

Επιστήμη στο Σχολείο – τεύχος 30

Μετρώντας την επιφανειακή θερμοκρασία των αστεριών μέσω της ανάλυσης των φασμάτων τους

(Δραστηριότητα της Κατασκήνωσης Αστρονομίας του ESO)

Ηλικιακή ομάδα

Μαθητές γυμνασίου ηλικίας 16-18

Εισαγωγή

Ο νόμος του Wien συνδέει το μήκος κύματος της μέγιστης εκπομπής, λ_{\max} , ενός μελανού σώματος με την θερμοκρασία του, T :

$$T = (2.9 \cdot 10^7) / \lambda_{\max}$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του αστεριού σε Kelvin (K), το λ_{\max} είναι σε Angström (Å), και $2.9 \cdot 10^7$ είναι η σταθερά μετατόπισης του Wien.

Τα αστρικά φάσματα περιλαμβάνουν δύο συστατικά: ένα συνεχές φάσμα που καλύπτει ολόκληρο το φάσμα εκπομπής, και μαύρες γραμμές που βρίσκονται πάνω από το συνεχές φάσμα. Μπορείτε να βρείτε παραδείγματα αστρικών φασμάτων στα άλλα έγγραφα που μπορείτε να κατεβάσετε από το διαδίκτυο.

Για αυτήν την δραστηριότητα, θα αγνοήσουμε τις μαύρες γραμμές και θα εστιάσουμε στο συνεχές φάσμα. Όσο ένα αστέρι μπορεί να θεωρείται μελανό σώμα (και αυτό είναι σχεδόν αληθές στις περισσότερες περιπτώσεις), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον Νόμο του Wien για να βρούμε την επιφανειακή θερμοκρασία του παίρνοντας το φάσμα του και προσδιορίζοντας το μήκος κύματος της μέγιστης εκπομπής.

Τα φάσματα που πήραμε κατά την διάρκεια της κατασκήνωσης βρίσκονται στην περιοχή 4000–7000 Å, που εκτείνεται σχεδόν σε ολόκληρη την οπτική περιοχή. Αν κοιτάξουμε το μέγιστο και ελάχιστο εκείνης της περιοχής, $\lambda_{\min} = 4000 \text{ Å}$ και $\lambda_{\max} = 7000 \text{ Å}$, και εφαρμόσουμε τον Νόμο του Wien, παίρνουμε $T = 7250 \text{ K}$ και $T = 4150 \text{ K}$, αντίστοιχα (στρογγυλοποιημένο στα πλησιέστερα 50 K). Αυτός ο υπολογισμός υποδηλώνει ότι με τον εξοπλισμό που ήταν διαθέσιμος στην κατασκήνωση, μπορέσαμε να μετρήσουμε το λ_{\max} των αστεριών των οποίων η θερμοκρασία περιλαμβάνεται σε αυτήν την περιοχή, π.χ. αστέρια των κατηγοριών F, G και K. Πιο θερμά και πιο ψυχρά αστέρια εμφανίζουν το μέγιστο μήκος κύματος έξω από τα όρια του εξοπλισμού μας.

Στην συνέχεια παραθέτουμε τα αστέρια που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια της κατασκήνωσης, συμπεριλαμβανομένων και των φασματικών τύπων τους και επιφανειακών θερμοκρασιών που βρέθηκαν στην βιβλιογραφία.

Αστέρι	Φασματικός τύπος	Επιφανειακή θερμοκρασία (σε K)
Aldebaran	K5	4000
Bellatrix	B2	22000
Betelgeuse	M1,5	3600
Capella (*)	G8+G0	4900+5700
Dubhe	K0	4700
Pollux	K0	4800
Sirius	A1	9900

(*) Το Capella είναι ένα διπλό αστέρι αλλά τα δύο στοιχεία του είναι παρόμοια· και έτσι περιμένουμε να μετρήσουμε την μέση θερμοκρασία των δύο.

Από αυτόν τον πίνακα και από προηγούμενες εκτιμήσεις, βλέπουμε ότι τα Capella, Dubhe και Pollux είναι κατάλληλα αστέρια για να χρησιμοποιηθούν για την προτεινόμενη δραστηριότητα· Το Aldebaran είναι στο όριο των δυνατοτήτων μέτρησης μας· και τα Bellatrix, Betelgeuse και Sirius είναι η πολύ θερμά η πολύ ψυχρά για τα όργανα μας.

Περαιτέρω θέματα για να αναλογιστείτε:

- Τα φάσματα που λαμβάνονται στην κατασκήνωση διαφέρουν από τα πραγματικά γιατί η ατμόσφαιρα της Γης αντιδρά με το αστρικό φως. Αυτό προκαλεί την επονομαζόμενη απορρόφηση που είναι πολύ μεγαλύτερη για τα μπλε παρά για τα κόκκινα μέρη του φωτός του αστεριού (επίσης γνωστή και ως ατμοσφαιρική ερυθρή χρώση). Επιπλέον, ο ανιχνευτήρας μας είναι πιο ευαίσθητος στο κόκκινο από ότι στο μπλε φως: κάτω από τα 5000 Å και κινούμενοι προς τα 4000 Å, η ευαισθησία του γίνεται όλο και πιο φτωχή.
- Αστέρια των οποίων οι φασματικοί τύποι είναι μεταξύ των τελευταίων B τύπων και των πρώτων F τύπων (ειδικότερα, A αστέρια) αναπτύσσουν ισχυρές γραμμές Balmer στην μπλε περιοχή που βοηθούν να συμπιέσουν το φάσμα σε αυτή την περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια εγγενής και σημαντική απόκλιση από την καμπύλη του μελανού σώματος που εμποδίζει κάθε ουσιαστική αξιοποίηση του Νόμου του Wien σε αυτά τα αστέρια.

