SOARELE, CALEA SPRE STELE

Daniela LĂCĂTUŞ*

Keywords: Solar activity, magnetic field, solar atmosphere, eruptions, stars, exoplanets.

Soarele este cea mai apropiată stea și putem, astfel, să ne testăm modelele și teoriile cu privire la modul de funcționare internă și evoluție a suprafeței. Putem investiga detaliile proceselor ce duc la erupții și emisii ce își fac simțit efectul în întreg Sistemul Solar. Câmpul magnetic are un rol foarte important în structurarea atmosferei solare și dictează variabilitatea activității atât pe termen scurt, cât și pe termen lung. Dar ce putem deduce despre celelalte stele, dată fiind cantitatea mult redusă de informații pe care le putem obține din observațiile stelare? O mai bună înțelegere a transformărilor ce joacă roluri importante în cazul soarelui ne poate oferi indicii despre activitatea altor astre, chiar dacă proprietățile lor individuale sunt mult diferite, în special dacă suntem interesați de posibilitatea ca viața (fie și ea primitivă) să se dezvolte pe una din multele exoplanete descoperite în ultimii ani.

Umanitatea a fost fermecată dintotdeauna de petele solare și însemnătatea acestora, încă dinainte de a avea instrumente speciale cu care să confirmăm că acestea sunt, într-adevăr, pe suprafața solară. Acestea ocupă o arie foarte mică și marchează zonele cu câmp magnetic foarte puternic, unde mișcarea de convecție este limitată, dând naștere acestor zone de temperatură mai scăzută (Fig.1, stânga sus). Dar, pe lângă aceste elemente emblematice pentru observațiile solare, avem o întreagă suită de structuri și niveluri de activitate, care, însă, pot fi mai bine distinse la înălțimi cromosferice și coronale.

Întreaga activitate este dictată de prezența câmpului magnetic, care ia naștere sub suprafața solară, în urma proceselor de dinam solar. Mișcarea haotică a granulației duce la disiparea treptată a zonelor de câmp magnetic intens, care continuă, însă, să dicteze straturile superioare ale atmosferei. Totodată, granulaţia mută, împreună cu plasma, și mici fascicule de câmp magnetic, aflate între celulele de convecție, pe care le concentrează în mici regiuni de activitate, în așa-numitele celule supra-granulare. Acestea sunt cel mai ușor identificate în emisie cromosferică sau în câmp magnetic. În dreapta sus a Fig.1 este prezentată structura magnetică a suprafeței înregistrată de instrumentul HMI aflat la bordul SDO. Putem vedea că structura este mult mai complexă decât ce sugerează cele câteva pete vizibile. Regiunile active sunt marcate de structuri de polarități opuse intense și relativ strâns grupate, iar structurile supra-granulare reprezintă rețeaua extinsă de structuri magnetice vizibile pe întreaga suprafață solară. Odată cu scăderea densității și presiunii cu înălțimea deasupra suprafeței, câmpul magnetic se extinde ca un balon umplut cu aer, astfel, intensitatea acestuia scade, dar controlează în continuare întreaga structură a atmosferei.

Cromosfera este foarte sensibilă la schimbările proprietăților plasmei. În stânga jos a Fig.1 este inclusă emisia cromosferică a ionului de Magneziu, emisie capturată de satelitul IRIS, care evidențiază strânsa legătură dintre nivelul de activitate și locația elementelor de câmp magnetic. Într-un număr anterior (Perseus nr. VII (2018), pg. 65) v-am povestit despre complicaţiile cu care ne confruntăm atunci când încercăm să interpretăm emisia provenită de la cromosfera solară. De la limitările date de opacitatea liniilor, la continua evoluție a plasmei și impactul pe care îl poate avea câmpul magnetic. Pe lângă intensificări ale emisiei, putem avea și diminuări, mai ales când avem de-a face cu fascinantele filamente. Aceste structuri sunt formate din plasmă la temperaturi cromosferice, suspendată la înălțimi coronale, adesea marcând granița dintre regiuni de polarități diferite ale câmpului magnetic.

