

# SATURN

T. CADEFAU 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*

---

*Summary: Known since ancient times, the image that identifies Saturn is a planet surrounded by a ring system, a particular feature that characterizes it though it isn't the only planet that has it. At the end of July of 1610, when Galileo turned his telescope towards Saturn for the first time, he described it as a triple planet. Saturn gains prominence, its history and especially the history of its ring system during these four hundred years, has been related to the quality of the instruments of observation. We present a collection of history of these rings.*

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

---

## Història de Saturn

El 25 de juliol de 1610, Galileu va descobrir la llavors insòlita forma de Saturn que qualificà com «...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...». Es convertí així en la primera persona que observava els anells de Saturn.

Galileu va veure Saturn com un disc acompanyat d'uns altres dos discos més petits i situats un a cada costat, i va pensar que eren satèl·lits, els satèl·lits un dia per altre no es movien. Dos anys més tard observa Saturn solitari. El 1916, Galileu tornà a observar Saturn, els anells tornaven a ser visibles.

Durant la primera època els canvis en l'aparença de Saturn eren observats amb curiositat, i fou a finals de la primera meitat del segle XVII quan se sistematitzaren aquestes observacions. Al principi, els «afegits» de Saturn s'interpretaven com satèl·lits o com «nanses», preocupava la seva configuració, la periodicitat del canvi d'aparença i les seves causes.

L'any 1656, Johannes Hevelius publica la periodicitat correcta del fenomen i ho explica postulant un cos oval amb nanses; ara bé, segons Caramuel el primer en establir el període de la metamorfosi de Saturn és Odierna, i tot seguit Hevelius, que amb culta prosa i elegants làmines confirma en gran part el que havia dit Odierna (Rosselló Botey, 2000: 270). Odierna suggereix l'any 1657 que Saturn té una

forma oval amb quatre taques fosques a sobre, de manera que la forma esfèrica es veu quan l'eix gran està dirigit cap a la Terra, i la forma el·líptica, quan el veiem longitudinalment. El 1658 Christopher Wren argumentava una corona lligada a Saturn, on el planeta i la corona giraven lliurement al voltant de l'eix gran de la corona. Wren creia que la corona tenia una estructura fluida causada per emanacions de vapor de la zona equatorial o «tòrrida» del planeta. Gilles Personne de Roberval considerava Saturn com a esfèric i que qualsevol canvi en la seva aparença estava provocat per una capa de vapors generats per Saturn.

L'any 1655 Christian Huygens va descobrir el primer satèl·lit de Saturn, Tità, i el 1656 comunicava amb un anagrama la seva teoria d'un anell envoltant el planeta, que es va publicar l'any 1659, el *Systema Saturnium*; Huygens argumentava un únic anell sòlid, de gruix perceptible i amb una inclinació respecte al pla orbital de Saturn. Suposava que l'anell era invisible perquè absorbia tota la llum o perquè era tan fi que reflectia poc la llum del Sol. La predicció donada en el *Systema Saturnium* per l'oposició de 1671 va ser raonadament correcta, consegüentment la teoria de l'anell de Huygens podia explicar el canvi d'aparença de Saturn. A *Cosmotheorus* (1696), obra pòstuma, assignava a l'anell un gruix de 600 milles germanes, més de 2.500 milles angleses (Van Helden, 1984: 30-31) (uns 4.000 km).

L'any 1671 l'anell de Saturn era un fet científic.

Giordano Domenico Cassini va descobrir quatre satèl·lits de Saturn: Iapetus l'any 1671, Rhea el 1672, i Tethys i Dione el 1684. L'any 1675, Cassini va trobar que la part interna de l'anell, més brillant, estava separada de la part externa, menys brillant, per una banda negra que va interpretar com un forat, és a dir: hi havia dos anells. Christopher Wren, l'any 1702, proposà un anell de Saturn format per un gran nombre de petites llunes que envoltaven el planeta i que a causa del seu ràpid moviment semblaven un cos sòlid. William Herschel va observar la zona fosca descoberta per Cassini a una i altra banda de l'anell, abans i després de l'oposició de l'any 1789. D'aquesta manera es confirmava l'existència d'una divisió en l'anell de Saturn. L'any 1782, el mateix Herschel va descobrir dos satèl·lits nous de Saturn: Enceslaus i Mimas.

