

# Spectrul solar și petele solare

**Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno**

Uniunea Astronomică Internațională, Școala Secundară Loulé (Portugalia),  
Universitatea Tehnologică Națională (Mendoza, Argentina), Școala Retamar  
(Madrid, Spania)

## Sumar

Acest workshop include o abordare teoretică asupra spectrului luminii și poate fi folosit pentru a preda acest subiect la clasele de liceu.

Soarele este sursa principală a majorității lungimilor de undă și a radiațiilor. Însă, atmosfera noastră absoarbe aproape în totalitate lungimile de undă care nu sunt vizibile. Așadar, vom lua în considerare doar experimentele în spectrul vizibil, care este parte a spectrului prezent în viața de zi cu zi a elevilor. Pentru activitățile cu lungimi de undă care nu sunt vizibile, vedeți workshopul aferent.

În primul rând, vom prezenta substratul teoretic urmat de demonstrații ale experimentelor a tuturor conceptelor dezvoltate. Aceste experimente simple pot fi reproduse de către profesori într-o sală de clasă și introduc subiecte ca polarizarea, dispariția, radiația unui corp negru, spectrul continuu, spectrul emisiilor, spectrul de absorbție (de ex. lumina Soarelui) și liniile Fraunhofer.

De asemenea, vom discuta despre diferențele dintre emisiile solare normale și emisiile petelor solare. În plus, sunt de menționat și rotația solară și modul în care aceasta poate fi folosită în proiecte școlare.

## Obiective

- Înțelegerea noțiunii de spectru al Soarelui.
- Înțelegerea spectrului luminii solare.
- Înțelegerea noțiunii de pată solară.
- Înțelegerea semnificațiilor istorice ale petelor solare asupra studiilor lui Galileo despre rotația Soarelui.

## Radiația solară

Energia solară este generată în interiorul Soarelui într-o zonă numită Miezul Soarelui. Aici temperaturile pot atinge 15 milioane de grade, iar presiunea este foarte mare. Aceste condiții favorizează reacțiile nucleare. În principala reacție nucleară în miezul Soarelui, patru protoni (nuclee de hidrogen) sunt transformați în particule alfa (nuclee de heliu) și generează doi pozitroni, doi neutrini și doi fotoni gamma conform ecuației



Masa rezultantă este mai mică decât masa adunată a celor patru protoni. Masa pierdută este transformată în energie, conform ecuației descoperite de către Einstein.

$$E = mc^2$$

În fiecare secundă 600 de milioane de tone de hidrogen sunt transformate în heliu, dar în același timp este o deficiență de 4-5 milioane de tone, care au fost convertite în energie. Aceasta poate părea ca o deficiență foarte mare, dar masa Soarelui asigură că această pierdere poate fi suportată timp de miliarde de ani. Energia produsă în miez va avea de străbătut o mare distanță până la suprafața Soarelui.

Energia produsă în interior va urma o cale lungă pentru a ajunge la suprafața Soarelui.

După emiterea ei, energia se propagă prin spațiu la viteza de 299.793 km/s, sub forma radiațiilor electromagnetice.

Radiațiile electromagnetice au lungimi de undă care sunt grupate în diferite regiuni, așa cum se poate observa din figura 1.

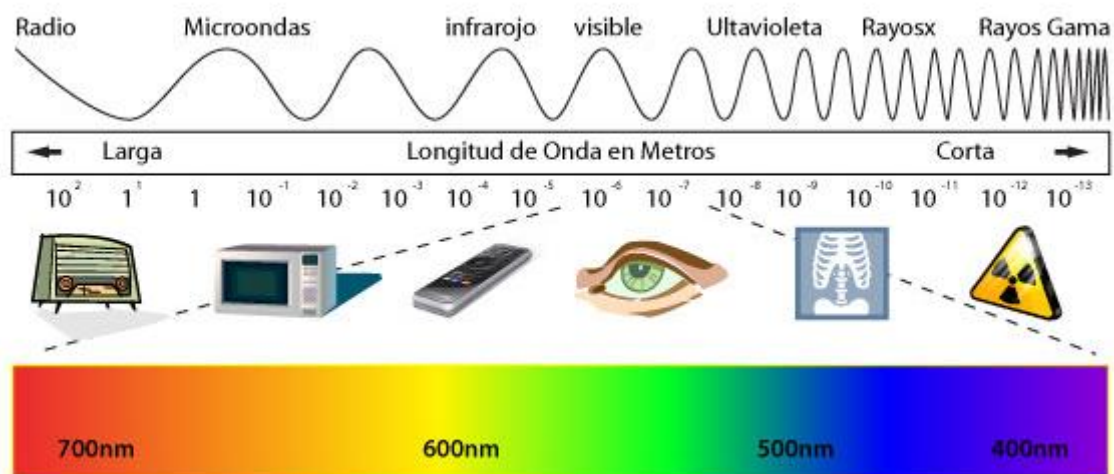


Fig. 1: Spectru solar

Frecvența  $\nu$ , lungimea de undă  $\lambda$  și viteza luminii sunt legate prin această expresie

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Chiar dacă Soarele este o sursă majoră a multor lungimi de undă ale luminii, noi vom folosi doar cele din spectrul vizibil. Exceptând frecvențele radio, cele infraroșii și ultraviolete, lungimile de undă ale luminii vizibile sunt cele pentru care atmosfera noastră este transparentă (fig. 3) și aceste lungimi de undă nu necesită echipament sofisticat pentru a putea fi văzute. În concluzie, acestea sunt cele mai bune pentru a fi folosite în experimente școlare.

## Polarizarea luminii

Radiația electromagnetică perfectă, polarizată liniar, are un profil similar cu cea din figura 2.

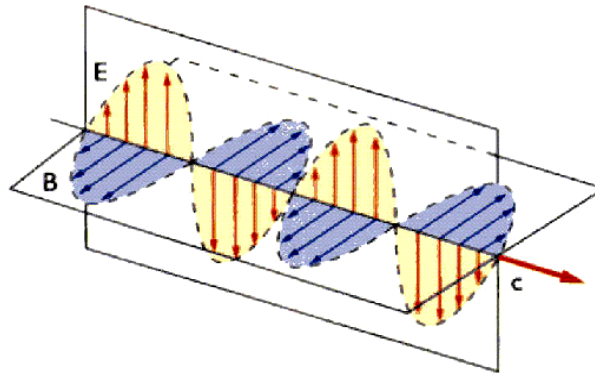


Fig. 2: Lumina polarizată

Lumina Soarelui nu are o direcție privilegiată a vibrației, dar poate fi polarizată când este reflectată la un unghi mai mic decât unghiul determinat, sau dacă aceasta trece prin anumite filtre, numite filtre polarizatoare.

Lumina care trece prin unul dintre aceste filtre (fig. 3), vibrează doar într-un singur plan. Dacă se adaugă un al doilea filtru, apar două posibilități: când cele două filtre au o orientare paralelă a polarizării, lumina trece prin amândouă (fig. 4a), dar dacă polarizarea este perpendiculară, lumina care trece prin primul filtru este blocată de cel de-al doilea (fig. 3), iar filtrele devin opace.