După cum știți, coroana solară are temperaturi de milioane de grade și originea acestei încălziri constituie una din întrebările care, încă, îi frământă pe oamenii de știință. Structura acestui

*Membru al Astroclubului „Călin Popovici” Galaţi. Contact: danalacatus@yahoo.com / Cercetător la High Altitude Observatory al National Center for Atmospheric Research (HAO/NCAR), Boulder, Colorado, SUA.

https://biblioteca-digitala.ro

strat este și ea dictată de câmpul magnetic, regiunile active fiind evidențiate de emisia crescută de-a lungul liniilor de câmp ce fac legătura între polarități sau între regiuni active vecine. Temperatura foarte înaltă duce la ionizarea plasmei, cea mai importantă emisie este cea a diverșilor ioni de Fier, după cum este ilustrat în dreapta jos a Fig. 1, unde este inclusă emisia înregistrată de unul din filtrele instrumentului AIA de la bordul SDO. Acest strat extern se extinde mult deasupra suprafeței în spațiul interplanetar, doar că, odată cu scăderea densității, emisia este din ce în ce mai redusă.

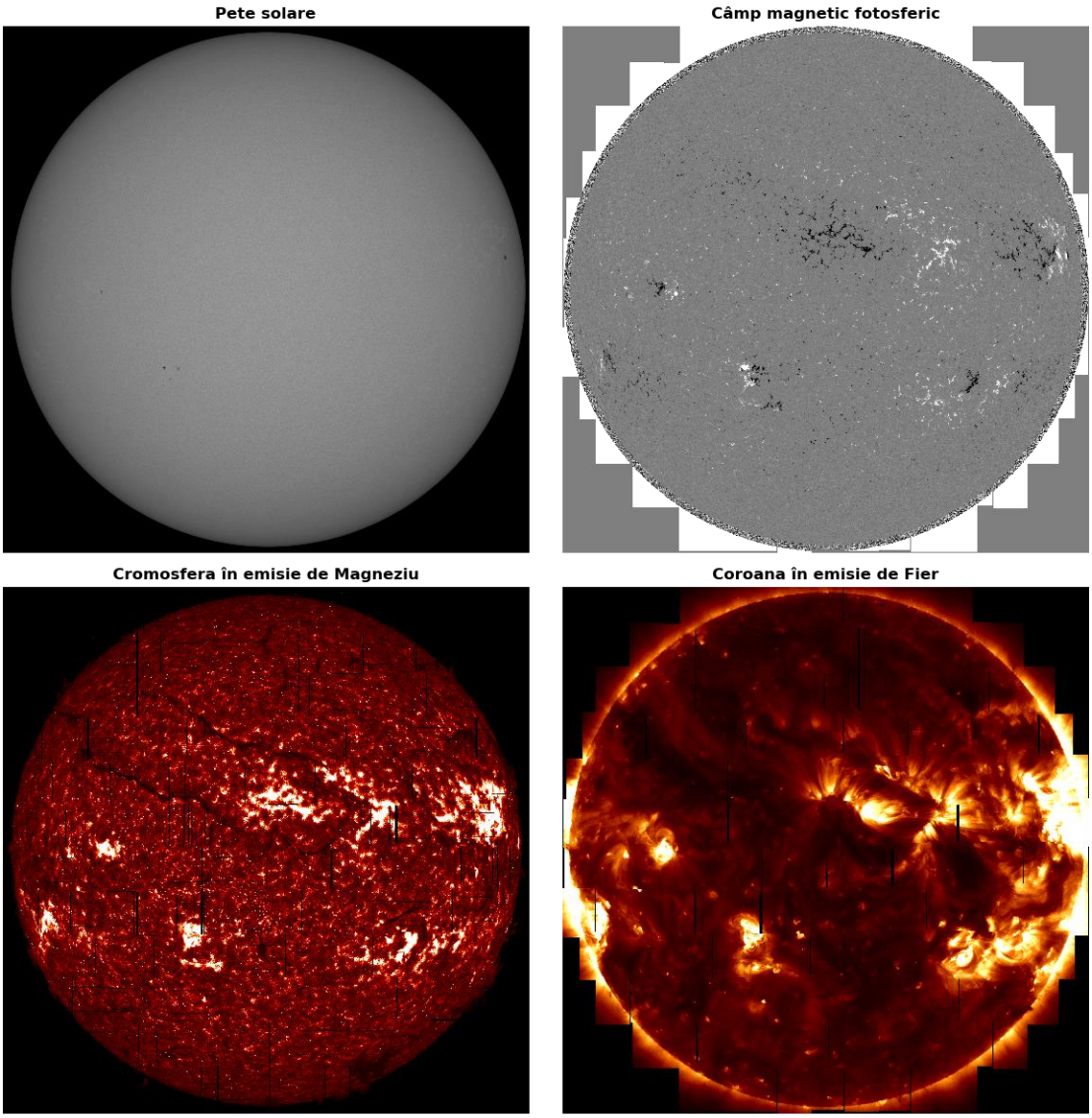

Figura nr. 1: *Diversele straturi ale atmosferei solare, de la fotosfera marcată de petele solare (stânga-sus) și măsurători de câmp magnetic (dreapta-sus), la cromosfera unde temperatura începe să crească, ducând la ionizarea parțială a plasmei (stânga-jos) și coroana la temperaturi de milioane de grade cu plasmă total ionizată cu emisie în ultravioletul extrem (dreapta-jos).*