A finals del segle XVIII, Saturn tenia set satèl·lits i un sistema de dos anells separats per la divisió de Cassini.

Per altra part, durant el segle XVII els descobriments sobre la gravitació, el telescopi reflector i les teories sobre l'òptica d'Isaac Newton van revolucionar l'astronomia, la física i les matemàtiques. Cal destacar les aportacions en el camp de l'astronomia de Leonard Euler, Claude Clairaut, Jean le Rond d'Alembert, Jean Louis Lagrange i Pierre Simon Laplace, tots ells seguidors de Newton. Laplace l'any 1796, a *Exposition du Systeme du monde*, que tractava sobre l'origen i la formació del sistema solar, hi explicà la seva hipòtesi de la nebulosa, segons la qual la formació dels planetes hauria tingut lloc per refredament i contracció de la matèria que donaria pas a la formació dels anells, de manera semblant a la que s'observa en el sistema de Saturn, i d'on posteriorment en resultarien els satèl·lits. També estudiava l'estabilitat dels anells de Saturn, que per ell representarien un cas únic de material nebular solidificat. Laplace creia que el sistema d'anells de Saturn estaria format per un gran nombre d'anells sòlids, prims, concèntrics i irregulars en amplada i densitat, de manera que el seus centres de gravetat no coincidirien amb els seus centres geomètrics, sinó que aquests centres podrien representar-se per satèl·lits; consegüentment la divisió de Cassini no podia ser única.

El 1825 Henry Kater va veure tres divisions en l'anell A, la del mig molt més àmplia que les altres dues; i Johann Enke, director de l'Observatori de Berlín, va observar una banda fosca en l'anell que coincidia amb la divisió reclamada per Kater. L'existència del forat, ara coneguda com la divisió d'Enke, va ser ràpidament verificada per altres observadors. Johan Galle el 1837 va observar que la part interior de l'anell de Saturn no estava clarament definida; per altra part, William Cranch Bond i George Phillips Bond, pare i fill, el 1850 van veure una banda fosca; Charles W. Tuttle, el seu ajudant, va suggerir que podria ser deguda a un altre anell fosc a l'interior de l'anell B. Paral·lelament, William R.

Daves, independentment, quinze dies més tard arribà a la mateixa conclusió (Leverington, 1996: 73). Se l'anomenà l'anell fosc o de crepè.

El 1849, Edouard Roche tornà a examinar la constitució dels anells i va arribar a la conclusió que podia tractar-se d'un satèl·lit de Saturn que, en apropar-se al planeta, s'havia trencat o esmicolat a causa de les forces de marea, formant així el sistema d'anells. Va calcular el límit o distància a partir de la qual un objecte que orbités al voltant d'un planeta en apropar-se a aquest s'esmicolaria a causa de les tensions provocades per les forces de marea (límit de Roche).

L'any 1852 diversos observadors explicaven que el contorn del planeta es podia veure a través de l'anell C; la teoria de Laplace d'anells sòlids perdia consistència. L'any 1857 James Clerk Maxwell explicà que el sistema d'anells només podria ser estable si estava format per corpuscles cada un dels quals descrivís al voltant del planeta una òrbita pròpia, com si fossin una gran quantitat de petits satèl·lits. Els diversos anells no tindrien períodes de rotació determinats, ja que cada corpuscle que els constitueix obeiria pel seu compte la tercera llei de Kepler, i per tant les partícules més allunyades de Saturn es mourien més lentament que les més properes, que ho farien més ràpid. Aquests corpuscles haurien d'ésser molt nombrosos, ja que apareixien com un tot continu que reflecteix cap a nosaltres la llum solar.