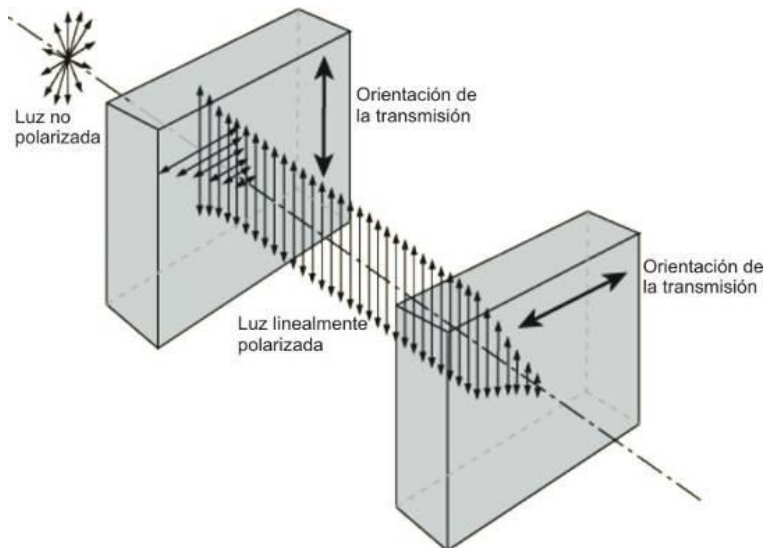


Fig. 3: Când două filtre sunt aranjate perpendicular, lumina care trece prin primul este blocată de cel de-al doilea

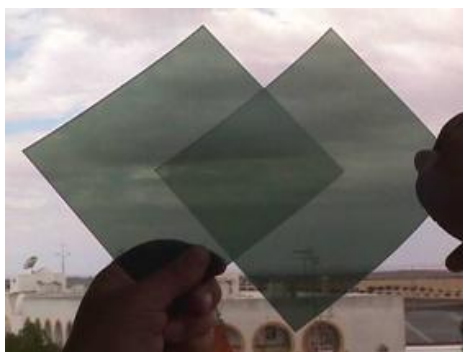


Fig. 4a: Dacă filtrele au aceeași orientare lumina trece prin ele

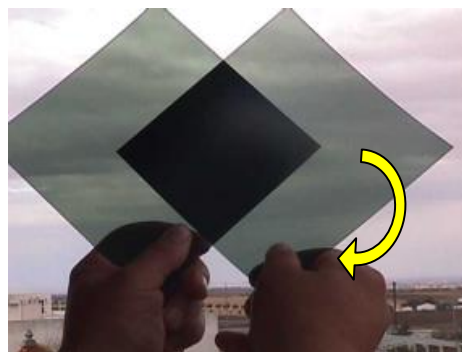


Fig. 4b: Dacă unul dintre filtre este rotit la  $90^\circ$ , lumina este blocată

Ochelarii de soare sunt polarizați să filtreze lumina reflectată, de exemplu cea reflectată de zăpadă sau de apa mării, care este de obicei polarizată (fig. 5a și 5b). Filtre polarizatoare sunt folosite și pentru fotografiile profesionale, eliminând reflexiile, iar cerul pare să fie mai întunecat.



Fig. 5a și 5b: Lumina reflectată, fotografiată cu și fără filtru de polarizare.

Majoritatea sistemelor de cinema 3D înregistrează filmul cu două camere, separate la aceeași distanță la care sunt separați și ochii noștri. Apoi, în cinematografe, cele două imagini capturate sunt proiectate de către două proiectoare folosind lumina polarizată în direcții perpendiculare. Spectatorii poartă și ei ochelari speciali care au diferite filtre polarizatoare în direcții perpendiculare. Asta înseamnă că fiecare ochi vede doar una din cele două imagini, iar spectatorul vede în 3D.

## Activitate 1: Polarizarea luminii

Ca să faceți filtre polarizatoare, tăiați partea ce leagă cele două lentile ale unor ochelari 3D (ochelarii care au lentile verzi și roșii nu pot fi folosiți pentru acest experiment). Aceste piese vor fi folosite pentru experimentele cu figurile 4a și 4b. Alternativ, puteți lua două perechi de ochelari 3D și să-i orientați în așa fel încât să polarizeze lumina. În acest fel nu trebuie să dezmembrați ochelarii.

Mulți ochelari de soare sunt polarizați să filtreze lumina Soarelui, iar ecranele TFT și televizoarele (excluzând plasmeele) emit lumină polarizată. Puteți să verificați aceasta

folosind niște ochelari de soare polarizați când vă uitați către un monitor de laptop. Dacă sunt polarizați, în anumite unghiuri ecranul va părea negru.

Există plastice și sticle care, în funcție de grosime și compoziție, afectează lumina polarizată care trece prin ele. Dacă le priviți prin ochelari polarizați, vor părea să aibă culori diferite.

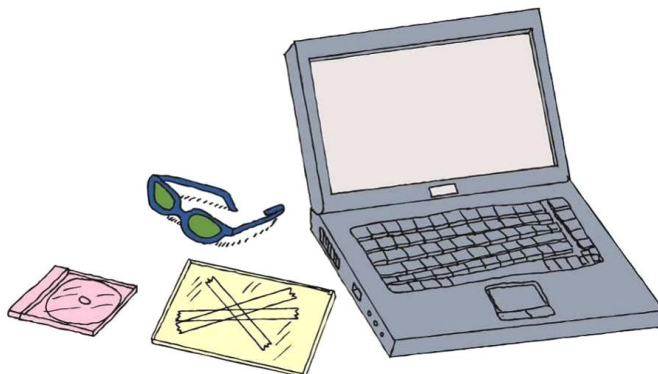


Fig. 6: Lumina de la monitorul TFT a calculatorului este polarizată, iar banda schimbă unghiul de polarizare. Putem observa diferite culori când folosim ochelari polarizați.

Lipiți mai multe benzi pe o bucată de sticlă în straturi (ca cea a unei rame foto) în așa fel încât în unele zone se suprapun 3 straturi, în alte zone se suprapun două straturi, iar în alte zone există doar un strat (fig. 6). Afișați pe un televizor sau un ecran TFT culoarea albă ca fundal, de exemplu, un fundal alb poate fi obținut prin deschiderea unui editor de text. Puneți sticla în fața ecranului și priviți prin ochelarii de soare polarizați. Dacă rotiți sticla, veți observa schimbarea culorii benzilor. Puteți înlocui sticla cu o carcasă transparentă a unui CD. Veți observa punctele în care tensiunea asupra plasticului este mai mare, iar dacă îndoiiți plasticul, veți observa schimbarea culorilor.

## Structura Soarelui, pe scurt

Structura Soarelui poate fi împărțită în cinci părți principale:

1) Fuziunea termonucleară se petrece în miez și în zona radiativă a Soarelui. În interiorul miezului temperaturile pot atinge 15 milioane de grade Kelvin (K), iar în zona radiativă 8 milioane de grade Kelvin. Energia este transferată prin radiație prin regiunea cea mai apropiată de miez. Cele două zone (miezul și zona radiativă) ar trebui considerate ca două regiuni separate, dar acest lucru nu este posibil deoarece este foarte dificil de determinat punctul în care o zonă se termină iar cealaltă începe, funcțiile lor fiind amestecate.

