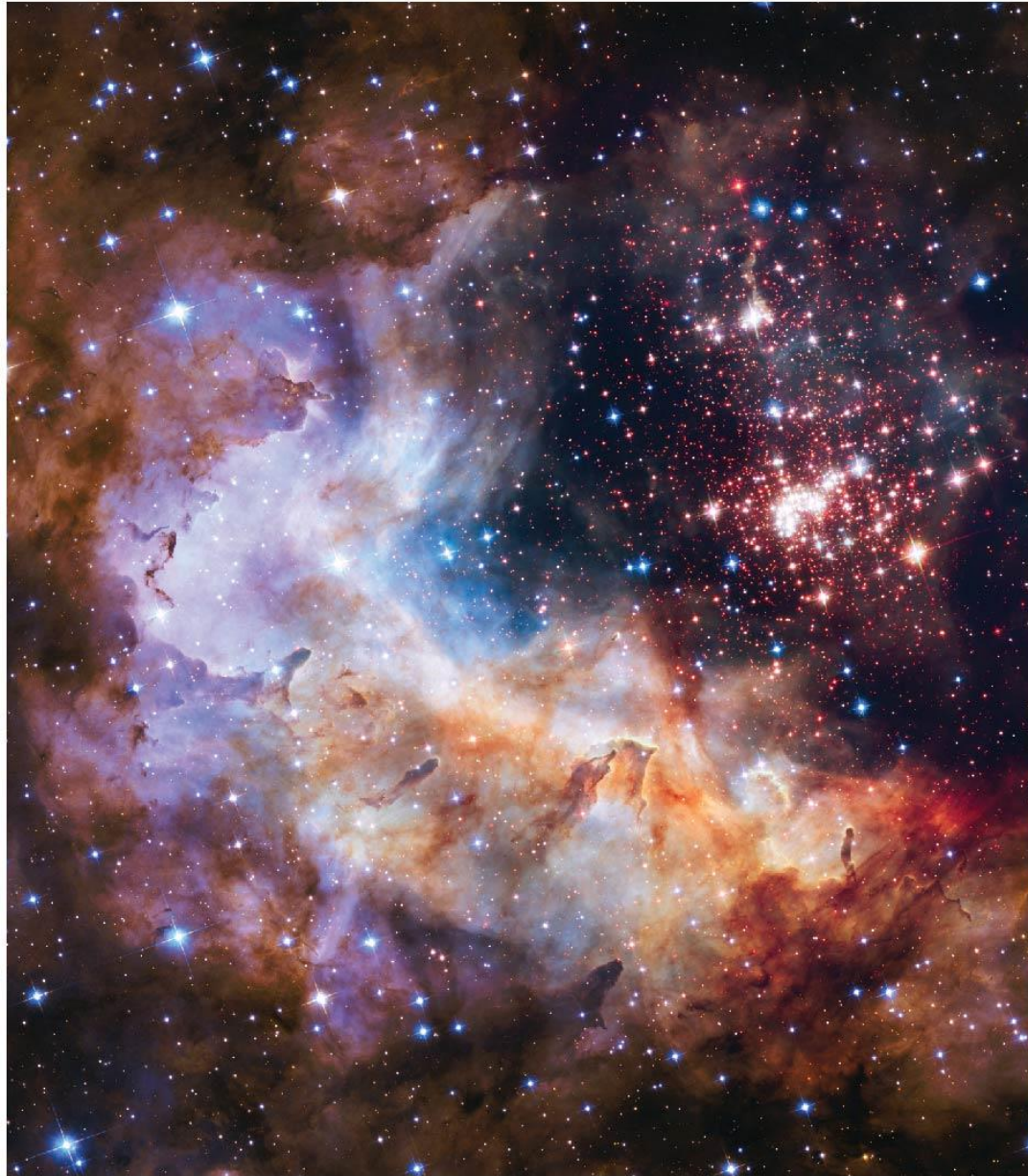
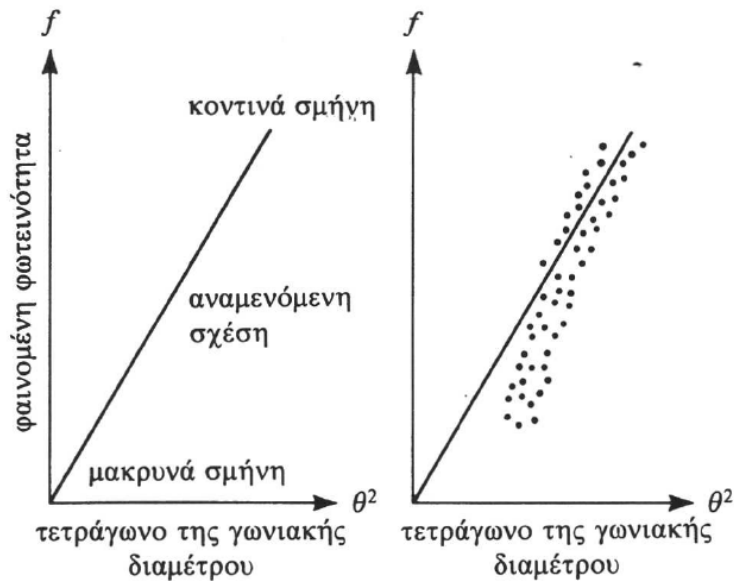


Μεσοαστρική ύλη



Το σκεπτικό του Trumpler (Μεσοαστρική σκόνη 1930)



Γωνιακή διάμετρος

$$\theta = D/r$$

Φαινόμενη φωτεινότητα

$$f = L/4\pi r^2$$

$$\frac{f}{\theta^2} = \frac{L}{4\pi D^2} = \text{σταθερό}$$



Σχήμα 11.3. Ο μηχανισμός της μεσοαστρικής ερυθρώσεως.

Επιδράσεις της μεσοαστρικής σκόνης στο φως

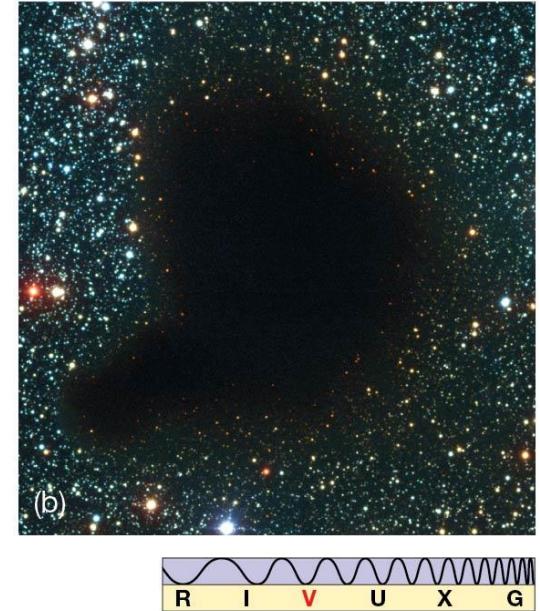
- Μεσοαστρική εξάλειψη
- Μεσοαστρική ερύθρωση
- Μεσοαστρική πόλωση

Μεσοαστρικό αέριο Hartmann 1904

- Το σύνολο των γραμμών απορρόφησης του απλά ιονισμένου ατόμου ασβεστίου δεν ακολουθεί τις περιοδικές μετατοπίσεις των γραμμών απορρόφησης ενός φασματοσκοπικά διπλού αστέρα.

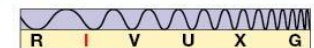
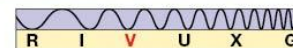
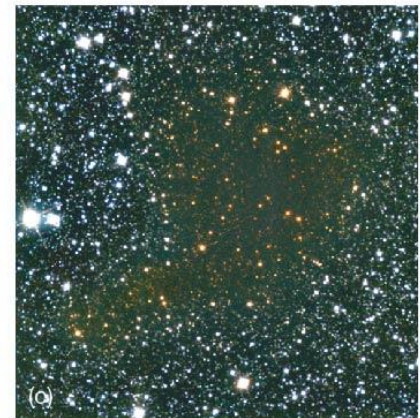
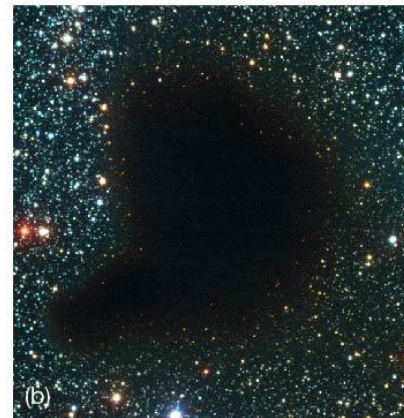
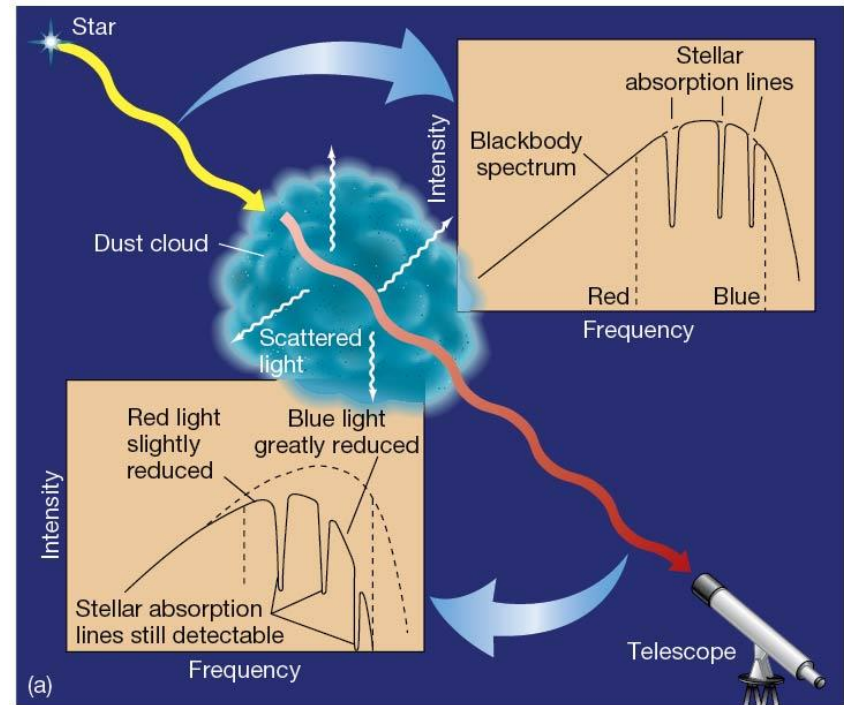
Μεσοαστρική ύλη

- Το διαστρικό μέσο αποτελείται από αέριο και σκόνη.
- Το αέριο είναι άτομα και μικρά μόρια, κυρίως υδρογόνο και ήλιο.
- Η σκόνη μοιάζει περισσότερο με αιθάλη ή καπνό, μεγαλύτερες συστάδες σωματιδίων.
- Η σκόνη απορροφά το φως και κοκκινίζει το φως που περνάει.
- Αυτή η εικόνα δείχνει ευδιάκριτη ερυθρότητα των αστεριών κοντά στην άκρη του νέφους σκόνης.
- Η αναλογία μάζας: το 99% είναι αέριο ή πλάσμα ενώ μόλις το 1% είναι σκόνη. Περίπου τα 3/4 είναι υδρογόνο το 1/4 ήλιο ενώ υπάρχουν ίχνη μετάλλων.



Μεσοαστρική ύλη

- Τα σύννεφα σκόνης διαχέουν περισσότερο το μπλε φως και δεν μετατοπίζουν τις φασματικές γραμμές.



