

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης **Creative Commons** και ειδικότερα

Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 3.0 Ελλάδα

(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 3.0 Greece)



CC BY-NC-ND 3.0 GR

[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]

[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΚΥΡΙΑ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ: ονομάζουμε το σύνολο των θέσεων που καταλαμβάνουν τα αστέρια σε διάγραμμα “Λαμπρότητας – Θερμοκρασίας” όταν “καίνε” Η στο εσωτερικό τους και παράγουν He.

Τα παρατηρήσιμα μεγέθη των αστεριών (λαμπρότητα, L , επιφανειακή θερμοκρασία, T_{eff}) καθορίζονται κυρίως από τη **μάζα** τους, M , και σε κάποιο βαθμό από τη **χημική τους σύσταση**. Αστέρια που βρίσκονται στη Κύρια Ακολουθία έχουν μάζες:

$$0.08 M_{\odot} < M < 100-150 M_{\odot}$$

Αστέρια μικρότερης μάζας δε θα αναπτύξουν στον πυρήνα υψηλές θερμοκρασίες για την έναρξη των αντιδράσεων σύντηξης Η σε He.

Η λαμπρότητα αστέρων μεγαλύτερης μάζας είναι μεγαλύτερη από το όριο Eddington.

Σε ότι αφορά τη χημική σύσταση των αστέρων:

Αστέρες πληθυσμού I : περιεκτικότητα σε στοιχεία βαρύτερα από Η και He ~ 2-3 % της μάζας τους (όπως ο Ήλιος).

Αστέρες πληθυσμού II : περιεκτικότητα σε στοιχεία βαρύτερα από Η και He είναι πολύ μικρή (~ 0.01-0.1% της μάζας τους). Αυτά τα αστέρια βρίσκονται σε σφαιρωτά σμήνη, είναι μικρής μάζας, αμυδρά και “ψυχρά”.

Αστέρες πληθυσμού III: αστέρες χωρίς καθόλου πυρήνες “βαρύτερους” από Η και He (πρώτη γενιά αστέρων, δεν έχει παρατηρηθεί ακόμα).

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που καθορίζουν την πυκνότητα, πίεση και θερμοκρασία στο εσωτερικό των άστρων μπορούμε να προβλέψουμε σχέσεις μεταξύ των βασικών μεγεθών τους:

$$0.3 M_{\odot} < M < 3M_{\odot} : R \propto M \text{ και } L \propto M^4$$

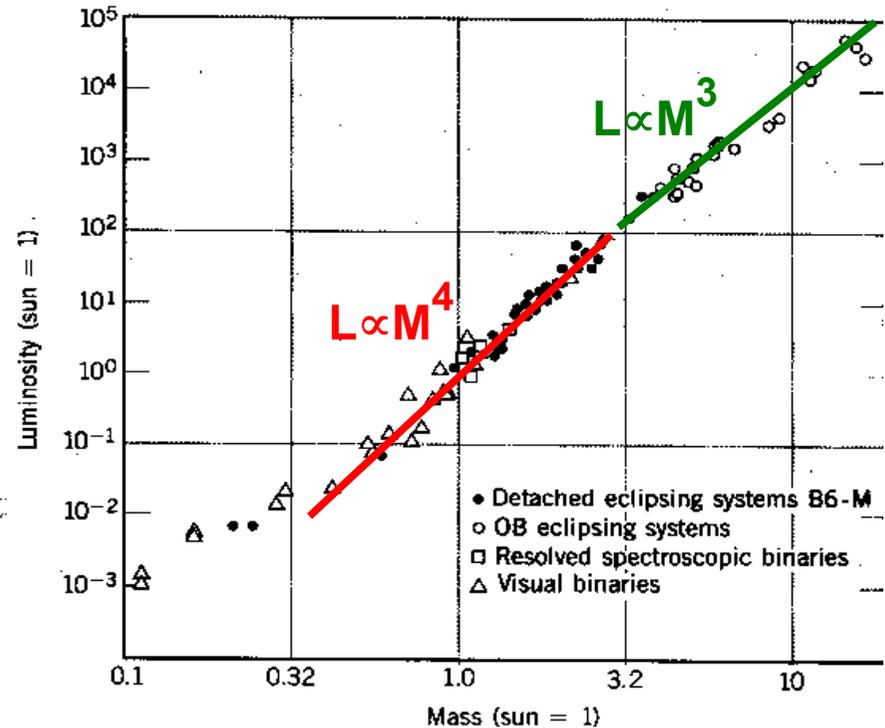
$$3 M_{\odot} < M < 30M_{\odot} : R \propto M^{0.6} \text{ και } L \propto M^3$$

