

# ELS ANELLS DE SATURN, RECU LL D'ACTIVITATS

Trini CADEF AU SURROCA<sup>1</sup>; M.A. CATALÀ POCH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IES Pere Borrell. Puigcerdà

<sup>2</sup> Departament d'Astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona

Paraules clau: *sistema solar, Saturn*

---

The rings of Saturn, a collection of activities

*Summary: Saturn has been known since antiquity and until the late eighteenth century it marked the boundary of the solar system. Since 1610 when Galileo discovered the peculiar form of Saturn and until 1977 it was thought to be the only planet of the solar system with a rings system. These are two good reasons to study Saturn and its rings in this year, 2009, declared the International Year of Astronomy. The aim is to present a collection of activities that can help us find the planet and its history.*

Key words: *solar system, Saturn (individual)*

---

## Òrbita geocèntrica de Saturn.

Els planetes semblen estels, però a diferència d'ells els veurem desplaçar-se sobre l'eclíptica d'oest a est i de vegades semblen tornar enrere (retrogradació), conseqüència del moviment de la Terra respecte del Sol.

Aquest moviment geocèntric d'un planeta es pot evidenciar i explicar fàcilment considerant el model de Copèrnic, el qual suposa que els planetes es mouen amb velocitat uniforme seguint òrbites circulars coplanàries, on el Sol és el centre.

Només ens caldrà conèixer la distància mitjana de la Terra i de Saturn al Sol i els respectius períodes del moviment de translació o períodes sideris. El procediment és el següent: Primer dibuixarem en un full de paper mil·límetrat o quadriculat, dos cercles concèntrics de radis proporcionals a la distància mitjana de la Terra i de Saturn al Sol. A continuació en els respectius cercles senyalarem el que avança la Terra i el que avança Saturn en el mateix període de temps: la Terra tarda un any en el seu moviment de translació, i Saturn tarda 29 anys i 167 dies, és a dir mentre la Terra gira 60°, Saturn tan sols en girarà 2°04 (Fig. 1). Sobre un full de paper vegetal es determina un punt que

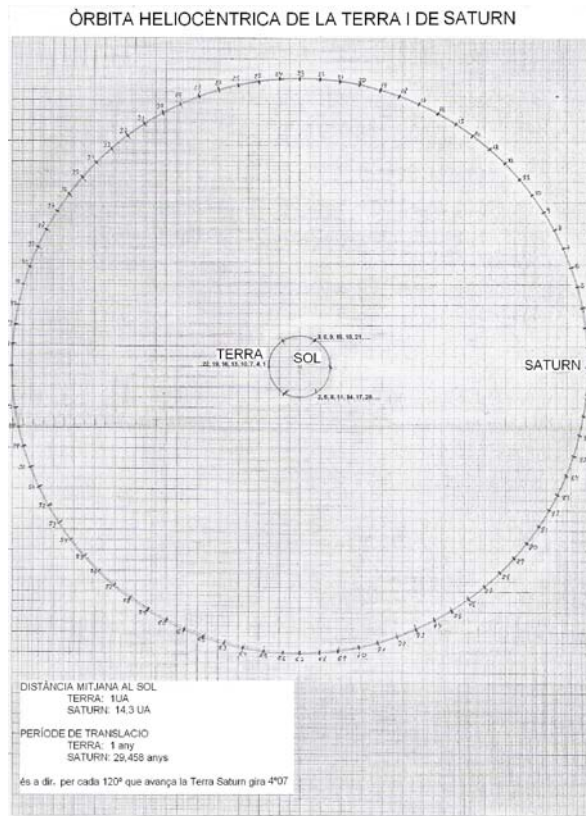


Fig. 1. Òrbita heliocèntrica de la Terra i de Saturn.

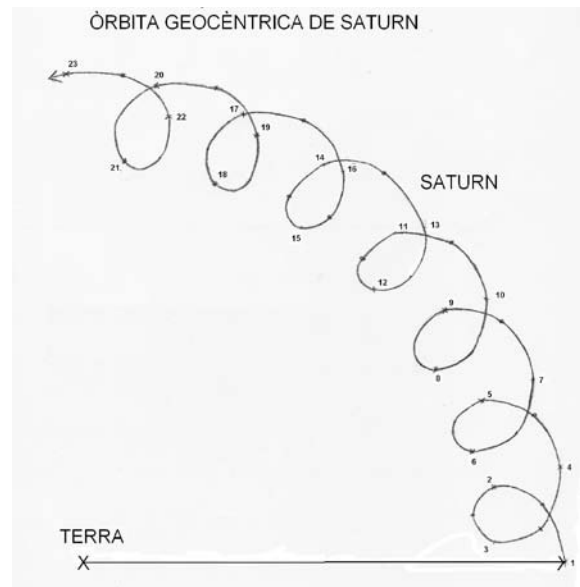


Fig. 2. Òrbita Geocèntrica de Saturn.