Οπτική κατάταξη αέριων νεφελωμάτων

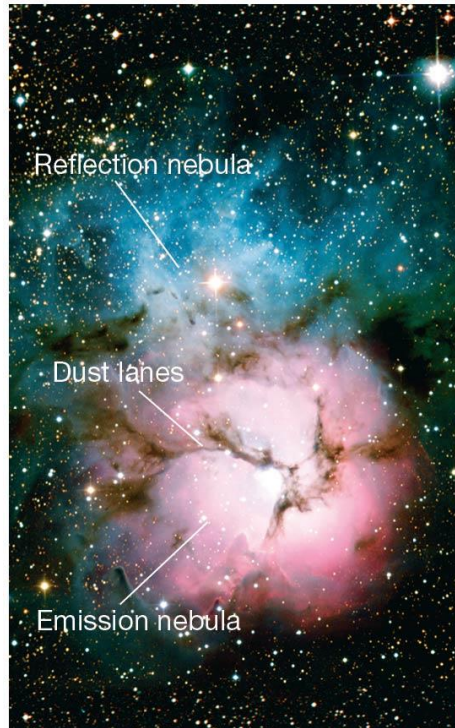
- Νεφέλωμα είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για ασαφή αντικείμενα στον ουρανό.
- Σκοτεινό νεφέλωμα: σύννεφο σκόνης
- Νεφέλωμα εκπομπής: λάμπει, λόγω θερμών αστεριών
- Νεφέλωμα ανάκλασης: το φως από περιεχόμενο αστέρι διαχέεται από σωματίδια σύννεφων



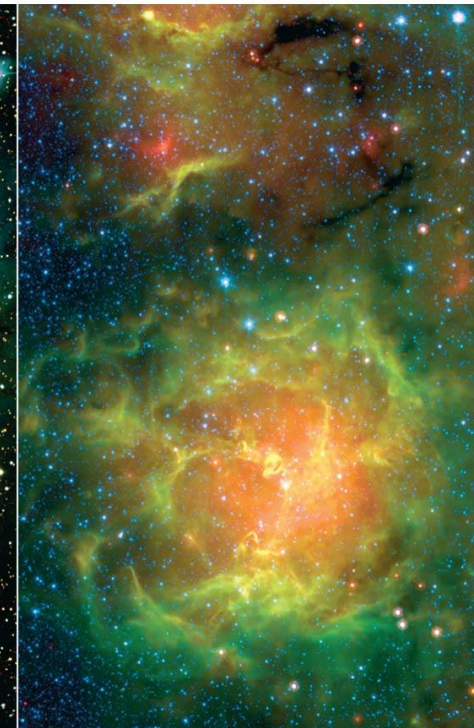
Το σκοτεινό νεφέλωμα
LDN 483 βρίσκεται
περίπου 700 έτη φωτός



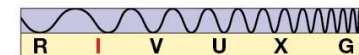
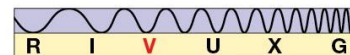
Το Νεφέλωμα «Κεφαλή της Μήδουσας»
(IC2118) στον αστερισμό Ωρίωνα φέγγει
κυρίως με ανακλώμενο φως από τον
γειτονικό αστέρα Ρίγκελ.



(a)



(b)



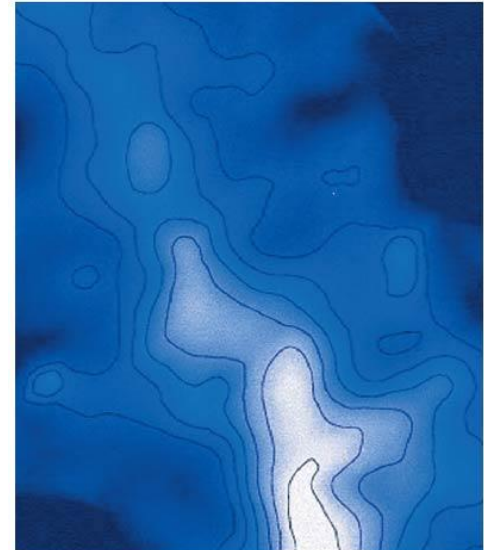
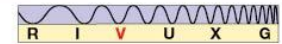
- Ένα **σκοτεινό νεφέλωμα** ή **νεφέλωμα απορρόφησης** είναι ένας τύπος διαστρικού νέφους που είναι τόσο πυκνό ώστε αποκρύπτει το φως από τα αντικείμενα που βρίσκονται πίσω του, όπως τα αστέρια στο βάθος και τα νεφελώματα εκπομπής ή ανάκλασης. Η εξαφάνιση του φωτός προκαλείται από διαστρικούς κόκκους σκόνης που βρίσκονται στα πιο ψυχρά και πιο πυκνά τμήματα μεγαλύτερων μοριακών νεφών. Συστάδες και μεγάλα σύμπλοκα σκοτεινών νεφελωμάτων συνδέονται με τα Γιγάντια Μοριακά Νέφη. Μεμονωμένα μικρά σκοτεινά νεφελώματα αποκαλούνται σφαιρίδια Μποκ. Όπως κάθε άλλη διαστρική σκόνη ή ύλη, τα πράγματα που καλύπτει είναι ορατά μόνο χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα στη ραδιοαστρονομία ή υπέρυθρες στην αστρονομία υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- Τα σκοτεινά νέφη εμφανίζονται έτσι λόγω σωματιδίων σκόνης μεγέθους υπομικρομέτρου, επικαλυμμένα με παγωμένο μονοξείδιο του άνθρακα και άζωτο, τα οποία εμποδίζουν αποτελεσματικά τη διέλευση του φωτός σε ορατά μήκη κύματος. Αυτά τα σύννεφα αποτελούν τους τόπους γέννησης των αστεριών και των πλανητών και η κατανόηση της ανάπτυξής τους είναι απαραίτητη για την κατανόηση του σχηματισμού των αστεριών

Σκοτεινά σύννεφα σκόνης

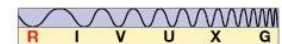
- Η μέση θερμοκρασία των σκοτεινών νεφών σκόνης είναι μερικές δεκάδες kelvins.
- Αυτά τα σύννεφα απορροφούν το ορατό φως (α) και εκπέμπουν ραδιοκύματα (β).



(a)

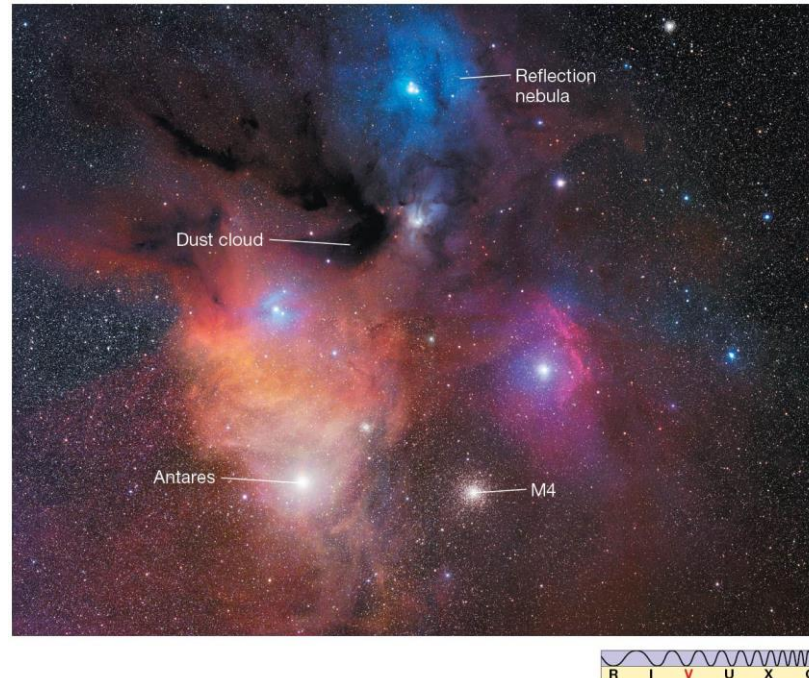


(b)



Σκοτεινά σύννεφα σκόνης

- Το κεντρικό τμήμα αυτού του νέφους είναι πολύ σκοτεινό και μπορεί να φανεί μόνο από την απόκρυψη των αστεριών του υποβάθρου. Σε κοντινή απόσταση υπάρχουν νεφελώματα αντανάκλασης και εκπομπής. Το M4 είναι ένα σφαιρωτό αστρικό σμήνος.



Σκοτεινά σύννεφα σκόνης

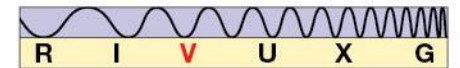
- Το νεφέλωμα Horsehead είναι ένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικό σκοτεινό σύννεφο σκόνης.



(a)

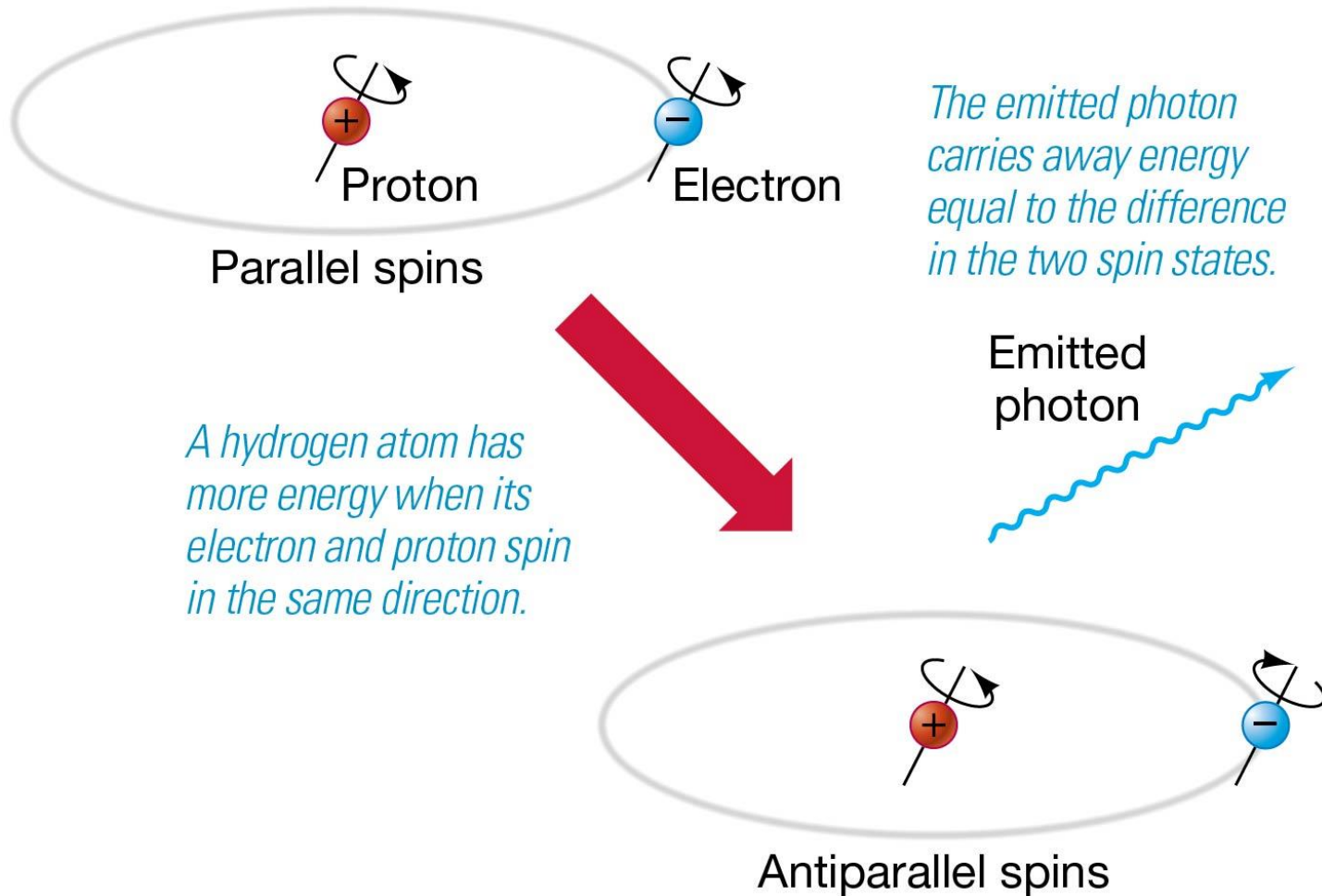


(b)



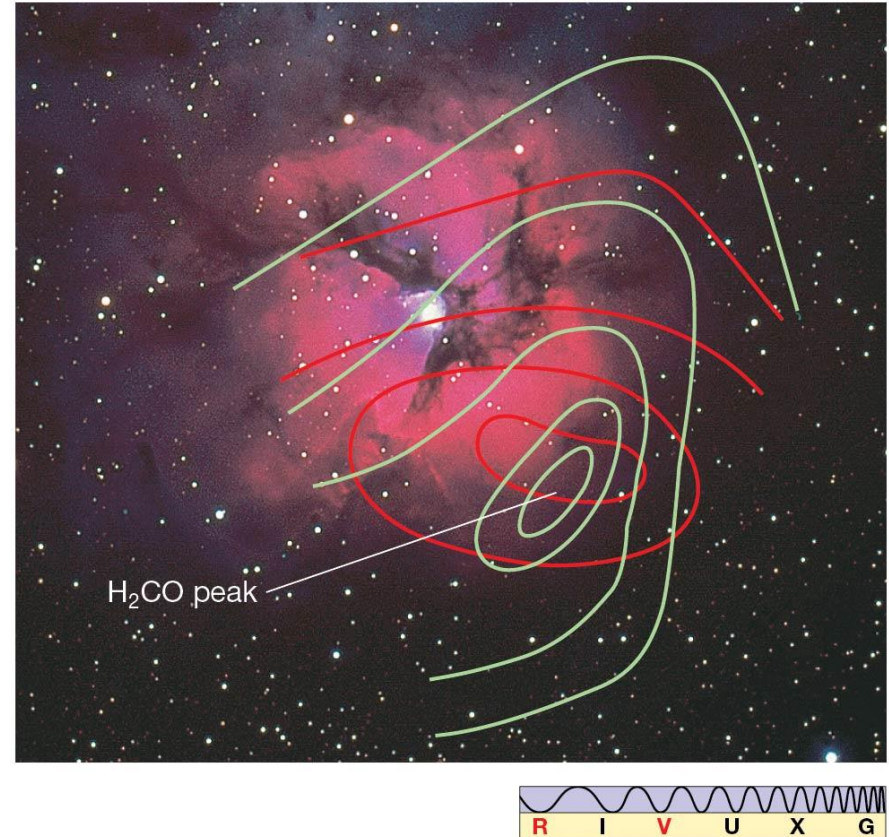
Σκοτεινά σύννεφα σκόνης

- Το διαστρικό αέριο εκπέμπει ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας λόγω μετάβασης στο άτομο υδρογόνου.



