

ΕΠΙΔΡΑΣΗ 13 ...ΣΤΗΝ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗ:

Η φασματοσκοπία των άστρων

Το μεγαλύτερο μέρος της αστρικής ύλης αποτελείται από ουδέτερες και ιονισμένες μορφές των ατόμων του υδρογόνου και του ηλίου, με το ήλιο να είναι το προϊόν της «καύσης του υδρογόνου» μέσω πυρηνικής σύντηξης. Ωστόσο, η πυρηνική σύντηξη παράγει επίσης και βαρύτερα στοιχεία. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα εξώτερα στρώματα των άστρων αποτελούνται από ελαφρύτερα στοιχεία, όπως τα H, He, C, N, O, και Ne τόσο σε ουδέτερη όσο και σε ιονισμένη μορφή. Βαρύτερα στοιχεία, περιλαμβανομένων ουδέτερων αλλά και ιονισμένων μορφών των Si, Mg, Ca, S, και Ar, βρίσκονται πλησιέστερα στον πυρήνα του άστρου. Στον πυρήνα περιέχονται τα βαρύτερα στοιχεία, και το ^{56}Fe αφθονεί ιδιαίτερα διότι είναι πολύ σταθερό νουκλίδιο. Όλα αυτά τα στοιχεία βρίσκονται στην αέρια φάση λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών στο εσωτερικό των άστρων· π.χ., η θερμοκρασία σε απόσταση από το κέντρο ίση με το μισό της ακτίνας του Ήλιου εκτιμάται ότι είναι 3,6 MK ($1\text{MK} = 10^6\text{ K}$).

Οι αστρονόμοι χρησιμοποιούν φασματοσκοπικές τεχνικές για να προσδιορίσουν τη χημική σύσταση των άστρων επειδή κάθε στοιχείο, και στην ουσία κάθε ισότοπο του στοιχείου, έχει χαρακτηριστική φασματική υπογραφή που διαδίδεται στον χώρο μέσω του φωτός που εκπέμπει το άστρο. Για να κατανοήσουμε τα φάσματα των άστρων, πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε τον λόγο για τον οποίον τα άστρα εκπέμπουν φως.

Οι πυρηνικές αντιδράσεις στο πυκνό εσωτερικό των άστρων παράγουν ακτινοβολία η οποία διαδίδεται προς τα λιγότερο πυκνά εξώτερα στρώματα. Η απορρόφηση και επανεκπομπή των φωτονίων από τα άτομα και τα ιόντα στο εσωτερικό δημιουργεί ένα σχεδόν συνεχές φάσμα ακτινοβολίας που εκπέμπεται στον χώρο από ένα λεπτό στρώμα αερίου που ονομάζεται *φωτόσφαιρα*. Σε μια καλή προσέγγιση, η κατανομή της ενέργειας που εκπέμπεται από τη φωτόσφαιρα ενός άστρου μοιάζει με την κατανομή του Planck για ένα πολύ θερμό μέλαν σώμα (Ενότητα 7Α). Παραδείγματος χάριν, η ενεργειακή κατανομή της φωτόσφαιρας του Ήλιου μπορεί να αναπαρασταθεί από την κατανομή του Planck με ενεργό θερμοκρασία 5,8 kK ($1\text{kK} = 10^3\text{ K}$). Στο συνεχές αυτό φάσμα της ακτινοβολίας μέλανος σώματος έχουν υπερτεθεί έντονες γραμμές απορρόφησης και εκπομπής από ουδέτερα άτο-

μα και ιόντα που βρίσκονται στη φωτόσφαιρα. Η ανάλυση της αστρικής ακτινοβολίας με τη βοήθεια ενός φασματομέτρου εγκατεστημένου σε ένα τηλεσκόπιο παρέχει τη χημική σύσταση της φωτόσφαιρας του άστρου, όταν συγκριθεί με τα γνωστά φάσματα των στοιχείων. Τα δεδομένα μπορούν επίσης να αποκαλύψουν την παρουσία μικρών μορίων, όπως τα CN, C_2 , TiO, και ZrO, σε ορισμένα «ψυχρά άστρα», τα οποία είναι άστρα με σχετικά χαμηλές ενεργές θερμοκρασίες.

Τα δύο εξώτερα στρώματα ενός άστρου είναι η *χρωμόσφαιρα*, μια περιοχή ακριβώς έξω από τη φωτόσφαιρα, και το *στέμμα*, μια περιοχή πάνω από τη χρωμόσφαιρα που μπορεί να παρατηρηθεί (με κατάλληλο εξοπλισμό) κατά τη διάρκεια των εκλείψεων. Η φωτόσφαιρα, η χρωμόσφαιρα και το στέμμα συνιστούν την «ατμόσφαιρα» ενός άστρου. Η χρωμόσφαιρα του Ήλιου είναι πολύ λιγότερο πυκνή από τη φωτόσφαιρά του και η θερμοκρασία της είναι πολύ μεγαλύτερη, φτάνοντας περίπου στους 10 kK. Οι αιτίες αυτής της αύξησης της θερμοκρασίας δεν έχουν πλήρως κατανοηθεί. Η θερμοκρασία του στέμματος του Ήλιου είναι πολύ υψηλή, φτάνοντας σε 1,5 MK, έτσι η εκπομπή μέλανος σώματος είναι ισχυρή από τη φασματική περιοχή των ακτίνων X έως την περιοχή των ραδιοκυμάτων. Το φάσμα του στέμματος του Ήλιου κυριαρχείται από γραμμές εκπομπής από ηλεκτρονικά διεγερμένες ουσίες, όπως ουδέτερα άτομα και έναν αριθμό έντονα ιονισμένων ουσιών. Οι πιο έντονες γραμμές εκπομπής στην ορατή περιοχή προέρχονται από το ιόν Fe^{13+} στα 530,3 nm, το ιόν Fe^{9+} στα 637,4 nm, και το ιόν Ca^{4+} στα 569,4 nm.

Επειδή μόνο η ακτινοβολία από τη φωτόσφαιρα φτάνει στα επίγεια και τα δορυφορικά τηλεσκόπια, η συνολική χημική σύσταση ενός άστρου πρέπει να συναχθεί από θεωρητική μελέτη ως προς το εσωτερικό του και από τη φασματική ανάλυση της ατμόσφαιράς του. Τα δεδομένα για τον Ήλιο υποδεικνύουν ότι αποτελείται από 92 τοις εκατό υδρογόνο και 7,8 τοις εκατό ήλιο. Το υπόλοιπο 0,2 τοις εκατό αντιστοιχεί σε βαρύτερα στοιχεία, μεταξύ των οποίων τα C, N, O, Ne και Fe βρίσκονται σε μεγαλύτερη αφθονία. Μια πιο προχωρημένη ανάλυση του φάσματος επιτρέπει επίσης τον καθορισμό άλλων ιδιοτήτων των άστρων, όπως οι σχετικές τους ταχύτητες και οι ενεργές τους θερμοκρασίες.