

Espectre Solar i Taques Solars

Alexandre Costa, Beatriz García, Ricardo Moreno

International Astronomical Union

Escola Secundária de Loulé, Portugal

ITeDA y Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Colegio Retamar de Madrid, España



Objectius

- Comprendre què és l'espectre del Sol
- Comprendre el per què de l'espectre de Sol
- Comprendre què són les taques solars
- Comprendre la importància històrica del treball de Galileu sobre taques solars

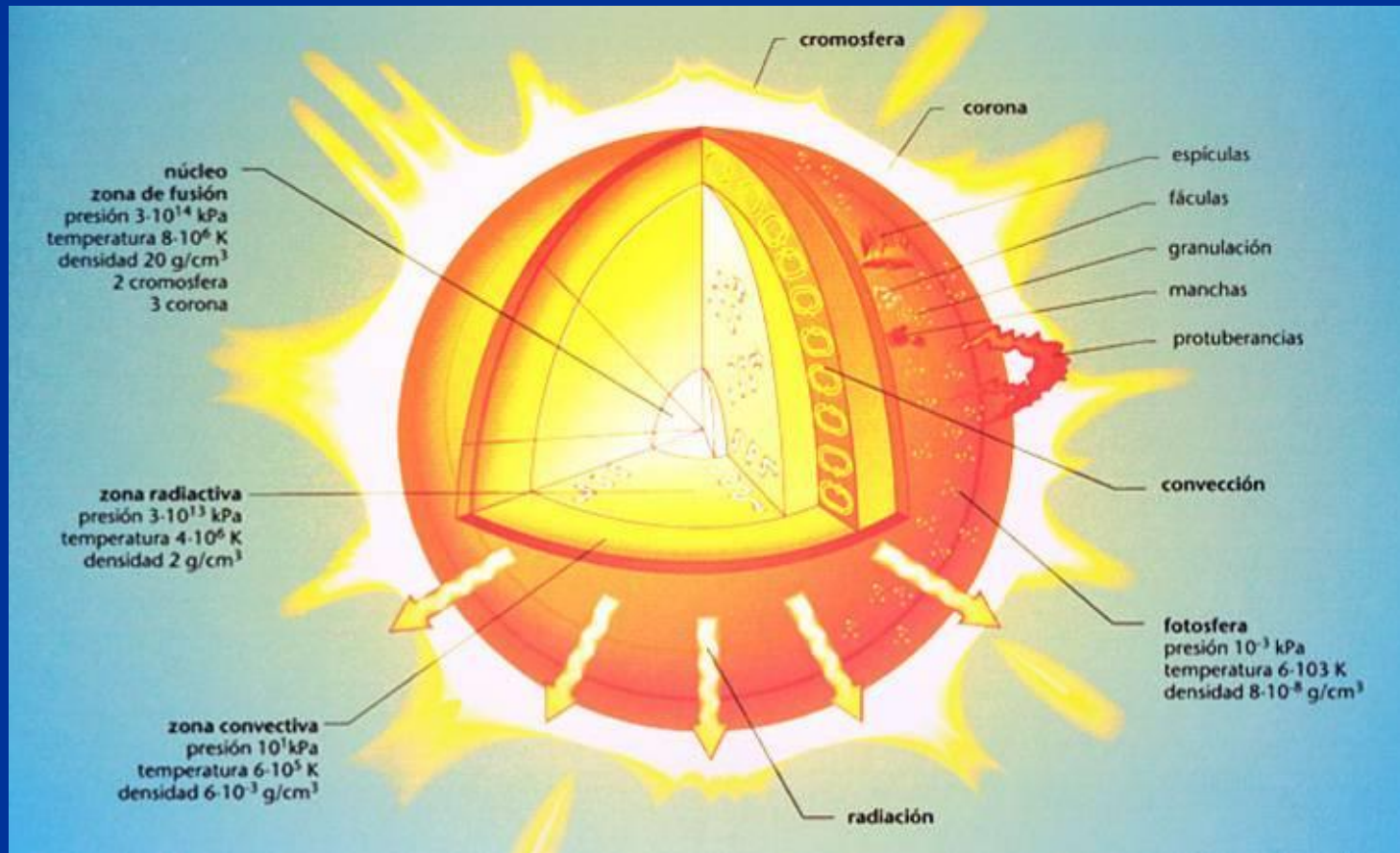
La Radiació Solar

Tota l'energia (llum, calor) que fem servir ens arriba del Sol.



La Radiació Solar

Aquesta radiació és creada en el nucli, a 15 milions de graus C i pressió altíssima. Es produeix a partir de reaccions nuclears de fusió.



La Radiació Solar

- 4 protons (nuclis d'H) s'uneixen i donen un àtom d'He (fusió).



- La massa resultant és menor que la dels 4 protons inicials, la resta es transforma en energia:

$$E = mc^2$$

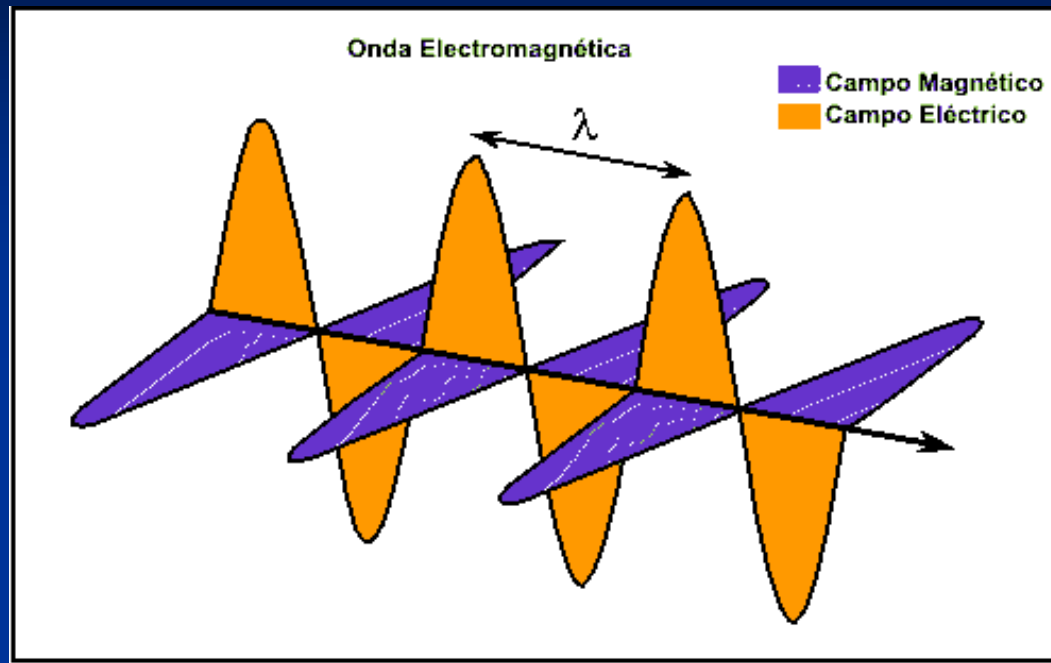
- Cada segon, 600 milions de tones de H es transformen en 595,5 milions de tones d'He, la resta es converteix en energia.
- El Sol té tanta massa que, perdent-a aquest ritme, durarà milers de milions d'anys.

La Radiació Solar

Aquesta energia es transporta a una velocitat de 299.793 km/s. Triga 8 minuts en arribar la Terra.



Espectre Solar: Radiació

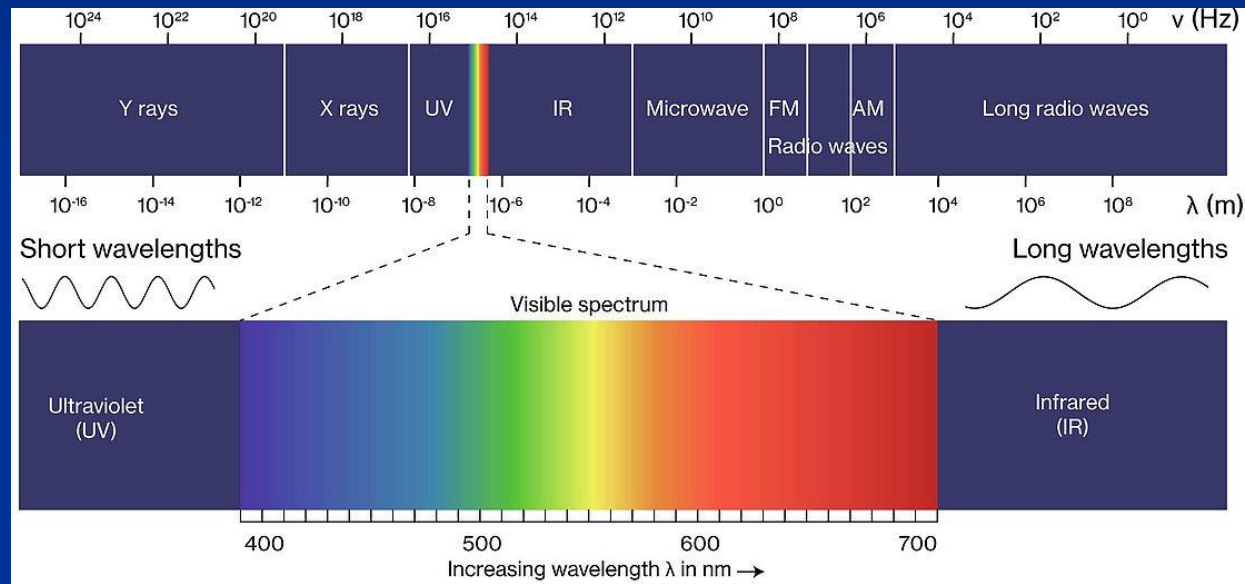


La longitud d'ona λ , la freqüència ν i la velocitat de propagació c de les ones electromagnètiques estan relacionades a través de l'equació:

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

Espectre Solar: Radiació

Espectre Electromagnètic



**Raigs
Gamma**



Raigs X



Visible



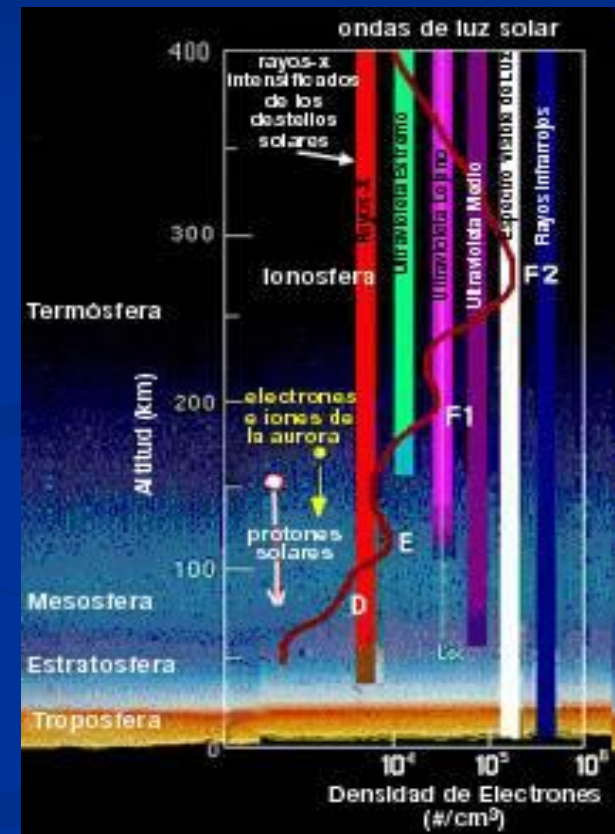
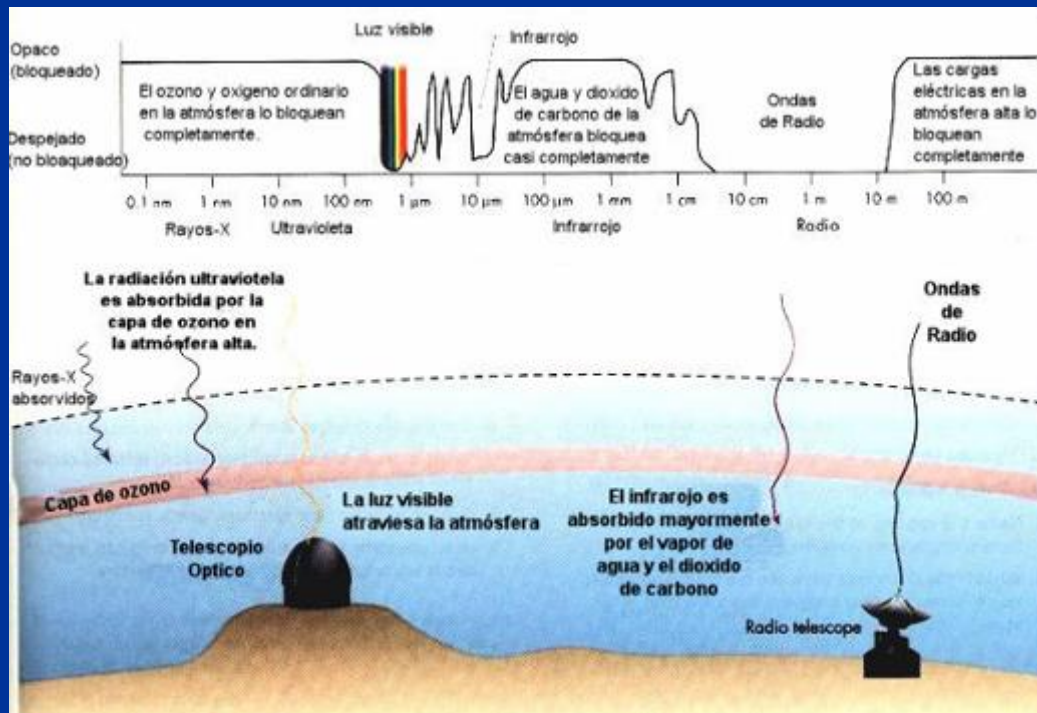
Infraroig



