

Τα αστέρια

Κατάταξη και τα χαρακτηριστικά τους.

Τα αστέρια χαρακτηρίζονται από τα εξής μεγέθη τους.

Φαινόμενη λαμπρότητα.

Ουσιαστικά δεν πρόκειται για πραγματικό χαρακτηριστικό τους, αφού αυτή εξαρτάται από την απόσταση του άστρου από τον παρατηρητή. Είναι όμως το αρχαιότερο κριτήριο κατάταξης αστέρων. Για να μας δώσει πιστά αποτελέσματα, πρέπει να υπολογίσουμε την απόσταση από το αστέρι, την μεσοαστρική ύλη, που μειώνει την ένταση του φωτός, την ενέργεια ανά επιφάνεια και χρονική μονάδα που λαμβάνουμε, και την έντασή της. Η λαμπρότητα μετριέται σε μεγέθη.

Θεωρούμε ως μέγεθος 0 την λαμπρότητα που έχει το αστέρι, τύπου A0V, Βέγα (Vega).

Ο Σείριος είναι το πιο λαμπρό αστέρι, με -1,47 μέγεθος, εκτός φυσικά από τον ήλιο(-26,75).

Μπορούμε να δούμε με γυμνό μάτι μέχρι περίπου +6 μέγεθος αστέρια. Το επίγειο τηλεσκόπιο VLT βλέπει μέχρι +28, το διαστημικό Hubble μέχρι +30 μέγεθος.

Αντίστοιχα, ένα αστέρι +23 μέγεθος είναι τόσο λίγο φωτεινό όσο ένα κεριά από απόσταση 30000 χιλ.

Τα αστέρια λάμπουν και σε άλλα, εκτός του ορατού, μήκη κύματος. Θεωρείται ότι τα αστέρια τύπου A0 μεταξύ 5,5 και 6,5 μεγέθους έχουν την ίδια αναλογία λαμπρότητας σε όλα τα μήκη κύματος.

Ο Βέγα υπολογίζεται να έχει 0,03 μέγεθος λαμπρότητας σε όλα τα μήκη κύματος και θεωρείται το σημείο 0 σε αυτές τις μετρήσεις.

Χρώμα

Η ταυτότητα του χρώματος δίνεται από την διαφορά μεταξύ 2 μήκη κύματος.

Και εδώ τα αστέρια A0V θεωρούνται ως σημείο 0.

Το χρώμα οφείλεται σε 2 παραμέτρους. Την διασπορά ενέργειας στο φάσμα του αστέρα (σε πιο χρώμα εκπέμπει περισσότερο), και την αποχρωμάτιση λόγω της μεσοαστρικής ύλης (το μπλε απορροφάται πιο πολύ, με αποτέλεσμα τα αστέρια να εμφανίζονται πιο κόκκινα από ότι είναι).

Απόλυτη λαμπρότητα, φωτεινότητα

Η φαινόμενη λαμπρότητα ενός αστέρα είναι ο λόγος της αληθινής λαμπρότητας με την απόστασή του. Για μέτρο της αληθινής λαμπρότητας ορίζουμε την φαινόμενη λαμπρότητα σε απόσταση των 10 παρσέκ. Η λαμπρότητα εξασθενεί με το τετράγωνο της απόστασης. Έτσι μπορούμε να πιστοποιήσουμε την απόσταση, αν είναι γνωστή η λαμπρότητα και το αντίθετο. Φωτεινότητα ονομάζουμε την ροή ακτινοβολίας ενός άστρου σε όλα τα μήκη κύματος.

Φασματική κατάταξη

Ο φασματικός τύπος ενός αστέρα δίνεται από την εικόνα των γραμμών του φάσματός του. Είναι η σημαντικότερη κατάταξη, αφού χαρακτηρίζει την φυσική κατάσταση του αστέρα. Δεν μπορούμε, λόγω απόστασης, να έχουμε πιο άμεσες μετρήσεις από τα αστέρια, όπως η βαρυτική επιτάχυνση κ.λπ.

Η κατάταξη των αστερών βάση φάσματος είναι η εξής

O Καυτά αστέρια με γραμμές πολλαπλά ιονισμένων ατόμων, κυρίως (HeII).

Με σχετικά ασθενές (H) και πολλές γραμμές εκπομπής.

B Λείπει το (HeII), το (HeI) είναι δυνατό και το (H) ενισχυμένο.

A Το (H) είναι στο μέγιστο, και έχουμε ασθενείς γραμμές ιονισμένων μετάλλων((CaII),..).

F Το (CaII) είναι δυνατό, και άλλα ιονισμένα και ουδέτερα μέταλλα είναι ισοδύναμα, ενώ το (H) εξασθενεί.

G Το φάσμα του ηλίου. Το (CaII) είναι πολύ δυνατό και έχουμε πολλά ουδέτερα μέταλλα((FeI),..). Το (H) εξασθενεί και άλλο.

K Έχουμε δυνατές φασματικές γραμμές μετάλλων και εμφάνιση μοριακών γραμμών.

M Γραμμές ουδέτερων μετάλλων, ιδίως του (CaI) και περισσότερα μόρια, κυρίως (TiO)- ομάδες.

L,T Πρόκειται για νέες κατηγορίες, για καφέ νάνους.

Οι υποκατηγορίες κάθε ομάδας είναι 10 (0-9).