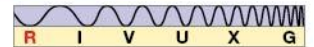
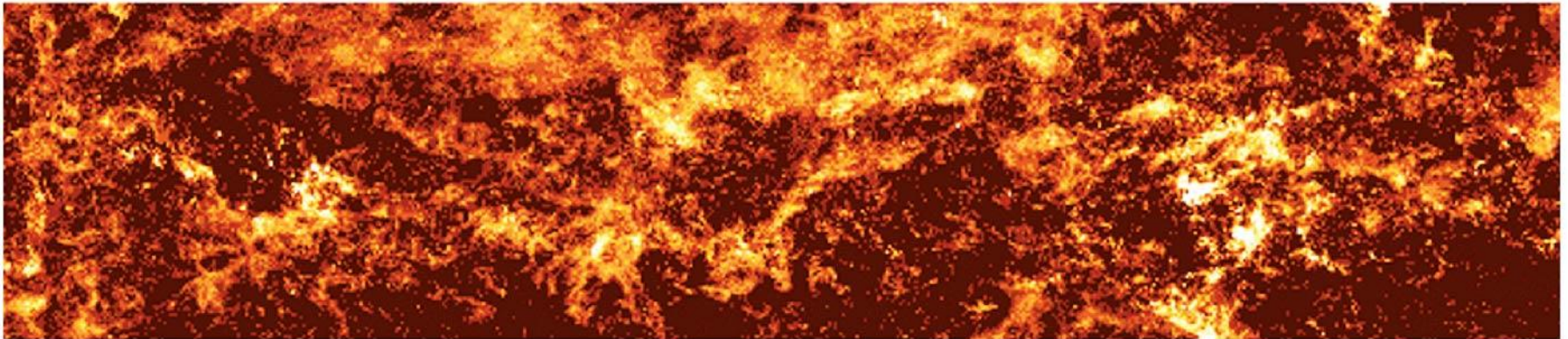
Σκοτεινά σύννεφα σκόνης

- Αυτός είναι ένας χάρτης περιγράμματος του H_2CO κοντά στο νεφέλωμα M20. Άλλα μόρια που μπορούν να είναι χρήσιμα για τη χαρτογράφηση αυτών των νεφών είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό.
- Εδώ, οι κόκκινες και πράσινες γραμμές αντιστοιχούν σε διαφορετικές περιστροφικές μεταβάσεις.



Σκοτεινά σύννεφα σκόνης

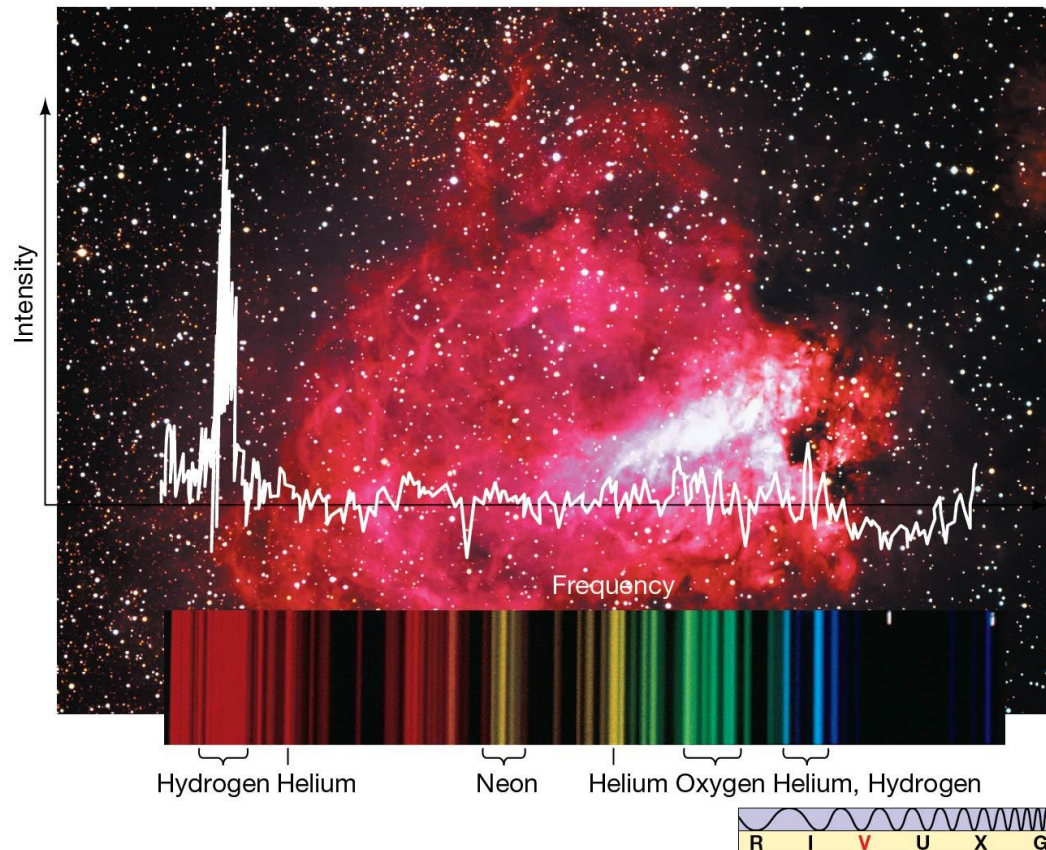
- Αυτά είναι σύννεφα που αντιστοιχούν σε μονοξείδιο του άνθρακα στον εξωτερικό Γαλαξία μας, πιθανώς αντιστοιχούν σε περιοχές σχηματισμού αστεριών.



Νεφελώματα ανάκλασης

- Τα **νεφελώματα ανάκλασης** είναι διαστρικά νέφη σκόνης και αερίου, τα οποία ανακλούν το φως ενός ή περισσότερων γειτονικών αστερών. Είναι δηλαδή ετερόφωτα. Τα φωτόνια των γειτονικών αστερών δεν έχουν επαρκή ενέργεια ή δεν διεισδύουν αρκετά στη σκόνη, ώστε να ιονίσουν το αέριο των νεφελωμάτων αυτών και να τα καταστήσουν νεφελώματα εκπομπής, αλλά αρκούν για να καταστήσουν ορατή τη σκόνη τους σκεδαζόμενα από αυτή. Το φάσμα των νεφελωμάτων ανακλάσεως είναι έτσι παρόμοιο με αυτά των αστερών που τα φωτίζουν. Μεταξύ των μικροσκοπικών σωματιδίων που ευθύνονται για τη σκέδαση συγκαταλέγονται ανθρακούχα (π.χ. σκόνη διαμαντιού) και μεταλλικά (κυρίως σιδήρου και νικελίου). Τα δεύτερα ευθυγραμμίζονται συχνά με το γαλαξιακό μαγνητικό πεδίο, με αποτέλεσμα το σκεδαζόμενο φως να είναι ελαφρώς πολωμένο.

- Τα νεφελώματα εκπομπής είναι κατασκευασμένα από θερμό, οπτικά λεπτό αέριο (διαφανές), το οποίο παρουσιάζει ξεχωριστές γραμμές εκπομπής.
- Τα νεφελώματα εκπομπής γενικά λάμπουν κόκκινα - αυτή είναι η γραμμή υδρογόνου $H\alpha$.



Περιοχές σχηματισμού αστεριών

- Υπάρχει μια ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ του νεφελώματος και των αστεριών μέσα σε αυτό.



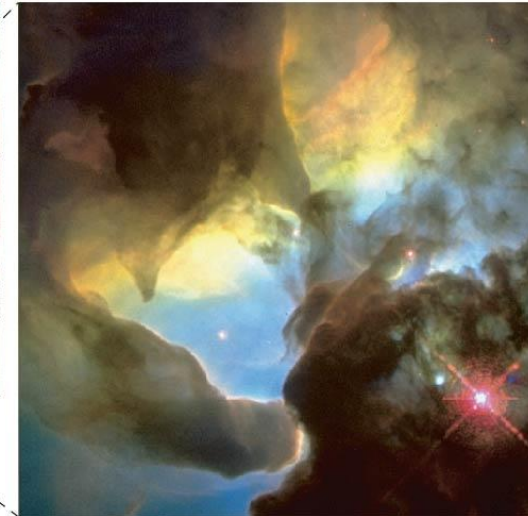
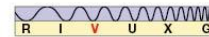
(a)



(b)



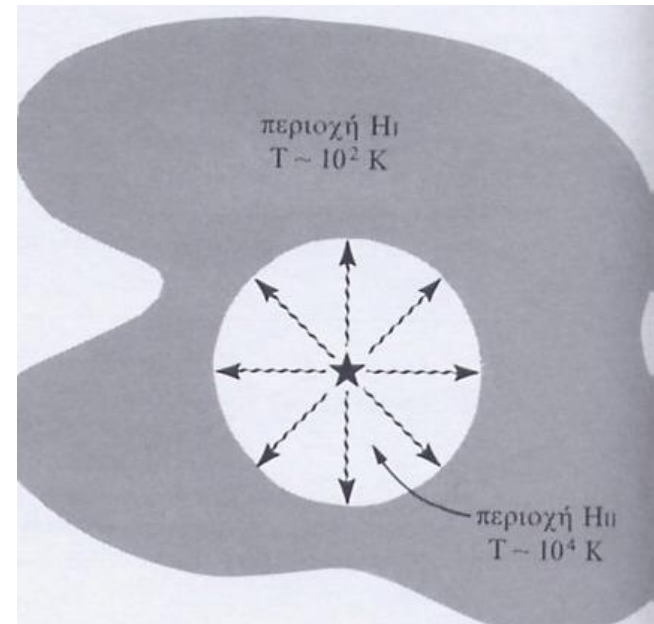
(c)



(d)

Σφαίρα Strömgren

- Έτσι ονομάζεται ο αποτελούμενος από ιονισμένο υδρογόνο, σφαιρικός χώρος, που περικλείει έναν νεογέννητο αστέρα, σε ένα νέφος μεσοαστρικής ύλης. Ο χώρος αυτός αποτελούνταν αρχικά από ουδέτερο υδρογόνο το οποίο ιονίστηκε από τη ροή υπεριωδών φωτονίων του αστέρα. Ο αστέρας που το προκάλεσε αυτό ονομάζεται Ιονίζων ή Διεγείρων Αστέρας.



Άσκηση 13^η

- Έστω αστέρας που παράγει υπεριώδη φωτόνια ενέργειας μεγαλύτερη από 13.6eV(ενέργεια ιονισμού) με ρυθμό N και περιβάλλεται από σφαιρική κατανομή υδρογόνου όπου ο ρυθμός επανασύνδεσης είναι $R=\alpha n_e^2$.
- Υπολογίστε την ακτίνα της σφαίρας Strömgren, για τις περιπτώσεις όπου $\alpha=3 \cdot 10^{-19}\text{m}^3/\text{s}$, $n_e=10^7 \text{ m}^{-3}$ και
- $N=3 \cdot 10^{49}$ φωτόνια/s σε αστέρες O5
- $N=4 \cdot 10^{46}$ φωτόνια/s σε αστέρες B0
- $N=1 \cdot 10^{39}$ φωτόνια/s σε αστέρες G2

Το νεφέλωμα του καρκίνου

Το 1844 ο λόρδος Rosse ανακάλυψε το εντυπωσιακότερο νεφέλωμα εκπομπής στον γαλαξία μας.

Βρίσκεται στον αστερισμό του Ταύρου και επειδή έχει το σχήμα καβουριού, ονομάζεται νεφέλωμα του Καρκίνου (M1, NGC1952).

