

3 Φεβρουαρίου 2015

Η δημιουργία των Άστρων

Επιστήμες / Αστρονομία - Αστροφυσική - Διάστημα / Φυσική - Χημεία

Κωνσταντίνος Καλαχάνης, Δρ. Φιλοσοφίας Πανεπιστημίου Αθηνών



Το αρχέγονο υλικό από το οποίο σχηματίστηκαν τα άστρα ήταν το μεσοαστρικό αέριο και οι κόκκοι σκόνης. Το μεσοαστρικό αέριο

αποτελούνταν από ${}^1_1\text{H}$ (74%), He (24%) και άλλα βαρύτερα στοιχεία (2%)*

*(Θεοδοσίου και Δανέζης, Το Σύμπαν που αγάπησα, σ. 208).

Το μεσοαστρικό νέφος λόγω της έλξης μεταξύ των σωματιδίων που το απάρτιζαν συστάθηκε και αυξήθηκε η πυκνότητά του. Ακολούθησε βαρυτική κατάρρευση προς το κέντρο μάζας του άστρου με ταυτόχρονη περιστροφή του νέφους. Υπήρχε όμως η πιθανότητα το αρχικό νέφος να διασπαστεί σε μικρότερα κομμάτια, τα οποία εξακολουθούσαν να υπόκεινται σε βαρυτική κατάρρευση ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Ο πυρήνας του κάθε νέφους συμπυκνώθηκε και σχηματίστηκε μια τεράστια σε διαστάσεις ασταθής σφαίρα αερίου (Θεοδοσίου και Δανέζης, Το Σύμπαν που αγάπησα, σ. 209) κατάλληλης θερμοκρασίας που ακτινοβολούσε φως στο διάστημα. Ο σχηματισμός αυτός ονομάστηκε πρωτοαστέρας. Οι περιβάλλουσες αέριες περιοχές του συνέχιζαν να συστέλλονται και η πυκνότητά του μειωνόταν συνεχώς. Συνεπώς, η πίεση και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του αυξανόταν και μόλις η θερμοκρασία έγινε $T = 5 \times 10^5 \text{ K}$ ξεκίνησαν οι πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης στο εσωτερικό του, μετατρέποντας το ${}^1_1\text{H}$ σε ${}^4_2\text{He}$.

Αν επιδρούσε όμως μόνο η δύναμη της βαρύτητας, ο πρωτοαστέρας θα κατέρρεε. Ο λόγος είναι ότι η ενέργεια που απελευθερώνεται από τις πυρηνικές αντιδράσεις στο εσωτερικό του πρωτοαστέρα, ασκεί δύναμη (ανά μονάδα επιφάνειας) με φορά από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του. Με τον τρόπο αυτό η πίεση αντισταθμίζει τη βαρυτική δύναμη και επέρχεται δυναμική και υδροστατική ισορροπία στο σύστημα, οπότε ο πρωτοαστέρας εξελίσσεται σε αστέρα.

Κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής των άστρων, το οποίο καλείται Κύρια Ακολουθία, συμβαίνουν πυρηνικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες από ελαφρά στοιχεία όπως το ${}^1_1\text{H}$ προκύπτουν βαρύτερα, όπως τα ${}^4_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{15}_7\text{N}$, ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ κλπ. μέχρι να σχηματιστεί ένας πιο σταθερός αστρικός πυρήνας. Το άστρο πλέον περιέχει χημικά στοιχεία, τα οποία δημιουργούνται μόνο σε αστέρες μεγάλης μάζας. Οι πυρηνικές αντιδράσεις όμως δεν σταματούν. Συνεχίζουν να πραγματοποιούνται από το εσωτερικό του άστρου (πυρήνας) και βαθμιαία φτάνουν μέχρι τα εξωτερικά στρώματά του, μέχρι να καούν όλα τα πυρηνικά του αποθέματα.

Η δημιουργία χημικών στοιχείων μέσω πυρηνικών αντιδράσεων στα άστρα

Η σημασία των άστρων αλλά και αντικειμένων πολύ μεγάλης μάζας όπως τα quasars, είναι θεμελιώδους σημασίας για την επιστήμη όχι μόνο της Φυσικής, αλλά και της Χημείας, καθώς στους πυρήνες τους δημιουργούνται τα χημικά

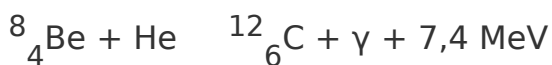
στοιχεία που αποτελούν τους θεμέλιους λίθους της ζωής. Οι πυρηνικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται για κάθε χημικό στοιχείο είναι οι εξής:

A) Καύση υδρογόνου (1H): Τα στοιχεία ${}^2_1\text{D}$, ${}^7_3\text{Li}$, ${}^9_4\text{Be}$, ${}^{11}_5\text{B}$ μετατρέπονται σε ${}^4_2\text{He}$, ανεβαίνει η θερμοκρασία του πυρήνα και παράγονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας με τη μορφή φωτονίων. Οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι:

α) Κύκλος ή αλυσίδα πρωτονίου-πρωτονίου (pp chain): Το υδρογόνο μετατρέπεται σε He σταδιακά μέσω τριών διαδοχικών φάσεων (Hans Bethe και Ch. Critchfield, 1938). Προκύπτουν νετρίνα (ν) τα οποία μελετούμε ακόμη και σήμερα προκειμένου να υπολογίσουμε την αφθονία των χημικών στοιχείων που προέρχονται από τα άστρα.