Activitatea solară evoluează pe termen scurt dar și pe termen lung, sub influența magnetismului. Variabilitatea pe termen scurt este cauzată de interacțiunile dintre elemente de câmp magnetic învecinate, care pot destabiliza structurile atmosferice și pot da naștere la erupții. Acestea eliberează cantități uriașe de energie în mai multe forme, de la intensificări ale emisiei de zeci sau sute de ori în întreg spectrul electromagnetic, cu majoritatea energiei fiind eliberată, în special, în intervalul de energii înalte, de la ultraviolet la raze X și gama. Totodată, pot avea loc și expulzări de plasmă în spațiul interplanetar. Aceste erupții pot influența întreg sistemul solar și pot schimba condițiile mediului din jurul planetelor. Pământul, datorită prezenței unui câmp magnetic propriu și a unei atmosfere relativ dense, este protejat parțial de efectele radiației, dar unele particule accelerate pot pătrunde la poli, dând naștere aurorelor. Dar majoritatea sateliţilor nu sunt la fel de

https://biblioteca-digitala.ro

protejați pe orbită, de aceea, eforturi pentru înțelegerea și prezicerea erupțiilor sunt desfășurate de întreaga comunitate solară. Acest aspect trebuie luat în considerare în planurile de colonizare a Lunii sau a lui Marte, ambele obiecte cerești neavând un câmp magnetic propriu. Luna nu are atmosferă și atmosfera planetei Marte este mult prea rarefiată.