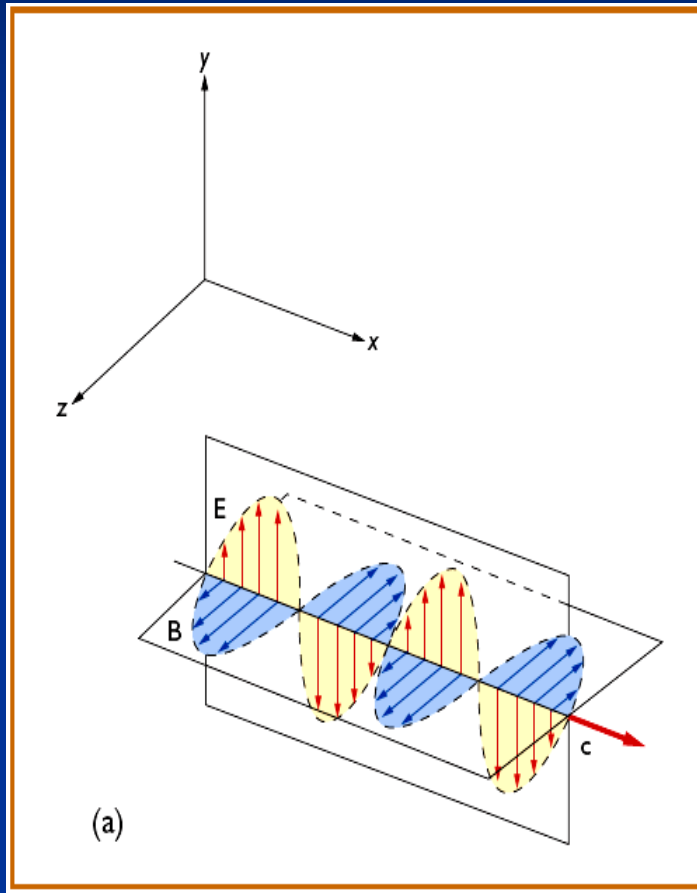
Ràdio

Espectre Solar: Radiació Solar

L'atmosfera terrestre és opaca per a la majoria de les radiacions.



Radiació Solar: Polarització

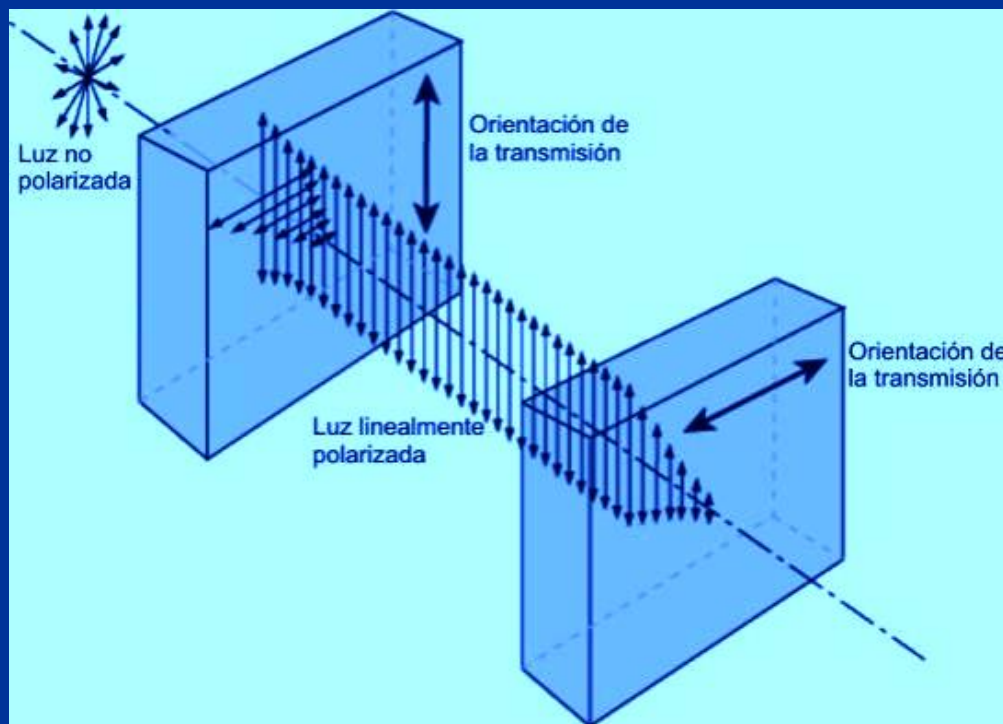


- La radiació electromagnètica perfecta té un perfil com el de la figura.
- Hi ha una direcció de vibració per a cada un dels camps elèctrics i magnètics.
- Es diu que està linealment polaritzada.
- La llum del Sol no té cap direcció de vibració privilegiada.

Espectre Solar: Polarització

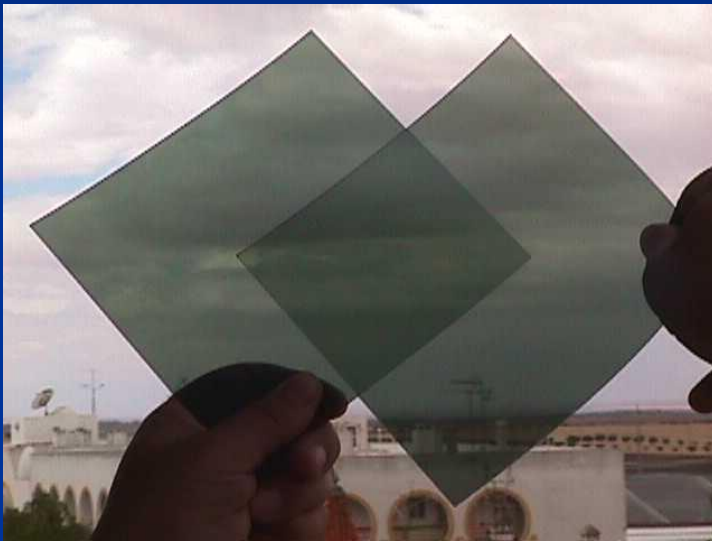
La llum solar es pot polaritzar:

- Per reflexió.
- Fent-la passar per un filtre *Polaroid*.

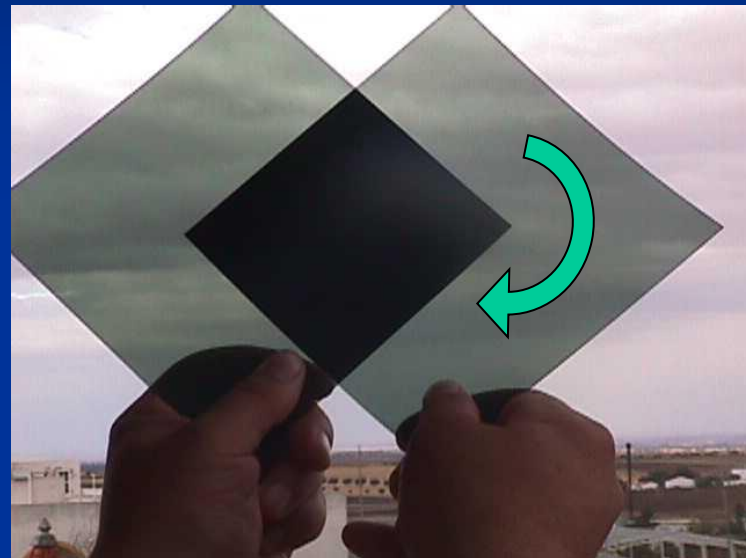


Quan els dos filtres *Polaroid* tenen les orientacions de polarització paral·leles, la llum passa a través d'ells. Si les tenen perpendiculars, la llum que passa pel primer filtre queda bloquejada pel segon i no passa.

Activitat 1. Espectre Solar: Polarització



Si els filtres tenen la mateixa orientació, la llum passa a través.

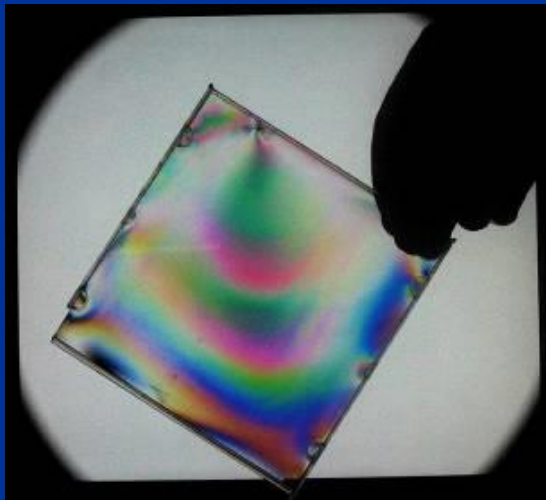


Si un dels filtres es gira 90° , es bloqueja la llum.

Activitat 1. Espectre Solar: Polarització



- També es pot polaritzar la llum per reflexió.
- Les ulleres de sol polaritzades eviten reflexos.
- S'usa en fotografia i en enginyeria, per veure tensions internes en materials.

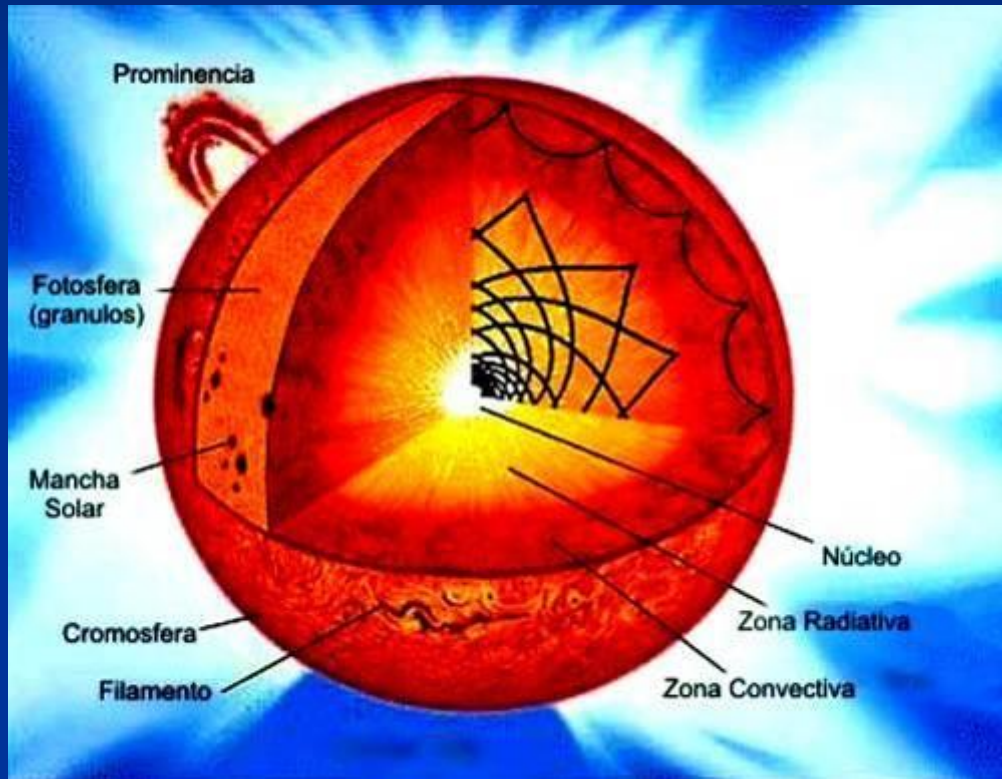


Activitat 2: Polarització de la llum

- La pantalla de cristall líquid d'un ordinador portàtil emet llum polaritzada.
- Observar el pla de polarització amb ulleres de sol polaritzades.
- Alguns objectes giren el pla de polarització: cinta adhesiva sobre vidre.
- Observar les tensions internes en una peça de plàstic transparent (caixa de CD).

