

Η δημιουργία των αστερών – Νεφελώματα

Τα βασικά ερωτήματα για την αστρογέννηση είναι
.Πότε και πόσα αστέρια γεννούνται σε έναν γαλαξία?
.Σε ποιες γαλαξιακές περιοχές γεννιούνται τα αστέρια?
.Ποια είναι η διαδικασία της αστρογέννησης?

Το χρονοδιάγραμμα.

Ο χρόνος ζωής ενός αστέρα έχει να κάνει με το μέγεθός του. Οι μεγάλοι ζουν λίγα εκ. χρόνια, λόγω γρήγορης καύσης του υδρογόνου και σχετικά μεγάλου πυρήνα, ενώ οι μικροί πολλά δις. χρόνια.

Η αστρογέννηση άρχισε από τα πρώτα στάδια του σύμπαντος και συνεχίζεται ακόμα. Σήμερα στον Γαλαξία μας γεννιέται ένα αστέρι τον χρόνο, κατά μέσο όρο. Στο νεαρό σύμπαν είχαμε τη γέννηση περισσότερων από 1000 αστερών σε ανάλογο χώρο.

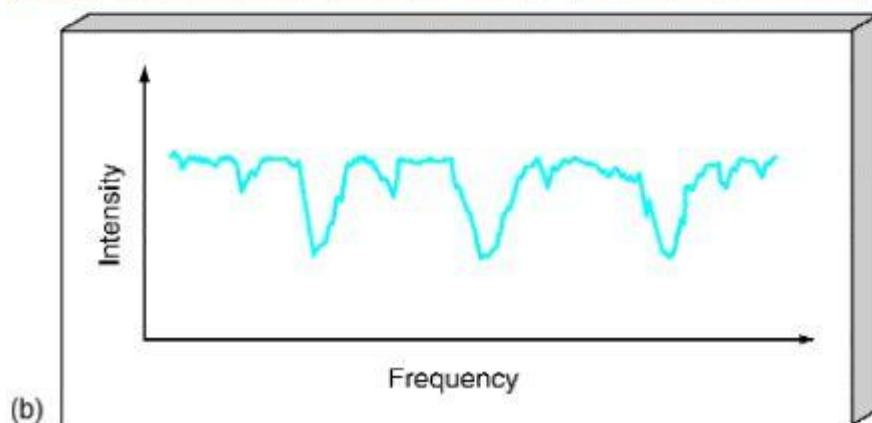
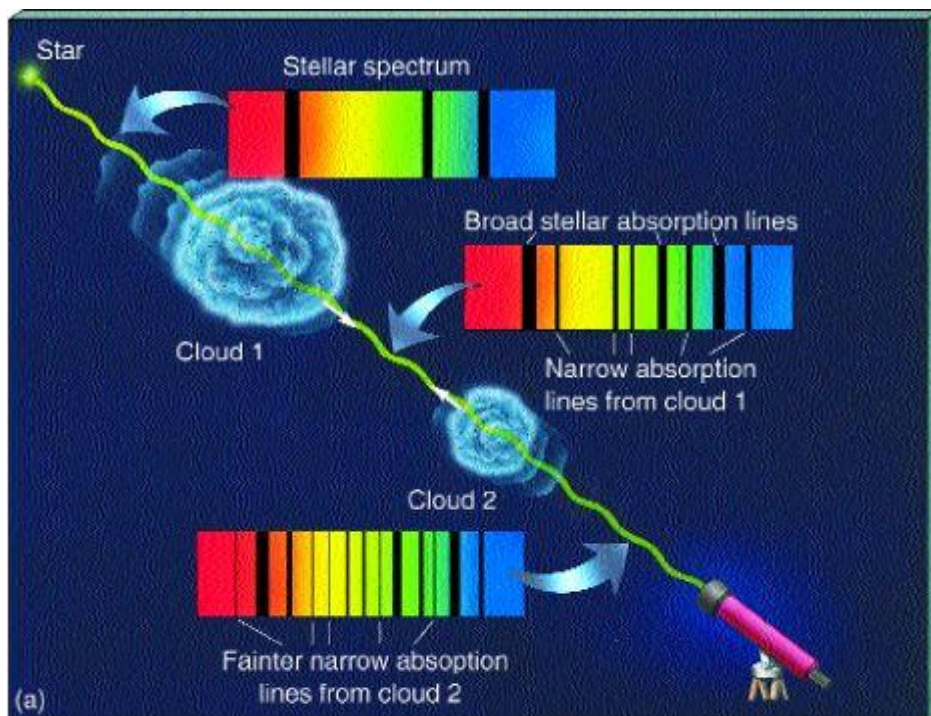
Οι τόποι αστρογέννησης

Στους νεαρούς γαλαξίες η ύλη συγκεντρωνόταν στο γαλαξιακό τους επίπεδο με αποτέλεσμα την δημιουργία νεφελωμάτων. Σε αυτά είχαμε έντονη αστρογέννηση, στα πυκνά κέντρα τους. Αργότερα κάποια αστέρια μετανάστευσαν σε μεγαλύτερα γαλαξιακά πλάτη. Μόνο τα πολύ παλαιά σφαιρωτά σμήνη πρέπει να δημιουργήθηκαν σε αυτές τις περιφερειακές περιοχές, σε νέφη μεγάλης μάζας, πριν οι γαλαξίες εξελιχτούν σε πεπλατυσμένους δίσκους. Τα πιο νεαρά αντικείμενα βρίσκονται σήμερα στις σπείρες των γαλαξιών. Τα αστέρια γεννιούνται κατά κανόνα σε σμήνη.

Μεσοαστρική ύλη

Παρατηρούμε σε πολλές κατευθύνσεις στο σύμπαν φασματικές γραμμές που δεν αντιστοιχούν στα αστέρια που παρατηρούμε, αλλά σε ψυχρό αέριο ανάμεσα σε εμάς και αυτά. Για παράδειγμα, οι γραμμές μπορεί να είναι υπερβολικά στενές, κάτι που παραπέμπει σε πολύ λιγότερο πυκνό και ψυχρό αέριο από ότι στα αστέρια. Στις αστρικές ατμόσφαιρες, η περισσότερο τυχαία κίνηση των ατόμων ή ιόντων σημαίνει ότι κάποια κινούνται προς και κάποια μακριά από τον παρατηρητή όταν απορροφούν φωτόνια, άρα έχουμε μετατόπιση στο ερυθρό και στο κυανό σχετικά με την θέση της γραμμής. Επίσης έχουμε την πυκνότητα να δημιουργεί την πλάτυνση πίεσης των γραμμών.

Έχει παρατηρηθεί χαρακτηριστική απόσβεση του αστρικού φωτός σε πολλές κατευθύνσεις, που οφείλεται στους κόκκους σκόνης με τάξη μεγέθους όμοια με αυτό του ορατού μήκος κύματος. Η απόσβεση του φωτός γίνεται με την απορρόφηση (επανα-εκπομπή στο υπέρυθρο) και με την σκέδαση. Η σκέδαση εκτρέπει τα φωτόνια σε όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα να φτάνουν στον παρατηρητή λιγότερα. Η εξάλειψη του φωτός είναι ο συνδυασμός της απορρόφησης με την σκέδαση. Το αποτέλεσμα είναι τα άστρα να φαίνονται πιο αμυδρά και πιο κόκκινα.



Η επίδραση της μεσοαστρικής ύλης.

Θα αναλύσουμε τα φαινόμενα της απορρόφησης, εκπομπής και σκέδασης του φωτός σε ένα αέριο. Ένα αέριο εκπέμπει πολύ λίγο το φως και έτσι μας απασχολεί μόνο η απορρόφηση και η σκέδαση. Τα άτομα απορροφούν (photo excitation, διέγερση) και εκπέμπουν (photoemission). Τα άτομα μπορούν επίσης να διεγερθούν μέσω συγκρούσεων λόγω της τυχαίας θερμικής κίνησής τους (collision excitation). Η πιο εμφανείς γραμμές από άτομα στην μεσοαστρική ύλη είναι οι H,K του ιονισμένου ασβεστίου. Αν και αυτές οι γραμμές είναι πολύ εμφανείς στις ατμόσφαιρες των άστρων, έχουν άλλες ιδιότητες εκεί. Στα μεσοαστρικά νέφη εμφανίζονται πιο στενές, και αν και είναι πιο ισχνές από τις αστρικές, φαίνονται από την μετατόπιση Ντόπλερ στα μήκη κύματός τους λόγω της διαφοράς της περιστροφικής ταχύτητας ενός αστεριού με αυτήν του μεσοαστρικού νέφους. Αυτό το βλέπουμε καλά σε φασματοσκοπικούς διπλούς αστέρες, όπου οι μεσοαστρικές γραμμές παραμένουν σταθερές σε ένα μήκος κύματος, ενώ οι αστρικές κινούνται λόγω της περιφοράς των άστρων γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας.