$$M > 30M_{\odot} : L \propto M$$

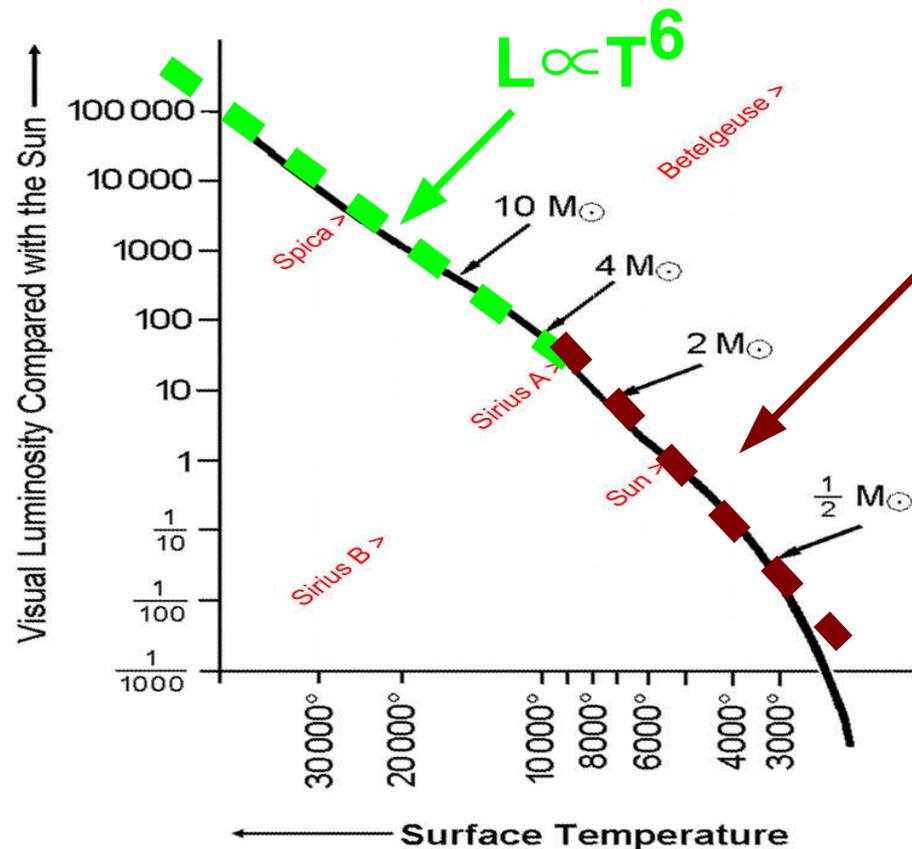
Αστέρια μεγάλης μάζας είναι μεγάλα σε διαστάσεις και πολύ λαμπρά.

Χρησιμοποιώντας και τη σχέση μεταξύ λαμπρότητας και επιφανειακής θερμοκρασίας, μπορούμε να προβλέψουμε ότι, αστέρια μεγάλης μάζας θα είναι και αρκετά θερμά.

The mass - luminosity relation for stars, as determined from binary systems, in which the individual masses can be found.



Θεωρητικό διάγραμμα αστέρων κύριας ακολουθίας



Τα παρατηρήσιμα μεγέθη των αστέρων (λαμπρότητα και επιφανειακή θερμοκρασία) στην κύρια ακολουθία (δηλαδή κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων σύντηξης υδρογόνου) καθορίζονται (κυρίως) από τη μάζα τους: αστέρια μεγάλης μάζας είναι θερμά και λαμπρά.

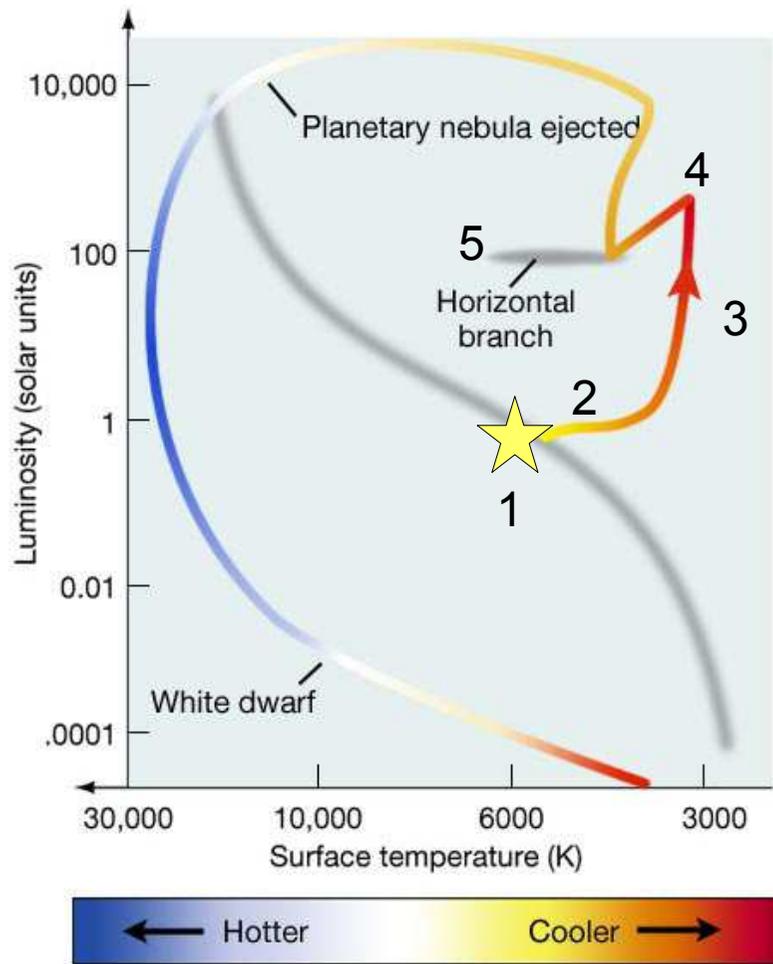
$$L \propto T^8$$

Ο χρόνος παραμονής των αστέρων στην κύρια ακολουθία καθορίζεται από τη διαθέσιμη ενέργεια (που είναι ανάλογη της συνολικής μάζας) και το ρυθμό με την οποία ακτινοβολείται (δηλαδή τη λαμπρότητα του αστέρα):

