

## Esperant el cometa

Per a molts, *un* cometa és el cometa de Halley, aquell que va causar una gran sensació als nostres avis el 1910. Serà possible observar-lo en el cel, des de l'hivern del 1985 fins a la primavera següent, exhibint una llarga cabellera brillant. Però la visió que en tindrem des de la terra pot resultar decebedora. S'assemblarà a molts altres cometes que s'han apropiat al nostre planeta al llarg dels

darrers cent anys, que han permès elaborar un cos de coneixements científics sobre aquests objectes celestes.

A continuació s'exposen algunes de les característiques principals de la naturalesa i evolució dels cometes en general, així com alguns dels elements concrets més singulars del cometa de Halley.

per Josep Chabás

*Josep Chabás i Bergón (Barcelona, 1948) és físic. Va treballar a la Universitat de Barcelona com a professor d'astronomia i astrofísica. Actualment és professor de matemàtiques a l'Institut de Batxillerat de Sant Feliu de Llobregat.*

### Estructura i evolució dels cometes

#### Origen

Històricament, els cometes s'han associats a presagis de catàstrofes i a tota classe de mals. Potser per això s'ha buscat l'origen dels cometes en forces del mal ocultes en l'univers. Així, hi ha qui sosté, encara avui, que els cometes s'originen quan el diable encén un foc i llança al buit la teia ardent. La imatge pot semblar poètica, però recorda més aviat el tipus d'explicació que precisament un poeta, Pablo Neruda, desqualificava anomenant-la "*metafísica cubierta de amapolas*". En realitat, la naturalesa física se'ns presenta com una cosa més rica i complexa.

És difícil d'entendre. En efecte, l'origen dels cometes no és en absolut aclarit, encara que tot sembla indicar que es formen en una regió freda dels confins del sistema solar, anomenada núvol d'Oort-Öpik.

Fins ara es tenen notícies d'unes 1.000 aparicions corresponents a uns 650 cometes i, actualment, es detecten, com a mitjana, uns deu cometes cada any. És clar que no es tracta de tots els cometes existents, i del seu nombre només pot dir-se que "n'hi ha tants com peixos al mar", com escrivia Kepler el 1613, sinó tots els visibles des de la Terra. D'ells, al voltant d'un centenar tenen òrbites heliocèntriques el·líptiques, de períodes inferiors a 200 anys (en aquest grup figura el cometa de Halley, de 76 anys de període, i el cometa Encke, i el seu

període, de només 3,3 anys, és el més curt observat). Els restants cinc-cents cometes descriuen, al voltant del sol, trajectòries el·líptiques de període llarg, hiperbòliques i quasi parabòliques. En tabular el seus afelis (punts de màxim allunyament del Sol), s'observa que aquests es concentren, en general, a una distància de 50.000 unitats astronòmiques (UA)\*. Es tracta, en efecte, d'una regió pràcticament en el límit del nostre sistema gravitatori solar, perquè les estrelles més properes al Sol es troben a unes 150.000 UA, en el sistema triple de la constel·lació austral de Centaura. El núvol, postulat per l'holandès J. Oort el 1950, seria un núvol de conglomerats de material primigeni, que descriurien òrbites heliocèntriques entre 25.000 UA i 100.000 UA; és a dir, una regió del sistema solar en equilibri gravitatori amb les estrelles més properes. Una regió de temperatures molt fredes, inferiors a 100 °K, que permetrien que aquests aglomerats disposessin d'elements molt volàtils, com els que es detecten en els nuclis dels cometes. A causa de perturbacions locals, d'aquest núvol són expulsats alguns aglomerats cap al nostre Sol, els quals s'apropen progressivament cap als planetes. L'atracció d'aquests —especialment la induïda pel més massiu d'ells, Júpiter— provoca modificacions substancials de les òrbites d'aquests cometes. Així, alguns queden atrapats en el sistema solar interior i adquireixen trajectòries periòdiques, mentre altres són projectats cap a l'exterior del sistema solar.

El problema de la formació del núvol d'Oort-Öpik no pot separar-se del de la formació de tot el sistema

solar. Problema del qual l'estudi de l'estructura interna dels cometes, la seva abundància de compostos químics i els processos físics que en ells tenen lloc són unes de les principals fonts de coneixement. Però també ens informen sobre la composició i evolució de la matèria interestel·lar, ja que els cometes són constituïts per material més primitiu del sistema solar, l'agregació del qual es situa fa uns 4.600 milions d'anys.

#### Estructura

A mesura que s'acosten cap al Sol, els cometes van modificant les seves condicions físiques i morfològiques i es van convertint, per tant, en veritables laboratoris físics en els quals es desenvolupen reaccions i processos, encara no totalment entesos. Per explicar-los, existeixen diversos models de l'estructura interna dels cometes; la majoria d'ells es deriven del model bàsic de l'aglomerat de gel (*dirty snowball*), proposat el 1950 per F.L. Whipple, i incorporen elements molt sofisticats que permeten ajustar el model a les observacions realitzades. Segons els models en ús, en un cometa típic que es trobi ja molt proper al Sol (a menys de 2 UA de distància), poden distingir-se quatre regions: el nucli, la coma, la cua iònica i la cua de pols (fig. 2).

\* La unitat astronòmica (UA) és la longitud del semieix major de l'òrbita el·líptica de la Terra al voltant del Sol. 1 UA ≈ 150 milions de km.



Fig. 1.— "Els cometes sempre ens donen grans sorpreses". L'academic francès Babinet havia predit el retorn d'un cometa conegut el 1857. L'expectació va ser molt gran, però ningú no va aconseguir veure'l i se'l va anomenar el gran no-cometa del 1857. Tanmateix, el 1858, va aparèixer inesperadament un altre cometa que no tenia res a veure amb el previst mesos abans. (Dibuix d'Honore Daumier aparegut a la revista "Le Charivari", el 22 de setembre del 1858).

