη, κάθετα στις μαγνητικές γραμμές, και την πολικότητα στο υπέρυθρο. Σε άλλους γαλαξίες μετράμε τα μαγνητικά πεδία με την βοήθεια της περιστροφής τους.

Η αψίδα του Αετού

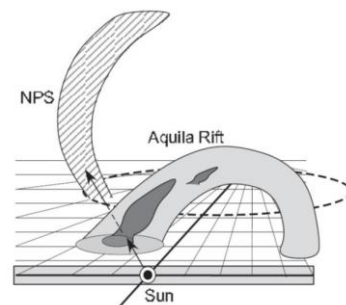
Το πιο έντονο μαγνητικό φαινόμενο της μεσοαστρικής ύλης στην γειτονιά του ηλίου παρατηρείται στην περιοχή ρήγμα του Αετού (Aquila Rift). Το ρήγμα του Αετού είναι μια σκοτεινή γραμμή που χωρίζει την γαλαξιακή οδό με την μεγάλη εξάλειψη του φωτός που παρουσιάζει. Σχηματίζει ένα τρίγωνο, και αποτελείται από μια πιο εκτεταμένη δομή αψίδας ατομικού Υδρογόνου, την αψίδα του Αετού, και <νήματα> σκόνης. Η αψίδα σχετίζεται με μαγνητικά πεδία που είναι ευθυγραμμισμένα κατά μήκος του ρήγματος. Αυτό το παρατηρούμε από την πολικότητα του ορατού φωτός και της πολωμένης εκπομπής της σκόνης στο υπέρυθρο. Η μάζα του ατομικού Υδρογόνου της αψίδας υπολογίζεται στις 180.000 ηλιακές. Μια περιοχή της συμπίπτει φαινομενικά με το βόρειο πολικό πέταλο, αλλά δεν σχετίζονται οι 2 δομές, μιας και το πέταλο ανήκει στην κεντρική περιοχή του Γαλαξία. Η πολικότητα

της εκπομπής της σκόνης και του ορατού φωτός μας δείχνει ότι το μαγνητικό πεδίο εκτείνεται παράλληλα με την αψίδα.

Η αστάθεια Parker (σελ. 12) αποτελεί τον μηχανισμό ανάπτυξης της Αψίδας του Αετού. Η μαγνητική ενέργεια της αψίδας είναι συγκρίσιμη με την συνολική βαρυτική και κινητική ενέργεια του ατομικού και μοριακού αερίου της. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχει ισορροπία πίεσης ανάμεσα στις κοσμικές ακτίνες και το μαγνητικό πεδίο, η πίεση θα είναι αρκετά ισχυρή ώστε να <ανασηκώσει> το αέριο (ενάντια στην βαρύτητα). Έτσι ικανοποιείται το κριτήριο της αστάθειας Parker. Οι προσομοιώσεις δείχνουν ότι η αστάθεια μπορεί να αναπτυχθεί με συμμετρικά ή ασύμμετρα κύματα, στο γαλαξιακό επίπεδο.

Το πιο πιθανό σενάριο δημιουργίας του ρήγματος του Αετού είναι

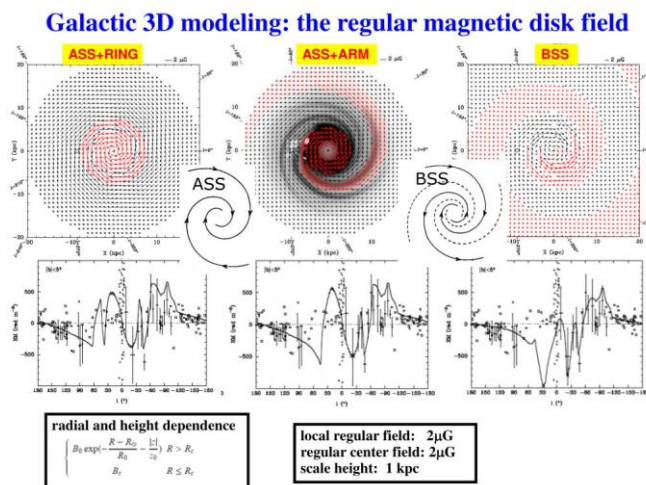
- 1) Στον εσωτερικό γαλαξιακό δίσκο διείσδυσε ένα μαγνητικό πεδίο ευθυγραμμισμένο κάθετα προς την τροχιά του ηλίου γύρω από το κέντρο του Γαλαξία. Ο δίσκος συμπίεστηκε από ένα γαλαξιακό κρουστικό μέτωπο με αποτέλεσμα να ενισχυθεί η πυκνότητα και το μαγνητικό πεδίο.
- 2) Εμφανίστηκε η αστάθεια Parker κατά μήκος του συμπιεσμένου και υψηλής πυκνότητας βραχίονα. Το αέριο επιταχύνθηκε από ένα διαστελλόμενο μαγνητικό κανάλι σε ύψος 500 pc.
- 3) Το ατομικό Υδρογόνο που επιταχύνθηκε κινήθηκε κατά μήκος των μαγνητικών γραμμών προς την περιοχή του Αετού. Το αέριο συμπίεστηκε από την δυναμική πίεση της πτωτικής προς τον δίσκο κίνησης (λόγω της βαρύτητας), σχηματίζοντας την δομή της αψίδας κατά μήκος των μαγνητικών γραμμών.
- 4) Το αέριο με την μεγαλύτερη συμπίεση, σε φάση μετάβασης από ατομικό Υδρογόνο σε μοριακό, σχημάτισε το μοριακό σύμπλεγμα Αετού- Όφη.
- 5) Το μοριακό σύμπλεγμα και η αψίδα ατομικού Υδρογόνου διαχωρίζονται μέσω μιας λεπτής περιοχής μετάβασης από ατομικό σε μοριακό Υδρογόνο.