Οι μεγάλοι αστέρες τύπου O έχουν επιφανειακή θερμοκρασία 30000 β. Κελβιν και οι μικροί K, M μόλις 3000 β.

Κατηγορίες εξαιρέσεως (0,05%) είναι αστέρια σε τελικό στάδιο εξέλιξης.

Αυτά είναι

1) Με μεγάλη θερμοκρασία

Κεντρικοί αστέρες πλανητικού νεφελώματος (λ. νάνοι) P, και τα Wolf-Rayet αστέρια W, με ισχυρή εκπομπή αζώτου οι WN και αντίστοιχα άνθρακα οι WC. Έχουν χάσει τα εξωτερικά τους στρώματα λόγω ισχυρού αστρικού ανέμου και αποκαλύπτουν τα εσωτερικά στρώματα πυρηνικής σύντηξης (άζωτο στα WN, άνθρακα στα WC)., Nova Q.

2) Με μικρή θερμοκρασία

Συμπληρωματική σειρά S- αστέρια. Δυνατές γραμμές (ZrO), (Y₂O₃), (LaO),...

Συμπληρωματική σειρά C- αστέρια (αστέρια άνθρακα). Ισχυροί δεσμοί άνθρακα ((CN),(CO),(C₂)). Έχουν χάσει τα εξωτερικά τους στρώματα από συνοδό αστέρα.

Έτσι, όλη η σειρά είναι O(P,W,Q)- B- A- F- G- K(S,C)- M. Εκτός από τα αστέρια W, όλα τα άλλα των συμπληρωματικών αστεριών είναι μόνο γίγαντες (εκτός κύριας ακολουθίας, με εκτεταμένες εξωτερικές περιοχές).

Μπροστά από το γράμμα κάθε ομάδας μπαίνει και ένα διευκρινιστικό για την ειδική κατηγορία του αστέρα, αφού η φασματική σειρά μας δίνει την επιφανειακή θερμοκρασία του αστέρα, αλλά όχι και την λαμπρότητά του.

Για παράδειγμα, ένας γίγαντας M είναι εκατομμύρια φορές λαμπρότερος από έναν νάνο M.

Έτσι, βάση διαφοροποιήσεων στο φάσμα, έχουμε

C υπερ- γίγαντες (α Κύκνου- Ντενέμπ cA2)

g γίγαντες (β Διδύμων- Πολυδεύκης gK0)

d νάνοι (Ο ήλιος είναι dG2)

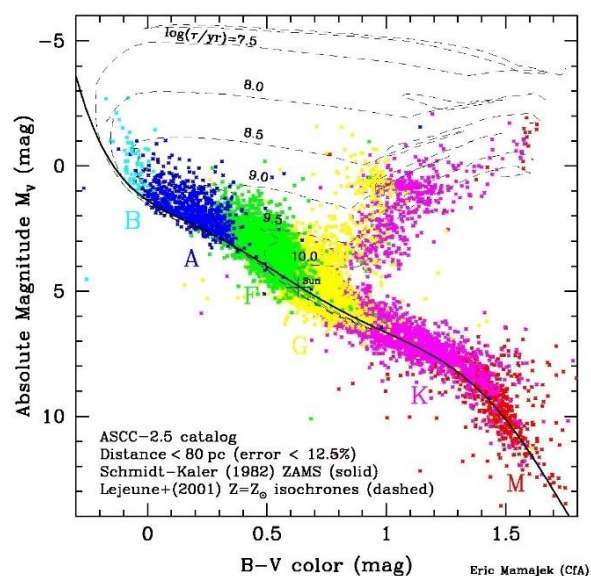
sd υπό- νάνοι

wD λευκοί νάνοι

Τέλος, υπάρχει και άλλη διαφοροποίηση (λαμπρότητας) με λατινικούς αριθμούς στο τέλος τους.
 Ia-0 υπέρ- υπεργίγαντες. Ο α Κύκνου είναι A2Ia
 I υπεργίγαντες
 II λαμπροί γίγαντες
 III γίγαντες. Ο Πολυδεύκης είναι K0III
 IV υπογίγαντες
 V νάνοι (αστέρια κυρίας ακολουθίας). Ο ήλιος είναι G2V. Πάνω από το 90% των αστεριών είναι στην κ. ακολουθία.
 VI υπονάνοι.

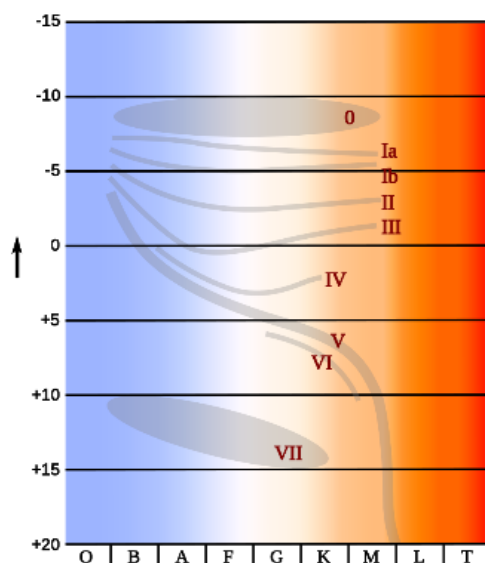
Διάγραμμα H/R.