Fig. 2.— Cometa Mrkos, fotografat amb el telescopi Schmidt, de 48 polzades, de Monte Palomar. La placa data del 23 d'agost del 1957, després del pas del cometa pel seu periheli l'1 d'agost. En realitzar-se la fotografia, el cometa es trobava en un punt situat a 0,76 UA del Sol i a 1,21 UA de la Terra.

## Descripció d'un cometa

### El nucli

1.— Per Whipple, el nucli és un conglomerat compacte en rotació, d'estructura molt fràgil i molt poc homogènia. Consisteix en una barreja de gels (fonamentalment de  $H_2O$ ), clatrats (àtoms o molècules lligats als gels:  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,...) i grans de material sòlid atrapats a la xarxa del gel i íntimament barrejats amb aquests i els clatrats.

La naturalesa de les partícules sòlides, de grandària submil·limètrica, no es coneix amb exactitud, però deu tractar-se de partícules metàl·liques repartides en l'interior del nucli de forma no homogènia, la qual cosa provoca asimetries en aquest i explica, tenint en compte a més a més que és un cos en rotació, les variacions ràpides de lluentors detectables en els nuclis dels cometes.

A partir de l'emissió de dolls de material gasós observables ocasionalment, Whipple i Huebner han assignat períodes de rotació als nuclis d'alguns cometes (10,2 hores en el cas del cometa de Halley).

El nucli és activat per la radiació solar, tant més com més intensa sigui aquesta, però també pel flux de gasos enrarits, ions i especialment protons i electrons lliures que llança el Sol en forma de vent solar. Part de la radiació solar queda reflectida per la superfície del nucli i una altra part va elevat progressivament la temperatura superficial fins que comencen a sublimar-se els gasos gelats. L'activitat del



Fig. 3.- Fotografia del cometa Tkeya-Seki presa el 29 d'octubre del 1965, pocs dies després del seu pas pel periheli. El cometa va passar excepcionalment a prop del Sol, a una distància de la seva superfície inferior al radi solar, va arribar a tenir una brillantor aparent que gairebé va igualar a la de la lluna i va desenvolupar una cua d'una longitud enorme, de manera que va ser visible fins i tot de dia.

18 (666/Volum 3/novembre 1983

nucli depèn, doncs, de la distància solar; així, els gels més volàtils comencen a sublimar-se a unes 2,5 UA, és a dir, a uns 380 milions de km, quan el cometa es troba a distàncies del Sol pròpies del planeta Júpiter. Posteriorment, a unes 2 UA, començaran a volatilitzar-se els gels de H<sub>2</sub>O.

Els càlculs sobre la quantitat de llum solar reflectida pels cometes quan són inactius (a grans distàncies del Sol) permeten deduir que els seus nuclis presenten uns radis compresos entre 0,1 km i 40 km els més grans, amb un radi mitjà d'1 km. En canvi, no són observables des de la Terra, ja sigui per ser massa allunyats, ja sigui perquè en apropar-se cap a nosaltres estan rodejats per un halo brillant. En canvi, sí que es poden observar les contribucions dels nuclis a la matèria interplanetària, així com els efectes que produeix l'activació del nucli en forma de gasos i pols que van configurant la coma.

### La coma

2.- La coma d'un cometa és l'atmosfera que adquireix el nucli en apropar-se al Sol; en general, en la coma, se solen distingir tres zones, les grandàries i les composicions de les quals depenen també de la distància solar a la qual es troba el cometa. En la zona més propera al nucli, la coma molecular, abunden les molècules de H<sub>2</sub>O, i s'ha detectat la presència de HCN i CH<sub>3</sub>CN, entre altres molècules carbonades, així com els grans de material sòlid, arrossegats pels gasos que s'escapen del nucli. Per un cometa típic, a una distància d'1 UA, el radi de la coma molecular té valors de

l'ordre de deu mil quilòmetres, mentre que la següent capa, anomenada coma visible, s'estén fins a distàncies que arriben a gairebé el milió de quilòmetres. En la coma visible, les observacions espectroscòpiques han permès detectar la presència de nombrosos radicals H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> i OH<sup>-</sup>, així com molècules com CN, NH<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>, HCN, entre moltes d'altres. Per últim, la més exterior, la coma atòmica o coma ultraviolada, es compon bàsicament per àtoms de H i s'estén fins a un màxim de 10 milions de km, i es difon progressivament en l'espai interstel·lar.

Tot el material de les comes procedeix dels gels del nucli i forma un halo d'aparença quasi esfèrica i d'enorme extensió, en el qual es produeixen simultàniament una gran quantitat de processos físics complexos i difícils de quantificar. En canvi, en diversos cometes s'ha determinat el ritme de pèrdua de H<sub>2</sub>O, el major constituent del nucli, en funció de la

distància. Així, per exemple, en un cometa amb un nucli de radi d'uns 3 km, com el que va observar l'astrònom txecoslovac Kohoutek (Cometa 1973 XII),\* aquest ritme és d'unes 200 tones per segon, a una distància de 0,3 UA, amb la qual cosa la pèrdua total de H<sub>2</sub>O, al llarg d'una òrbita sencera, és d'uns mil milions de tones (equivalents a 1 km<sup>3</sup>).

Convé assenyalar que la identificació i la quantificació de les substàncies existents en les comes i, com a conseqüència, les del nucli, estan sofrint un desenvolupament ràpid a mesura que va sent possible estudiar els cometes des d'una distància major i des de sondes espacials.

\* D'acord amb les normes de la Unió Astronòmica Internacional, els cometes es designen per l'any del seu descobriment, seguit d'un nombre roma que indica l'ordre cronològic de pas pel periheli. Quan el cometa és periòdic, se'l sol precedir amb el símbol P/ i se li assigna el nom del(s) seu(s) descobridor(s) o dels científics que van demostrar la seva periòdicitat.