2) În zona de convecție, energia este transportată prin convecție, temperaturile fiind sub 500 000 de grade Kelvin. Această zonă se află în o treime din raza Soarelui și este chiar sub fotosferă.

3) Fotosfera, care poate fi considerată “suprafața” Soarelui, este sursa de absorbție și a spectrului continuu. Aici temperaturile ajung de la 4200 până la 6400 K. Fotosfera este fragmentată în celule de 1000 km în lungime, care rezistă doar pentru câteva ore. Mai mult, fotosfera are niște zone mai reci (“doar” 4200 K), care seamănă cu niște pete întunecate.

4) În cromosferă, care poate fi găsită în afara fotosferei, temperatura poate atinge de la 4200 la 1 milion de grade Kelvin. Fotosfera arată similar unor filamente verticale cu proeminențe (umflături) și rachete de semnalizare.

5) Coroana, sursa principală de vânturi solare, are temperatura între 1 și 2 milioane de grade Kelvin.

## Activitatea 2: Model simplu al straturilor Soarelui

Această activitate poate fi făcută și de către cei mici. Trebuie doar să se taie diferitele figuri de mai de jos (fig. 7 și 8). Acestea pot fi tăiate din diferite hârtii colorate sau să fie pictate cu următoarele culori: coroana cu alb, cromosfera cu roșu, fotosfera cu galben, zona de convecție cu portocaliu, zona radiativă cu albastru, iar miezul cu maro.

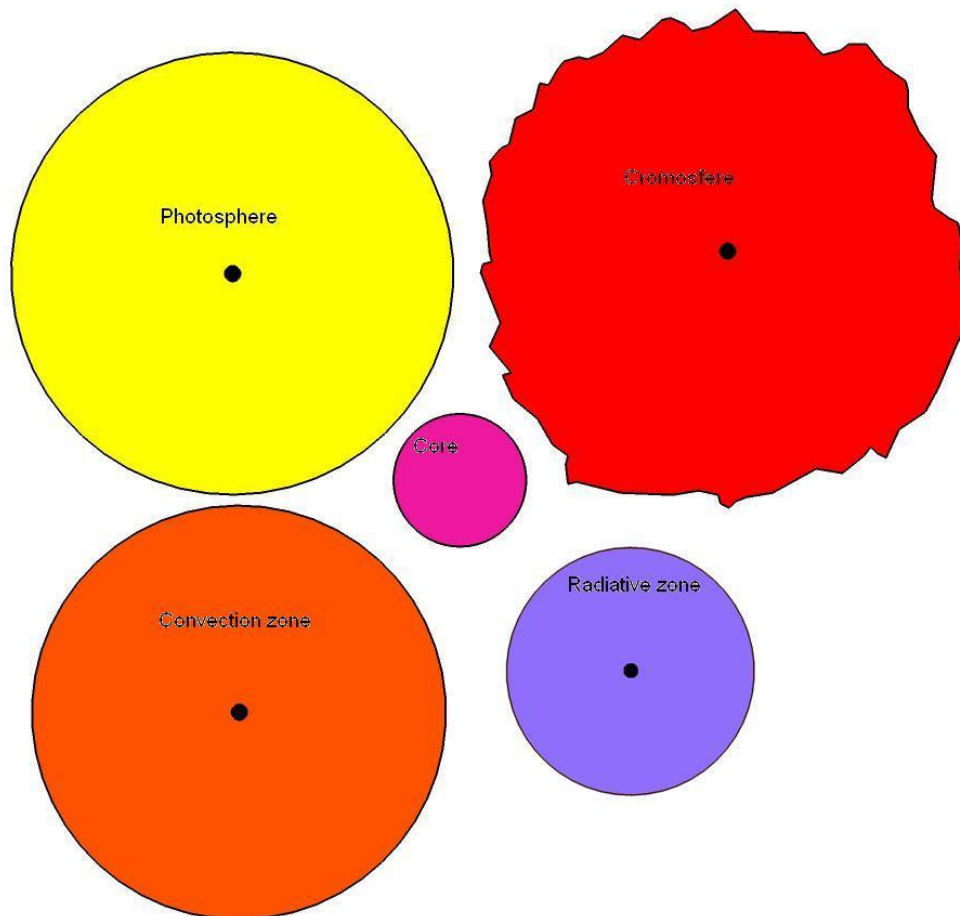


Fig. 7: Părțile Soarelui pentru a fi tăiate

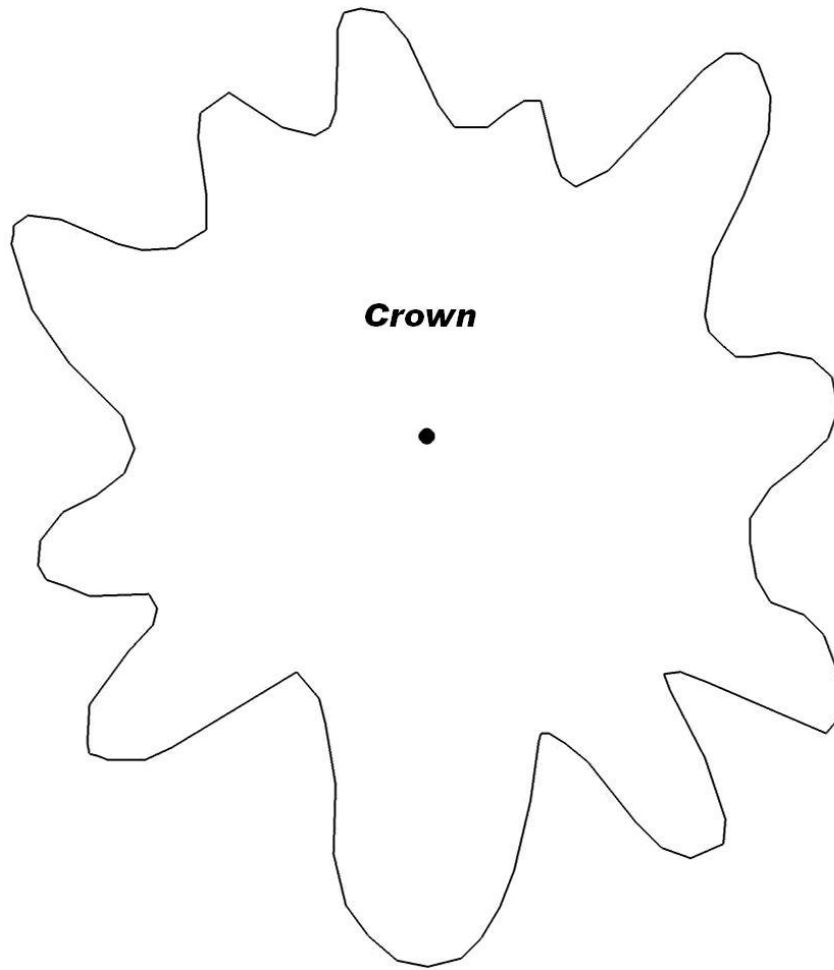


Fig. 8: Corona ce trebuie tăiată

La sfârșit se pot lipi una peste cealaltă în ordinea lor (mărimea fiecărei bucăți reprezintă ordinea).

