

1. Metode de observare

Studiul Soarelui, corpul central al sistemului nostru planetar, are o importanță triplă, și anume:

1) prin energia pe care o radiază este sursa de viață pe planeta noastră și unica sursă de energie în sistemul planetar din care facem parte;

2) prin mișcările sale aparente, care duc la fenomene ușor de observat, ca succesiunea zilelor și nopților și succesiunea anotimpurilor, Soarele este folosit la stabilirea unor activități și a unităților de timp;

3) prin marea sa apropiere de noi (față de cea a stelelor), Soarele poate fi studiat în mod amănunțit și în acest fel pot fi cunoscute procesele care au loc nu numai în Soare, ci și în stele.

Studiul Soarelui se face prin patru metode:

a) *Observarea discului solar cu ajutorul lunetelor.* Observațiile se fac:

- fie proiectând discul solar pe un ecran perpendicular pe axa optică a lunetei;
- fie direct prin luneta prevăzută cu filtre, prisme și diafragme pentru a micșora cantitatea de lumină care intră în lunetă.

b) *Observarea atmosferei solare în timpul eclipselor totale de Soare.* Discul strălucitor fiind acoperit timp de câteva minute, lumina primită de la atmosfera solară permite o mai bună studiere a atmosferei. Aparatură numite *coronografe* permit studiul — mai puțin perfect — al atmosferei solare și în afara eclipselor.

c) Concentrarea luminii solare pe fanta *spectrografului*, pentru analiza spectrală, care este mijlocul cel mai puternic de cercetare. În acest scop se utilizează instrumente foarte mari și imobile, sub forma *turnurilor solare*, în care un sistem de oglinzi formând *helostatul* concentrează razele solare prin turnu pe aparatul de cercetare.

d) Se înregistrează emisiunea radio a Soarelui pe diferite frecvențe. Primele trei metode amintite sînt combinate adesea cu înregistrarea pe placa fotografică.

Observatorul din București, prin sectorul solar, participă, în cadrul colaborării internaționale, la cercetarea Soarelui.

2. Distanța, dimensiunile și masa Soarelui

Din capitolele precedente rezultă pentru Soare următoarele date:

— *Paralaxa orizontală ecuatorială a Soarelui*: $\pi_{\odot} = 8'',794$; distanța medie Pământ-Soare:

$$D_{\odot} = 149\,600\,000 \text{ km,}$$

care, datorită excentricității orbitei terestre, variază cu ± 5 milioane de kilometri. Lumina \odot străbate în $8^m 18^s$.

— *Diametrul Soarelui* este de $1\,392\,400 \text{ km} = 109 \times$ diametrul Pământului.

— *Volumul Soarelui* este $1\,300\,000 \times$ volumul Pământului, de 600 ori mai mare decît suma volumelor planetelor. În interiorul Soarelui ar încăpea orbita Lunii.

— *Masa Soarelui* este de 333 400 ori mai mare decît a Pământului. Ea este egală cu $1,99 \times 10^{33} \text{ g}$, adică de 745 ori suma maselor planetelor, concentrînd 99,86% din masa întregului sistem solar. De aici rolul său primordial în sistemul solar.

— *Densitatea medie* a Soarelui este 0,255 din aceea a Pământului, adică 1,41 m raport cu apa.

— *Accelerația gravitației* pe suprafața Soarelui este de 28 ori mai mare decît pe suprafața Pământului; pe Soare, greutatea medie de 70 kg a unei persoane ar deveni aproape 2 t.

Un corp ar putea părăsi Soarele dacă i s-ar imprima o viteză de 618 km/s, pe cînd el părăsește definitiv Pământul la o viteză de numai 11,2 km/s.

3. Observarea suprafeței solare

Privit cu o lunetă mai puternică, discul solar prezintă o serie de particularități.