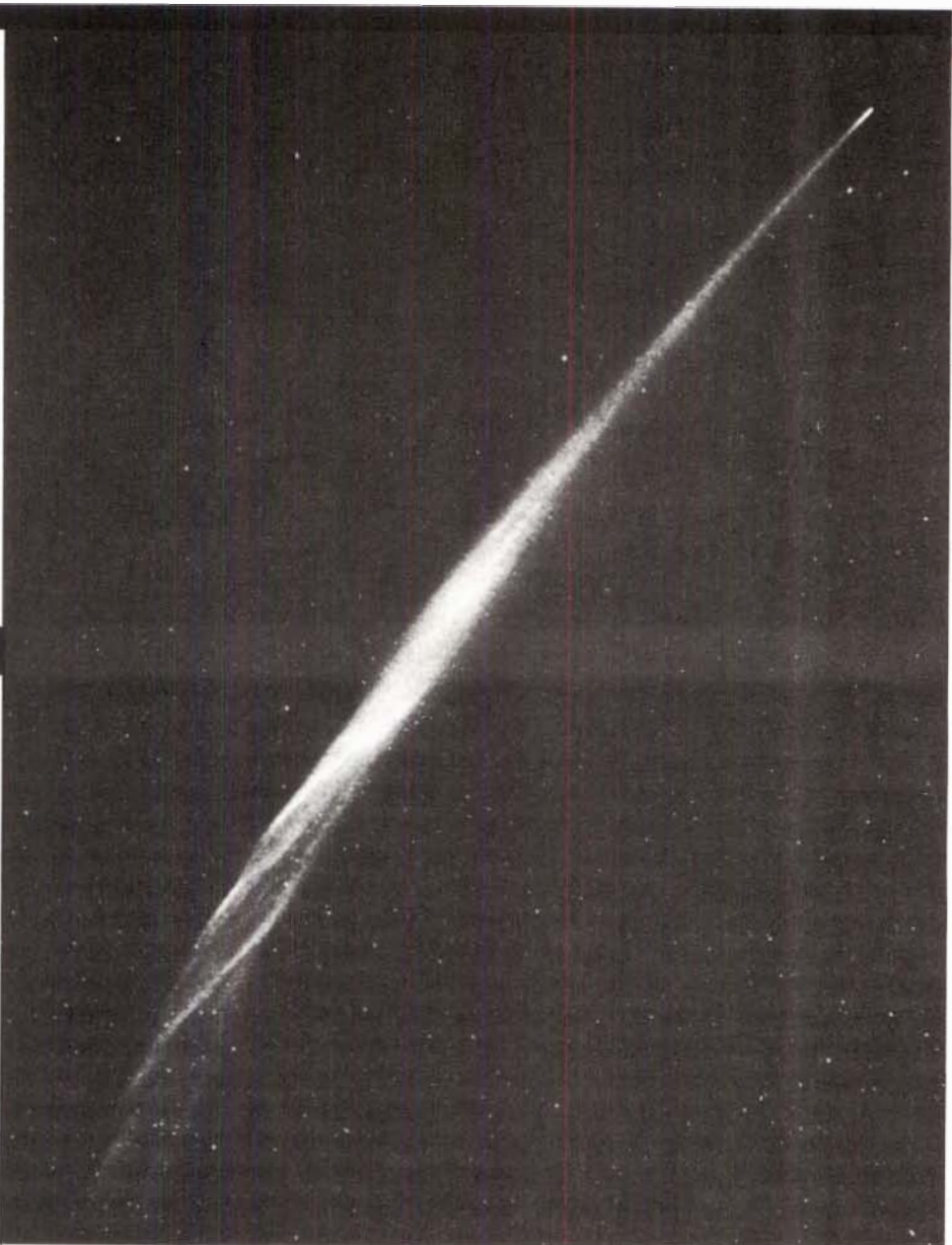




Fig. 4.- Cua de retrocés observada en el cometa Arend-Roland el 26 d'abril del 1957 des de l'observatori de Monte Palomar.

### La cua iònica

3.- La cua iònica és una perllongació rectilínia i estreta composta per concentracions de gasos ionitzats expel·lits de la coma i arrossegats pel vent solar. En propietat, caldria parlar de cues iòniques, ja que, en general, s'aprecien formacions diferenciades. Aquestes concentracions gasoses, fonamentalment de monòxid de carboni i aigua, es desplacen gairebé en paral·lel a l'eix de la cua i les seves velocitats són menors en les zones internes de la cua que en les perifèriques. En ocasions, els extrems de les cues adopten estructures diverses, filamentosos, helicoidals (vegeu fig. 3), etc., que evolucionen en el temps, el que és només explicable per la presència d'un camp magnètic intens.

Totes les cues apunten pràcticament en direcció oposada a la del Sol, encara que no sigui així del tot, sinó que se'n desvien uns graus, donat que aquesta direcció és el resultat de la composició de dos moviments, l'orbital del cometa i el radial del vent solar. Precisament, l'estudi de les cues iòniques va ser el que va induir Biermann a proposar, el 1951, molt abans que les sondes espacials poguessin detectar-lo, l'existència del vent solar, com a mecanisme per ajustar les observacions que es disposaven amb les velocitats calculades dels fluxos d'ions de les cues dels cometes, cosa que explicava insuficientment la radiació.

### La cua de pols

4.- Finalment, la cua de pols és ampla i, en general, corbada. És el resul-

tat de la interacció de la radiació solar amb els grans metàl·lics de la coma. Només les partícules de diàmetres molt petits, de l'ordre del micró, aconsegueixen ser arrencades de la coma i, empeses per la pressió de radiació, s'allunyen definitivament al llarg de la cua de pols. En ella, els grans seguiran trajectòries diferenciades segons el seu volum original, i es posa de manifest d'aquesta manera l'activitat discontinua del nucli.