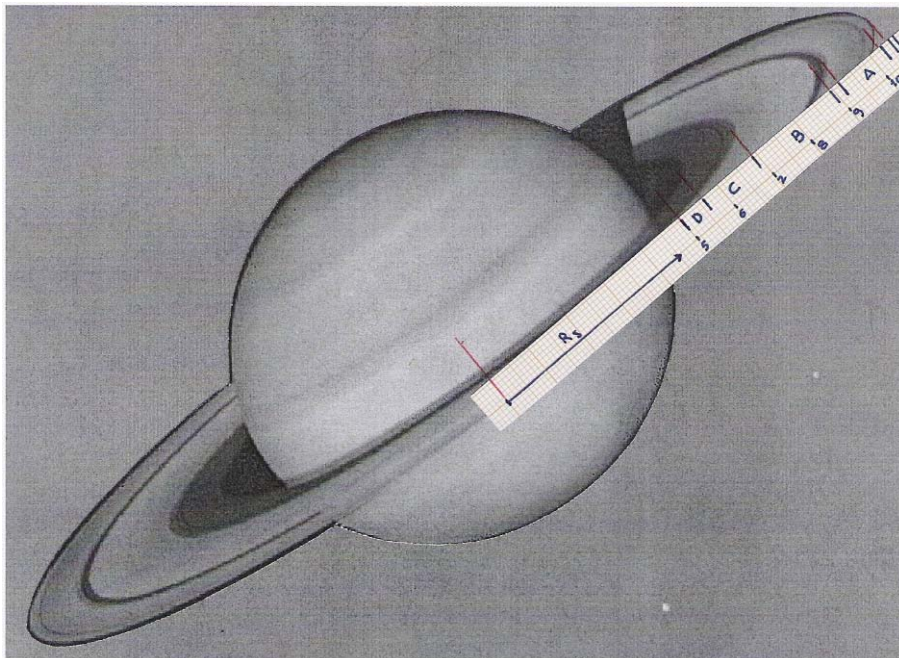
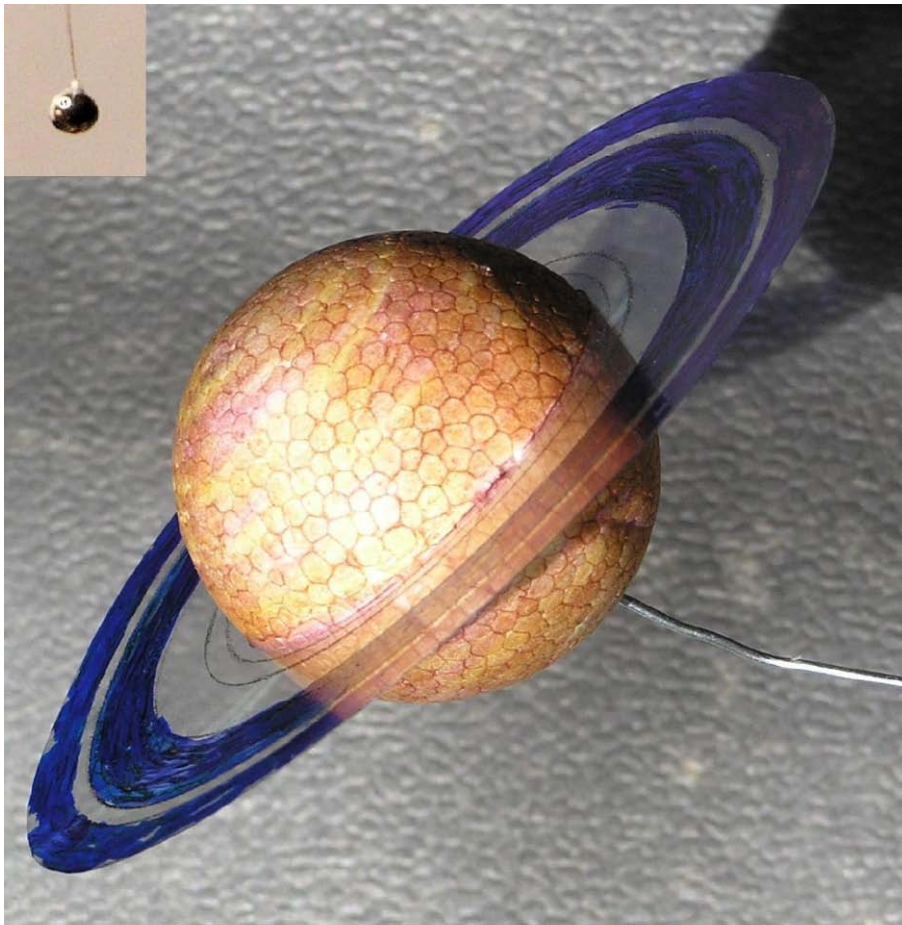