Το διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Όταν χρησιμοποιούμε την λαμπρότητα, το χρώμα ενός αστέρα αποτελεί μέτρηση της θερμοκρασίας του. Και η φασματική κατάταξη αποτελεί μέτρο θερμοκρασίας. Μια άλλη μέθοδος παρουσίασης της αστρικής λαμπρότητας είναι η απόλυτη ορατή λαμπρότητα. Ο άξονας λαμπρότητας στο διάγραμμα μπορεί να οριστεί ως απόλυτη στο ορατό λαμπρότητα και ο άξονας της θερμοκρασίας ως άξονας φασματικού τύπου ή χρώματος. Αυτές οι παραλλαγές χρησιμοποιούνται συχνά, γιατί τα μεγέθη τους είναι μετρήσιμα, σε αντίθεση με την λαμπρότητα και την θερμοκρασία. Μια από αυτές ονομάζεται διάγραμμα χρώματος-λαμπρότητας.



Λαμπρότητα και φασματική κατάταξη.

Το πλάτος των γραμμών μας δείχνει την λαμπρότητά τους. Στο διάγραμμα ξεχωρίζουν οι γίγαντες με τις στενότερες και ισχυρότερες φασματικές γραμμές από τους νάνους. Αυτή η κατηγοριοποίηση ονομάζεται κατηγοριοποίηση λαμπρότητας (luminosity class) και περιγράφεται από τους αριθμούς I ως V, με το I να είναι οι λαμπρότεροι και υποκατηγορίες όπως Ia, Ib. Άρα ο ήλιος μας είναι G2V και ο Μπετελγκεζ M2Ia. Οι λευκοί νάνοι κατηγοριοποιούνται διαφορετικά. Για αυτούς μπαίνει το γράμμα D (Degenerate), εκφυλισμένα αστέρια, άρα ο Σείριος B είναι φασματικού τύπου DA2. Το A2 είναι παραπλανητικό, δεν ανταποκρίνεται σε φάσματα άλλων ειδών αστεριών. Το A είναι δείκτης σύνθεσης των εξωτερικών στρωμάτων του αστέρα και το 2 δείκτης της θερμοκρασίας.

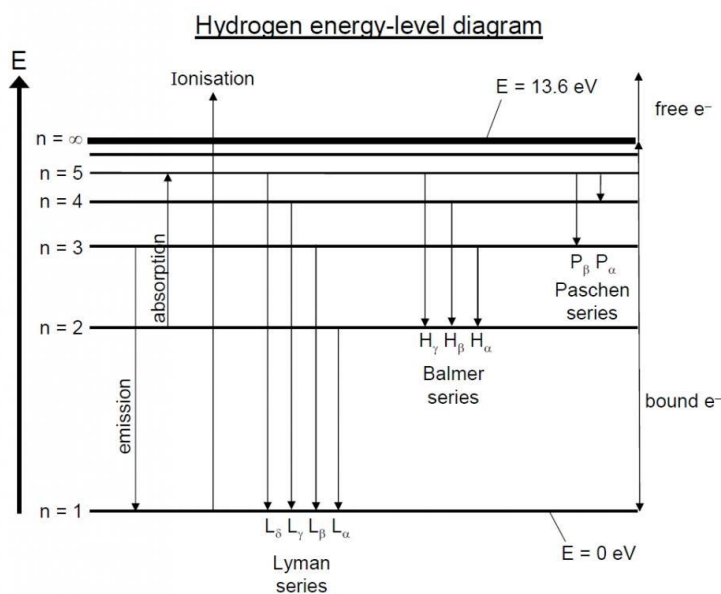


Αστρική μάζα και εξέλιξη.

Κατά την φάση της κυρίας ακολουθίας, ένα αστέρι δεν μεταβάλλει σημαντικά την λαμπρότητα ή την θερμοκρασία της φωτόσφαιράς του, έτσι η θέση του στο διάγραμμα δεν αλλάζει σημαντικά (στην πράξη τα αστέρια γλιστρούν πολύ αργά προς τα πάνω στο διάγραμμα, για αυτό η κύρια ακολουθία έχει την μορφή λωρίδας παρά στενής γραμμής).

Αστρική φασματοσκοπία-φασματικές γραμμές και θερμοκρασία.

Μια από τις πιο σημαντικές γραμμές στα φάσματα πολλών αστέρων είναι αυτή του υδρογόνου. Οι γραμμές απορρόφησης Balmer έχουν τα ατομικά επίπεδα H_α , H_β , H_γ κ.λπ. που αντιστοιχούν στις μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του ατόμου υδρογόνου.



The first three spectral series (Lyman, Balmer and Paschen) are shown in emission. Note that we can talk about electron orbitals as energy levels, with the energy $\propto n^{-2}$.

The electronvolt, eV, is a unit of energy.

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

where the Joule (J) is the SI unit of energy and is the preferred unit in A-level, however, the eV is more convenient when talking about atoms! SI units now accept the eV as a unit.

Για τις γραμμές Balmer, το κατώτερο ενεργειακό επίπεδο είναι το $n=2$. Σε χαμηλές θερμοκρασίες σχεδόν όλα τα άτομα βρίσκονται στο $n=1$. Τότε οι γραμμές Balmer είναι πολύ ασθενείς. Αν αντίθετα η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, τότε σχεδόν όλα τα άτομα υδρογόνου είναι ιονισμένα και οι γραμμές Balmer είναι πάλι αδύναμες. Ανάμεσα σε αυτά τα δύο άκρα έχουμε ένα εύρος θερμοκρασιών όπου πολλά ηλεκτρόνια είναι στην $n=2$.

