

Σχηματισμός Ιστερέν κ'
Εξελίξη τους μέχρι κ.Α.

Κεφάλαιο 5ο

Σχηματισμός: από συμπυκνώσεις μεσοαστρικού υλικού,
αερίων και σκόνης

Αυξάνει η Τ στο εσωτερικό τους, καύση Η. Μετά την
κ.Α. όταν εμφανισθεί το Η, τότε ο πυρήνας συμπυ-
κνώνεται και το περιβλήμα του διαστέλλεται ώστε
να γίνει κόκκινος γίγαντας

Συνοχή πυρήνα: αυξάνει την Τ ώστε να ξεκινήσει η
καύση He σε C και το αστέρι περνά για $2^{\text{η}}$ φάση
σταθερότητας (μικρότερη από την κ.Α.)

Όταν εμφανισθεί και το He, επαναλαμβάνεται το
προηγούμενο σενάριο συστολής του πυρήνα και διαστο-
λής του περιβλήματος μέχρι ν' εμφανισθούν όλες οι
πηγές καυσίμου

Τότε το αστέρι καταλήγει σε αδρανές (από α πομπή
εξελίξης) αντικείμενο: WD, NS, BH

Συμπυκνώσεις μεσοαστρικού υλικού προκαλούνται εξ'
ατίας διαταραχών της πυκνότητας

$$\epsilon_{\text{var}} > \epsilon_{\text{th}}$$

Μάζα συμπυκνωμένου υλικού M , μήκος λ : τότε το βαρυ-
τικό δυναμικό ανά μονάδα μάζας είναι $\sim GM/L$

Η βαρυτική ενέργεια που ανδέεται μ' ένα λόγο μάζας
μήκη: $\epsilon_g = \frac{GM}{L}$ μήκη και η θερμότητα $\epsilon_{\text{th}} = kT$

$$\text{Αυτή } E_g > E_{th} \rightarrow \frac{GM}{L} \mu m_H > kT \left. \vphantom{\frac{GM}{L} \mu m_H} \right\} \Rightarrow$$

$$M = \rho V = \rho \frac{4\pi L^3}{3}$$

$$L^2 > \frac{3}{4\pi} \frac{1}{G \mu m_H} \frac{kT}{\rho} \quad (\text{μήκος Jeans})$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι η συμπύκνωση ευνοείται για μικρό T , υψηλό ρ και μεγάλο χαρακτηριστικό μέγεθος συμπύκνωσης

Η σκόνη κ' τα αέρια που συμπυκνώνονται σχηματίζουν λόγω περιστροφής πενταζωφίενου δίσκου. Από αυτό σχηματίζονται οι πλανήτες (πρωτοπλανητικός δίσκος)

Σύμφωνα με φασή της συμπύκνωσης συνδέεται από εκτόξευση υλικού

Αρχικά η συμπύκνωση προχωρά πολύ γρήγορα ($y \ll \frac{L}{L^2}$) (σχέδον ελεύθερη πτώση)

Σύντομα η κίνηση απ' την ελεύθερη πτώση του σωματιδίου μετατρέπεται σε άτακτη θερμική κίνηση

Έτσι μειώνεται E_g και ένα μέρος της γίνεται E_{th} , ένα άλλο ακινοβολία ή περιστροφή

Η P που αναπτύσσεται λόγω $T \uparrow$ σταματά την ελεύθερη πτώση

Με την \uparrow της T διαδοχικά εφαιρώνεται η σκόνη, απουσιάζονται τα μόρια, ιονίζονται τα άτομα

Όταν ιονιστούν Η, He αποκαθίσταται Θ.Ι.
 τότε το πρωτοαέρι έχει $r \approx 60 R_{\odot}$ και αρκετή T_{eff}
 ώστε να είναι πάνω δεξιά στο Η-Β
 Η T είναι ακόμα χαμηλή και ο ιονισμός είναι η κύρια
 πηγή αδιαφανείας

Η αήρ της αδιαφανείας είναι μεγάλη και μεγάλη είναι
 η κλίση της $\left(\frac{dT}{dr}\right)_{rad} = -\frac{3}{160} \frac{k}{\pi(r)^3} \frac{L(r)}{4\pi r^2}$ υπερβαί-
 νει την $\left(\frac{dT}{dr}\right)_{ad} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{T}{\rho} \frac{d\rho}{dr}$

Έτσι σε όλο το αέρι $\left(-\frac{dT}{dr}\right)_{ad} < \left(-\frac{dT}{dr}\right)_{rad}$ και
 έχω μεταφορά ενέργειας με ρεύματα μεταφοράς