Discul solar nu este uniform luminat, ci pe margine prezintă o umbră treptată. Acest lucru se explică prin faptul că radiația vine de la aceeași adîncime: în centru, măsurată pe normală, iar la margine, măsurată pe oblică. Temperatura crescînd o dată cu adîncimea, radia-

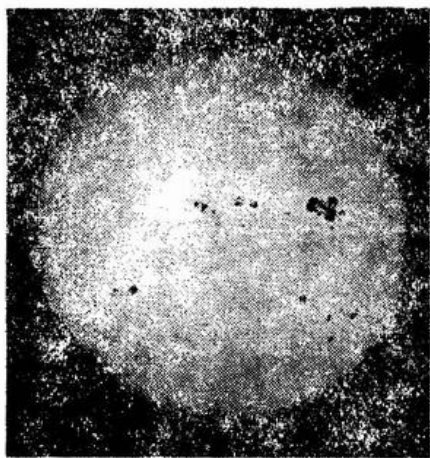


Fig. 69. Fotografia discului solar; apare fotosfera cu umbrirea sa pe margine, grupuri de pete solare înconjurate de facule.

în regiuni mari, fin dantelate, mai strălucitoare, numite facule (fig. 69). Petele nu sînt fixe pe suprafața solară, ci ele se deplasează, de la stînga spre dreapta, dovedind rotația Soarelui în sens direct cu o perioadă de 25 de zile la ecuator, spre poli ajungînd la 35 de zile. Deci Soarele nu se rotește ca un solid, ci diferențial, dovedind astfel compoziția sa gazoasă.

4. Constituția Soarelui. Atmosfera solară

Ca orice stea, Soarele se compune din două părți:

- atmosfera solară, alcătuită din straturi care ne trimit radiații;
- interiorul Soarelui, format din materia de la care nu primim direct radiații.

Atmosfera solară se compune din următoarele straturi: fotosfera, cromosfera și coroana solară.

Fotosfera este stratul cel mai adînc al atmosferei solare, dar și cel mai subțire, avînd o grosime de cîteva sute de kilometri și temperatura de $6\,000^\circ\text{K}$ care crește spre interior. Ea delimitează discul solar. Petele solare și faculele amintite sînt formații fotosferice în continuu

țiile de la marginea discului corespund temperaturilor mai mici, deci cu o intensitate redusă față de radiațiile din centru.

— La o lunetă puternică, suprafața Soarelui se descompune în formații mai strălucitoare, numite granule, avînd un diametru real de circa $1\,000\text{ km}$ pe un fond întunecat. Ele se datorează unor curenți de convecție care ridică — la suprafață — mase fierbinți și, după răcire (circa 7—8 minute), se lasă în jos și granulele pe care le-au produs dispar, locul lor fiind luat de alte granule.

— Petele solare sînt regiuni mai întunecate pe discul solar, deoarece au numai $4\,500^\circ\text{K}$ temperatură (în raport cu cele $6\,000^\circ\text{K}$ ale discului). Ele apar

evolue. Petele apar într-o erupție neregulată, apoi se rotunjesc, fiind înconjurată de penumbră, cu diametrul între $1\,000$ și $100\,000\text{ km}$. Adesea, ele formează grupuri, care se transformă într-o pereche de pete, pînă dispar.

Formarea petelor se atribuie unor fenomene legate de cîmpurile magnetice și rotația diferențială a Soarelui. În urma cîmpurilor magnetice, temperatura petelor este mai scăzută decît a fotosferei (cîmpurile magnetice intense opunîndu-se la transportul energiei din interior). Petele dispar după o existență de circa trei săptămîni. Fenomenul cel mai important îl constituie periodicitatea numărului petelor, avînd perioada medie de 11 ani. Petele au un cîmp magnetic puternic.

Faculele sînt mai numeroase în jurul petelor, formînd cu acestea regiunea activă. Aria ocupată de facule este de 2,5 ori mai mare ca aceea a petelor. Au o viață mai lungă decît petele, dar aceeași perioadă de 11 ani.