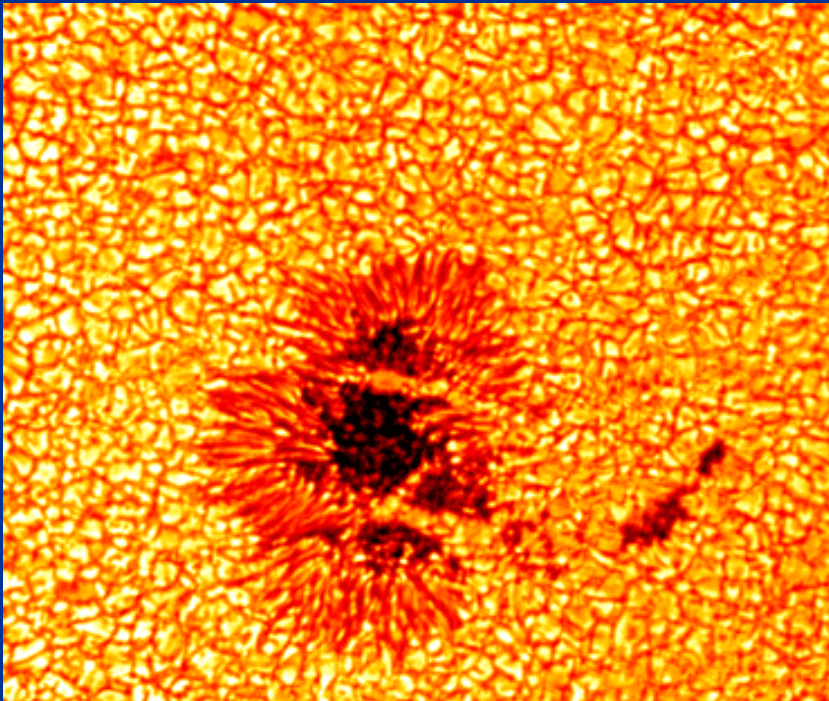


L'estructura del Sol



- **Nucli:**
15 milions de graus K
- **Zona radiativa:**
8 milions de graus K
- **Zona convectiva:**
500.000 graus K
- **Hi ha convecció**
(moviment de matèria)

L'estructura del Sol



- Fotosfera:

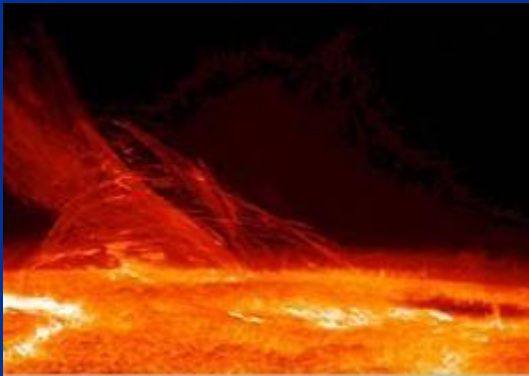
6.400 - 4.200 K,
és la “superfície” del
Sol

Té granulació de
~1000 km

L'estructura del Sol

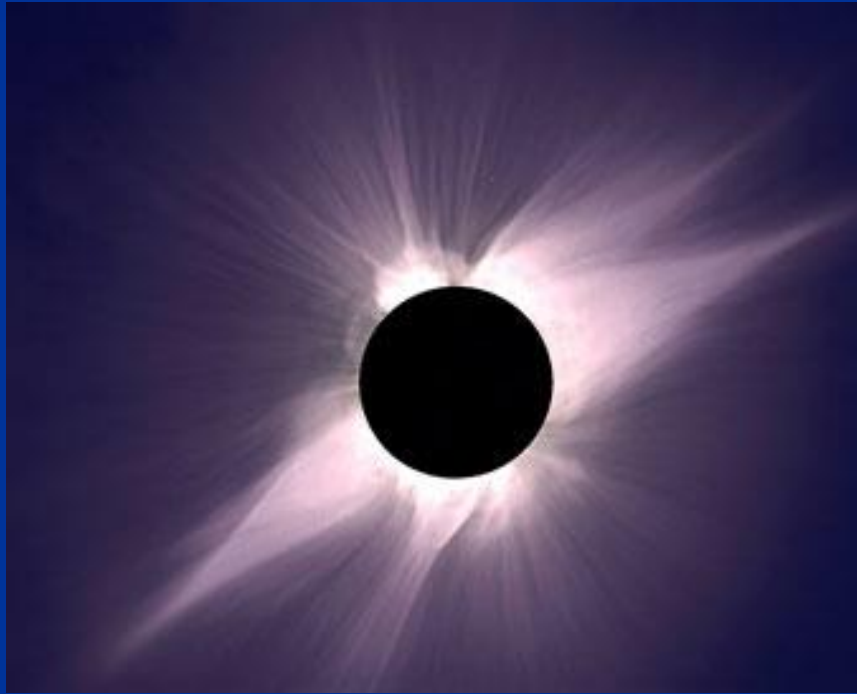


- Cromosfera: “praderia ardent”, de $4.200-1 \cdot 10^6$ K
Hi ha prominències (protuberàncies) i fulguracions.

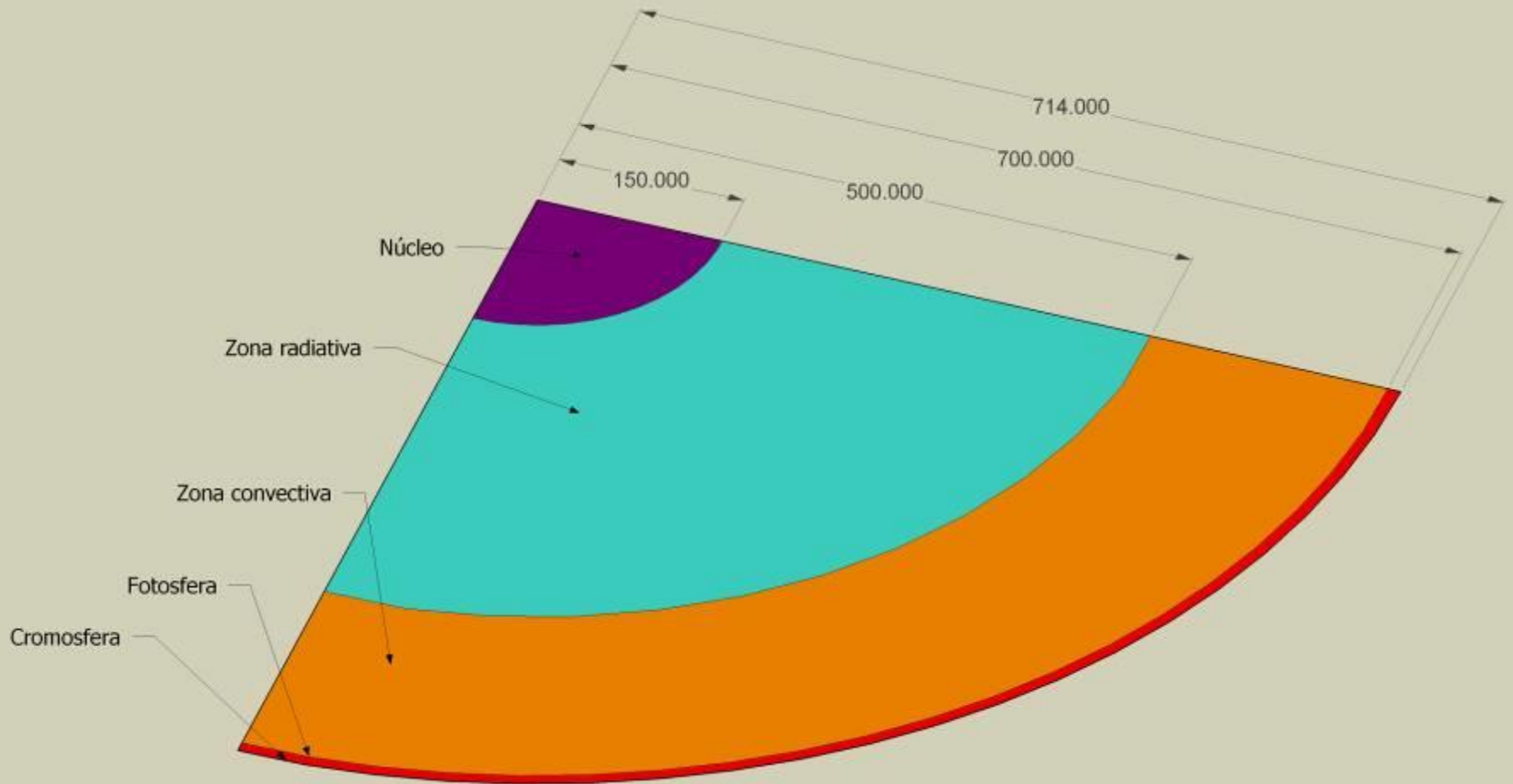


L' estructura del Sol

- Corona: vent solar, $1-2 \cdot 10^6$ K.
- Només es veu en els eclipsis.

