

Εξέλιξη των Αστέρων



Δρ Μάνος Δανέζης

Επίκουρος Καθηγητής Αστροφυσικής

Τμήμα Φυσικής ΕΚΠΑ

[www/manowdanezis.gr](http://www.manowdanezis.gr)

Φασματική Ταξινόμηση του Harvard

Σύμφωνα με την ταξινόμηση του **Harvard**, όπως ονομάστηκε, τα αστρικά φάσματα χωρίστηκαν σε επτά κύριες κατηγορίες, με βάση τη συνεχή μεταβολή των γραμμών απορρόφησης, που ονομάστηκαν με τα ακόλουθα επτά κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαβήτου:

O, B, A, F, G, K, M

Η ακολουθία αυτή συμπληρώθηκε αργότερα με μερικούς πλευρικούς φασματικούς τύπους, που αντιστοιχούσαν σε αστέρια με κάποιες χαρακτηριστικές γραμμές μετάλλων. Έτσι η σειρά των φασματικών τύπων πήρε τη μορφή

O- B- A- F- G- K- M { **C(R,N)**
} **S**

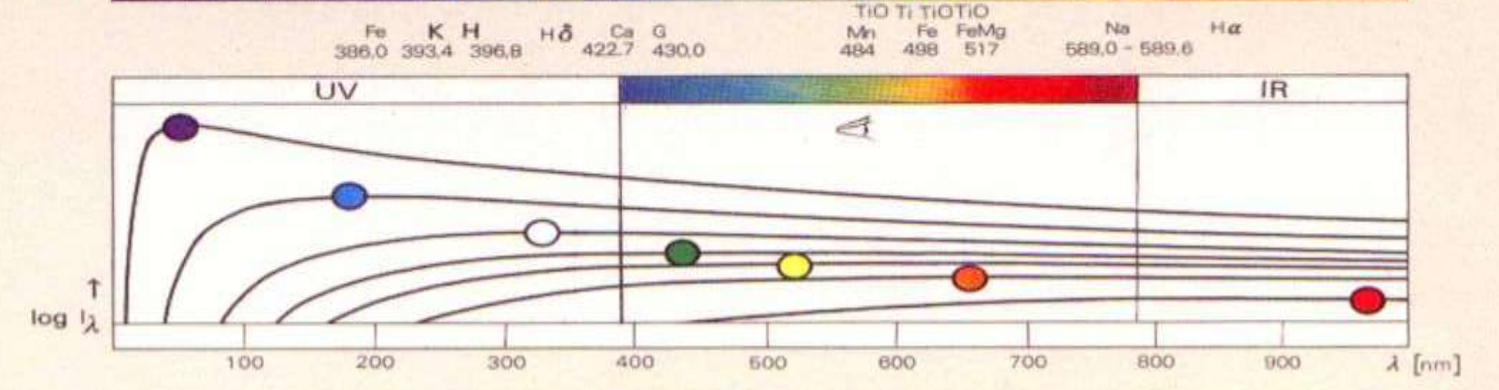
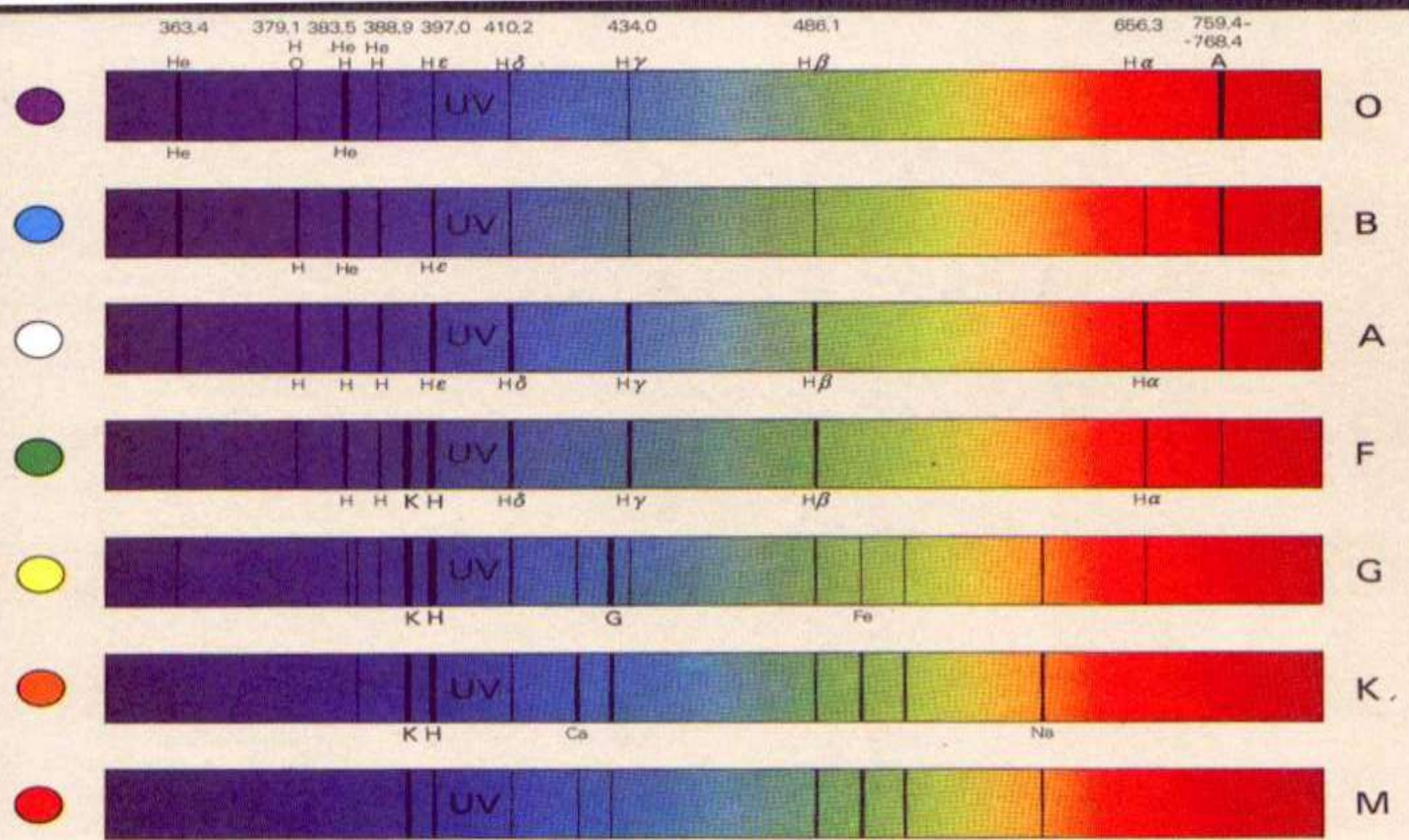
Τα φάσματα των άστρων φασματικών τύπων **O, B** χαρακτηρίζονται ως φάσματα των **θερμών μπλε προγενέστερων τύπων**.