$$t \propto M^{-3}$$

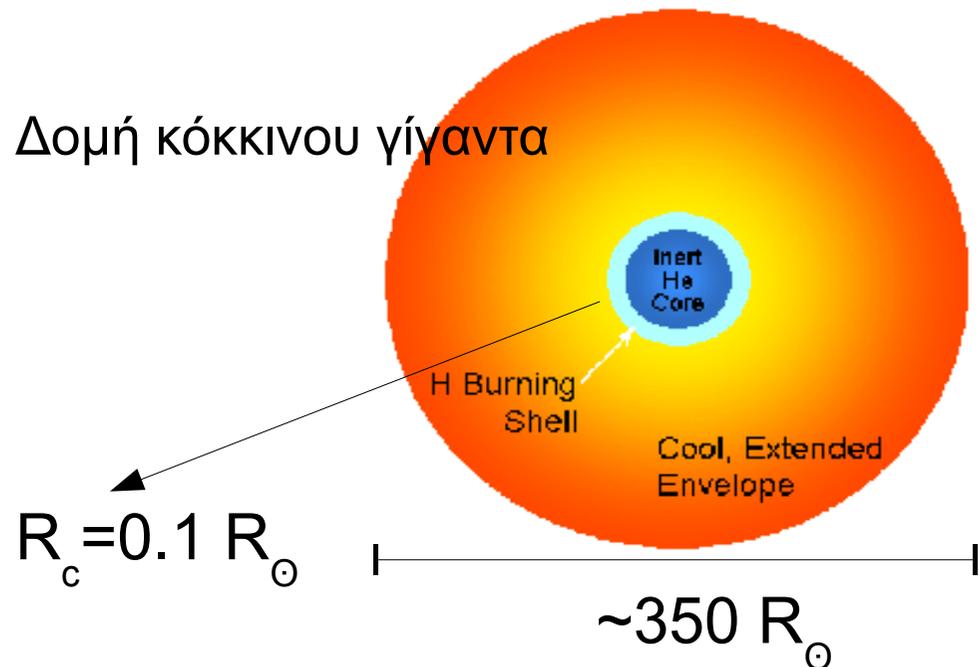
Αστέρια μεγάλης μάζας θα παραμείνουν την Κ.Α. για μικρότερο χρονικό διάστημα (σε σχέση με αστέρια μικρότερης μάζας).

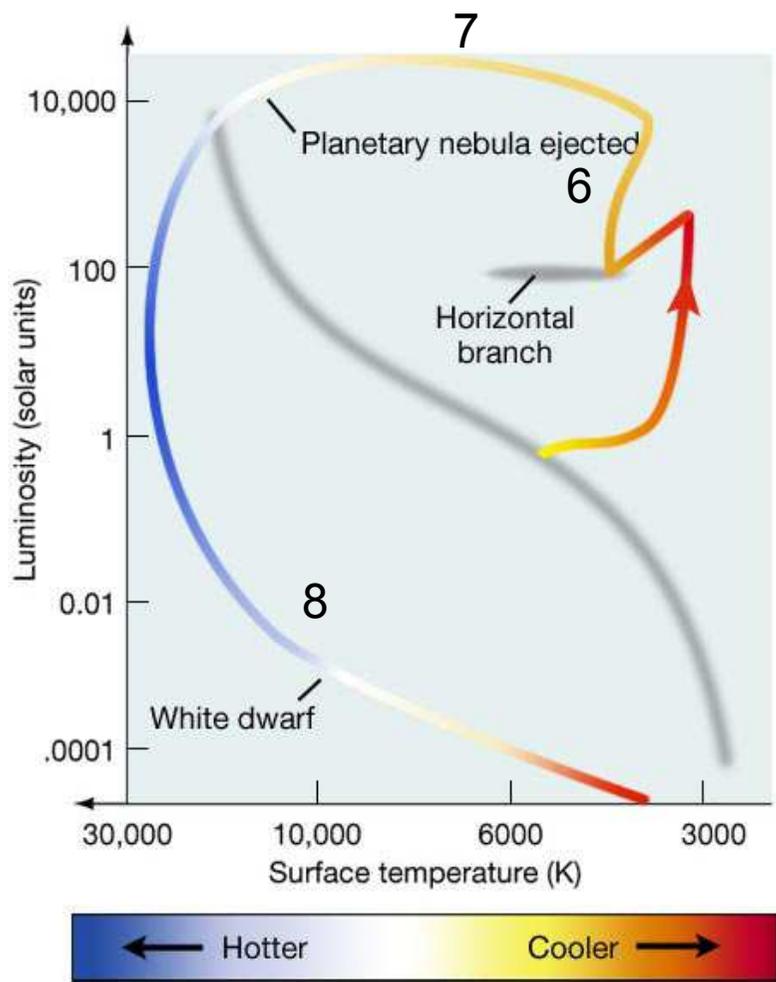
Εξέλιξη αστέρα μάζας $1M_{\odot}$ μετά το πέρας των καύσεων υδρογόνου.