Cromosfera înconjură fotosfera și are o grosime mult mai mare, de cîteva mii de kilometri. Temperatura sa crește spre exterior, de la $4\,000^\circ\text{K}$ la $20\,000^\circ\text{K}$. Structura sa este foarte eterogenă: în cromosferă, între petele unor grupuri apar scînteieri luminoase de scurtă durată, numite erupții cromosferice, regiuni de nori albi numiți floculi (nori de calciu), iar spre marginea discului solar apar niște limbi de flăcări ce ies din cromosferă, numite protuberanțe (fig. 70). Ele sînt liniștite, deși persistă într-o formă puțin schimbată timp de săptămîni, și eruptive, dacă se ridică în cîteva ore, evoluează și dispar. Ele au o periodicitate de 11 ani, care se acordă bine cu aceea a petelor solare. Observate pe disc cu ajutorul unui filtru monocromatic sau al unui spectroheliograf, ele apar ca linii întunecate, numite „filamente”. În cromosferă se formează undele solare radio, cu lungime de undă scurtă.

Coroana solară (fig. 71 a, b) se întinde în jurul cromosferei cu o grosime de sute de mii de kilometri sau mai mult. Structura sa este foarte complicată și atinge temperatura paradoxală de ordinul unui milion de grade (dedusă din mișcarea particulelor acestui mediu foarte rarefiat). Ea produce radiundele solare cu lungimi de undă metrice. Bogată și aproape uniform răspîndită în jurul discului solar în timpul maximului de pete, coroana solară se reduce în timpul minimului de pete la alungiri în regiunea ecuatorului, la poli rămîinînd doar fire scurte (denumite iarbă polară).

Centrele active formate probabil la mari adîncimi agită toată atmosfera solară; ele dau petele solare, protuberanțele și forma coroanei, care se reproduc toate în perfectă concordanță cu aceeași perioadă de 11 ani. Totalitatea acestor fenomene variabile constituie activitatea solară. Ea are o mare importanță teoretică (pentru înțelegerea proceselor din Soare) și practică (influența asupra unor fenomene terestre).

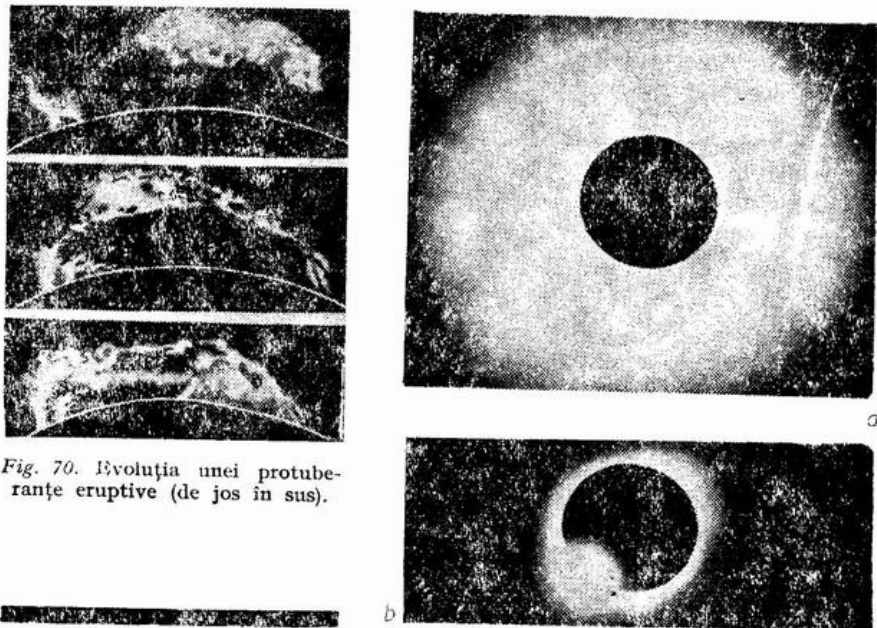


Fig. 70. Evoluția unei protuberanțe eruptive (de jos în sus).

Fig. 71 a, b. Coroana solară la maximum (sus) și minimum (jos) de activitate solară.