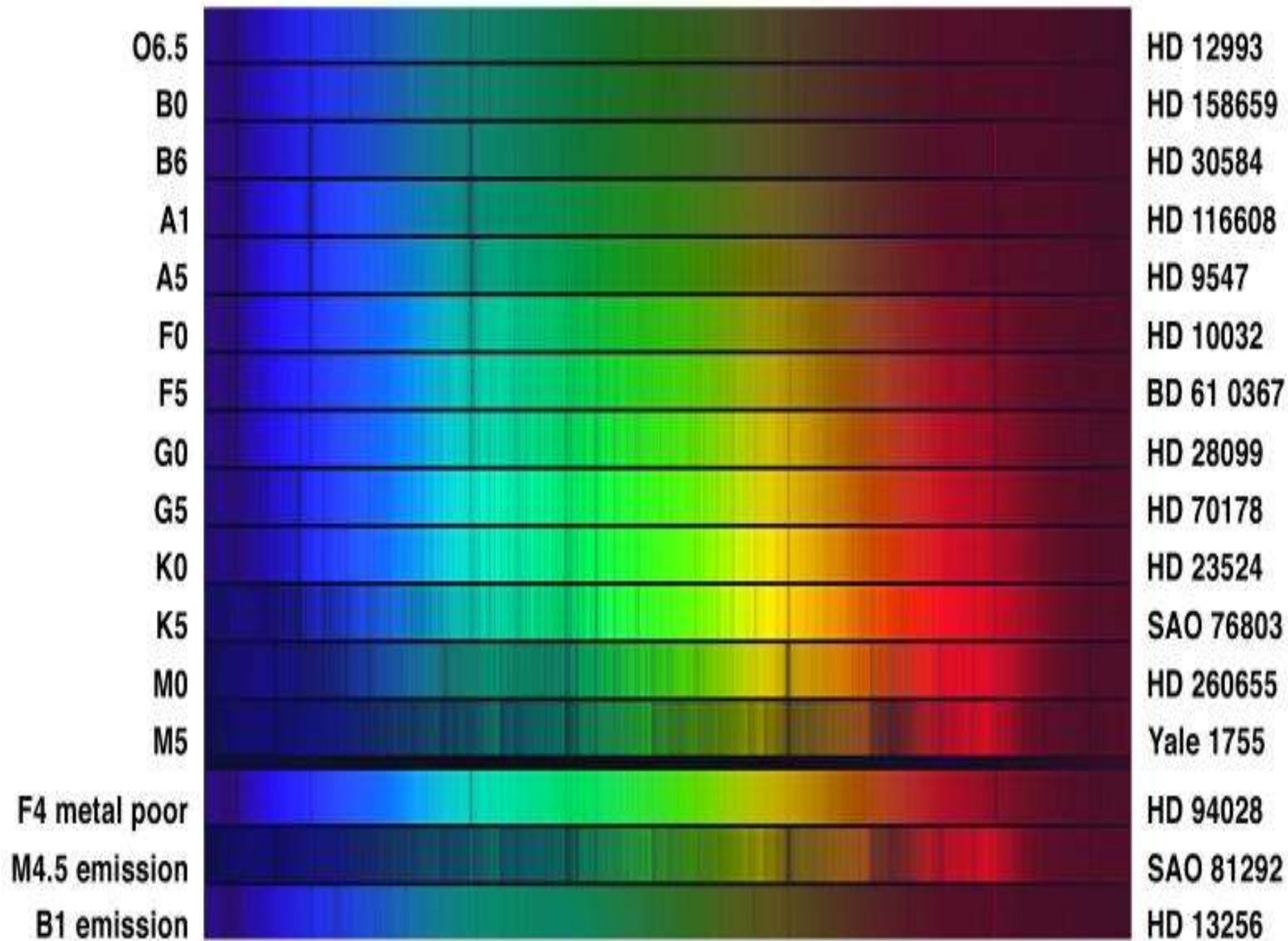
Των **A, F G K** και **M** χαρακτηρίζονται ως φάσματα των **ψυχρών κόκκινων μεταγενέστερων τύπων**

Η διάκριση αυτή, δηλώνει απλώς και μόνον τη σχετική θέση των φασμάτων των άστρων στην ταξινόμηση του Harvard.

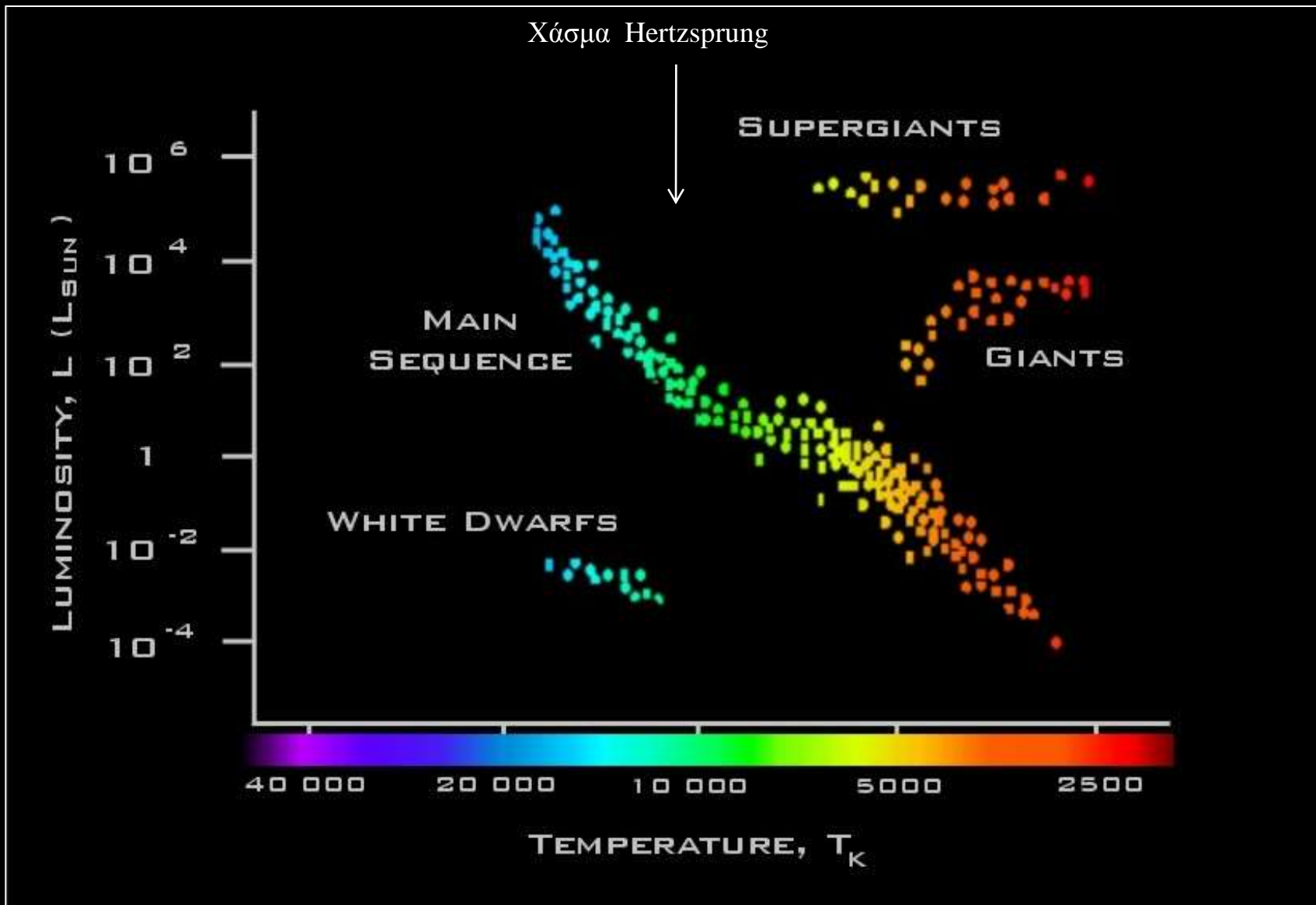
Οι αστέρες των τύπων **R** και **N** είναι γνωστοί ως αστέρες άνθρακα και σήμερα είναι ενσωματωμένοι στον φασματικό τύπο **C**.