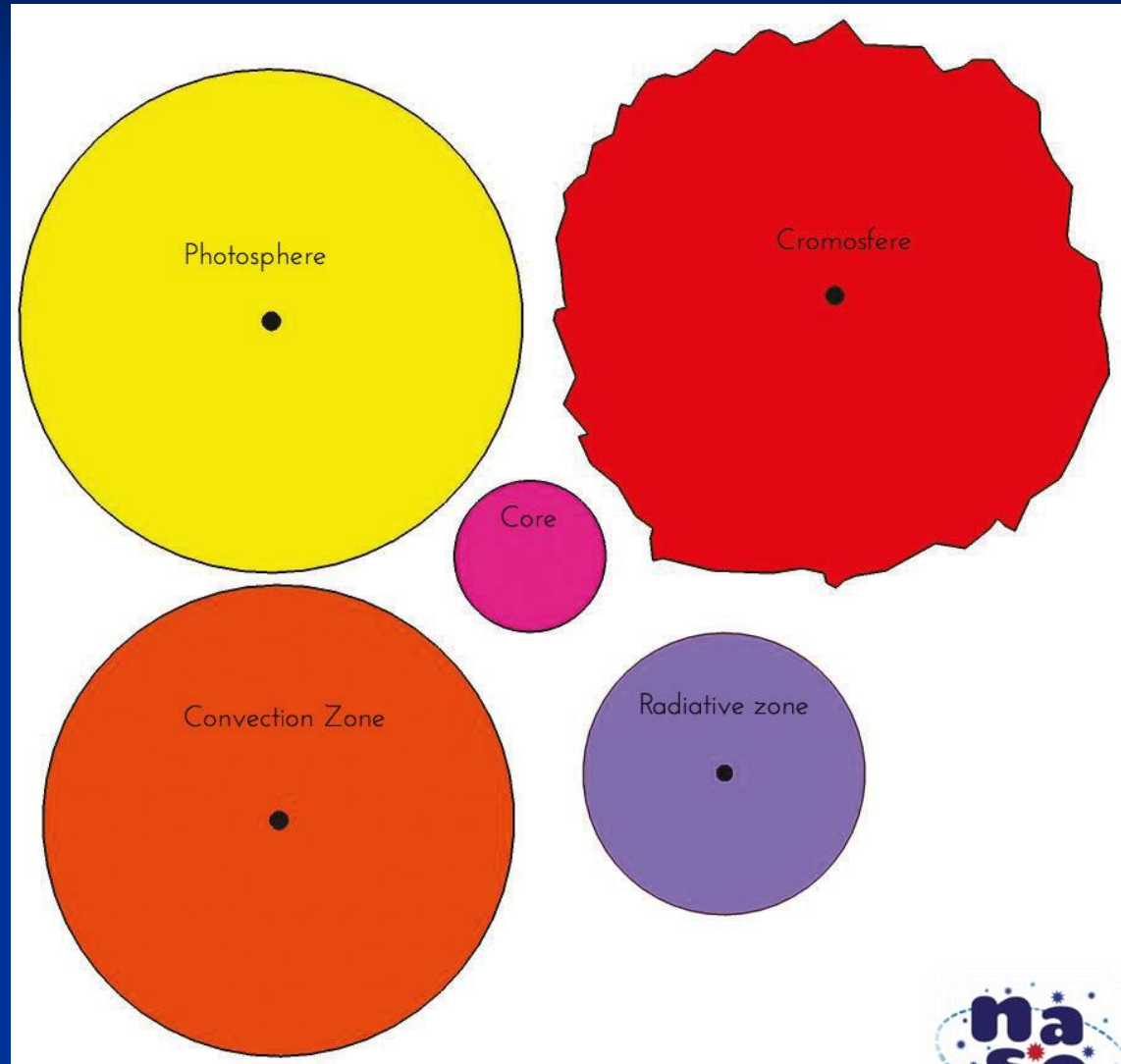


L'estructura del Sol



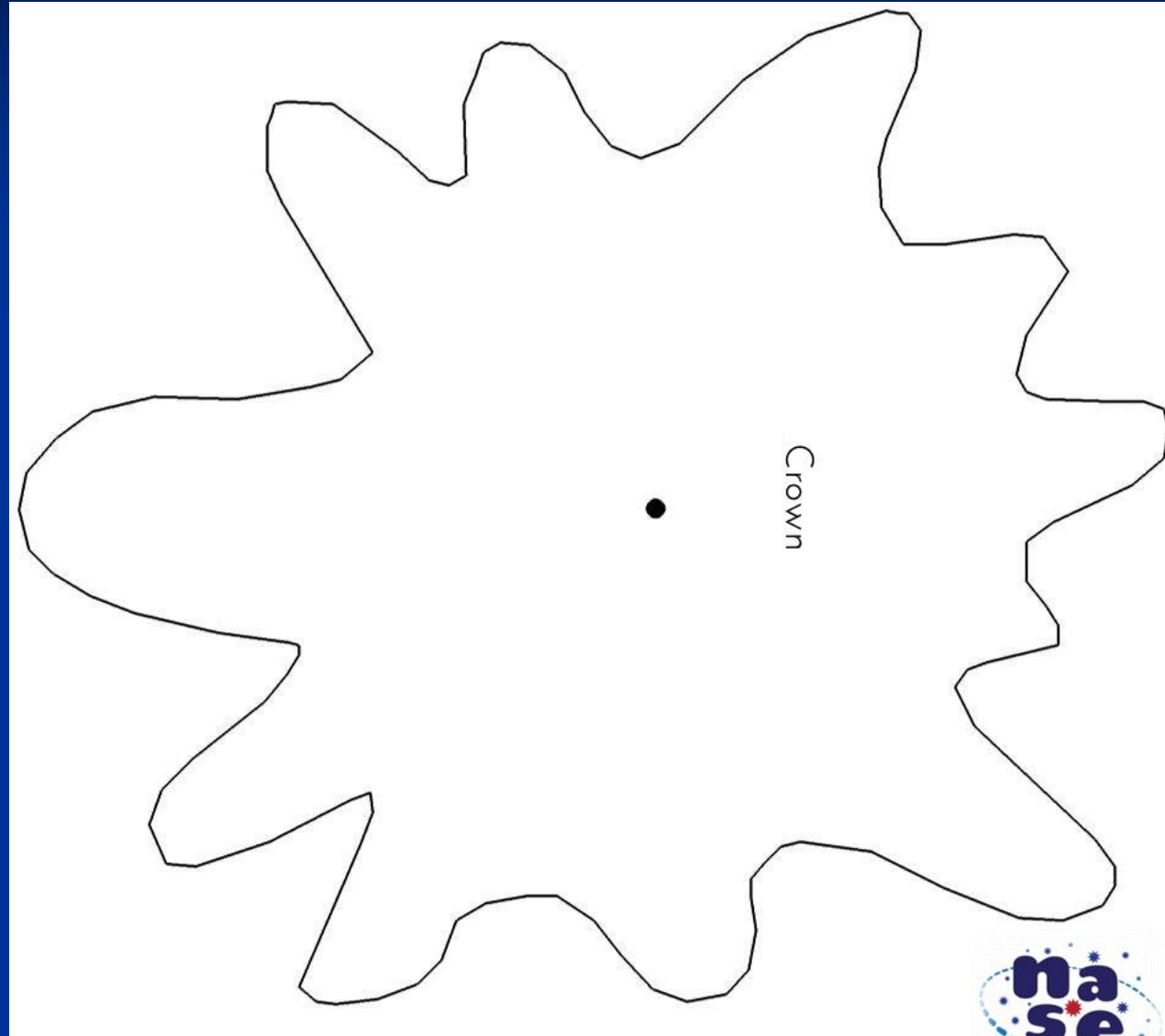
Activitat 3: Estructura Solar

Model senzill de
capes del Sol.
L'objectiu és retallar
les diferents figures.
Es poden tallar de
diferents papers de
colors o pintar-se.



Activitat 3: Estructura Solar

Finalment,
s'enganxen una
damunt de
l'altra, en
l'ordre correcte.



Activitat 3: Estructura Solar

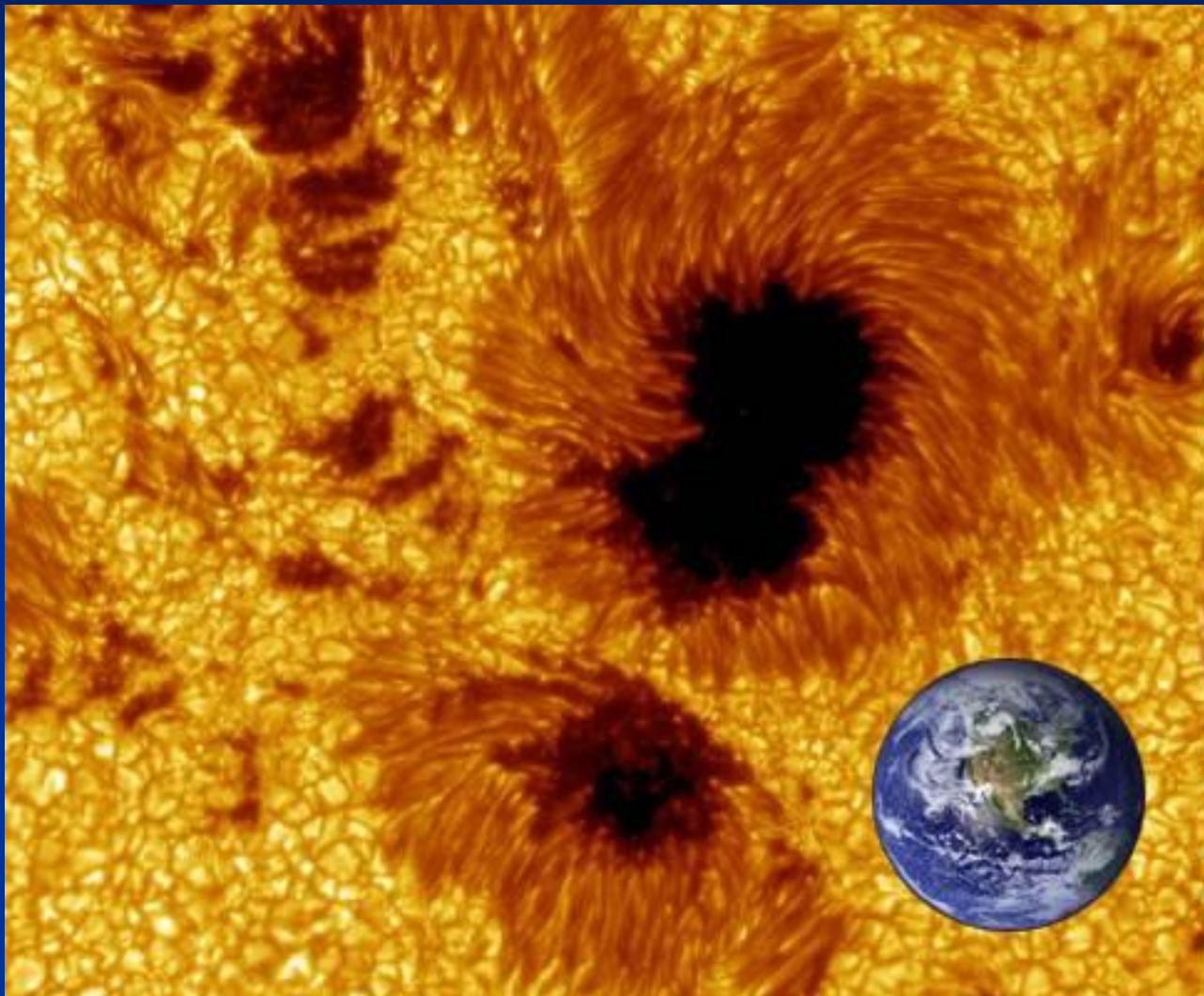


Taques solars

- Taques fosques a la fotosfera, a 4.200 K en lloc dels 6.000 K.
- Cada taca solar té dues regions: Umbra (central) i Penombra.

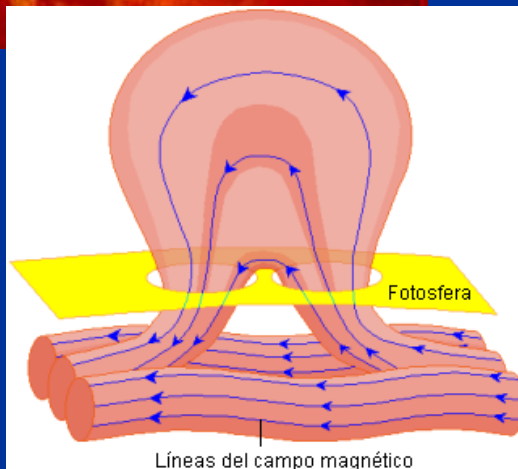
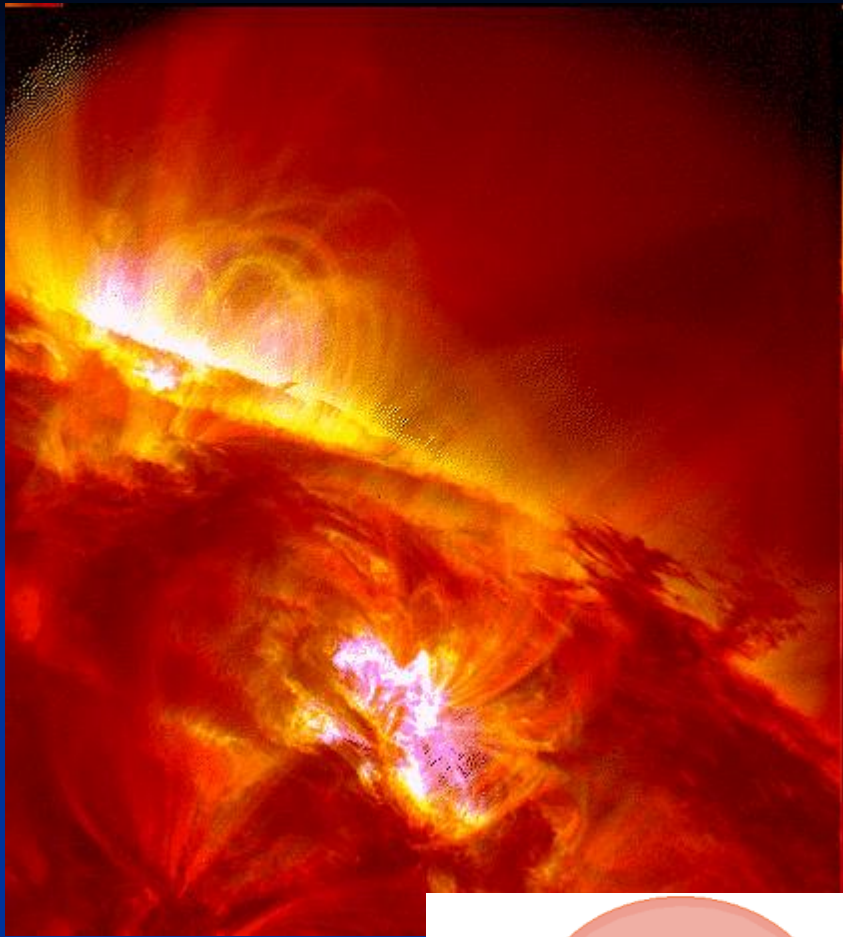


Taques solars

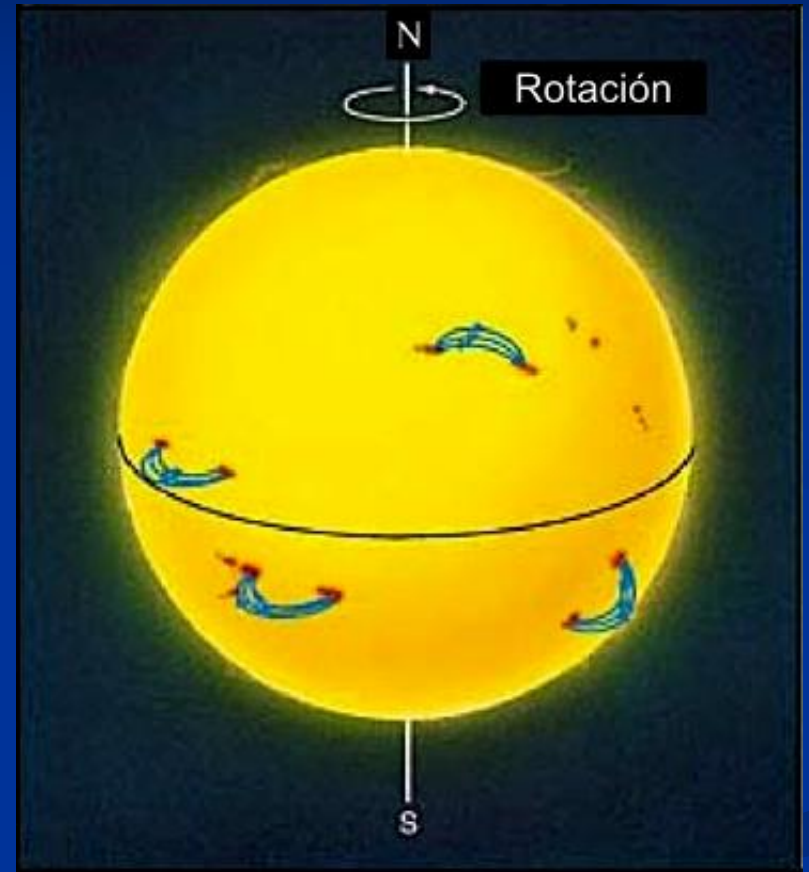
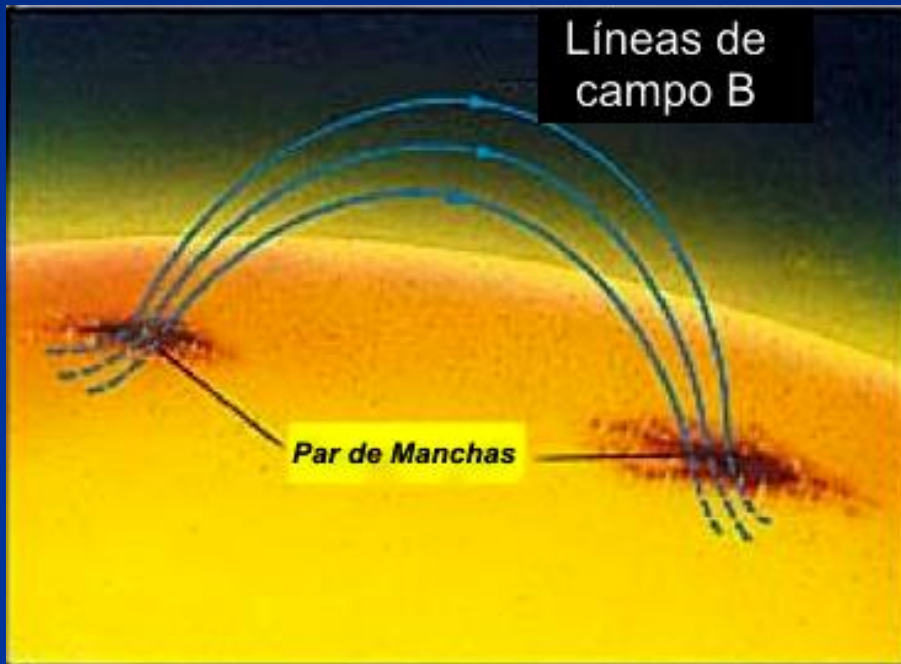


Taques solars

- Hi ha forts camps magnètics en elles.
- Estan produïdes per aflorament de línies magnètiques en forma de llaç que pugen des de l'interior.

