

ΟΡΙΑΚΟΙ ΑΣΤΕΡΕΣ ΗΛΙΟΥ (Extreme He Stars)

Ωρίων Αστρονομική Εταιρεία Πάτρας

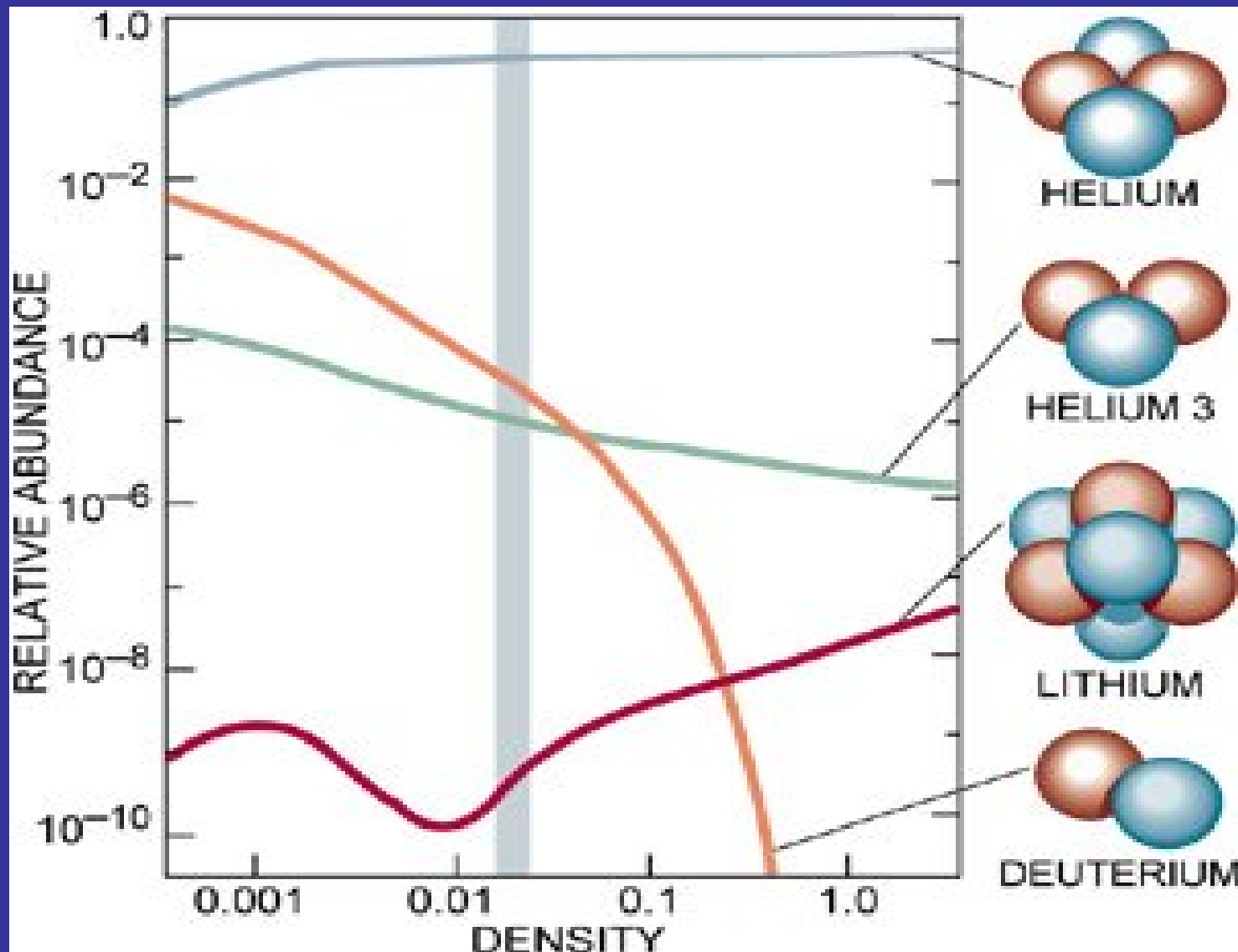
Φθινόπωρο 2005

Κ.Ν. Γουργουλιάτος

Η Σύσταση του Σύμπαντος

- Μετά από μακροχρόνιες μελέτες διαπιστώθηκε ότι τα $\frac{3}{4}$ του Σύμπαντος αποτελείται από Υδρογόνο (H), το $\frac{1}{4}$ από Ήλιο (He) και υπάρχουν ίχνη βαρύτερων στοιχείων (μέταλλα).
- Η περιεκτικότητα αυτή είναι σύμφωνη με τα κοσμολογικά μοντέλα (Big Bang) και την θεωρία της αστρικής εξέλιξης.