## Petele solare

Destul de frecvent, petele întunecate, numite pete solare, pot fi observate în fotosferă. O pată solară este formată dintr-o regiune întunecată, numită umbră, înconjurată de o zonă de filamente luminoase sau întunecate, acestea radiind în afara umbrei. Filamentele petelor solare sunt înconjugate de granule tipice ale fotosferei (figura 9).



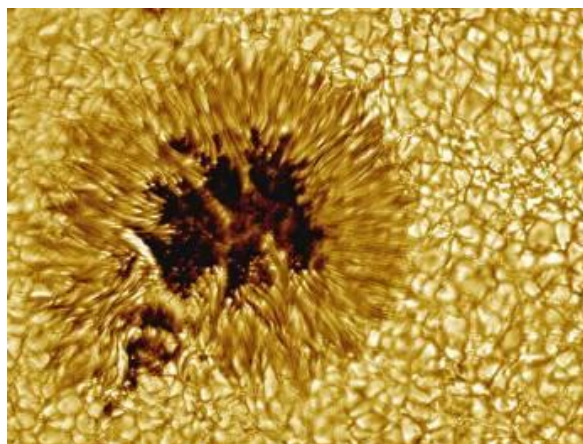


Fig. 9: Vedere de aproape a unei pete solare  
(Foto: Vacuum Tower Telescope, NSO, NOAO)

Petele par a fi negre la observarea printr-un telescop de dimensiune mică, din cauza contrastului. Dacă o pată ar fi observată separat, s-ar putea observa că aceasta este mai luminoasă decât Luna Plină. Diferența de intensitate a petelor este dată de temperatura care este cu 500 până la 2000°C mai joasă decât a fotosferei care le înconjoară. Acestea sunt rezultatul interacțiunii dintre puternice câmpuri magnetice verticale și fotosferă.

Petele solare au o istorie importantă, deoarece i-au permis lui Galileo Galilei să determine perioadele rotației Soarelui și să-și dea seama că rotația sa este diferită, spre exemplu, acesta se rotește mai repede la ecuator (25,05 zile perioada de rotație) decât la poli (34,3 zile perioada de rotație).

### Activitatea 3: Determinarea perioadei de rotație a Soarelui

Un alt experiment simplu care poate fi făcut într-o sală de clasă este măsurarea perioadei de rotație solare, folosind petele solare. În acest experiment, trebuie urmărite petele solare pe parcursul a câtorva zile, pentru a măsura rotația Soarelui. Soarele trebuie observat întotdeauna printr-o proiecție a unui telescop (fig. 10a) sau a binocurilor (fig. 10b). Este foarte important ca nimeni să nu se uite direct spre Soare, mai ales dacă acesta este observat prin binoculi, deoarece dăunează grav ochilor.



Fig. 10a: Observație solară cu proiecție printr-un telescop (nu vă uitați direct la Soare).

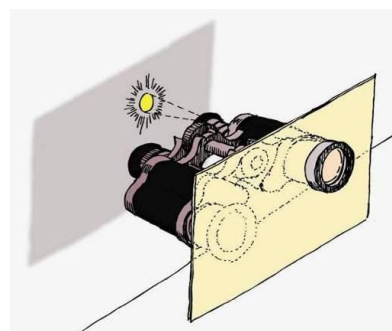


Fig. 10b: Observație solară cu proiecție printr-un binoclu (nu vă uitați direct la Soare).



Țineți minte că nu trebuie să vă uitați direct înspre Soare, fie că o faceți cu binocluri, telescoape sau cu ochiul liber. Aceasta dăunează grav ochilor și poate cauza afecțiuni permanente.

Dacă observați petele solare timp de câteva zile, mișcarea unei pete va fi similară cu cea din exemplul dat în figura 11.



Fig. 11: Schimbare de poziție a unei pete solare timp de câteva zile.

Suprapuneți observațiile pe o foaie transparentă, ca în figura 12. Perioada poate fi calculată printr-o proporție simplă:

$$\frac{T}{t} = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

unde  $t$  este intervalul de timp dintre două observări ale aceleiași pete solare,  $\alpha$  este unghiul central dintre deplasarea celor două pete (fig. 12) și  $T$  este rotația pe care vrem să o calculăm. Acest calcul oferă un nivel bun de acuratețe.

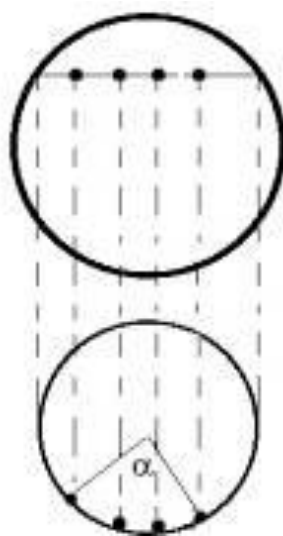


Fig. 12: Calculul unghiului de rotație al petelor solare

Spre exemplu: figura 13 este suprapunerea a două fotografii, făcute pe data de 12 august 1999 și 19 august 1999. Desenăm un cerc, Soarele, și trasăm o linie de la centru către fiecare pată. Apoi măsurăm unghiul dintre cele două linii și obținem  $92^\circ$ . Deci, rotația solară va fi:

$$T = \frac{360^\circ \cdot 7 \text{ days}}{92^\circ} = 27,3 \text{ days}$$

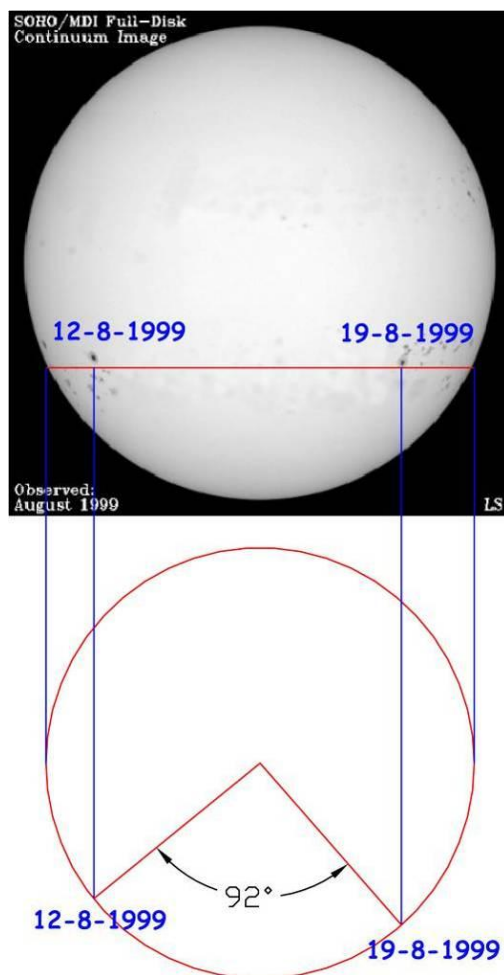


Fig. 13: Determinarea perioadei de rotație solară

## Radiația produsă de Soare

Soarele este un reactor nuclear gigantic, unde cantități imense de energie sunt produse și transportate către suprafață, sub formă de fotoni. Fotonii sunt particulele responsabile pentru radiația electromagnetică, iar energia pe care ei o transportă poate fi calculată folosind expresia:

$$E = h \cdot \nu$$

unde  $E$  este energia fotonilor,  $h$  este constanta lui Planck ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ) și  $\nu$  este frecvența radiației electromagnetice asociată fotonilor. Fotonii generați de către Soare sunt responsabili și pentru spectrul sau.