Η μετάβαση από αυτό το επίπεδο είναι συνηθισμένη και οι γραμμές Balmer παρουσιάζονται ισχυρές. Η ισχύ μιας φασματικής γραμμής καθορίζεται από την ποσότητα της ακτινοβολίας (μετρήσιμη ως πυκνότητα ροής) που αφαιρέθηκε από το φάσμα,

από την ύλη που το απορρόφησε (το αντίθετο για την γραμμή εκπομπής). Οι φασματικές γραμμές μπορεί να είναι πλατιές και ρηχές ή στενές και βαθιές, αλλά με την ίδια ισχύ (το σχήμα της γραμμής μας δείχνει την κατάσταση του αερίου). Το ισοδύναμο πλάτος μιας γραμμής μας παρέχει μια ποσοτική μέτρηση της ισχύς της φασματικής γραμμής. Ένα πολύ καυτό και ένα πολύ ψυχρό αστέρι θα έχουν παρόμοιας ισχύς γραμμές Balmer. Για αυτό χρειαζόμαστε και άλλες γραμμές που είναι ευαίσθητες στην θερμοκρασία, αλλά με άλλη διακύμανση. Μια άλλη δυσκολία είναι ότι η ισχύ των γραμμών είναι ευαίσθητη στην μεταλλικότητα. Χρησιμοποιούμε στοιχεία πέρα του υδρογόνου που δεν έχουν μεγάλη διακύμανση αφθονίας από αστέρι σε αστέρι.

Σε δεδομένη θερμοκρασία, όσο πιο λαμπρό είναι το αστέρι, τόσο πιο στενές και ισχυρές είναι οι γραμμές απορρόφησης συγκεκριμένων ιονισμένων ατόμων. Η αιτία της επίδρασης της λαμπρότητας στο πλάτος και στην ισχύ των γραμμών είναι η διαφορά των συνθηκών στην ατμόσφαιρα των άστρων. Τα εξωτερικά στρώματα μεγάλων αστείων, όπου σχηματίζονται οι γραμμές, έχουν μικρότερη πυκνότητα από αυτές στα μικρά αστέρια ίδιας θερμοκρασίας, επειδή στα μεγάλα η μάζα κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Έτσι τα άτομα και τα ιόντα διασκορπίζονται σε μεγάλο βαθμό και οι συγκρούσεις ανάμεσά τους είναι σχετικά σπάνιες. Το αντίθετο συμβαίνει στα μικρά αστέρια, όπου η πίεση και η πυκνότητα είναι μεγαλύτερες στις εξωτερικές περιοχές. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις αποτελούν αιτία διαταραχών στα ενεργειακά επίπεδα των ατόμων και προκαλούν μικρές τυχαίες διαφορές στην μεταβολή της ενέργειας (άρα και στο μήκος κύματος) όταν απορροφάται ένα φωτόνιο. Έτσι οι φασματικές γραμμές είναι πιο πλατιές στα μικρά αστέρια. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται πλάτυνση μέσω πίεσης (pressure broadening). Η πιθανότητα να αλληλοεπιδράσει ένα ιόν με ένα ηλεκτρόνιο και να επανασυνδεθεί είναι μεγαλύτερη στα μικρά αστέρια, άρα οι γραμμές που παράγει το ιόν είναι πιο ασθενείς από ότι σε ένα μεγάλο αστέρι, όπου ένα ιόν συνδέεται πιο δύσκολα με ένα ηλεκτρόνιο. Μόλις σύνδεσαν οι αστρονόμοι αυτά τα φαινόμενα με την λαμπρότητα, μπόρεσαν να την καθορίσουν σε αστέρια με άγνωστη λαμπρότητα. Για παράδειγμα, τα πλάτη

των γραμμών υδρογόνου χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των φασματικών τύπων B ως F (στο H/R) ενώ το ισχυρά ιονισμένο στρόντιο (SrII) και το ουδέτερο σίδηρο (FeI) μας δίνουν γραμμές που επιτρέπουν τον καθορισμό των τύπων F ως G. Αυτή η μέθοδος δεν μας παρέχει ακριβή λαμπρότητα, αλλά μπορούμε να καθορίσουμε κατηγορίες λαμπρότητας, που ανταποκρίνονται σε διαφορετικά είδη αστεριών. Να σημειώσουμε ότι η επίδραση της λαμπρότητας στην ισχύ των γραμμών κάποιων ιονισμένων ατόμων σημαίνει ότι η φασματική κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει κατά λαμπρότητα, αλλά και κατά θερμοκρασία.

Η ειδική κατηγοριοποίηση εξαρτάται από την ισχύ των κυμαινόμενων φασματικών γραμμών, περιλαμβάνοντας γραμμές από ιονισμένα άτομα. Είναι ευτύχημα ότι σε μεγάλο εύρος λαμπρότητας, η επίδρασή της είναι μικρότερη από αυτή της θερμοκρασίας. Έτσι δεν υποτιμάται η μέτρηση της ισχύς των γραμμών από την λαμπρότητα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε και να μετρήσουμε αποστάσεις. Μπορούμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία και την λαμπρότητα φασματοσκοπικά, και να συμπεράνουμε την απόσταση (με κάποια αβεβαιότητα, όπως για την λαμπρότητα) από την φαινόμενη λαμπρότητα (φασματοσκοπική παράλλαξη). Μπορεί να έχουμε σφάλμα στις μετρήσεις από την απορρόφηση και σκέδαση λόγω μεσοαστρικής ύλης. Τα αποτελέσματα τέτοιων μετρήσεων απόστασης επιβεβαιώθηκαν από τριγωνομετρικές μετρήσεις παράλλαξης για πολλά λαμπρά αστέρια.