Η διαδικασία της φωτο-διέγερσης, της φωτο-εκπομπής και της διέγερσης μέσω συγκρούσεων συμβαίνουν και στα μόρια, που είναι σε αφθονία στα μεσοαστρικά νέφη. Στα μόρια τα ηλεκτρόνια μοιράζονται ανάμεσα στα άτομα (σαν νέφος ηλεκτρονίων γύρω από τους πυρήνες). Τα ηλεκτρόνια

στα μόρια καταλαμβάνουν ενεργειακά επίπεδα όπως στα άτομα. Η μετάβαση των ηλεκτρονίων οδηγεί σε διέγερση, από-διέγερση και ιονισμό του μορίου. Τα μόρια έχουν επίσης διακριτή ενέργεια δόνησης και περιστροφής που μπορούν να δώσουν αντίστοιχες μεταβάσεις. Τα επίπεδα ενέργειας δόνησης ανταποκρίνονται σε σωματιδιακές δια-πυρηνικές αποστάσεις. Όταν η απόσταση των πυρήνων αυξηθεί τόσο ώστε τα άτομα να μην συνδέονται πια, έχουμε την διάσπαση του μορίου. Ένα μόριο μπορεί να περιστρέφεται σε διαφορετικούς άξονες που ανταποκρίνονται σε διαφορετικά επίπεδα περιστροφικής ενέργειας. Σε μοριακό επίπεδο, όπως η ενέργεια του ηλεκτρονίου, η δόνηση και η περιστροφή είναι κβαντωμένες.

Το μόριο του CO αποτελεί μια απλή περίπτωση. Το μόριο αυτό παραμένει στην χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων, εκτός αν εκτεθεί σε φωτόνια με ενέργεια τουλάχιστον του κοντινού υπεριώδους, ή θερμοκρασία άνω των 100.000 βαθμών. Τέτοια όρια υπάρχουν για πολλά άτομα και μόρια, και σε μερικά άτομα και μόρια τα όρια είναι πιο στενά. Το χαμηλότερο επίπεδο δόνησης είναι όταν το μόριο είναι στην χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση ηλεκτρονίων. Η μετάβαση δόνησης του CO έχει πολύ μικρότερα περιθώρια ανάμεσα στα ενεργειακά επίπεδα από ότι η μετάβαση ηλεκτρονίων. Έτσι η μετάβαση αυτή πετυχαίνεται στο υπέρυθρο και σε θερμοκρασία 100 βαθμούς K. Το χαμηλότερο επίπεδο περιστροφής είναι όταν το μόριο βρίσκεται στο χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο κατάστασης ηλεκτρονίων και δόνησης. Η μετάβαση περιστροφής έχει πολύ μικρότερα περιθώρια, άρα πετυχαίνεται στα μικροκύματα και με θερμοκρασία 10 K. Άλλα μόρια έχουν μεγαλύτερα ή και μικρότερα περιθώρια ανάμεσα στις ενεργειακές καταστάσεις. Μια μετάβαση από χαμηλότερο σε υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμούς ενεργειακής μετάβασης ηλεκτρονίων, δόνησης και περιστροφής.

Δεν είναι το ίδιο πιθανές όλες οι μεταβάσεις που σχετίζονται με διέγερση ή εκπομπή, με αποτέλεσμα κάποιες γραμμές απορρόφησης και εκπομπής να είναι πολύ πιο ασθενείς από άλλες και κάποιες να απουσιάζουν εντελώς. Τα μόρια που αποτελούνται από 2 ίδια άτομα (H₂) έχουν ασθενείς γραμμές δόνησης και περιστροφής.

Η επίδραση της μεσοαστρικής σκόνης.

Στα άτομα και μόρια που αποτελούν τις επιφάνειες των κόκκων σκόνης συμβαίνει διέγερση από απορρόφηση φωτονίων και διέγερση από συγκρούσεις με άτομα/μόρια. Αρκετή από αυτή την ενέργεια κατανέμεται στον κόκκο αυξάνοντας την θερμοκρασία του μέχρι η θερμική ακτινοβολία από τον κόκκο να ισορροπήσει την ενέργεια που απορρόφησε. Μια εναλλακτική περίπτωση είναι το εισερχόμενο φωτόνιο να σκεδαστεί, κάτι που είναι πολύ συχνό σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Η τυπική διάμετρος ενός κόκκου είναι τόση, ώστε να σκεδάζει τα μικρά μήκη κύματος πιο αποτελεσματικά. Αυτό σημαίνει ότι σκεδάζει το μπλε φως πιο αποτελεσματικά από το κόκκινο, κάνοντας κάτι που είναι πίσω από το νέφος σκόνης να φαίνεται πιο κόκκινο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται μεσοαστρική ερυθροποίηση. Αν το νέφος παρατηρείται εκτός γραμμής θέασης προς ένα αστέρι, τότε το νέφος σκόνης μπορεί να εμφανίζεται ως μπλε λάμψη από το σκεδασμένο φως. Οι συνδυασμένες επιδράσεις από την απορρόφηση και την σκέδαση (εξάλειψη) μειώνουν πολύ το ορατό φως και τις υπεριώδεις. Τα χαρακτηριστικά στα φάσματα εμφανίζονται πολύ πλατιά, δυσκολεύοντας τον καθορισμό της σύνθεσης της σκόνης. Η εκπομπή από την σκόνη δεν μας δίνει περισσότερες πληροφορίες, αφού πρόκειται για πλατιά θερμική εκπομπή, που εξαρτάται από την θερμοκρασία και το μέγεθος των κόκκων και μόνο μερικώς από την σύνθεσή τους. Στους 20 K η εκπομπή της σκόνης είναι στο μακρινό υπέρυθρο και στα μικροκύματα.

Είδαμε ότι η απορρόφηση του αστρικού φωτός από την μεσοαστρική σκόνη μπορεί να εμφανίζει τα αστέρια λιγότερο λαμπρά από ότι είναι και να μας κάνει να υπερεκτιμήσουμε την απόστασή τους ή να υποτιμήσουμε την λαμπρότητά τους. Από την άλλη, η μεσοαστρική ερυθροποίηση τα εμφανίζει πιο

κόκκινα, με αποτέλεσμα να υποτιμάμε την θερμοκρασία τους. Οι παρατηρήσεις στο υπέρυθρο επηρεάζονται πολύ λιγότερο από τα παραπάνω φαινόμενα, μιας και η επίδραση είναι ανάλογη με το μήκος κύματος, αποτελώντας έτσι ένα σημαντικό εργαλείο παρατήρησης.

Χρησιμοποιώντας αστέρια για την παρατήρηση της μεσοαστρικής ύλης.

.Η παρουσία συγκεκριμένων μεσοαστρικών ατόμων ή μορίων μπορεί να καθοριστεί από την αναγνώριση φασματικών γραμμών ή ζωνών. Οι φασματικές ζώνες είναι χαρακτηριστικά με μεγάλο πλάτος που δημιουργούνται από πολλές κολλητές φασματικές γραμμές.

.Η θερμοκρασία του αερίου μπορεί να καθοριστεί από τις σχετικές ισχύς των διαφορετικών φασματικών γραμμών ή ζωνών που παράγονται σε διαφορετικό επίπεδο ενέργειας του ίδιου ατόμου ή μορίου.

.Η μετατόπιση Ντόπλερ των φασματικών γραμμών του μεσοαστρικού αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να καθορίσουμε την γωνιακή ταχύτητα ενός μεσοαστρικού νέφους κατά την γραμμή θέασης του αστέρα.

.Η ποσότητα της σκόνης κατά την γραμμή θέασης μπορεί να καθοριστεί από την ερυθροποίηση, αν είναι γνωστό το πραγματικό χρώμα του αστέρα.

Η γενική εικόνα της μεσοαστρικής ύλης.

.Οι αφθονίες των χημικών στοιχείων δεν διαφέρουν με αυτές στο ηλιακό μας σύστημα (92% υδρογόνο, 7,8% ήλιο, 0,2% βαρύτερα στοιχεία), και η αναλογία ενός στοιχείου σε ιόντα, άτομα ή να είναι δεσμευμένο σε μόρια σκόνης, ποικίλλει ανάλογα τις τοπικές συνθήκες.

.Η σκόνη αποτελεί το 1% της μάζας, με μικρούς κόκκους (10στη-7 με 10στη-6 μέτρα διάμετρο) που αποτελούνται(σε μεγάλο βαθμό) από τα πολύ πτητικά στοιχεία άνθρακα και πυρίτιο. Στις πιο ψυχρές περιοχές των μεσοαστρικών νεφών, στοιχεία και μόρια με μεγαλύτερη πτητικότητα σχηματίζουν πάγους. Έτσι, ενώ το αέριο κυριαρχείται πάντα από υδρογόνο και ήλιο, οι κόκκοι σκόνης έχουν ποικίλλες συνθέσεις.

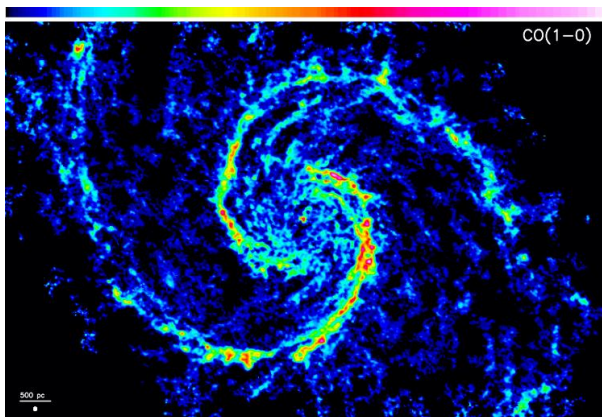
.Η μεσοαστρική ύλη είναι αρκετά ανομοιογενής.