Συγκεντρώσεις Στοιχείων



Η Σύσταση των Αστέρων

- Λογικό είναι να υποθέσουμε ότι τα αστέρια μηδενικής ηλικίας (μόλις έχουν αρχίσει τον κύκλο ζωής τους) να έχουν ανάλογη σύσταση.
- Τα περισσότερα αστέρια έχουν όντως τέτοια σύνθεση.
- Παρόλα αυτά παρατηρούμε ορισμένα αστέρια να έχουν σαν κύριο συστατικό τους το He. Γιατί;

Διαφοροποίηση Αστέρων He

- Η εξέλιξη των αστεριών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως την αρχική τους μάζα, την χημική τους σύσταση και την ενδεχόμενη ύπαρξη συνοδών.
- Οι αστέρες που θα μελετήσουμε διαφέρουν σημαντικά στην χημική τους σύσταση.

Οι Εξισώσεις Αστρικής Δομής

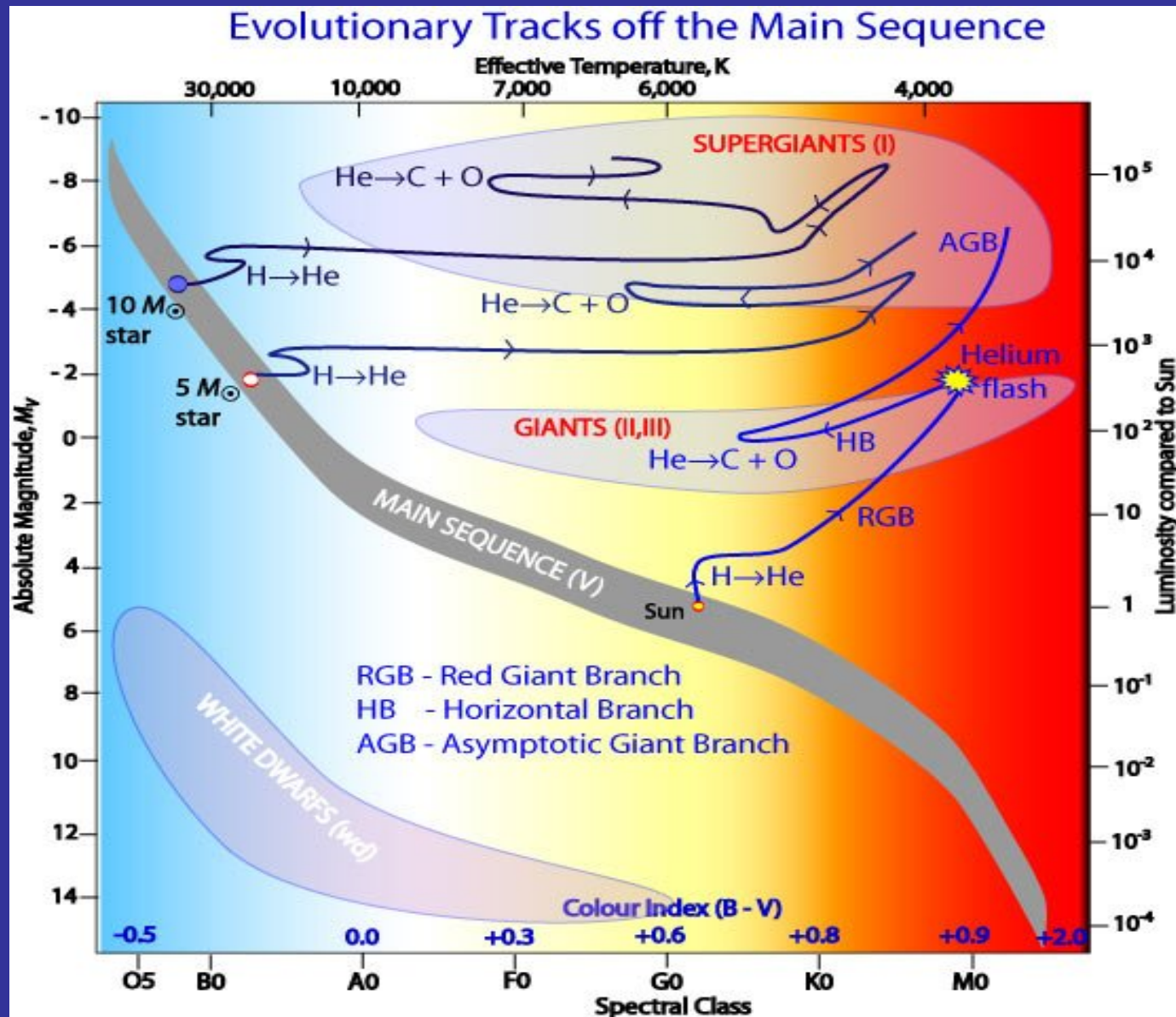
$$P \propto \frac{\rho T}{\mu} \quad E \propto \rho^a T^b X^c$$