1. Θέση Ήλιου στην Κύρια Ακολουθία
2. Κλάδος Υπογιγάντων
3. Κλάδος κόκκινων γιγάντων
4. Έκλαμψη Ηλίου
5. Οριζόντιος Κλάδος Γιγάντων

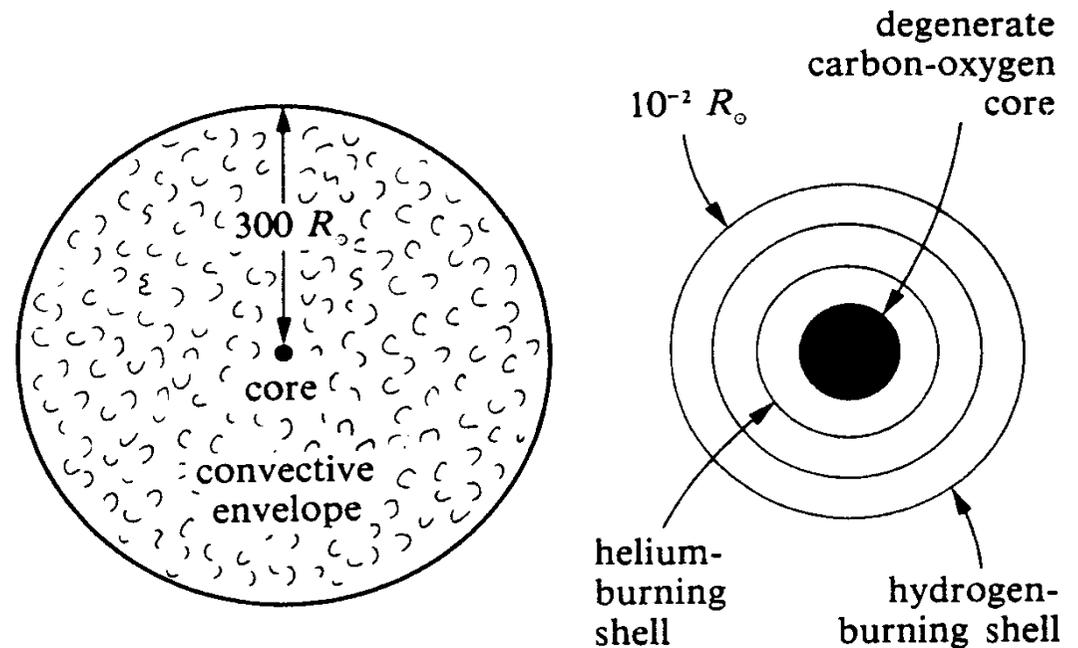
Δομή κόκκινου γίγαντα



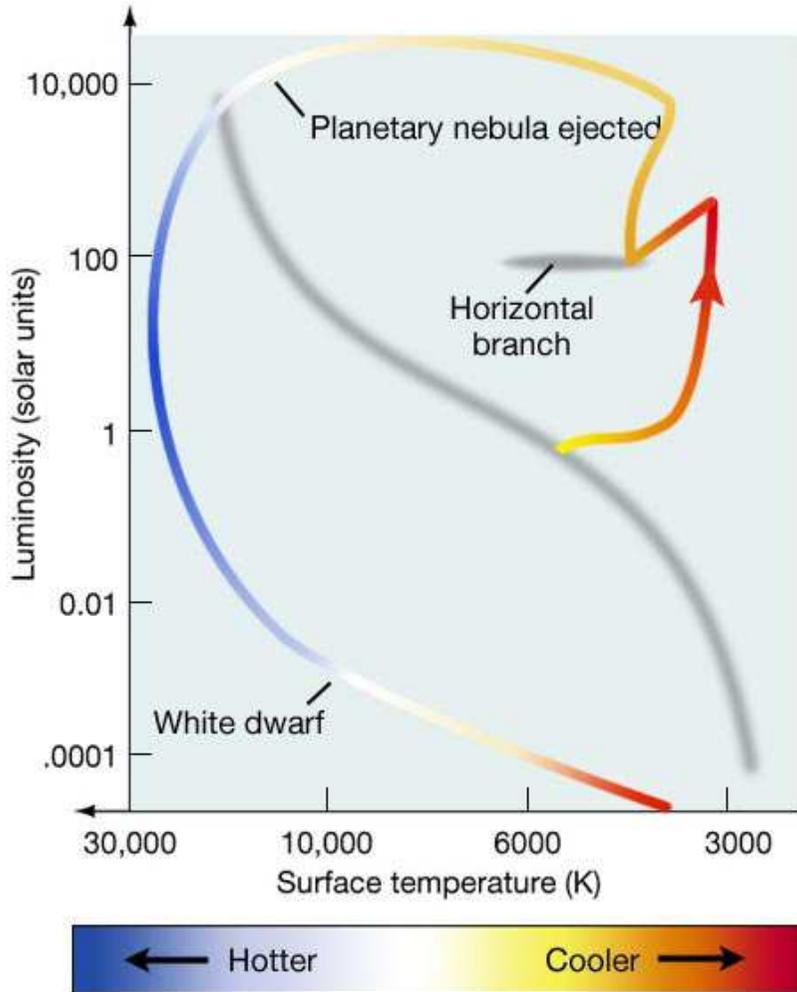


- 6. Ασυμπτωτικός κλάδος υπεργίγαντων
- 7. Πλανητικά νεφελώματα
- 8. Λευκός νάνος