A mitjan segle XIX hi ha dos fets que obren una nova línia d'investigació: la fotografia i la seva utilització per estudiar el cel, i l'anàlisi espectral i la seva aplicació a la investigació de la constitució física dels cossos celestes; s'inicia l'astrofísica.

Angelo Secchi (1818-1878), jesuïta, fou el primer a analitzar amb un espectroscopi la llum dels estels, i observant Saturn i el seu anell trobà les seves dimensions i determinà la intensitat lluminosa en les diferents zones. Observà que l'anell intern de Saturn era nebulós i va ser el primer en afirmar que la seva superfície no era plana, va determinar també la magnitud aparent del disc, l'aixafament i l'excentricitat del sistema d'anells. Va demostrar que l'espectre de Saturn tenia, a part de ratlles que testimoniaven la presència de vapor d'aigua, altres zones característiques, especialment cap al vermell, que li van fer concloure que la seva atmosfera no estava «encara purgada i tenia elements diferents a la nostra» (Abetti, 1980: 233).

L'opinió que els anells estaven formats per partícules quedà establerta a partir de 1859, però faltava explicar les divisions observades en l'anell, o zones que correspondrien a regions de baixa densitat o buides de partícules.

L'any 1866 Kirkwood va explicar les divisions d'Enke i de Cassini en els anells com a conseqüència de les perturbacions dels satèl·lits més interns de Saturn. Assenyalà que a una hipotètica partícula situada sobre la divisió de Cassini li correspondria un període de translació aproximadament igual a la tercera part del període d'Enceladus, la meitat de Mimas i la quarta part de Tetis; l'acció combinada dels tres satèl·lits provocaria que amb el temps la partícula en qüestió fos desplaçada fora de la seva òrbita, és a dir que fos apartada de la divisió de Cassini (fenòmens de ressonància orbital). Per altra part, la divisió d'Enke correspondria a un període orbital de 3/5 de Mimas.

L'any 1865 Richard Proctor va presentar una explicació més completa de la naturalesa dels anells: l'anell C seria relativament fosc, perquè la densitat de les partícules era més baixa que en les parts brillants del sistema d'anells; igualment, les bandes fosques temporals serien anells amb baixa densitat de les partícules, no forats reals, que s'explicarien com a conseqüència de les col·lisions entre partícules, o de perturbacions causades pels satèl·lits, o fins i tot per altres planetes. Gustav Müller i Paul Kemp l'any 1893 van mostrar que els anells estaven formats per partícules utilitzant un fotòmetre (Leverington, 1996: 75). Dos anys més tard, el 1895, James E. Keeler i Deslandres analitzaren la inclinació que presentaven les línies d'absorció de l'espectre de l'anell i, tenint en compte l'efecte Doppler-Fizeau, van provar que l'extrem de l'anell extern de Saturn girava més lentament que l'extrem intern, sent les velocitats inversament proporcionals a l'arrel quadrada de la seva distància al centre de Saturn, fet que demostrava que l'anell no podia estar constituït per matèria contínua.

A finals del segle XIX es designaren els anells amb les lletres A, B i C. Durant la segona dècada del segle XX, la naturalesa del sistema d'anells de densitat variable, formats per partícules, va conduir a una transparència dels anells, inclosos els anells A i B. El 1917 M. A. Ainslie i J. Knigh van observar l'ocultació per Saturn d'una estrella de magnitud 7, i les fluctuacions de la seva brillantor a través de l'anell A mostraren que aquest no era uniforme. L'any 1923 Bernard Lyot, a partir de l'anàlisi de la llum polaritzada, va deduir algunes dades sobre l'atmosfera del planeta i la constitució dels seus anells. Amb les fotografies de V. M. Slipher i Wildt es va poder comprovar l'existència d'amoníac i de metà, i Dunhan l'any 1933 va confirmar aquests resultats.