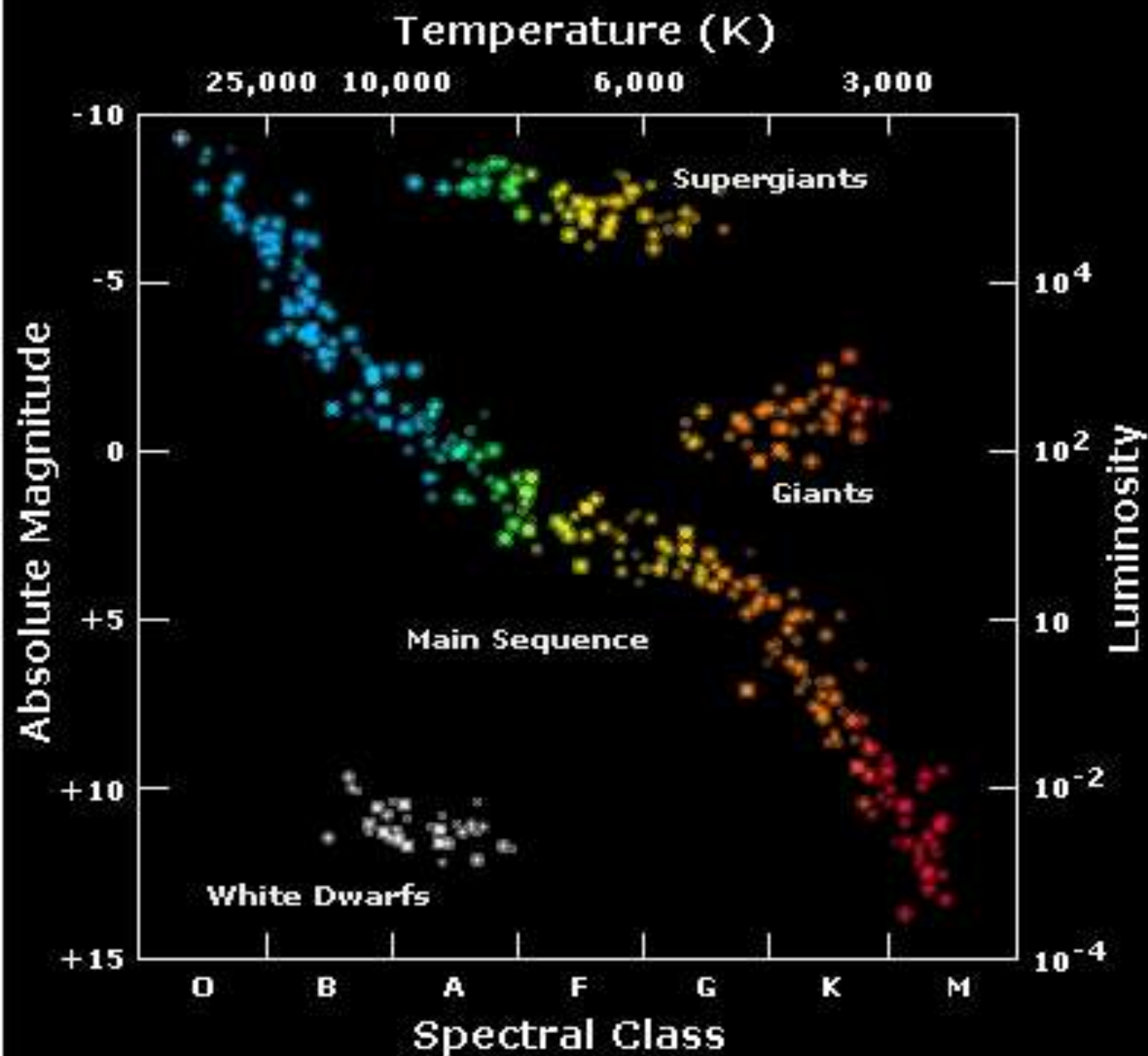
Η ονομασία **προγενέστεροι** ή **μεταγενέστεροι** δεν έχει ούτε υπονοεί καμιά απολύτως σχέση με την ηλικία των άστρων.