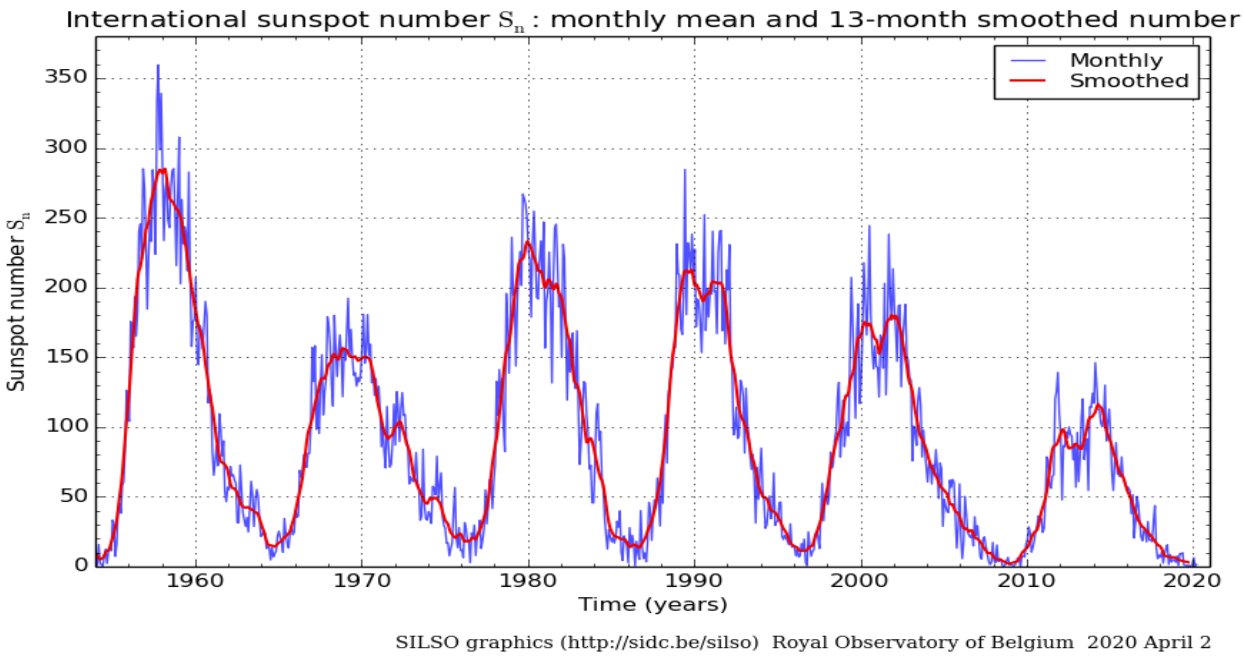

Figura nr. 2 *Ciclul solar evidenţiat de variaţia numărului de pete*

Dar există și evenimente extreme. Cea mai puternică erupție solară a fost observată de Carrington în 1859 și efectele ei au rămas în istorie. Aurorele boreale au luminat cerul ca în plină zi și au putut fi văzute chiar și de pe coasta nordică a Africii; întreg sistemul de telegraf a fost inoperabil, câțiva operatori chiar raportând descărcări electrice; iar rețeaua de electricitate a SUA a suferit multiple defecțiuni, cauzând întreruperi de curent larg răspândite. Această erupție a fost aproximată ca fiind de 100 de ori mai puternică decât cele mai intense detectate cu mijloace moderne. Un astfel de eveniment are loc o dată la aproximativ o sută de ani, dar, din fericire, Pământul este foarte mic, deci există șansa ca erupția să nu fie orientată spre noi. Un eveniment de asemenea amploare ar pune în pericol atât vasta rețea de sateliți care împânzesc orbita terestră (GPS, navigație, climatologie), cât și rețelele de distribuție de curent electric și telecomunicații, elemente pe care omenirea se bazează pentru viața de zi cu zi.

Pe termen lung avem ciclul de 11 ani de activitate solară. Maximul de activitate este marcat de prezența de regiuni active complexe pe tot discul solar, ale căror interacții duc la o creștere semnificativă a emisiei și a numărului de erupții. La minimul de activitate, complexitatea și numărul de regiuni active este mult redus, astfel emisia totală a soarelui scade. Cel mai cunoscut efect al ciclului solar este variația numărului de pete solare (vezi Fig. 2). Această variație este înregistrată relativ consistent pentru ultimele 24 de cicluri (deși măsurători ale numărului de pete există încă de la Galileo și ne arată că nu toate ciclurile sunt la fel de intense), istoric fiind identificate cel puțin două intervale în care activitatea a fost foarte joasă, aproape inexistentă. Folosind alte surse (variații ale depozitării izotopului de Carbon radioactiv în inelele de creștere ale copacilor sau în ghețari), putem extrage informații cu privire la ciclul solar pe mii de ani.

