

# El Sol

El Sol, la nostra estrella més pròxima, es troba a  $1.496 \times 10^{11}$  m de la Terra. Aquesta distància, anomenada *unitat astronòmica* (UA) és una de les unitats bàsiques utilitzades en astronomia, especialment per a distàncies dins el sistema solar. El Sol té un radi de  $6.96 \times 10^8$  m.

El disc brillant que observem en el cel (foto 1) s'anomena *fotosfera*, perquè d'aquesta capa de l'atmosfera solar ix quasi tota la llum visible del Sol. Un tret característic de la fotosfera és la disminució de la seua lluminositat superficial des del centre a la vora o limbe del disc. Aquest fenomen, anomenat *enfosciment al limbe*, és el resultat de la natura gasosa de la fotosfera, on la temperatura minva amb l'altura.

Les taques solars de diverses grandàries són una altra característica de l'atmosfera solar. Aquestes són fenòmens periòdics, de natura magnètica, que assoleixen un màxim en nombre aproximadament cada 11 anys.

Figura 1: El Sol mostrant l'enfosciment al limbe i un gran nombre de taques

## 1 La rotació del Sol

La rotació del Sol va ser observada per primera vegada a partir del moviment de les taques sobre el disc solar. La sèrie de fotos (figures 5 i 6) fetes durant un llarg període de temps ho il·lustra clarament. Si una taca en concret roman durant més d'una rotació completa, l'interval entre dos passos successius pel meridià central és el període de rotació. Tanmateix, és possible calcular-lo sense seguir una taca durant un cicle complet. El període observat d'aquesta manera és el període *sinòdic*, és a dir, el període observat des de la Terra. Com que la Terra està en moviment al voltant del Sol, aquest es diferencia del període veritable o *sideral*, que és el que s'observa des d'un lloc estacionari a l'espai exterior.

Coneixent l'eix de rotació del Sol, se'n poden situar els pols i l'equador. La latitud sobre el Sol –com passa sobre la Terra– es mesura a partir de l'equador. La longitud sobre el Sol es mesura per conveniència a partir del meridià central, encara que aquest meridià canvia contínuament a mesura que el Sol gira. El pla de l'equador solar està inclinat un angle de  $7^\circ$  amb relació al pla de l'eclíptica o pla de l'òrbita de la Terra. Per això, l'eix de rotació del Sol no es troba normalment en el pla del cel. Un dels pols es trobarà probablement darrere el disc visible en qualsevol moment. L'eix de rotació del Sol no serà probablement perpendicular al pla de l'eclíptica (figura 2).

El pla de l'eclíptica està inclinat un angle de  $23^{\circ} 27'$  amb relació al pla de l'equador de la Terra. L'angle entre l'eix de l'eclíptica i la direcció nord-sud en el cel canvia al llarg de l'any. De fet, l'angle entre l'eix de rotació del Sol i la direcció nord-sud en el cel és una combinació de l'efecte de la inclinació de l'eclíptica  $23^{\circ} 27'$  i els  $7^{\circ}$  d'inclinació de l'eix del Sol. Aquest angle és calculat per a cada dia de l'any en taules astronòmiques. A més a més és fàcilment observable a partir del camí aparent de les taques sobre la superfície del Sol.

Les taques es troben en bandes de latituds solars entre  $5^{\circ}$  i  $30^{\circ}$  en ambdós hemisferis. Una taca segueix un camí al voltant de l'eix del Sol que és un cercle menor de latitud solar. Quan l'eix de rotació del Sol està exactament en el pla del cel (pel desembre i el juny, figura 2) la projecció d'un cercle menor serà una línia recta. En altres moments, el camí aparent seguit per una taca és lleugerament corbat, però per simplicitat en el càlculs assumirem que aquest no es diferencia molt d'una línia recta.

Figura 2: Aspectes del Sol durant l'any

Les fotografies (figures 5 i 6) es van fer durant el màxim del cicle solar del 1948 i mostren un gran nombre de taques i grups de taques. L'orientació del cel és indicada en totes les fotografies per línies produïdes per un parell de fils encreuats en el pla focal del telescopi. El nord del cel (dalt de la fotografia) es troba fent la bissecció de l'angle que formen les línies, encara que la intersecció de les línies pot no coincidir amb el centre de la imatge del Sol.