Δομή ερυθρού υπεργίγαντα



Χρονική κλίμακα εξέλιξης άστρου μάζας = $1M_{\odot}$



Παραμονή στην Κ.Α. ~ 10 Gyrs

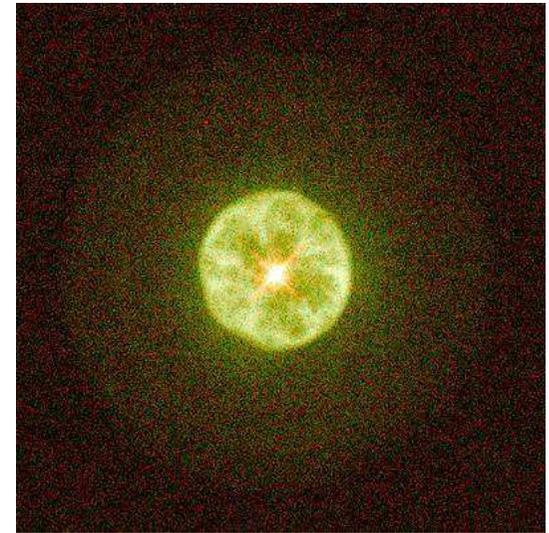
Παραμονή στον κλάδο των γιγάντων:
~ 1 Gyr

Παραμονή στον οριζόντιο κλάδο
γιγάντων: ~ 100 Myrs

Παραμονή στον Ασυμπτωτικό κλάδο
των γιγάντων: ~ 20 Myrs

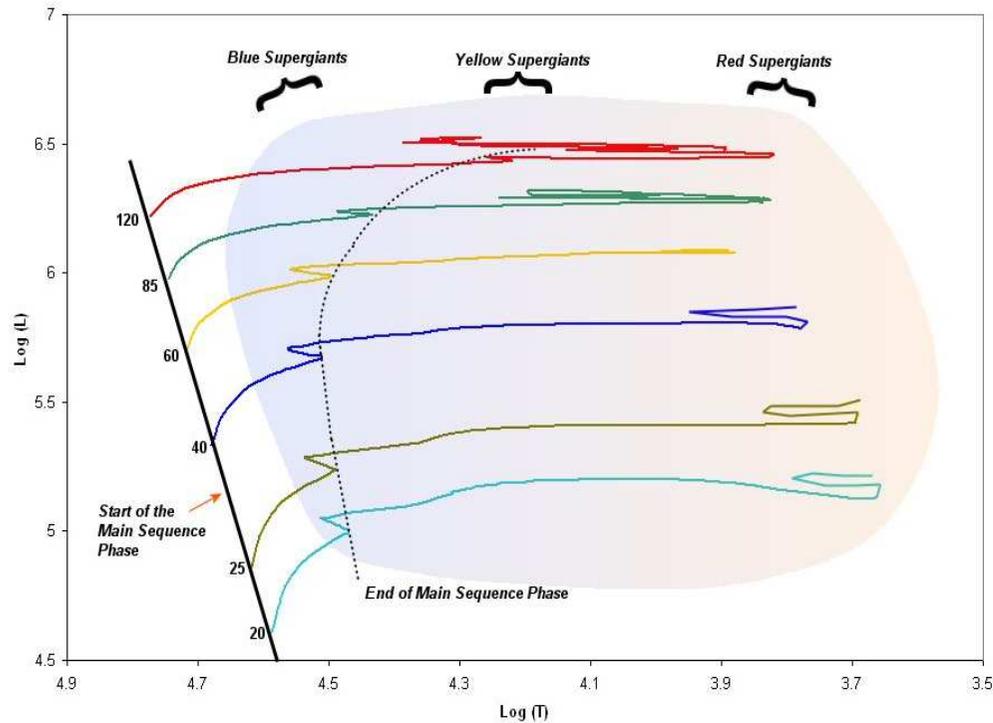
Πλανητικό νεφέλωμα -> Λευκός
Νάνος: ~ μερικές δεκάδες (~ 50)
χιλιάδες χρόνια

Πλανητικά νεφελώματα: Νεφελώματα εκπομπής που αποτελούνται από ένα επεκτεινόμενο κέλυφος ιονισμένου αερίου που αποβάλλεται κατά τη διάρκεια της φάσης του ασύμπτωτου κλάδου των γιγάντων σε άστρα μάζας παρόμοιας με εκείνης του Ήλιου, στο τέλος της “ζωής” τους.