Am văzut, astfel, că activitatea solară este dictată de magnetism și de interacția dintre elementele de câmp magnetic. În cazul soarelui avem deosebita șansă de a putea urmări variațiile suprafeței cu observații cu rezoluții spațiale și temporale din ce în ce mai mari, încununarea eforturilor cercetătorilor în fizică solară fiind noul telescop DKIST, care se alătură arsenalului de sateliți și observatoare care urmăresc îndeaproape schimbările structurilor solare.

https://biblioteca-digitala.ro

În cazul altor stele nu avem decât emisia integrată pe tot discul stelar, avem, deci, doar o sursă punctiformă. Variațiile pe termen lung pot fi identificate dacă avem observații pe perioade destul de îndelungate ale emisiei aceleiași stele. Cea mai lungă astfel de serie de observații a fost obţinută la Mt. Wilson Observatory, folosind emisia de Calciu ionizat, provenit din cromosfera stelară, care este un bun proxim pentru activitatea magnetică a stelei. Imaginea alăturată conţine câteva cicluri observate pentru câteva stele din această bază de date. În urma analizei variației de intensitate se poate vedea că nu toate stelele au un ciclu de activitate, iar cele ce prezintă unul pot avea variații ale periodicităţii destul de mari, mult mai mari decât s-a prezis de cele mai avansate modele stelare, chiar și în cazul unor stele din aceeași clasă spectrală ca soarele.

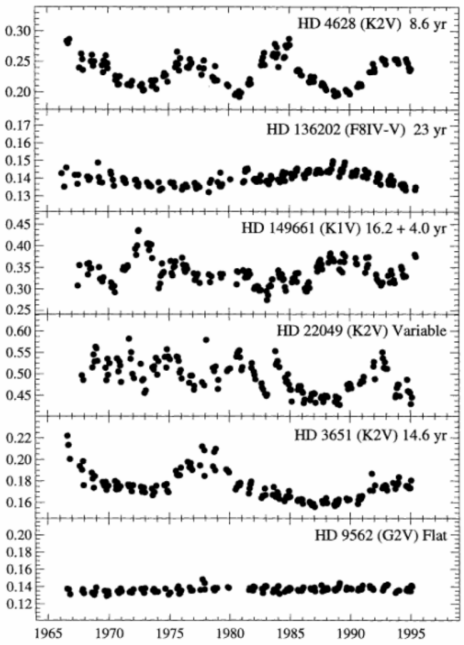

Figura nr. 3 - *Cicluri stelare*

Și stelele au variații pe termen scurt, sugerând că erupțiile sunt prezente nu numai pe suprafața solară. Dar unele erupții stelare fac și cele mai violente evenimente solare să pălească, în comparație.

De la intensificări ale intensității de zeci de mii de ori, la enorme expulzări de plasmă care schimbă notabil liniile spectrale, ceea ce sugerează că dimensiunea norului de plasmă devine comparabilă cu discul stelar. Unele stele prezintă evenimente de magnitudinea celei observate de Carrington, cu frecvenţă foarte ridicată, ceea ce pune sub semnul întrebării stabilitatea atmosferei planetelor din jurul unor astfel de stele. În fața unui asemenea bombardament din partea stelei gazdă, planetele telurice își pot pierde o mare parte din atmosfera primordială, înainte ca viața să aibă vreo șansă să se dezvolte, lăsând în urmă o piatră aridă, precum Mercur. Dar odată ce ajung în secvența principală, nivelul de activitate se stabilizează pentru unele stele, ceea ce oferă o oportunitate de calm pentru planete, dar, poate, prea târziu.