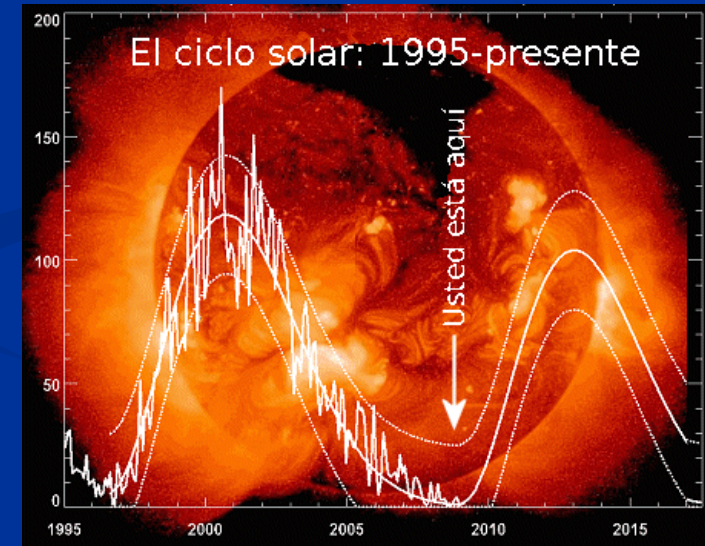
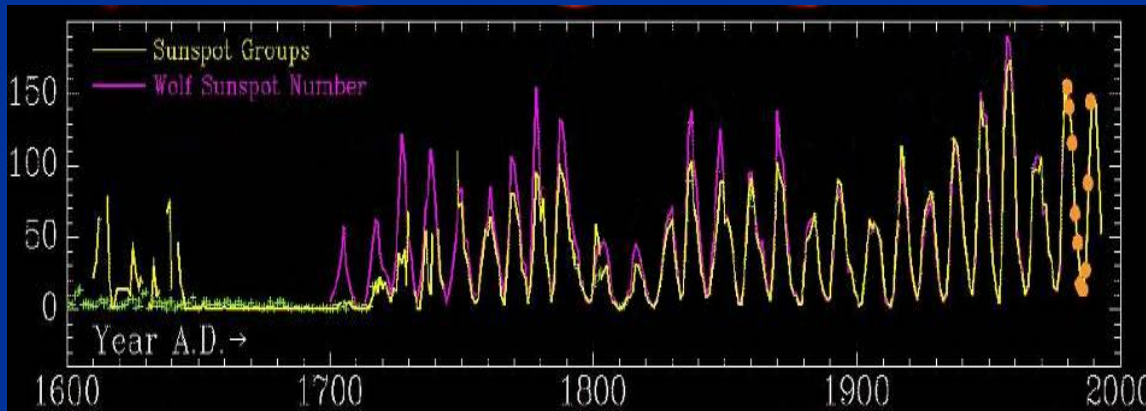


Taques solares



Taques solars

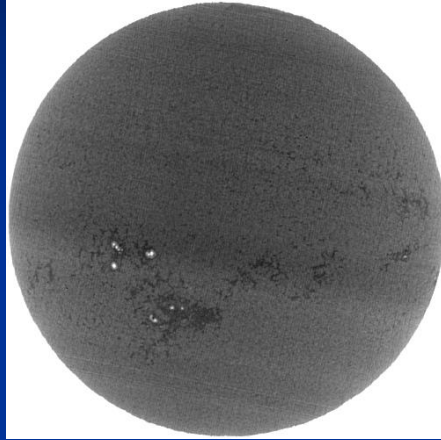
- El nombre de taques indica “l'activitat solar”.
 $N^{\circ} \text{ de Wolf} = 10 \cdot G + F$
(G = grups; F = n° total de taques)
- Té un cicle de 11 anys.



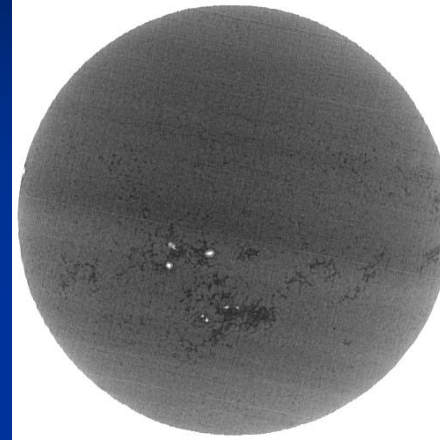
El 2008 hi va haver un mínim, que es va allargar més del normal.

Taques solars i Rotació solar

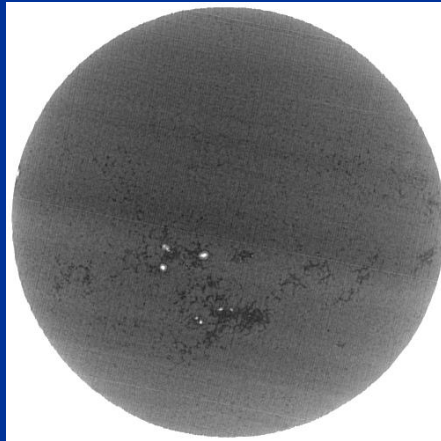
21 de Novembre 1992



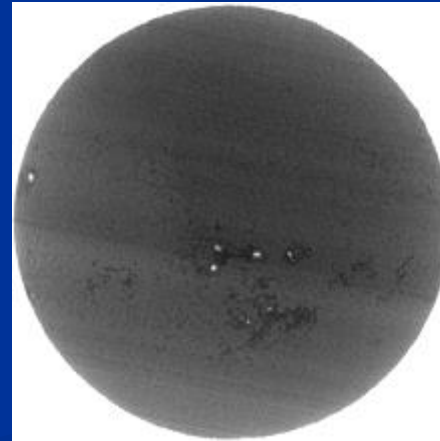
22 de Novembre 1992



23 de Novembre 1992



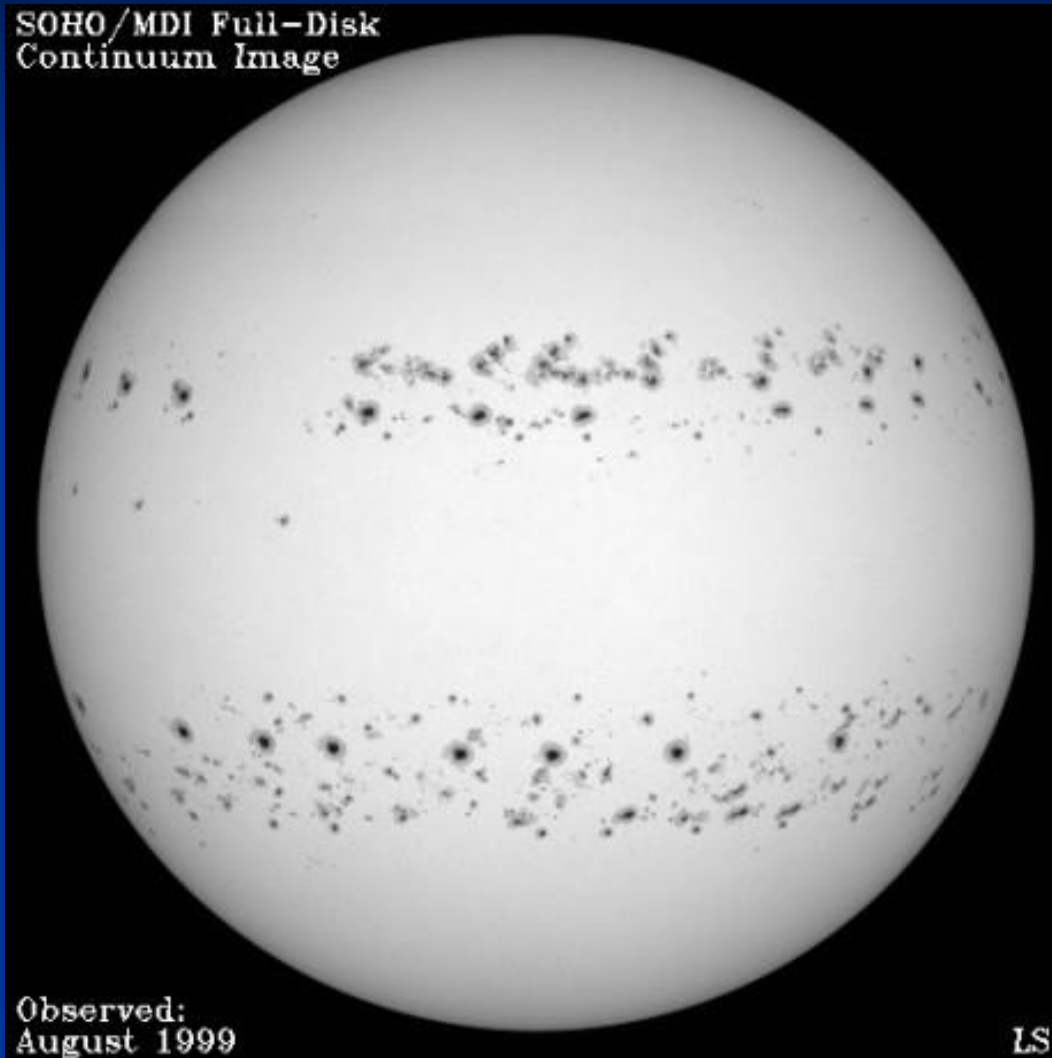
24 de Novembre 1992



Font: Observatori Astronòmic de la Universitat de Coimbra



Taques solars i Rotació solar



- Serveixen per mesurar la rotació solar.
- Galileu amb el telescopi va ser el primer que les va veure i va calcular aquest període.
- Rotació diferencial: 25 dies a l'equador i 34 dies en els pols.

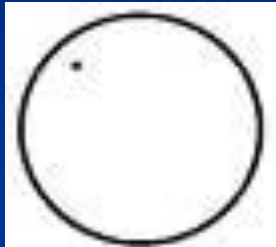
Activitat 4: Determinació del període de rotació del Sol

- Les observacions s'han de fer sempre per projecció, amb un telescopi o uns prismàtics. Mai directament.

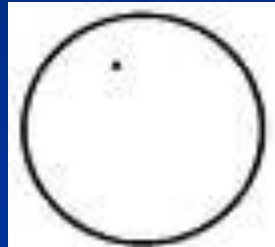


Activitat 4: Determinació del període de rotació del Sol

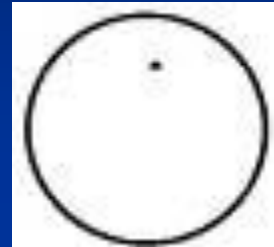
- Es dibuixen les taques durant diversos dies.



