

# SPECTROSCOPIA CROMOSFEREI

Daniela Adriana LĂCĂTUȘ\*

**Key words:** Sun atmosphere – chromosphere; spectroscopy; emission lines.

Într-o zi senină, când ne bucurăm de căldura de la Soare, nici prin gând nu ne trece că un obiect ceresc atât de apropiat poate încă avea mistere care dau în continuare multe bătăi de cap cercetătorilor. În continuare, vom descifra unul dintre straturile atmosferei solare, strat în care o multitudine de procese fizice se întrepătrund și de mai bine de jumătate de secol căutăm încă să le descifrăm interacțiunile: Cromosfera solară.

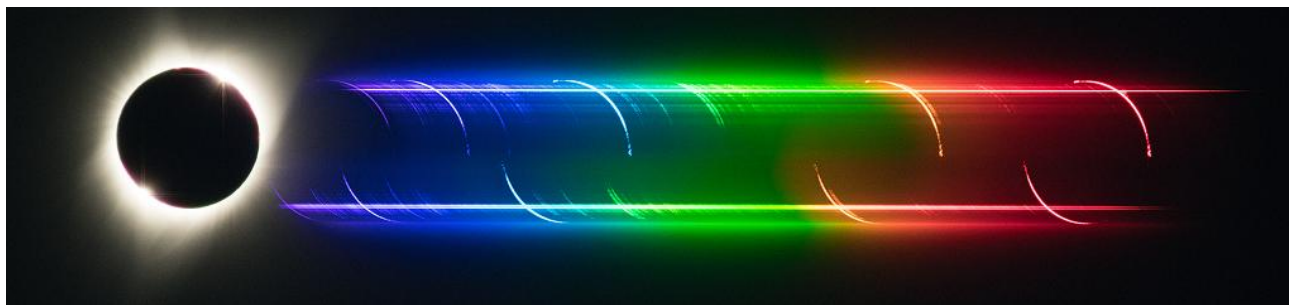


Figura nr.1 *Observație în timpul unei eclipse și spectrul vizibil. De la stânga la dreapta, principalele linii de emisie  $H\alpha$ , He I D3, Fe XIV,  $H\beta$ ,  $H\gamma$  și Ca II H&K.*<sup>1</sup>

Termenul de Cromosferă a fost folosit pentru prima dată în 1968 pentru a descrie banda subțire și roșiatică observată la limbul discului solar în faza de totalitate a unei eclipse. Acum știm că această culoare se datorează emisiei de hidrogen (predominant  $H\alpha$ ), cel mai răspândit element din Univers, și suntem capabili să folosim instrumente sofisticate pentru a descompune lumina de la acest strat subțire în spectrul component. Astfel, am identificat în acest spectru emisia a numeroase elemente care au emisie în lumină vizibilă. În imaginea de mai sus avem, în stânga, momentul de dinaintea fazei totale a unei eclipse solare, iar la dreapta avem spectrul vizibil din timpul acestei faze. Zonele foarte luminoase dau naștere unui spectru continuu, de intensitate constantă și corespund primului strat al atmosferei solare, fotosfera. Semi-arcele de cerc de diverse culori corespund, în principal, emisiei hidrogenului atomic cu diverse grade de excitare. Tot în emisia acestui strat s-a observat pentru prima dată cel de-al doilea element, ca răspândire, din Univers: Helium.

Cromosfera este cel de-al doilea strat al atmosferei solare, extinzându-se de la 500 km deasupra suprafeței până la aproximativ 2000 km, cu temperaturi ce cresc de la 6000 K la 20000 K, interval în care densitatea scade drastic. Temperatura relativ înaltă duce la excitarea și/sau ionizarea unor elemente, un procent dominant rămânând însă neutru. Pentru a înțelege mai bine cromosfera și originea acestor culori trebuie să apelăm la știința spectrografiei, care se ocupă cu studiul luminii emise de diverși atomi sau ioni și încearcă să extragă caracteristicile locale ale plasmei emitente.

În funcție de abundența diverselor elemente în atmosfera solară, au fost create modele analitice pornind de la o descriere a fiecărui atom și ion și a straturilor exterioare pe care electronii pot să se afle. Apoi, pe baza unor experimente de laborator, s-au stabilit energiile necesare pentru a schimba starea de excitare a acestor elemente prin diverse procese. Odată ce cercetătorii au adunat aceste informații, ei au încercat să calculeze emisia unei plasme cu compoziție cromosferică. Dar,

\* Membru al Astroclubului "Călin Popovici" Galați. Contact: danalacatus@yahoo.com

<sup>1</sup> Credit: Yujing Qin (<https://apod.nasa.gov/apod/ap170907.html>)

cu toate că au luat în calcul faptul că diversele elemente pot interacționa între ele și pot schimba energie, rezultatele analitice nu se potriveau deloc cu ceea ce era observat. O suită de efecte importante trebuie luate în considerare atunci când încercăm să înțelegem emisia cromosferică.

