

A exploração espacial dos cometas *

M. Festou ^a

Qual é a natureza dos cometas? Esta interrogação foi durante muito tempo precedida por (ou entendida como) uma outra: terão os cometas uma existência permanente? Serão corpos celestes? Duas razões impediam uma resposta cabal a estas interrogações. Em primeiro lugar o seu movimento no céu. Os cometas não podiam de forma alguma integrar-se no esquema do mundo de Aristóteles porque a excentricidade das suas órbitas era demasiado elevada e o arco de trajectória observado era sempre demasiado pequeno para que se pudesse suspeitar tratar-se de um astro em órbita em torno do outro (o Sol).

O segundo facto era a estranha rapidez com que mudavam de aspecto: não só os cometas podiam diferir fortemente uns dos outros, como um mesmo astro cabeludo se podia transformar com uma rapidez surpreendente ou até mesmo desaparecer (ou aparecer) sem qualquer aviso. No entanto, muitos filósofos gregos haviam reunido factos de observação que permitiam concluir que uma existência efémera seria pouco provável. E alguns deles haviam mesmo levado muito longe as suas deduções sublinhando as inúmeras relações que existiam entre os cometas e o Sol, aparecimentos e desaparecimentos frequentes aos crepúsculo, brilho máximo a uma pequena distância angular do Sol e caudas apontando na direcção oposta à do astro do dia.

Tiveram de passar alguns séculos para os cometas poderem ser considerados, não apenas corpos celestes de comportamento fascinante, mas também entidades físicas cuja natureza seria interessante revelar. O carácter ténue das atmosferas cometárias foi reconhecido quando se verificou a sua incapacidade em ocultar as estrelas; daí a expressiva imagem: “os cometas são nada visíveis” (1). A presença de grãos de poeira foi deduzida por Arago em 1828 a partir de medidas de polarização da luz emitida, identificada como resultante da reflexão da radiação solar pela matéria sólida. Pouco depois, em 1835, Laplace mostrou, ao estudar a cauda do cometa de Halley, que os grãos de poeira eram expelidos na direcção anti-solar. Cerca de 30 anos mais tarde eram identificados os primeiros constituintes gasosos da cabeleira: eram semelhantes aos das chamas carbonadas.

Ao longo do século XX foi possível constituir uma ideia mais completa acerca da natureza destes corpos estranhos sem que, no entanto, possamos ter a pretensão de ter desvendado todos os mistérios. A cometologia, assim como a planetologia, beneficiou grandemente da revolução que ocorreu nestes domínios de investigação em resultado dos programas espaciais dos dois

gigantes da exploração espacial, os Estados Unidos e a URSS. Os planetas são objectos de pequenas dimensões, distantes (sendo pois difícil a observação do pormenor das suas superfícies) e quase sempre cobertos por uma espessa camada de matéria absorvente. A estratégia adoptada por americanos e soviéticos (abordar tão próximo quanto possível o objecto em questão com engenhos automáticos e, se possível, efectuar medidas in situ) é por isso fácil de compreender. O par Plutão-Charon, os planetas Neptuno e Urano (2), os asteróides e os cometas são os astros do sistema solar que ainda não receberam a visita próxima de um engenho automático. Os asteróides e os cometas são vestígios supostos intactos dos períodos primitivos do sistema solar.

Há quem considere que existem relações estreitas entre os cometas e os asteróides pelo facto de terem dimensões idênticas e trajectórias frequentemente semelhantes. No entanto, esta similitude não nos leva longe: nada indica que existam cometas cujo núcleo ultrapasse os 10-20 km, situação esta que ocorre nos asteróides. Se compararmos cometas e asteróides do ponto de vista físico verificamos que os asteróides não têm atmosfera no sentido clássico do termo, ao passo que os cometas têm atmosferas que se estendem por milhões de quilómetros. É manifesto que os asteróides resistem perfeitamente às agressões da radiação solar, ao passo que tal não acontece com os cometas. É aliás isto que os distingue de todos os outros objectos do sistema solar e da maior parte dos objectos astrofísicos: são (ou parecem ser) irremediavelmente destruídos pela radiação do astro que os aprisiona gravitacionalmente.

É esta fragilidade térmica que permite o desenvolvimento dos fenómenos cometários. A cabeleira forma-se por evaporação de moléculas ditas “moléculas-mãe”, as quais arrastam consigo os grãos que se mantinham cativos na matriz gelada que constitui, no todo ou em parte, o núcleo. A radiação solar actua em quase todos os comprimentos de onda sobre a matéria cometária libertada. Sopra os grãos (primeiros corpos sólidos formados no sistema solar?), o que dá origem à cauda encurvada. Estes grãos atingem rapidamente a nuvem zodiacal. Pode também quebrar as moléculas-mãe em átomos e radicais (produtos de degradação) que são detectados porque absorvem e armazenam essa mesma radiação, desde o ultravioleta às radiofrequências. A radiação solar pode finalmente ionizar todas estas moléculas e carregar electricamente os grãos. A

^a Institut d'Astrophysique de Paris.