Πρόέκυψε πως διαστέλλεται και η διαστολή του

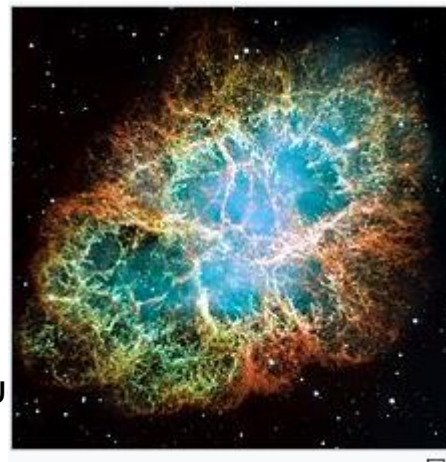
Άρχισε περίπου πριν 9-10 αιώνες.

Τότε, στις 4-7-1054 έως τις 17-4-1056 κινέζοι αστρονόμοι κατέγραψαν «επισκέπτη», δηλαδή ένα supernovae.

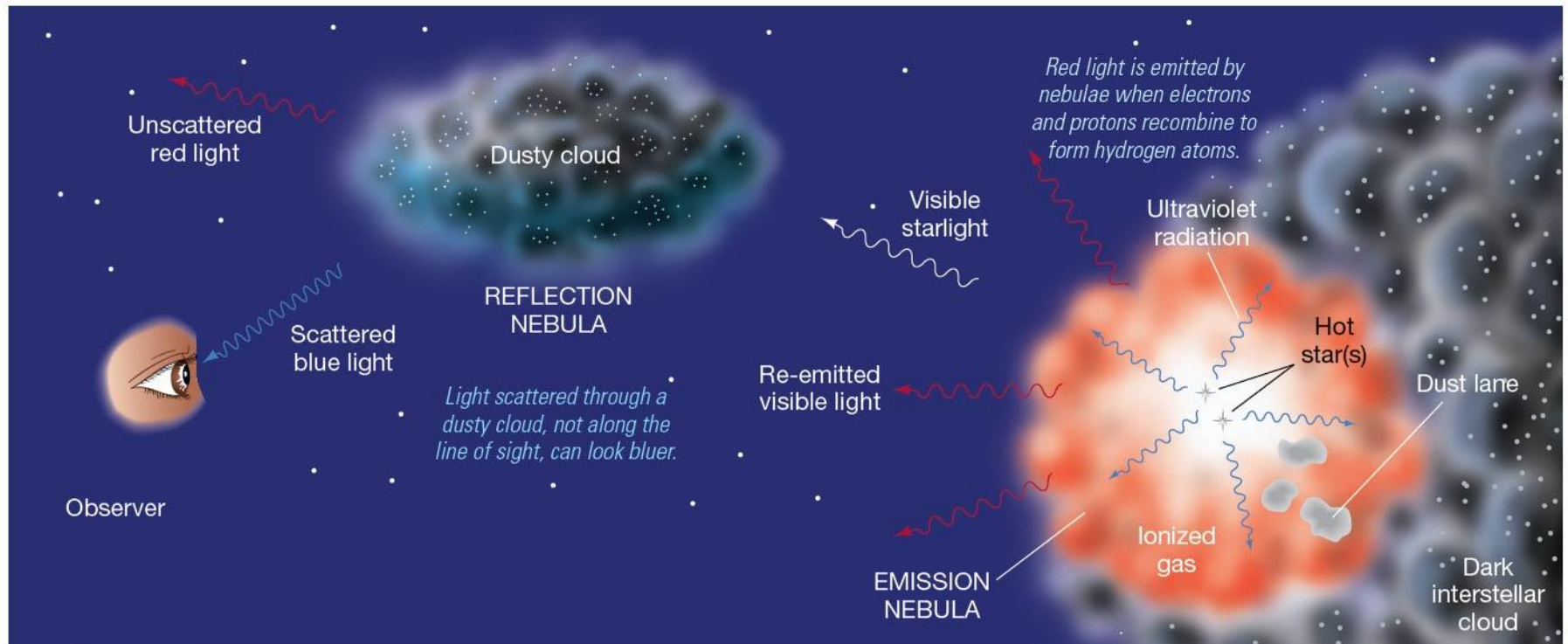
Παράλληλα από το νεφέλωμα παρατηρείται και πολωμένη ραδιοφωνική ακτινοβολία που αποδείχθηκε πως προέρχεται από αστέρα νετρονίων με διάμετρο 20 περίπου χιλιομέτρων που ανακαλύφθηκε το 1968.

Ήταν η πρώτη παρατήρηση πάλσαρ σε υπόλειμμα υπερκαινοφανούς, μια θεμελιώδης ανακάλυψη για την εξήγηση του φαινομένου των πάλσαρ ως αστέρων νετρονίων.

Ο πάλσαρ του Καρκίνου έχει περίοδο περιστροφής 33 χιλιοστά του δευτερολέπτου και οι δέσμες ακτινοβολίας που εκπέμπονται αλληλεπιδρούν με τα αέρια του νεφελώματος προκαλώντας περίπλοκες μορφές ακτινοβολίας συγχρότρων και φθορισμού.

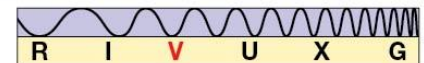
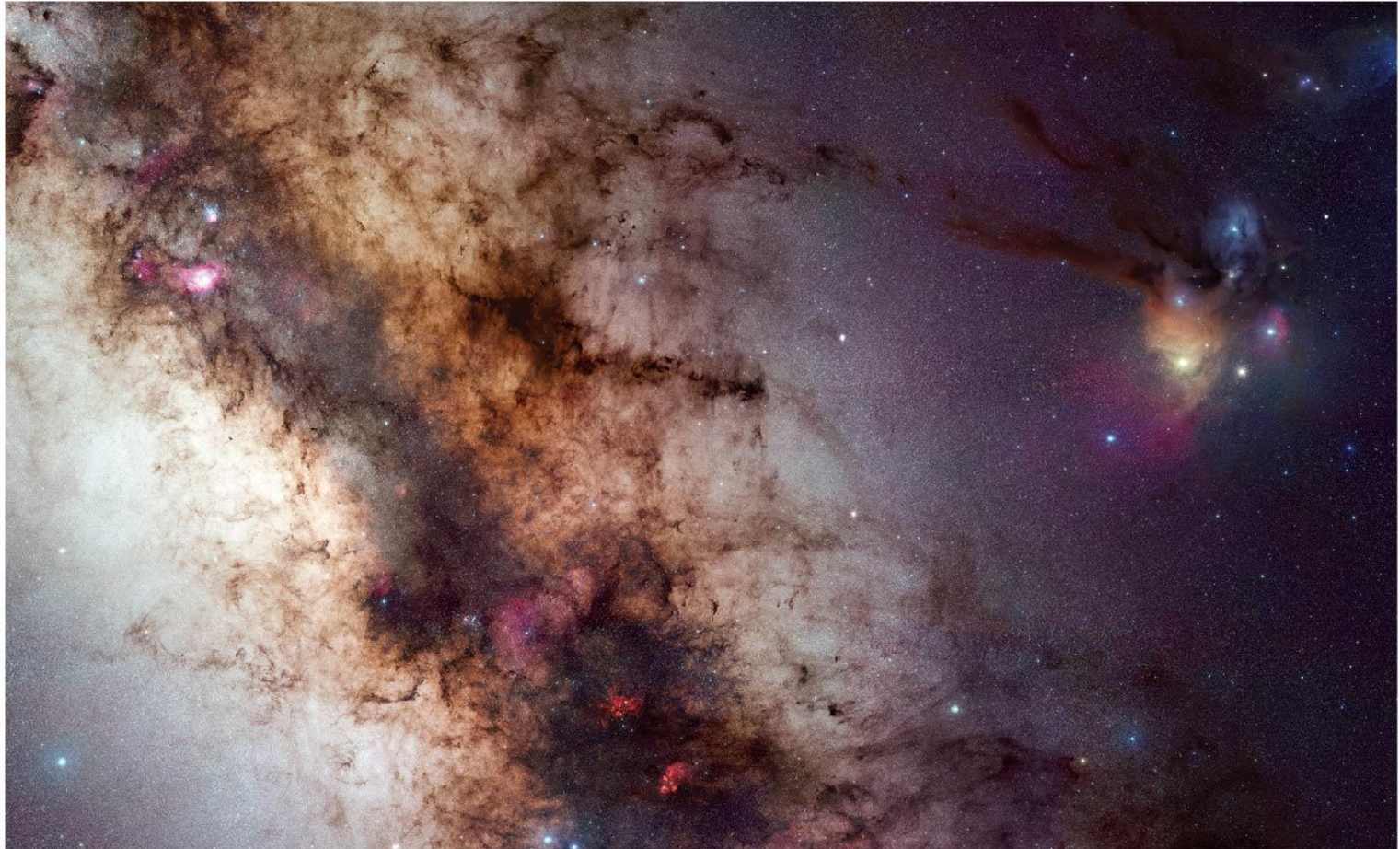


- Πώς λειτουργούν τα νεφελώματα



Περιοχές σχηματισμού αστεριών

- Αυτό είναι το κεντρικό τμήμα του Γαλαξία μας, που δείχνει αρκετά νεφελώματα, περιοχές σχηματισμού αστεριών.



Περιοχές σχηματισμού αστεριών

- Αυτά τα νεφελώματα είναι πολύ μεγάλα και έχουν πολύ χαμηλή πυκνότητα. Το μέγεθός τους σημαίνει ότι οι μάζες τους είναι μεγάλες παρά τη χαμηλή πυκνότητα.

TABLE 11.1 Nebular Properties

Object	Approx Distance (pc)	Average Diameter (pc)	Density (10^6 particles/m ³)	Mass (Solar Masses)	Temperature (K)
M8	1200	14	80	2600	7500
M16	1800	8	90	600	8000
M17	1500	7	120	500	8700
M20	1600	6	100	250	8200

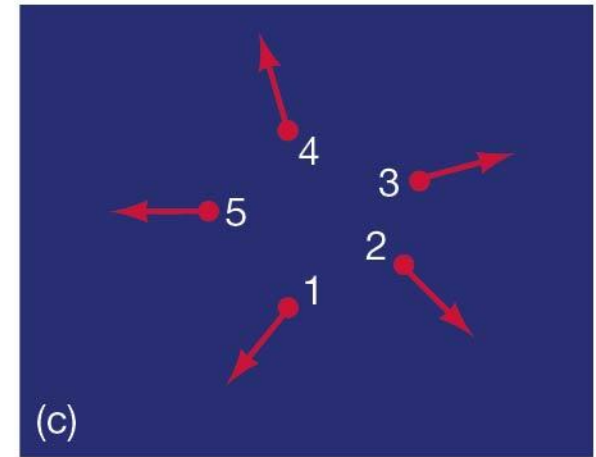
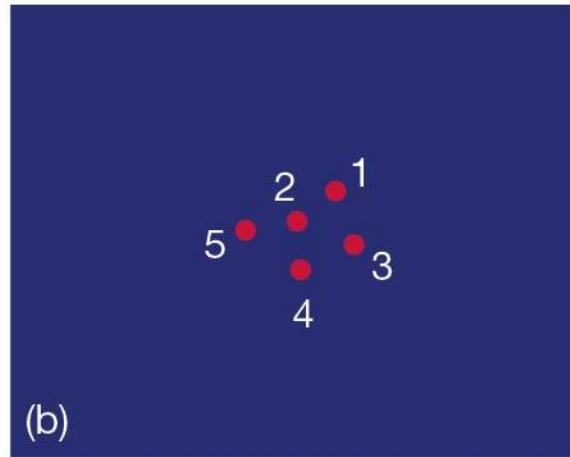
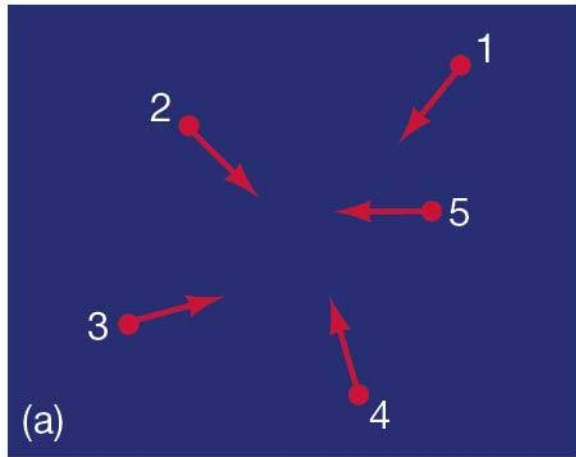
Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Ο σχηματισμός αστεριών συμβαίνει όταν μέρος ενός νέφους σκόνης αρχίζει να συστέλλεται κάτω από τη δική του βαρυτική δύναμη. Καθώς καταρρέει, το κέντρο γίνεται όλο και θερμότερο μέχρι να αρχίσει η πυρηνική σύντηξη στον πυρήνα.



Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Όταν κοιτάζουμε μόνο μερικά άτομα, η βαρυτική δύναμη δεν είναι αρκετά ισχυρή για να ξεπεράσει την τυχαία θερμική κίνηση.