Cel mai important obstacol în analiza spectrului Cromosferei este ceea ce numim **gradul de transparență al plasmăi**. Cel mai simplu caz este atunci când plasma este complet transparentă la lungimea de undă emisă, adică vedem cu ușurință prin această plasmă. Ca simplă analogie, putem folosi cazul unui lac foarte curat când putem să vedem clar fundul lacului și orice vietăți sau obiecte sunt prin apă, în plus, putem spune cu exactitate adâncimea la care se afla. Dar Cromosfera nu este transparentă, este ca și un lac după o ploaie când diverse impurități vor face apa ușor tulbure, particulele neutre jucând rolul impurităților din analogia noastră. Astfel, din cauza impurităților și dimensiunilor acestora, nu vom vedea tot ce se găsește în acest strat, ci doar o fâșie subțire de la suprafață în funcție de particule neutre care sunt în calea luminii și o pot absorbi. Spunem că Cromosfera este o plasmă optic "groasă", în care diverse porțiuni ale profilului de emisie se formează la diferite înălțimi în atmosfera solară. În Figura nr. 2 este inclusă variația densității cu înălțimea față de suprafața solară și originea a câtorva linii cromosferice. Dacă analizăm doar o linie, de exemplu Ca II K, vedem că diverse porțiuni din linie (k1, k2 și k3) sunt formate atât la înălțimi diferite, cât și pe porțiuni destul de largi, ceea ce face interpretarea dificilă.

De parcă grosimea optică nu ar fi de ajuns, plasma nu este statică și frumos stratificată ci, la fel ca și apa tulbure de mai devreme, se află în continuă mișcare, astfel, atunci când diverse fascicule de plasmă se mișcă independent, **efectul Doppler** va schimba puțin lungimea de undă a luminii emise. Dacă avem de-a face cu mai multe astfel de fascicule, profilul rezultat va fi suma tuturor acestora, devenind aproape imposibil să le deosebim. Dar dacă observăm o schimbare majoră în lungimea de undă, clar separată de emisia principală, putem identifica fazele incipiente ale unei erupții sau reîntoarcerea plasmăi ejectate sub formă de ploaie coronală.

Complicațiile nu se opresc aici, pentru că abia acum ajungem la cel mai interesant aspect al astrului nostru, și anume **câmpul magnetic**. Prezența acestuia poate duce la efecte ciudate pentru un pământean, când putem avea structuri de plasmă cromosferică suspendate la înălțimi coronale. Probabil cunoașteți deja aceste structuri sub numele de filamente și protuberanțe, dar ca să înțelegeți cât de ciudate sunt, gândiți-vă că avem la câțiva metri deasupra lacului de mai devreme o bulă de apă care sfidează gravitația. Pe lângă rolul lui în schimbarea stratificării atmosferei, câmpul magnetic poate, de asemenea, influența profilul de emisie al unor atomi, motiv pentru care aceștia pot fi folosiți pentru a măsura intensitatea și orientarea câmpului magnetic. În plus, concentrațiile de câmp magnetic sunt susceptibile la instabilități, care eliberează cantități uriașe de energie și pot schimba complet emisia rezultantă. La ora actuală, folosind telescoape și instrumente aflate atât la sol cât și în spațiu, putem obține imagini cu rezoluție spațială de aproape 100 km la fiecare câteva secunde, aproape în tot spectrul electromagnetic. În Figura nr. 3 este prezentată una dintre cele mai detaliate observații pe care le avem la dispoziție ale unei erupții în emisie H $\alpha$ : zonele întunecate sunt corespondentul cromosferic al petelor solare, omniprezentele firișoare subțiri corespund cromosferei obișnuite, iar zona foarte luminată reprezintă unda de șoc provocată de o erupție solară. Cu toate că avem acces la cantități uriașe de date observaționale, încă nu știm cu exactitate cum