Το αέρι περνά από φάση έντονης συστολής με
 μικρή \uparrow της T_{eff} κινείται κάτω και λίγο αριστερά στο
 διαγράμμα Η-Β

Για αέρι σαν τον Ήλιο αυτό διαρκεί για 10^7 χρόνια
 Για αέρι με $m=15m_{\odot}$ αυτό διαρκεί 10^4 χρόνια

Στην διάρκεια της Μayasaki ενάει $T \uparrow$ ώστε το $D=0$
 να μετατραπεί σε ${}^3\text{He}$: ${}^1\text{H} + {}^2\text{D} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$

Η πορεία Μayasaki τελειώνει όταν $T \gg T_{ion, He}$, οπότε
 μεινεται σημαντικά η αδιαφάνεια και η CZ συρρικνώ-
 νεται στο μέγεθος που έχει στην κ.Α.

Το άστρο τότε διατηρεί σταθερή λαμπρότητα ενώ αυξάνει
η T_{eff} του στην επιφάνειά του (πράγμα που το μικραίνει
σχεδόν οριζόντια και αριστερά στο H-R)

Στη διάρκεια αυτής της διαδικασίας $T_{\text{core}} \uparrow$. Όταν
φτάσει 10^8 K ξεκινά το $\text{H} \rightarrow \text{He} \Rightarrow \text{ZAMS}$

Θέση του άστρου στην κ.Α. = $f(M)$. $M \uparrow$ λόγω μεγαλύτερης
 E_g , έχουν $T_c \uparrow \Rightarrow$ παράγουν ενέργεια με μεγαλύτερο
ρυθμό και είναι πιο λαμπρά \Rightarrow πάνω αριστερά στο H-R

Σχέση λαμπρότητας L και μάζας ($L \sim M^{4.0-5}$). Οι διαφορές
κλίσης είναι ανάλογα αν επικρατεί p-p ή CNO
Η εφελιξη ως προς την κ.Α. είναι πιο χρήσιμη για αστέ-
ρια μάζας M , επειδή \uparrow περισσότερη βαρυτική
ενέργεια που είναι διαθέσιμη.

$1 M_{\odot}$ κάνει 1.4×10^8 yrs να φτάσει στην κ.Α.

$15 M_{\odot}$ κάνει 2×10^5 yrs να φτάσει στην κ.Α.

$0.5 M_{\odot}$ κάνει 2×10^9 yrs να φτάσει στην κ.Α.

Σε ένα σμήνος όπου όλα τα αστέρια γίνονται ταυτόχρονα,
τα αστέρια μεγαλύτερης μάζας θα φτάσουν πρώτα στην
κ.Α. (στο επάνω αριστερό μέρος)

Οι συμπυκνώσεις με $m < 0.05 m_{\odot}$ δεν αποκτούν ποτέ T
για καύση H.

Τέτοια αντικείμενα θα είναι γυμρά όπως οι γίγαντες
πλανήτες (brown planet)

Ανώτατο όριο μάζας $m \sim 60 m_{\odot}$. Αστέρι με $m \sim 60 m_{\odot}$ δεν
μπορεί να διατηρηθεί για πολύ επειδή $T \uparrow$, η πίεση
της ακτινοβολίας αποβαίνει υπέρμο και επειδή το

περιβλήμα τους είναι ασταθές σε ταλαντώσεις που οδηγούν σε απώλεια μάζας.

Η ΚΥΡΙΑ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ

$$T_{\text{center}} = 1.56 \times 10^7 (\rho - \phi) \quad (\text{και όλα τα αστέρια με } m \text{ μέχρι } 2m_{\odot})$$

$$T_{\text{center}} > 2 \times 10^7 \text{ K (CNO)} \quad (\text{είσορα μεγαλύτερης μάζας πάνω αριστερά στην κ.Α.})$$

$$\frac{d\epsilon}{dt} \Big|_{\text{CNO}} \uparrow \Rightarrow \left(\frac{dT}{dr} \right)_{\text{rad}} \uparrow \Rightarrow \text{ο πυρήνας είναι ασταθής σε ρεύματα μεταφοράς.}$$

Αναθετα στους πυρήνες του αστρού της κλίμακας κ.Α. η ενέργεια μεταδίδεται με ακτινοβολία.

1η περίπτωση: έχουμε ανάμειξη του υδρογόνου πάντα στο αστέρι \Rightarrow η περιεκτικότητα σε Η που καταναλώνεται και σε He που παράγεται ίδια πάντα.
2η περίπτωση δεν ισχύει.