Ocasionalment, s'ha observat una anticua en alguns cometes (fig. 4). Es tracta d'una cua de retrocés curta, que aparentment apunta cap al Sol, constituïda per grans de mida sensiblement major que els de les cues normals i que han sigut expulsats del nucli molt abans del seu pas pel periheli.

En les cues de pols, les partícules sòlides aconsegueixen velocitats molt inferiors a les dels ions en les cues gasoses i, per tant, es difonen més lliurament en l'estructura cometària. Les cues de pols també són més curtes que les iòniques, d'un ordre de deu a cinc vegades, i arriben a només uns pocs milions de longitud.

### Esgotament

Les partícules sòlides de les cues van allunyant-se progressivament del cometa i es dispersen per tot l'espai interplanetari circumdant, però sobretot al llarg de la part de l'òrbita més pròxima al Sol. Formen eixams de pols, de concentració desigual i de masses totals molt petites.

Es poc probable que l'òrbita de la Terra i la d'un cometa coincideixin en algun punt. Tanmateix, en alguns pocs casos, gairebé es pot donar

aquesta situació: quan la Terra creua l'òrbita d'un cometa en la qual subsisteixen aquests eixams, pot produir-se un fenomen observable des de la Terra, una pluja de meteoros. Aquesta pluja d'"estels fugaços" es deu a la combustió dels grans de pols en les capes altes de la nostra atmosfera. Cada esdeveniment d'aquest tipus va associat, per tant, a l'existència d'un cometa.

Les pluges de meteoros són observables cada any, però no sempre presenten la mateixa intensitat; això es deu al fet que la concentració de restes sòlides no és homogènia al llarg de l'òrbita del cometa associat.\*

A cada pas per les proximitats del Sol, els cometes periòdics perden grans quantitats de massa, de l'ordre del centenar de tones per segon, com ja s'indicava més amunt, i van esgotant les seves escasses reserves. Possiblement acaben desintegrant-se, com ha degut ocórrer en els casos que s'ha esperat en va el retorn previst d'un cometa, ja poc actiu en les seves últimes aparicions. Altres cops s'ha observat el fraccionament del nucli; el cometa P/West, per exemple, va arribar a escindir-se en quatre fragments, en passar molt a prop del Sol a mitjan març del 1976, a causa de l'atracció gravitatòria diferencial solar. Però també s'han detectat explosions de cometes, sense causa aparent, a grans

\* Algunes pluges de meteoros resulten molt espectaculars, com l'observada l'octubre del 1933. Va durar dues hores i es van comptar fins a 350 meteoros per minut, procedents d'un punt del cel situat entre la constel·lació del Drac. Aquesta pluja, denominada les dragònides, és associada amb el cometa P/Giacobini-Zinner, descobert el 1900 i que té un període de 6,58 anys.



Fig. 5.- A finals del 1066 s'inicia la dominació normanda d'Anglaterra. Les tropes invasores, capitanejades per Guillem de Normandia, havien derrotat els anglo-saxons i havien donat mort al seu rei Harold, prop de la localitat de Hastings.

Poc abans, tots havien pogut observar una "estrella amb cabellera" que va ser interpretada com el pitjor dels presagis. Era el cometa de Halley.

Aquest fet sorprenent va quedar plasmat en una llarga tela bordada, de més de 70 metres, que relata la conquesta d'Anglaterra i que va servir per decorar la nau de la catedral normanda de Bayeux.



distàncies, fins a 6 UA en el cas del P/Biela.

Tot plegat indica que encara queda molt per entendre sobre els processos que tenen lloc al si dels cometes; en aquest sentit, s'espera molt de les observacions del cometa de Halley que s'estan preparant (vegeu-ho més endavant). En qualsevol cas, un cop perduts els seus constituents principals, els gels, llavors les restes dels nuclis dels cometes conformen petites esferes de material sòlid, inactiu, semblant al dels asteroides del nostre sistema solar.

## II El cometa de Halley

**S**ense cap dubte, es tracta del cometa més conegut, potser l'únic, per un públic molt ampli i, a més, és un dels fenòmens celestes més esperats. En el cometa de Halley es conjuguen moltes circumstàncies que expliquen l'emoció que ha desvetllat tot al llarg de la seva història. En destacarem aquí algunes.

En primer lloc, es tracta d'un cometa **periòdic**, que tarda **76,08** anys, com a mitjana, a completar una revolució el·líptica al voltant del Sol. Aquest cometa va ser precisament el primer del qual va calcular-se l'òrbita i el primer el retorn del qual va poder predir-se, gràcies als treballs del britànic Edmund Halley (vegeu el requadre). És considerat el cometa periòdic per excel·lència.

En segon lloc, durant molt de temps ha sigut el **més brillant** dels cometes periòdics. Des de la més remota antiguitat, s'han realitzat obser-

vacions dels seus diversos passos, i això fa d'ell el cometa històricament més observat, des del seu primer registre en els annals xinesos l'any 239. Els xinesos van ser, gairebé en exclusiva fins a l'any 989, els únics que van observar i anotar cada una de les successives visites del cometa, sense adonar-se, en canvi, que es tractava del mateix fenomen. El 1066, els europeus comencen, al seu torn, a registrar els passos successius del cometa (fig. 5). Des de llavors fins al seu dotzè apropament a la Terra en el present mil·lenni (1910), el cometa de Halley dona peu a una llarga crònica que ens parla de l'obscurantisme, la superstició i la por fonamentats per interessos d'estat, militars o religiosos, fins al punt de justificar plenament un judici tan dur com el del filòsof francès del segle XVII, P. Gassendi: "Sí, els cometes són realment aterradors, però a causa de la nostra estupidesa".

Per últim, el cometa de Halley és també un rellotge celeste que, en lloc de marcar hores o estacions, marca unitats de temps equiparables a vides humanes. Globalment, pot dir-se que totes les persones han tingut l'oportunitat de veure'l una vegada en la seva vida.