Fig. 3. Identificació dels anells de Saturn.

representarà el lloc on suposarem que està la Terra, superposant i desplaçant aquest punt per les diferents posicions de l'òrbita de la Terra i mantenint sempre la mateixa orientació del paper, anirem marcant sobre aquest els llocs on es troba Saturn. Unint aquests punts obtindrem l'òrbita geocèntrica de Saturn i veurem els bucles de la seva òrbita aparent, retrogradació (Fig. 2). Una altra opció seria fer alguna simulació informàtica, per exemple utilitzant *Interactive physics*.



Maqueta de Saturn i de la Terra

Fig. 4. Maqueta de Saturn i de la Terra.

### Identificar els anells de Saturn.

A partir d'una fotografia de Saturn, es pot identificar cada un dels seus anells i forats fent una proporció. Així tenint en compte que el radi de Saturn és 60000 km, si  $r$  és el valor del radi de Saturn en la fotografia mesurat en cm, i  $D$  és el radi real de l'anell en km, la distància des del centre de Saturn a cada anell en la fotografia,  $d$ , o radi interior o radi exterior de l'anell és:  $d = D \cdot (r/60000)$ . L'escala de la fotografia, serà  $1: 6/r \cdot 10^9$  (Fig. 3)

### Maqueta de Saturn.

Fer un model a escala de Saturn. Ens servirà per poder aconseguir una visió del que és Saturn i els seus anells, comprovar i explicar i/o entendre la metamorfosi de la seva aparença i comparar la seva grandària, per exemple amb la Terra.

Construirem la maqueta de Saturn amb una bala de porexpan o suro, per exemple de 4,4 cm de diàmetre, i una transparència. Pels anells, dibuixarem en un foli i proporcionalment els cercles que representen a la superfície i els límits dels anells principals (radis: 2,20, 2,45, 2,73, 3,37, 4,30, 4,47, 5,01 i 5,11 cm), a continuació farem una fotocòpia de l'esquema en la transparència. Retallarem o buidarem el cercle interior i traurem la part exterior. Després pintarem amb retoladors permanents o enganxarem material reflectant als "anells" que per últim, muntarem a la bala (Fig. 4).

En un lloc amb Sol, variant l'orientació de la maqueta de Saturn s'aconsegueix reproduir les diferents fases de la seva metamorfosi: els "anells" són invisibles quan els observem de cantó, a través

