

ΕΡΓΑΣΙΑ PROJECT A' ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ

Συγγραφική Ομάδα: Ζέρβα Ανδριανή, Καλύβα Αθανασία,
Καραλιβάνου Αιμιλία, Κοκκόρου Φωτεινή,
Ληξουργιώτη Αικατερίνη, Πονήρη Λεμονιά

Σχολικό Έτος: 2011-2012

Θέμα Εργασίας: << Αστρική Εξέλιξη >> (Πρωτοαστέρες)

Τάξη: Α' Λυκείου Δεσφίνας

Καθηγητές: Κάκαβος Βασίλειος, Φλούρος Άγγελος



Τι είναι Πρωτοαστέρας;

Αρχικά υπάρχει ένα μεσοαστρικό νέφος το οποίο για κάποιο λόγο αρχίζει να καταρρέει βαρυτικά. Αυτή η συγκέντρωση ύλης είναι αρκετά αραιή και διαφανής στην ακτινοβολία. Καθώς το αέριο καταρρέει βαρυτικά αρχίζει να μετατρέπει την δυναμική του ενέργεια σε θερμική. Ο μηχανισμός με τον οποίο το υλικό του άστρου θερμαίνεται με την κατάρρευση εξηγείται από το θεώρημα Βίριαλ (Virial). Συγκεκριμένα το θεώρημα Βίριαλ προβλέπει ότι καθώς καταρρέει το άστρο θα μετατρέπει την μισή βαρυτική του ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια του αερίου και την υπόλοιπη μισή θα την ακτινοβολεί. Έτσι στο πρώτο στάδιο της κατάρρευσης το νέφος εκπέμπει θερμική ακτινοβολία λόγω του θεωρήματος Βίριαλ και λόγω της διαφάνειας του και παράλληλα θερμαίνεται. Σ' αυτό το στάδιο πρέπει να αναφέρουμε ότι το υλικό του αστέρα καταρρέει εκτελώντας ουσιαστικά ελεύθερη πτώση αφού δεν υπάρχει ακόμα κάποιος μηχανισμός να αντισταθεί στην κατάρρευση. Ο χρόνος που διαρκεί αυτή η διαδικασία είναι της τάξης των 10^3 ετών.

Καθώς συνεχίζεται η κατάρρευση του νέφους, αρχίζει να αυξάνεται αισθητά η πυκνότητα στο κέντρο του νέφους και έτσι ο πυρήνας του νέφους αρχίζει να γίνεται αδιαφανής. Η αύξηση της αδιαφάνειας εμποδίζει την διαφυγή της θερμικής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα την πιο έντονη αύξηση της θερμοκρασίας του αερίου στον πυρήνα του νέφους. Η αύξηση της πυκνότητας και της θερμοκρασίας οδηγεί στην αύξηση της πίεσης η οποία αρχίζει να αντιστέκεται στην κατάρρευση. Σ' αυτό το στάδιο σταματά η κατάρρευση με ελεύθερη πτώση και ο αστέρας βρίσκεται σε ημιυδροστατική ισορροπία, κατά την οποία οι διαστάσεις του αλλάζουν πιο αργά (βραδεία συστολή). Σ' αυτό το στάδιο λέμε ότι έχει δημιουργηθεί ένας πρωτοαστέρας. Σήμερα η πιο γενικά παραδεκτή θεωρία που περιγράφει την εξέλιξη των πρωτοαστέρων είναι η θεωρία του Ιάπωνα Χαγιάσι (Chushiro Hayashi). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία ο πρωτοαστέρας ξεκινά με μεγάλες διαστάσεις (άρα μεγάλη λαμπρότητα) και χαμηλή επιφανειακή θερμοκρασία, γεγονός που τον τοποθετεί επάνω και δεξιά στο διάγραμμα H-R. Καθώς συστέλλεται ελαττώνεται η λαμπρότητά του χωρίς να αυξάνεται σημαντικά η επιφανειακή του θερμοκρασία και έτσι ο αστέρας ακολουθεί μια κατακόρυφη πορεία στο διάγραμμα H-R. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η θερμότητα που παράγεται στο κέντρο του αστέρα φτάνει στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να αρχίσει να αυξάνεται η επιφανειακή του θερμοκρασία και να αρχίσει να κινείται οριζόντια και προς τα αριστερά ο πρωτοαστέρας. Από αυτό το σημείο και μετά θεωρούμε ότι η μεταφορά της ενέργειας μέσα στον πρωτοαστέρα γίνεται με ακτινοβολία. Από εκεί και πέρα ο αστέρας πάει να συναντήσει την κύρια ακολουθία. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία στον πυρήνα του πρωτοαστέρα θα φτάσει κάποια στιγμή όπου θα αρχίσει η [πυρηνική σύντηξη Λίθιου](#) και Δευτέρου και λίγο μετά περίπου στη θερμοκρασία των 10^7 βαθμών Κέλβιν η πυρηνική σύντηξη Υδρογόνου. Η στιγμή που στον πυρήνα του πρωτοαστέρα θα αρχίσει να καίγεται το Υδρογόνο είναι και η στιγμή που γεννιέται ο αστέρας και έχουμε την είσοδο στην κύρια ακολουθία μηδενικής ηλικίας.