Quan va passar pel seu afeli el 1948, a més de 35 UA, el cometa de Halley es desplaçava a una velocitat molt reduïda, de l'ordre de 900 m/s. Des de llavors ha incrementat la seva velocitat al llarg d'una òrbita el·líptica molt excèntrica ( $e = 0,967$ ), amb el Sol en un dels seus focus.

A la figura 6 es pot veure el recorregut aparent que ha descrit sobre el cel el cometa en els darrers anys. Convé subratllar que es tracta d'una

trajectòria aparent, amb un sentit general de desplaçament que va des de les proximitats de l'estel Procion, en la constel·lació Canis Minor, passa per Orion, fins a la part superior de la constel·lació Taurus, on creuarà, per primera vegada, a mitjan novembre del 1985, el pla de l'òrbita terrestre al voltant del Sol. El fet que la trajectòria descrivia un bucle per any, sobre l'esfera terrestre, es deu al moviment orbital terrestre; els bucles es fan grans a mesura que el cometa va adquirint velocitat. Precisament en el bucle corresponent al 1982, en la Canis Minor, va tornar a recuperar-se òpticament el cometa de Halley. Molts astrònoms havien enfocat els seus telescopis des de feia temps cap a un lloc precís d'aquesta regió de l'espai; on s'esperava tornar a veure el cometa, més de setanta anys després de la seva desaparició. Es tractava de trobar una esfera de gel de radi màxim de 3 km, situada a uns 2.000 milions de km de la Terra. Essencialment, era una qüestió de potència de telescopi.

### El cometa de Halley ja ha estat observat

**T**anmateix, hi havia qui creia que el cometa no apareixeria en el lloc previst pel càlcul, amb el convenciment que l'última òrbita descrita havia quedat substancialment modificada després del pas del cometa prop de la Terra el 1910. En efecte, alguns observadors de l'època havien cregut veure que el cometa, abans d'allunyar-se definitivament de l'abast dels seus telescopis, sofria importants va-

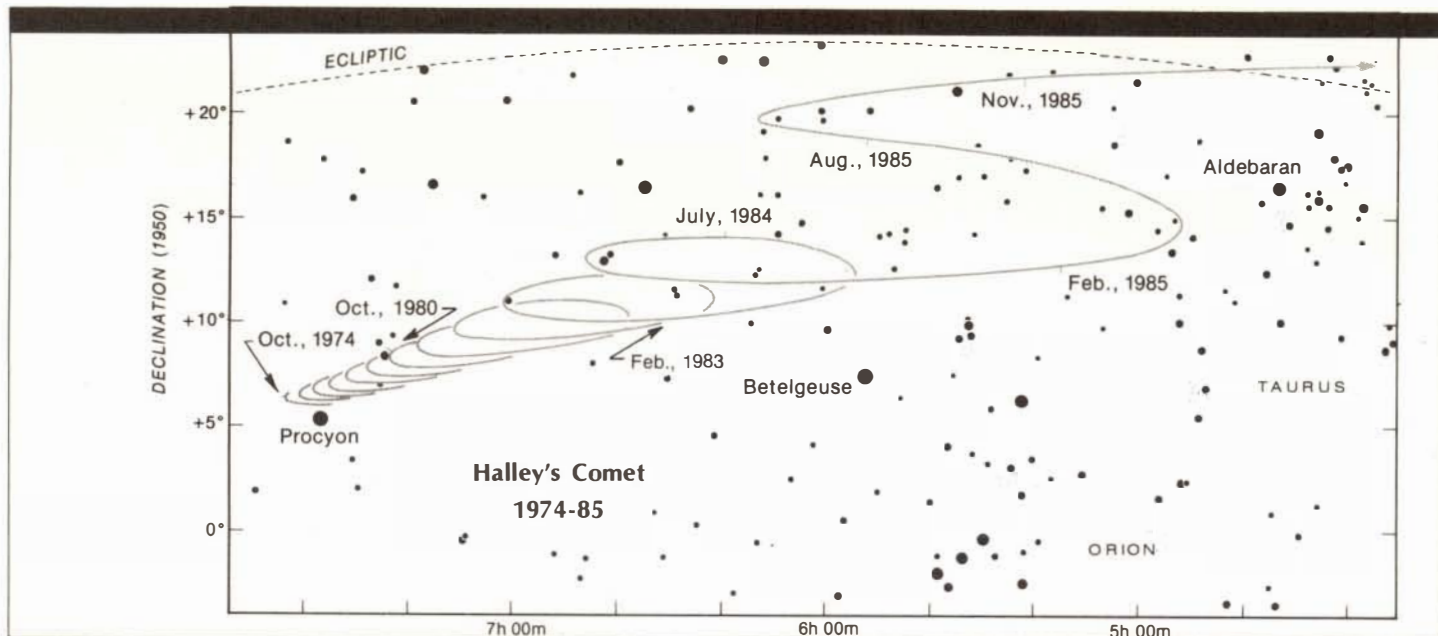


Fig. 6.- Recorregut aparent del cometa de Halley sobre l'esfera celeste.