A mitjan segle XIX, quan els anells es van veure de cantó, comparant el seu gruix amb el diàmetre d'Hiperion es trobà que aquest no arribava a 300 km, per tant els anells eren realment prims. A principis del segle XX ja s'estimava que el gruix dels anells de Saturn era d'uns 15 km; l'any 1966 Adouin Dollfus va calcular un gruix de tan sols 2,4 km, i l'any 1982 s'estimava en 1 km (Pollack & Cuzzi, 1982: 47). L'any 1966, Walter Feibleman va descobrir en una fotografia de Saturn un nou anell, molt tènue, que s'estenia des de l'anell A fins a l'òrbita de Dione; posteriorment, l'any 1980 s'ampliava el seu abast fins a l'òrbita de Rhea i se l'anomenà anell E. Tres anys més tard, el 1969, Pierre Guerin va comunicar que havia descobert un nou anell molt fluix que envoltava el planeta i era interior a l'anell C. Tot i que l'existència d'aquest anell (anell D) fou confirmada anys més tard pels Voyager, es qüestiona que Guerin el veiés, ja que és molt feble per poder-se distingir des de la Terra (Leverington, 1996: 76).

A partir de la segona meitat del segle XX començava l'exploració de l'espai: el 1979 el Pioneer 11 descobreix l'anell F i confirma l'anell E. Els anys 1980 i 1981 el Voyager 1 i el Voyager 2 van mostrar que els problemes dinàmics de l'estructura dels anells de Saturn són molt més complicats: es descobreix l'anell G, s'observen les «estructures radials» (*spokes*) sobre l'anell B, l'anell F apareix trenat i amb nusos, i es confirma l'anell D. Les dades de la sonda espacial Cassini han mostrat que els anells tenen una lleugera atmosfera d'oxigen molecular (producte de les molècules d'aigua gelada atrapades i la llum solar ultraviolada). En aquests últims nou anys el nombre de satèl·lits ha passat de 18 a 62..., i el 6 d'octubre de 2009 la NASA comunicava que el telescopi espacial Spitzer havia detectat un gran anell nou molt feble a una distància de 6 milions de quilòmetres i inclinat uns 27° respecte al pla dels anells principals.

## Característiques de Saturn

Saturn és el sisè planeta del sistema solar i el segon en grandària; conegut des de l'antiguitat, fins a finals del segle XVIII marcava el límit del sistema solar. La seva distància al Sol varia des d'unes 9 UA en el periheli fins a unes 10,06 UA en l'afeli. L'òrbita està lleugerament inclinada respecte de l'eclíptica, 2° 29', i la seva excentricitat és de 0,05415. La revolució sidèria és de 29 anys 167 dies i 6,7 h i la sinòdica, de 378,1 dies, aquesta última marca les oposicions. El planeta no és totalment esfèric, sinó que està lleugerament aplanat pels pols com a conseqüència de la seva naturalesa fluida i de la rotació; el diàmetre polar és de 108.728 km i l'equatorial, de 120.536 km; la relació entre els dos és de 0,902. La seva densitat és molt baixa, 690 kg/m<sup>3</sup>, i per tant encara que la seva grandària és unes 740 vegades la de la Terra, la massa del planeta tan sols és 95 vegades la massa de la Terra. El període de rotació equatorial és aproximadament 10 h 14 min i la inclinació de l'eix de rotació és de 26° 44'.

Des de l'any 1610, quan Galileu va descobrir la peculiar forma de Saturn, fins a l'any 1977 es creia que Saturn era l'únic planeta del sistema solar amb un sistema d'anells.

El 1977, i casualment, un grup d'astrònoms observant una ocultació per Urà van descobrir que aquest també estava envoltat per un sistema d'anells. El 1979 la nau Voyager 1 va descobrir al voltant de Júpiter un fi anell, i l'any 1989 el Voyager 2 va fotografiar trossos d'anell que envoltaven Neptú.

Els anells són sistemes dinàmics constituïts per innumerables partícules de gel i roca que interaccionen entre si; la seva estructura està determinada pel seu origen i els processos dinàmics entre partícules, i aquests dependran de la seva grandària, els efectes gravitatoris de satèl·lits i del mateix planeta, els processos electromagnètics i la radiació.