If more than a few atoms interact, the group would come together, start to slide by, but then pause, and finally contract into a clump.

Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Τα αστέρια περνούν από διάφορα στάδια στη διαδικασία σχηματισμού από ένα διαστρικό νέφος.

TABLE 11.2 Prestellar Evolution of a Sun-like Star

Stage	Approximate Time to Next Stage (yr)	Central Temperature (K)	Surface Temperature (K)	Central Density (particles/m ³)	Diameter ¹ (km)	Object
1	2×10^6	10	10	10^9	10^{14}	Interstellar cloud
2	3×10^4	100	10	10^{12}	10^{12}	Cloud fragment
3	10^{15}	10,000	100	10^{18}	10^{10}	Cloud fragment/protostar
4	10^6	1,000,000	3000	10^{24}	10^8	Protostar
5	10^7	5,000,000	4000	10^{28}	10^7	Protostar
6	2×10^6	10,000,000	4500	10^{31}	2×10^6	Star
7	10^{10}	15,000,000	6000	10^{32}	1.5×10^6	Main-sequence star

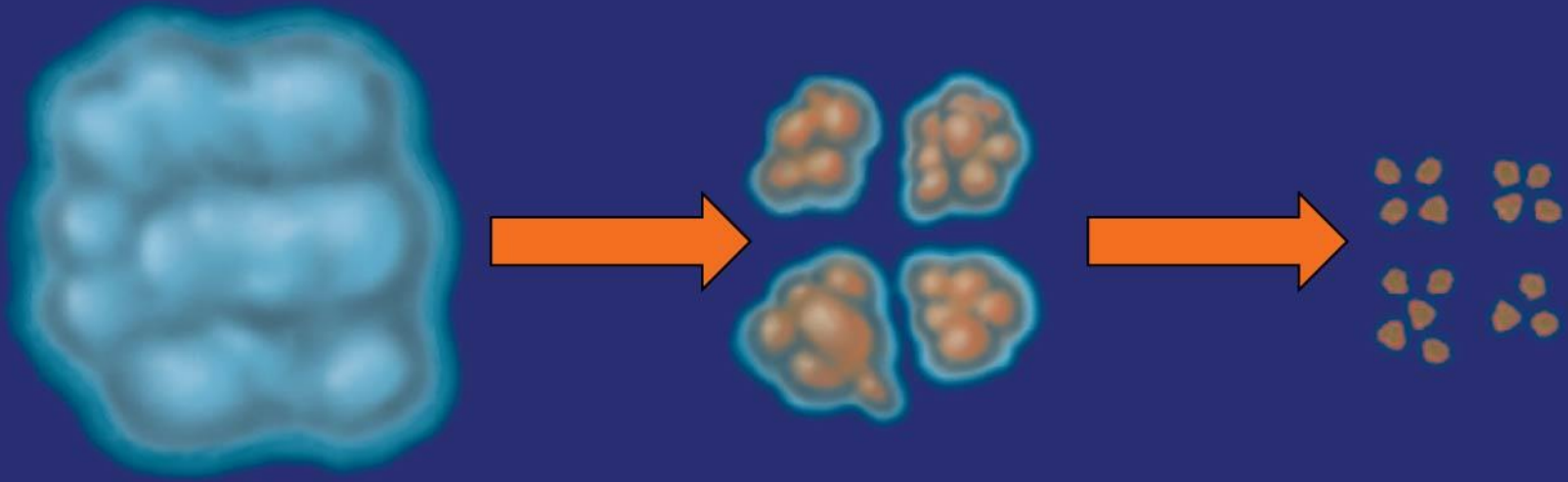
¹For comparison, recall that the diameter of the Sun is 1.4×10^6 km and that of the solar system roughly 1.5×10^{10} km.

Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- **Stage 1:**

- Το διαστρικό νέφος αρχίζει να συστέλλεται, πιθανώς προκαλούμενο από σοκ ή κύμα πίεσης από ένα κοντινό αστέρι. Καθώς συστέλλεται, το σύννεφο κατακερματίζεται σε μικρότερα κομμάτια.

In reality, no interstellar cloud ever fragments this neatly; it's usually a mess.

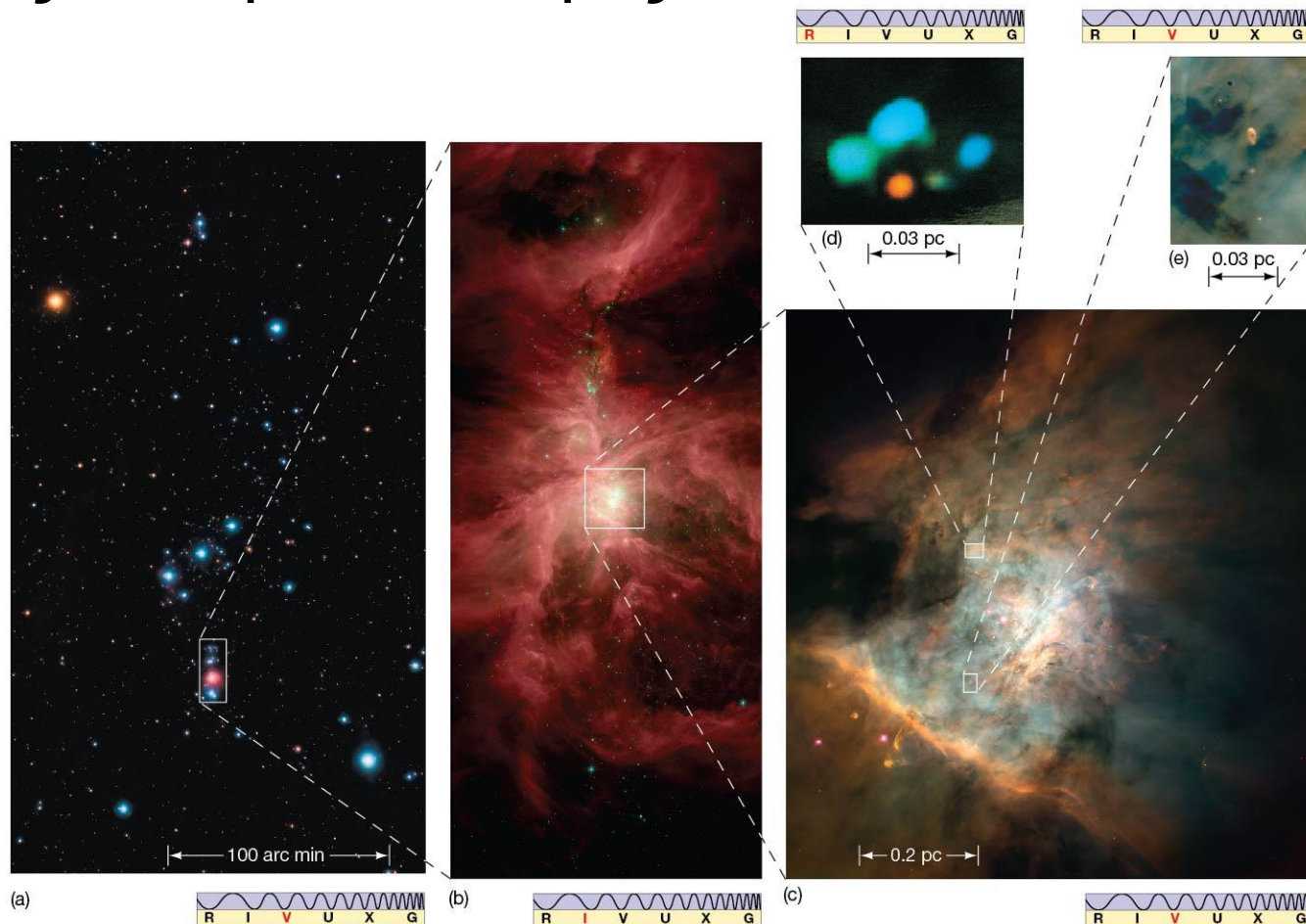


Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- **Stage 2:**
 - Μεμονωμένα θραύσματα σύννεφων αρχίζουν να καταρρέουν. Μόλις η πυκνότητα είναι αρκετά υψηλή, δεν υπάρχει περαιτέρω κατακερματισμός.
- **Stage 3:**
 - Το εσωτερικό του θραύσματος έχει αρχίσει να θερμαίνεται και είναι περίπου 10.000 K.
 -

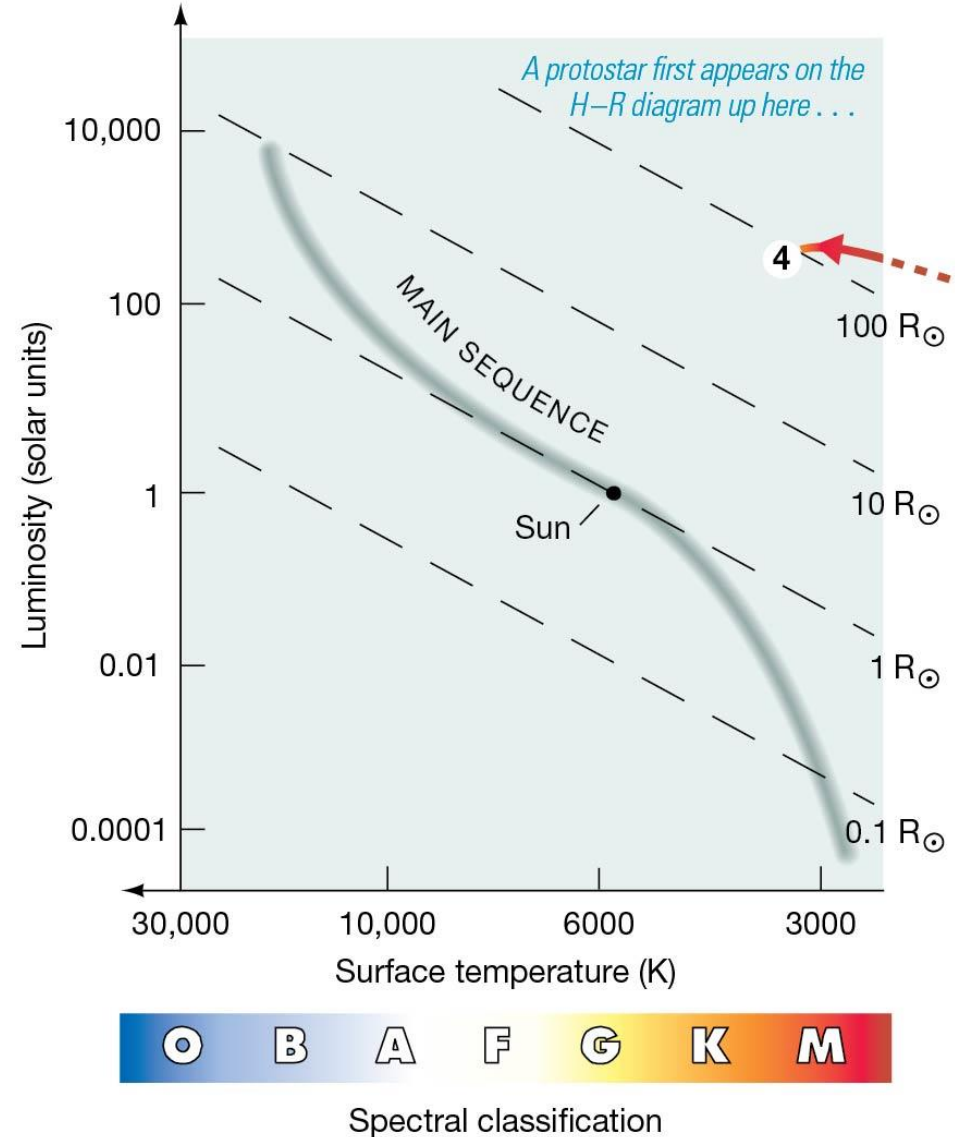
Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Το νεφέλωμα του Ωρίωνα πιστεύεται ότι περιέχει διαστρικά νέφη στη διαδικασία συμπύκνωσης, καθώς και πρωταστέρες.