Fig. 7.- Primera fotografia del cometa de Halley recuperat. El cometa apareix al centre del cercle i és uns 16 milions de vegades menys brillant que un objecte celeste de magnitud visual 6.

riacions en l'estructura del nucli. L'astrònom barceloní Josep Comas Solà, per exemple, relatava les seves darreres observacions del cometa de Halley en la seva obra *Astronomía* (1925):

*“El 31 de mayo, mientras sacaba una fotografía del cometa de Halley con el ecuatorial astrofotográfico de 38 cm del Observatorio Fabra, advertía la presencia de una nube o bocanada de gases muy brillante, ... El 2 de junio de 1910 se desdobló el núcleo del cometa, pero el día 4 este aspecto revistió caracteres notabilísimos ... Del núcleo principal al secundario mediaba, el 2 de junio, una distancia angular de unos 40, ... Además, los dos núcleos, rodeados de nebulosidad, aparecían enlazados por un ligamento nebuloso muy visible, en el cual, durante los mejores instantes de observación, parecíame distinguir una alienación de pequeñísimos puntos brillantes. El 4 de junio había desaparecido el núcleo secundario del 2. En cambio, aparecía una agrupación sor-*

*prendente de nuevos núcleos secundarios o condensaciones. Aparte del que era propiamente el núcleo del cometa, se distinguían por lo menos cuatro núcleos aparentes más.”*

El 16 d'octubre del 1982, els astrònoms nord-americans Jewitt i Danielson van aconseguir impressionar cinc plaques amb llum procedent del cometa de Halley. Per a aquesta finalitat, van utilitzar una càmera electrònica d'alta sensibilitat, acoblada al telescopi reflector de 200 polzades de l'Observatori de Monte Palomar, capaç de detectar objectes de fins una magnitud visual\* 25. Quan va ser realitzada la fotografia (fig. 7), el cometa tenia una magnitud visual de 24,2 i es trobava a una distància de 10,6 UA, és a dir, en una regió a 1.600 milions de km en la qual encara no han començat els processos que activen el cometa. Encara que el lloc en què s'ha trobat difereix lleugera-

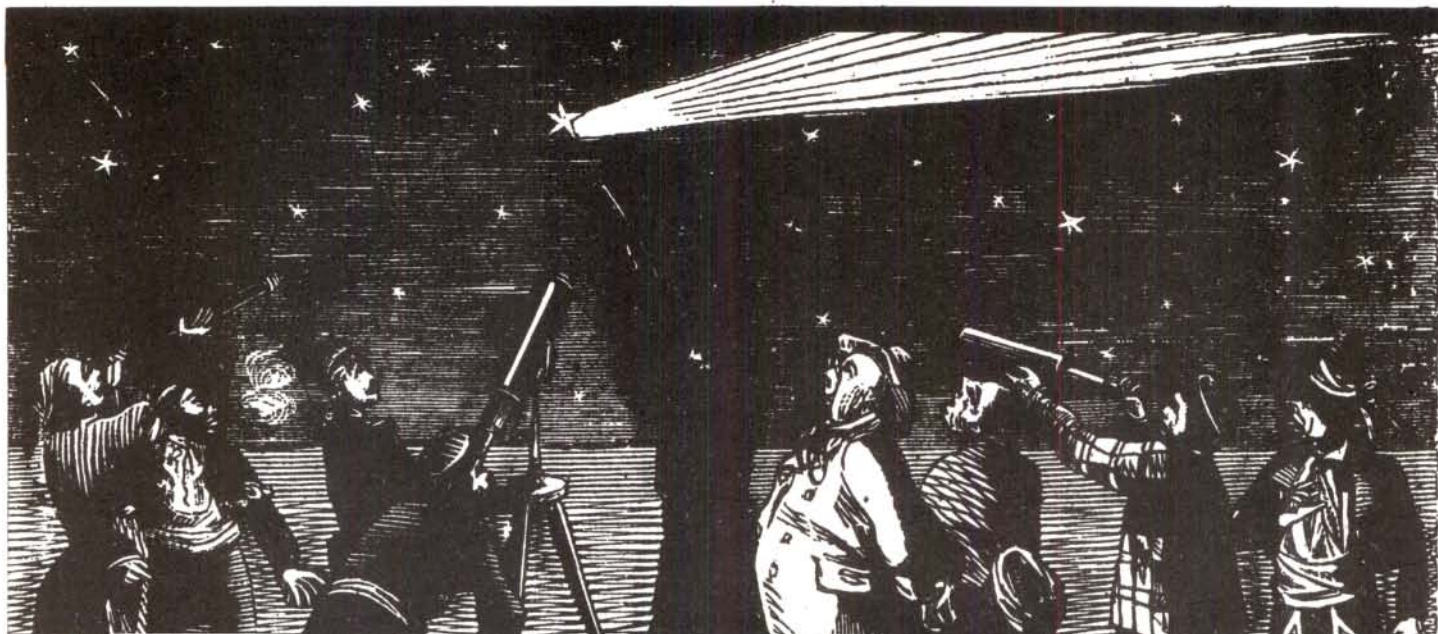
ment del previst, la Unió Astronòmica Internacional ha donat per vàlida l'observació; mai no havia estat detectada amb tanta anticipació —més de tres anys— l'arribada d'un cometa.

Un cop localitzat, és possible predir quan i com serà visible el cometa. El que sembla clar és que, en el seu pas, l'hivern del 1986, el cometa no serà tan “aterrador” com deia Gassendi, ni tan espectacular com ho va ser la primavera del 1910. I això es deu a les posicions relatives que ocuparan la Terra i el cometa en aquestes dates.

El pas pel periheli és previst per al 9 de febrer del 1986; en aquest moment, el cometa es trobarà a la mínima distància del Sol (9,58 UA) i exhibirà la seva màxima cua. Però en aquests dies, la Terra es trobarà justament molt lluny del cometa. Es dona la circumstància que l'òrbita cometària té una inclinació de  $162^{\circ} 13'$  respecte a la de la Terra, de manera que, en la regió del seu màxim apropament al Sol, l'òrbita del cometa pràcticament es superposa a la de la Terra, encara que en sentit retrògrad; es tracta, però, de l'òrbita terrestre corresponent a l'estiu i la tardor (vegeu fig. 8). Les

\* La magnitud visual és una mesura de la brillantor d'un objecte celeste referida a un observador terrestre. Les estrelles més tènues que poden observar-se en una nit clara a simple vista tenen una magnitud visual 6. L'escala de magnituds no és lineal, sinó logarítmica, amb base l'arrel cinquena de 100 (2,512...), i per tant una diferència de 5 magnituds entre dos cossos equival a un quocient de magnituds de 100.





mínimes separacions de la Terra es produiran el 27 de novembre del 1985 (0,62 UA) i l'11 d'abril del 1986 (0,42 UA), però llavors el cometa es trobarà relativament lluny del Sol, a 1,55 UA i 1,33 UA respectivament, i les cues no estaran en el seu apogeu. En qualsevol cas, les millors observacions visuals podran fer-se en els darrers dies de març i primers d'abril del 1986.