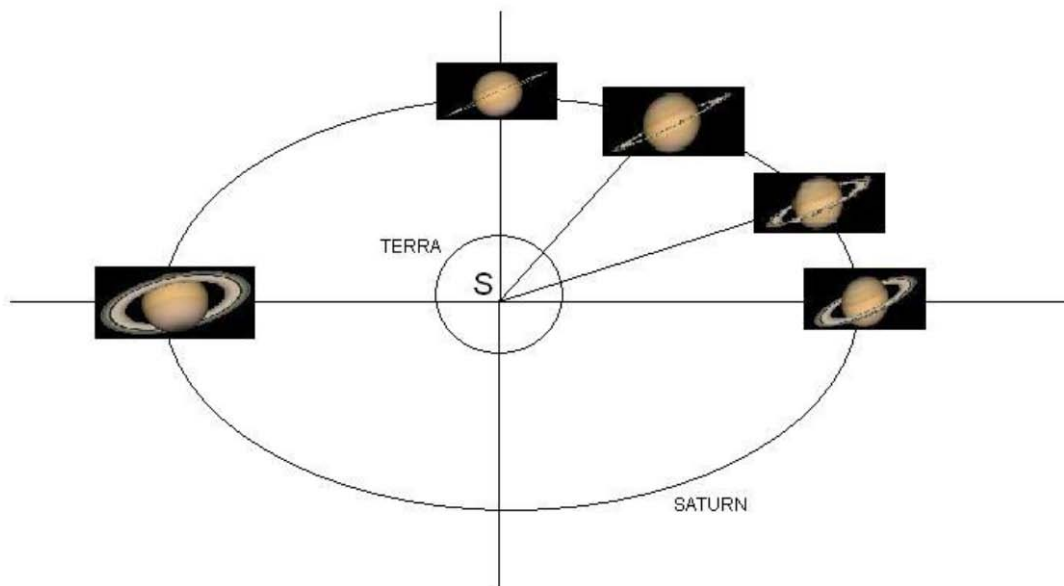


Fig. 5. Canvi de l'aparença de Saturn en un cicle.

dels anells es pot mig veure el contorn del planeta, es pot comprovar l'ombra del planeta sobre els anells o al revés dels anells sobre el planeta. És curiós observar l'ombra de la maqueta, s'aconsegueix evidenciar les primeres observacions: les nanses, els satèl·lits fixes, la forma d'oliva,... A aquesta escala la Terra seria una perleta de 4,4 mm de diàmetre.

### Canvi de l'aparença de Saturn en un cicle.

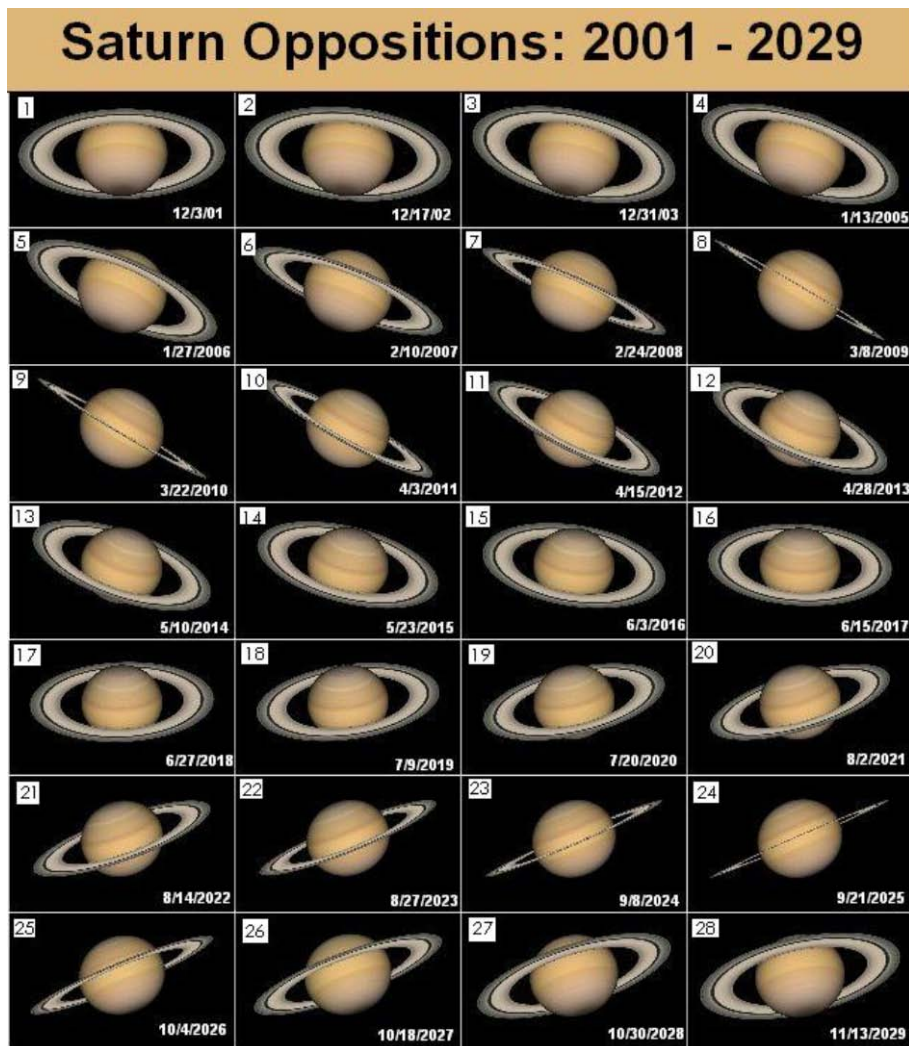
Fer un esquema de la metamorfosi de l'aspecte que ens presenta Saturn en variar la posició relativa a la Terra ja sigui dibuixant o generant imatges aprofitant les possibilitats que ofereix Internet o amb fotografies de la maqueta construïda (Fig. 5).