Για να καταφέρει ο πρωτοαστέρας να αναπτύξει τις κατάλληλες θερμοκρασίες στο εσωτερικό του, πρέπει η μάζα του να ξεπερνά το όριο των $0.1 M_{\odot}$. Αν η μάζα του είναι μικρότερη θα καταλήξει σε ένα φαιό νάνο ο οποίος σταδιακά θα χάνει την θερμότητα και τη λαμπρότητά του.

ΣΥΣΤΑΣΗ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΩΝ

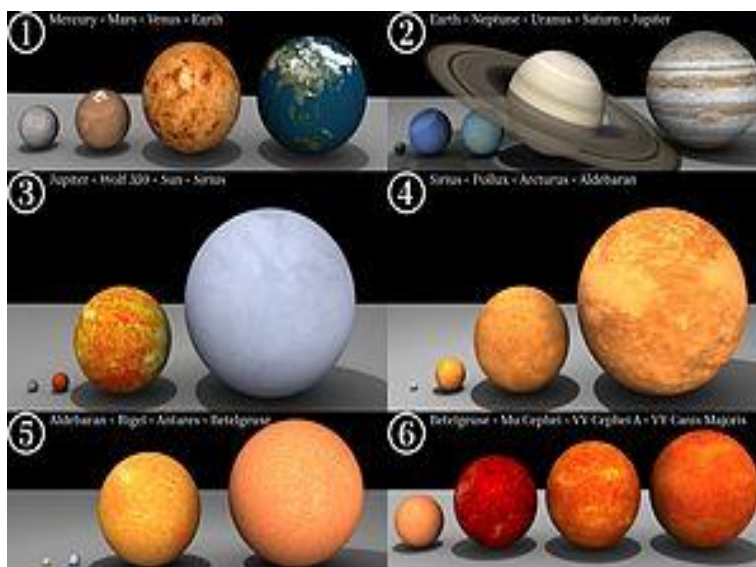
Οι αστέρες κατά κύριο λόγο αποτελούνται από Υδρογόνο και Ήλιο, βασικά συστατικά των μεσοαστρικών νεφών, αλλά και από βαρύτερα στοιχεία όπως Λίθιο, Άνθρακα, Οξυγόνο κ.α. Το Υδρογόνο και το Ήλιο (καθώς και το Λίθιο) είναι στοιχεία που έχουν προκύψει από την πυρηνοσύνθεση κατά τις πρώτες στιγμές της δημιουργίας του Σύμπαντος, ενώ τα βαρύτερα στοιχεία είναι αποτέλεσμα της αστρικής εξέλιξης. Αυτά αποτελούν το μεσοαστρικό χώρο και αυτά είναι τα αρχέγονα υλικά από τα οποία σχηματίζονται τελικά οι αστέρες. Όταν μιλάμε για αέριο εννοούμε κυρίως υδρογόνο (74%), ήλιο (24%) και σε πολύ μικρότερο ποσοστό άλλα βαρύτερα στοιχεία (2%). Η σκόνη πιθανολογείται ότι αποτελείται από σωματίδια διάφορων στοιχείων, όπως γραφίτης, σίδηρος, πυρίτιο, παγοκρύσταλλοι κ.α.



ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΑ

Όλοι οι αστέρες λόγω της μεγάλης απόστασής των δεν παρουσιάζονται ως μικροί δίσκοι (με εξαίρεση τον Ήλιο), αλλά φαίνονται ως φωτεινά σημεία. Παρά ταύτα με τη βοήθεια της συμβολής τους φωτός των κατορθώθηκε να μετρηθούν οι φαινόμενοι διάμετροι αρκετών εξ αυτών, οι οποίοι και βρίσκονται πάντοτε μικρότεροι των $0'',06$. Την μεγαλύτερη ακτινική διάμετρο από τους αστέρες εκτός του Ήλιου την έχει ο υπεργίγαντας αστέρας R Δόρατος και ακολουθεί ο Μπετελγκεζ. Εξ αυτών μετρήθηκαν και οι πραγματικοί διάμετροι. Είναι όμως δυνατόν να βρεθούν οι διαστάσεις των αστέρων και από το απόλυτο μέγεθος αυτών εφόσον αυτό εξαρτάται από την επιφανειακή θερμοκρασία τους, αλλά και από την έκταση της επιφανείας τους. Επομένως από το απόλυτο μέγεθος, όταν είναι γνωστή η θερμοκρασία της επιφανείας ενός αστέρα, βρίσκεται και η πραγματική του ακτίνα.

Γενικά οι αστέρες διακρίνονται ανάλογα του μεγέθους τους όπως διαφάνηκε από τις φασματοσκοπικές έρευνες σε [αστέρες γίγαντες](#), [υπεργίγαντες](#) αλλά και [αστέρες νάνοι](#) όπου των τελευταίων οι διαστάσεις είναι ανάλογοι του δικού μας Ηλίου ή και μικρότερες ανάλογες με των μεγάλων πλανητών. Απο τους μεγαλύτερους γνωστούς αστέρες είναι ο Μπετελγκεζ και ο Αντάρης, των οποίων η διάμετρος είναι περίπου 800 φορές μεγαλύτερη από την ηλιακή.



ΑΙΤΙΕΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΑ

Η δημιουργία ενός αστεριού ξεκινά με μια βαρυτική αστάθεια στο εσωτερικό ενός μοριακού νέφους, που συχνά προκαλείται από τα κρουστικά κύματα ενός υπερκαινοφανή (μαζική αστρική έκρηξη) ή τη σύγκρουση δύο γαλαξιών (όπως σε έναν αστρογόνο γαλαξία). Μόλις μια περιοχή έχει φθάσει σε επαρκή πυκνότητα ύλης για να ικανοποιήσει τα κριτήρια για τη δημιουργία της αστάθειας Τζιν αρχίζει να καταρρέει κάτω από τη δύναμη της δικής του βαρύτητας. Καθώς το νέφος καταρρέει, μεμονωμένες συγκεντρώσεις της πυκνής σκόνης και του αερίου αποτελούν αυτό που είναι γνωστό ως σφαιρίδιο του Bok. Καθώς ένα σφαιρίδιο καταρρέει και η πυκνότητα αυξάνει, η βαρυτική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και η θερμοκρασία ανεβαίνει. Όταν το πρωταστρικό νέφος έχει φτάσει περίπου σε υδροστατική ισορροπία, ένα πρωτοάστρο σχηματίζεται στον πυρήνα. Αυτοί οι προ κύριας ακολουθίας αστέρες συχνά περιβάλλονται από ένα πρωτοπλανητικό δίσκο. Η περίοδος της βαρυτικής συστολής διαρκεί περίπου 10-15 εκατομμύρια χρόνια.

Οι πρωταστέρες που είναι μικρότεροι από 2 ηλιακές μάζες ονομάζονται αστέρες τύπου Τάυρου, ενώ αυτοί με μεγαλύτερη μάζα είναι αστέρες τύπου Herbig AE / Be. Αυτά τα νεογέννητα αστέρια εκπέμπουν πίδακες αερίου κατά μήκος του άξονα περιστροφής τους, γεγονός που μπορεί να μειώσει τη στροφορμή του καταρρέοντος αστέρα και να δημιουργήσει μικρές περιοχές νέφωσης γνωστά ως αντικείμενα Herbig-Haro. Αυτοί οι πίδακες, σε συνδυασμό με την ακτινοβολία από κοντινά μεγάλα αστέρια, μπορεί να βοηθήσει για να απομακρυνθεί το νέφος μέσα στο οποίο το αστέρι σχηματίστηκε.



ΕΞΕΛΙΞΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΩΝ

Αρχικά η θερμοκρασία των Πρωτοαστέρων ξεκινά από αρκετά υψηλά επίπεδα φτάνοντας σε θερμοκρασίες χιλιάδων βαθμών Κέλβιν. Με το πέρασμα του χρόνου η θερμοκρασία στο κέντρο του νεφελώματος αρχίζει σταδιακά να αυξάνει εκπέμποντας τεράστιες ποσότητες υπέρυθρης ενέργειας. Όταν η θερμοκρασία αυτή φτάσει στους δέκα με δεκαπέντε εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου, αρχίζουν οι πυρηνικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το υδρογόνο σε ήλιο, σηματοδοτώντας έτσι τη γέννηση ενός νέου άστρου. Αέρια υλικά που προσελκύονται από την περιφέρεια στριφογυρίζουν με τεράστιες ταχύτητες γύρω από το νεογέννητο άστρο σχηματίζοντας μια τεράστια δίνη υπερθερμασμένων υλικών.

Από τους πόλους του περιστρεφόμενου δίσκου ξεπετάγονται τεράστιοι πίδακες υλικών, πάνω και κάτω από το δίσκο, σαν γιγάντια ενεργά ηφαίστεια. Με την πάροδο του χρόνου ο δίσκος των υλικών συμπυκνώνεται σχηματίζοντας μικρότερα σώματα τα οποία μετατρέπονται σε πλανήτες και δορυφόρους, ενώ η ακτινοβολία του νέου άστρου σαν μανιασμένος άνεμος εξφενδονίζει σιγά-σιγά τα υπολειπόμενα υλικά του δίσκου αφήνοντας πίσω τους πλανήτες να περιφέρονται γύρω από το άστρο τους. Μετά τη γέννηση του ένα άστρο συνεχίζει να μετατρέπει το υδρογόνο του σε ήλιο στις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που εκτελούνται στο κέντρο του.

Ένα κομμάτι μετάλλου μπορεί να θερμανθεί και να εκπέμπει λευκό φως. Καθώς ψύχεται, το χρώμα του σταδιακά αλλάζει, γίνεται κίτρινο, στη συνέχεια ερυθρό και τέλος σταματά να εκπέμπει φως. Οι διαφορετικές αποχρώσεις των αστέρων αντιστοιχούν σε διάφορες θερμοκρασίες, όπως ακριβώς και τα χρώματα ενός μετάλλου που ψύχεται σταδιακά.



ΦΑΣΕΙΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΑ

Η αύξηση της πυκνότητας και της θερμοκρασίας οδηγεί στην αύξηση της πίεσης η οποία αρχίζει να αντιστέκεται στην κατάρρευση. Σ' αυτό το στάδιο σταματά η κατάρρευση με ελεύθερη πτώση και ο αστέρας βρίσκεται σε ημιυδροστατική ισορροπία, κατά την οποία οι διαστάσεις του αλλάζουν πιο αργά (βραδεία συστολή). Σ' αυτό το στάδιο λέμε ότι έχει δημιουργηθεί ένας πρωτοαστέρας. Σήμερα η πιο γενικά παραδεκτή θεωρία που περιγράφει την εξέλιξη των πρωτοαστέρων είναι η θεωρία του Ιάπωνα Χαγιασί (Chushiro Hayashi). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία ο πρωτοαστέρας ξεκινά με μεγάλες διαστάσεις (άρα μεγάλη λαμπρότητα) και χαμηλή επιφανειακή θερμοκρασία, γεγονός που τον τοποθετεί επάνω και δεξιά στο διάγραμμα H-R. Καθώς συστέλλεται ελαττώνεται η λαμπρότητά του χωρίς να αυξάνεται σημαντικά η επιφανειακή του θερμοκρασία και έτσι ο αστέρας ακολουθεί μια κατακόρυφη πορεία στο διάγραμμα H-R. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η θερμότητα που παράγεται στο κέντρο του αστέρα φτάνει στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να αρχίσει να αυξάνεται η επιφανειακή του θερμοκρασία και να αρχίσει να κινείται οριζόντια και προς τα αριστερά ο πρωτοαστέρας. Από αυτό το σημείο και μετά θεωρούμε ότι η μεταφορά της ενέργειας μέσα στον πρωτοαστέρα γίνεται με ακτινοβολία.

