

Science in School – numărul 30

## Măsurarea temperaturii la suprafața stelei prin analizarea spectrului emis

(Activitate din Tabăra de Astronomie a ESO)

### Grupa de vârste

Elevi de liceu cu vârste între 16-18 ani.

### Introducere

Legea lui Wien corelează lungimea de undă a emisie maxime,  $\lambda_{\max}$ , a unui corp negru, cu temperatura sa, T:

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

unde T este temperatura la suprafața stelei în grade Kelvin (K),  $\lambda_{\max}$  este considerat în Angström-i (Å), iar  $2.9 \cdot 10^7$  este constanta de deplasare a lui Wien.

Spectrele solare constau din două componente: un continuum ce acoperă întregul spectru de emisie, și liniile întunecate suprapuse. Puteți găsi exemple de spectre stelare în celelalte documente descărcabile prin internet.

Pentru această activitate de clasă, vom neglija liniile întunecate din spectru și ne vom focaliza pe componenta continuă. Câte vreme o stea poate fi considerată a fi corp negru (și ipoteza aceasta este aproape adevărată în mai toate cazurile), putem folosi Legea lui Wien pentru a afla temperatura la suprafața stelei analizându-i spectrul și identificând lungimea de undă pentru emisia maximă.

Spectrele pe care le-am obținut pe durata taberei sunt în gama 4000–7000 Å, deci întinse pe aproape întregul spectru vizibil. Dacă ne uităm la maximul și minimul acestei game,  $\lambda_{\min} = 4000 \text{ Å}$  și  $\lambda_{\max} = 7000 \text{ Å}$ , și dacă aplicăm Legea lui Wien, obținem  $T = 7250 \text{ K}$  și respectiv  $T = 4150 \text{ K}$  (prin aproximare la cel mai apropiat multiplu de 50 K). Acest calcul ne sugerează că, folosind echipamentul disponibil în tabără, am fost capabili să măsurăm  $\lambda_{\max}$  pentru stele a căror temperatură se află în acest domeniu, deci stele din clasele F, G și K. Reținem că stelele mai fierbinți ori mai reci, din afara acestor limite, nu pot fi măsurate cu acele instrumente.

Urmează să listăm stelele care au fost observate pe durata taberei, specificându-le tipul spectral și temperaturile la suprafață, găsite în literatură.

Steaua	Tipul spectral	Temperatura (în grade 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

(\*) Capella este o stea dublă, dar componentele sale sunt similare; ne așteptăm să putem măsura temperatura medie a celor două.

Din acest tabel și din considerațiunile anterioare putem deduce că stelele Capella, Dubhe și Pollux sunt potrivite pentru activitatea propusă; Aldebaran este la limita posibilităților de măsurare; iar Bellatrix, Betelgeuse și Sirius sunt prea fierbinți ori prea reci pentru instrumentele noastre.

Alte aspecte de luat în considerare:

- Spectrele pe care le-am obținut în tabără diferă de cele reale deoarece atmosfera Pământului interacționează cu lumina stelară. Aceasta determină o anumită diminuare, care este mult mai importantă pentru componentele albastru decât pentru cele roșu din lumina stelară (efect cunoscut sub denumirea de înroșire atmosferică). În plus, senzorii noștri sunt mai sensibili la lumina roșie decât la cea albastră: sub aproximativ 5000 Å și până spre 4000 Å, sensibilitatea sa devine tot mai slabă.
- Stelele al căror tip spectral se află între ultimele tipuri B și primele tipuri F (și în mod particular stelele de tip A) dezvoltă linii Balmer puternice în regiunea albastră, ceea ce ajută la slăbirea spectrului în zonă. Aceasta înseamnă că acolo există o importantă deviație înstrinsecă de la curba corpului negru, ceea ce împiedică expolatarea deplină a legii lui Wien pentru aceste stele.

Aceste efecte trebuie luate în calcul când se încearcă măsurarea precisă a temperaturii; totuși, ele vor fi neglijate în această activitate didactică deoarece o tratare completă ar necesita o abordare de nivel universitar. Însă chiar și așa, rezultatele generate sunt valabile și pline de sensuri.

### Materialie

- Cele trei documente cu spectrele solare, descărcabile de pe web-site-ul *Science in School*:
  - imaginile spectrelor
  - tabelele spectrale cu rezultate pentru luminozitate (doar pentru profesori)
  - tabelele spectrale fără rezultate pentru luminozitate (doar pentru elevi)
 Spectrele stelelor Aldebaran, Betelgeuse, Capella, Dubhe, Pollux, Sirius și Bellatrix au fost înregistrare de participanții la Tabăra de Astronomie a ESO.
- Un calculator PC cu software tabelar (gen Excel).

### Procedura

- Se deschid tabelele cu spectrele fără rezultate pentru luminozitate. Fiecare filă a documentului conține tabelul pentru o stea, iar fiecare tabel prezintă:
  - Coloana 1: numărătoarea pixelilor de pe senzor, de la stânga la dreapta (în acest context coloana va fi ignorată);
  - Coloana 2: lungimea de undă pentru fiecare pixel;
  - Coloana 3: numărul de fotoni incidenți pentru acea lungime de undă, detectați pe durata expunerii.
- Se calculează raportul dintre numărul de fotoni și lungimea de undă, pentru toate lungimile de undă ale spectrului, și se introduce rezultatul (formula respectivă) în coloana 4.

Senzorul de la instrumentul de observare (ca orice senzor CCD) măsoară numărul de fotoni incidenți (arătat în coloana 3) și nu energia incidentă. Energia fotonilor la diferite lungimi de undă este definită prin ecuația următoare:

$$E_{\text{foton}} = (\text{constanta Planck} * \text{viteza luminii}) / \text{lungimea de undă}$$

Luminozitatea este definită ca energia ce sosește de la stea pe unitatea de suprafață în unitatea de timp; în cazul nostru este energia colectată pe durata expunerii prin suprafața telescopului (prin secțiunea traiectului optic). Cu alte cuvinte, este suma energiilor fiecărui foton detectat pe durata expunerii prin telescop:

Luminozitatea =  $\sum E_{\text{foton}} = (\text{numărul de fotoni}) * [(constanta Planck * viteza luminii) / (\text{lungimea de undă})]$

Deoarece ne-a interesat doar identificarea acelor lungimi de undă emise la luminozitatea maximă, și nu toate valorile luminozității, putem ignora valorile constante, și vom considera că următorul raport ne oferă o estimare corectă a luminozității:

Luminozitatea = (numărul de fotoni) / (lungimea de undă)

- Se trasează graficul luminozității (axa y) în funcție de lungimea de undă (axa x). Graficul nu prezintă lin spectrul corpului negru, ci mai degrabă un profil inegal, din cauza liniilor spectrale neglijate în această abordare. De fapt, deoarece spectrele stelare nu sunt pe deplin curbe de corp-negru, astronomii au trebuit să imagineze alte metode pentru a calcula temperatura precisă a stelelor.
- Se caută valoarea maximă a luminozității din grafic (valoare ce se poate calcula și în tabel) și lungimea de undă corespondentă.
- Se folosește Legea lui Wien pentru a determina temperatura la suprafața stelei.

Acceptând limitările și aproximările modelului prezentat aici, această activitate de clasă furnizează rezultate valide și o bună aproximare a temperaturii la suprafața stelelor, într-o manieră ce poate fi ușor înțeleasă de elevii de liceu.