Els anells de Saturn estan situats gairebé en el pla del seu equador, i el seu gruix de pocs metres contrasta amb la seva extensió. En els equinoccis el Sol està alineat amb Saturn, des de la Terra els anells es veuen de costat i en ser tan prims no es distingeixen; la llum del Sol arriba rasant i tan sols il·lumina el cantó dels anells. A mesura que Saturn avança cap al periheli (o cap a l'afeli) la llum del Sol progressivament va il·luminant millor la cara nord (o sud) dels anells, que s'aniran obrint fins que, quan el planeta arriba al periheli (o a l'afeli), l'envoltaran; llavors des de la Terra veurem els anells per sobre (o per sota). Quan el planeta es torna a dirigir cap a l'equinocci, els anells es van estrenyent fins que quan hi arriba tornen a desaparèixer. Tampoc no podem veure els anells abans o després de l'equinocci, quan la Terra travessa el seu pla.

En el sistema d'anells de Saturn hi ha set zones principals, que anomenem per una lletra la qual només indica l'ordre en què es van descobrir, i són, segons la seva proximitat a Saturn: D, C, B, A, F, G i E. Estan separades entre si per espais gairebé buits o per canvis en la densitat de la distribució de partícules.

En el sistema d'anells de Saturn podem diferenciar dos grups: el primer, o anells principals, agrupa els anells A, B i C. Els anells A i B són els més densos de Saturn, amb prou feines un 2 % de la llum que hi arriba pot travessar-los, i la grandària de les partícules varia des de pocs centímetres fins a alguns metres. Aquestes, per estar molt properes, xoquen amb freqüència i això provoca una pèrdua d'energia, un augment de les deixalles i una redistribució de la velocitat de translació. Atès que les partícules més properes al planeta es mouen més ràpid que les més allunyades, les topades frenen les primeres i acceleren les segones, i en conseqüència els anells tindran tendència a aplanar-se. L'anell C, menys dens que els anells A i B, està format per material de color més fosc. L'extensió d'aquests tres anells és d'uns 62.000 km, inclosa l'amplada de la divisió de Cassini (4.700 km) situada entre l'anell A i B, contrasta amb el seu gruix, el qual varia des d'uns 5 m en l'anell C fins a uns 30 m màxims en l'anell A.

El segon grup, o anells de pols, inclou els anells D, G i E. En aquests la grandària de les partícules seria de l'ordre de les mil·lèsimes de mil·límetre. En ser partícules tan petites i estar tan separades difícilment xoquen, per tant no tindran tendència a formar anells plans i la seva dinàmica es veurà influenciada també per les forces electromagnètiques i la radiació. L'anell D és interior al C i té una amplada de 7.500 km; els anells G i E, més enllà de l'anell F, tenen unes amplades de 8.000 i 300.000 km respectivament. L'anell F està situat a continuació de l'anell A i separat d'aquest per la divisió de Roche; estaria entre els dos grups ja que conté alguna part més densa i alguna altra amb pols, és un anell estret l'amplada del qual varia de 30 a 500 km.

Els anells no són sistemes estables, ja que amb el temps tenen tendència a caure cap als planetes a causa de la radiació, la gravetat i els impactes. És a dir, cal algun mecanisme que proporcioni matèria a aquests anells, sinó desapareixerien. Aquests mecanismes podrien ser: les deixalles rocoses després d'una col·lisió o impacte; l'activitat volcànica d'alguns satèl·lits; les restes de llunes o cometes esmicolades per ser properes al límit de Roche, i la limitada grandària de l'aglomeració de matèria prop del planeta (Pollack & Cuzzi, 1982).

Saturn té actualment 62 satèl·lits, fins a mitjan segle xx només se li'n reconeixien 9: Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Tita, Hyperion, Iapetus i Phoebe; a finals del segle xx el nombre de satèl·lits havia augmentat fins a 18.