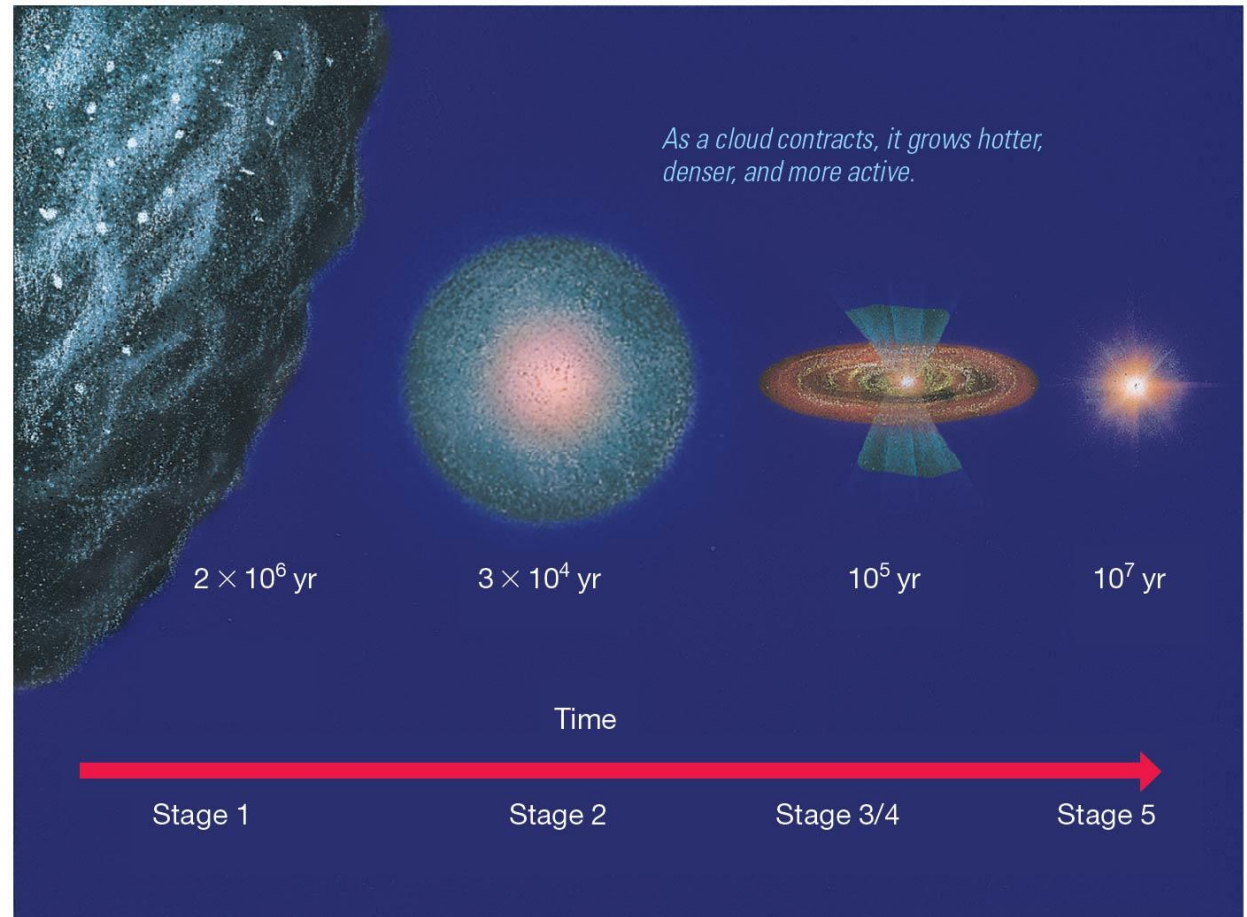
Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- **Stage 4:**
 - Ο πυρήνας του νέφους είναι τώρα ένας πρωταστέρας και κάνει την πρώτη του εμφάνιση στο διάγραμμα H-R.



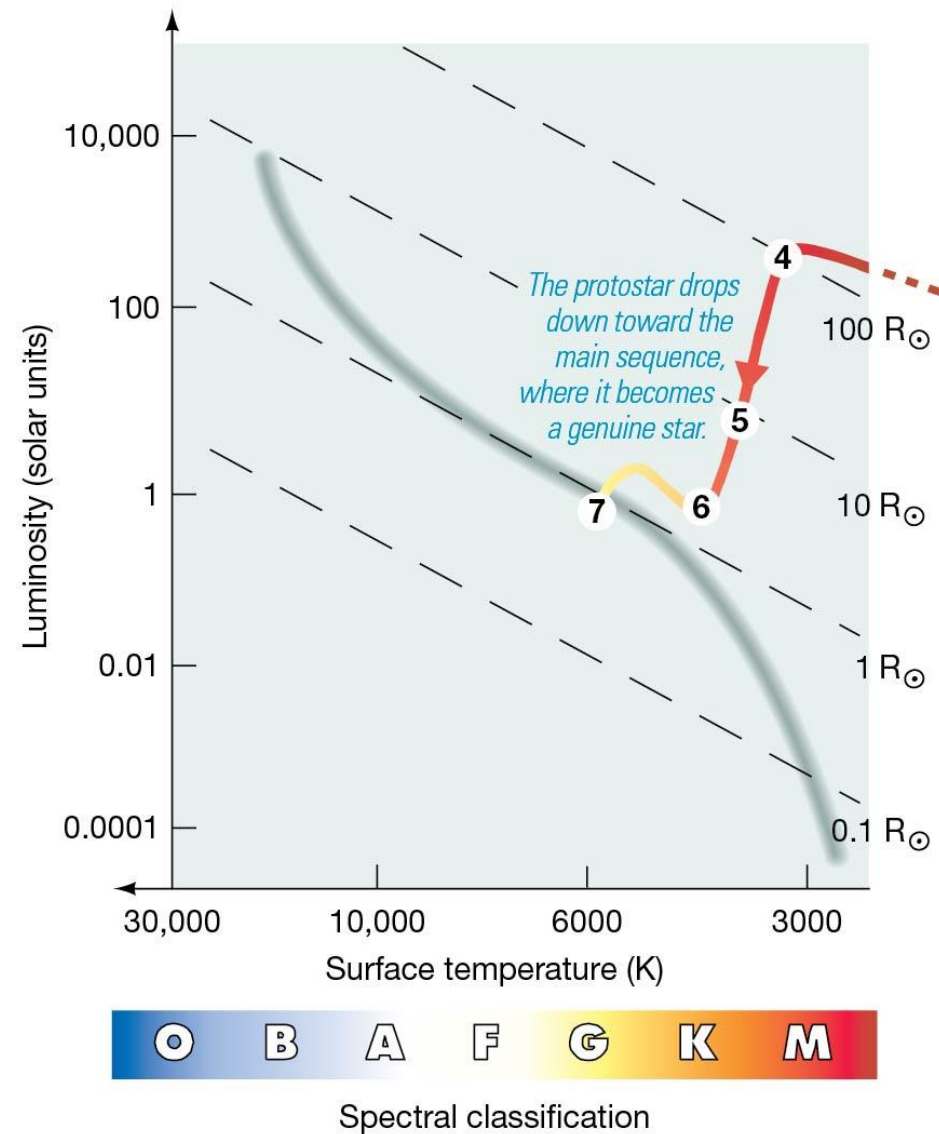
Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Ο πλανητικός σχηματισμός έχει αρχίσει, αλλά ο πρωταστέρας δεν είναι ακόμα σε ισορροπία – όλη η θέρμανση προέρχεται από τη βαρυτική κατάρρευση.



Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Τα τελευταία στάδια μπορούν να ακολουθηθούν στο διάγραμμα H–R:
- Η φωτεινότητα του πρωταστέρα μειώνεται ακόμη και όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του, επειδή γίνεται όλο και πιο συμπαγής.



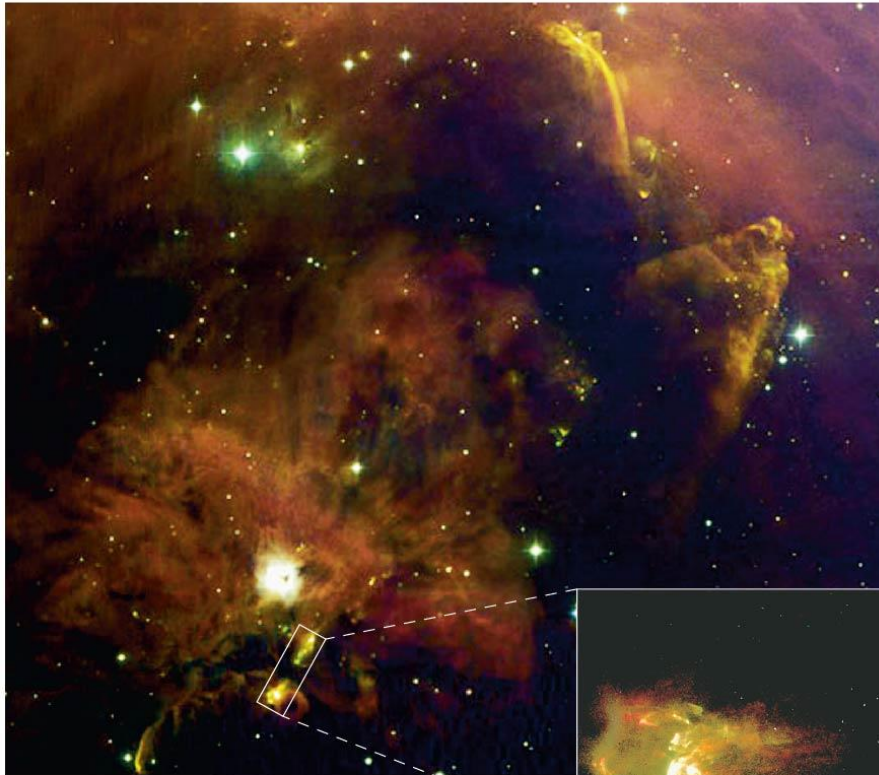
Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Στο στάδιο 6, ο πυρήνας φτάνει τα 10 εκατομμύρια Kelvins και αρχίζει η πυρηνική σύντηξη. Ο πρωτοαστέρας έχει γίνει αστέρι.
- Το αστέρι συνεχίζει να συστέλλεται και να αυξάνεται σε θερμοκρασία, μέχρι να βρεθεί σε ισορροπία. Αυτό είναι το στάδιο 7. Το αστέρι έχει φτάσει στην κύρια ακολουθία και θα παραμείνει εκεί όσο έχει υδρογόνο για να συντηχθεί στον πυρήνα του.

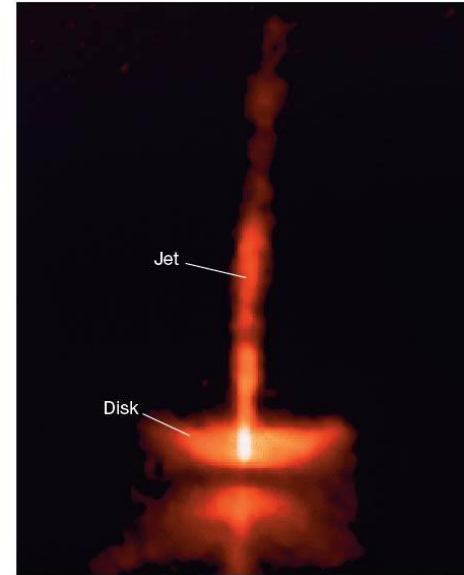


Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

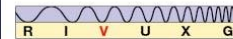
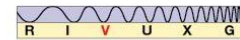
- Αυτοί οι πίδακες εκπέμπονται καθώς το υλικό συμπυκνώνεται σε ένα πρωταστέρα.



(b)



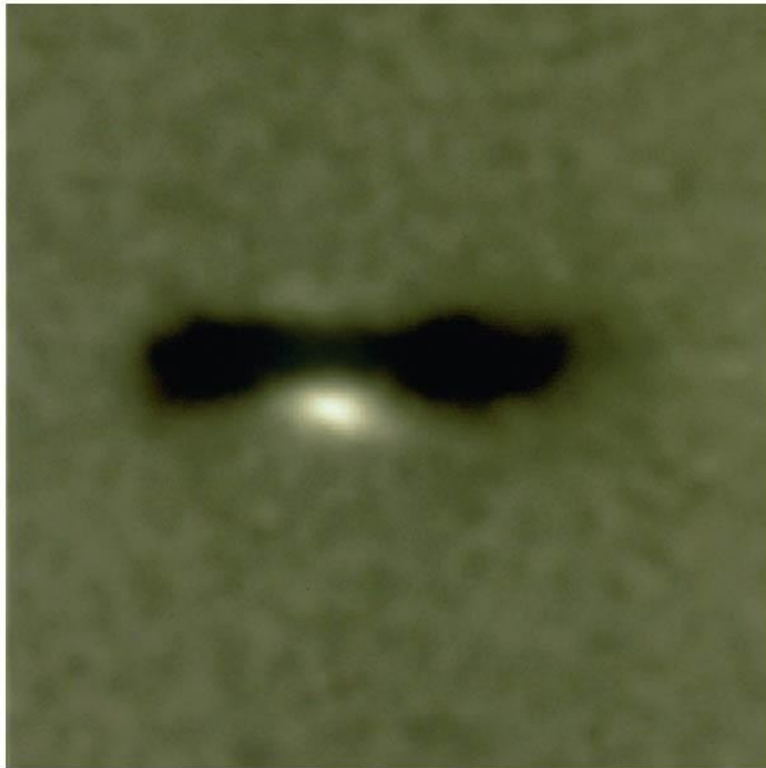
(a)