Αστέρια πάνω στην κ.Α. \nexists CZ (γιατί η T_{surface} είναι πολύ μεγάλη)

2 του Ήλιου η CZ ξεκινά από $r \sim 0.68 R_{\odot}$.
Σε αστέρια μεταγενέστερου τύπου από τον Ήλιο η CZ ξεκινά από πιο βαθιά ενώ σε προγενέστερα έχει μικρότερη έκταση.

Όταν το αστέρι βρίσκεται στην κ.Α. οι μεταβολές είναι αργές.

Αρχίζει η (x, y, z) (C, H, He, μετάδα):

Καύση $H \Rightarrow \mu_{\text{center}} \uparrow \Rightarrow \rho \downarrow \Rightarrow$ μικρή συστολή στον πυρήνα.

Η ισόρροπια αποκαθίσταται με μικρή \uparrow της $T \Rightarrow$ μικρή $\uparrow \frac{dE}{dt}$, d

Αρα όταν εμφανισθηκε ο Ήλιος είχε λίγο μικρότερη, R, L, T_c, ρ απ' όσα σήμερα

Μοντέλα εσωτερικού αστρο \downarrow $\mu\theta$ σε ηλικία $4.5 \cdot 10^4$ yrs

Η εξέλιξη των αστεριών με βαζα παρόμοια με αυτή του Ηλίου.

10 δισ. χρόνια στην Κ.Α.

Μόλις τελειώσει το H του πυρήνα του κατευθύνεται στον κλάδο των γιγάντων

Ζειναι η καύση του He

Μόλις τελειώσει το He του πυρήνα, αυτός συστέλλεται και τα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας του διαστέλλονται

Αποκόπτεται λοιπόν βιάζεται ένα μέρος του εξωτερικού περιβλήματος του αέρα σχηματίζοντας ένα σφαιρικό κενό χώρο από τον αστέρα (πλανητικό νεφέλωμα). Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί (πολλά κενά κενά).

Το μέρος του αστέρα που δεν αποκόπηκε αποτελεί το δούκο ναο

Πλανητικό νεφέλωμα είναι το υλικό το οποίο αποκόπτεται μετά την βίαιη έκρηξη από το αστέρι μετά την μετατροπή του ηλίου σε άνθρακα

Λευκοί Νάνοι

Το κομμάτι είναι του αστέρου που δεν συμπιέθηκε σε εκρήξεις που οδηγούν στο σχηματισμό των πλανητικών νεφελών.

Εκφυλισμένο υλικό

Πολύ μεγάλη πυκνότητα, μικρό μέγεθος (ακτίνα περίπου με της Γης!)

Αρχικά η θερμοκρασία της επιφάνειας του είναι πολύ μεγάλη $\sim 25000\text{K}$.

Υψεται αργά μέχρι να καταλήξει σε λευκό νάνο, ένα γυαλό και σκοτεινό αντικείμενο

Ο λευκός νάνος χάνει συνεχώς ενέργεια, γι' αυτό και η Τ_ε

Πυρηνικές Αντιδράσεις Στο Εσωτερικό Μιας Αστέρων

Όπως και στην περίπτωση των αστέρων μικρότερης μάζας, κανένα σχήμα εμφανίζεται το Η του πυρήνα ο οποίος μένει μόνο με He

Πόσω αύξησης της θερμοκρασίας στον πυρήνα, το He που \exists εκεί αρχίζει να καίγεται μετατρέπόμενο σε C. Ταυτόχρονα Η καίγεται σε ένα φάσιό γύρω από τον πυρήνα He του αστέρου.

Με την ίδια διαδικασία ο C καίγεται και έχουμε με τον τρόπο αυτό σύνθεση όλο και βαρύτερων στοιχείων.
 $\text{He} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{Ne} \rightarrow \text{O} \rightarrow \text{Silicon} \rightarrow \text{Fe}$

Έτσι το εσωτερικό του αστέρα μοιάζει με κρεμμύδι, αποτελούμενο από ομόκεντρους φάσιους που όσο πάμε προς τα μέσα περιέχουν όλο και βαρύτερα στοιχεία.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να συνεχιστεί μέχρι το σημείο Fe, γιατί μετά οι αντιδράσεις γίνονται ενδοθερμές.

ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΠΥΡΗΝΑ ΜΑΖΙΚΩΝ ΑΣΤΕΡΙΩΝ

Ο Fe που τελικά σχηματίζεται στον πυρήνα μαζικών αστεριών δεν μπορεί να μετασχηματιστεί σε βαρύτερα στοιχεία γιατί οι σχετικές αντιδράσεις είναι ενδοθερμές.