$$\frac{dP}{dr} = -g \rho$$

Εξήγηση των Εξισώσεων

- Οι εξισώσεις της αστρικής δομής έχουν ισχυρή εξάρτηση από το μοριακό βάρος των στοιχείων που περιέχει ο αστέρας.
- Υπάρχει εξάρτηση από την συγκέντρωση των χημικών στοιχείων στον αστέρα.
- Συνεπώς μία αλλαγή στη σύστασή του, οδηγεί σε άλλες καταστάσεις ισορροπίας, αφού αλλάζει ο παράγοντας X και το μ .

Το Διάγραμμα HR



Θεωρητικές Μελέτες

- Τις δεκαετίες του '50 και του '60 είχαν γίνει θεωρητικές μελέτες των εξισώσεων των αστεριών σε περίπτωση που το κύριο συστατικό τους ήταν το He.
- Μόνο όμως τα τελευταία 20 χρόνια έγιναν αστρονομικές παρατηρήσεις που μας αποκάλυψαν ένα νέο είδος αστέρων τα **Οριακά Αστέρια He**.

Θερμοκρασίες και επιφανειακή βαρύτητα

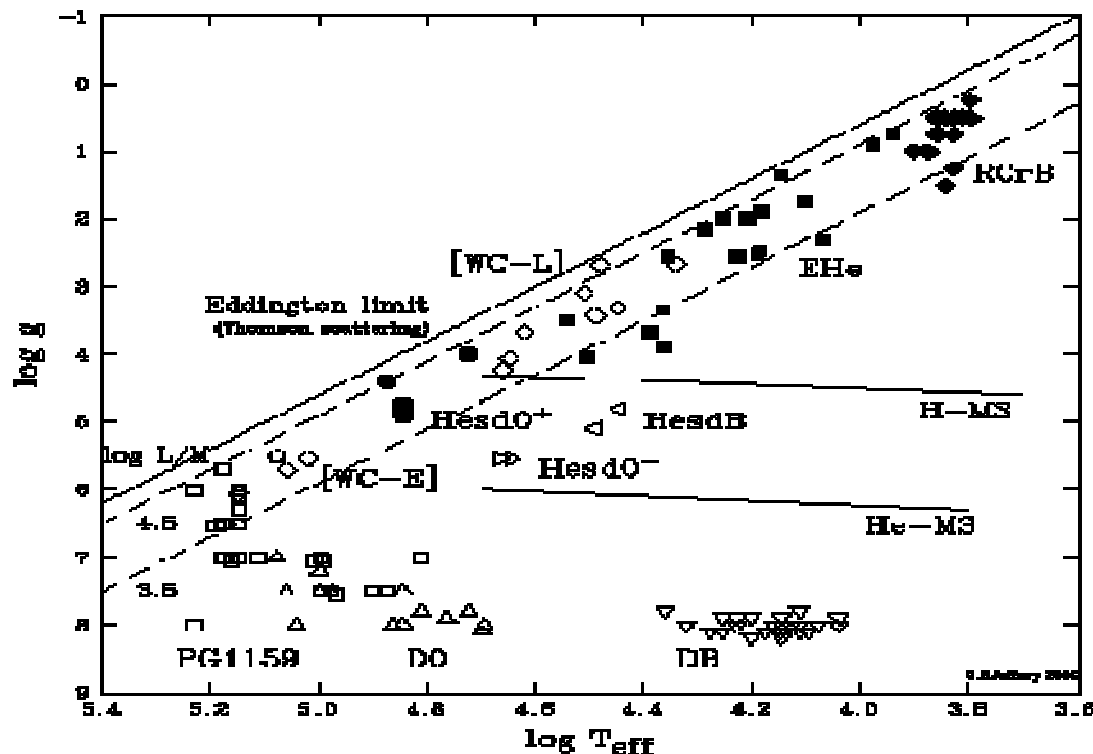


Fig. 1. $T - g$ diagram for hydrogen-deficient stars including RCrB stars (\blacklozenge : Asplund et al. 2000), EHe stars (\blacksquare : Jeffery 1996, Pandey 1999), low gravity helium-rich sdO stars (HesdO^+ , \bullet : Husfeld et al. 1989), [WC] stars (\circ : Hamann 1996, assuming $M = 0.6 M_{\odot}$), PG1159 stars (\square : Werner et al. 1996), high-gravity HesdO stars (HesdO^- , \triangleleft : Dreizler 1993), helium-rich sdB stars (HesdB , \triangleright : Heber et al. 1988), DO white dwarfs (\triangle : Dreizler & Werner 1996), and DB white dwarfs (∇ : Wegner & Nelan 1987). The Eddington limit, loci of constant L/M , and hydrogen and helium main sequences (H-MS, He-MS) are also shown.

Σενάριο Δημιουργίας

- Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε κυρίως στα μέσα της δεκαετίας του '90 από τους Saio και Jeffery.
- Εξηγεί ικανοποιητικά τις ιδιότητές τους αλλά εξακολουθεί να υπάρχει ανοιχτό πεδίο έρευνας.

Μοντέλο Saio Jeffery

- Ζεύγος Λευκών Νάνων όπου ο ένας αποτελείται από Άνθρακα, C, και Οξυγόνο, O, (πρωτεύων) ενώ ο άλλος από Ήλιο, He, περιφέρονται σε κυκλική τροχιά γύρω από το κέντρο βάρους τους.
- Σε περίπτωση που η απόσταση τους είναι μικρή, ώστε η περίοδος τους να μην υπερβαίνει μερικές ώρες, η βαρυτική επιτάχυνση είναι έντονη ώστε μέσω βαρυτικών κυμάτων να απάγεται ταχύτατα η στροφορμή.
- Αρκετά τέτοιου είδους αστέρια έχουν παρατηρηθεί την τελευταία δεκαετία και είναι αποτέλεσμα εξελικτικής διαδικασίας συνηθισμένων αστέρων.

Μοντέλο S-J (συνέχεια)