Εξέλιξη αστέρων μάζας $> 10 M_{\odot}$

- α) Μετά την καύση του H έχουμε συστολή του πυρήνα και ανάφλεξη H σε φλοιό. Στη συνέχεια καύση He (αλλά όχι σε συνθηκικές εκφυλισμού) και καύση H σε φλοιό. Μετά το πέρας καύσεων He θα έχουμε συστολή πυρήνα, καύση He (και H) σε φλοιό και στη συνέχεια “ανάφλεξη” C στον πυρήνα (σε συνθήκες μη-εκφυλισμού) κλπ.
- β) Ο πυρήνας περιβάλεται από φλοιούς που γίνονται καύσεις “υλικών” που παράγονται στις προηγούμενες καύσεις.
- γ) Η εξέλιξη στην κεντρική περιοχή (πυρήνα και φλοιοί γύρω απ’ αυτόν) γίνεται πολύ γρήγορα και τα εξωτερικά στρώματα δεν αντιδρούν στις αλληπάλληλους κύκλους εξάντλησης και ανάφλεξης “καυσίμων” στον πυρήνα. Οπότε, η εξέλιξη του αστέρα στο θεωρητικό διάγραμμα H-R γίνεται “οριζόντια” δηλαδή, με σταθερή λαμπρότητα.
- δ) αλλά προς τα “δεξιά”: η επιφανειακή θερμοκρασία ελαττώνεται, επειδή ο αυξημένος ρυθμός παραγωγής ενέργειας καταναλώνεται στη διαστολή του αστέρα (στην αύξηση της ακτίνας του).
- ε) Στην πραγματικότητα, σε κάθε συστολή του πυρήνα (και ανάφλεξη καυσίμου σε φλοιό) το αστέρι μετακινείται προς τα “αριστερά” (Τε αυξάνεται) αλλά μετά την Ανάφλεξη, συνεχίζεται η εξέλιξη του αστέρα προς τα “δεξιά” (Τε ελαττώνεται).



Για αστέρι μάζας $25 M_{\odot}$:

$t_{\text{KA}} \sim 6 \text{ Myrs}$

$t_{\text{καύσης He}} \sim 0.7 \text{ Myrs}$

$t_{\text{καύσης C}} \sim 1000 \text{ yrs}$

$t_{\text{καύσης Ne+O}} \sim 1 \text{ έτος}$

$t_{\text{καύσης Si}} \sim 1 \text{ ημέρα}$

Εξέλιξη αστέρων – ανασκόπηση I

α) Τα αστέρια είναι συνεχώς υπό την “ομηρία” του βαρυτικού τους πεδίου. “Αναγκάζονται” να είναι πολύ θερμά στον πυρήνα τους για να “δημιουργήσουν” την κατάλληλη πίεση που θα αντιστέκεται στο βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων.

β) ταυτόχρονα, τα αστέρια “αναγκάζονται” να ακτινοβολούν (να “χάνουν” ενέργεια συνεχώς) επειδή ο γύρω χώρος είναι σκοτεινός και ψυχρός.

Η εξέλιξη των άστρων είναι ουσιαστικά αποτέλεσμα της “διαμάχης” μεταξύ του 2ου νόμου της θερμοδυναμικής και της βαρύτητας.

Όσο καιρό τα καύσιμα επαρκούν, ο αστέρας παράγει ενέργεια ικανή να δημιουργήσει την απαιτούμενη πίεση και αν αναπληρώσει τα ποσά ενέργειας που ακτινοβολούνται. Όταν τελειώνει η καύση ενός στοιχείου, ο πυρήνας συρρικνώνεται έως ότου αυξηθεί η θερμοκρασία αρκετά ώστε να αρχίσει η καύση του επόμενου στοιχείου κλπ.

Αλλά αυτό δεν μπορεί να κρατήσει για πάντα...

Εξέλιξη αστέρων – ανασκόπηση II

Μάζα

Αντιδράσεις

“ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ...”

$<0.08 M_{\odot}$

Δεν θα ξεκινήσουν

$0.08 M_{\odot} < M < 0.5 M_{\odot}$
(αστέρες M της K.A.)

$4H \rightarrow He$

Λεύκος Νάνος (He)

$0.5 M_{\odot} < M < 5 M_{\odot}$

$4H \rightarrow He$

+καύση He ($\rightarrow C, O$)

(αστέρες A, F, G και K)

Λευκός Νάνος (C,O)

$5 M_{\odot} < M < 7 M_{\odot}$

$4H \rightarrow He$

+καύση He ($\rightarrow C, O$)

+καύση C, O ($\rightarrow Ne, Mg$)

(αστέρες B)

Λευκός Νάνος (Ne, Mg)

Εξέλιξη αστέρων – ανασκόπηση II

Μάζα

Αντιδράσεις

“ΣΤΟ ΤΈΛΟΣ...”

$M > 7 M_{\odot}$

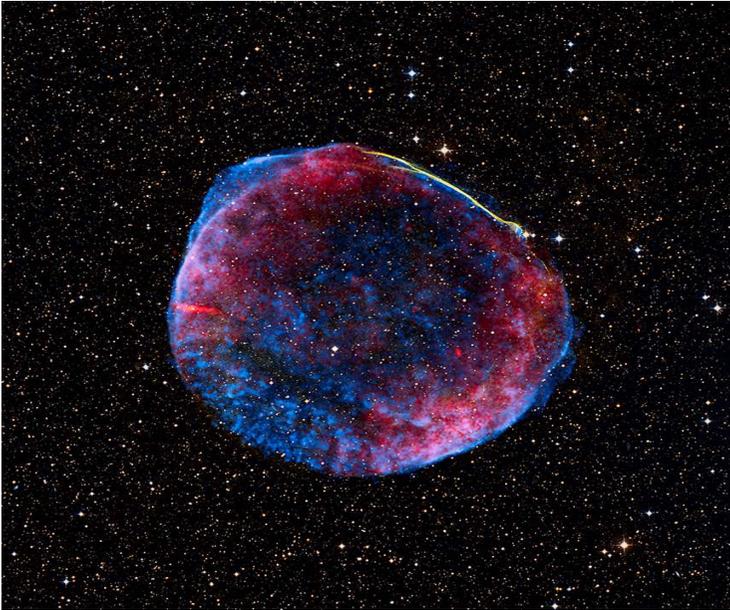
Όλα τα παραπάνω + **Αστέρας Νετρονίων**
καύση Ne, Mg (σε Si)
καύση Si \rightarrow Fe
Έκρηξη Υπερκαινοφανούς.