Αρχίζει η κατάρρευση του πυρήνα που εφαιτίας της το μέγεθός του γίνεται μικρότερο από 20 km.

Η συμπίεση είναι τόσο μεγάλη που τα πρωτόνια αλληλεπιδρούν με ελεύθερα νετρόνια σχηματίζοντας νετρόνια και αποβάλλοντας ενέργεια από τον πυρήνα (αστέρι νετρονίων).

Το κρασικό κύμα που δημιουργείται λόγω της κατάρρευσης του πυρήνα διαδίδεται προς τα έξω σαρώνοντας όλο το υλικό που βρίσκεται στην διαδρομή του. Η εκρήξη που προκύπτει ονομάζεται εκρήξη υπερνόβα.

Το υλικό νετρονίων είναι εκφυλισμένο και η πίεση που εφασκεί σταμάτα την περαιτέρω κατάρρευση του πυρήνα.

Ο μεσοαστρικός χώρος επιδρατείται με βαριά στοιχεία 2 τάξεις βαρύτερα από το Fe δημιουργούνται

Κατά την εκρήξη λαομαξίας του κρούστος κηφός

Ένα NS έχει διάμετρο \ll διάμετρο ενός WD

$$r_{NS} \approx 12 \left(\frac{M_{\odot}}{M} \right)^{2/3}$$

\rightarrow για αστέρι με $M \approx 1.44 M_{\odot} \Rightarrow 2 r_{NS} \approx 11 \text{ km}$ και $\rho \approx 5 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$

Παραδοσιακή επιβεβαίωση pulsars

Pulsar: περιόδικο επαναλαμβανόμενο παλμός με $T \sim 1 \text{ sec}$ (μεταί $T \sim \text{msec}$)

Η πολύ μικρή T δεν οφείδεται σε ταχύντωση, αλλά σε περιστροφή

Μόνο πολύ συμπαγή αντικείμενα, όπως τα NS, θα μπορούσαν να έχουν τόσο μικρή περίοδο περιστροφής. Διαφορετικά η βαρύτητα δεν θα μπορούσε να υπερικήσει τη γυροκέντρο δύναμη

Η συνθήκη αυτή καταλήγει στην παρακάτω σχέση για την ακτίνα αστέρα μαζας M που περιστρέφεται με περίοδο T : $R \leq \left[\frac{GM T^2}{14\pi^2} \right]^{1/3}$ που για αστέρι με $m \approx 1.44 M_{\odot}$ και $T \approx 1 \text{ sec}$ δίνει $R \leq 1700 \text{ km}$ ($\Rightarrow \ll R_{WD}$)

Η διατήρηση της σφαίρικότητας στη διάρκεια σωστών του αστέριου είναι αυτή που αυξάνει την ω του, μικραίνει την T και παρατηρούμενες τιμές

Η παλμική εκπομπή, ερμηνεύεται από μαγνητικά
δυναμικά πεδία που έχει άξονα που σχηματίζει
γωνία με τον άξονα περιστροφής.

Το πεδίο αυτό προέρχεται από τη συμπίεση του
αρχικού μ.π. του αρχικού αερίου => το μ.π. που
μεγαλο ($\sim 10^{15}$ G) μαγνητικό πεδίο.

Το μ.π. περιστρέφεται μαζί με το αέρι μέχρι
την απόσταση r όπου η ταχύτητα περιστροφής
γίνεται ίση με c : $r = \frac{I}{2\pi} c$

Η r ορίζει τον κύλινδρο και για $T \sim 1 \text{ sec}$ είναι
 $r = 47.8 \times 10^3 \text{ km}$

Κοντά στους μαγνητικούς πόλους και πάνω τους
ανοιχτές δυναμικές γραμμές, η αλληλεπίδραση e^-
με ΗΠ παράγει ακτινοβολία.

Δημιουργείται δέσμη ακτινοβολίας στη διεύθυνση
του άξονα του διπόλου, η οποία καθώς το NS
περιστρέφεται, διαγράφει κώνο γύρω από τον
άξονα περιστροφής.

Αν η διεύθυνση τα παρατηρητή είναι κοντά στην
επιφάνεια του κώνου ο παρατηρητής θα δει
περιοδικούς παλμούς

Αυτό έχει στα συνέπεια να μπορούμε να παρατηρή-
σουμε μόνο ένα μικρό ποσοστό των pulsar να
είναι στο Γαλαξία.

Μερικές φορές η εκδήληση δεν περιορίζεται
στα ραδιοκύματα, αλλά εκτείνεται στο ορατό,
ακτίνες X και γ .