Η αργή συστολή συνεχίζεται μέχρι τη στιγμή που ο πρωτοαστέρας μας έχει ένα συμπαγή πυκνό πυρήνα γεμάτο υδρογόνο με θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από ένα εκατομμύριο βαθμούς κελσίου είναι πλέον έτοιμος να αφήσει πίσω αυτό το στάδιο της ζωής του και να μπει στην καινούρια ενήλικη φάση του, πράγμα που κάνει με τρόπο εκρηκτικό, αφού η έναρξη της ζωής του σηματοδοτείται με την έναρξη θερμοπυρηνικών αντιδράσεων στον πυρήνα του.

Όταν ο γαλαξίας μας ήταν ακόμη νέος, τα πρωταρχικά του νεφελώματα δημιούργησαν δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιάδες άστρα ταυτόχρονα, σχηματίζοντας έτσι τα γνωστά μας σφαιροτά σμήνη. Σήμερα όμως τα νεφελώματα δεν είναι τόσο μεγάλα και σχηματίζουν πολύ λιγότερα άστρα στα λεγόμενα ανοιχτά ή γαλαξιακά σμήνη άστρων. Σε γενικές γραμμές ένα ανοιχτό σμήνος αποτελείται από 50 έως 500 συνολικά άστρα ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να φτάνουν τις μερικές χιλιάδες. Ακόμα και ο ήλιος μας γεννήθηκε σε ένα πορόμοιο σμήνος.

“ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗΣ / ΣΤΑΜΑΤΗΜΑ ΣΥΣΤΟΛΗΣ”

Στις μεσοαστικές περιοχές, για παράδειγμα, τα αραχνοϋφαντα νεφελώματα αερίων και σκόνης συγκεντρώνουν το περιεχόμενό τους σε μεγάλους σωρούς φέρνοντας αντιμέτωπες τη βαρύτητα με τη θερμότητα, σε έναν αγώνα που όλο και γιγαντώνεται και μπορεί να διαρκέσει εκατομμύρια χρόνια έως ότου αρχίσουν οι πυρηνικές αντιδράσεις ενός νέου άστρου. Κάτω από ορισμένες συνθήκες τα νεφελώματα αυτά, καθένα με διάμετρο πολλών ετών φωτός, διασπώνται με αποτέλεσμα μία ή περισσότερες από τις περιοχές αυτές να αρχίσουν μίαν αργή αλλά σταθερή συστολή κάτω από τη δύναμη της βαρύτητας των υλικών τους.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΑ

Η παρατήρηση του Πρωτοαστέρα προφανώς δεν είναι καθόλου εύκολη. Επίσης δεν είναι εφικτή με γυμνό μάτι παρά μόνο μέσω επιστημονικών μεθόδων.

Η παρατήρηση τους γίνεται μέσω της μεθόδου των ακτινικών ταχυτήτων και της μεθόδου των διαβάσεων.

Με την μέθοδο των ακτινικών ταχυτήτων μετρούμε τη μεταβολή στην ακτινική ταχύτητα του αστέρα. Δεν παρατηρούμε τους πλανήτες, αλλά τη μικρή ταλάντωση στην κίνηση του πρωτοαστέρα, λόγω της βαρυτικής διαταραχής. Για την ανίχνευση όμως των μικρών πρωτοαστέρων σε μάζα χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των διαβάσεων.