Αυτές οι επιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν επιχειρείτε να μετρήσετε με ακρίβεια την θερμοκρασία· παρόλα αυτά, θα παραμεληθούν σε αυτή τη δραστηριότητα γιατί μια πλήρη επεξεργασία θα απαιτούσε μια προσέγγιση πανεπιστημιακού επιπέδου. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα από αυτήν την δραστηριότητα παραμένουν πολύτιμα και σημαντικά.

Υλικά

- Τα τρία έγγραφα που μπορείτε να κατεβάσετε από το διαδίκτυο με τα φάσματα των αστεριών, από την ιστοσελίδα του *Science in School*:
 - οι εικόνες των φασμάτων
 - οι πίνακες των φασμάτων με τα αποτελέσματα για την φωτεινότητα (μόνο για τους εκπαιδευτικούς)
 - οι πίνακες των φασμάτων χωρίς τα αποτελέσματα για την φωτεινότητα (για τους μαθητές)
 Τα φάσματα των Αστεριών Aldebaran, Betelgeuse, Capella, Dubhe, Pollux, Sirius και Bellatrix λήφθηκαν από τους συμμετέχοντες στην Κατασκήνωση Αστρονομίας του ESO.
- Έναν υπολογιστή με λογισμικό για πίνακες (π.χ. το Excel).

Διαδικασία

- Ανοίξτε τους πίνακες με τα φάσματα χωρίς τα αποτελέσματα για την φωτεινότητα. Κάθε καρτέλα περιέχει τον πίνακα για ένα αστέρι· κάθε πίνακας δείχνει:
 - Στήλη 1: αρίθμηση των εικονοστοιχείων στον ανιχνευτή, από τα αριστερά προς τα δεξιά (σε αυτό το πλαίσιο δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη)
 - Στήλη 2: το μήκος κύματος αυτού του συγκεκριμένου εικονοστοιχείου·
 - Στήλη 3: αριθμός των προσπιπτόντων φωτονίων σε αυτό το συγκεκριμένο μήκος κύματος που ανιχνεύθηκαν κατά την διάρκεια του χρόνου έκθεσης.
- Υπολογίστε το λόγο του αριθμού των φωτονίων προς το μήκος κύματος για κάθε μήκος κύματος στο φάσμα και εισάγετε τα αποτελέσματα στην στήλη 4. Αυτή η αναλογία δείχνει που βρίσκεται η μέγιστη φωτεινότητα στο φάσμα.

Ο ανιχνευτής των οργάνων μας (όπως και κάθε ανιχνευτής συσκευής ζεύξεως φορτίου) μετρά τον αριθμό των προσπιπτόντων φωτονίων (όπως φαίνονται στην στήλη 3) και όχι την προσπίπτουσα ενέργεια. Η ενέργεια των φωτονίων σε διαφορετικό μήκος κύματος ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_{\text{φωτονίου}} = (\text{σταθερά Planck} \cdot \text{ταχύτητα του φωτός}) / \text{μήκος κύματος}$$

Η φωτεινότητα ορίζεται ως η ενέργεια που φτάνει από το αστέρι ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου· στην περίπτωση μας, η ενέργεια που συλλέγεται κατά την διάρκεια του χρόνου έκθεσης από την επιφάνεια του τηλεσκοπίου. Με άλλα λόγια, είναι το άθροισμα της ενέργειας του καθενός φωτονίου που ανιχνεύεται κατά την διάρκεια του χρόνου έκθεσης από το τηλεσκόπιο:

$$\text{Φωτεινότητα} = \sum E_{\text{φωτονίου}} = (\text{αριθμός των φωτονίων}) \cdot [(\text{σταθερά Planck} \cdot \text{ταχύτητα του φωτός}) / (\text{μήκος κύματος})]$$

Αφού ενδιαφερόμαστε να προσδιορίσουμε μόνο το μήκος κύματος που εκπέμπει την μέγιστη φωτεινότητα, και όχι την πραγματική τιμή την φωτεινότητας, μπορούμε να απαλλαγούμε από τις σταθερές τιμές, και να θεωρήσουμε ότι η παρακάτω αναλογία μας δίνει μια ακριβή εκτίμηση της φωτεινότητας:

$$\text{Φωτεινότητα} = (\text{αριθμός φωτονίων}) / (\text{μήκος κύματος})$$

- Σχεδιάστε την φωτεινότητα (ψ άξονας) ως προς το μήκος κύματος (χ άξονας)
Το γράφημα δεν θα απεικονίζει ένα ομαλό φάσμα όπως του μελανού σώματος αλλά μάλλον ένα ακανόνιστο προφίλ εξαιτίας των φασματικών γραμμών που παραμελούνται σε αυτήν την επεξεργασία. Στην πραγματικότητα, καθώς τα φάσματα των αστεριών δεν είναι καμπύλες πραγματικού μελανού σώματος, οι αστρονόμοι έπρεπε να βρουν άλλες μεθόδους για να υπολογίσουν την ακριβή θερμοκρασία των αστεριών.
- Βρείτε την μέγιστη τιμή της φωτεινότητας από το γράφημα (μπορεί επίσης να υπολογιστεί από τις τιμές στον πίνακα) και το αντίστοιχο μήκος κύματος.
- Χρησιμοποιείστε το Νόμο του Wien για να βρείτε την επιφανειακή θερμοκρασία του αστεριού.

Λαμβάνοντας υπόψη του περιορισμούς και τις προσεγγίσεις του μοντέλου που παρουσιάζεται εδώ, η δραστηριότητα παρέχει πολύτιμα αποτελέσματα και μια καλή προσέγγιση την επιφανειακής θερμοκρασίας του αστεριού που μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητή από μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.