

Governo José Sarney

Ministério da Ciência e Tecnologia
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico-CNPq
Financiadora de Estudos
e Projetos- Finep



PROJETO HALLEY



HALLEY

1986



MCT *CNPq* finep

HALLEY

1986



MCT

Ministério da Ciência e Tecnologia



CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Assessoria Editorial Brasília 1986



FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS

Sumário

| | |
|--|----|
| Capítulo I | |
| Os cometas e sua origem | 9 |
| Capítulo II | |
| Dinâmica e propriedades estatísticas | 13 |
| Capítulo III | |
| Resumo histórico | 23 |
| Capítulo IV | |
| Projetos espaciais | 29 |
| Calendário de eventos | 37 |
| Mapas de observação | 39 |
| Glossário | 41 |



Os cometas e sua origem

1 – O que é um Cometa?

Uma pedra porosa em sublimação, viajando nas regiões mais internas do sistema planetário, seria a resposta mais breve à pergunta.

Sublimação é o processo pelo qual um sólido se vaporiza, sem passar pelo estado líquido. Na nossa experiência normal, um sólido aquecido passa a ser líquido pelo processo de fusão; o líquido passa ao estado gasoso por aquecimento, mediante a evaporação. No meio interplanetário, a parte mais densa de um cometa, seu núcleo, sofre evaporação direta pelo aquecimento de sua superfície produzida pela radiação solar.

O núcleo de um cometa, fonte de toda sua matéria, é, no entanto, a parte menos aparente do mesmo. Além dele, os cometas têm uma parte mais conspícua, chamada coma ou cabeleira, com forma aproximadamente esférica, formada pelos gases sublimados a partir da superfície do núcleo; há caudas que se estendem por dezenas ou centenas de milhões de quilômetros. Observações a partir de satélites artificiais, dotados de aparelhos especiais, para observação de objetos astronômicos, fora da atmosfera, têm mostrado a existência de outra parte, não aparente da superfície da Terra, chamada halo e que consiste em átomos e íons de hidrogênio.

O núcleo é um aglomerado de partículas sólidas, contendo elementos pesados e metais embebidos numa rede gelada de água, dióxido de carbono, amoníaco e outras moléculas com carbono e enxofre. As dimensões do núcleo não podem ser determinadas com precisão, mas os limites do seu diâmetro estão entre um quilômetro a algumas dezenas de quilômetros no máximo.

É característica das trajetórias ou órbitas dos cometas, elipses muito alongadas, com o Sol num dos focos. A velocidade do cometa nas regiões de sua órbita mais próximas ao Sol é muito maior que nas regiões diametralmente opostas. Nestas últimas, as distâncias ao Sol



podem atingir até dezenas de milhares de unidades astronômicas (uma Unidade Astronômica — UA é a distância média entre a Terra e o Sol e equivale a 150 milhões de quilômetros). O ponto da órbita mais próximo ao Sol, chamado periélio, é para a maioria dos cometas observados igual ou menor que uma UA.

Nas regiões mais longínquas, o cometa só consiste do núcleo gelado, com dimensões muito pequenas para serem observadas, mesmo com os maiores telescópios disponíveis.

Quando, no percurso de sua órbita, o cometa se aproxima do Sol, a radiação solar aquece suas camadas superficiais. Ao atingir três UA, aproximadamente, os gelos de água, amônia, dióxido de carbono, etc., começam a evaporar, formando uma nuvem gasosa que envolve a parte nuclear.

A coma consiste dos gases sublimados pelo núcleo que se expandem com a velocidade com a qual foram sublimados. Junto com os gases são ejetados grãos microscópicos constituídos por moléculas mais pesadas, provavelmente ferro, óxidos de ferro, silicatos, etc. Esses grãos de poeira são afastados do núcleo pelo atrito com as moléculas evaporadas.

Entre as moléculas presentes na coma dos cometas, detectadas mediante observações espectroscópicas no intervalo da luz visível, encontram-se: CN, C₂, C₃, CH, NH, NH₂, OH e espécies atômicas O, C e CS. Estas espécies moleculares seriam os resultados da fotodissociação de outras residentes originalmente no núcleo, tais como: H₂O; NH₃, HCN, CH₃CH, etc., chamadas de espécies "mães" e existentes só nas camadas inferiores da coma, próximas ao núcleo.

As dimensões da coma são fortemente variáveis, na medida em que muda a distância ao Sol, mas nos cometas mais ativos pode atingir diâmetros da ordem de 100 mil quilômetros ou mais. Usualmente, a coma atinge suas dimensões máximas quando a distância entre o cometa e o Sol é de duas UA, aproximadamente.

Geralmente, depois que a coma atinge suas dimensões máximas, o gás e a poeira mais afastados do núcleo começam a sofrer a ação da radiação solar: formam-se, então, as duas caudas apresentadas por muitos cometas.