β) Κύκλος άνθρακα-αζώτου-οξυγόνου (CNO): Δημιουργούνται πυρήνες ${}^4_2\text{He}$ σε 6 στάδια (Hans Bethe και C. Weizsacker, 1938). Ο άνθρακας ${}^{12}_6\text{C}$ δρα καταλυτικά σε αυτό τον κύκλο των αντιδράσεων, ώστε H σε 1 ένα άτομο 4 φωτονίων ($4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu + \gamma$ (ενέργεια)).

B) Καύση ηλίου (${}^4_2\text{He}$): Όταν τα αποθέματα του πυρήνα του άστρου σε H εξαντληθούν, ο πυρήνας αποτελείται από ${}^4_2\text{He}$ (σωμάτιο α) και αρχίζει η καύση του ${}^1_1\text{H}$ στα στρώματα που περιβάλλουν τον πυρήνα. Στον πυρήνα, εξαιτίας της παύσης των πυρηνικών αντιδράσεων, η πίεση μειώνεται και αρχίζει η βαρυτική κατάρρευση των εξωτερικών στρωμάτων του άστρου. Η θερμοκρασία αυξάνεται και για θερμοκρασίες $T > 10^8$ K ξεκινά η καύση του ${}^4_2\text{He}$ χωρίς όμως να σταματά η καύση του ${}^1_1\text{H}$ στα εξωτερικά στρώματα του άστρου. Το ${}^4_2\text{He}$ σύμφωνα με τις παρακάτω πυρηνικές αντιδράσεις (αντίδραση 3α, $T = 2 \times 10^8$ K) μετατρέπεται σε ${}^{12}_6\text{C}$:



Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του πυρήνα τόσο περισσότερα βαριά στοιχεία δημιουργούνται.

- Για θερμοκρασίες $T > 2 \times 10^8$ K, ο άνθρακας αντιδρά με ήλιο και δημιουργούνται οξυγόνο και νέο (${}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{16}_8\text{O} + \gamma$ και ${}^{16}_8\text{O} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{20}_{10}\text{Ne} + \gamma$).
- Για $T > 10^9$ K δημιουργούνται τα στοιχεία ${}^{24}_{12}\text{Mg}$, ${}^{28}_{14}\text{Si}$, ${}^{32}_{16}\text{S}$, ${}^{36}_{18}\text{Ar}$, ${}^{40}_{20}\text{Ca}$. Κάποια στοιχεία αντιδρούν με σωμάτια α (${}^4_2\text{He}$) και παράγουν MeV βαρύτερα στοιχεία (αντιδράσεις- α / α -process).
- Για $T > 3 \times 10^9$ K πραγματοποιείται η αντίδραση e (equilibrium). Από την

καύση $^{28}_{14}\text{Si}$ δημιουργείται $^{56}_{26}\text{Fe}$ και έτσι ο πυρήνας του άστρου είναι πια σταθερός.

- Για $T > 5 \times 10^9 \text{ K}$ ο πυρήνας $^{56}_{26}\text{Fe}$ μπορεί να φωτοδιασπαστεί κατά $\text{He} + 3\text{He} \rightarrow \text{He} + 2\text{H} + 12,85 \text{ MeV}$ τη διάρκεια εκρήξεων υπερκαινοφανών. Ταυτόχρονα, παράγονται ισότοπα πλούσια σε νετρόνια και δημιουργούν βαρύτερα στοιχεία από τον $^{56}_{26}\text{Fe}$, μέχρι και τα υπερουράνια στοιχεία (αντιδράσεις -s (slow) και -r (rapid)).

Τα αποθέματα του πυρήνα των άστρων σε χημικά στοιχεία κάποια στιγμή εξαντλούνται, ενώ συνεχίζουν να πραγματοποιούνται πυρηνικές αντιδράσεις στους εξωτερικούς φλοιούς.

Πηγή: “Από τη δημιουργία των χημικών στοιχείων στους αστρικούς πυρήνες,στη γέννηση της ζωής”, ΧΗΜΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ (τ. 3, τόμος 76)

Πάνου Ευαγγελία, Φυσικός M.Sc., Καθηγήτρια Β/θμιας Εκπαίδευσης, Υπ. Δρ. Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Φυσικών Επιστημών ΕΚΠΑ

Καλαχάνης Κωνσταντίνος, Φιλολόγος M.Sc., Δρ. Φιλοσοφίας ΕΚΠΑ, Επιστημονικός Συνεργάτης Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ

<http://bitly.com/1LFVz5i>