Luminozitatea totală a Soarelui (sau puterea) este enormă: în fiecare secundă acesta emite mai multă energie decât miliarde de bombe atomice. Ne putem imagina transmisia energiei prin spațiu sub forma unei bule care devine din ce în ce mai mare.

Aria acestei bule este  $4\pi R^2$ . Dacă puterea Soarelui este  $P$ , energia disipată pe un metru pătrat la distanța  $R$  este:

$$E = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Cu alte cuvinte, energia este transmisă ca și inversul pătratului distanței, iar dacă cunoaștem distanța obiectului, atunci îi putem calcula puterea totală.

## Activitatea 4 : Determinarea luminozității solare

Luminozitatea, sau puterea Soarelui, este energia emisă de acesta într-o secundă. Soarele este o sursă foarte puternică de lumină. Așadar, vom compara puterea Soarelui cu cea a unui bec de 100 W (figura 14).

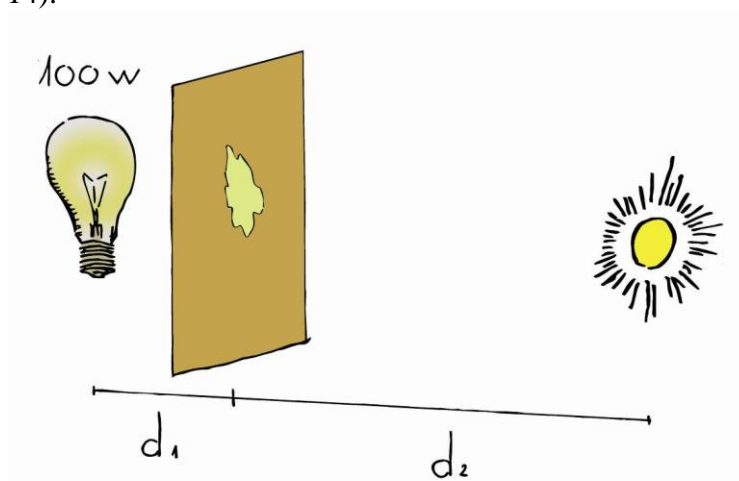


Fig. 14: Comparație între puterea Soarelui și cea a unui bec de 100W.

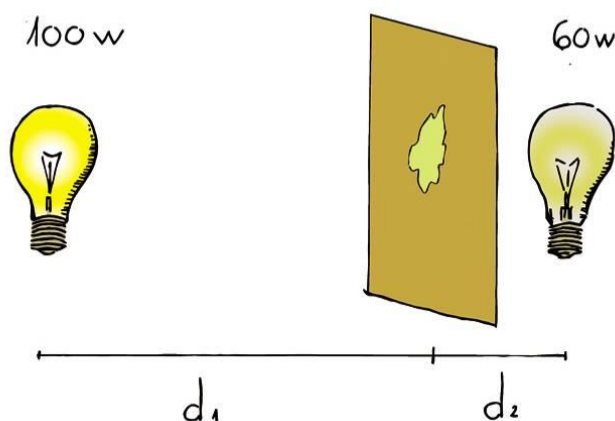


Fig. 15: Dacă lumina care ajunge la fiecare parte este aceeași, pata neagră nu este văzută

Putem construi un fotometru care ne va permite să comparăm intensitatea luminii de la cele două surse. Pentru a face asta, vom pune câțiva stropi de ulei în mijlocul unei hârtii. Pata formată va face hârtia un pic transparentă, iar acesta va fi fotometrul nostru. Având două surse de lumină, ajustați distanța până când pata nu mai este vizibilă. În acest fel, lumina de pe oricare dintre fețele foii și energia care ajunge pe fiecare față este egală.

În acest caz:

$$\frac{100}{4\pi \cdot d_1^2} = \frac{60}{4\pi \cdot d_2^2}$$

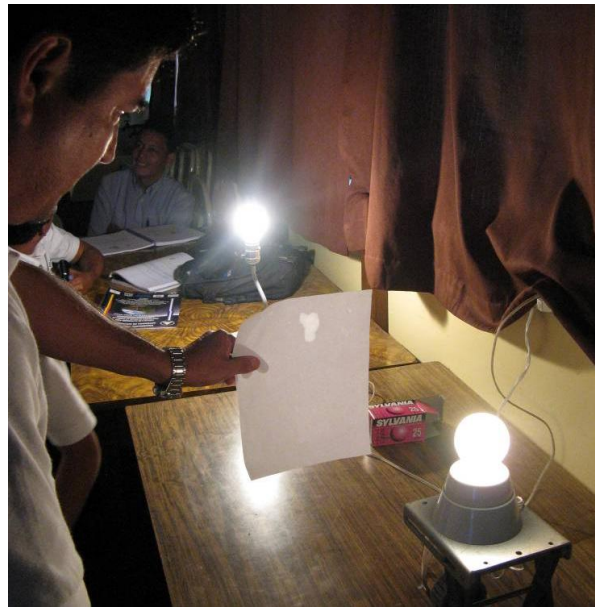


Fig. 16: Fotometrul petei de ulei, între două becuri

Într-o zi însorită, duceți fotometrul și un bec de 100 W afară (cu cât mai luminos cu atât mai bine). Puneți fotometrul între Soare și bec, în așa fel încât fotometrul să apară la fel de luminos pe fiecare parte. Măsurați distanța  $d_1$ , în metri, de la fotometru la filamentul becului.

Cunoscând faptul că distanța de la Soare la Pământ este aproximativ  $d_2 = 150,000,000,000$  m, putem calcula puterea Soarelui  $P$  folosind regula inversului pătratului (al patrulea termen este redus, din moment ce apare în ambii membri ai ecuației):

$$\frac{100 \text{ W}}{d_1^2} = \frac{P_{\text{sun}}}{d_2^2}$$

Rezultatul ar trebui să fie apropiat de luminozitatea reală a Soarelui, care este de  $3.83 \cdot 10^{26}$  W.

## Opacitatea

Energia asociată cu energia fotonilor produși în miezul Soarelui va trebui să călătorească milioane de ani ca să ajungă la fotosferă, deoarece este produsă chiar în miezul Soarelui, unde fotonii interacționează cu materie foarte densă. Aceste interacțiuni se produc în număr foarte mare în Miezul Soarelui, scăzând în număr cu cât ne apropiem de fotosferă. Mișcarea fotonilor urmează un zig-zag (fig. 17) din Miez până la extremitățile Soarelui, care poate dura mii de ani.