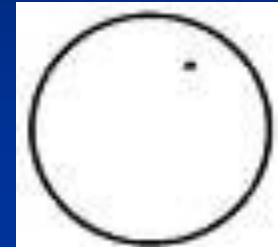
Dia 1



Dia 4

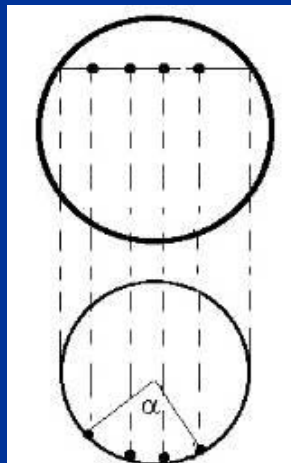


Dia 6

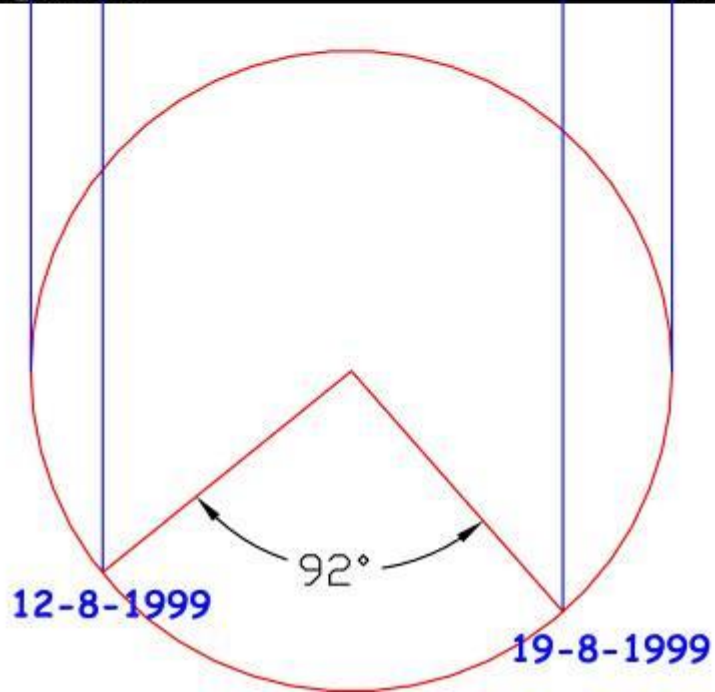


Dia 8

- Es dibuixa el recorregut, la circumferència i l'angle α . Així es calcula el període P en dies.



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



Activitat 4: Determinació del període de rotació del Sol

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

La Radiació del Sol

- El Sol és un gran reactor nuclear. Produeix fotons, cadascun amb una freqüència (color) i una energia $E = h \cdot \nu$
- La lluminositat (potència, en watts) del Sol és enorme: cada segon emet el mateix que trilions de bombes atòmiques.
- Aquesta energia es transmet per l'espai com una bombolla cada vegada més gran. L'àrea d'aquesta bombolla és $4 \cdot \pi \cdot R^2$.
- A una distància del Sol de R , l'energia que arriba cada segon a 1 m^2 és:

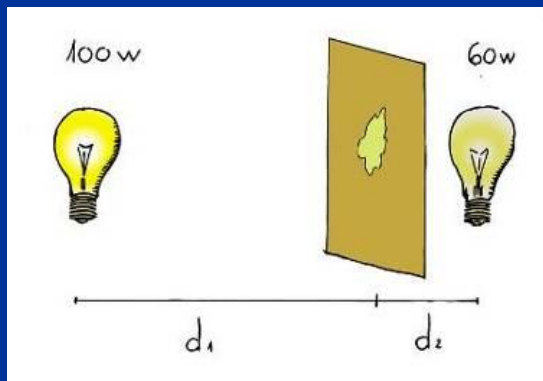
$$\frac{P}{4\pi R^2}$$



Activitat 5: Càlcul de la Lluminositat del Sol

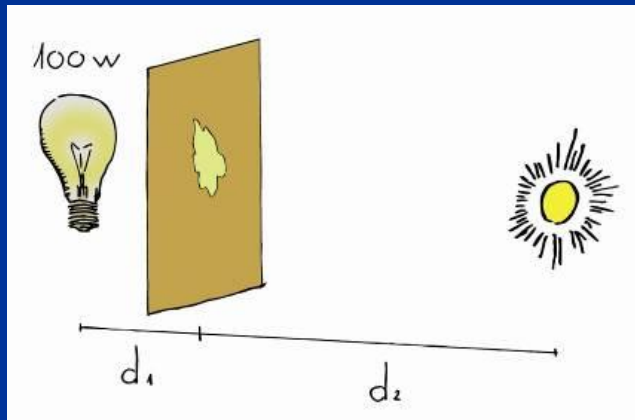
- L'energia es transmet de forma inversament proporcional al quadrat de la distància. Si sabem la distància al Sol, podem calcular la seva potència.
- Fem un fotòmetre de taca d'oli. Quan no es veu la taca, s'ha igualat la il·luminació en els costats del paper, arriba la mateixa energia a cada costat, llavors:

$$\frac{P_1}{4 \cdot \pi \cdot d_1^2} = \frac{P_2}{4 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$

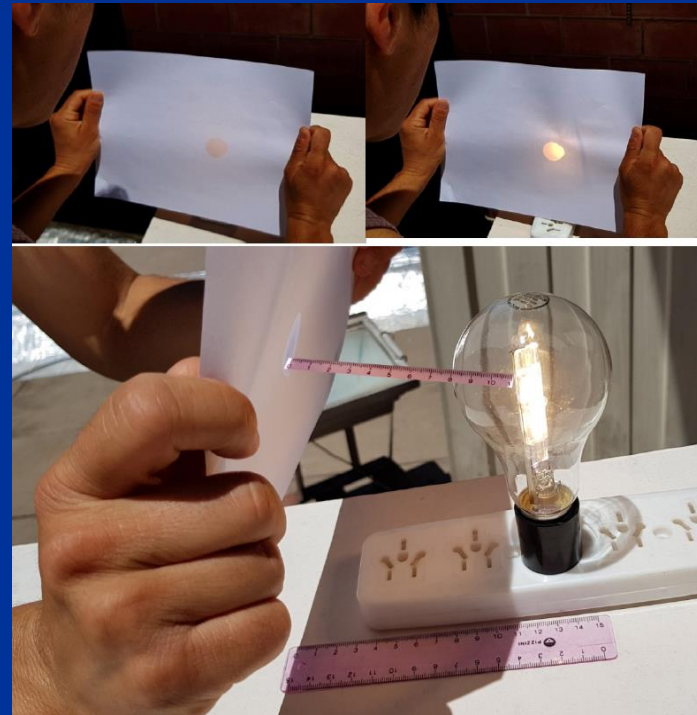


Activitat 5: Càlcul de la Lluminositat del Sol

Comparem una bombeta de 100 W amb el Sol, que està a 150 milions de km ($1,5 \cdot 10^{11}$ m) i calculem P.

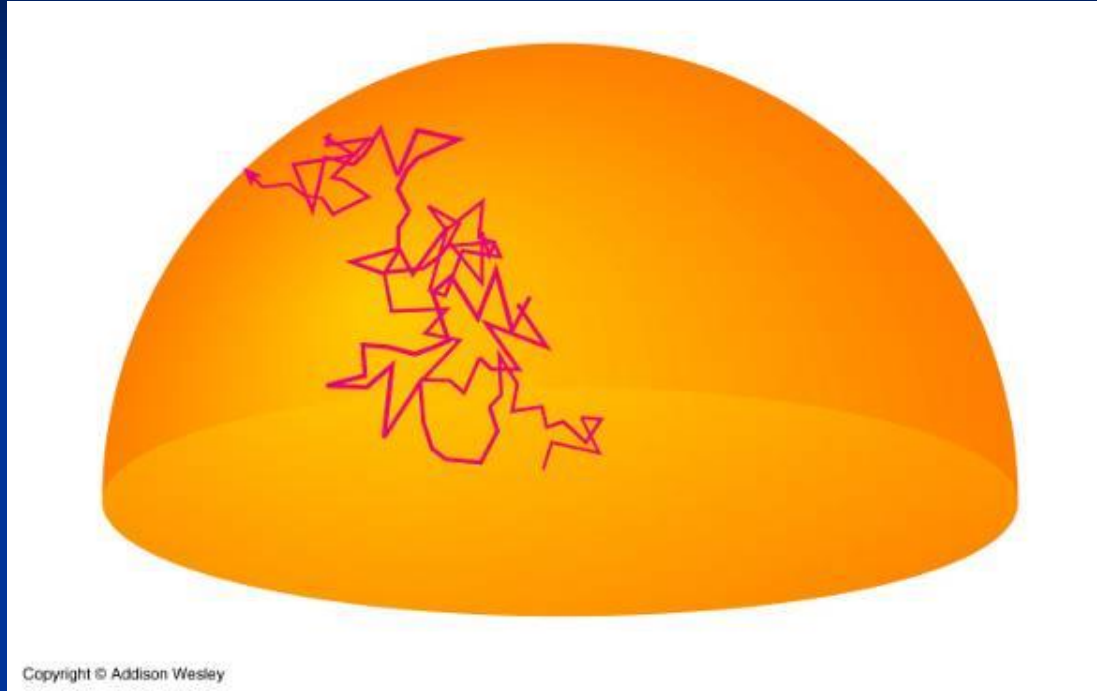


$$\frac{100 \text{ W}}{d_1^2} = \frac{P}{d_2^2}$$



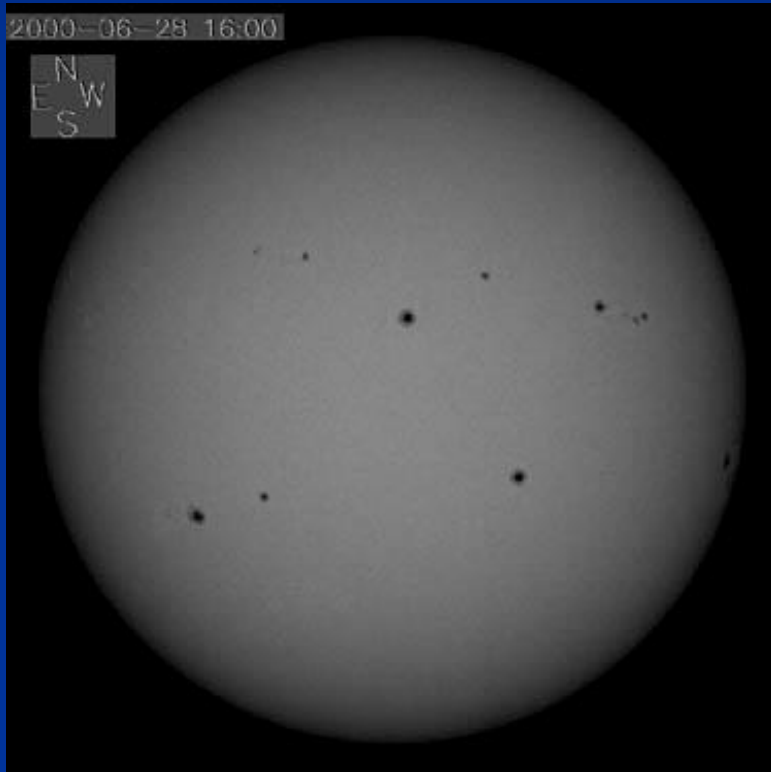
El resultat hauria de aproximar-se a $3,8 \cdot 10^{26}$ W.

Espectre Solar: Opacitat



Els fotons són produïts en les parts més interiors del Sol i interactuen amb la matèria molt densa en aquesta zona. Un fotó produït en el nucli del Sol triga fins a 1 milió d'anys a arribar a la fotosfera.

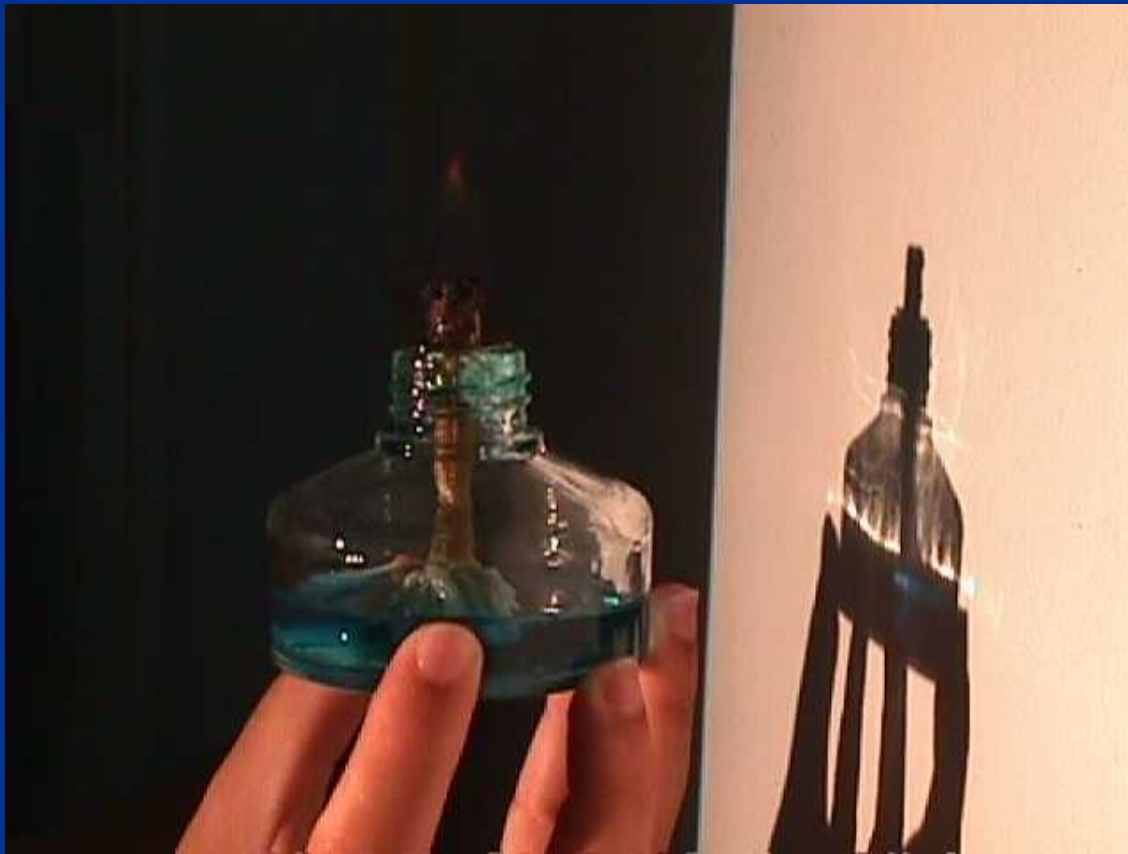
Espectre Solar: Opacitat



- Les parts més interiors del Sol són opaques (moltes interaccions, com en un sòlid).
- Les parts més exteriors són transparents.
- Evidència: enfosquiment dels llimbs. La vora el Sol és menys brillant perquè és més transparent.