Το διάγραμμα HR

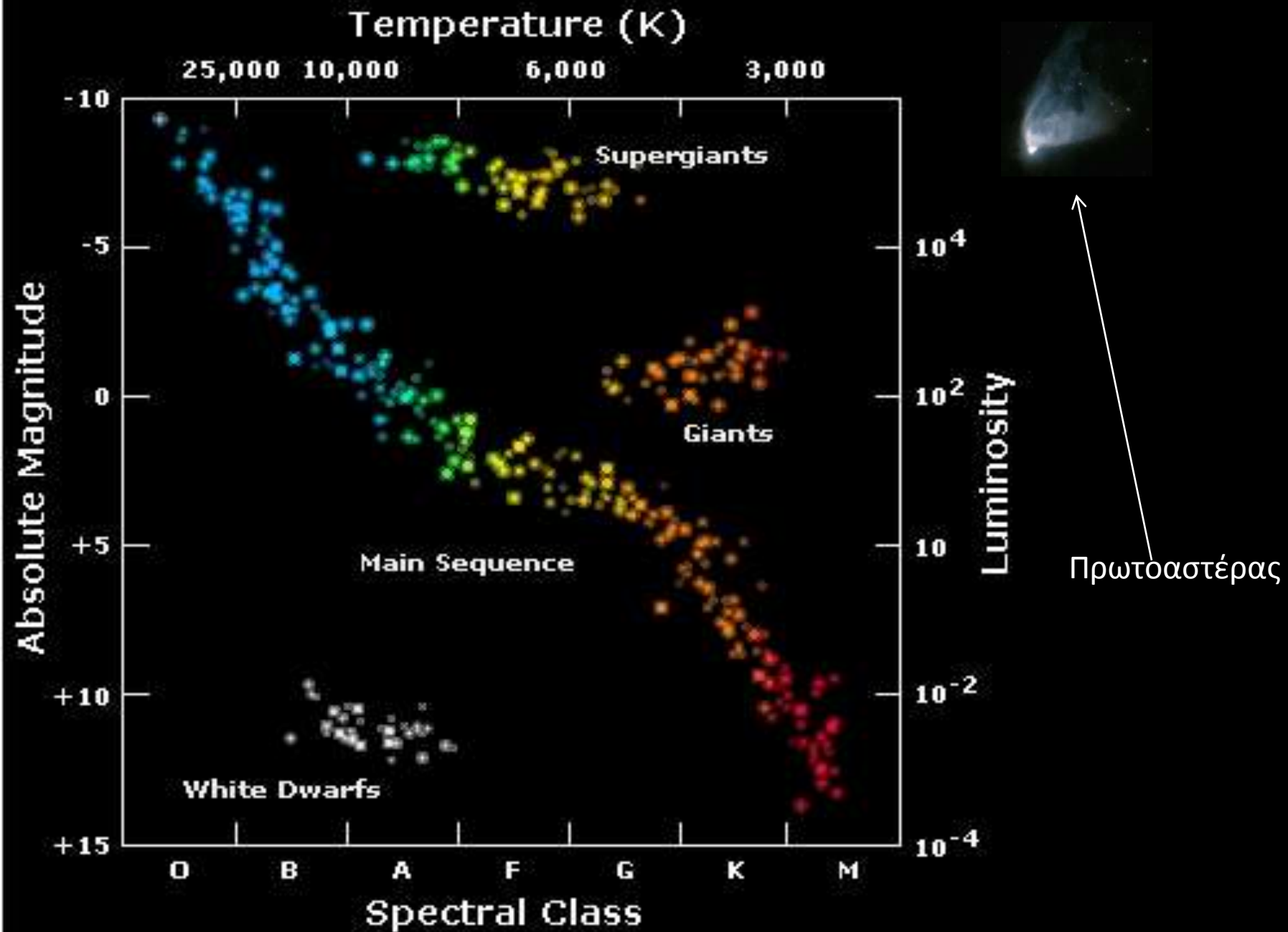




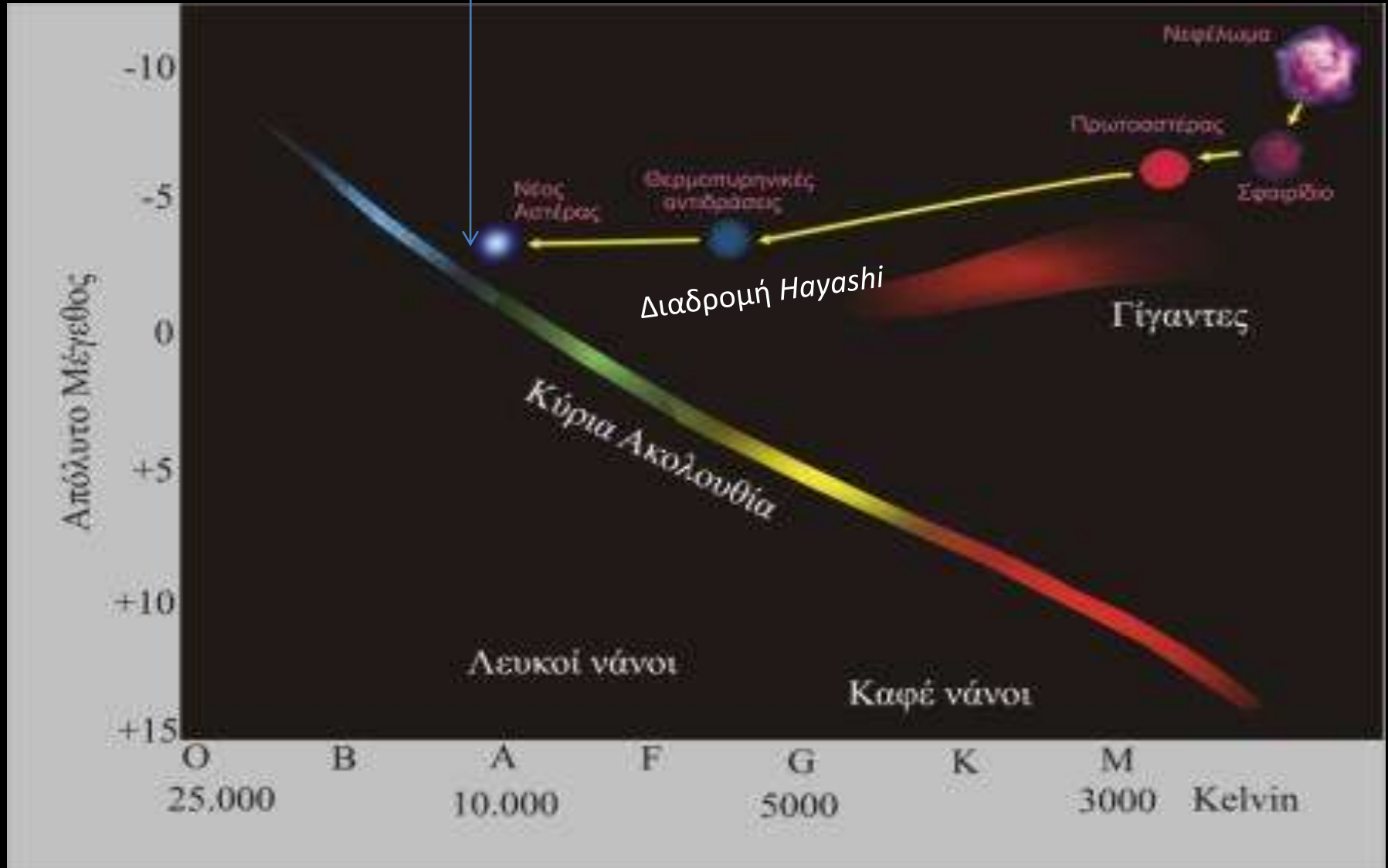
Πρωτοαστέρες



Το αρχέγονο υλικό από το οποίο σχηματίστηκαν τα άστρα ήταν το **μεσοαστρικό αέριο και οι κόκκοι σκόνης**. Το μεσοαστρικό αέριο, αποτελείται κυρίως από **υδρογόνο (74%)**, **ήλιο (24%)** και άλλα **βαρύτερα στοιχεία (2%)**. Τα υλικά αυτά συσπυκνούνται λόγω βαρύτητας δημιουργούν όλο και **πυκνότερες**