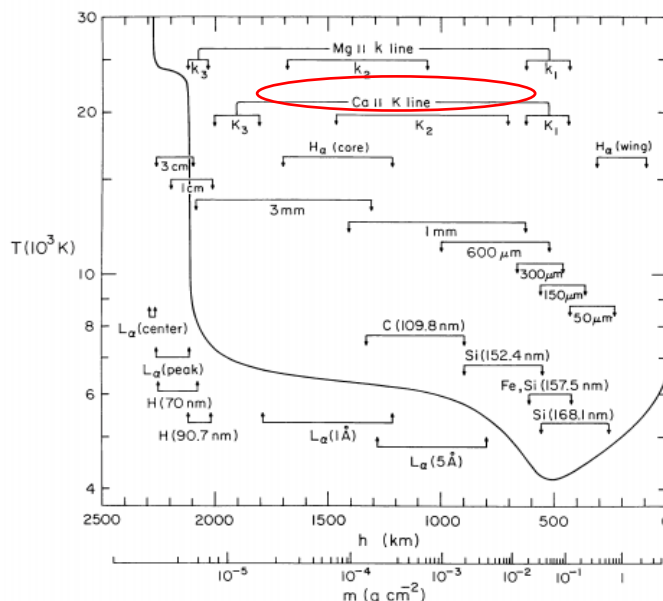


Figura nr. 2: Variația densității cu înălțimea în atmosfera solară și originea a câtorva dintre cele mai importante linii spectrale. (Vernazza et al.)

toate aceste procese se îmbină și în ce proporții, pentru a rezolva cu adevărat problema încălzirii coronale și a transportului de energie prin acest mediu dens.

O metodă folosită pentru deslușirea acestor procese, pentru că din păcate nu putem efectua măsurători directe ale cromosferei solare, este folosirea resurselor computaționale moderne pentru a realiza simulări cât mai realiste. Nu putem simula întreaga atmosferă solară, așa că ne limităm la o subdiviziune foarte restrânsă, dar și așa odată cu creșterea numărului de procese considerate cresc și cerințele de calcul, astfel încât o simulare 100% completă nu este fezabilă. În practică se folosesc simplificări și aproximări pentru procesele de care nu suntem direct interesați. Rămâne, totuși, întrebarea: nu cumva prin simplificarea simulării am pierdut ceva important în înțelegerea inter-dependenței dintre diversele procese? Majoritatea eforturilor curente se concentrează pe rezolvarea acestor interacțiuni și progresăm încet spre o imagine mai completă și realistă a Cromosferei solare.

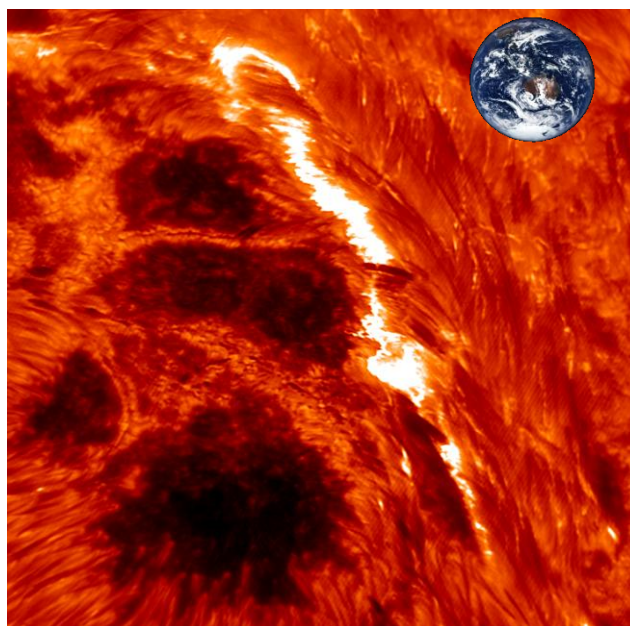


Figura nr. 3: *Observație a unei erupții solare în H $\alpha$  cu New Solar Telescope (NST) al Big Bear Solar Observatory (BBSO). (Wang et al. 2017). Dimensiunea Pământului ca referință.*

#### **Bibliografie:**

- 1.Foukal, P.V.: “*Solar Astrophysics*” 2nd, Revised Edition, ISBN 3-527-40374-4. Wiley-VCH (2004)
- 2.Linsky, J.L.: “*Stellar Model Chromospheres and Spectroscopic Diagnostics*” - Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 55, pp. 159-211 (2017).
- 3.Vernazza, J.E. et al.: “*Structure of the solar chromosphere. III - Models of the EUV brightness components of the quiet-sun*” – Astrophysical Journal Supplement series, vol. 45, p. 635-725 (1981).
- 4.Wang, H. et al.: “*High-resolution observations of flare precursors in the low solar atmosphere*” – Nat. Astron. 1, 0085 (2017)

### **CHROMOSPHERE SPECTROSCOPY**

We have come a long way since we first coined the term “chromosphere” to describe the thin and reddish layer seen at the solar limb during eclipse observations, but a full understanding of the physical processes that take place within this layer and their interaction has been eluding scientists for more than half a century. The three main challenges faced by researchers in interpreting chromospheric spectral observations are discussed, from the restrictions imposed by the optical thickness of the layer, to the Doppler effect, and the magnetic field influence. These all add on top of the already challenging need to consider many elements making up the chromosphere in all their possible levels of excitation.