### Quatre sondes a l'encontre del Halley

Aquestes condicions desfavorables quedaran contrarestades per les observacions automàtiques realitzades des de les quatre sondes espacials que és previst llançar a l'encontre del cometa de Halley. Es tracta de quatre vehicles, un japonès (Planet A), un europeu (Giotto) i dos soviètics (Vega 1 i 2) que, amb gairebé una tona d'instrumental científic a bord, desenvoluparan múltiples experiències en la segona setmana de març del 1986. En aquest moment, les quatre sondes confluiran al voltant del cometa.

El vehicle japonès té assignat l'estudi de la coma mitjançant una càmera d'ultraviolats, quan es trobi a distàncies del cometa compreses entre 10.000 km i 100.000 km. Les sondes Vega 1 i Vega 2 seran llançades el desembre de l'any que ve i, després de dipositar diversos aparells en l'atmosfera de Venus, s'aproparan a uns 5.000 km del nucli del cometa, amb una setmana d'interval. Llavors estudiaran fonamentalment la composició del plasma iònic, la composició quí-

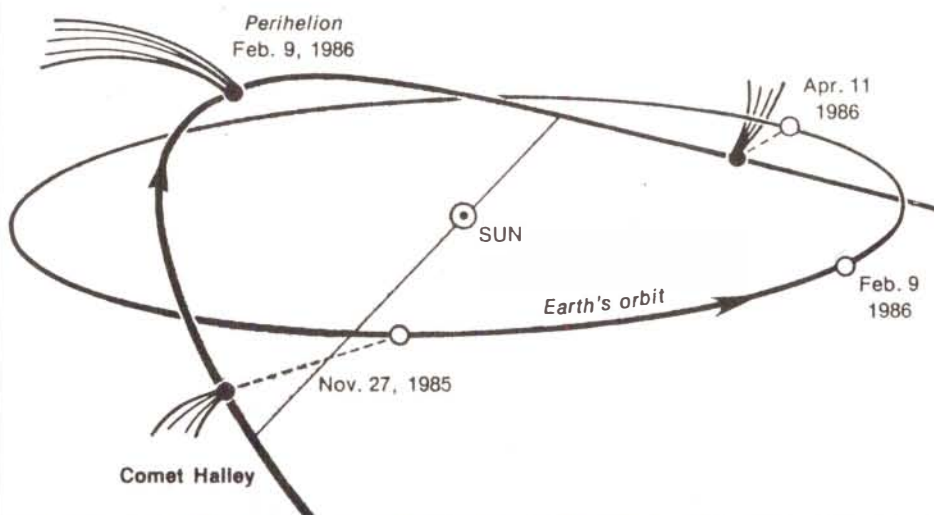


Fig. 8.- Posicions relatives de les orbites de la Terra i del cometa de Halley en la seva aparició del 1985-1986.

mica dels grans de pols, la seva abundància i distribució per volums. Fotografaran el nucli, com a complement de les observacions que realitzarà la sonda Giotto, llançada per l'Agència Espacial Europea. La proximitat d'aquesta sonda al nucli, menys de 1.000 km, permetrà obtenir informació precisa sobre el nucli i, en especial, imatges directes de la seva superfície, amb una resolució de 50 m. Tanmateix, l'èxit d'aquest gran esforç científic internacional no és en absolut assegurat; el perill rau en el dany irreparable que poden fer els impactes dels grans de pols, disparats del nucli a uns 250.000 km/h, sobre els aparells de mesurament i d'observació. De totes maneres, en unes poques hores pot donar-se un pas de gegant en el coneixement científic del cometa

de Halley i, en general, d'aquests agregats de la matèria més antiga del nostre sistema solar.

Josep Chabás

### Material de lectura

Calder, Nigel: *The Comet is Coming!*, 1980 (N'hi ha una traducció castellana a Antoni Bosch editor, Barcelona, 1982).

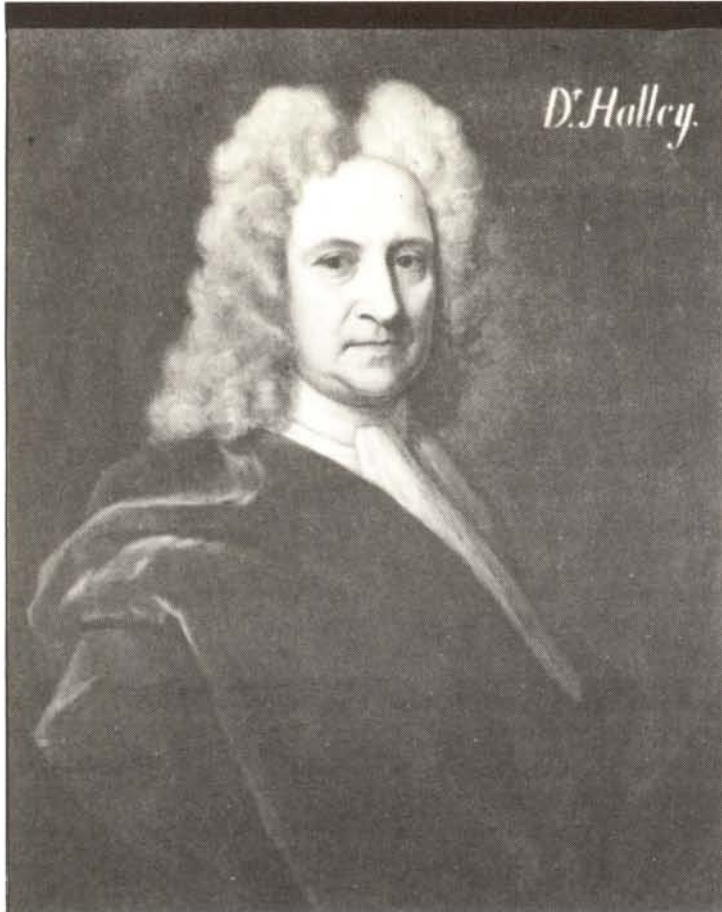
"Sky and Telescope", revista amb informació mensual sobre cometes.