Η θερμοκρασία και η αριθμητική (number) πυκνότητα αποτελούν δυο σημαντικές παραμέτρους του αερίου, που έχουν μεγάλο εύρος τιμών στην μεσοαστρική ύλη. Η ποσοτική πυκνότητα είναι ο αριθμός σωματιδίων προς τον όγκο. Τα άτομα μπορεί να είναι ουδέτερα, ιονισμένα ή ενωμένα σε μόρια ή σκόνη. Λόγω της κυριαρχίας του υδρογόνου, εκτιμούμε την πυκνότητα του αερίου σε άτομα υδρογόνου στο κυβικό μέτρο. Όμως ακόμα και αν αγνοήσουμε όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, η αριθμητική πυκνότητα του υδρογόνου στο τετραγωνικό μέτρο μεταβάλλεται. Αν το υδρογόνο είναι μοριακό, η αριθμητική πυκνότητα των σωματιδίων (μόρια) μειώνεται στο μισό. Μόνο αν είναι ιονισμένο το υδρογόνο, η αριθμητική πυκνότητα ισούται με την πυκνότητα σε άτομα. Επειδή τα άτομα υδρογόνου είναι το κύριο συστατικό της μεσοαστρικής ύλης, οι παραπάνω αλλαγές επηρεάζουν σε μικρή κλίμακα την αριθμητική πυκνότητα. Το εύρος πυκνοτήτων είναι τεράστιο, από 100/m³ ως 10στη17m³, που πάλι είναι μια πολύ μικρή πυκνότητα). Επίσης τεράστιο είναι το εύρος θερμοκρασιών, από τους 10K ως τα μερικά εκατομμύρια K. Οι πυκνότητες και οι θερμοκρασίες δεν έχουν όμως ίση κατανομή στην μεσοαστρική ύλη. Η ύλη ανάμεσα στα νέφη αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της μεσοαστρικής. Η θερμή και αραιή αυτή ύλη σχηματίζει ένα πέπλο μικρής πυκνότητας, εκτεταμένο και οπτικά διαπερατό, όπου είναι εμβαπτισμένα τα άλλα είδη περιοχών. Η καυτή μεσοαστρική ύλη είναι πολύ εκτεταμένη. Η μικρή της πυκνότητα και ο μεγάλος ιονισμός της δεν τις επιτρέπουν περαιτέρω εξάπλωση. Δεν λάμπει, επειδή το υδρογόνο έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο, άρα δεν

υπάρχουν ηλεκτρόνια που να είναι δεσμευμένα σε στάθμες ώστε να μπορούν να αλλάξουν ενεργειακή στάθμη, όπως θα συνέβαινε σε ένα ιονισμένο νέφος υπό την επίδραση αστρικού φωτός. Το καυτό μεσονεφελικό αέριο αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από πλήρως ιονισμένο υδρογόνο, και η μικρή του πυκνότητα σημαίνει ότι σε κάθε περίπτωση υπάρχει μόνο ελάχιστη ύλη να εκπέμψει ακτινοβολία. Η μικρή πυκνότητα σημαίνει και μεγάλη διαπερατότητα (ελάχιστες πιθανότητες σύγκρουσης ή απορρόφησης), με αποτέλεσμα να μην επισκοτίζει τίποτα πίσω της. Έτσι η θερμή μεσονεφελική ύλη δεν είναι πολύ φανερή.

Τα άλλα είδη περιοχών ύλης είναι πιο ανιχνεύσιμα, συχνά σε πολλά μήκη κύματος. Αυτά τα είδη μπορούν να χωριστούν σε αυτά που σχετίζονται με αστέρια στο τέλος της ζωής τους (πλανητικά νεφελώματα, υπολείμματα σ. νοβα) και τα υπόλοιπα (διάχυτα και πυκνά νέφη (HII)).

Τα διάχυτα νέφη είναι ψυχρές περιοχές με τέτοια πυκνότητα, ώστε τα αστέρια να φαίνονται μέσα από αυτά στο οπτικό, άρα δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι. Το υδρογόνο υπάρχει σε μοριακό και ατομικό, όπως και αρκετά άλλα απλά μόρια. Το ατομικό υδρογόνο ανιχνεύεται από την γραμμή των 21 εκατοστών. Το μοριακό υδρογόνο δεν ανιχνεύεται άμεσα, αλλά το μόριο του μονοξειδίου του άνθρακα, που συνήθως εμφανίζεται με το (H₂), εκπέμπει στα μικροκύματα. Η αναλογία του (CO) με το (H₂) ποικίλλει από γαλαξία σε γαλαξία, ανάλογα τις τοπικές συνθήκες (π.χ. ρυθμός αστρογέννησης). Επίσης, η σκόνη των διάχυτων νεφών μπορεί να ανιχνευτεί στο υπέρυθρο.



Τα πυκνά νέφη είναι ψυχρότερα από τα διάχυτα, και το χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι πυκνότερα. Εκτός αν είναι πολύ λεπτό στην γραμμή θέασής μας, ένα πυκνό νέφος είναι αδιαπέραστο στο ορατό και υπεριώδες, λόγω της εξάλειψης από την σκόνη. Έτσι σκιάζει τα αστέρια πίσω του, και ονομάζεται σκοτεινό νέφος. Το αέριο στα πυκνά νέφη αποτελείται κυρίως από μόρια. Εκτός του (H₂) υπάρχει μια ποικιλία μορίων. Η εξάλειψη στο υπέρυθρο είναι πολύ λιγότερη, έτσι ανιχνεύουμε στα μικροκύματα (HCN), (OH), (CS), (CO). Κάθε νέφος όπου το υδρογόνο είναι κυρίως μοριακό ονομάζεται μοριακό. Όλα τα πυκνά νέφη είναι μοριακά, όπως και μερικά διάχυτα. Τα πυκνά νέφη μπορεί να βρίσκονται μέσα σε διάχυτα, με τις ακόμα πιο πυκνές περιοχές να ονομάζονται πυρήνες και συμπυκνώματα, με μάζες 0,3 ως 1000 ηλιακές.

Τα μεγαλύτερα από αυτά τα νέφη ονομάζονται γιγάντια μοριακά νέφη (Giant molecular clouds, GMC). Οι διαστάσεις τους φτάνουν τα 100 pc και οι μάζες τους το 1 εκ. ηλιακές. Παρουσιάζουν δομές με συμπυκνώσεις. Τα νέφη αυτά είναι τεράστια, και παρόλη την χαμηλή τους πυκνότητα περιέχουν πολύ ύλη. Αποτελούν σχεδόν την μισή μεσοαστρική μάζα. Σε αυτά υπάρχουν οι συνθήκες αστρογέννησης.

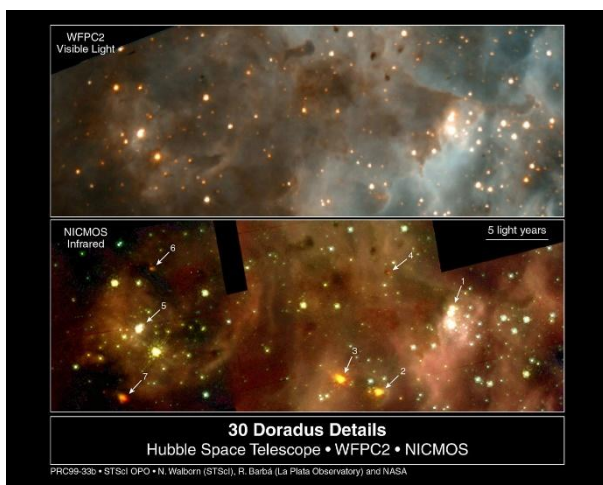
Giant Molecular Cloud



Περιοχή ιονισμένου υδρογόνου (HII region) ονομάζεται αυτή, στην οποία ένα ή περισσότερα αστέρια O,B δημιουργούν μια περιοχή μικρής πυκνότητας σε ένα πυκνό νέφος με την UV ακτινοβολία τους. Τα μεγάλα αστέρια ιονίζουν το υδρογόνο στα νέφη κοντά τους. Το καυτό ιονισμένο υδρογόνο έχει μεγαλύτερη πίεση από το ψυχρό ουδέτερο νέφος, με αποτέλεσμα να εξαπλώνεται σε αυτό, σχηματίζοντας την περιοχή ιονισμένου αερίου. Σε πολλές περιπτώσεις, η περιοχή (HII)τρυπάει την επιφάνεια του ψυχρού πυκνού νέφους, και γίνεται ορατή. Δεν είναι όλο το αέριο ταυτόχρονα ιονισμένο σε ένα τέτοιο νέφος, με αποτέλεσμα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και πρωτόνια να σχηματίζουν άτομα υδρογόνου (επανασύνδεση). Το ηλεκτρόνιο συνήθως βρίσκεται σε ανώτερο ενεργειακό επίπεδο και μεταβαίνει στο κατώτερο, εκπέμποντας ένα φωτόνιο. Για παράδειγμα, αν από το επίπεδο $n=3$ κατεβεί στο $n=2$ εκπέμπει στα 656,3 nm, στο ερυθρό. Έτσι γίνονται ορατά τα ιονισμένα νέφη.

Νεφέλωμα 30 Doradus (Tarantula nebular).