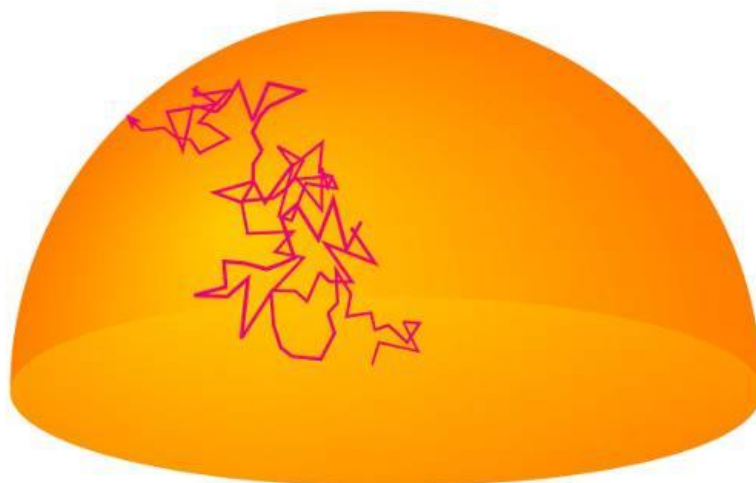


Fig. 17: Fotonii au nevoie de 1 milion de ani ca să părăsească fotosfera

Când radiația ajunge în fotosferă, adică în atmosfera Soarelui, este radiată în exterior aproape fără nici o interacțiune. Radiația este radiată în majoritatea lungimilor de undă, producând spectrul continuu pe care îl putem vedea din fotosferă. Asta deoarece interiorul Soarelui este opac către toate lungimile de undă ale radiațiilor, iar atmosfera sa este transparentă. În astronomie, conceptele despre opacitate și transparență sunt oarecum diferite de cele pe care le folosim zi de zi.

Un gaz poate fi transparent sau opac depinzând de cum absoarbe sau împrăștie fotonii care trec prin el. De exemplu, atmosfera noastră este transparentă pentru lungimile de undă vizibile. Dar într-o zi cu ceață nu putem vedea prea multe, deci este opacă.

Ar trebui menționat că transparența nu se referă la vizibilitate. O flacără a unui arzător sau a unei lumânări este transparentă pentru lungimile de undă a unui proiector multimedia.

## Activitatea 5: Transparență și opacitate

Putem demonstra aceste concepte folosind un arzător (arzătorul este mai util, deoarece lumânarea va produce fum negru care este opac, combustia nefiind completă).

Demonstrația este foarte simplă. Puneți obiecte transparente și opace în fața luminii proiectate de către un proiector pe perete și întrebați elevii dacă acesta este transparent sau opac. Pentru obiecte comune, majoritatea persoanelor vor ști răspunsul.

Flacăra unei lumânări, a unui arzător Bunsen sau a unei brichete este și ea transparentă, iar elevilor li se va părea surprinzător faptul că flacăra nu produce o umbră pe perete (fig. 11). Puteți explica aceasta prin faptul că flacăra este ca și fotosfera Soarelui, aproape transparentă pentru orice radiație.

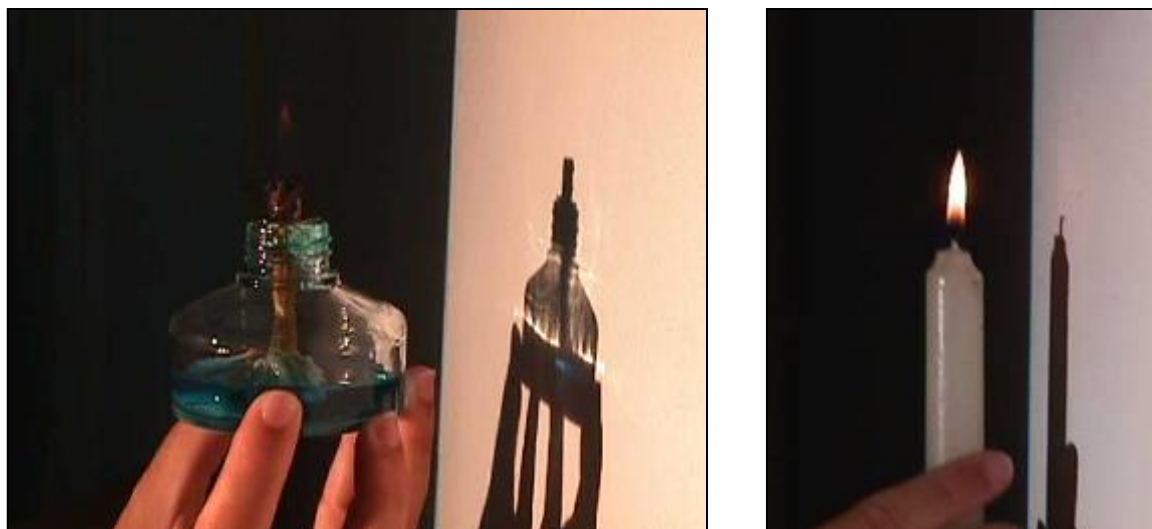


Fig. 18a si 18b: Lampa cu alcool sau flăcările unei lumânări nu produc o umbră pe perete.

Se observă că sticla nu este complet transparentă

## Spectrele

În 1701, Newton a folosit pentru prima dată în istorie o prismă pentru a împărți lumina Soarelui în diferitele culori din care este compusă. Orice lumină poate fi dispersată folosind o prismă sau un gradient de difracție, iar rezultatul este spectrul luminii. Spectrele pot fi explicate prin cele trei legi pe care Gustav Kirchhoff și Robert Bunsen le-au descoperit în secolul al XIX-lea. Cele trei legi sunt reprezentate în figura 19.

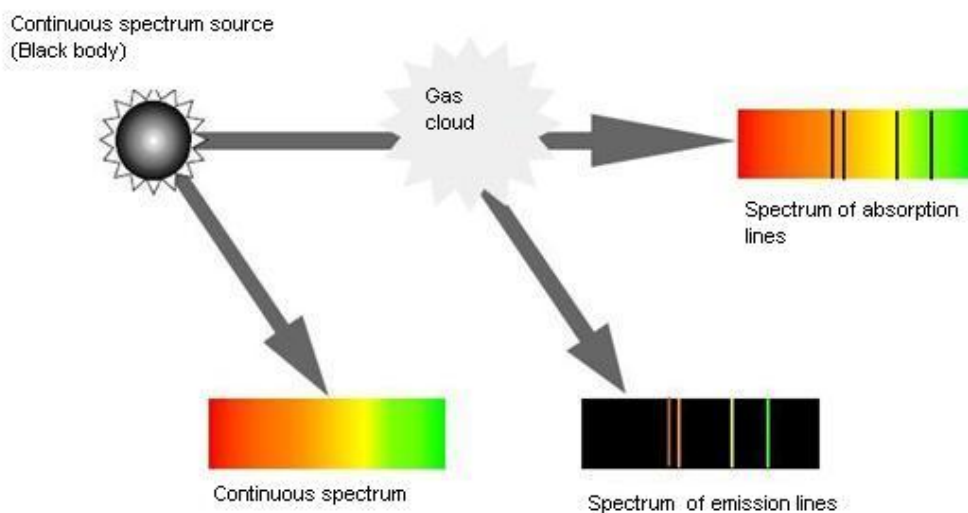


Fig. 19: Legile lui Kirchhoff si Bunsen.