En general els satèl·lits més propers de Saturn giren de forma sincrònica, la seva òrbita és quasi circular i està pràcticament en el pla equatorial, característiques que no s'observen en els altres satèl·lits més allunyats i en els quals predominen les òrbites retrògrades i més excèntriques. Tità té una

atmosfera densa, Iapetus presenta una cara blanca i l'altra és negra i Enceladus és el cos més reflector del sistema solar i sembla que és qui proveeix la matèria a l'anell E. Atlas, el satèl·lit més interior, és allargat, està situat just a l'extrem extern de l'anell A i es creu que el seu camp gravitatori contribueix a modelar aquest anell. Entre Prometheus i Pandora hi ha l'anell F, se'ls anomena satèl·lits pastors perquè els seus camps gravitatoris són la causa d'aquest anell. Janus i Epimetheus són co-orbitals, és a dir són molt propers, i això provoca que els dos satèl·lits intercanviïn els seus llocs com a resultat de la mútua atracció gravitatòria, i Telesto, Helena i Calisto són els primers satèl·lits lagrangians coneguts, ja que els llocs que ocupen són punts d'estabilitat dinàmica, anomenats punts de Lagrange (Soderblom & Johnson, 1982).

## Alguns textos sobre Saturn

La transformació gradual del coneixement sobre Saturn s'evidencia quan es contrasten escrits de diferents èpoques:

**1. Tradició i canvi científic en l'astronomia espanyola del segle XVII, de Victòria Rosselló Botey.** Hi trobem tres autors, Saragossà, Caramuel i Tramonte, que parlen de Saturn. Correspon a la primera etapa dels anells, i comentem l'estudi molt breument:

*Bernart Josep Saragossà i Vilanova (1627-1679)* recull i sintetitza els coneixements tradicionals i es preocupa per difondre els nous. Assumeix que els anells de Saturn són prolongacions o satèl·lits del planeta, explica que Galileu l'observa amb forma d'ou amb dues taques menys lluminoses, i que molts altres autors afirmen que es tracta de dos satèl·lits que se situen a la dreta i a l'esquerra del planeta respectivament. Algunes vegades s'amaguen i Saturn es veu circular, i quan estan suficientment allunyats es diferencien en tres (Rosselló Botey, 2000: 161).

*Alexandre Tramonte* fa una valoració del diàmetre aparent i de la distància a Saturn, i també parla dels seus «3» satèl·lits (2 fan referència als anells i el tercer seria un vertader satèl·lit) (Rosselló Botey, 2000: 291).

*Juan Caramuel Lobkowitz (1606-1682)* estava obert a noves tendències. La seva obra comprèn diverses temàtiques i hi ha diversos escrits sobre astronomia. Recull en una làmina diverses observacions de l'aspecte de Saturn de diferents observadors: Rheita, Huygens, Gassendi, Pironi, Odierna, Vendelinus, Hevelius, Piatti, Boullian, Sheiner, Riccoli, Eustachio Divinis, Fontana, Lansberg, G. P. Roberval, les quals explica (Rosselló Botey, 2000: 271-277). També descriu quatre hipòtesis que pretenen explicar les aparences de Saturn, les d'Odierna, Hevelius, Huygens i Roberval; fa una valoració d'aquestes hipòtesis i no les accepta, encara que de l'anell de Huygens reconeix «que aquesta opinió colpeix el lector pel seu enginy i la seva novetat» (Rosselló Botey, 2000: 277). Creiem que és un bon reportatge que evidencia la raresa i la inquietud que va generar la descoberta de la forma de Saturn.

**2. Astronomie, 1851 (Astronomie, 1851: 61-64).** Considera que el planeta, el seu anell i els seus 7 satèl·lits formen el sistema parcial més ric que es coneix. Dóna la distància de Saturn al Sol, que acota en 332 milions de milles; el període sinòdic, de 29 anys 5 mesos i 14 dies; l'aixafament dels pols, en 1/11, i el període de rotació, de 10 h 30 min. Comenta que des de Saturn el Sol es veu 90 vegades més petit del que es veu des de la Terra, i que en conseqüència la calor i la llum que hi arribaran seran 90 vegades més petites. Explica els canvis de la seva aparença. Considera que l'amplada aproximada de l'anell és 1", és a dir unes 1.500 milles, que aquest està aïllat i que deixa un espai buit entre ell i Saturn a través del qual es veuen els estels. L'anell en realitat és un conjunt de 2 anells separats per una línia negra circular. Comenta que Short ha diferenciat diverses bandes o parts fosques, el que podria suposar «une plus grande divisions, ou une serie de satellites aglomerés et unis ensemble au moment