Αυτό το νεφέλωμα περιέχει πολύ νεαρά αστέρια, που δεν φαίνονται στο ορατό φως, αλλά στο υπέρυθρο. Αυτό συμβαίνει ή λόγω της εξάλειψης του ορατού φωτός από την σκόνη ή επειδή οι πηγές εκπομπής είναι ψυχρές και εκπέμπουν μόνο στο υπέρυθρο. Φαίνεται η υπέρυθρη ακτινοβολία να μην προέρχεται από το ίδιο το αστέρι, αλλά από ένα κουκούλι σκόνης γύρω του (cocoon nebular) που έχει θερμανθεί σε μερικές εκατοντάδες βαθμούς από το νεογέννητο αστέρι.



Η κατάρρευση ενός πυκνού νεφελώματος.

Η κατάρρευση ενός νεφελώματος μπορεί να συμβεί αν η βαρύτητα υπερσχύσει της πίεσης του αερίου λόγω της κινητικής ενέργειας των ατόμων και των μορίων. Για συγκεκριμένη θερμοκρασία και πυκνότητα σωματιδίων υπάρχει ένα όριο μάζας για ένα σφαιρικό νέφος, πάνω από το οποίο θα συμβεί η κατάρρευση.

Οι προσομοιώσεις των υπερ-υπολογιστών μας δείχνουν ότι τα GMC και οι πυκνές περιοχές τους δημιουργούνται από έναν συνδυασμό κατάρρευσης του διάχυτου αερίου μέσω βαρύτητας και συσσώρευσης μικρότερων νεφών. Υπάρχει και ένα πλήθος παραγόντων που συμβάλλει στις τοπικές συμπυκνώσεις στα νέφη.

.Οι εκρήξεις σούπερ νοβα παράγουν κελύφη αερίων που διαστέλλονται με μεγάλη ταχύτητα. Αυτή η κίνηση σαρώνει την τοπική μεσοαστρική ύλη με αποτέλεσμα ένα κρουστικό μέτωπο να συμπιέζει το αέριο μπροστά από το διαστελλόμενο κέλυφος.

.Άλλες πηγές κρουστικών μετώπων είναι τα σμήνη ή τα μεγάλα, O και B αστέρια. Η ύπαρξη πολλών σε κοντινή μεταξύ τους απόσταση δημιουργεί ένα κρουστικό μέτωπο στην μεσοαστρική ύλη μέσω της ακτινοβολίας τους στις υπεριώδεις και στο ορατό φως.

.Η σπειροειδής μορφή του Γαλαξία μας (συμπυκνώσεις ύλης στις σπείρες) δεν μπορεί να εξηγηθεί μόνο από το ιδίωμα της διαφορικής ταχύτητας ανάλογα την απόσταση από το γαλαξιακό κέντρο. Άρα οι σπείρες <σκουπίζουν> (spiral density wave) τον Γαλαξία συμπιέζοντας την ύλη και τα νεφελώματα. Οι περιοχές αστρογέννησης συγκεντρώνονται στους βραχίονες.

. Ο σχηματισμός των GMC και κατά συνέπεια των αστεριών μπορεί να ενισχυθεί από γαλαξιακές συγκρούσεις και συγχωνεύσεις.

Θρυμματισμός.

Όσο ένα πυκνό νέφος καταρρέει, η πυκνότητά του αυξάνεται. Έτσι μπορούν να συμπυκνωθούν αρκετά κάποιες μικρότερες περιοχές του νεφελώματος, ώστε σε αυτές να επικρατήσει η βαρύτητα. Ενώ τα αίτια του θρυμματισμού είναι άγνωστα, αυτό μπορεί να γίνεται λόγω αρχικών συμπυκνώσεων στο νεφέλωμα ή λόγω περιστροφής του, και είναι σύμφωνος με το πλήθος ανοιχτών σμηνών που παρατηρούμε. Ένα νέφος με εκατοντάδες ηλιακές μάζες μπορεί να θρυμματιστεί σε πολλές μικρές δομές. Η κάθε μία από αυτές θα σχηματίσει το δικό της ανοιχτό αστρικό σμήνος.

Οι συνθήκες αστρογέννησης.

Στο εσωτερικό των μοριακών νεφών δημιουργούνται πυρήνες αερίου και σκόνης, λόγω αλληλεπίδρασης των εξής δυνάμεων.

1) Η βαρύτητα, που συμπυκνώνει αυτούς τους πυρήνες,

2) Η θερμική πίεση, που τους σταθεροποιεί.

3) Ο στροβιλισμός, που τείνει να τους διαλύσει, αλλά τοπικά τους συμπυκνώνει.

Τα μεγάλα νέφη ισορροπούν με την αλληλεπίδραση του στροβιλισμού και άλλων εξωτερικών επιρροών. Με την διατάραξη του μαγνητικού πεδίου ή/και του στροβιλισμού δημιουργούνται οι πυρήνες αερίου -σκόνης, που μετά καταρρέουν. Λόγω στροφορμής κατά τη διάρκεια της κατάρρευσης, δημιουργείται μια πεπλατυσμένη δισκοειδής μορφή, που μαζεύει υλικό. Κάθετα σε αυτήν εμφανίζονται 2 πίδακες, με πολύ ενεργητικό ρεύμα εκροής, που επιστέφουν το μεγαλύτερο μέρος της στροφορμής στο νέφος.

Από το θρύμμα στο πρωτοαστέρι.

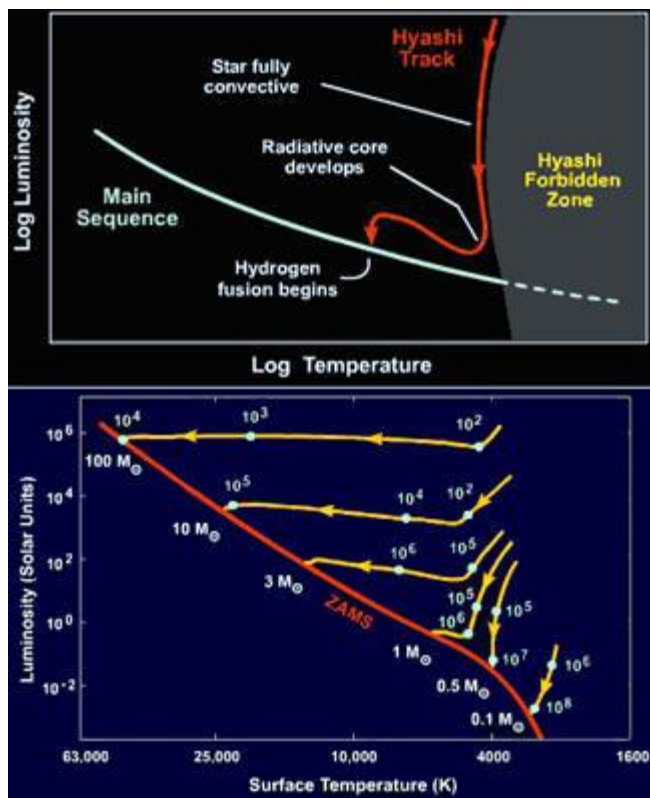
Όσο εξελίσσεται η κατάρρευση ενός τμήματος του νέφους (θρύμμα) μειώνεται η απόσταση ενός τυχαίου μορίου του από το κέντρο του θρύμματος. Αυτό σημαίνει μείωση της δυναμικής βαρυτικής ενέργειας. Λόγω της διατήρησης της ενέργειας, αυτή η ελάττωση σε βαρυτική ενέργεια σημαίνει αύξηση άλλων μορφών ενέργειας, όπως της κινητικής. Τα μόρια συγκρούονται, και η αύξηση της κινητικής ενέργειας εκφράζεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι όσο καταρρέει το θρύμμα, η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του αερίου αυξάνονται.

Υπάρχουν όμως κάποιες επιπλοκές. Μια είναι ότι οι συγκρούσεις των σωματιδίων μπορεί να τα διεγείρουν, με αποτέλεσμα να εκπέμψουν χαρακτηριστική ακτινοβολία στα ραδιοκύματα, μικροκύματα και στο υπέρυθρο. Η ακτινοβολία αυτή θέλει να διαφύγει, με αποτέλεσμα να θερμάνει το νέφος ελάχιστα- κατά 10-20 K. Όσο προχωράει η κατάρρευση, αυτή η ακτινοβολία θα γίνεται πιο έντονη και θα παγιδεύεται στο υπό κατάρρευση νεφέλωμα, με αποτέλεσμα να θερμαίνει το αέριο πολύ γρήγορα.

Το ίχνος της εξέλιξης του υπό κατάρρευση θρύμματος βρίσκεται μακριά από την κύρια ακολουθία στο H/R και δεν είναι εύκολο να παρατηρηθεί για 2 λόγους. Πρώτον, επειδή η διαδικασία της κατάρρευσης συμβαίνει πίσω από ένα κουκούλι σκόνης που την κάνει μη ορατή. Δεύτερον, είναι μια μακροχρόνια διαδικασία. Έτσι βασιζόμαστε σε μοντέλα. Αυτά μας δείχνουν ότι μετά από μερικές χιλιάδες έτη βαρυτικής κατάρρευσης η επιφάνεια του σώματος έχει θερμανθεί στις 2000- 3000 K. Το θρύμμα είναι ακόμα εκτεταμένο και έτσι η λαμπρότητά του είναι 10- 100 φορές αυτή των αστεριών της κ. ακολουθίας. Το ακριβές ίχνος εξαρτάται από την ισορροπία ανάμεσα στην αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας που τείνει να αυξήσει την λαμπρότητα (ανέβασμα στο H/R) και την ελάττωση του μεγέθους της επιφάνειας, που έχει αντίθετα αποτελέσματα.