Η ακτίνα των αστεριών

Είναι άμεσα μετρήσιμη μόνο για τον ήλιο (6,955x10⁸ χιλ.). Για τα άλλα αστέρια υπάρχουν 3 άμεσοι (γεωμετρικοί) τρόποι, που μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε λίγες περιπτώσεις, και 1 έμμεσος τρόπος μέτρησης, με μεγάλη εφαρμογή, αλλά περιορισμένη ακρίβεια.

Ο πρώτος τρόπος είναι η συμβολομετρία. Μια περίπτωση είναι με μέτρηση της γωνιακής διαμέτρου του αστέρα. Αν γνωρίζουμε την παράλλαξη ή την απόσταση υπολογίζουμε την πραγματική διάμετρο. Σήμερα χρησιμοποιούμε πολλά τηλεσκόπια για μια τέτοια μέτρηση. Μια άλλη μέθοδος, εφαρμόσιμη σε μικρά αστέρια με μεγάλη λαμπρότητα, είναι να υπολογίζουμε την μείωση της

λαμπρότητας στην άκρη του δίσκου σε σχέση με το κέντρο. Μια άλλη είναι η εξάπλωση των κηλίδων, που δεν μπορεί να υπερβαίνει την διάμετρο του δίσκου.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η απόκρυψη του αστέρα από την Σελήνη, που ξέρουμε, ακριβώς το μέγεθός της και την απόστασή της από την Γη. Μετράμε την σταδιακή μείωση του φωτός από το αστέρι που αποκρύπτεται και υπολογίζουμε την διάμετρό του. Εδώ μας δυσκολεύουν οι οροσειρές της Σελήνης και απαιτείται παρατήρηση από πολλά διαφορετικά σημεία (συμβολομετρία) ή πολλές παρατηρήσεις. Στη ραδιοαστρονομία η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται πιο εύκολα.

Ο τρίτος τρόπος είναι η μέτρηση των διπλών αστέρων που αλληλεπικαλύπτονται. Ο χρόνος επικάλυψης μας δίνει τα σχετικά τους μεγέθη και η ταχύτητα περιφοράς δίνεται από την φασματοσκοπική μέτρηση της μετατόπισης Ντόπλερ. Δυσκολίες που μπορεί να παρουσιαστούν είναι ελλειπτικές τροχιές, σε στενά συστήματα να είναι πεπλατυσμένοι οι αστέρες, η διαφορά φωτεινότητας άκρης- κέντρο του αστρικού δίσκου, ή να μην υπάρχει ολική επικάλυψη. Με αυτή τη μέθοδο μετρήσαμε τον VV Κηφέα να έχει διάμετρο 1600 φορές την διάμετρο του ηλίου (όση η τροχιά του Κρόνου γύρω από τον ήλιο!)

Η έμμεση μέθοδος είναι η μέτρηση της ενέργειας από την ακτινοβολία.

Υπολογίζουμε την φαινόμενη λαμπρότητα και την απόσταση, που μας δίνουν την απόλυτη λαμπρότητα, και το φάσμα- θερμοκρασία που μας δίνει τη φωτεινότητα ανά μονάδα επιφάνειας, και όλα μαζί μας δίνουν το μέγεθος της επιφάνειας.

Μάζα, πυκνότητα, βαρυτική επιτάχυνση

Μάζα

Άμεση επιβεβαίωση της μάζας γίνεται μόνο σε διπλούς αστέρες, χάρη στη βαρυτική αλληλεπίδραση (3ος νόμος του Κεπλερ).

Κατηγορίες διπλών αστέρων

1) Οπτικοί διπλοί αστέρες.

Η άμεση παρατήρηση μας δίνει το σύνολο της μάζας, αν διαπιστώνουμε φασματικά την μεταξύ τους απόσταση στον ουράνιο θόλο σε δευτερόλεπτα της μοίρας, ή μας είναι γνωστή η απόστασή τους από εμάς. Το πόσο από την συνολική μάζα ανήκει

στο κάθε αστέρι μας το δείχνει η περιφορά τους γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας.

2) Αστέρες με <αφανή> συνοδό.

Εδώ αναλύουμε την τροχιά του ορατού αστέρα και διαπιστώνουμε την ύπαρξη συνοδού. Μπορούμε να υπολογίσουμε πάλι την συνολική τους μάζα.

3) Φασματοσκοπικοί διπλοί.

Δεν μπορούμε να τους δούμε μεμονωμένα, αλλά μας εμφανίζονται σαν ένας. Λόγω της μετατόπισης Ντόπλερ στο φάσμα αντιλαμβανόμαστε ότι ο αστέρας είναι διπλός.

4) Φασματοσκοπικοί επικαλυπτόμενοι διπλοί.

5) Σχετικιστική βαρυτική επιτάχυνση.

Εφαρμόζεται για αστέρες με μεγάλη βαρυτική επιτάχυνση (π.χ. λευκοί νάνοι). Μετράμε την μετατόπιση του φωτός προς το ερυθρό.

6) Υψηλής ανάλυσης φασματοσκοπία.

Μας δίνει την βαρυτική επιτάχυνση από τη θεωρία των αστρικών ατμοσφαιρών.