**Exercici 1** *Busca l'eix de rotació del Sol a partir del moviment de les taques sobre el disc solar.*

**Suggeriment 1** *Estudia les fotografies (figures 5 i 6) i tria una taca el moviment de la qual pugui ser seguit durant uns quants dies. L'exercici es pot repetir més avant utilitzant altres taques, però no és recomanable seguir més d'una taca alhora. Dibuixa una circumferència sobre una transparència amb el mateix diàmetre de la imatge solar i marca-li un diàmetre i el centre. En cada imatge fes la bissecció de l'angle entre les línies encreuades (amb un transportador) i traça una línia paral·lela a aquesta direcció a través del centre de la imatge. Situa la transparència sobre les imatges successivament, mantenint la línia nord-sud fixa, i dibuixa la taca triada. La inclinació de l'eix del Sol amb relació al pla del cel és tan petita ( $4^{\circ}$  el mes de maig), que el camí de la taca és virtualment una línia recta. Quan aquests punts s'uneixen, formen una corda sobre la qual es mou la taca en estudi. Una línia perpendicular a aquesta a través del centre de la circumferència marca el meridià central del Sol, que sempre serà el mateix independentment de la taca que s'utilitzi.*

## 2 Els períodes solar sideral i sinòdic

La figura 3.a és un diagrama que mostra el camí aparent d'una taca sobre el disc solar. Aquest forma una corda sobre el disc. El camí real de la taca és una circumferència com la que mostra la figura 3.b. El radi  $r$  d'aquesta circumferència és més petit que el radi  $R$  del Sol, perquè la taca no està a l'equador del Sol. Si la taca està a longitud  $\theta$ , l'observador des de la Terra veurà la taca a una distància  $r \sin \theta$  ( $x$  en la figura 3.b) des del meridià central. Si mesurem  $r$  i  $r \sin \theta$ , l'angle  $\theta$  pot ser calculat per a cada data. El ritme de variació de la longitud  $\theta$  és la velocitat de la rotació sinòdica solar i el temps que la taca necessita per girar  $360^\circ$  és el període sinòdic.

Figura 3: a) Camí d'una taca sobre la corda de radi  $r$ . La taca està a la longitud  $\theta$  des del meridià central. b) Secció del Sol que mostra la circumferència sobre la qual es mou la taca. La taca es veu a una distància  $x$  des del meridià central.

La figura 4 és un dibuix situat en el pla de l'eclíptica on es mostra una secció del Sol i de l'òrbita de la Terra. S'hi representen les direccions de rotació del Sol sobre el seu eix i el moviment de la Terra al voltant del Sol. La Terra està en la posició 1 quan la taca s'observa en el meridià central en la posició A. Després d'una rotació completa del Sol sobre el seu eix, la taca torna a la posició A però la Terra s'ha mogut en la seua òrbita. El Sol haurà de girar una mica més fins que la taca aparega altra vegada sobre el que és el meridià central observat des de la Terra. En aquest moment, la Terra es troba en la posició 2 i la taca en la posició B. El temps que triga el Sol a tornar al punt A és el període sideral, que és el veritable període de rotació. El temps que triga el Sol a moure's de A fins a A una altra vegada i d'aquí fins a B, és el període sinòdic, en el qual sembla que el Sol fa un gir complet vist des de la Terra.

Si  $w$  és la velocitat de gir del Sol sobre el seu eix en graus per dia i  $W$  és la velocitat de la Terra al voltant del Sol en graus per dia, aleshores un punt sobre la superfície del Sol guanya  $w - W$  graus per dia observat des de la Terra. Després d'un període sinòdic el guany és de  $360^\circ$ . Si el període sideral de la rotació del Sol és  $P$  dies i el període de la Terra al voltant del Sol és  $Y$  dies ( $Y$  és l'any tròpic, on  $Y = 365.2422$  dies), aleshores:

$$w = \frac{360}{P} \quad W = \frac{360}{Y} \quad (1)$$

Si el període sinòdic és  $S$  dies, aleshores:

$$w - W = \frac{360}{S} \quad (2)$$

Posant les definicions de l'equació 1 en l'equació 2 i dividint el resultat per 360, obtenim:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{Y} \quad (3)$$

Figura 4: El pla de l'eclíptica mostra el Sol girant i la Terra movent-se en la seua òrbita per il·lustrar els períodes sinòdic i sideral del Sol.