Από το πρωτοαστέρι στην κύρια ακολουθία.

Οι γραμμές Hayashi (tracks) μας δείχνουν την πορεία πρωτοαστέρων προς την κύρια ακολουθία, ανάλογα την μάζα τους. Σε αυτές απεικονίζεται και το χρονοδιάγραμμα αυτής της αρχικής φάσης αστρικής εξέλιξης (από την στιγμή που το τμήμα του νεφελώματος, το οποίο θα σχηματίσει το πρωτοαστέρι, αποκολληθεί από το νεφέλωμα). Όλα τα θρύμματα θα γίνουν αστέρια της κύριας ακολουθίας σε λιγότερο από 100 εκ. έτη, ένα πολύ μικρό διάστημα στην μέση ζωή ενός αστέρα, και όσο πιο μεγάλα είναι, τόσο πιο γρήγορα θα μπουν στην κ. ακολουθία.



Οι λεπτομέρειες των γραμμών εξαρτώνται από τις πολύπλοκες αλλαγές στην εσωτερική δομή και από τον τρόπο που μεταφέρεται η ενέργεια στο πρωτοαστέρι κατά την κατάρρευση. Στα πρωτοαστέρια μεσαίας και μικρής μάζας, η γρήγορη μείωση της λαμπρότητας είναι αποτέλεσμα του ότι η αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας αντισταθμίζεται με το παραπάνω από την συρρίκνωση της επιφάνειας. Για αστέρια μεγαλύτερα από 2 ηλιακές μάζες οι επιδράσεις της αύξησης της επιφανειακής θερμοκρασίας και συρρίκνωσης της επιφάνειας ισορροπούνε, ώστε αυτή να μεταβάλλεται ελάχιστα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Η γραμμή τους είναι οριζόντια προς την κ. ακολουθία. Όλες οι γραμμές λίγο πριν την κ. ακολουθία παρουσιάζουν μια ελάττωση της λαμπρότητας (κίνηση προς τα κάτω) ως αποτέλεσμα του ότι η επίδραση της συρρίκνωσης κυριαρχεί στην επίδραση της θερμοκρασίας.

Οι παρατηρήσεις των δίπολων πρώτο-αστρικών εκροών μας δείχνουν ότι περιέχουν σημαντική ποσότητα μάζας και χρειάζονται πολύ ενέργεια για να υποστηριχθούν. Όμως πιστεύουμε ότι διαρκούν για μόνο περίπου 10000 έτη. Ένα θρύμμα περιστρέφεται ταχύτερα όσο καταρρέει, με αποτέλεσμα να παρουσιάσει πλάτυνση και να εμφανιστεί ένας περιαστρικός δίσκος γύρω από το αστέρι. Ο δίσκος αυτός, με την βοήθεια του μαγνητικού πεδίου, εκτρέπει την εκρέουσα ύλη από το αστέρι (ύλη που κινείται με μεγάλη γωνιακή ταχύτητα και δεν καταρρέει στο πρωτοαστέρι) στους 2 πίδακες που είναι ευθυγραμμισμένοι στον άξονα περιστροφής του. Ο μηχανισμός που ενεργοποιεί αυτές τις εκροές δεν έχει κατανοηθεί πλήρως, αλλά τροφοδοτείται από την απελευθέρωση δυναμικής βαρυτικής ενέργειας από την ύλη που διαπερνάει τον δίσκο και καταλήγει στο πρωτοαστέρι.

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε πως μόνο ένα μικρό κλάσμα της αρχικής μάζας του νεφελώματος θα καταναλωθεί στην δημιουργία αστέρων. Ένα μέρος θα επιστραφεί στην μεσοαστρική ύλη από τους πίδακες. Μια άλλη διαδικασία που δεν επιτρέπει σε όλο το αέριο να μετατραπεί σε αστρική ύλη είναι η φωτο-εξάτμιση (photo evaporation). Η μεγάλης έντασης ακτινοβολία UV γειτονικών μεγάλων αστεριών διαλύει το μοριακό υδρογόνο σε ατομικό. Οι πυκνότερες περιοχές του νεφελώματος είναι πιο προστατευμένες από την ακτινοβολία, σχηματίζοντας ανάλογες δομές. Οι άνεμοι, τα κρουστικά

μέτωπα και η υπεριώδης από τα αστέρια O, B είναι η κύρια αιτία της διατάραξης των πυκνών νεφών, επηρεάζοντας έτσι τον ρυθμό αστρογέννησης. Τα υπολείμματα του νέφους θα ενωθούν με άλλα νεφελώματα, σε επόμενη γενιά αστρογέννησης.

Μια κλασική ομάδα πρωτοαστέρων είναι οι T-Tauri. Αυτοί βρίσκονται δεξιά προς τα πάνω στο H/R και εμφανίζονται μέσα ή κοντά σε ένα πυκνό νέφος. Εκπέμπουν πολύ στο υπέρυθρο, κάτι που δείχνει ότι έχουν γύρω τους ένα κουκούλι από σκόνη και περιέχουν λίθιο, ένα στοιχείο που καταστρέφεται στα αστέρια, κάτι που μας δείχνει την νεαρή τους ηλικία. Πρόκειται για νεαρά (100000- 100 εκ. ετών) αστέρια που χάνουν μάζα, και κάποια έχουν λεπτό δίσκο περιαστρικής ύλης που συνδέεται με τους πίδακες που αναφέραμε. Οι T-Tauri είναι αστέρια προ κ. ακολουθίας, με μάζα 0,2- 2 ηλιακές, ένα στάδιο πριν την είσοδο στην κ. ακολουθία.

Αν και υπάρχουν διαφορές στα μοντέλα της ύστερης φάσης της κατάρρευσης, όλα δείχνουν μια συνεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας όσο μειώνεται η βαρυτική ενέργεια. Το σημαντικό σημείο είναι όταν πλέον γίνονται οι θερμοπυρηνικές συντήξεις στον πυρήνα. Τότε η ενέργεια που απελευθερώνεται αυξάνει την θερμοκρασία του πυρήνα αρκετά, ώστε να σταματήσει την κατάρρευση, κάνοντας το αστέρι να ισορροπήσει ώστε να μπει στην κ. ακολουθία.

Η εξέλιξη ενός πρωτοαστέρα από υλικό 1 ηλιακής μάζας.

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την ισόθερμη κατάρρευση και την διαμόρφωση ενός υδροστατικού πυρήνα.

-Όσο το νέφος παραμένει οπτικά διαπερατό, μπορεί η ακτινοβολία να διαφεύγει γρήγορα από αυτό, απάγοντας την θερμότητα της συμπίεσης. Έτσι η θερμοκρασία δεν αυξάνεται αισθητά.

-Η σκόνη είναι ο βασικός απορροφέας της (υπέρυθρης) ακτινοβολίας, και συμμετέχει δυναμικά στην ψύξη μέσω αλληλεπίδρασης με το αέριο. Έτσι σε νέφη με υψηλή μεταλλικότητα δημιουργούνται πιο μικρά αστέρια.

-Μετά από 100000 έτη το κέντρο γίνεται οπτικά αδιαπέραστο (εγκλωβίζεται η ακτινοβολία), με πυκνότητα 10στη-13 g/cm³. Αρα η θερμοκρασία και η πίεση ανεβαίνουν, σημαίνοντας το τέλος της ισόθερμης κατάρρευσης. Στο κέντρο δημιουργείται ισορροπία ανάμεσα στην πίεση και την βαρύτητα, κάτι που επιβραδύνει την κατάρρευση.

-Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός (ημι)υδροστατικού πυρήνα μέσα σε ένα κουκούλι, με το κουκούλι να είναι σε υπερηχητική ελεύθερη πτώση.

-Ο πυρήνας περιορίζεται από ένα ωστικό μέτωπο, και η ακτίνα του είναι περίπου 5 ΑΕ (όση η απόσταση ηλίου- Δία, 1000 ηλιακές ακτίνες). Λόγω ανομοιογένειας της κατάρρευσης, ο πυρήνας περιλαμβάνει μόνο το 0,5% της μάζας του πρωτοαστέρα.

-Ανάλογα με την αρχική στροφορμή, ο πυρήνας είναι λιγότερο ή περισσότερο πεπλατυσμένος.

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τη συνεχή τροφοδοσία του πυρήνα με ύλη από το περιαστρικό κουκούλι.

-Με την αύξηση της μάζας μεγαλώνει και η θερμοκρασία στον πυρήνα. Όταν φτάσει τους 2000 β. Κέλβιν, το μοριακό υδρογόνο διασπάται σε ατομικό, κάνοντας τον πυρήνα δυναμικά ασταθή. Δηλαδή, η θερμοκρασία και η πίεση δεν αυξάνονται αρκετά σε σχέση με την πυκνότητα, με αποτέλεσμα να κυριαρχήσει η βαρύτητα.

-Ο πυρήνας καταρρέει μέχρι όλο το υδρογόνο να διασπαστεί σε ατομικό.

-Η θερμοκρασία και η πίεση ανεβαίνουν πάλι αρκετά.

-Η κατάρρευση σταματάει, και διαμορφώνεται ένας ημι-υδροστατικός πυρήνας. Σε αυτό το σημείο ξεχωρίζουμε τον πρώτο (εξωτερικό) από τον δεύτερο (εσωτερικό) πυρήνα.