Μαζί με την θερμοκρασία και την ακτίνα προκύπτει έμμεσα και η μάζα.

Πυκνότητα

Είναι υπολογίσιμη χωρίς παραδοχές μόνο αν είναι γνωστή η μάζα και η ακτίνα του αστέρα.

Την υπολογίζουμε

1) Σε μεταβλητούς απόκρυψης, με γνωστή την γωνιακή ταχύτητα και τη μάζα.

2) Σε γίγαντες, με γνωστή ακτίνα και μάζα (από την βαρυτική επιτάχυνσή τους)

3) Σε αστέρες, στους οποίους μετρήθηκε η ακτίνα με συμβολομετρία.

Ενώ στη μάζα το εύρος είναι σχετικά μικρό, 0.08 ως 120 ηλιακές, στην ακτίνα έχουμε από 0.1 ως 500 ηλιακές. Αυτό γιατί ένα αστέρι κατά την εξέλιξή του σε γίγαντα μπορεί να φουσκώσει αρκετά χωρίς να μεταβάλλει σημαντικά τη μάζα του.

Μεσοαστρική ύλη

Παρατηρούμε σε πολλές κατευθύνσεις στο σύμπαν φασματικές γραμμές που δεν αντιστοιχούν στα αστέρια που μετράμε, αλλά σε ψυχρό αέριο ανάμεσα σε εμάς και αυτά.

Για παράδειγμα, οι γραμμές μπορεί να είναι υπερβολικά στενές, κάτι που παραπέμπει σε πολύ λιγότερο πυκνό και ψυχρό αέριο από ότι στα αστέρια. Στις αστρικές ατμόσφαιρες, η περισσότερη τυχαία κίνηση των ατόμων ή ιόντων σημαίνει ότι κάποια κινούνται προς και κάποια απομακρύνονται από τον παρατηρητή όταν απορροφούν φωτόνια, άρα έχουμε μετατόπιση στο ερυθρό και στο κυανό σχετικά με την θέση της γραμμής. Επίσης έχουμε την πυκνότητα να δημιουργεί την πλάτυνση πίεσης των γραμμών.

Έχει παρατηρηθεί χαρακτηριστική απόσβεση του αστρικού φωτός σε πολλές κατευθύνσεις, που οφείλεται στους κόκκους σκόνης με τάξη μεγέθους όμοια με αυτό του ορατού μήκος κύματος. Η απόσβεση του φωτός γίνεται με την απορρόφηση (επανά-εκπομπή στο υπέρυθρο) και με την σκέδαση. Η σκέδαση εκτρέπει τα φωτόνια σε όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα να φτάνουν στον παρατηρητή λιγότερα. Η εξάλειψη του φωτός είναι ο συνδυασμός της απορρόφησης με την σκέδαση. Το αποτέλεσμα είναι τα άστρα να φαίνονται πιο αμυδρά και πιο κόκκινα.

Η επίδραση της μεσοαστρικής ύλης.

Θα αναλύσουμε τα φαινόμενα της απορρόφησης, εκπομπής και σκέδασης του φωτός σε ένα αέριο. Ένα αέριο σκεδάζει πολύ λίγο το φως και έτσι μας απασχολεί μόνο η απορρόφηση και η σκέδαση. Τα άτομα απορροφούν (photo excitation, διέγερση) και εκπέμπουν (photo emission). Τα άτομα μπορούν επίσης να διεγερθούν μέσω συγκρούσεων λόγω της τυχαίας θερμικής κίνησής τους (collision excitation). Η πιο εμφανής γραμμή από άτομα στην μεσοαστρική ύλη είναι οι H, K του ιονισμένου ασβεστίου. Αν και αυτές οι γραμμές είναι πολύ εμφανείς στις ατμόσφαιρες των άστρων, έχουν άλλες ιδιότητες εκεί. Στα μεσοαστρικά νέφη εμφανίζονται πιο στενές, και αν και είναι πιο ισχνές από τις αστρικές, φαίνονται από την μετατόπιση Ντόπλερ στα μήκη κύματός τους λόγω της διαφοράς της περιστροφικής ταχύτητας ενός αστεριού με αυτήν του μεσοαστρικού νέφους. Αυτό το βλέπουμε καλά σε φασματοσκοπικούς διπλούς αστέρες, όπου οι μεσοαστρικές γραμμές παραμένουν σταθερές σε ένα

μήκος κύματος, ενώ οι αστρικές κινούνται λόγω της περιφοράς των άστρων γύρω από το κοινό τους κέντρο μάζας.

Η διαδικασίες της φωτο-διέγερσης, της φωτο- εκπομπής και της διέγερσης μέσω συγκρούσεων συμβαίνουν και στα μόρια, που είναι σε αφθονία στα μεσοαστρικά νέφη. Στα μόρια, τα ηλεκτρόνια μοιράζονται ανάμεσα στα άτομα (σαν νέφος ηλεκτρονίων γύρω από τους πυρήνες). Τα ηλεκτρόνια στα μόρια καταλαμβάνουν ενεργειακά επίπεδα όπως στα άτομα. Η μετάβαση των ηλεκτρονίων οδηγεί σε διέγερση, από-διέγερση και ιονισμό του μορίου. Τα μόρια έχουν επίσης διακριτή ενέργεια δόνησης και περιστροφής που μπορούν να δώσουν αντίστοιχες μεταβάσεις. Τα επίπεδα ενέργειας δόνησης ανταποκρίνονται σε σωματιδιακές δια-πυρηνικές αποστάσεις. Όταν η απόσταση των πυρήνων αυξηθεί τόσο ώστε τα άτομα να μην συνδέονται πια, έχουμε την διάσπαση του μορίου. Ένα μόριο μπορεί να περιστρέφεται σε διαφορετικούς άξονες που ανταποκρίνονται σε διαφορετικά επίπεδα περιστροφικής ενέργειας. Σε μοριακό επίπεδο, όπως η ενέργεια του ηλεκτρονίου, η δόνηση και η περιστροφή είναι κβαντωμένες.