Deși acum sunt cunoscute un număr impresionant de exoplanete, majoritatea sunt gigante gazoase foarte apropiate de steaua gazdă, pentru că acestea sunt ușor de identificat, dat fiind efectul pe care îl au asupra stelei și perioada orbitală scurtă. Dintre planetele telurice, foarte puține sunt în zona habitabilă a stelei, iar posibilitatea de a detecta dacă acestea au o atmosferă proprie și compoziția acesteia sunt foarte reduse. Un nou proiect (MEarth) are ca scop urmărirea stelelor din clasa M (pitice roșii), situate aproape de Pământ, și identificarea planetelor din sistemele țintă. Alegerea obiectivelor este dictată de posibilitatea de a investiga emisia atmosferei planetelor detectate, fără a fi total obstrucționată de emisia mult mai puternică a stelei gazdă, cum este cazul pentru stele similare cu soarele. Piticele roșii tinere au, însă, și unele dintre cele mai violente erupții, iar amplasarea unei planete în zona habitabilă, care pentru pitice este foarte aproape de stea, o expune la furia stelei. Rămâne de văzut dacă pe vreo planetă, din jurul vreuneia din stelele vecine, viața și-a găsit locul.

Soarele ni se poate părea prea banal comparativ cu multitudinea și varietatea de stele din vecinătatea galactică, dar este singura stea pe care o putem observa atât de amănunțit. Astfel, ne oferă un vast laborator în care să ne jucăm cu ideile și urmărindu-i evoluția de aproape ne putem rafina înțelegerea fenomenelor care stau la baza activității solare, atât pe termen lung, cât și pe termen scurt. Acesta este un scop important, mai ales dacă vrem, ca specie, să părăsim confortul Pământului și să ne aventurăm în Sistemul Solar și, poate, cu timpul, mai departe.

https://biblioteca-digitala.ro

Bibliografie

- Carrington, R. C., *Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 20, p.13-15 (185).
- *The Sun as a Guide to Stellar Physics*, (2018) - 1st Edition. Editors: Oddbjørn Engvold, Jean-Claude Vial, Andrew Skumanich, Publisher: Elsevier.
- Wilson, O. C., *Chromospheric variations in main-sequence stars*, Astrophysical Journal, Vol. 226, (1978), p. 379.

➢ SDO (Solar Dynamics Observatory): https://sdo.gsfc.nasa.gov/
➢ HMI (Helioseismic and Magnetic Imager): http://hmi.stanford.edu/
➢ AIA (Atmospheric Imaging Assembly): https://aia.lmsal.com/
➢ IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph): https://iris.lmsal.com/mission.html
➢ DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope): https://www.nso.edu/telescopes/dki-solar-telescope/
❑ Solar Influences Data analysis Center (SIDC): http://sidc.be/silso/ssngraphics
❑ Platformă interactivă ce integrează date de la mai multe misiuni solare, cu ajutorul căreia puteți explora legătura dintre diversele structuri și straturi ale soarelui: https://www.helioviewer.org/

THE SUN, PATHWAY TO THE STARS

Solar activity is driven by the magnetic field that threads the solar surface, from the deep interior into the interplanetary space. The structure of the solar atmosphere highlights the expanse of interacting magnetic regions, from the loop-like features observed in the solar corona, through the complicated fibrillar structure of the chromosphere, to the photosphere with its hallmark sunspots. Before we knew what caused them, people have measured their variations and have identified the long term 11 year-cycle of solar activity. The short term variability, marked by flares and eruptions can have important effects in the whole solar system, by interfering with satellites, astronauts and can impact future missions to the Moon or Mars. Despite the much lower spatial information we have for stellar, we now know some have cycles, some have humongous eruptions and most of them have planets in orbit. Developing a good grasp for the processes that take place on the sun can improve our understanding of stellar conditions, especially in the hunt for habitable exoplanets that may harbour life. The Sun may appear boring due to its proximity and unexceptional characteristics when compared to the huge assortment of stars out there, but it is the best laboratory we have for testing our theories and, for now, it is the only star we know for sure to be harbouring life.

https://biblioteca-digitala.ro