-Σε αυτή τη φάση, όλο το περιαστρικό νέφος έχει μερικά εκατομμύρια ηλιακές ακτίνες διάμετρο, ο πρώτος πυρήνας και το κρουστικό μέτωπο 1000 και ο δεύτερος πυρήνας 1,3 ηλιακές ακτίνες.

Η τρίτη φάση πλέον μας δίνει τον πρωτοαστέρα.

-Ο πρώτος (εξωτερικός) πυρήνας εξαφανίζεται μετά από μερικές εκατοντάδες χρόνια.

-Ο ιονισμός του δευτέρου (εσωτερικού) πυρήνα ενισχύεται, και με την περισσότερη κατάρρευση του ανεβαίνει η θερμοκρασία του.

-Όταν μεγάλο μέρος του υδρογόνου του πυρήνα είναι πλέον ιονισμένο και η θερμοκρασία φτάσει στους 100000 β., το πρωτοαστέρι γίνεται σταθερό και το ρεύμα κατάρρευσης μετατρέπεται σε ρεύμα εκπομπής ύλης από τους πίδακές του.

-Ο δεύτερος πρωτοαστρικός πυρήνας δεν μεγαλώνει αισθητά, παρά την αύξηση της θερμοκρασίας. Το κουκούλι απορροφάει την ακτινοβολία, θερμαίνεται και με 700 β. θερμοκρασία σχηματίζει μια λαμπρή λανθάνουσα φωτόσφαιρα.

-Με αυξανόμενη μάζα στον πυρήνα, τα στρώματα από το κουκούλι που πέφτουν σε αυτόν αλλάζουν σε ταχύτητα και πυκνότητα.

-Η λαμπρότητά του οφείλεται αποκλειστικά στο κρουστικό κύμα, που δημιουργείται από την σύγκρουση του υλικού από τους πίδακες πάνω στο κουκούλι.

-Το κουκούλι χάνει μάζα και γίνεται οπτικά διαπερατό. Ο πυρήνας γίνεται ορατός, και εμφανίζεται ως αστέρι προ της κ. ακολουθίας, δεξιά πάνω στο διάγραμμα (αστέρας T- Ταύρου).

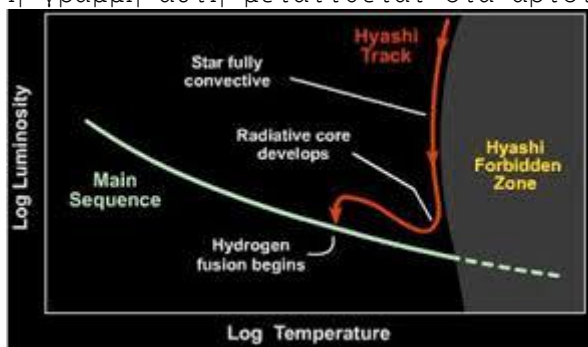
Η διαφορά ενός μικρής μάζας πρωτοαστέρα και ενός T-Ταύρου είναι ότι ο πρώτος λάμπει λόγω της θέρμανσης στο κουκούλι του, ενώ ο δεύτερος λάμπει λόγω της ακτινοβολίας του πυρήνα, που συρρικνώνεται αργά και σταθερά. Σε αστέρια μεγάλης μάζας δεν είναι δυνατή τέτοια διάκριση, γιατί αυτή η φάση είναι πολύ σύντομη και αρχίζει γρήγορα η θερμοπυρηνική σύντηξη, ακόμα και κατά την κύρια φάση εκπομπής ύλης από τους πίδακες στο κουκούλι.

Η τέταρτη φάση περιλαμβάνει την ημι-υδροστατική κατάρρευση.

-Μετά την κατάρρευση και το κρουστικό κύμα των πιδάκων, πλέον η ημι-υδροστατική κατάρρευση ορίζει την περαιτέρω εξέλιξη.

-Αυτή η φάση τερματίζει με την θερμοπυρηνική σύντηξη. Το αστέρι έχει γεννηθεί.

Σε αυτή την τελευταία φάση έχει σημαντικό ρόλο η γραμμή Hayashi (H.) (στο διάγραμμα HR). Μοιάζει με τόξο δεξιά της κ. ακολουθίας. Είναι η κρίσιμη <γραμμή> μάζας των προ κ. ακολουθίας αστέρων. Με αυξανόμενη μάζα η γραμμή αυτή μετατίθεται στα αριστερά.



Στην τελευταία φάση συρρίκνωσης η επιφανειακή θερμοκρασία είναι μικρή, και εκτός από τον πυρήνα του αστέρα δεν έχουμε αλλού πλήρη ιονισμό. Έτσι το αστέρι περιέχει ζώνη διάσπασης (H₂) και ζώνες ιονισμού (H) και (He). Υπάρχει μια βαθιά περιοχή συναγωγής. Έτσι το πρωτοαστέρι χαρακτηρίζεται από πλήρη συναγωγή. Ένα αστέρι δεδομένης μάζας και λαμπρότητας έχει ένα

μέγιστο ακτίνας και ένα ελάχιστο επιφανειακής θερμοκρασίας, που περιγράφει το άστρο πλήρης συναγωγής.

Ένα προ κ. ακολουθίας αστέρι πλήρης συναγωγής συρρικνώνεται σε ημι-υδροστατική ισορροπία κατά μήκος της Η. γραμμής, και κινείται στο διάγραμμα με μικρή άνοδο της θερμοκρασίας προς τα κάτω (η λαμπρότητα μειώνεται γρήγορα λόγω συρρίκνωσης της επιφάνειας), στρίβει αριστερά (γιατί η περιοχή στο κέντρο, όπου η ακτινοβολία αναλαμβάνει την μεταφορά της ενέργειας μεγαλώνει, άρα ανεβαίνει η θερμοκρασία), και στην πλήρη ανάφλεξη της σύντηξης φτάνει στην κ. ακολουθία.

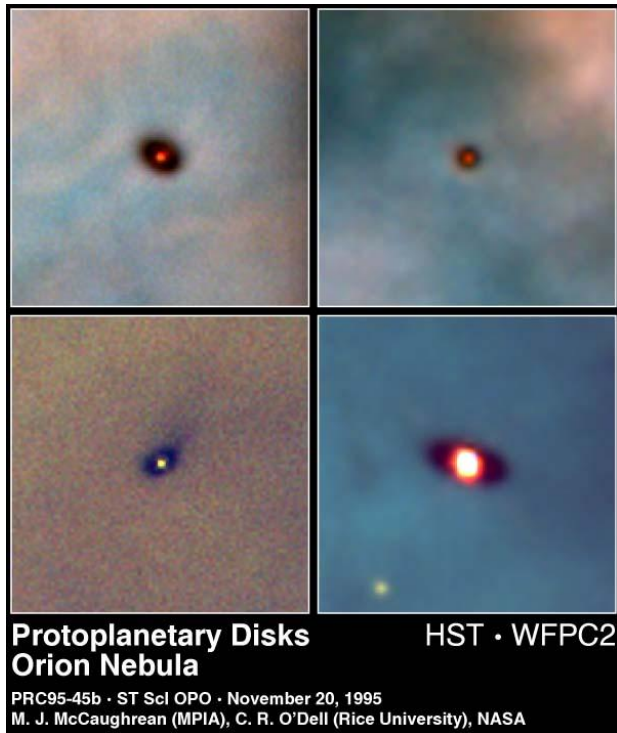
Δεξιά της γραμμής Η. δεν υπάρχει αστρική εξέλιξη.

Ο σχηματισμός των αστερών μεγάλης μάζας.

Φαίνεται να δημιουργούνται ακόμα και αστέρια με πάνω από 100 ηλιακές μάζες. Δεν γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της δημιουργίας τους για 3 λόγους. Πρώτον, τα τόσο τεράστια αστέρια είναι πολύ σπάνια και με μικρή διάρκεια ζωής και ελάχιστη προ- κ. ακολουθίας φάση (σε αυτά έχουν ξεκινήσει οι πυρηνικές συντήξεις όταν ακόμα συσσωρεύουν αέριο στην φάση κατάρρευσης). Δεύτερο, είναι εμβυπτισμένα σε πυκνά νέφη και ανιχνεύονται δύσκολα. Και τρίτον, όταν εισρέει ύλη σε αστέρια > 10 ηλιακές μάζες, η ενέργεια που εκλύεται είναι πολύ ισχυρή και αποτρέπει την εισροή περισσότερης ύλης, περιορίζοντας έτσι την γέννηση μεγάλων αστεριών. Υποθέτουμε ότι τα μεγάλα αστέρια δημιουργούνται όπως τα μικρά, αλλά από μεγαλύτερα κομμάτια του νεφελώματος. Η ύλη συσσωρεύεται στις ισημερινές περιοχές τους σε περιαστρικό δίσκο και η εκροή ενέργειας γίνεται από τους πολικούς πίδακες. Πρόσφατες παρατηρήσεις έχουν επιβεβαιώσει τα παραπάνω για αστέρια 10-20 ηλιακών μαζών. Για μεγαλύτερα αστέρια δεν είναι σαφές ότι ισχύει ο ίδιος μηχανισμός. Έχουν προταθεί εναλλακτικές θεωρίες, όπως ο κανιβαλισμός (ένωση) 2 αστερών, με τα μεγάλα αστέρια στα σμήνη να έχουν συγχωνέψει μικρότερα, χωρίς όμως να υπάρχουν παρατηρησιακά δεδομένα. Θέλουμε να αξιοποιήσουμε τις παρατηρήσεις μας για τις ιδιότητες των Ο, Βαστέρων, ώστε να συμπεράνουμε την διαδικασία δημιουργίας τους. Για παράδειγμα, αν ισχύει ο αστρικός κανιβαλισμός, θα πρέπει όλα τα μεγάλα αστέρια να δημιουργηθούν μέσα σε αστρικά σμήνη, και να βρίσκονται ακόμα σε αυτά, λόγω της μικρής διάρκειας ζωής τους. Αυτό που γνωρίζουμε είναι ότι τα μεγάλα αστέρια είναι συνήθως σε διπλό σύστημα, πολύ πιο συχνά από τα μικρά. Κάτι που μπορεί να σημαίνει ότι δεν είναι ίδια η διαδικασία δημιουργίας για τα μικρά και τα μεγάλα αστέρια.