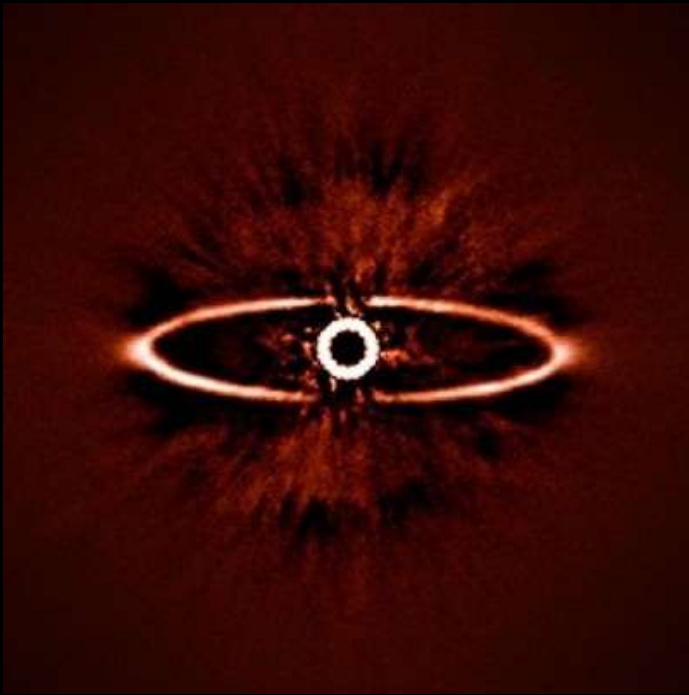


10^6 K





Σφαιρίδια

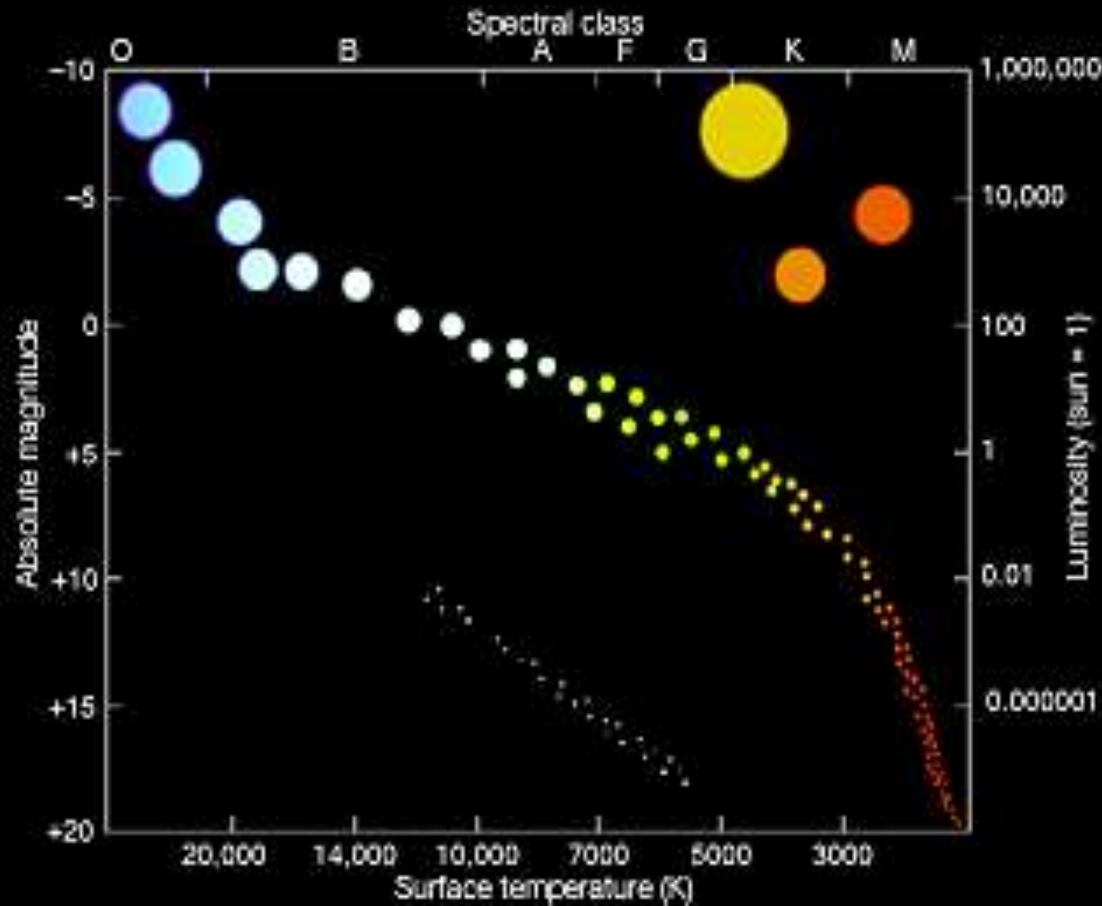


Πρωτοαστέρας με **μάζα $> 100M$**
Ηλίου **καταστρέφονται με έκρηξη**

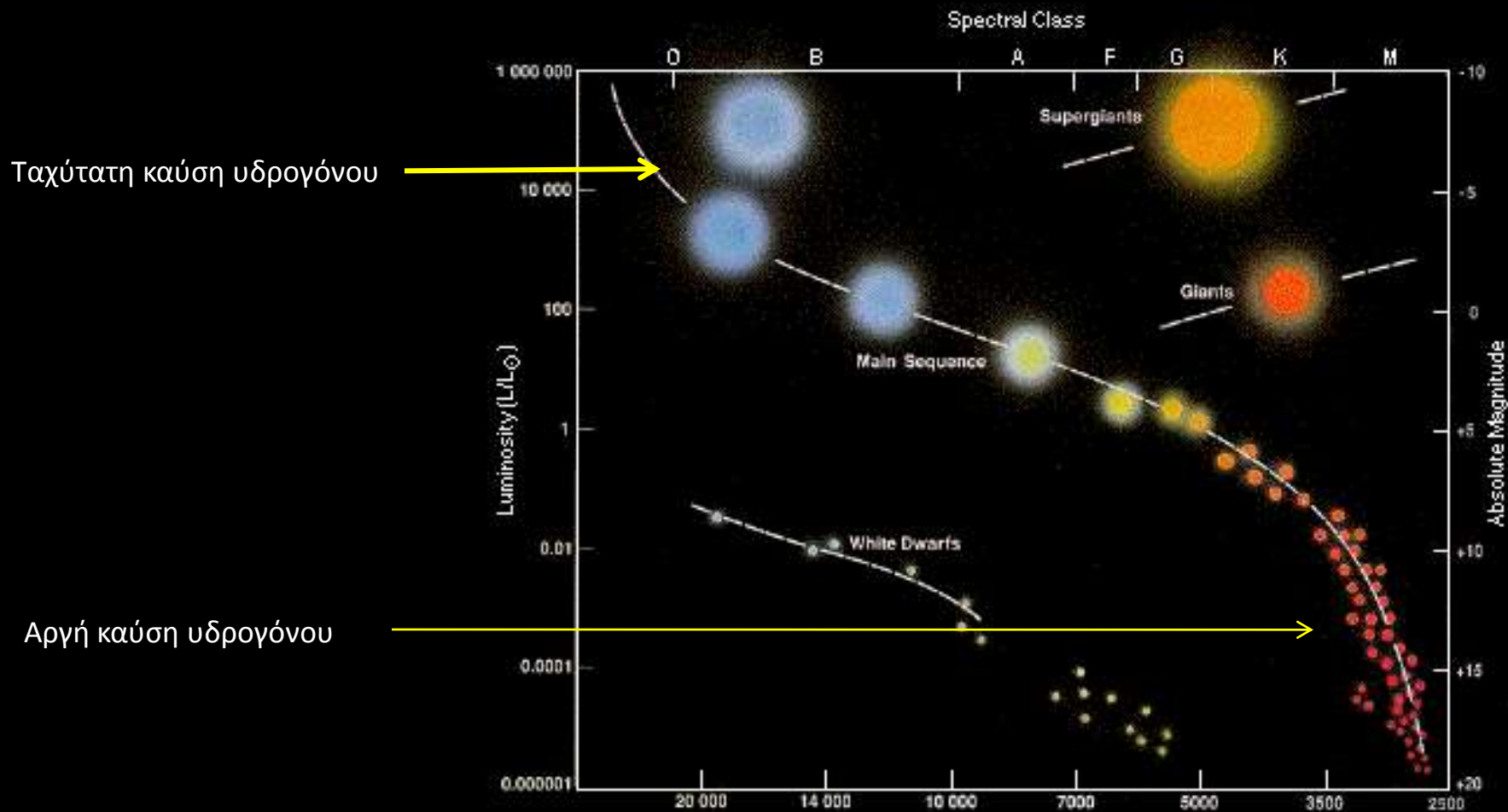


Πρωτοαστέρας με **μάζα $< 0.1 M$** Ηλίου δεν
φθάνουν στην Κυρία Ακολουθία
μετατρέπόμενοι σε Λευκούς Νάνους

Κυρία Ακολουθία



Συνεπώς, όταν η θερμοκρασία του κέντρου ενός πρωτοαστέρα φθάσει τους 10^6 K περίπου, αρχίζει να **καίγεται** —μέσω μιας σειράς πυρηνικών αντιδράσεων— **το υδρογόνο** του πυρήνα του δίνοντας ως προϊόν αυτής της καύσης **αέριο ήλιον (He)**



Ταχύτερη καύση υδρογόνου

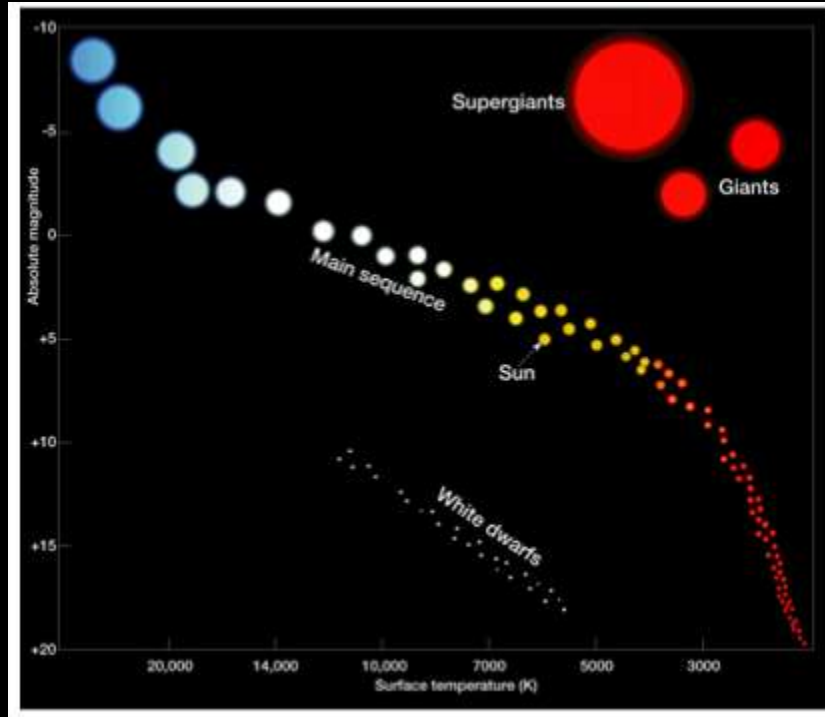
Αργή καύση υδρογόνου

Η Κυρία Ακολουθία διαιρείται σε δύο περιοχές.