### Proporcions.

Fer una petita similitud amb objectes reals per adonar-nos més de les dimensions. Per exemple, a Puigcerdà (longitud: 42° 25' 54" N, latitud 1° 55' 42" E): Si Saturn és una bala de diàmetre el del campanar de Sta. Maria de la Sagristia de Puigcerdà, l'anell A arribaria a la façana de l'Hospital, l'anell E al plataner que hi ha entre la plaça de Sta. Maria i la plaça del Herois, i l'anell recentment descobert a una distància de 6 milions de quilòmetres de Saturn i que arriba a 12 milions de quilòmetres estaria més enllà del pont de S. Martí i per l'altre costat s'expediria des de la plaça de Dionis Puig fins el Camí dels Enamorats anant cap a S. Jaume de Rigolisa.

### Determinar l'aspecte de Saturn per a una data.

Si es té en compte la forma com se'ns presenta Saturn per una data determinada, es pot deduir l'aspecte que presentava o presentarà en una altra època. Només ens cal tenir en compte el dia julià de les dues dates i el període sideri de Saturn, fent la diferència entre els dos dies juliàns i dividint pel període expressat en dies, obtindrem el nombre de cicles que han passat, els quals expressarem en cicles i anys, d'aquesta manera ens quedarà determinat l'aspecte de Saturn.



Referència: Wikipedia

Fig. 6. Canvi d'aparença de Saturn.

Per exemple les observacions de Galileu: Galileu va descobrir "l'estranya forma", els anells de Saturn el 25 de juliol de 1610, dia julià 2309303,0, l'any 1612 van desaparèixer, i el desembre de 1616 el va tornar a observar i dibuixar amb molta precisió.

Si prenem com a referència l'última oposició de Saturn, que va ser el 8 de març de 2009, dia julià 2454898,5, que correspon a la imatge 8 (Fig. 6). Tindrem:

$$2454898,5 - 2309303,0 = 145595,5$$

$$145595,0 : 10759,529 = 13,5317 \text{ cicles} = 13 \text{ cicles } 15,66 \text{ anys}$$

On 10759,52917, és el període sideri de Saturn, 29 a 167 d 6,7 h, expressat en dies.

És a dir han passat 13 cicles i 15,664 anys, o equivalentment tindrien de passar uns 13,794 anys d'una oposició similar a la d'aquest any 2009, per tant l'aspecte de Saturn el 25 de juliol de 1610 seria similar al que tenia el dia 8-9 de juliol de 1993 o al que tindrà el dia 21-22 de desembre de 2022; el 1612 van "desaparèixer" com l'any 1995 o com ho faran l'any 2024, i el desembre de 1616 l'aspecte seria similar al que presentava el desembre de 1999 o que tindrà el juny de l'any 2028.



Fig. 7. Comparació de les observacions de Galileu amb imatges actuals de Saturn.

Notem el gran observador que era Galileu comparant les figures que va dibuixar, i l'aspecte que devia presentar Saturn utilitzant fotografies actuals (Fig. 7).

Els mateixos resultats s'obtidrien utilitzant la representació gràfica de la variació de la inclinació aparent en funció del temps durant un cicle.

### Calcular la fase de la Lluna quan Galileu va observar per primera vegada els anells de Saturn.

Quan observem el cel de nit, un dels factors que influeix notablement és la fase en que es troba la Lluna.

A part de ser una curiositat ens permet parlar del nostre calendari i introduir els termes: número d'or, lletra dominical i epacta, poc coneguts i que intervenen en el seu còmput.

Per l'any 1610, el nombre d'or és 15, la lletra dominical C i l'epacta 2.