Analiza spectrală aplicată razelor solare ne prezintă spectrul solar. Un spectru continuu are circa 22 000 de linii de absorbție, rezultat din acțiunea tuturor straturilor prin care au trecut razele. Fotosfera dă un spectru continuu și de linii, care apar cu oarecari modificări în cromosferă. Coroana solară emite un spectru continuu, un spectru de linii luminoase proprii și un spectru de absorbție produs prin deformarea luminii în pulberi. Atmosfera terestră adaugă încă vreo 6 000 de linii de absorbție, numite *linii telurice*, care se disting de restul liniilor prin lărgimea lor variabilă în cursul unei zile, după cum razele solare parcurg un drum mai lung (la orizont) sau mai scurt (la meridian) în atmosfera terestră.

La eclipsele totale de Soare, timp de 1—2 secunde, cît discul lunar ascunde fotosfera, primim lumină numai de la straturile exterioare ale atmosferei. Spectrul de absorbție se inversează în spectru de linii, numit din cauza scurtei sale durate *spectru fulger*.

Din analiza spectrală rezultă compoziția chimică a atmosferei solare: aceleași elemente ca și pe Pământ, și anume: hidrogenul în proporție de 79%, heliu 20%, iar restul elementelor reprezintă mai puțin de 1% din atmosferă, mai abundente fiind oxigenul, magneziul, azotul, carbonul etc. În anul 1868 a fost identificată o linie galbenă

în spectrul solar, necunoscută în spectrele terestre și atribuită unui nou element, *helium*. După 30 de ani, elementul heliu a fost descoperit și pe Pământ.

Rezultă încă o dată unitatea materială a corpurilor cerești cu Pământul; aceleași elemente chimice compun materia, doar abundența lor variază.

5. Energia și temperatura Soarelui

Măsurînd energia pe care o primim de la Soare, putem determina energia pe care el o emite. Atmosfera terestră absoarbe o parte din aceasta. Calculele energetice se pot face neținînd seama de ea.

Se numește *constantă solară* cantitatea de energie primită de la Soare în timp de 1 minut, pe o suprafață de 1 cm², așezată perpendicular pe rază și aflată la limita superioară a atmosferei terestre. Din măsurări rezultă pentru constanta solară valoarea de 2 cal în 1 min/1 cm².

Timpul de 1 min toată suprafața terestră de rază r primește energia:

$$e = 2\pi r^2 = 2,55 \times 10^{18} \text{ cal/min.}$$

Putem calcula energia primită pe o sferă cu raza de o unitate astronomică R (distanța Pământ-Soare) în jurul Soarelui; ea reprezintă energia totală radiată de Soare timp de 1 min:

$$E = 2 \times 4\pi R^2 \text{ cal/min.}$$

Raportul dintre energia E emisă de Soare și e recepționată de Pământ este:

$$\frac{E}{e} = \frac{2 \times 4\pi R^2}{2 \times \pi r^2} = 4 \left(\frac{R}{r}\right)^2 = 2\,200\,000\,000,$$

adică Pământul primește numai a 2,2 miliarde parte din energia radiată de Soare. De aici, energia totală radiată pe secundă:

$$E = 5,17 \times 10^{23} \text{ cai-putere} = 39 \times 10^{23} \text{ ergi/s} = 3,8 \cdot 10^{23} \frac{\text{Jouli}}{\text{s}}$$

suficientă pentru a topi timp de 1 min un strat de gheață de 14 m grosime care ar înconjura Soarele. Această formidabilă energie este emisă de Soare în mod continuu de circa 3 miliarde de ani. Cele mai vechi roci ale scoarței terestre, avînd o vîrstă de 2,6 miliarde ani, au fost găsite ca conținînd alge fosile, fapt care dovedește că încă de atunci clima terestră era analogă celei actuale. Deci, de atunci și pînă azi, energia emisă de Soare a variat foarte puțin.

Cunoscînd energia radiată de Soare, se poate calcula temperatura suprafeței solare (a fotosferei) și se află o valoare de 6 000 °K.

6. Interiorul Soarelui, originea energiei solare

Interiorul Soarelui (ca și al unei stele) se manifestă prin condițiile pe care le creează în atmosferă. În cazul Soarelui s-au stabilit următoarele rezultate:

Masa în interior este puternic concentrată spre centru, aflându-se la o presiune de miliarde de atmosfere și la o temperatură de 14 milioane grade, densitatea ajungând la 130 g/cm^3 . Din această cauză este perfect ionizată, fiind în stare de plasmă și comportându-se ca un gaz perfect. Compoziția ei chimică este dominată de hidrogen (79%) și heliu (20%), iar restul elementelor de 1% apar doar ca impurități.