α) Στην ανώτερη Κυρία Ακολουθία την οποία καταλαμβάνουν οι αστέρες με μάζες $M > 1,5 M_{\odot}$ με $T_c > 20 \times 10^6 K$

β) Στην κατώτερη Κυρία Ακολουθία την οποία καταλαμβάνουν οι αστέρες με μάζες $M < 1,5 M_{\odot}$ με $T_c < 20 \times 10^6 K$

Στον κλάδο των Γιγάντων



Αν η μάζα του αστεριού είναι **μικρότερη από 0,5 ηλιακές μάζες**, η θερμοκρασία στον πυρήνα του **δεν θα φθάσει** ποτέ σε τέτοια επίπεδα ώστε να αρχίσει να **καίγεται το Ήλιον** που υπάρχει σ' αυτόν ($2 \times 10^8 \text{ K}$). Οι αστέρες αυτής της κατηγορίας, αφού αυξήσουν τη θερμοκρασία τους μέχρι κάποιο όριο, ψύχονται καταλήγοντας **ερυθροί νάνοι**. Οι ερυθροί νάνοι συνεχίζοντας τη συστολή τους θα καταλήξουν αρχικά **σε λευκούς** και τελικά **σε μελανούς νάνους**.

Στον κλάδο των Γιγάντων



Καύση He σε C

Θάνατος των αστεριών

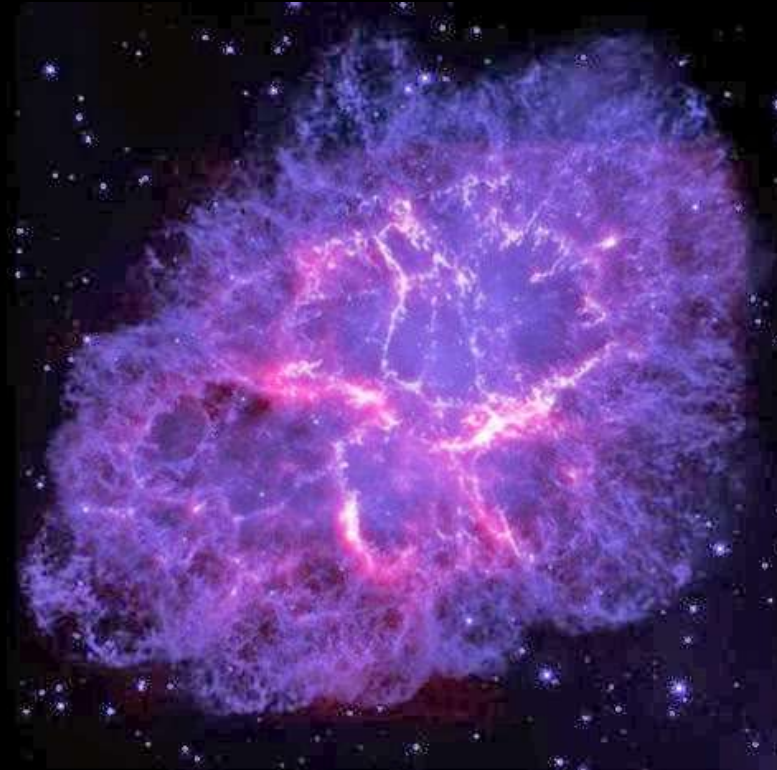


Έτσι, σύμφωνα με τη θεωρία τού **S. Chandrasekhar** αν η μάζα του αστεριού την περίοδο εξάντλησης του ηλίου στον πυρήνα του παραμένει μικρότερη των **1,4 ηλιακών μαζών ($M < 1,4 M_{\odot}$)**—όριο **Chandrasekhar**—τότε η κατάρρευση των εξωτερικών στρωμάτων του αστεριού δεν μπορεί να δημιουργήσει στον πυρήνα του θερμοκρασία της τάξεως των **10^9 K** τέτοια που να μπορέσει να κινητοποιήσει συνθήκες καύσης του άνθρακα. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι ο αστέρας να **καταλήξει αρχικά σε λευκό** και στη συνέχεια σε **μελανό νάνο**.

Σε ένα αστέρι που έχει μάζα $3,2 M_{\odot} > M > 1,4 M_{\odot}$, η θερμοκρασία στον πυρήνα του —λόγω της βαρυτικής συστολής— μπορεί να ανέβει στους 10^9 K και έτσι να αρχίσει η καύση του άνθρακα.

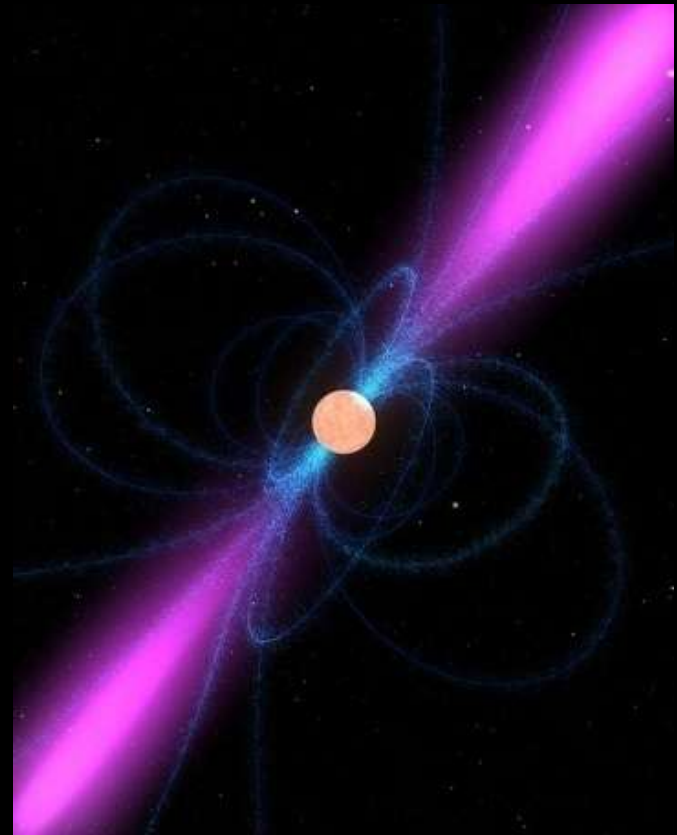
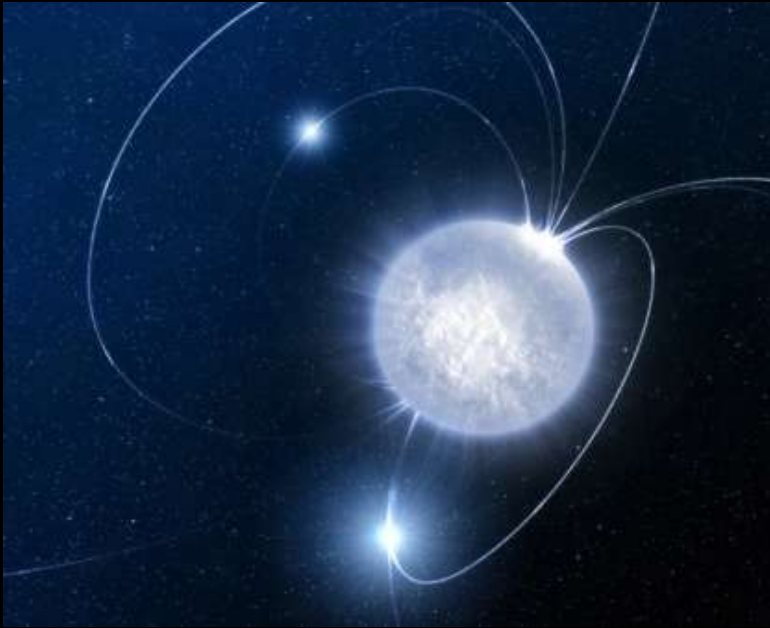
Σχηματίζεται ένας πυρήνας που θα περιέχει μια ποικιλία από βαρείς πυρήνες, ιδιαίτερα δε άφθονο σίδηρο (^{56}Fe).