* Tradução de J.J. Moura Ramos.

(1) Em francês, “Les comètes sont des riens visibles” (N.T.).

(2) O planeta Urano acaba de ser visitado pela sonda Voyager 2 que em 24 de Janeiro passou a 81 200 km deste planeta (N.T.).

interacção entre os iões e o vento solar dá origem à(s) cauda(s) rectilínea(s). Vemos pois que, uma vez aquecidos, os núcleos cometários perdem inevitavelmente parte da sua massa inicial. O fenómeno é tanto mais eficaz quanto a ténue forças gravitacional devida ao núcleo impede a formação de uma atmosfera permanente que poderia retardar esta erosão.

Cometas e asteróides têm pois poucas coisas em comum. Os asteróides não nos deixam ver os constituintes gasosos que eles podem conter oclusos desde a sua formação, ao passo que os cometas persistem em só nos mostrar uma fracção ínfima da sua componente sólida, ainda escondida no seio de um núcleo permanentemente invisível.

A imagem que aqui apresentamos dos cometas (assim como dos asteróides) resulta da análise das propriedades da radiação que estes corpos reflectem. Estes reflectores são na realidade produtos muito degradados das moléculas inicialmente emitidas, e além disso algumas moléculas e radicais são emissores muito fracos, pelo que reconstituir a composição química dos cometas a partir das observações ópticas é um exercício delicado. Nos últimos quinze anos fizeram-se grandes progressos com as observações a partir do espaço⁽³⁾. Tornou-se com efeito possível observar as emissões de numerosos átomos e radicais que não apresentam assinatura espectral no domínio do visível. Tornou-se então possível uma alternativa elegante à desejada detecção directa das moléculas-mãe (impossível a partir da Terra, mesmo se tentada fora da atmosfera): medindo a abundância de todos os produtos de degradação, é possível deduzir a composição atómica do núcleo. Esta abordagem foi tentada analisando os espectros obtidos com instrumentos colocados em sondas ou satélites em órbita em torno da Terra. E verificou-se que a água era o constituinte dominante na maioria dos objectos estudados. Existem no entanto limitações a este método. Alguns radicais e algumas moléculas (como por exemplo CO e CO₂) são difíceis de destruir e portanto escapam a esta contabilidade.

Dado o seu elevado nível de actividade, o cometa de Halley vai constituir um alvo de qualidade para os observadores. Se bem que as observações previstas a partir da Terra sejam muito numerosas e diversas, o essencial do esforço a dispender no futuro próximo incidirá sobre a análise *in situ* da atmosfera do cometa, sobretudo da coma interna que só é possível observar de perto. Isto não será inédito, pois em 11 de Setembro de 1985 os Estados Unidos desviavam a sonda ICE (International Cometary Explorer), antiga sonda ISEE-3 que há já vários anos estudava a magnetosfera terrestre, para ir ao encontro do cometa Giacobini-Zinner passando através da sua cauda ionizada. Não se obtiveram imagens do cometa porque a carga útil do ICE era constituída por instrumentos concebidos para estudar plasmas. Por outro lado, a interacção vento solar/plasma cometário foi bem estudada e obtiveram-se informações (impossíveis a partir da Terra) sobre a composição da cauda (iões, electrões), sobre a velocidade do plasma e sobre a repartição espacial destas partículas.

Uma frota de cinco engenhos espaciais (um europeu, dois soviéticos e dois japoneses) foi lançada ao encontro do cometa de Halley (Tabela 1). Os americanos

estão ausentes desta grande estreia da exploração espacial apesar de terem sido os primeiros a encarar a realização de uma missão (aliás muito ambiciosa) aos cometas de Halley e Tempel 2. Tiveram que renunciar a ela em consequência dos elevados cortes orçamentais que o programa espacial americano sofreu em 1980.