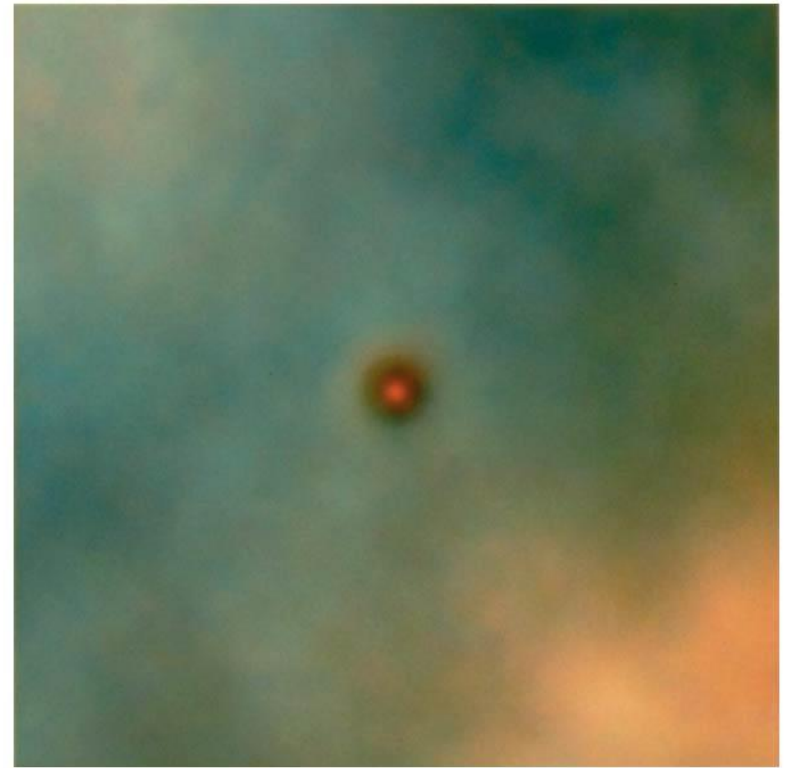
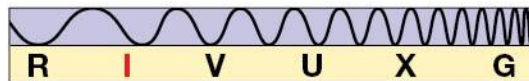
Ο σχηματισμός αστεριών όπως ο ήλιος

- Πρωταστέρες που βρίσκονται στον Ωρίωνα.

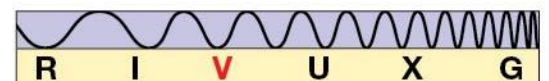
•



(a)

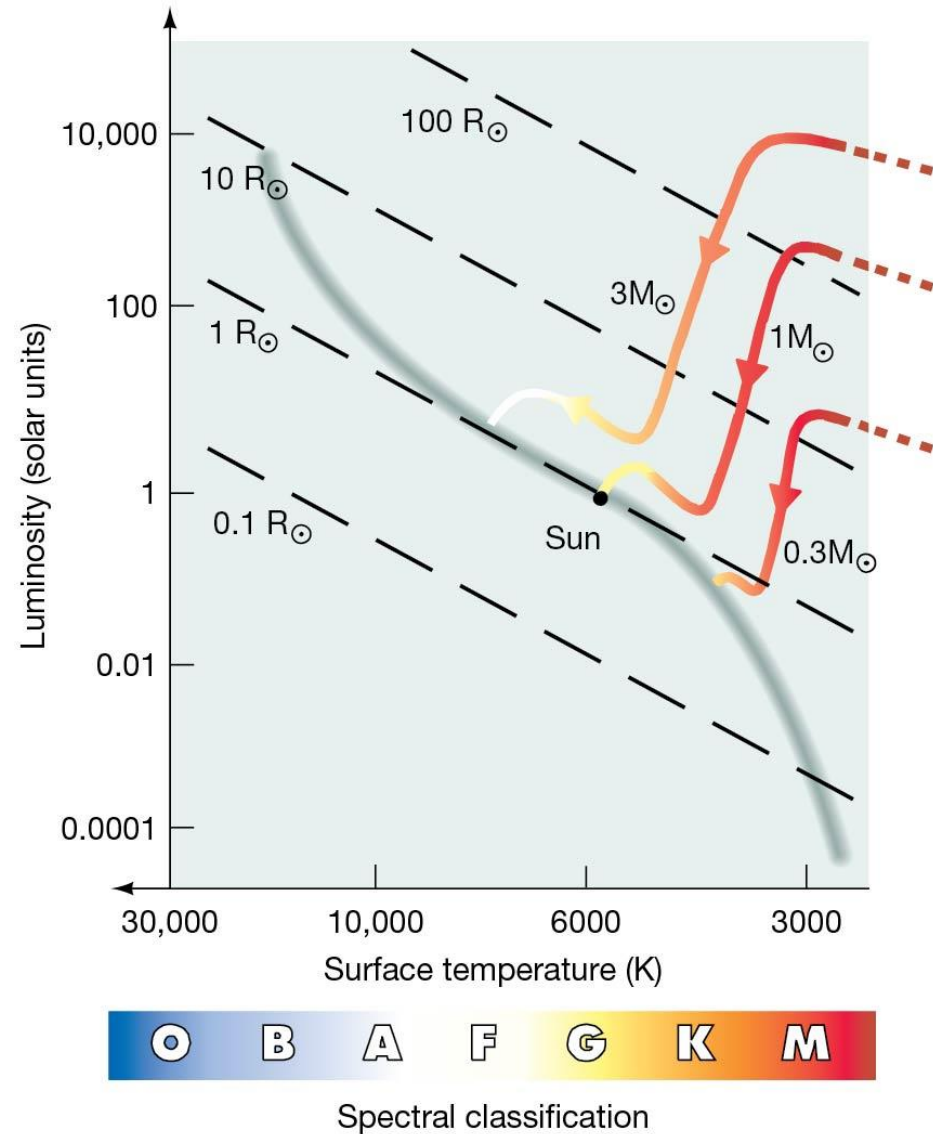


(b)



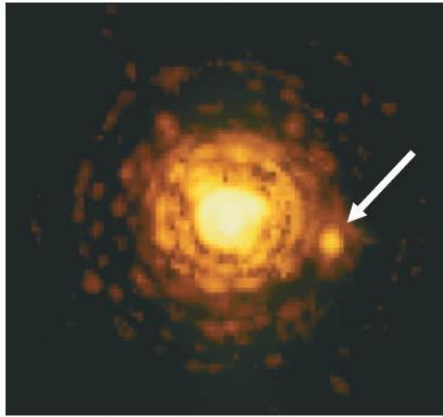
Αστέρια άλλων μαζών

- Αυτό το διάγραμμα H-R δείχνει την εξέλιξη των άστρων κάπως περισσότερο και κάπως λιγότερο μαζικά από τον Ήλιο. Το σχήμα των διαδρομών είναι παρόμοιο, αλλά καταλήγουν σε διαφορετικά σημεία στην κύρια ακολουθία.

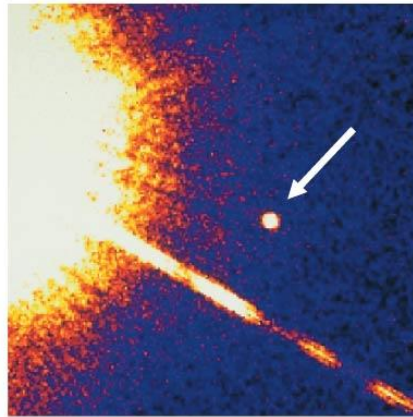


Αστέρια άλλων μαζών

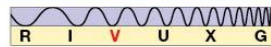
- Εάν η μάζα του αρχικού θραύσματος του νεφελώματος είναι πολύ μικρή, η πυρηνική σύντηξη δεν θα ξεκινήσει ποτέ. Αυτά τα «αποτυχημένα αστέρια» ονομάζονται καφέ νάνοι.



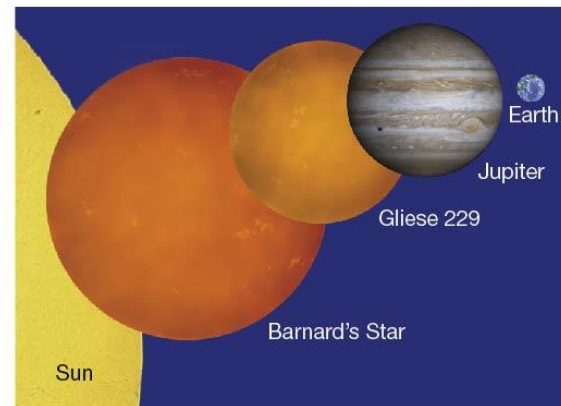
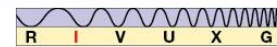
(a)



(b)

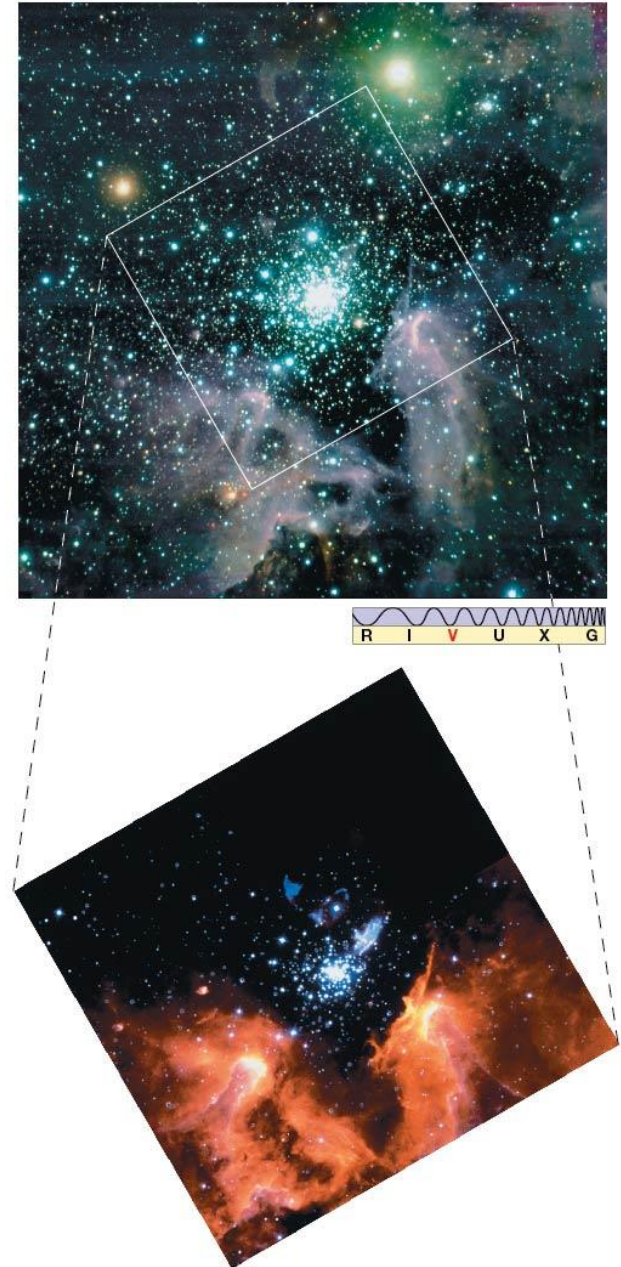


(c)



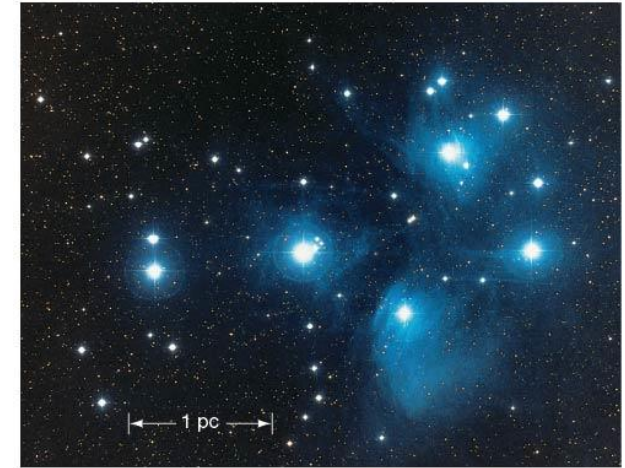
Αστρικά Σμήνη

- Επειδή ένα μόνο διαστρικό νέφος μπορεί να παράγει πολλά αστέρια της ίδιας ηλικίας και σύνθεσης, τα αστρικά σμήνη είναι ένας εξαιρετικός τρόπος για να μελετηθεί η επίδραση της μάζας στην αστρική εξέλιξη.