Activitat 6: Transparència i Opacitat

Transparent no és el mateix que invisible.



Espectres



Fuente: Deutsche Bundespost 1993



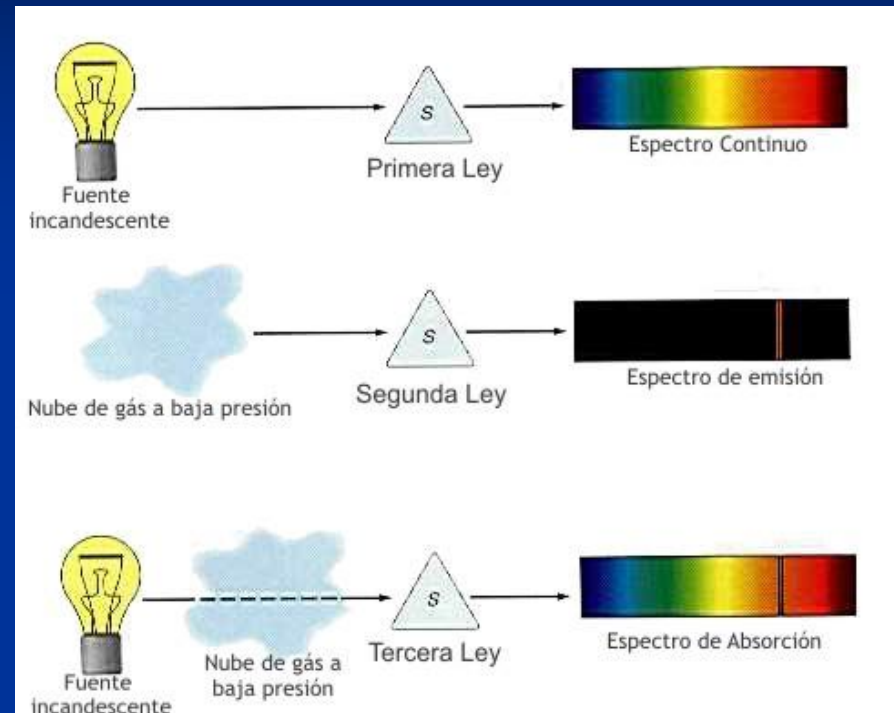
En 1701, Newton va usar un prisma i va descompondre la llum solar en colors. Qualsevol llum es pot descompondre amb un prisma o una xarxa de difracció. El que s'obté és el seu espectre.

Lleis de Kirchhoff i Bunsen

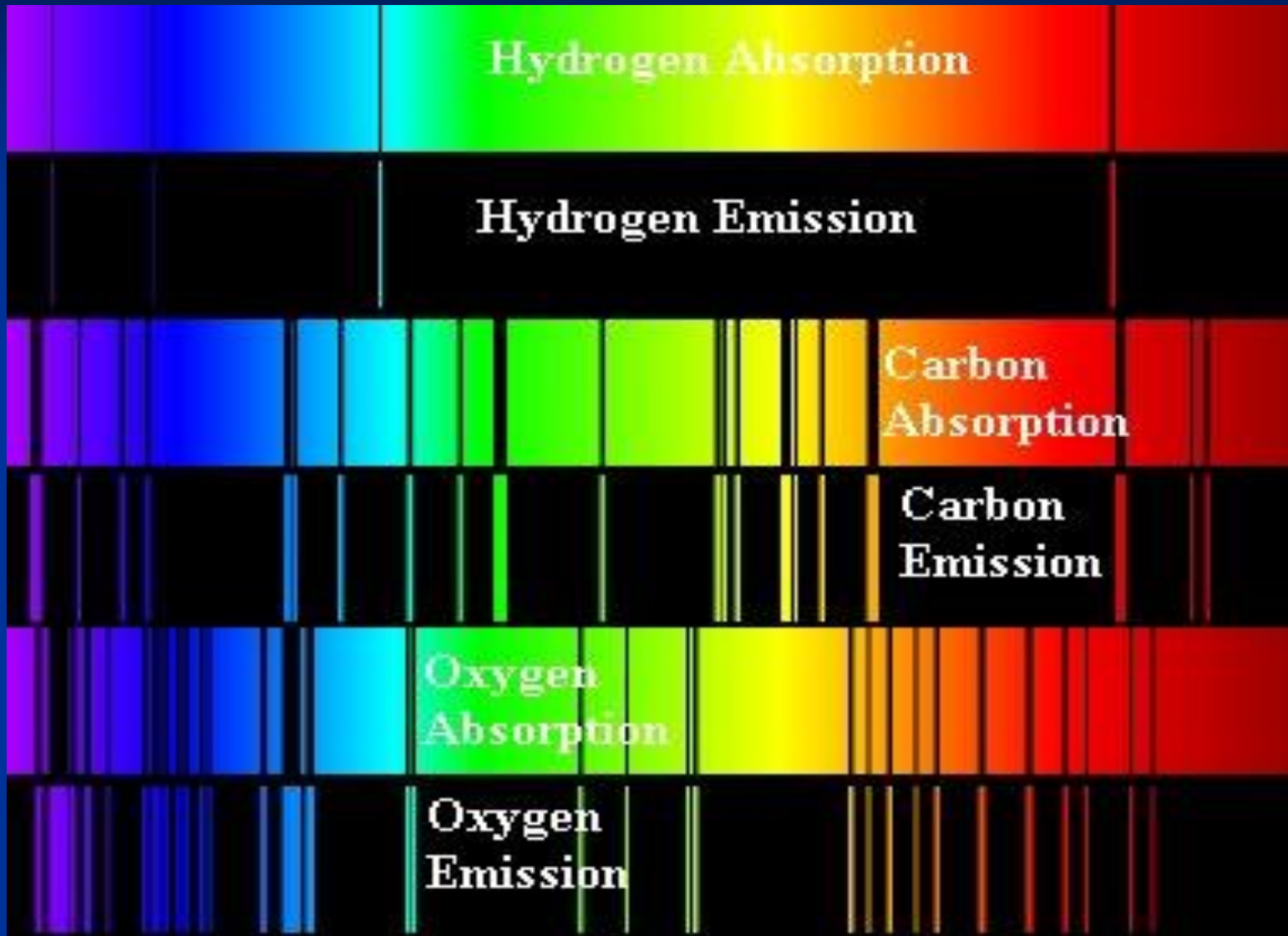
1^a Llei - Un objecte sòlid incandescent produeix llum amb espectre continu.

2^a Llei - Un gas tènue calent produeix llum només en algunes longituds d'ona que depenen de la composició química de el gas.

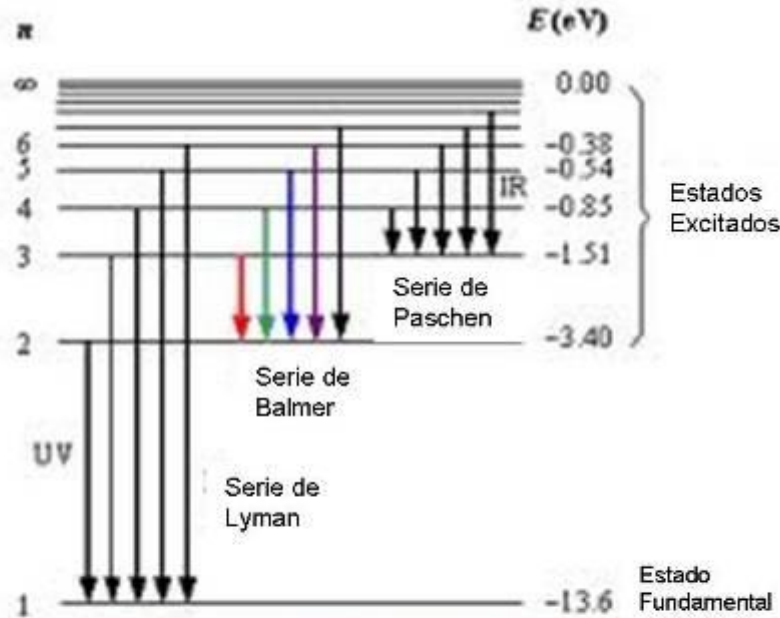
3^a Llei - Un objecte sòlid incandescent envoltat d'un gas a baixa pressió produeix un espectre continu amb buits en longituds d'ona les posicions de les quals coincideixen amb les de la 2^a Llei.



Espectres



Espectres



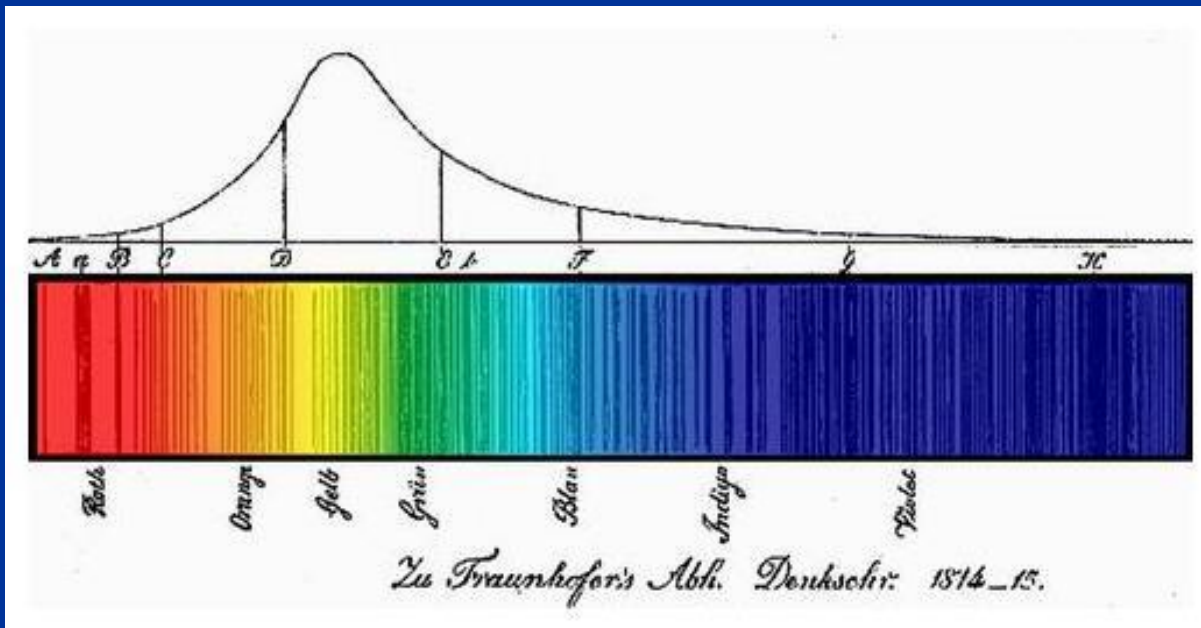
Niveles de Energía del átomo de hidrogeno, con algunas de las transiciones que producen las líneas espectrales indicadas

Les línies d'emissió i d'absorció són degudes a salts d'electrons entre dos nivells d'energia, que estan quantitzats (a graons).

Espectre Solar: ESPECTRE D'ABSORPCIÓ

En 1802, William Wollaston va observar línies negres sobre l'espectre solar.