Ο σχηματισμός των πλανητικών συστημάτων.

Ο περιαστρικός δίσκος αποτελεί το πεδίο δημιουργίας πλανητών και των άλλων μικρότερων σωμάτων σε ένα πρωτοαστέρι. Παρατηρήσεις στο νεφέλωμα του Ωρίωνα μας έδειξαν δίσκους με σκόνη γύρω από πρωτοαστέρια (παρατηρούμε έξαρση στην εκπομπή στο υπέρυθρο που παραπέμπει σε θερμοκρασία <100K). Αυτά τα αντικείμενα μοιάζουν περισσότερο με δίσκο παρά με κουκούλι γύρω από ένα άστρο και ονομάζονται πρωτοπλανητικοί δίσκοι. Είναι δέκα φορές μεγαλύτερα από το πλανητικό μας σύστημα και περιέχουν πολλές φορές την μάζα της Γης σε σκόνη. Στον Βεγκα ανιχνεύσαμε εκπομπή στο υπέρυθρο από κόκκους σκόνης με διάμετρο χίλιες φορές μεγαλύτερη από αυτή στην μεσοαστρική ύλη, σε ένα κουκούλι ή δίσκο διπλάσιας διαμέτρου από το ηλιακό μας σύστημα. Αν και ο Βεγκα έχει μόλις το 20% της ηλικίας του ηλίου, η ηλικία του δεν δικαιολογεί την ύπαρξη σκόνης γύρω του. Ίσως να προέρχεται από την διάλυση κομητών ή άλλων σωμάτων (δίσκο συντριμμίων, debris disk), με την παραδοχή ότι έχει πλανητικό σύστημα. Το ίδιο παρατηρούμε στο Β Pictoris, όπου έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη πλανητών.



Η δημιουργία αστρικών σμηνών

Τα περισσότερα αστέρια δημιουργούνται σε σμήνη. Η κατανομή μάζας δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το σμήνος. Τα μεγάλα αστέρια βρίσκονται πιο κοντά στο κέντρο του σμήνους. Φαίνεται να χάνεται η ομοιομορφία τους κατά την κατάρρευση του νεφελώματος. Οι 0,5 ηλιακές μάζες είναι το σύνηθες μέγεθος μάζας για

το υλικό δημιουργίας ενός πρωταστέρα. Τα μεγάλα αστέρια έχουν χρονοδιάγραμμα δημιουργίας 100000 έτη, ενώ τα μικρά 1 εκ. έτη. Τα μεγάλα αποβάλλουν πολύ ενέργεια, έτσι η δημιουργία άλλων αστεριών κοντά τους είναι δύσκολη. Μάλλον πρώτα ξεκινάει η δημιουργία μικρών αστεριών. Τα μεγάλα είναι πιθανόν τα τελευταία που δημιουργούνται σε ένα νέφος. Με τον ισχυρό αστρικό άνεμο διαλύουν το νέφος, σταματώντας έτσι την τοπική αστρογέννεση.

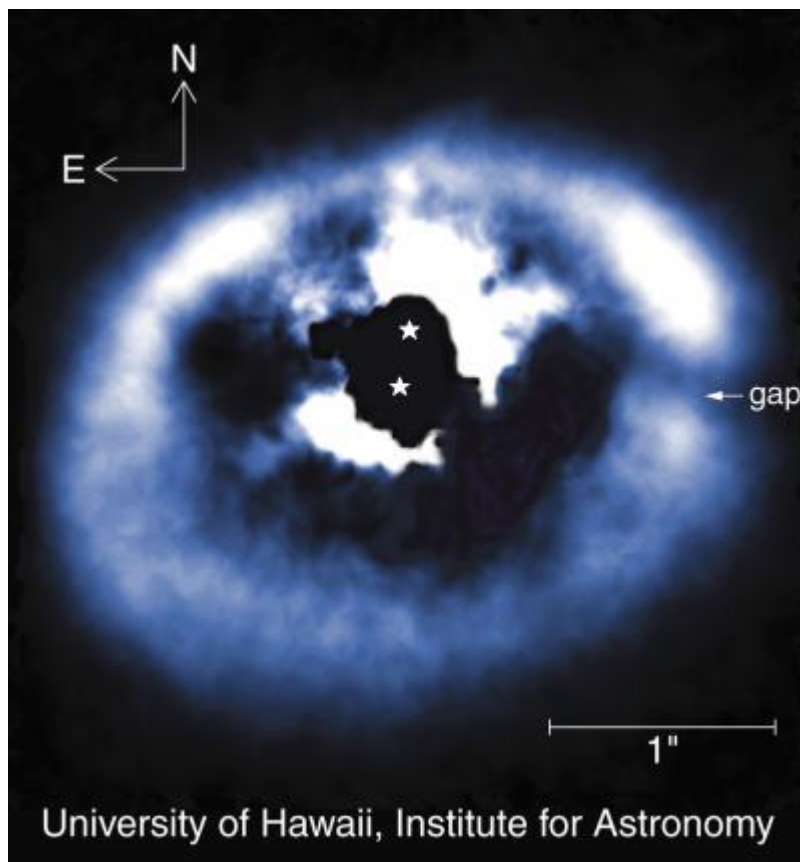
Σημείωση 1

Με τα τηλεσκόπια ALMA που παρατηρούν στα μικρόμετρα, είδαμε σχηματισμένους δίσκους γύρω από το νέο αστέρι HL Tauri, 450 έτη φωτός μακριά μας. Σε αυτό το μήκος κύματος μπορούμε να δούμε μέσα από το κουκούλι από σκόνη και αέρια που υπάρχει γύρω του. Φαίνονται δίσκοι και κενά στη δομή του κουκουλιού, που παραπέμπουν στην δημιουργία πλανητών. Μέχρι τώρα πιστεύαμε ότι σε αυτήν την αρχική φάση ενός αστέρα δεν έχει ξεκινήσει ακόμη η διαδικασία της δημιουργίας πλανητών. Ακόμα μένει ανοιχτό το ερώτημα αν πρόκειται για σημάδια δημιουργίας πλανητών ή κάποιο άλλο μηχανισμό, που δημιουργεί αυτές τις δομές.

Σημείωση 2

Ο δίσκος σκόνης του G Tauri.

Ο G G Tauri είναι ένα νεαρό αστέρι 400 έτη φωτός μακριά. Η εκπομπή του στο (H α) παρουσιάζει διακυμάνσεις λαμπρότητας, λόγω ενός συνοδού του. Στο υπέρυθρο το σύστημα είναι πιο λαμπρό, κάτι που οφείλεται σε έναν δίσκο σκόνης γύρω από και τα δύο αστέρια, και η πλευρά του δίσκου που είναι προς εμάς εμφανίζεται πιο λαμπρή. Επίσης βρέθηκε και ένα κενό στον δίσκο που παραπέμπει σε εξωπλανήτη. Ο δίσκος εκτείνεται 150– 200 AU γύρω από το κοινό κέντρο του συστήματος. Υπάρχουν και ίχνη από εσωτερικά δαχτυλίδια γύρω από τα δύο αστέρια. Τα δαχτυλίδια αυτά φαίνεται να παραχωρούν μάζα στον κοινό δίσκο μέσω 2 γεφυρών ροής ύλης με αυτόν. Η κίνηση του κενού αντιστοιχεί σε ένα αντικείμενο με 2–5 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα από την τροχιά Κεπλερ. Έτσι το κενό είναι μάλλον μια σκιά από συμπύκνωση στον δίσκο, παρά ένας κοινός εξωπλανήτης. Το συμπύκνωμα αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία εξωπλανήτη.



Σημείωση 3.

Πλανήτες δεύτερης γενιάς.

Έχουμε ανακαλύψει και σε μερικά διπλά συστήματα αστεριών την ύπαρξη πλανητών. Τα αστέρια στα συστήματα αυτά είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, και οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από το κοινό κέντρο βάρους των δυο αστεριών. Το σύστημα NN Serpentis, στον Οφιούχο, σε απόσταση 1670 έτη φωτός, αποτελείται από έναν λ. νάνο με μισή ηλιακή μάζα, θερμοκρασίας 57000 βαθμών Κέλβιν, άρα ηλικίας περίπου 1 εκατομμύρια έτη, και έναν κόκκινο νάνο με 10% της ηλιακής μάζας. Εκεί έχουμε ανακαλύψει 2 αεριώδεις πλανήτες με 7 και 1,7 φορές τη μάζα του Δία. Οι τροχιές τους, 15 και 7 έτη αντίστοιχα, δεν είναι πολύ κοντά στα αστέρια τους (3–5AU), κάτι

φυσικό για διπλά αστέρια. Μόνο σε τέτοια απόσταση υπάρχουν σε αυτά οι κατάλληλες συνθήκες για την δημιουργία πλανητών.