As cinco sondas são muito diferentes entre si, tanto no seu grau de sofisticação como na perspectiva científica adoptada (Tabela 2). Os instrumentos soviéticos farão uma análise a curta distância, com uma forte capacidade para obter imagens das caudas, da coma e talvez do núcleo, mas as medidas activas (aquelas que implicam uma interacção directa com a matéria cometária) serão bastante limitadas porque a região circum-nuclear não será visitada. Se as informações obtidas no encontro Halley-Vega 1 permitirem prever um risco de destruição reduzido, a sonda Vega 2 passará a 7000 ou mesmo a 5 km do núcleo. Giotto será o suicida do grupo: será enviada tão perto do núcleo quanto possível, na esperança não só de que não será destruída antes de ter obtido numerosas informações sobre os iões e espécies neutras da coma interna graças aos seus espectrógrafos de massa, mas sobretudo esperança de que os primeiros impactos com os grãos cometários não a desestabilizarão e de que o seu sinal rádio será sempre recebido na Terra. Dado que é estabilizada por rotação, as imagens serão obtidas ponto por ponto. As sondas japonesas são pelo contrário muito mais simples: MS-T5 estudará a cauda ionizada, longe do núcleo, ao passo que Planet-A registará sobretudo imagens do núcleo atómico de hidrogénio de uma forma quase contínua (a partir de 5 ou 6 de Março encontrará os primeiros átomos de hidrogénio do cometa, os quais terão sido produzidos cerca de dez dias antes). As informações obtidas por todos estes instrumentos serão muito diferentes das obtidas a partir dos nossos observatórios ou de observatórios em órbita terrestre (o satélite IVE será utilizado no domínio do ultravioleta; um foguetão a lançar em meados de Fevereiro obterá um espectro do cometa no seu período de actividade máxima; o vaivém espacial transportaria uma carga útil excepcional durante a grande semana de Março e exploraria da melhor forma possível o domínio ultravioleta). As câmaras fotográficas de Vega e Giotto resolverão a estrutura interna da coma de poeira e dar-nos-ão informações inéditas sobre a actividade do núcleo (zonas emissivas, natureza e estrutura das ejeções, observação da desgaseificação, rotação do núcleo). A câmara infra-vermelha das sondas Vega detectará certamente moléculas-mãe (prevê-se H₂O, CO, CO₂, ...?) e medirá a emissão térmica dos grãos com grande poder de resolução espacial. O espectrómetro tri-canal (do ultravioleta ao infravermelho próximo) dar-nos-á uma visão completa do espectro da cabeleira e da sua evolução ao longo de alguns dias. A sonda Planet-A completará os objectivos atingidos por Vega obtendo imagens de nuvem de hidrogénio. Os instrumentos da Giotto serão muito mais "activos" no sentido em que quase todos eles implicam um contacto com a matéria cometária. Se a nuvem de poeira que rodeia o núcleo tivesse o bom gosto de não ser opaca, poderíamos mesmo esperar obter imagens do núcleo propriamente dito, com uma resolução espacial da ordem dos 20 metros. Os espectrómetros de massa detectarão certamente iões que não se conseguem detectar a partir da Terra por serem muito pouco numerosos ou fracamente emissivos. Mais de uma dezena de instrumentos vão analisar a interacção vento solar/ionosfera

⁽³⁾ O autor refere-se à possibilidade de observação dos cometas utilizando instrumentos colocados em satélites, fora da atmosfera terrestre (N.T.).

Tabela 1
As sondas que explorarão o Cometa de Halley

	Vega-1 (URSS)	Vega-2 (URSS)	Planet-A (Japão)	MS-T5 (Japão)	Giotto (Europa)
Data de lançamento.....	15/12/84	21/12/84	Agosto 85	8/1/85	2/7/85
Data do encontro	6/3/86	9/3/86	8/3/86	11/3/86	13/3/86
Distância mín. encontro (km)	10 000 (¹)	7 000 (¹)	200 000 (¹)	400 000 (²)	500 (¹)
Velocidade relativa (km/s)	80	77	75	74	69
Peso equip. científico (kg).....	125	125	12	14	50
Número instrum. a bordo.....	14	14	2	3	10

(¹) Entre o Sol e o núcleo; (²) Na direcção anti-solar.

Tabela 2
Características das missões

	Vega	Giotto	Planet-A	MS-T5
Estabilização	3 eixos	por rotação	por rotação	por rotação
Câmaras fotográficas	3 (visível e infra-vermelho)	1 (Visível)	1 (UV longinquo)	—
Espectrómetros de massa (espécies neutras e iões).....	2	2	—	—
espectrómetros de massa (poeira)	1	1	—	—
Detectores de poeira.....	1	1	—	—
Instrumentos para estudo do plasma.....	5	4	1	3
Espectrógrafos	1	—	—	—
Outros instrumentos.....	—	1	—	—