Care este originea formidabilei energii solare?

Au fost emise multe ipoteze, ca: a arderii, a contractiunii, a căderii de materie meteorică, a radioactivității și altele, dar nici una nu putea justifica energia cheltuită de Soare în lunga sa existență. Ipoteza care explică debitul energiei solare este aceea a reacțiilor termionucleare: pe baza înaltei presiuni și temperaturi din interior, elementul cel mai abundent, hidrogenul, se transformă în heliu. 4 nuclee de hidrogen se grupează pentru a forma 1 nucleu de heliu, a cărui masă este ceva mai mică decât a 4 nuclee de hidrogen. La fiecare grupare rămâne masa Δm , numită defect de masă. Greutatea atomică a hidrogenului fiind 1,00813, iar a heliului 4,00386, rezultă $m = 4 \times 1,00813 - 4,00386 = 0,02866$. Aceasta eliberează energia E , careia îi corespunde:

$$E = c^2 \cdot \Delta m,$$

unde c este viteza luminii. În fiecare secundă, 564 milioane de tone de hidrogen sînt grupate în 560 milioane de tone de heliu, iar 4 milioane de tone de hidrogen, rămase ca defect de masă, eliberează energia corespunzătoare lor. Această energie alimentează întregul sistem solar. Cît va dura acest proces? Pînă la epuizarea rezervelor de hidrogen ale Soarelui. În prezent, avînd 79% hidrogen din masa totală, deși ritmul grupării hidrogenului în heliu se accelerează cu timpul, încă miliarde de ani eliberarea de energie solară pe această cale este asigurată*. Iar după epuizarea hidrogenului este posibilă amorsarea unui alt ciclu de transformări. Pe măsura consumării întregii sale energii, după multe miliarde de ani, Soarele întii își va mări strălucirea și raza, fapt care va pune capăt existenței sistemului planetar. Apoi Soarele va evolua repede spre o stea pitică albă, stingîndu-se treptat.

Alături de radiația solară, din care primim partea corespunzătoare ferestrelor vizuale și radio ale atmosferei terestre, Soarele emite corpuscule cu mari viteze, care, deși au mare energie, sînt oprite atît de atmosfera solară, cît și de cea terestră. Ele produc:

— în Soare: vîntul solar și norii crepusculari de diferite energii (pînă la raze cosmice polare de $\approx 10^9$ e.v.);

— pe Pămînt: aurorele polare, fenomenele geomagnetice (furtuni magnetice), briele de radiații intense din jurul Pămîntului descoperite cu ajutorul sateliților artificiali.

* Probabil, în trecutul Soarelui s-a produs heliu și prin reacțiile hidrogenului cu elementele ușoare litiul, beriliul și borul, care se amorsează la temperaturi joase (de numai cîteva sute de mii de grade). Astfel se explică marea varietate a acestor elemente în Soare.

O importantă parte a cercetărilor întreprinse în Anul Geofizic Internațional a constituit studiul Soarelui și al fenomenelor geofizice. Între 1 ianuarie 1964 și 31 decembrie 1965 s-au desfășurat lucrările Anului Internațional al Soarelui Calm (A.I.S.C.), în care s-au studiat fenomenele solare în timpul unui minim al activității solare. Sectorul solar al Observatorului din București a participat la lucrările A.I.S.C.

Imensa energie solară, care ne inundă în mod continuu, i-a dat omului ideea utilizării ei. În prezent sînt în curs cercetări pentru captarea și utilizarea energiei solare în economia națională. Instalațiile heliotehnice realizate în cîteva întreprinderi, ca și bateriile solare utilizate la sateliții artificiali, indică eforturile umane în direcția depășirii utilizării energiei Soarelui.

Exerciții

1. Care ar fi pe Soare masa unui om care pe Pămînt cîntărește 65 kg?

2. Știind că o pată solară are diametrul aparent $0'',7$, care este diametrul ei liniar?