Véron, Ph., Ribes, J.-C.: *Les comètes de l'antiquité a l'ère spatiale*, 1979. (N'hi ha una traducció castellana a ATE, 1981)

Yeomans, D.: *Comet Halley Handbook*, 1980.

Whipple, F.L., Huebner, W.F., "Ann. Rev. Astron. Astrophys".





## Edmund Halley (1656-1742)

novembre 1983 / Volum 3 / 671 23

Halley havia nascut prop de Londres el 1656, catorze anys després que Newton, en el si d'una família de comerciants rics. Es va interessar molt aviat per l'astronomia i als vint anys va viatjar a l'illa de Santa Elena per portar a terme observacions de Mercuri i les estrelles del cel austral. Fruit d'aquest viatge va ser la publicació del *Catàleg d'estrelles australs*, primer en el seu gènere, gràcies al qual els astrònoms europeus de l'època van ampliar considerablement el seu cabal de dades.

En tornar a Anglaterra, Halley va participar activament en el debat que mantien els científics més importants sobre la dinàmica del sistema solar i, en general, sobre els fonaments bàsics de la dinàmica. El paper que va tenir en aquest debat, que s'estendria al llarg de més d'un segle, va resultar ser decisiu.

La mort de Kepler (1630) es disposava ja d'un model cinemàtic del sistema solar ben estructurat, basat en les idees copernicanes. Però l'interès de la discussió es desplaçava progressivament cap a la recerca d'un model dinàmic que expliqués no so-

lament com, sinó també per què es mouen els astres. Quedaven, això no obstant, alguns punts obscurs, com ara la trajectòria dels cometes. Halley havia de donar la solució a aquest problema cinemàtic utilitzant les idees emergents sobre la dinàmica dels astres. Kepler havia sostingut que els cometes es desplaçaven seguint línies rectes, però distortes pel fet que la Terra estava en moviment al voltant del Sol. S'oposava així al seu antecessor Tycho Brahe, que feia orbitar els cometes en cercles al voltant del Sol i aquest al voltant de la Terra; però s'oposava també a si mateix, ja que, segons les lleis del moviment dels planetes formulades pel mateix Kepler, aquest descriuen òrbites el·líptiques heliocèntriques. Halley havia observat alguns cometes, especialment els del 1680 i del 1682, però no aconseguia fer-los passar per una línia recta, com havia previst Kepler.

Paral·lelament, s'obrien pas altres idees. Ja el 1665, Newton havia elaborat, a partir de l'estudi de Galileu sobre el pèndol, la idea de força centrípeta i, com a conseqüència d'ella, la idea de la gravetat, però no es va prendre la molèstia de donar-les a

conèixer. Huygens, Borelli, Wren, Hooke i Halley, entre d'altres, estaven buscant aquesta mateixa idea, així com l'expressió matemàtica de la força centrípeta que donés lloc a les trajectòries el·líptiques dels planetes. Halley va anar a veure Newton l'agost del 1684 i després d'insistir molt aquest va acabar per dir que havia resolt el problema feia temps, però que havia perdut la major part dels seus càlculs. Les converses amb Newton van anar convencent Halley que també les òrbites dels cometes havien de ser el·líptiques per ajustar-les així a la teoria de la gravitació universal que Newton li anava descobrint. L'únic que havia de fer llavors era calcular l'òrbita d'un cometa a partir dels seus elements orbitals.

Però va fer més: Halley va aconseguir convèncer Newton que publicués les seves idees i resultats. L'interès i la insistència que va manifestar Halley es demostren pel fet que fins i tot va arribar a sufragar les despeses de la primera edició (1687) del llibre de Newton: *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*. El sol fet que Halley hagi estat l'inductor de la publicació del "més gran d'entre els llibres, la Bíblia de la ciència en la seva totalitat i particularment la Bíblia de la física", com ho diu John D. Bernal, el situa en un lloc preeminent en la història del pensament científic. Halley es va posar a calcular òrbites de pla-

netes. El 22 de novembre del 1682 n'havia observat un que es movia en moviment retrògrad respecte als planetes. Va rastrejar en les obres de científics anteriors algunes observacions de cometes retrògrades i va arribar al convenciment que el cometa observat per Kepler el 1607 i el d'Apià i Frascator del 1531 havien de ser el que ell havia vist el 1682. Anys després, el 1705, Halley va publicar un tractat sobre cometes: *Synopsis astronomiae cometicae*, en el qual predeia el retorn del cometa el 1758.

El nadal del 1758, un pagès de Dresde afeccionat a l'astronomia va ser el primer a tornar a veure el cometa de Halley. Era la confirmació definitiva dels càlculs de Halley. Però sobretot era el punt final d'una llarga batalla lliurada en el terreny de les idees científiques; era també la consagració de les tesis newtonianes de la gravitació universal i l'acceptació sense reserves d'aquestes idees per part de la comunitat científica setcentista, encara influïda pels remolins gravitatoris de Descartes. Halley havia mort setze anys abans. Molt abans, encara, Newton havia afirmat: "si he vist més enllà que els altres és que era el coll de gegants". Possiblement devia estar pensant, entre d'altres, en el seu amic Edmund Halley.

J. Ch.