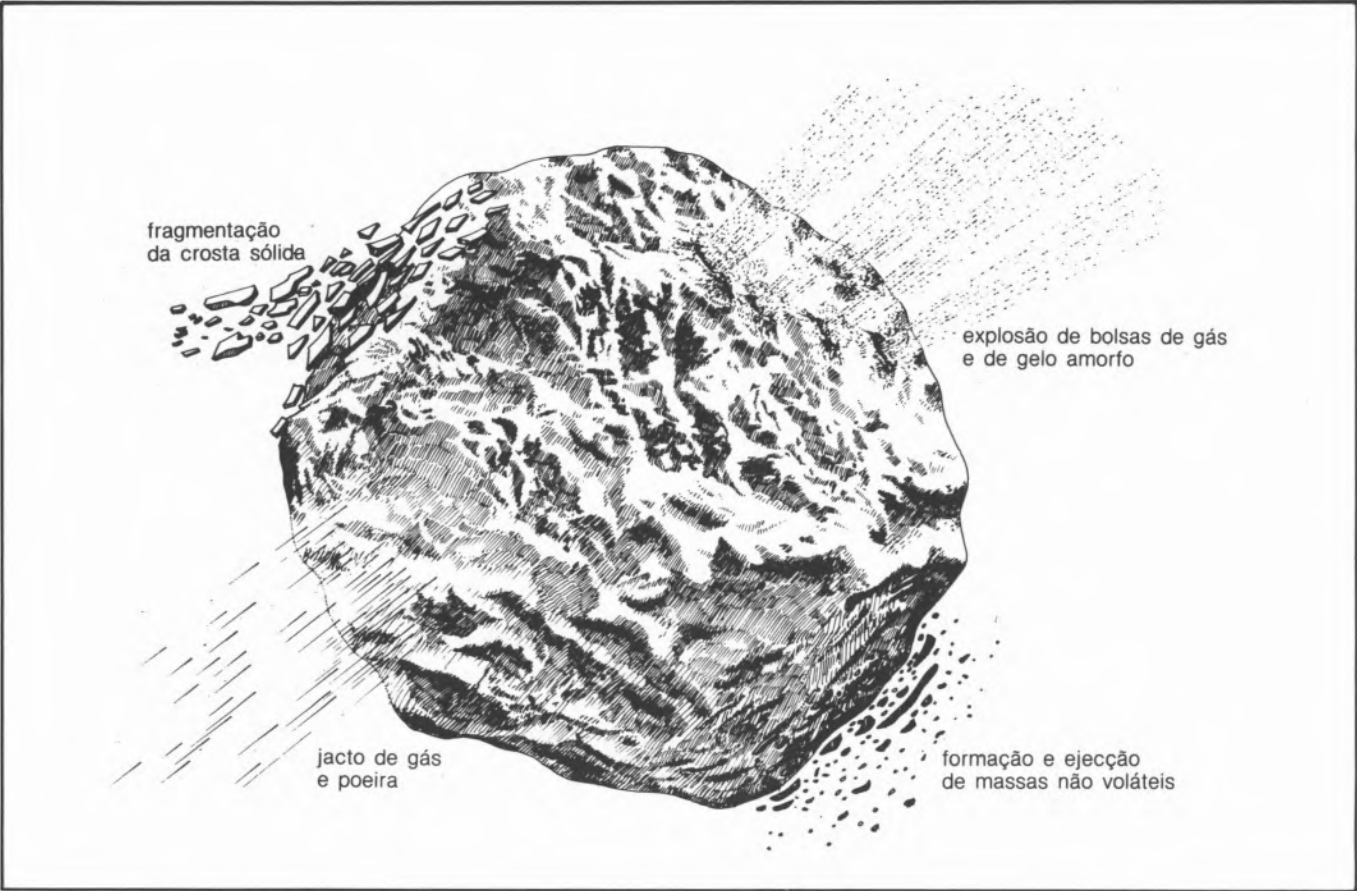


Fig. 1
Os cometas são dos corpos mais antigos do Sistema Solar. A sua parte central (núcleo) encerra dados essenciais sobre as condições reinantes na Nebulosa Solar primitiva, quando da formação dos planetas. Sabe-se ainda muito pouco sobre as constituição e estrutura do núcleo cometário. Segundo o modelo mais aceite, o da "bola de neve suja" (F. Whipple), o núcleo é um aglomerado de rochas e gelo de forma irregular, e com algumas dezenas de quilómetros de extensão. Assim que o cometa se avizinha do Sol, as camadas exteriores deste aglomerado volatilizam-se numa ejeção de gases e poeiras que constitui a parte visível do cometa. Segundo observações recentes esta ejeção não é isotrópica (cf. figura). A sonda Giotto, que se cruzará com o cometa de Halley a 13 de Março, possibilitará a obtenção da primeira imagem de um núcleo cometário. O encontro durará cerca de 4 h, passando a sonda a cerca de 500 km do núcleo, e a uma velocidade de 250 000 km/h.