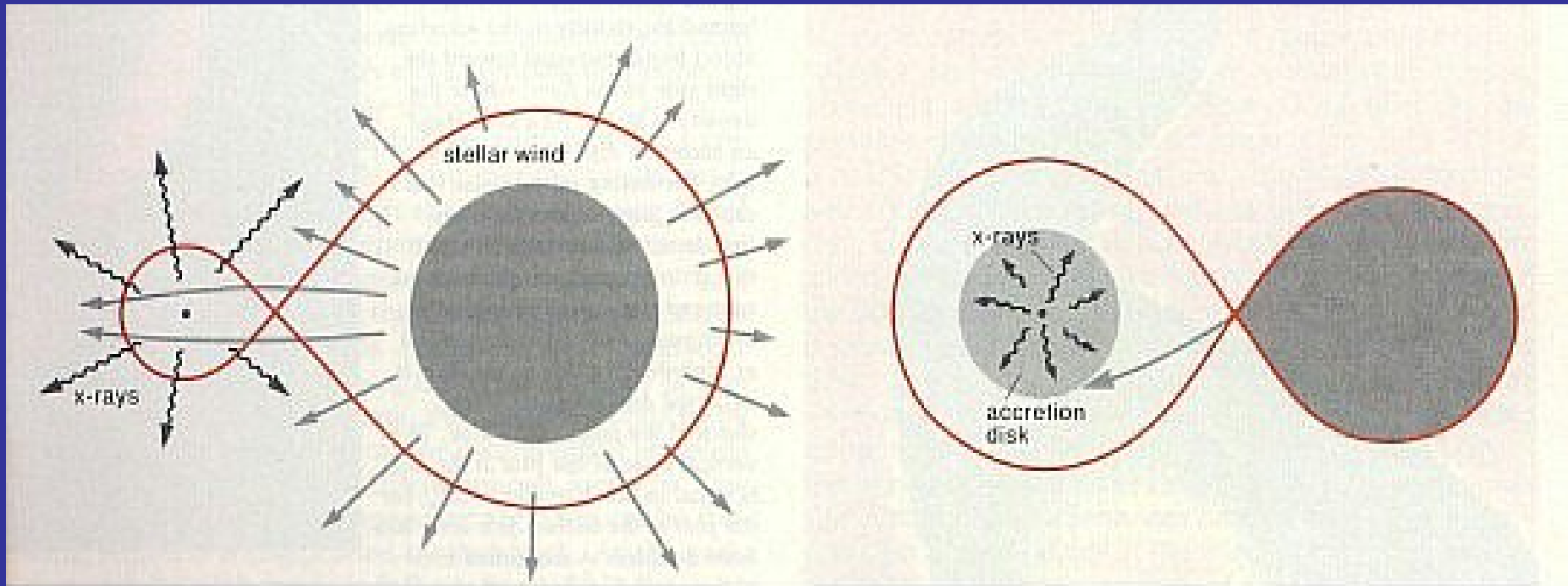
- Όταν πλησιάζουν σε κοντινή απόσταση (η αντίστοιχη περίοδος είναι μερικά λεπτά), το δευτερεύων γεμίζει το λοβό Roche και γίνεται βαρυτικά ασταθές.
- Αποσυντίθεται και σχηματίζει μέσα σε δυναμική κλίμακα χρόνου έναν δίσκο, σε μορφή πλανητικού δίσκου.

Ο Λοβός Roche

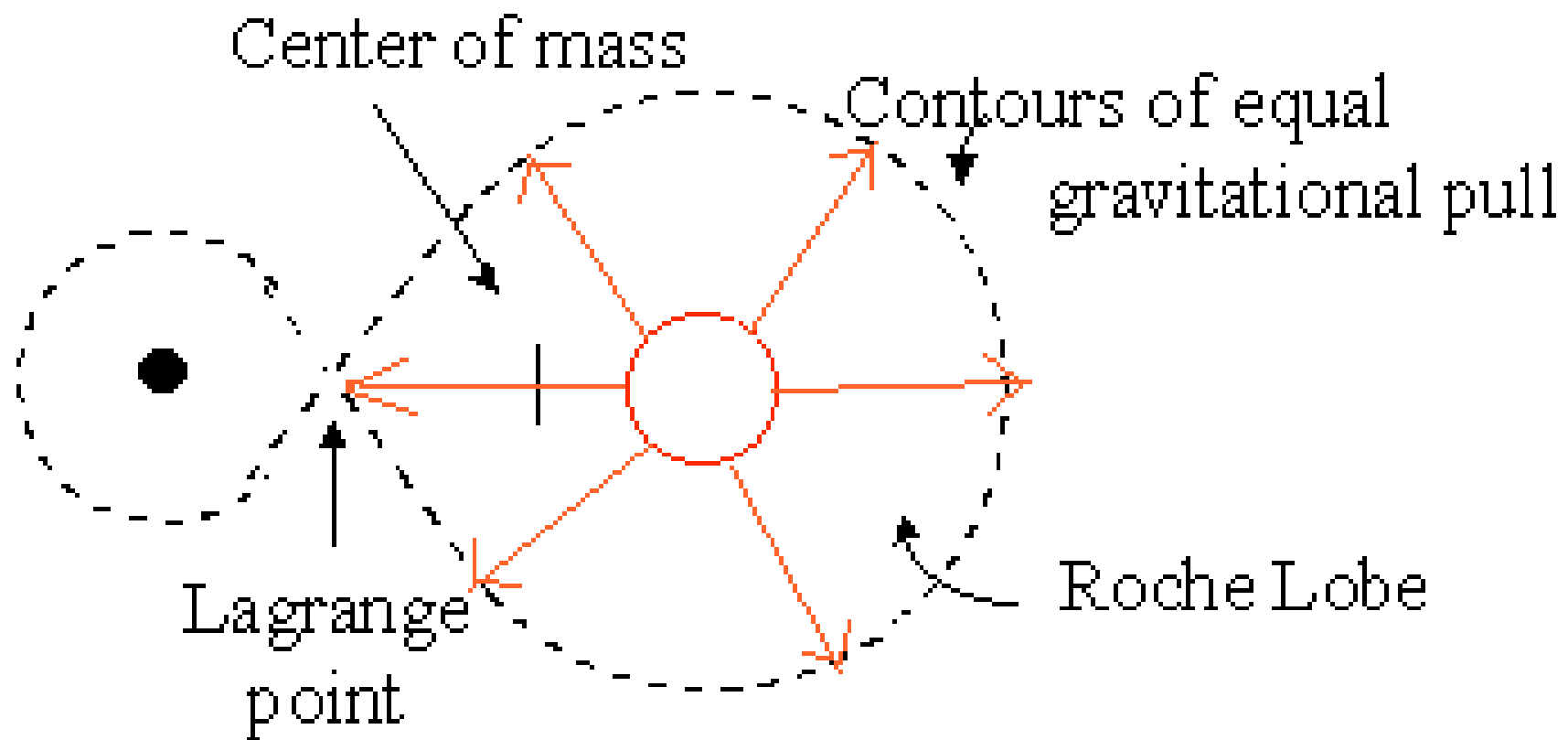
- Όταν ένα μη σημειακό αντικείμενο έλκονται βαρυτικά έχουμε την εμφάνιση παλιρροιακών δυνάμεων.
- Οφείλονται στην διαφορετική ένταση του βαρυτικού πεδίου στα διάφορα σημεία του αντικειμένου.
- Άμεση συνέπεια του παραπάνω να εμφανίζεται μια δύναμη η οποία τείνει να το επιμηκύνει στη διεύθυνση της έντασης του βαρυτικού πεδίου.
- Σε περίπτωση που αυτές οι δυνάμεις είναι αρκετά ισχυρές καταστρέφουν «εις τα εξ' ων συνετέθη» το αντικείμενο