L'edat de la Lluna el 25 de juliol de 1610 (Cadefau & Català, 2002: 233-237), és:

$$\text{Edat de la lluna} = \text{epacta} + \text{mes (des de març inclòs)} + \text{dies que té el mes}$$

$$\text{Edat de la lluna (25/7/1610)} = 2 + 5 + 25 = 32$$

Una llunació són 29 dies, per tant la Lluna tenia 3 dies (32-29), i faltaven 4-5 dies pel quart creixent

### Inclinació de Saturn.

L'òrbita de Saturn està inclinada 2° respecte de l'eclíptica. Els anells de Saturn envolten l'equador del planeta, i l'eix de rotació de Saturn, està inclinat uns 27°, això fa que la seva aparença variï amb el temps, i ens proporciona una eina per determinar la inclinació aparent de l'eix de rotació de Saturn. Via Internet es pot aconseguir (ja sigui amb programes informàtics) la reproducció de l'aspecte de Saturn al llarg d'un cicle, la qual cosa ens permet conèixer la inclinació aparent i així podrem: Primer obtenir la representació gràfica d'aquesta inclinació aparent durant un cicle en funció del temps, i segon situar una fotografia o dibuix de Saturn en un punt del gràfic i preveure quina serà (o ha estat) l'evolució de l'aspecte de Saturn.

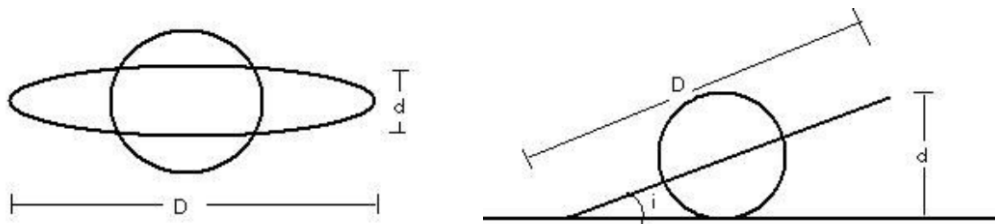


Fig 8. Càlcul de la inclinació aparent de Saturn.

La fotografia es pot proporcionar directament a l'alumne, o bé es pot utilitzar un generador d'imatges de Saturn (per exemple la web de Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology , NASA- JPL Solar System Simulator <http://space.jpl.nasa.gov> proporciona imatges des de l'any 1990 al 2025 )

En general per qualsevol imatge podem qüestionar-nos quan desapareixeran els anells de Saturn, o quin serà el seu aspecte dintre uns anys. També podem utilitzar el dibuix de l'observació de Galileu de l'any 1616... és possible que l'any 1612 desaparegués.. o que l'any 1610 semblessin “dos satèl·lits immòbils”

La inclinació de l'eix de rotació de Saturn la calcularem a partir del aplanament dels anells ja que aquests estan situats en el pla de l'equador.

Es dedueix (Fig. 8) (Broman, 1993: 80):

$$\sin i = d/D \quad i = \arcsin (d/D)$$

On  $i$  és la inclinació,  $d$  és l'amplada dels anells en la fotografia, i  $D$  és la llargada dels anells en la fotografia

Si utilitzem la Fig. 6 sobre les oposicions de Saturn, apartat 6, s'obtenen les Fig. 9 i 10:

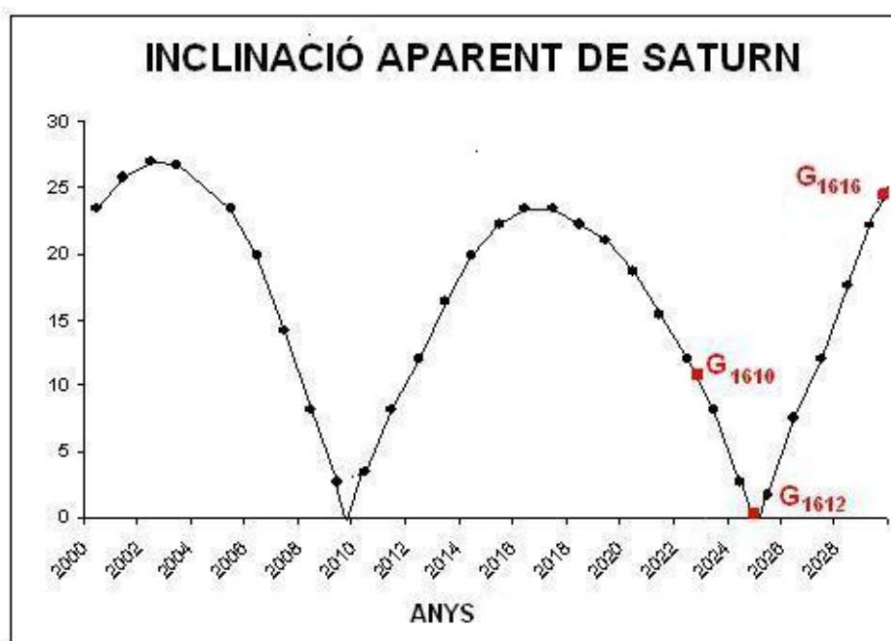


Fig. 9. Inclinació aparent de Saturn.