**Exercici 2** Troba el període sinòdic del Sol a partir del moviment de les taques observades sobre el disc solar en una sèrie de fotografies (figures 5 i 6). Les fotografies es van fer prop del migdia i l'interval entre fotografies successives va ser 1 dia. Calcula el període sideral a partir del període sinòdic.

**Suggeriment 2** La direcció del meridià central és la línia bàsica a partir de la qual es mesuren totes les posicions de les taques.

Començant amb la data més antiga en la qual la taca que has triat siga visible, mesura en cada fotografia (o sobre la transparència sobre la qual has marcat totes les posicions de la taca) la distància ( $x$ ) de la taca, situada sobre una corda, fins al meridià central. Mesura també la longitud total de la corda i divideix el resultat per dos. No importen les unitats de mesura que s'hi utilitzen, encara que els mil·límetres són les unitats més convenients, ja que només utilitzaràs els quocients. Divideix el primer ( $x$ ) pel segon ( $r$ ) per obtenir  $\sin\theta$ , i d'aquí el valor de  $\theta$ . És una bona idea posar les mesures en columnes de dies, distància de la taca ( $x$ ),  $\sin\theta$  i  $\theta$ . L'angle  $\theta$  és zero en el meridià central. Posa  $\theta$  negatiu o positiu segons que la taca es trobe a l'est o a l'oest del meridià central.

Representa gràficament l'última columna ( $\theta$ ) en funció del número del dia. Posa l'origen de la gràfica alguns dies abans de la primera data. Deixa espai en l'ordenada per posar-hi l'angle  $\theta$  entre  $-90^\circ$  i  $+90^\circ$ . Dibuixa una línia recta a través dels punts i continua la línia pels dos costats. Llegeix les dates que corresponen a  $-90^\circ$  i  $+90^\circ$ . L'interval és el temps que necessitarà la taca per moure's  $180^\circ$ , és a dir, la meitat del període.

Una manera millor de calcular el període sinòdic a partir de la taula de valors és ajustant una recta als punts mitjançant el mètode de mínims quadrats. Totes les calculadores modernes tenen aquest mètode implementat. Introduint-hi d'una manera adequada els valors de les taules ( $x$  = número del dia;  $y$  = graus de longitud), el programa de la calculadora donarà els valors de  $a$  (ordenada en l'origen),  $b$  (pendent) i  $r$  (índex de correlació) de la recta que passa a la distància mínima dels punts. Així tindrem la funció  $y = a + bx$  i podrem calcular el valor de  $x$  per a  $y = \pm 90^\circ$ . A partir d'aquí obtindrem el període sinòdic.

Els punts poden mostrar alguna dispersió. Una causa pot ser deguda als canvis en els moviments propis de la taca durant el temps d'observació. Una altra font d'error pot ser causada per les nostres pròpies mesures, especialment al nostre valor de  $r$ , ja que un error en aquesta variable afectarà cada punt de la gràfica. Assumint que hem fet les mesures de la millor manera possible, sempre hi

ha un límit de precisió donat per les distàncies més petites que es poden mesurar sobre la fotografia. Fixa't que la incertesa en  $\theta$  serà major quan  $\theta$  siga gran (és a dir, quan la taca estiga pròxima al limbe solar) que quan  $\theta$  siga petita (quan la taca estiga prop del centre del disc solar).

Figura 5: a) Una sèrie de fotografies diàries del Sol fetes del 4 al 15 de maig de 1948.

Figura 6: b) Una sèrie de fotografies diàries del Sol fetes del 4 al 15 de maig de 1948.