de leur projection en état de fluidité primitive» (hipòtesi de Lagrange). Al final hi ha una taula amb els satèl·lits de Saturn, la seva distància mitjana i el període de revolució, i al peu de la taula informa que s'ha descobert un vuitè satèl·lit.

**3. «Las rarezas de Saturno, su historia y la de sus anillos», article de la revista de divulgació *Alrededor del mundo*, del 19 d'abril de 1915.** Considera Saturn així: «Extraño mundo del que tanto se ha dicho y del que tanto hay que decir todavía»; explica les seves dimensions, compara l'amplada amb el diàmetre de Saturn i explica els seus canvis d'aspecte donant l'últim any en què s'han produït. Fa un breu repàs d'història, esmenta Cassini, qui va observar que no hi havia un únic anell sinó dos, i que amb els moderns aparells s'ha pogut esbrinar que no són tan sols dos, sinó molts més: «Con el telescopio se han visto hasta doce, pero el análisis espectral demuestra que existen miles de bandas luminosas concéntricas, cada una de las cuales gira con velocidad distinta en torno del gigantesco globo». L'opinió més estesa de la naturalesa dels anells és que estan formats per pols de meteorits, i que són elàstics i s'eixamplen i s'encongeixen. Considera que el planeta té 9 satèl·lits; i explica que s'ha dit que els anells eren satèl·lits en via de formació, però que l'opinió actual dels astrònoms és que devien ser restes d'algun o alguns satèl·lits destruïts. Acaba parlant de les propietats físiques: ens diu que Saturn no és més que una massa de gasos candents i que la calor solar que rep no passa dels  $-176$  °C. El Sol des de la superfície de Saturn no seria més de la dècima part de com nosaltres el veiem, i per als seus satèl·lits el vertader Sol seria ell mateix.

**4. *El cielo*, de Josep Comas Solà, any 1927.** A principis del segle xx, en el seu llibre *El cielo*, Comas Solà estudia els planetes. Informa sobre la seva observació, així diu de Saturn que brilla com un estel de primera magnitud, la llum és apagada i molt poques vegades presenta centelleig. Dóna les dades orbitals i físiques del planeta, explica molt breument la seva història per passar a comentar dades físiques del planeta. De les dades de l'observació espectroscòpica es dedueix l'existència d'aigua, i les altres ratlles de gasos són encara desconegudes i de difícil identificació.

Descriu els anells, així dóna un diàmetre exterior de 284.000 km, una amplada de 67.740 km i un gruix de tan sols 50-60 km. Els anells: B o anell mitjà és el més lluminós; A o anell exterior és gris, i C o anell interior és més fosc i transparent, com una gasa, «anell transparent». Explica la metamorfosi de l'aspecte de Saturn, incideix que quan es veu de cantó els anells es presenten com una línia irregular sobre l'equador, la qual cosa prova que el gruix dels anells és decreixent de fora cap endins. Parla de la constitució i les condicions d'equilibri, anomena Hirn (finals del segle xix), que va demostrar que els anells havien d'estar formats per matèria disgregada, Laplace i Maxwell. Considera que els anells estan formats per corpuscles sòlids de pocs quilòmetres de diàmetre molt pròxims entre si i disposats en el mateix pla, tan pròxims que no poden distingir-se i donen l'aspecte d'una superfície única. Esmenta que «Una buena confirmación de lo mismo son las observaciones efectuadas por el autor de estas líneas sobre la intensidad luminosa de los anillos, al variar, en el plano de los mismos, el azimut del Sol respecto al rayo visual dirigido desde la Tierra. Durante las oposiciones, la luminosidad media de los anillos es superior a la del planeta, invirtiéndose la relación hacia las cuadraturas, lo cual está conforme con la hipótesis de una superficie rugosa».