Το μόριο του CO είναι μια απλή περίπτωση. Το μόριο αυτό παραμένει στην χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων, εκτός αν εκτεθεί σε φωτόνια με ενέργεια τουλάχιστον του κοντινού υπεριώδους, ή θερμοκρασία άνω των 100.000 βαθμών. Τέτοια όρια υπάρχουν για πολλά άτομα και μόρια, και σε μερικά άτομα και μόρια τα όρια είναι πιο στενά. Το χαμηλότερο επίπεδο δόνησης είναι όταν το μόριο είναι στην χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση ηλεκτρονίων. Η μετάβαση δόνησης του CO έχει πολύ μικρότερα περιθώρια ανάμεσα στα ενεργειακά επίπεδα από ότι η μετάβαση ηλεκτρονίων. Έτσι η μετάβαση αυτή πετυχαίνεται στο υπέρυθρο και σε θερμοκρασία 100 βαθμούς K. Το χαμηλότερο επίπεδο περιστροφής είναι όταν το μόριο βρίσκεται στο χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο κατάστασης ηλεκτρονίων και δόνησης. Η μετάβαση περιστροφής έχει πολύ μικρότερα περιθώρια, άρα πετυχαίνεται στα μικροκύματα και με θερμοκρασία 10 K. Άλλα μόρια έχουν μεγαλύτερα ή και μικρότερα περιθώρια ανάμεσα στις ενεργειακές καταστάσεις. Μια μετάβαση από χαμηλότερο σε υψηλότερο

ενεργειακό επίπεδο μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμούς ενεργειακής μετάβασης ηλεκτρονίων, δόνησης και περιστροφής.

Δεν είναι το ίδιο πιθανές όλες οι μεταβάσεις που σχετίζονται με διέγερση ή εκπομπή, με αποτέλεσμα κάποιες γραμμές απορρόφησης και εκπομπής να είναι πολύ πιο ασθενείς από άλλες και κάποιες να απουσιάζουν εντελώς. Τα μόρια που αποτελούνται από 2 ίδια άτομα (H_2) έχουν ασθενείς γραμμές δόνησης και περιστροφής.

Η επίδραση της μεσοαστρικής σκόνης.

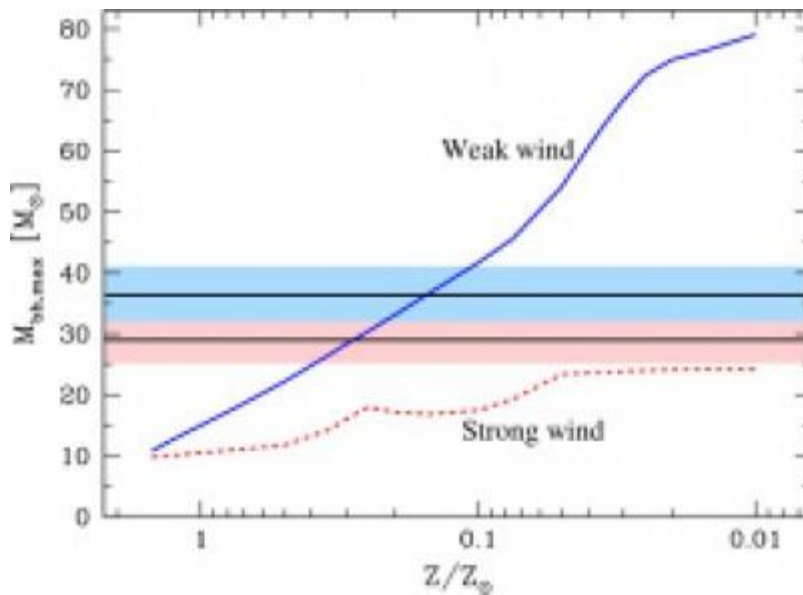
Στα άτομα και μόρια που αποτελούν τις επιφάνειες των κόκκων σκόνης συμβαίνει διέγερση από απορρόφηση φωτονίων και διέγερση από συγκρούσεις με άτομα/μόρια. Αρκετή από αυτή την ενέργεια κατανέμεται στον κόκκο αυξάνοντας την θερμοκρασία του μέχρι η θερμική ακτινοβολία από τον κόκκο να ισορροπήσει την ενέργεια που απορρόφησε. Μια εναλλακτική περίπτωση είναι το εισερχόμενο φωτόνιο να σκεδαστεί, κάτι που είναι πολύ συχνό σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Η τυπική διάμετρος ενός κόκκου είναι τόση, ώστε να σκεδάσει τα μικρά μήκη κύματος πιο αποτελεσματικά. Αυτό σημαίνει ότι σκεδάσει το μπλε φως πιο αποτελεσματικά από το κόκκινο, κάνοντας κάτι που είναι πίσω από το νέφος σκόνης να φαίνεται πιο κόκκινο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται μεσοαστρική ερυθροποίηση. Αν το νέφος παρατηρείται εκτός γραμμής θέασης προς ένα αστέρι, τότε το νέφος σκόνης μπορεί να εμφανίζεται ως μπλε λάμψη από το σκεδασμένο φως. Οι συνδυασμένες επιδράσεις από την απορρόφηση και την σκέδαση (εξάλειψη) μειώνουν πολύ το ορατό φως και τις υπεριώδης. Τα χαρακτηριστικά στα φάσματα εμφανίζονται πολύ πλατιά, δυσκολεύοντας τον καθορισμό της σύνθεσης της σκόνης. Η εκπομπή από την σκόνη δεν μας δίνει περισσότερες πληροφορίες, αφού πρόκειται για πλατιά θερμική εκπομπή, που εξαρτάται από την θερμοκρασία και το μέγεθος των κόκκων και μόνο μερικώς από την σύνθεσή τους. Στους 20 K η εκπομπή της σκόνης είναι στο μακρινό υπέρυθρο και στα μικροκύματα.