$M > 18 M_{\odot}$

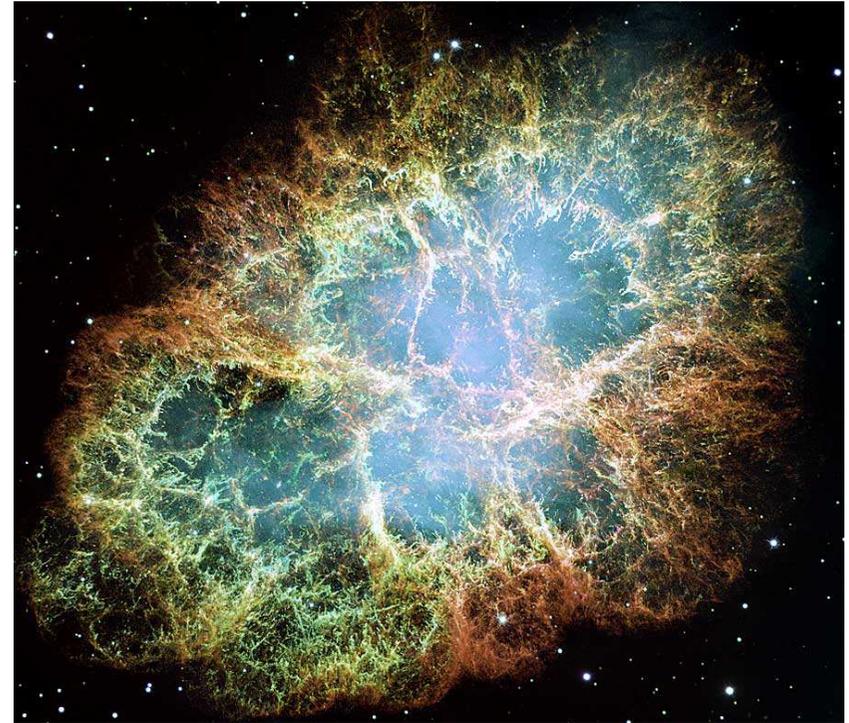
Όλα τα παραπάνω **Μελανή Οπή**

Υπερκαινοφανείς αστέρες

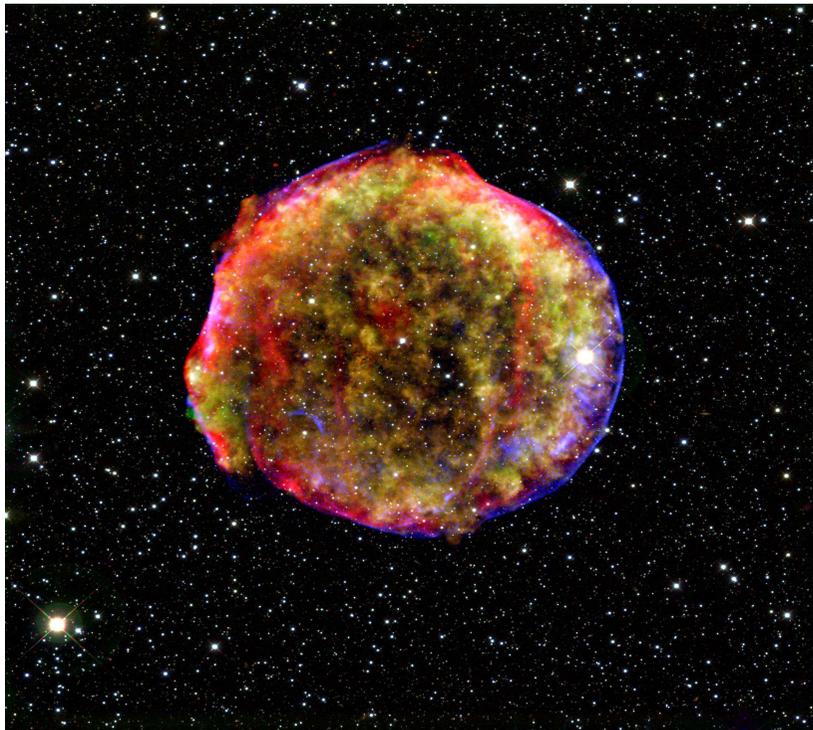
α)



β)



γ)

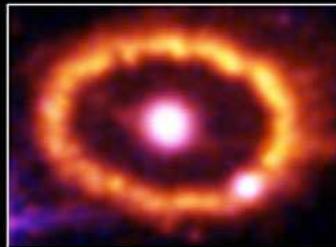


- α) SN 1006 (Type Ia?)
- β) Crab SN remnant (AD 1054: Type II?)
- γ) Tycho's SN (AD 1572: Type Ia?)