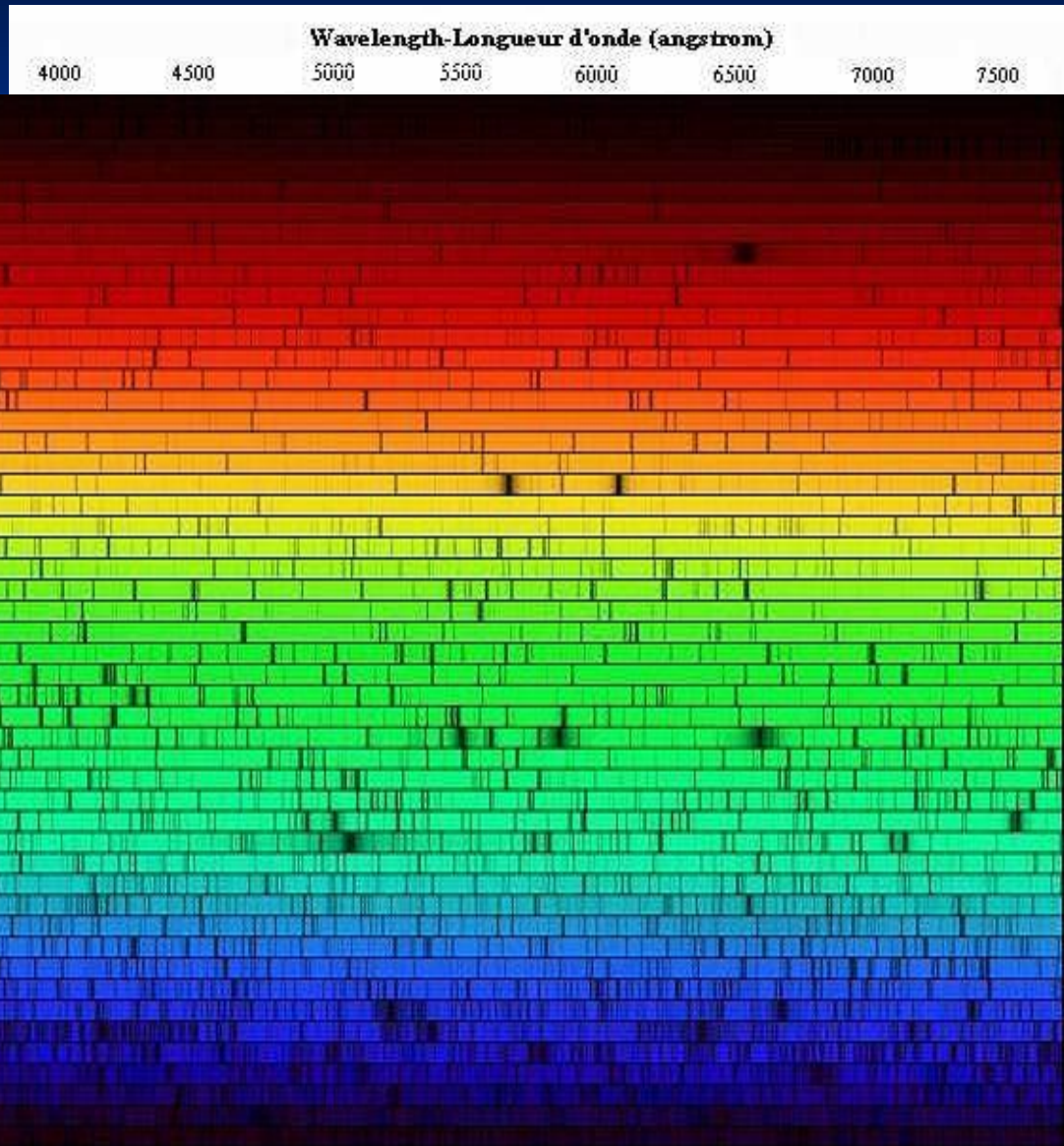
En 1814, Joseph Fraunhofer va estudiar sistemàticament l'espectre de el Sol i va detectar prop de 700 línies fosques.



Joseph Fraunhofer
(1787-1826)



Espectre Solar: ESPECTRE D'ABSORPCIÓ



- Les línies fosques són degudes als gasos en l'atmosfera solar.
- Podem saber de què està fet el Sol sense anar-hi.
- Avui hi ha espectres d'alta definició, amb moltes més línies.

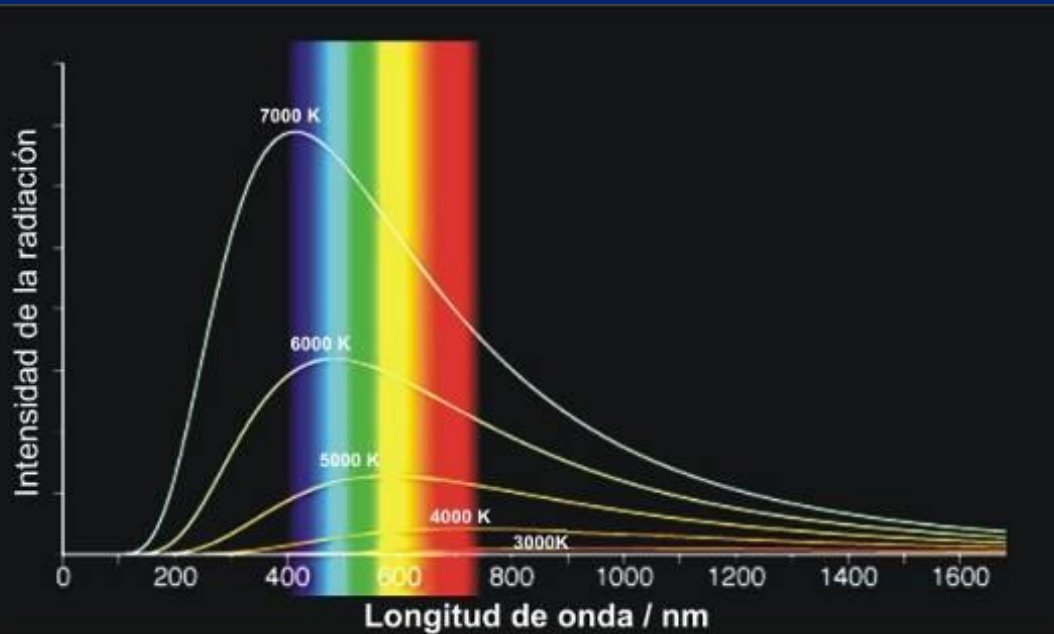
Radiació d'un cos negre



Quan un ferro es va escalfant emet llum:

- vermella
- groga
- blanca
- blavosa

Radiació d'un cos negre



Estudiant la radiació d'un objecte llunyà, podem saber a quina temperatura està sense necessitat d'anar-hi.

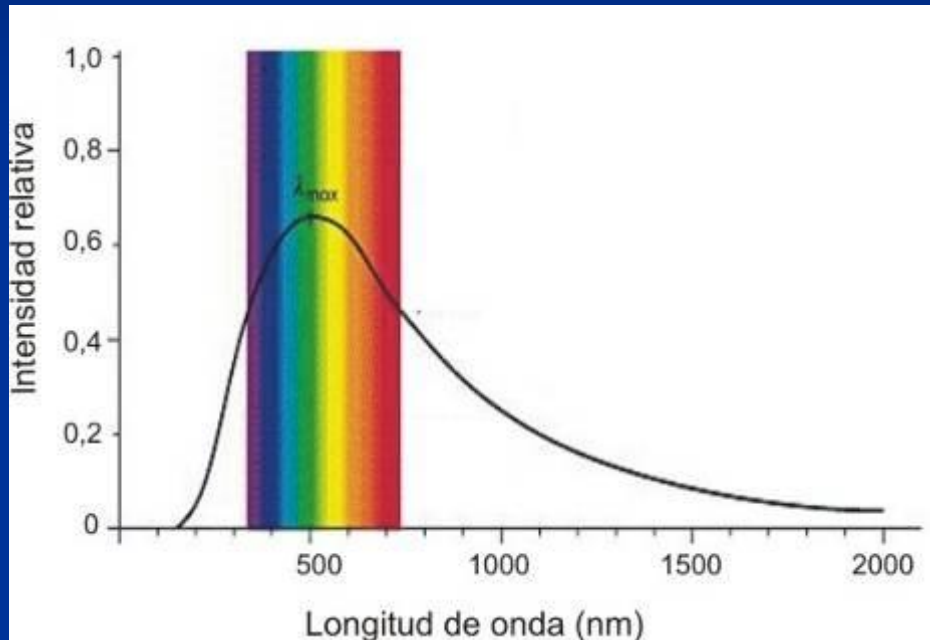
Qualsevol “cos negre” a l'ésser escalfat emet llum en moltes longituds d'ona. Hi ha una $\lambda_{\text{màx}}$ en què l'energia és màxima.

$$\lambda_{\text{màx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T} \quad (\text{m})$$

Aquesta $\lambda_{\text{màx}}$ depèn de de la temperatura T :
Llei de Wien



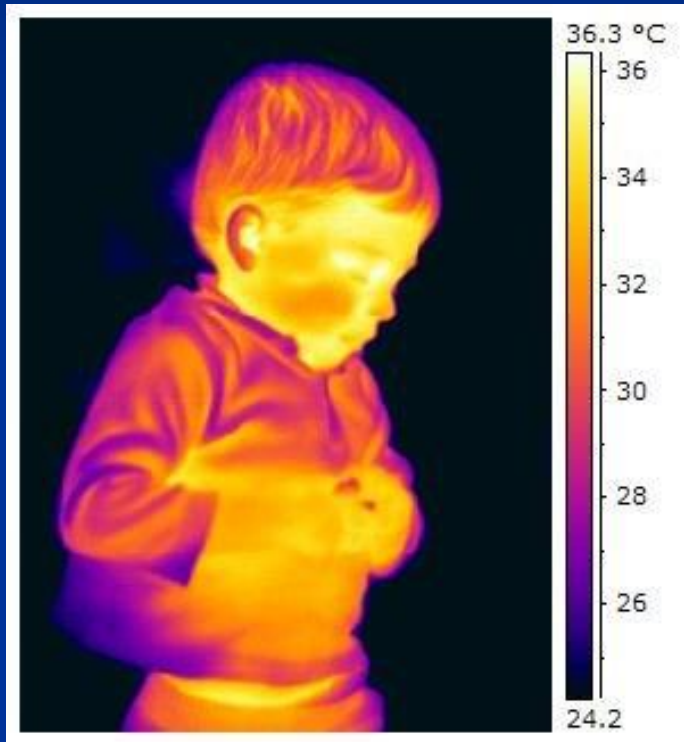
Radiació d'un cos negre



El Sol té una $\lambda_{\text{màx}}$ de 500 nm.

Això indica que la seva temperatura superficial és de 5.800 K.

Radiació d'un cos negre



El cos humà està a una temperatura de

$$T = 273 + 37 = 310 \text{ K}$$

Emet més energia a una

$$\lambda_{\text{màx}} = 9300 \text{ nm}$$

Els dispositius de visió nocturna fan servir aquestes λ .

Dispersió de la llum



- Si la llum blanca travessa un gas amb partícules grans, tots els colors són dispersats igual (núvol blanc).
- Si les partícules són de la mida similar a la λ d'alguns fotons, aquests són dispersats i els altres no (dispersió de Rayleigh).
- En l'atmosfera, els fotons blaus es dispersen més que els vermells, i ens vénen des de totes direccions: veiem el cel blau.



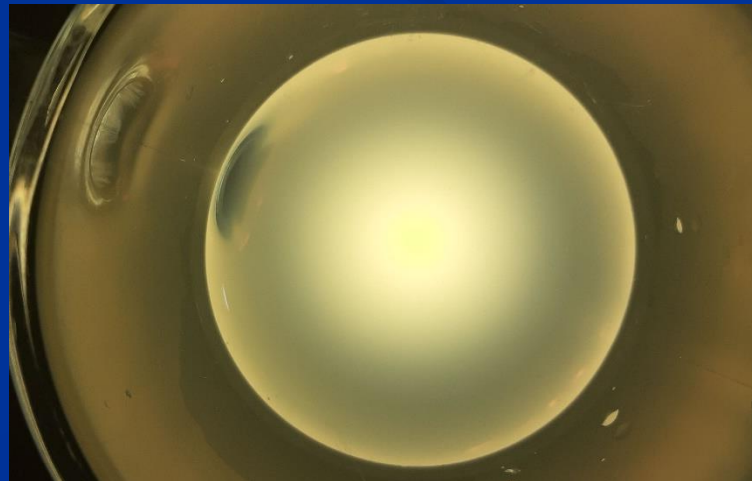
Al capvespre, la llum travessa més atmosfera i és més groga-vermella.

Activitat 7: Dispersió de la llum

- Aigua en un got llarg amb unes gotes de llet i una llanterna. Quan la llum passa a través de l'aigua lletosa:



- Si la llum travessa lateralment el got, es veu blavosa.
- Però si la llum travessa tot el vas, si mirem des de dalt del got, la llum va engroguint i enrogint.

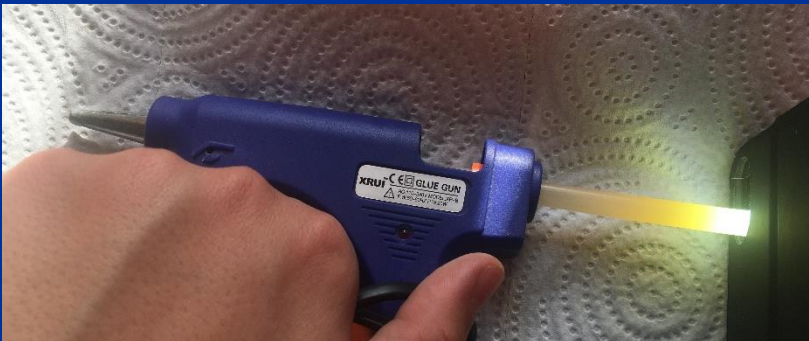


Activitat 7: Dispersió de la llum

- Barreta de silicona termofusible per enganxar
- La llanterna d'un mòbil



- La barreta prop de la llum del mòbil es veu de color blavós.
- La barreta a la zona més allunyada de la llum del mòbil es veu groguenca i vermellosa.



Moltes gràcies per
la seva atenció!