Είδαμε ότι η απορρόφηση του αστρικού φωτός από την μεσοαστρική σκόνη μπορεί να εμφανίζει τα αστέρια λιγότερο

λαμπρά από ότι είναι και να μας κάνει να υπερεκτιμήσουμε την απόστασή τους ή να υποτιμήσουμε την λαμπρότητά τους. Από την άλλη, η μεσοαστρική ερυθροποίηση τα εμφανίζει πιο κόκκινα, με αποτέλεσμα να υποτιμάμε την θερμοκρασία τους. Οι παρατηρήσεις στο υπέρυθρο επηρεάζονται πολύ λιγότερο από τα παραπάνω φαινόμενα, μιας και η επίδραση είναι ανάλογη με το μήκος κύματος, αποτελώντας ένα σημαντικό εργαλείο παρατήρησης.

Σημείωση 1

Η πρόσφατη ανακάλυψη βαρυτικών κυμάτων μας έδωσε κάποιες σημαντικές πληροφορίες για τις αστρικές μαύρες τρύπες. Μέχρι τώρα νομίζαμε ότι μπορούν να δημιουργηθούν αστρικές μαύρες τρύπες ως 25 ηλιακές μάζες. Οι μαύρες τρύπες που συγχωνεύτηκαν, με αποτέλεσμα την εκπομπή βαρυτικών κυμάτων, είχαν 29 και 36 ηλιακές μάζες. Μέχρι τώρα ανακαλύπταμε μαύρες τρύπες έμμεσα, από την επίδραση στον συνοδό αστέρα τους (διπλοί ακτίνων X, όπου ο ένας έχει εξελιχθεί σε μαύρη τρύπα και συσσωρεύει υλικό από τον συνοδό του αστέρα, το οποίο εκπέμπει ακτίνες X κατά την διαδικασία συσσώρευσης). Με αυτήν την μέθοδο δεν είχαμε ανακαλύψει μαύρη τρύπα με μάζα πάνω από 20 ηλιακές. Τα πολύ μεγάλα αστέρια μπορεί αρχικά να έχουν πολλές δεκάδες ηλιακές μάζες, αλλά παρουσιάζουν μεγάλη απώλεια μάζας μέσω των ισχυρών αστρικών ανέμων τους. Στα 2 αστέρια που εξελίχθηκαν στις παραπάνω μαύρες τρύπες πρέπει να μην επικρατούσαν τόσο ισχυροί αστρικοί άνεμοι και να διατήρησαν το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής μάζας τους. Επίσης το διπλό σύστημα επέζησε τις 2 εκρήξεις σουπερνόβα, που πολλές φορές είναι αρκετά ασύμμετρες, με αποτέλεσμα να απομακρύνονται τα μέλη του συστήματος.



Σημείωση 2

:D Οι λευκοί νάνοι έχουν μια ατμόσφαιρα από υπολείμματα υδρογόνου και ήλιο γύρω από τον πυρήνα τους, που αποτελείται από εκφυλισμένο οξυγόνο και άνθρακα. Όμως ο λευκός νάνος SDS-SJ1240+6710 παρουσιάζει ατμόσφαιρα που αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από οξυγόνο! Αυτό σημαίνει ότι έχει απολέσει τα εξωτερικά του στρώματα από υδρογόνο, ήλιο, αλλά και άνθρακα. Ακόμα μας κάνει εντύπωση η (φασματική) ανίχνευση πυριτίου στην επιφάνεια του λευκού νάνου. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να προέρχεται από αστέρι ελάχιστα κάτω από το όριο της μάζας που θα αρκούσε για σύντηξη των στοιχείων μέχρι την ομάδα του σιδήρου, που θα είχε ως συνέπεια μια έκρηξη σουπερνόβα και την δημιουργία ενός αστέρα νετρονίων. Μια άλλη εξήγηση είναι η ύπαρξη συνοδού που του απορρόφησε τα εξωτερικά του στρώματα, αλλά αυτή η υπόθεση δεν δικαιολογεί εύκολα την ύπαρξη πυριτίου. Όπως και να έχει, αυτός ο λευκός νάνος είναι ο μόνος που παρουσιάζει τέτοια ατμόσφαιρα σε δείγμα 32000 λευκών νάνων που γνωρίζουμε. Πηγή Science 352, σελ. 67-69, 2016.