Τότε γεννιέται και διαδίδεται προς τα έξω ένα κρουστικό κύμα, με τελικό αποτέλεσμα μια έκρηξη με απότομη εκτίναξη μεγάλης ποσότητας ύλης στον μεσοαστρικό χώρο που στην ουσία είναι μια έκρηξη υπερκαινοφανούς



Νεφέλωμα Καβούρι

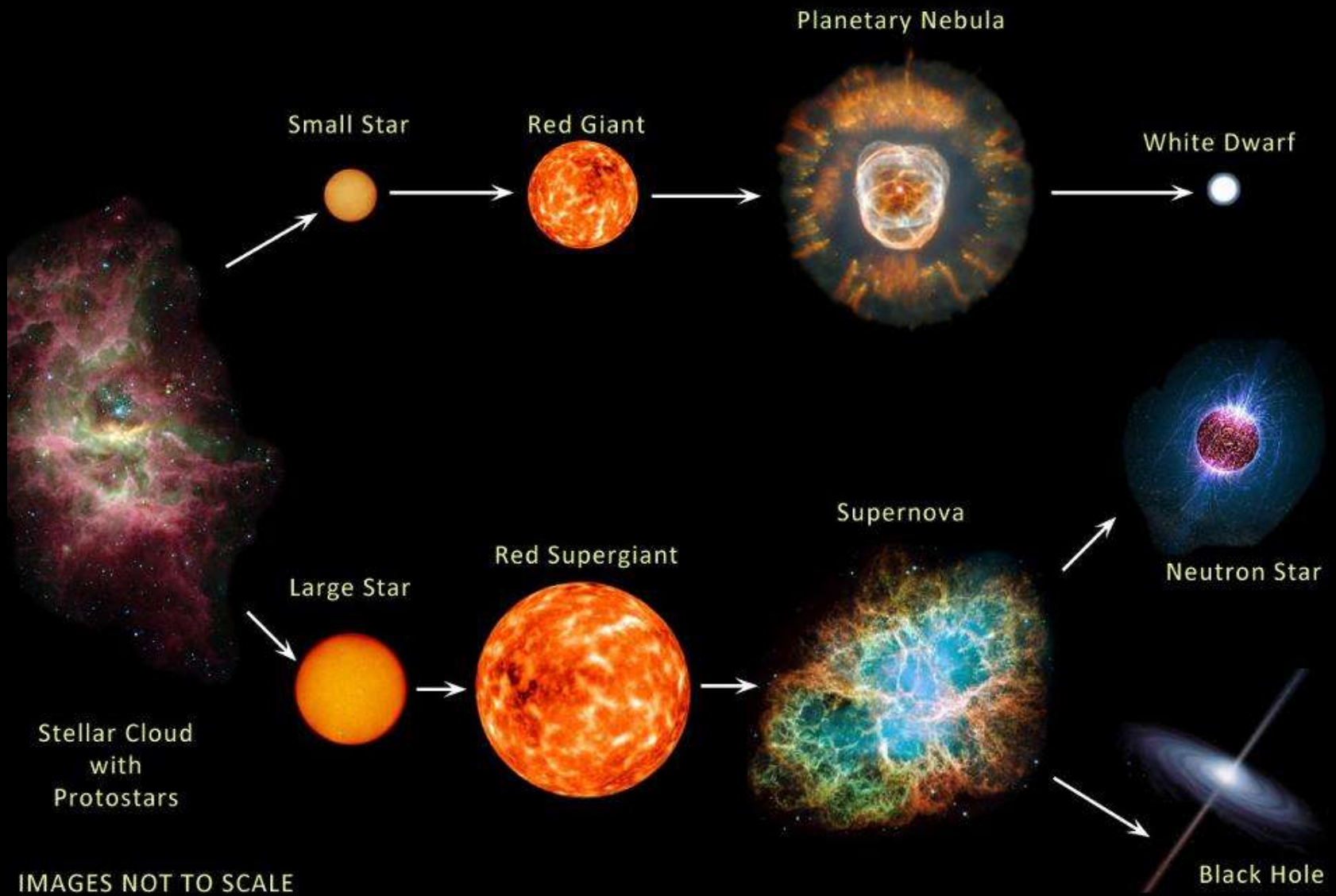
Στην κατάσταση αυτή, η ύλη δεν μπορεί να συμπιεστεί άλλο και **αποτελείται από ένα εκφυλισμένο αέριο νετρονίων***, η πίεση του οποίου ισορροπεί τις δυνάμεις βαρύτητας. Το άστρο είναι πια ένα *αστέρι νετρονίων* με διάμετρο **10 - 30 Km** και μάζα ίση με **1-3 ηλιακές μάζες**. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των αστεριών είναι η ταχύτατη περιστροφή τους, που κάθε μια ολοκληρώνεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου.





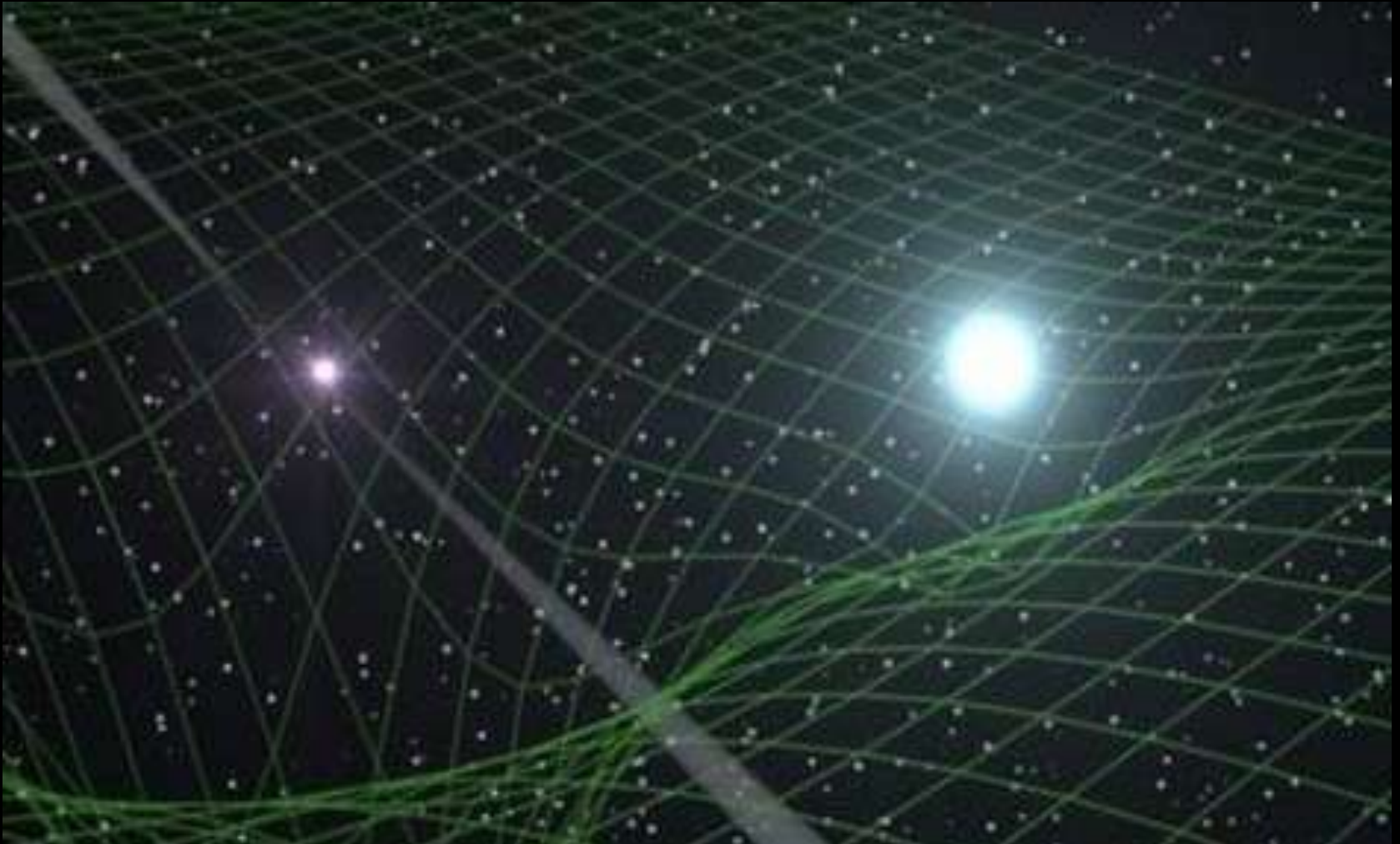
Στην περίπτωση που το αρχικό άστρο είναι πολύ μεγάλης μάζας, τότε μπορεί μετά από την έκρηξη και την εκτόξευση μεγάλης ποσότητας ύλης στον μεσοαστρικό χώρο, η μάζα που απομένει να είναι **μεγαλύτερη από 3,2 ηλιακές μάζες ($M > 3,2 M_{\odot}$)**. Σ' αυτήν την περίπτωση ο αστέρας δεν μπορεί να ισορροπήσει ούτε ως λευκός νάνος, ούτε ως αστέρας νετρονίων. Τότε, επειδή δεν υπάρχει πίεση ικανή να αντισταθμίσει τη συντριπτική δύναμη της βαρύτητας, η κατάρρευση του πυρήνα του θα γίνει τόσο γρήγορα, ώστε θα καταλήξει σε μια υπέρπυκνη κατάσταση με άπειρη, θεωρητικά, πυκνότητα. Το βαρυτικό πεδίο που απομένει είναι εξαιρετικά ισχυρό, ώστε να καταπίνει ό,τι βρεθεί στη γύρω περιοχή, που αποκαλείται *ορίζοντας γεγονότων*. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **μελανή οπή ή μαύρη τρύπα (*black hole*)**,