ΠΟΙΟΙ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΕΣ ΜΕΤΑΤΡΕΠΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΣΤΕΡΕΣ

Φυσικά όλοι οι πρωτοαστέρες δεν μετατρέπονται σε αστέρες. Ένας πρωτοαστέρας για να γίνει άστρο εξαρτάται από την τελική του μάζα. Αν η μάζα του πρωτοαστέρα δεν ξεπερνά το ένα δέκατο της μάζας του ήλιου μας, η τελική θερμοκρασία του πυρήνα του δε θα φτάσει ποτέ το ένα εκατομμύριο βαθμούς Κέλβιν, μια θερμοκρασία που είναι αναγκαία προκειμένου να αρχίσουν οι πυρηνικές αντιδράσεις καύσεις του υδρογόνου στον πυρήνα του, γεγονός που σηματοδοτεί τη μετατροπή του σε αστέρα.

Οι πρωτοαστέρες αυτοί χαρακτηρίζονται από μια ελάττωση της θερμοκρασίας τους και μια συνεχή μείωση της φωτεινότητας τους έτσι καταλήγουν να γίνουν λευκοί νάνοι και στη συνέχεια μελανοί νάνοι χωρίς να έχουν κάψει τα αποθέματα του υδρογόνου του πυρήνα τους, αφού δεν άρχισαν καν οι πυρηνικές αντιδράσεις του υδρογόνου.

Τέλος όσο περισσότερο αυξάνονται οι διαστάσεις ενός πρωτοαστέρα τόσο η φωτεινότητα μειώνεται.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Τι είναι Πρωτοαστέρας

Σύσταση πρωτοαστέρων (αερίων και σκόνης)

Διαστάσεις Πρωτοαστέρων

Αιτίες αρχικής συμπύκνωσης πρωτοαστέρων

Εξέλιξη θερμοκρασίας πρωτοαστέρα

Δυνάμεις εξισορρόπησης και στάση συστολής πρωτοαστέρα

Παρατήρηση πρωτοαστέρα

Οι προϋποθέσεις για τη μετατροπή ενός πρωτοαστέρα σε αστέρα

Σύνοψη της εργασίας μελέτης του Πρωτοαστέρα

Βιβλιογραφία/ Πηγές εύρεσης πληροφοριών

ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΩΤΟΑΣΤΕΡΑΣ

Με την μέθοδο της προσαύξησης οι περιοχές αυτές αυξάνουν σε μέγεθος και μάζα έως ότου τελικά συγκεντρώσουν μερικές ηλιακές μάζες σε όγκο αρκετά μεγαλύτερο από αυτόν του ηλιακού συστήματος. Έτσι γεννιέται ο Πρωτοαστέρας.

Οι βαρυτικές δυνάμεις οι οποίες τον δημιουργήσαν, συνεχίζουν το έργο τους. Ο Πρωτοαστέρας συστέλλεται, η βαρυτική δυναμική ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμική, η πίεση στο εσωτερικό του καθώς και η θερμοκρασία του. Η θερμοκρασία έχει μεν αυξηθεί σημαντικά, αλλά ακτινοβολεί ασταμάτητα. Ως εκ τούτου, η πίεση δεν είναι ικανή να σταματήσει τη συστολή. Απλά η κατάρρευση συνεχίζεται! Και συνεχίζεται για μερικά εκατομμύρια χρόνια. Κάποια στιγμή η θερμοκρασία του φτάνει στους 10000000 βαθμούς Κέλβιν (αλλά και Κελσίου να έλεγα σιγά τη διαφορά, δεν αλλάζει και τίποτα) η δε πυκνότητα του τα 10 gr/cm στην τρίτη. Οι πυρηνικές αντιδράσεις ξεκινάμε με πρώτο και καλύτερο τον κύκλο πρωτονίου. Έτσι λοιπόν το υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο, οι απώλειες ενέργειας λόγω ακτινοβολήσης αναπληρώνονται και ο αστέρας σταθεροποιείται. Και έτσι έχει πλέον εισέλθει στο στάδιο της κύριας ακολουθίας.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια Βικιπαίδεια
2. Ο κόσμος του Σήμερα (επιστημονική εγκυκλοπαίδεια)
3. Συγγραφείς βιβλίων που χρησιμοποίησα: ZUZA VBROVA
NEIL ARDLEY
HOWARD TIMMS
DOUGAL DIXON
ROBIN KERROD
4. Ένθετο περιοδικό << Η περιπέτεια του σύμπαντος από το Γαλιέο έως σήμερα >>
(Ελευθεροτυπία)