Όταν το ένα από τα δύο αστέρια σε ένα τέτοιο σύστημα γίνει ερυθρός γίγαντας, <καταπίνει> τον συνοδό του. Σε αυτή τη φάση το σύστημα χάνει μάζα, λόγω ισχυρού αστρικού ανέμου, με αποτέλεσμα οι πλανήτες να απομακρύνονται σε πιο εξωτερικές τροχιές. Αρα οι 2 πλανήτες θα έπρεπε να έχουν σήμερα ακόμα πιο εξωτερικές τροχιές (9 και 14 AU αντίστοιχα). Οι σχετικά εσωτερικές τροχιές τους μας δείχνουν ότι είναι μάλλον πλανήτες δεύτερης γενιάς.

Σε ένα τέτοιο σύστημα μπορεί μέρος από το υλικό που διέφυγε με τον δυνατό αστρικό άνεμο του κόκκινου γίγαντα, να σχημάτισε έναν δακτύλιο εξωτερικά του συστήματος. Η ταχύτητα του υλικού σε αυτό το σύστημα δεν ήταν αρκετή για να διαφύγει όλο, έτσι εκτιμούμε ότι σχηματίστηκε ένας τέτοιος δακτύλιος με 140 φορές τη μάζα του Δια. Εκεί μπορεί να δημιουργήθηκαν πλανήτες δεύτερης γενιάς, με τον ίδιο τρόπο που δημιουργούνται και κανονικά οι πλανήτες σε έναν πρωταστέρια.

Το παραπάνω διπλό σύστημα έχει μικρή μάζα και τα αστέρια είναι σε κοντινές τροχιές, κάτι που ενισχύει αυτήν την θεωρία. Αν είναι πράγματι δεύτερης γενιάς, η μικρή τους ηλικία (1 εκατομμύριο έτη) σημαίνει ότι είναι ακόμα θερμοί, αρα μπορεί να ανιχνευτούν με τα ραδιοτηλεσκόπια ALMA.

Σημείωση 4

Το υλικό από έναν περιαστρικό δίσκο προσαύξησης καταναλώνεται με δύο τρόπους. Από ένα μέρος του θα δημιουργηθούν οι πλανήτες, και το υπόλοιπο θα αυξήσει την μάζα του αστεριού, πέφτοντας αργά σε αυτό. Η προσαύξηση στα πρωταστέρια είναι πολύ αποτελεσματική, κάτι που δεν έχει ακόμα κατανοηθεί πλήρως. Το μυστικό στην κατανόηση της λειτουργίας του δίσκου προσαύξησης είναι να βρούμε τι κινεί το υλικό του προς τα μέσα. Ένας πιθανός μηχανισμός είναι το ιξώδες μέσα στον δίσκο. Τα σωματίδια που βρίσκονται πιο κοντά στο αστέρι, μέσα στον δίσκο, κινούνται πιο γρήγορα από τα εξωτερικά σωματίδια. Αυτή η διαφορά ταχύτητας δημιουργεί τριβή, με συνέπεια την επιβράδυνση των εσωτερικών σωματιδίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα εσωτερικά σωματίδια να μεταβαίνουν σε ακόμα πιο εσωτερικές τροχιές γύρω από το αστέρι. Αυτό το ιξώδες επιδράει σε όλα τα επίπεδα του δίσκου και επιτρέπει να πέσει ένα μέρος της ύλης του δίσκου στο αστέρι. Το πρόβλημα είναι ότι η θερμοκρασία και η πυκνότητα του υλικού δεν δικαιολογεί τέτοιο ιξώδες, που να αντιστοιχεί στους ρυθμούς προσαύξησης που παρατηρούμε.

Ο μηχανισμός αστάθειας μαγνητικών περιστροφών (magneto rotations-instability, MRI) μας λέει ότι αν υπάρχουν μαγνητικά πεδία στον δίσκο, αυτά ενώνουν τις διάφορες περιοχές του. Αν και οι θερμοκρασίες στον δίσκο είναι χαμηλές σε σχέση με αυτές στα αστέρια, ωστόσο αρκούν ώστε να δημιουργηθούν ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα, ακόμη και από την ακτινοβολία του άστρου. Οι κινήσεις τους καθορίζονται από τα μαγνητικά πεδία. Τα πεδία αυτά συγκρατούν τα ιόντα <δεμένα> μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τα εξωτερικά στον δίσκο ιόντα να αποκτούν όμοιες ταχύτητες με τα εσωτερικά, τα οποία επιβραδύνονται ανάλογα από το πεδίο. Αυτός ο μηχανισμός είναι πιο αποτελεσματικός για τους ρυθμούς προσαύξησης που παρατηρούμε στα πρωταστέρια.

Η ύπαρξη των μαγνητικών πεδίων στους δίσκους ανιχνεύεται χάρη στους κόκκους σκόνης. Αυτοί ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο, αυξάνοντας την πολικότητα του φωτός που εκπέμπουν, όπως παρατηρήθηκε στο νεαρό αστέρι HL Tauri.

Σημείωση 5

Από την φυσική γύρω μας γνωρίζουμε ότι αν συμπιέσουμε ένα αέριο, αυτό θερμαίνεται (όπως η τρόμπα του ποδηλάτου). Στα μοριακά νέφη συμβαίνει το αντίθετο, το ατομικό νέφος με θερμοκρασία χιλιάδες βαθμούς K συμπυκνώνεται σε μοριακό θερμοκρασίας λίγων δεκάδων K. Αυτό μπορεί να συμβεί επειδή κατά την συμπίεση οι συγκρούσεις των ατόμων/ μορίων γίνονται συχνές. Σε αυτές τις συγκρούσεις τα ηλεκτρόνια ανεβαίνουν βαθμίδα στα άτομα/ μόρια, αντλώντας ενέργεια από την κινητική του ατόμου/ μορίου. Έτσι τα άτομα/ μόρια επιβραδύνονται, κάτι που σημαίνει ψύξη του αερίου. Μετά από νέες συγκρούσεις τα ηλεκτρόνια επανέρχονται στην βασική τους βαθμίδα, αλλά εκπέμπουν ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να μην επιταχύνει το άτομο/ μόριο (δεν κερδίζει κινητική ενέργεια, κάτι που θα σήμαινε πάλι θέρμανση του αερίου). Η ακτινοβολία αυτή διαφεύγει του (πλέον μοριακού) νέφους (αποβολή θερμότητας). Το πόσο αποτελεσματική είναι η μετατροπή ενός τμήματος ατομικού νέφους σε μοριακό, δηλαδή πόσο αποτελεσματικά αποβάλλει θερμότητα, εξαρτάται από σωματιδιακές ιδιότητες, όπως οι χημικές ιδιότητες και κατά πόσο ευνοούν την ένωση των ατόμων σε μόρια (η ποσότητα της σκόνης ως καταλύτη) και την αρνητική επίδραση της ακτινοβολίας, κοσμικής ή αστρικής. Σημαντικό ρόλο έχει και η διαταραχή. Όσο πιο διαταραγμένο είναι το νέφος, τόσο δυσκολεύει η μετάβασή του σε μοριακό.

Όμως ούτε η διαταραχή δεν αρκεί να δικαιολογήσει την σχετικά μικρή αστρογέννηση στο πυκνότερο μοριακό νέφος κοντά στο κέντρο του Γαλαξία μας (CMZ, central molecular zone). Να σημειώσουμε ότι η δημιουργία άστρων (1 το έτος για τον Γαλαξία μας) είναι ανάλογη της πυκνότητας του αερίου στα νέφη. Εκεί λοιπόν η πυκνότητα του μοριακού νέφους είναι χιλιάδες φορές μεγαλύτερη αυτής των συνηθισμένων μοριακών νεφών. Τα συνηθισμένα γαλαξιακά μοριακά νέφη έχουν πυκνότητα εκατοντάδες σωματίδια /cm³, μια πυκνότητα που θα θεωρούσαμε ως κενό στην Γη, με την πυκνότητα της ατμόσφαιράς μας να είναι 10¹⁹ σωματίδια/cm³). Το νέφος αυτό κινείται με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από τα συνήθη γαλαξιακά νέφη. Επίσης η κοσμική ακτινοβολία και η ακτινοβολία από μεγάλα αστέρια είναι εντονότερη, όπως οι διαταράξεις από εκρήξεις σουπερνόβα, παράγοντες που αποτρέπουν την αστρογέννηση. Αυτό που βρέθηκε μελετώντας μια περιοχή του CMZ, που ονομάζεται the brick είναι ότι το μαγνητικό πεδίο της είναι πολύ ισχυρό, χιλιάδες φορές ισχυρότερο από αυτό του ηλιακού μας συστήματος, καθιστώντας το ικανό παράγοντα αποτροπής της αστρογέννησης. Λόγω της μεγάλης συμπίεσης του τεράστιου ατομικού νεφελώματος το μαγνητικό πεδίο, που διατηρήθηκε κατά την συμπίεση, εμφανίζεται στο πολύ μικρότερου μεγέθους CMZ πολύ ισχυρό. Ένας ανάλογος μηχανισμός δημιουργεί και τα πανίσχυρα μαγνητικά πεδία των παλσαρ.