Μαγνητικά πεδία σε γαλαξιακούς δίσκους

Ο πιο αντιπροσωπευτικός γαλαξίας με μαγνητικό πεδίο δακτυλίου, δηλαδή συμμετρίας στον άξονα (ring field, ASS axisymmetric) είναι ο γαλαξίας της Ανδρομέδας. Αντίθετα, ο M51 αποτελεί δείγμα γαλαξία με διμετρικό (Bisymmetric spiral, BSS) μαγνητικό πεδίο.

Σε πολλούς γαλαξίες παρατηρούμε και κάθετα στον δίσκο μαγνητικά πεδία. Απεικονίζονται πολλές φορές από τις κάθετες δομές σκόνης, που ακολουθούν τις μαγνητικές αυτές γραμμές. Επίσης οι κεντρικές περιοχές σε πολλούς σπειροειδείς γαλαξίες εμφανίζουν κάθετες στο επίπεδο δομές, που αναπτύσσουν μαγνητικά πεδία.



Μαγνητικά πεδία στην γαλαξιακή άλω

Υπάρχουν λίγες σχετικές παρατηρήσεις. Στον γαλαξία NGC 4631, που παρατηρούμε στην κόψη του, ανιχνεύουμε ραδιοεκπομπή που δείχνει μια εκτεταμένη μη θερμική άλω. Όμως σε πολλούς γαλαξίες δεν παρατηρούμε ανάλογη εκπομπή.

Η προέλευση των μαγνητικών πεδίων

Ο μηχανισμός του δυναμό, που ενεργοποιείται από τον στροβιλισμό και την διαφορική περιστροφή του αερίου ενός γαλαξιακού δίσκου, δημιουργεί αρχικά ασθενή μαγνητικά πεδία. Ένα μαγνητικό πεδίο παραμένει <παγωμένο> στο μεσοαστρικό αέριο. Επικρατούν διάφοροι τύποι δυναμό (Parker Dynamo, MRI Dynamo, Turbulent Dynamo).

Μεσογαλαξιακά μαγνητικά πεδία και κοσμικός μαγνητισμός

Τα σμήνη γαλαξιών αποτελούνται από 1000- 10.000 γαλαξίες. Γύρω τους υπάρχει καυτό πλάσμα 10 εκατομμυρίων K. Η συνολική μάζα ενός σμήνους, συμπεριλαμβανομένης της σκοτεινής ύλης, είναι 1- 10 τρις ηλιακές. Είναι πολύ εκτεταμένες, διάχυτες δομές. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Kpc ως 1 Mpc. Μπορούμε να εκτιμήσουμε την ισχύ ενός μαγνητικού πεδίου γαλαξιακού σμήνους μέσω της μη θερμικής ακτινοβολίας σύγχροτρον (με την παραδοχή της ισορροπίας ανάμεσα στην μαγνητική ενέργεια και την ενέργεια της κοσμικής ακτινοβολίας). Επίσης, χρησιμοποιούμε την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας στις ακτίνες X, από το καυτό πλάσμα.

Σε κοσμική κλίμακα, δεν είναι γνωστό αν το σύμπαν ως σύνολο είναι μαγνητισμένο, και αν υπάρχει συμπαντικό μαγνητικό πεδίο, κατά πόσο αυτό επηρεάζει την εξέλιξη του σύμπαντος.