Σχηματική απεικόνιση του λοβού Roche

Roche



Σχηματική Απεικόνιση του λοβού Roche (β)

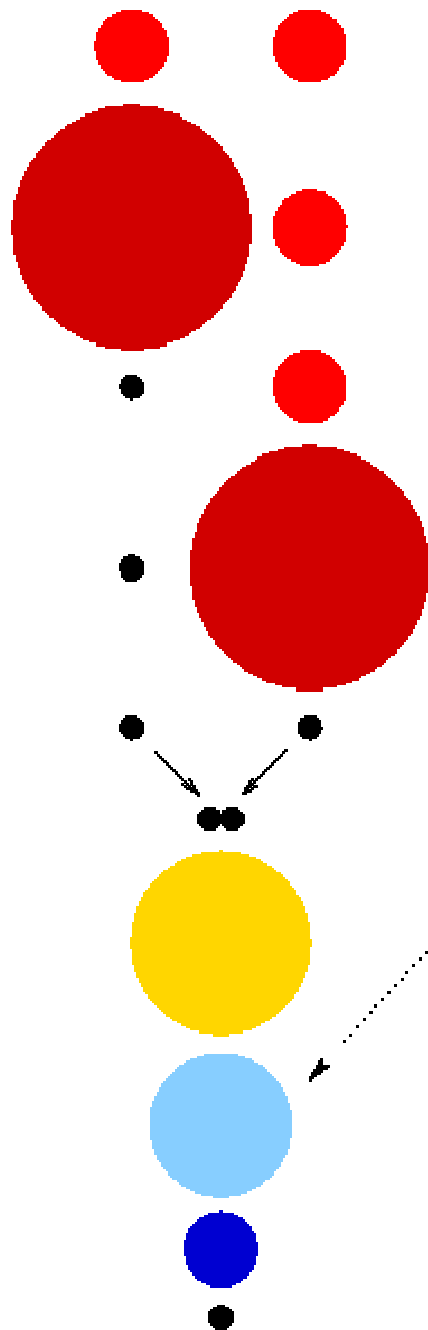


Σχηματισμός Δίσκου

- Το He από το οποίο αποτελείται ο δευτερεύων σχηματίζει ένα δίσκο.
- Ο δίσκος περιβάλλει το πρωτεύον αστέρι και με βραδείς ρυθμούς (λόγω του ορίου Eddington) προσauξάνεται πάνω σε αυτό.
- Όταν ένα μικρό κλάσμα της μάζας του δίσκου βρεθεί πάνω στο πρωτεύον δημιουργείται μια έκλαμψη Ηλίου (Helium flash).
- Η έκλαμψη αυτή ελευθερώνει μεγάλη ποσότητα ενέργειας με αποτέλεσμα να έχουμε την διαστολή του αστέρα και τον σχηματισμό ενός γίγαντα.