EVOLUTION OF STARS

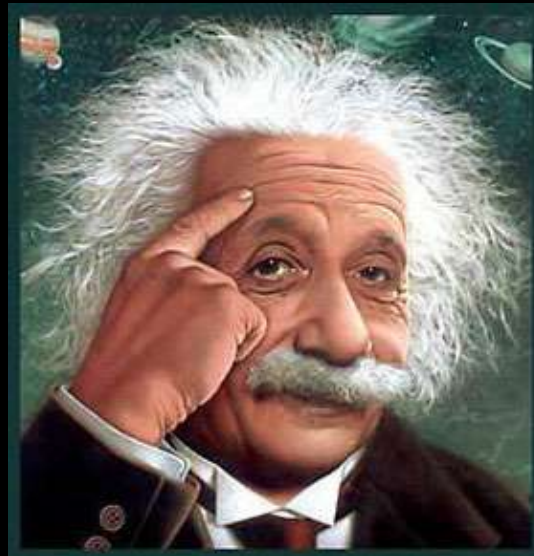


IMAGES NOT TO SCALE

Η εξέλιξη των αστέρων ως
συνάρτηση της καμπυλότητας του χώρου που κατέχουν

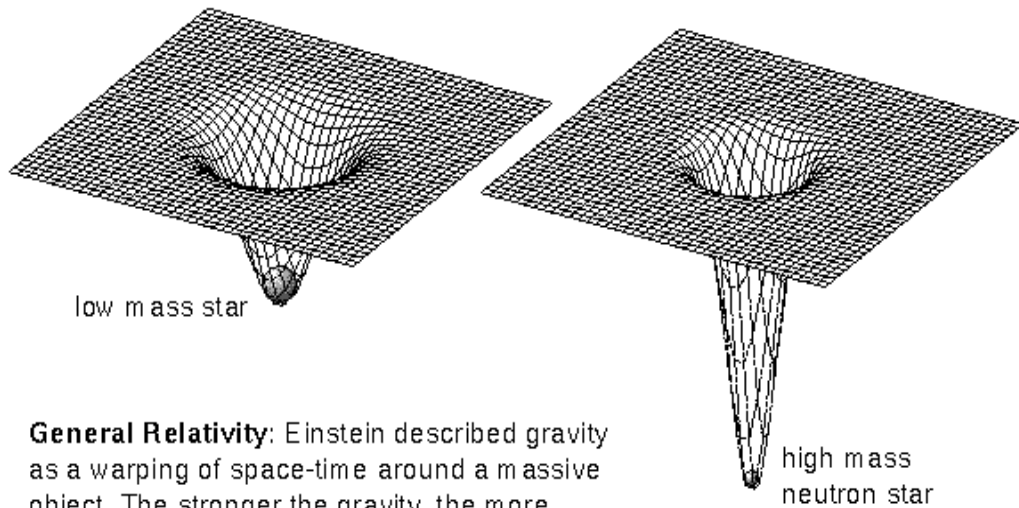


Σχέση Πυκνότητας και Καμπυλότητας (Γενική Θεωρία της Σχετικότητας)



$$\epsilon = [\pi k R^2 / 3 (k \rho / 6H^2)]. [(k \rho / 6H^2) - 1/2]$$

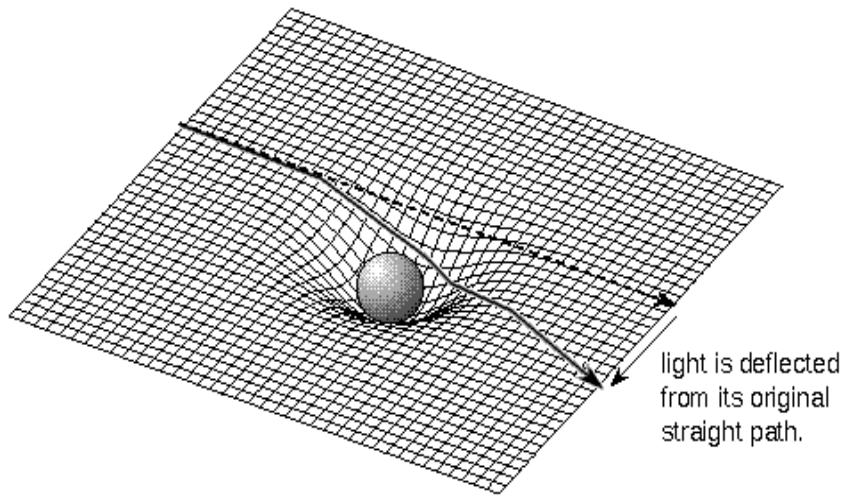
Όσο μεγαλώνει η πυκνότητα του υλικού τόσο περισσότερο μεγαλώνει η καμπυλότητα του χώρου που αυτό κατέχει



low mass star

high mass
neutron star

General Relativity: Einstein described gravity as a warping of space-time around a massive object. The stronger the gravity, the more space-time is warped.



light is deflected
from its original
straight path.

General Relativity: Light travels along the curved space taking the shortest path between two points. Therefore, light is deflected toward a massive object! The stronger the local gravity is, the greater the light path is bent.

Η πυκνότητα των κεντρικών περιοχών ενός άστρου προσδιορίζει την εξέλιξή του. Αυξανόμενη της πυκνότητας δίνεται η δυνατότητα περαιτέρω εξέλιξης του αστερά.

Η πυκνότητα όμως είναι ανάλογη της καμπυλότητας του χώρου που κατέχει ένα αστέρι. Ως εκ τούτου η εξέλιξη ενός άστρου είναι συνάρτηση της καμπυλότητας του χώρου που κατέχει