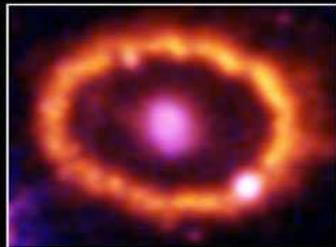
Supernova 1987A (Type II) (Μεγάλο Νέφος του Μαγγελάνου)



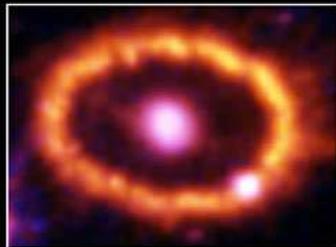
© Anglo-Australian Observatory



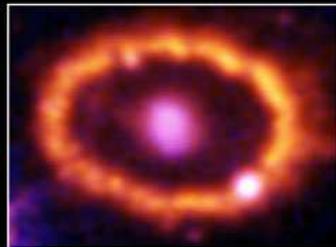
September 24, 1994



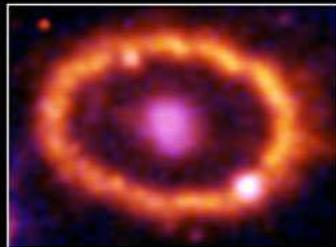
March 5, 1995



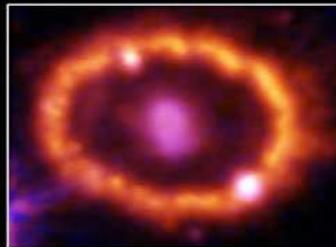
February 6, 1996



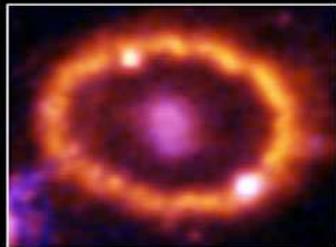
July 10, 1997



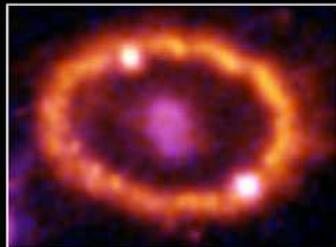
February 6, 1998



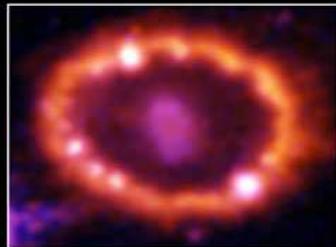
January 8, 1999



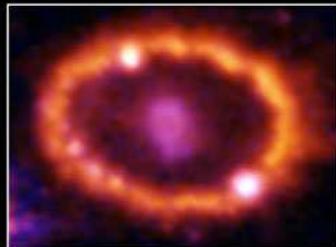
April 21, 1999



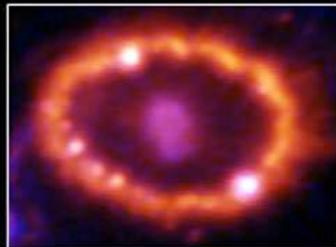
February 2, 2000



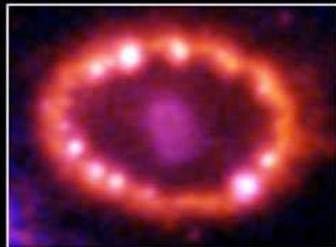
June 16, 2000



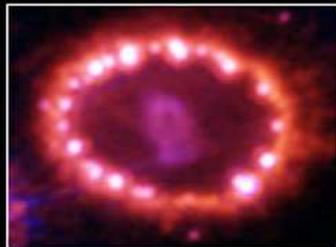
November 14, 2000



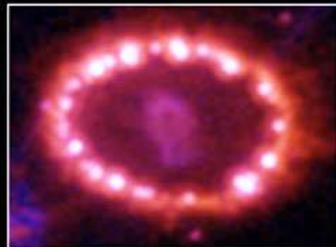
March 23, 2001



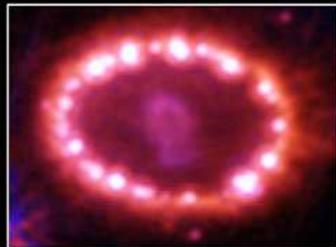
December 7, 2001



January 5, 2003



August 12, 2003



November 28, 2003

Supernova 1987A • 1994-2003
Hubble Space Telescope • WFPC2 • ACS

Υπερκαινοφανείς αστέρες: κατηγοριοποίηση

Τύπου II

Εμφανίζουν γραμμές H+He στα φάσματα τους

Τύπου I

Δεν εμφανίζουν γραμμές H+He στα φάσματά τους

Τύπου Ia

Εμφανίζουν γραμμές Si

Τύπου Ib

(Δεν εμφανίζουν γραμμές Si)

Εμφανίζουν γραμμές He

Τύπου Ic

Δεν εμφανίζουν γραμμές He

Παρατηρούνται μόνο σε σπειροειδείς γαλαξίες, σε περιοχές έντονης αστρογέννησης

Παρατηρούνται και σε ελλειπτικούς γαλαξίες

Τύπου II και Ib, Ic: Αποτέλεσμα κατάρρευσης αστέρα μεγάλης μάζας.

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