Σχηματισμός Γίγαντα

- Ο Γίγαντας αυτός βρίσκεται σε μια κατάσταση ισορροπίας μέχρι να καταναλωθεί το Ήλιο.
- Σε αυτό το διάστημα πάλλεται και περιστρέφεται ταχύτατα.
- Στην συνέχεια λόγω έλλειψης καυσίμου ψύχεται και συστέλλεται ώσπου να δημιουργήσει τελικά ένα λευκό νάνο και να τελειώσει εκεί η εξελικτική του διαδικασία



Two normal main-sequence stars

More massive star evolves to become a red giant ...

... and then a helium white dwarf

Second star becomes a red giant ...

... and then a helium white dwarf

The binary orbit decays because of gravitational radiation ... until the slightly less massive white dwarf is swallowed up by its more massive companion

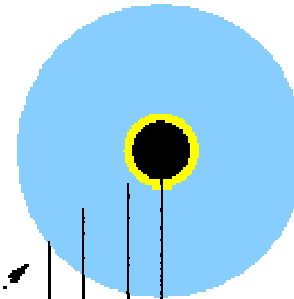
Helium from the the lower-mass white dwarf is heated at the core/envelope boundary, nuclear reactions begin and the new star expands to become a yellow giant

The helium-burning shell burns inwards through the degenerate core and the star shrinks to become a blue giant

The burning-shell reaches the center and core-burning begins; the star is then a hot subdwarf

After core helium-burning, the star contracts to become a carbon/oxygen white dwarf

V652 Her



Degenerate helium core

Helium-burning shell

Helium-rich envelope

Pulsations at surface

Το Πρόβλημα της Στροφορμής

- Αν και το μοντέλο αυτό εξηγεί τις περισσότερες λεπτομέρειες, υπάρχουν αμφιβολίες για την δυναμική του προβλήματος.
- Όταν οι Νάνοι αστέρες πλησιάζουν πολύ κοντά περιφέρονται ταχύτατα με αποτέλεσμα μεγάλη ποσότητα στροφορμής να έχει αποθηκευτεί στο σύστημα.
- Πράγμα που μας οδηγεί με βεβαιότητα στο συμπέρασμα ότι οι γίγαντες περιστρέφονται ταχύτατα όπως επιβεβαιώνουν και οι παρατηρήσεις.
- Κατά την φάση της συστολής όμως υπάρχει πρόβλημα γιατί η περιστροφή γίνεται τόσο γρήγορη ώστε να αγγίζει τα ανώτατα δυνατά όρια.
- Το ζήτημα χρήζει περαιτέρω μελέτης.

Συμπεράσματα

- Οι αστέρες Ηλίου αποτελούν μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα κατηγορία αστέρων, γιατί ουσιαστικά δημιουργούνται από την αναζωογόνηση νεκρών αστέρων (λευκών νάνων).
- Η θεωρητική τους μελέτη προηγήθηκε της παρατήρησης τους.
- Οι γενικότερες ιδιότητες τους έχουν εξηγηθεί ικανοποιητικά, αλλά το ζήτημα δεν έχει κλείσει.
- Αν και θυμίζουν την περίπτωση των κοινών νόβα, η ύπαρξη Ηλίου (και όχι Υδρογόνου) διαφοροποιεί άρδην το φαινόμενο.

Βιβλιογραφία

- http://star.arm.ac.uk/~csj/research/ehe_review/ehes.html
- <http://www.na.astro.it/meetings/wd2002/wd.html>
- Merged binary white dwarf evolution: rapidly accreting carbon-oxygen white dwarfs and the progeny of extreme helium stars, MNRAS 2002, Saio & Jeffery
- The evolution of a rapidly accreting helium white dwarf to become a low-luminosity helium star, MNRAS 2000, Saio & Jeffery
- Models of Massive Stars in Helium-Burning Stage, ApJ 1960, [Hayashi, C.](#) [Jugaku, J.](#) [Nishida, M.](#)