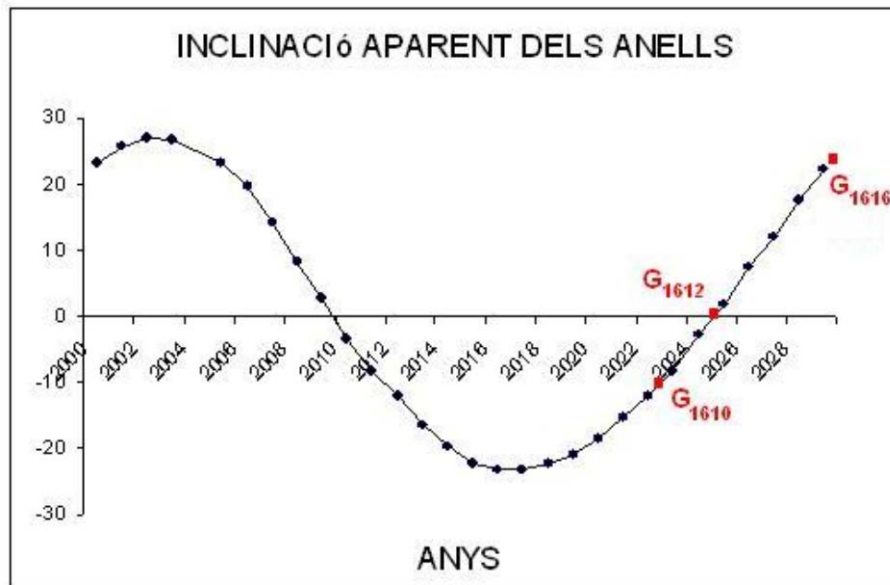


Fig. 10. Inclinació aparent dels anells de Saturn.

Si tenim en compte les observacions de Galileu:

El 30 de juliol de 1610, des de Pàdua, Galileu comunicava a Belisario Vinta a Florència, que el 25 d'aquell mes havia començat a observar els satèl·lits de Júpiter i havia descobert “..una altra estranya meravella.....”:

“... Saturn no és una sola sinó un compost de tres que quasi es toquen però que mai entre si es mouen o canvien i estan posades en fila segons la longitud del zodíac, sent la del mig tres vegades més gran que les altres dos laterals i estan situades d'aquesta forma oOo...” (Favaro, 1891: 410-411)

Podem fer una estimació de la inclinació aparent dels anells, en aquest cas si  $a$  és el diàmetre de Saturn, tindrem:

$$d = a\beta, \quad \text{i} \quad D = 2a\beta + a = 5a\beta$$

d'on en resulta

$$\sin i = 1/5$$

Per tant, la inclinació serà  $i = 11^\circ 53'$ . Per l'observació de 1616, mesurant trobem que el valor de  $d$  és 1,1 cm quan el valor de  $D$  és 2,3 cm que donarà un valor de la inclinació aparent de  $25^\circ 6'$ . En els gràfics (Fig. 9 i 10) correspondrien als punts senyalats, coincidint amb els resultats de l'apartat 6. Resultats que vindrien a corroborar el gran observador que era Galileu i la precisió de les seves observacions.

### Els satèl·lits de Saturn.

Saturn actualment té uns 62 satèl·lits reconeguts, per tant caldria limitar l'estudi als més importants o curiosos, Pan, Atlas, Prometheus, Pandora, Epimetheus, Janus, Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Titan, Hyperion, Iapetus, Phoebe. La proposta és fer un esquema que mostri la



situació d'aquests satèl·lits, veure la seva disposició respecte dels anells, i la connexió entre uns i altres (fenòmens de ressonància, satèl·lits "pastors", satèl·lits co-orbitals...) , que permetrà explicar breument la complexitat dels anells de Saturn. Per altra part, els satèl·lits de Saturn són molt diferents uns dels altres i tenen unes característiques pròpies , es interessant comparar-los tan pel que fa a grandàries com el seu aspecte i trets més importants (Cadefau & Catala, 2009).