- Prima lege - Un obiect incandescent solid produce lumină într-un spectru continuu.
- A doua lege - Un gaz rarefiat fierbinte produce lumină în linii spectrale cu lungimi de undă depinzând de compoziția chimică a gazului (spectru de emisie).
- A treia lege - Un obiect solid incandescent care este înconjurat de gaz cu presiune mică produce un spectru continuu cu spații goale la lungimi de undă diferite. Acestea

depind de compoziția chimică a gazului și coincid cu cele din cea de-a doua lege (spectrul de absorbție).

Emisia liniilor este datorată tranziției electronilor dintre două niveluri de energie. Această tranziție se petrece când fotonii interacționează cu materia. Niels Bohr explică faptul că nivelurile de energie în atomi sunt perfect cuantificate, iar frecvențele emise sunt identice, deoarece diferența de energie dintre niveluri este constantă. (figura 20)

Un gaz rece poate absorbi la fel de multă energie cât poate să emită când este fierbinte. Deci, dacă un gaz este pus între o sursă incandescentă și un spectroscop, gazul absoarbe aceleași linii din spectrul continuu pe care le și emite când este fierbinte, generând un spectru de absorbție.

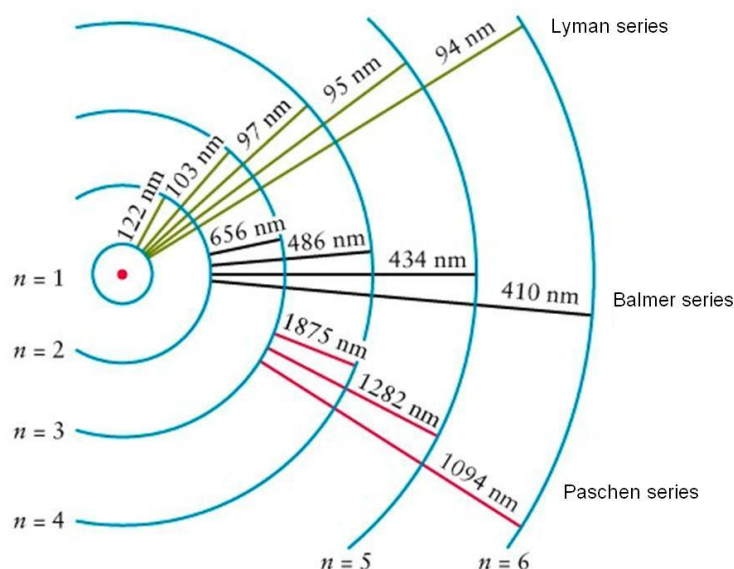


Fig.20: Seriile spectrale pentru emisiile atomului de hidrogen. Tranzițiile posibile au întotdeauna aceeași cantitate de energie între niveluri

Acesta este procesul care se întâmplă în atmosfera Soarelui. Elementele chimice conținute în gazul atmosferei solare absorb frecvențele asociate cu liniile spectrale ale acestor elemente. Acest fapt a fost confirmat de către Joseph Fraunhofer în 1814, astfel că liniile spectrale se numesc *linii Fraunhofer*. Acestea sunt prezentate în tabelul de mai jos, după cum Fraunhofer (1817) a desemnat litere liniilor de absorbție din spectrul solar.

Litera	Lungimea de undă (nm)	Originea chimică	Gama de culori
A	7593,7	O <sub>2</sub> atmosferic	roșu întunecat
B	6867,2	O <sub>2</sub> atmosferic	roșu
C	6562,8	Hidrogen alpha	roșu
D1	5895,9	Sodiu neutru	roșu portocaliu
D2	5890,0	Sodiu neutru	galben
E	5269,6	Fier neutru	verde
F	4861,3	H beta	turcoaz
G	4314,2	CH molecular	albastru
H	3968,5	Calciu ionizat	violet întunecat
K	3933,7	Calciu ionizat	violet întunecat

Tabelul 1: Liniile Fraunhofer pentru Soare.



Este important să realizăm că, analizând lumina care vine dinspre Soare sau dinspre o stea, putem să ne dăm seama din ce este compusă, fără ca să trebuiască să călătorim până acolo. Spectrele de astăzi sunt capturate folosind instrumente cu o rezoluție mare, pentru a detecta multe linii.

## Radiația unui corp negru

Când un metal este încălzit destul, devine roșu. Într-un loc întunecat, metalul devine vizibil la temperatura de 400 °C. Dacă temperatura continuă să crească, culoarea metalului va deveni portocalie, apoi galbenă și în final albastră, trecând prin faza de emisie a luminii albe, la aproximativ 10.000 °C. Un corp de metal, opac sau neopac, va radia cu aceste caracteristici.

Când un corp întunecat (un corp ideal care nu reflectă lumina) este încălzit, emite radiație care are mai multe lungimi de undă. Dacă am măsura intensitatea radiației pentru fiecare lungime de undă, aceasta poate fi reprezentată de o curbă numită *curba Planck*. În figura 21, curbele ilustrate reprezintă o varietate de temperaturi pentru corpurile întunecate. Curba are un vârf la o anumită lungime de undă, care ne dă culoarea predominantă a obiectului. Valoarea maxima  $\lambda$  este în strânsă legătură cu temperatura corpului, după legea lui Wien:

$$\lambda_{max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T} \text{ (m)}$$

unde T este temperatura corpului. Țineți minte că, din cauza acestei legi, studiind radiația care vine de la un corp îndepărtat, putem să-i aflăm temperatura fără a fi nevoie să ne deplasăm acolo și să o măsurăm direct.

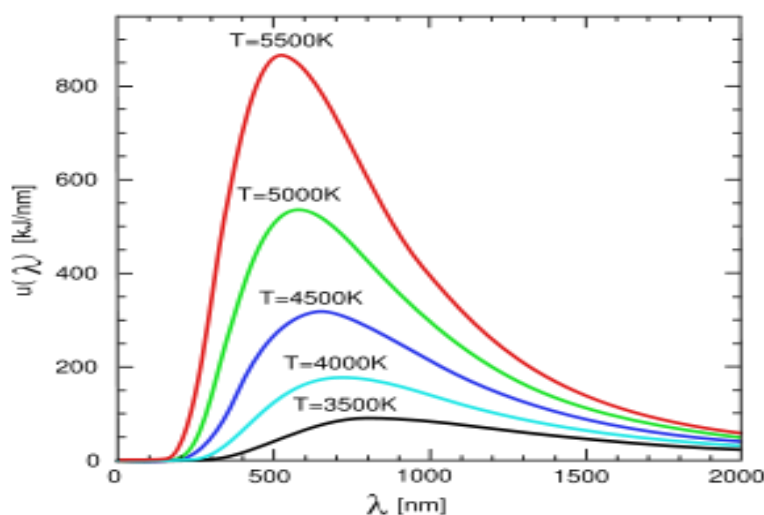


Fig. 21: Curbele lui Planck pentru diferite corpuri negre, la diferite temperaturi.