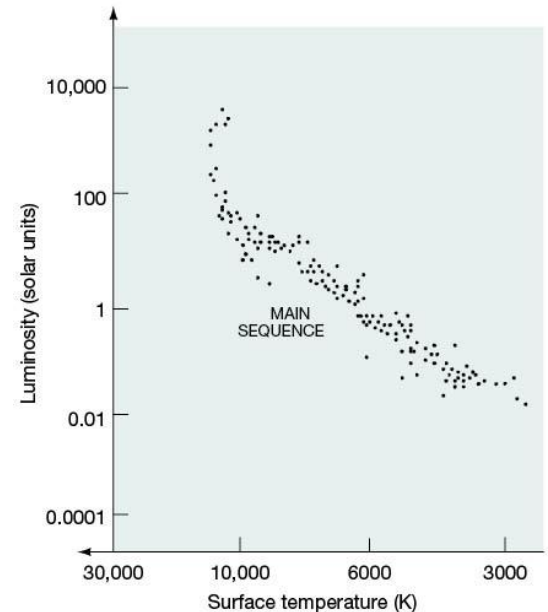


Αστρικά Σμήνη

- Αυτό είναι ένα νεαρό αστρικό σμήνος που ονομάζεται Πλειάδες. Το διάγραμμα H-R των αστεριών του βρίσκεται στα δεξιά. Αυτό είναι ένα παράδειγμα ανοιχτού συμπλέγματος.



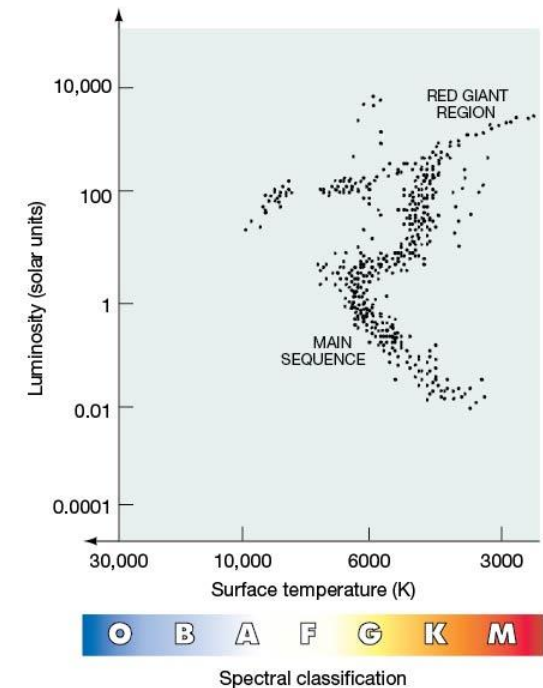
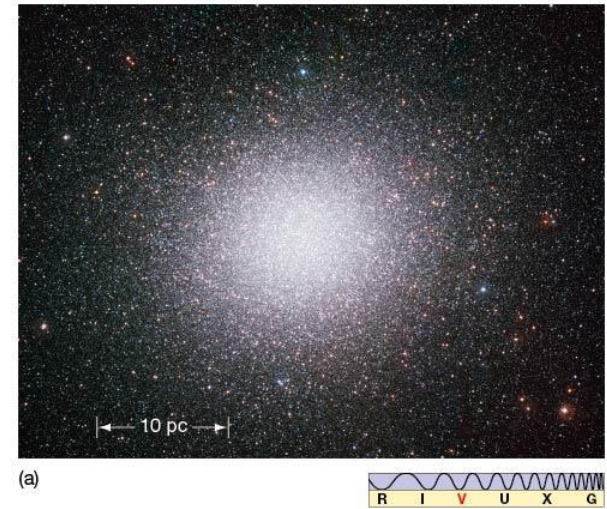
(a)



(b)

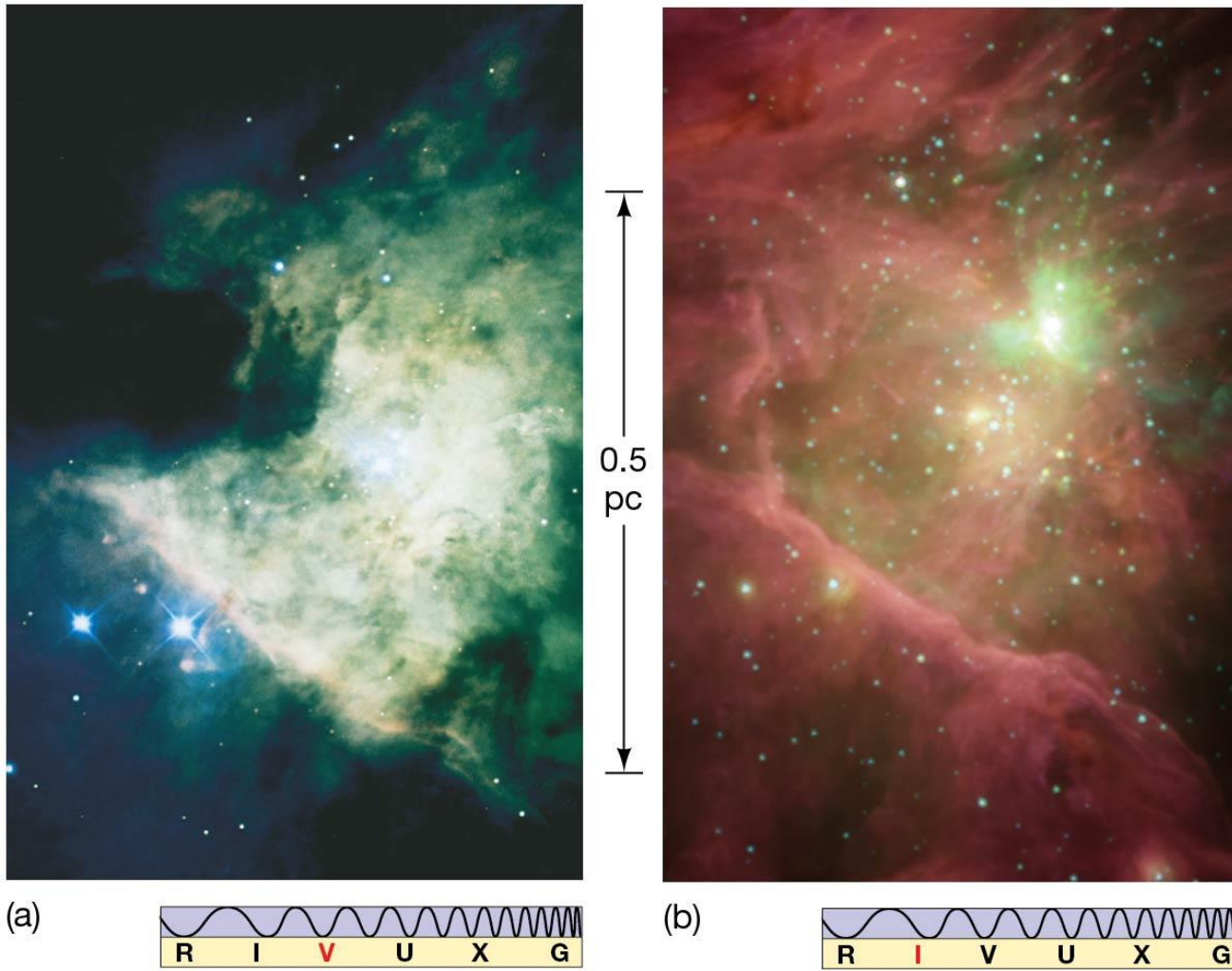
Αστρικά Σμήνη

- Αυτό είναι ένα σφαιρωτό σμήνος - σημειώστε την απουσία μαζικών αστέρων κύριας ακολουθίας και την πυκνοκατοικημένη περιοχή του ερυθρού γίγαντα.



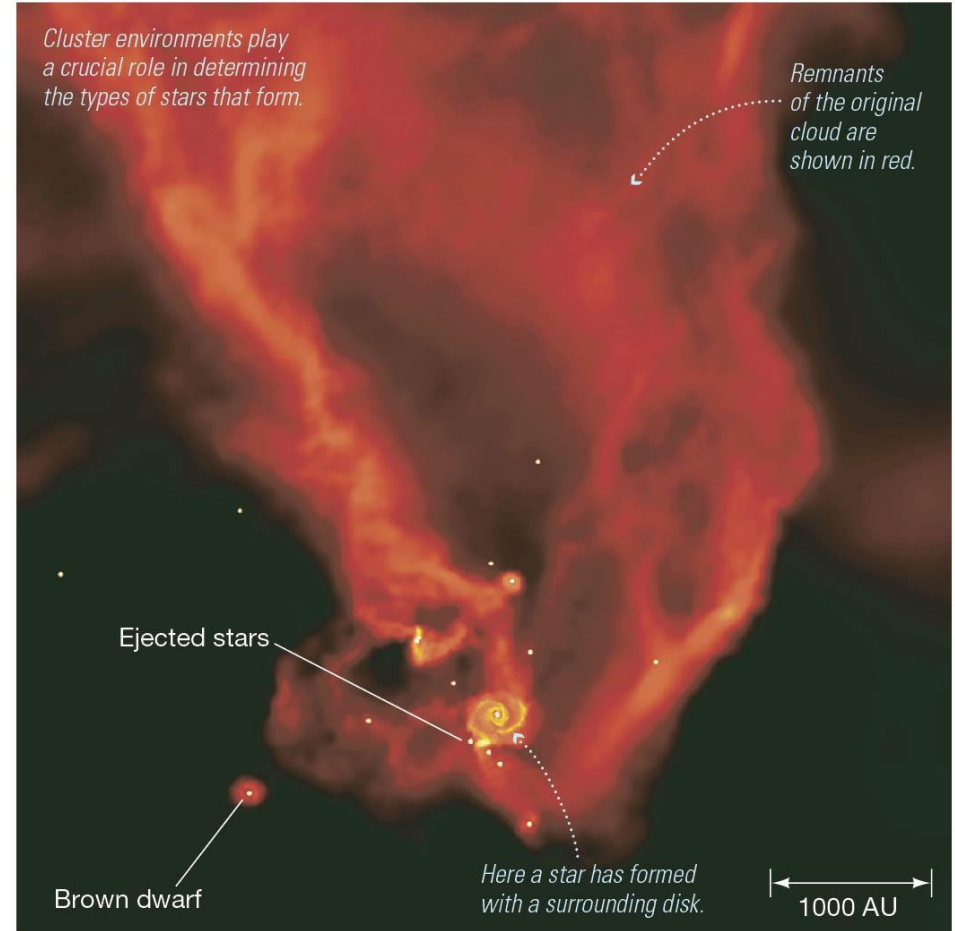
Αστρικά Σμήνη

- Αυτές οι εικόνες πιστεύεται ότι δείχνουν ένα αστρικό σμήνος στη διαδικασία σχηματισμού μέσα στο νεφέλωμα του Ωρίωνα.



Αστρικά Σμήνη

- Τα αστέρια Ο και Β μπορούν να επηρεάσουν βαθιά το αστρικό τους σμήνος, καθώς μπορούν να απομακρύνουν τη σκόνη και το αέριο πριν προλάβει να καταρρεύσει.
- Αυτή είναι μια προσομοίωση ενός τέτοιου συμπλέγματος.
-



- Το διαστρικό μέσο αποτελείται από αέριο και σκόνη.
- Τα νεφελώματα εκπομπής είναι ζεστά, λαμπερά αέρια που σχετίζονται με το σχηματισμό μεγάλων αστεριών.
- Τα σκοτεινά σύννεφα σκόνης, ειδικά τα μοριακά σύννεφα, είναι πολύ κρύα. Μπορούν να είναι η αρχή του σχηματισμού αστεριών.
- Τα σκοτεινά νέφη μπορούν να μελετηθούν χρησιμοποιώντας τη γραμμή εκπομπής μοριακού υδρογόνου 21 cm.
- Ο σχηματισμός αστεριών αρχίζει με κατακερματισμένα, καταρρέοντα σύννεφα σκόνης και αερίου.

- Το θραύσμα του νέφους καταρρέει λόγω της δικής του βαρύτητας και η θερμοκρασία και η φωτεινότητα του αυξάνονται. Όταν ο πυρήνας είναι αρκετά ζεστός, αρχίζει η σύντηξη.
- Έχουν παρατηρηθεί θραύσματα νεφών που καταρρέουν σε πρωτοαστέρες.
- Η μάζα καθορίζει σε ποιο σημείο της κύριας ακολουθίας θα βρεθεί ένας αστέρας.
- Ένα νέφος συνήθως σχηματίζει πολλά αστέρια, όπως ένα αστρικό σμήνος.



Η ακτινοβολία από ιονισμένο υδρογόνο

- Γραμμές επανασύνδεσης. Π.χ από $n=110$ σε $n=109$.
 - Δύο σημαντικότερα πλεονεκτήματα:
 - Μπορεί να μετρηθεί η μετατόπιση doppler
 - Λόγω του μεγάλου μήκους κύματος δεν απορροφώνται από τη μεσοαστρική ύλη.
- Θερμική εκπομπή στο συνεχές. Σχεδόν οριζόντιο φάσμα