### Estudi d'algunes peculiaritats de Saturn.

Hi ha propietats físiques del planeta que destaquen unes perquè són molt diferents a les de la Terra, i d'altres per la seva similitud. En particular ressaltaríem:

**DENSITAT.** la densitat mitjana de Saturn és de  $690 \text{ kg/dm}^3$  , molt baixa. La de la Terra és  $5,5 \text{ kg/dm}^3$ ... Té sentit que alguns autors diguin "en un mar prou gran Saturn suraria"? Quins materials coneixem que tinguin aquestes densitats o valors propers?

**GRAVETAT.** La gravetat de Saturn és  $9,1 \text{ m/s}^2$ , similar a la de la Terra que és  $9,8 \text{ m/s}^2$ . A una distància de 60000 km (radi de Saturn) del centre de la Terra quina seria la gravetat? Com s'explicaria? Hi ha cap lloc proper a Saturn que tingui una gravetat de  $9,8 \text{ m/s}^2$ ?

**MASSA.** Quina relació hi ha entre la massa de Saturn i la de la Terra? Proporcionalment Saturn és molt més gran que la Terra; quina és la relació entre les grandàries?

Estudiar i informar-se de que és i que representa el límit de Roche, els fenòmens de ressonància... i que tenen a veure amb els anells de Saturn... També es poden plantejar algunes qüestions, per exemple: Trobar el valor del límit de Roche per a una determinada densitat, o acotar el seu valor. A partir de la llei de gravitació universal, calcular amb quina velocitat mínima s'hauria de moure una partícula que es trobés en l'anell A, per no caure cap el planeta... Quina seria la diferència de velocitat amb una altra de l'anell B... Calcular la velocitat després de xocar dos hipotètiques partícules...

### Història dels anells de Saturn.

El coneixement dels anells de Saturn està lligat a Galileu, Hevelius, Odierna, Huygens, Cassini, Herschel, Laplace, Bond, Maxwell, Kirkwood, Struve, Roche ,Sechi, Keeler... Per ajudar a situar l'alumne val la pena buscar informació i fer un fris cronològic. Això permetrà que compregui millor la transformació gradual del coneixement dels anells. Per altra banda es disposa de dos documents que ens parlen de Saturn i els seus anells:

- *Éléments d'Astronomie* (Rion, 1851) i
- La revista de divulgació: *Alrededor del mundo*, de data 19 d'abril de 1915, publicava l'article "Las rarezas de Saturno, su història y la de sus anillos".<sup>1</sup>

En aquesta activitat es proposa que l'alumne els analitzi:

- Llegir els documents i fer-ne una primera valoració.
- Analitzar-los: 1. Situar els documents en el fris cronològic. 2. Les dades que apareixen continuen sent vàlides? com han canviat? 3. Les idees que s'expliquen reflecteixen el coneixement de l'època? què pressuposen? com han evolucionat? 4. Respecte els coneixements actuals, quins es desconeixien? Quan varen ser incorporats? 5. Analitzar qüestions més concretes. Per ex: sobre els anells: De quants anells parla el document?

---

<sup>1</sup> Núm. 829, 315-316.

Tenen nom? Quina característica o quina naturalesa es pressuposa que tenen els anells? S'explica alguna hipòtesi sobre el seu origen? 6. Fer taules comparatives de valors tan del propi planeta com del seu sistema d'anells, per exemple: grandària, gruix, nombre d'anells, nombre satèl·lits...

## Bibliografia

BROMAN, L. I. *et al.* (1993), *Experimentos de Astronomia*, Madrid, Alhambra-Longman.

CADEFAU-SURROCA, T.; CATALÀ-POCH, M.A. (2002), «1819: Un manuscrit curiós», A: BATLLÓ, J.; BERNAT, P.; PUIG, R. (eds.), *Actes de la VI trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, SCHCT-IEC, 233-237.

CADEFAU-SURROCA, T.; CATALÀ-POCH, M.A. (2009), «Saturn», *Actes de la III Jornada d'Història de l'Astronomia i de la Meteorologia*, Vic, SCHCT-IEC (pendent de publicació).

FAVARO, A. (1891-1909), *Le opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale*, Firenze, Barbera, X, 410-411.

RION, A. (1851), *Éléments d'Astronomie*, Paris, Blondeau, 61-64.