Obiecte astronomice care pot fi numite corpuri întunecate opace sunt stelele (excluzând atmosfera și coroana lor), planetele, asteroizii sau radiația din spațiul cosmic.

Legea lui Wien este o lege generală pentru emisiile termale ale corpurilor opace. Spre exemplu, corpul uman radiază unde în zona infraroșie, cu o lungime maximă de undă de 9,4  $\mu\text{m}$ , așa cum spune legea lui Wien (folosind temperatura de 37 °C (= 310 K)). Deci, armata folosește dispozitive de observare de noapte cu aceste lungimi de undă.

Întorcându-ne spre Soare, deoarece atmosfera este transparentă, radiațiile corpurilor întunecate sunt determinate de temperatura fotosferei, unde Soarele devine transparent (aprox. 5800 K), deci radiația corpului negru nu ar trebui să fie mai mare de 500 nm, după cum este ilustrat în fig. 22.

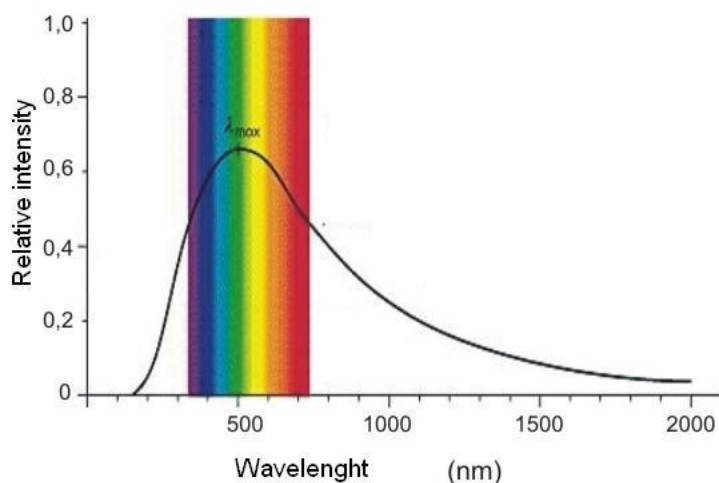


Fig. 22: Curba de emisie pentru "spectrul continuu" al Soarelui.

Atmosfera noastră absoarbe razele infraroșii și ultraviolete. Este interesant că ochiul uman a evoluat în așa fel încât noi putem vedea doar porțiunea vizibilă din lumina Soarelui care ajunge pe Pământ.

## Difuzarea luminii solare

Când o rază de lumină albă trece printr-un gaz care conține particule cu o lungime de undă mai mare decât cea a luminii, lumina nu se împrăștie, iar lungimile de undă sunt împrăștiate. Acest fenomen se întâmplă când lumina Soarelui trece printr-un nor care conține picături mici de apă: acesta pare alb. Același lucru se întâmplă când lumina trece prin zahăr sau sare.

Dar, dacă lumina este împrăștiată în particule cu o lungime de undă similară (culoare) cu cea a fotonilor, numai acei fotoni sunt dispersați, nu și restul. Acest fenomen este numit *distribuția Rayleigh*.

În atmosfera noastră, lumina albastră se împrăștie mai mult decât cea roșie, fotonii ajungând pe Pământ din toate direcțiile. Aceasta este motivul pentru care cerul este albastru (figura 23), în loc să fie negru, cum este văzut din spațiu. La apus, lumina trece prin mai multe straturi din atmosferă, conținând mai puțină lumină albastră, deci pare mai galbenă. Apusurile de soare dispersează și ele fotonii roșii.

Acesta este și motivul pentru care, atunci când lumina trece printr-o masă groasă de gaz (e.g. nebuloasele), este roșie (pentru că albastrul se împrăștie în toate direcțiile și doar roșul continuă cu intensitatea deplină până la observator).



Fig. 23: Culoarea cerului depinde de imprastiere Rayleigh.

## Activitatea 6: Dispariție și împrăștiere

Acest experiment necesita un proiector multimedia, o soluție diluată de lapte, o bucată de carton neagră și un pahar mai înalt. Preparați soluția de lapte cu o picătură de lapte pentru 50 ml de apă (acest pas este cel mai important, iar concentrația soluției trebuie testată înainte de oră).

Tăiați un cerc în cartonul negru de forma și dimensiunea fundului paharului. Puneți paharul gol în cercul tăiat și porniți proiectorul (figura 24a). Lumina proiectată pe perete va fi albă.



Fig. 24a: La început, lumina care ajunge la perete este de culoare albă



Fig. 24b: Cu un pic de soluție, lumina va fi galbenă



Fig. 24c: În cazul în care sticla este plină, lumina care ajunge la perete este de culoare roșie

Umpleți paharul cu soluția diluată de lapte. Lumina proiectată pe perete va începe să pară roșie (figurile 24b și 24c), iar marginile paharului alb-albăstrii.

## Bibliografie

- Broman, L, Estalella, R, Ros, R.M. *Experimentos en Astronomía*. Editorial Alhambra Longman S.A., Madrid, 1993.
- Costa, A, *Sunlight Spectra*, 3rd EAAE Summer School Proceedings, Ed. Rosa Ros, Brieu, 1999.
- Costa, A, *Simple Experiments with the Sun*, 6th International Conference on Teaching Astronomy Proceedings, Ed. Rosa Ros, Vilanova i la Geltrú, Barcelona, 1999.
- Dale, A.O., Carrol, B.W, *Modern Stellar Astrophysics*, Addison-Wesley Publ. Comp., E.U.A, 1996.
- Ferreira, M., Almeida, G, *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, Plátano Ed. Téc., Lisboa, 1996.
- Johnson, P.E., Canterna, R, *Laboratory Experiments For Astronomy*, Saunders College Publishing, Nova Iorque, 1987.
- Lang, K.R, *Sun, Earth & Sky*, Springer-Verlag, Heidelberg, 1995.
- Levy, D, *Skywatching-The Ultimate Guide to the Universe*, Harper Collins Publishers, London, 1995.
- Moreno, R. *Experimentos para todas las edades*, Editorial Rialp, Madrid, 2008
- Rybicki, G.B., Lightman, A.P, *Radiative Processes in Astrophysics*, John Wiley & Sons, E.U.A, 1979.
- Sousa, A.S, *Propriedades Físicas do Sol*, Ed. ASTRO, Porto, 2000.
- Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.V.P, *Introductory Astronomy and Astrophysics*, 3<sup>rd</sup> Ed., Saunders College Publishing, Orlando, E.U.A, 1992.

## Surse de internet

- NASA Polar Wind and Geotail Projects, <http://www-istp.gsfc.nasa.gov>.
- Space & astronomy experiments, <http://www.csiro.au/csiro/channel/pchdr.html>
- The Sun, <http://www.astromia.com/solar/sol.htm>
- Nine planets, <http://www.astrored.net/nueveplanetas/solarsystem/sol.html>