Descriu breument els 10 satèl·lits: de Themis en diu que la seva existència és dubtosa i de Tità: «Valiéndose del ecuatorial astrofotográfico de 38 centímetros del Observatorio Fabra, el autor de estas líneas ha podido distinguir perfectamente una disminución de luminosidad hacia sus bordes, lo que indica que dicho astro está rodeado de atmósfera».

**5. *Astronomie Populaire*, de Camille Flammarion, edició revisada el 1956.** Descriu extensament Saturn, que considera «... és lo més meravellós que un aficionat a l'astronomia pot contemplar...». Comença fent una descripció dels elements orbitals del planeta i del seu aspecte físic. A continuació parla dels seus anells; referint-se al seu gruix, diu que si el diàmetre exterior fos 1 m caldria tallar-lo

amb un paper de seda. Explica la seva metamorfosi i fa una síntesi de la seva història: Huygens, Auzout (1662), que va percebre l'ombra del planeta sobre els anells, Cassini i Bond (1850). Descriu breument els anells: l'anell A amb màxims d'intensitat separats per línies d'ombra difuses i difícils de distingir; l'anell B, molt brillant en l'extrem exterior separat de l'A per la divisió de Cassini, amb 2 subdivisions menys atapeïdes que l'A, i l'anell C o anell transparent separat del B per la divisió de Lyot.

Dóna els seus límits i amplades. Després passa a explicar la seva naturalesa: «conglomerat de petits satèl·lits que no podem veure aïllats». Fa esment de Roche, Maxwell, Keeler i Deslandres i Laplace. Explica els espais definits o buits que divideixen l'anell en corones corresponents a regions de petita densitat o a regions buides de partícules, i que probablement siguin conseqüència de l'atracció dels satèl·lits interiors. Per acabar comenta que la part exterior de l'anell B és més brillant que Saturn, pel poder difusor de les partícules que el formen. Les observacions espectrogràfiques de Kuiper fan pensar que es tracta com a mínim de partícules cobertes per aigua congelada, a una temperatura de – 200 °C. En darrer lloc descriu les característiques orbitals i físiques del planeta i dels seus nou satèl·lits.

## Bibliografia

ABETTI, G. (1980), *Historia de la Astronomía*, segunda reimpresión, México, Fondo de Cultura Económica.

BURNS, J. A. et al. (2002), «Los anillos de los planetas», *Investigación y Ciencia*, 307, 58-67.

COMAS SOLÀ, J. (1927), *El cielo*, Barcelona, Casa de Seguí.

FLAMMARION, C. (1963), *Astronomie Populaire*, edició revisada per Flammarion, G. C. i Danjon, A., Barcelona, Montaner i Simon S.A.

(1915), «Las rarezas de Saturno, su historia y la de sus anillos», *Alrededor del Mundo*, 829, 315-316.

LEVERINGTON, D. (1996), *A History of Astronomy from 1890 to the present*, London, Springer-Verlag London Limited.

POLLACK, J. B.; CUZZI, J. N. (1982), «Anillos en el Sistema Solar», *Investigación y Ciencia*, 64, 45-58.

RION, A. (1851?), *Éléments d'Astronomie*, 2e edition, Paris, Imp. Bloudeau.

ROSELLÓ BOTEY, V. (2000), *Tradició i canvi científic en l'astronomia espanyola del s. XVII*, Madrid, Biblioteca Nueva, Universidad de València.

SODERBLOM, L. A.; JOHNSON, T. V. (1982), «Los satélites de Saturno», *Investigación y Ciencia*, 66, 52-68.

VAN HELDEN, A. (1984), «Saturn through the telescope. A brief historical survey». A: GEHRELS, T.; MATTHEUS, M. (eds.) *Saturn*, Tucson, University of Arizona Press, 23-46.