As caudas são jatos que partem da coma no sentido oposto ao que vai do cometa ao Sol. Uma cauda mais próxima de uma reta é a chamada cauda de plasma ou gasosa; a segunda, partindo do mesmo hemisfério da coma, mas com uma maior curvatura, é a cauda de poeira. A orientação comum é devida ao fato de ser o Sol o propulsor de ambas as caudas. Na cauda gasosa, as moléculas do gás, ionizadas

pela radiação solar, são puxadas para longe do Sol pelo fluxo de partículas emitidas continuamente por este, e que é constituído, principalmente, por elétrons e prótons livres. Os grãos de poeira que formam a cauda do mesmo nome são puxados no sentido de afastamento do Sol pela força que a radiação solar produz em sólidos muito pequenos.

Os íons presentes nas caudas gasosas são: H₂O⁺, CO⁺, N₂⁺, CH⁺, CO₂⁺ e OH⁺. A composição dos grãos de poeira que constituem a cauda da poeira não está tão bem-determinada, porque o comportamento óptico de pequenas partículas é similar para os diferentes possíveis constituintes. É provável, no entanto, que estes grãos tenham como principais integrantes óxidos de ferro, silicatos de ferro e magnésio e aluminatos de metais abundantes, constituintes de meteoritos.

As caudas, pequenas inicialmente, podem atingir, às vezes, dezenas ou centenas de milhões de quilômetros. Elas são a parte mais impressionante do espetáculo que é um cometa e são a causa do próprio nome. Apesar da imponente aparência das comas e caudas, a quantidade de material presente em ambas é muito pequena: quando compactada no núcleo, toda essa matéria ocupa uma fina camada superficial de alguns centímetros de espessura.

Nas caudas e na coma, a luz emitida é produzida pela radiação solar que as ilumina. O gás da coma e o da cauda gasosa emite luz em comprimentos de onda discretos, característicos das moléculas presentes excitadas pela radiação solar. A poeira presente na coma e na cauda simplesmente reflete a luz solar, mantendo as proporções desta última nos diferentes comprimentos de onda.

O halo dos cometas é um envelope de hidrogênio muito diluído só detectável com sensores de radiação ultravioleta montados em satélites fora da atmosfera terrestre. Tem a forma aproximadamente esférica e atinge dimensões da ordem de 100 milhões de quilômetros, sendo importante seu estudo para a compreensão da física cometária e das condições do meio interplanetário nas imediações do Sol.

A seqüência através da qual aparecem a coma e a cauda ao se aproximar o cometa do Sol é invertida na parte da órbita posterior à passagem pelo periélio, com o desaparecimento da cauda e da coma quando a distância ao Sol atinge valores entre três e dez UA.

2 — Origem dos Cometas

O nascimento dos cometas está vinculado à origem do sistema planetário. Hoje aceita-se que os núcleos cometários foram formados



na nebulosa primitiva onde se formou o sistema solar, e, simultaneamente, com o próprio sistema.

Estas idéias levaram ao astrônomo holandês J. H. Oort a sugerir a existência de uma gigantesca nuvem de núcleos cometários, a distâncias entre 50 mil e 150 mil UA, contendo trilhões destes objetos. O processo de condensação da nebulosa primitiva, que originou os planetas nas suas regiões centrais, teria produzido a formação destes numerosos e pequenos sólidos na periferia da mesma. Os núcleos cometários que adquirem órbitas com passagens próximas ao Sol, que são os cometas observáveis, seria uma pequena amostra da população desta hipotética nuvem.

A existência da nuvem de Oort, geralmente aceita, torna os cometas verdadeiras relíquias fósseis da nebulosa primitiva, e daí o interesse muito especial no seu estudo, na tentativa de saber a origem do nosso sistema planetário.

Capítulo II

Dinâmica e propriedades estatísticas

1 — Idéias Gerais

Os cometas periódicos, como é o caso do cometa Halley e os planetas, se movimentam em trajetórias determinadas, essencialmente, pela atração gravitacional do Sol. As órbitas destes cometas apresentam, no entanto, uma particularidade fundamental. Enquanto as órbitas dos planetas são quase circulares, tendo o sol como centro, as órbitas dos cometas são alongadas de forma que eles passam muito próximos do Sol para depois se afastarem a grandes distâncias (ver figura 1).

No caso do cometa Halley, que gira em sentido contrário aos planetas, sua menor distância do Sol é de 87 milhões de quilômetros e sua maior distância é 60 vezes maior, ou seja, mais de cinco bilhões de quilômetros.

As velocidades dos cometas variam muito em suas trajetórias e isto é uma consequência direta das leis da mecânica (Leis de Kepler). Os cometas se deslocam em grandes velocidades quando próximos do Sol e lentamente quando estão distantes. No caso do cometa Halley sua velocidade varia de aproximadamente 200 mil quilômetros por hora para pontos próximos ao Sol, para três mil quilômetros por hora em seu ponto mais afastado. Em decorrência desta variação de velocidades, os cometas passam a maior parte do tempo de revolução em torno do Sol nas regiões afastadas (ver figura 2).

O cometa Halley, por exemplo, permaneceu 38 anos (entre 1929 e 1967) na parte de sua órbita mais afastada do Sol (ver figura 2). Lembrando que este cometa dá uma volta completa em torno do Sol em 76 anos, conclui-se que ele permanece a metade do seu período naquela região. Por outro lado, este cometa permanece apenas seis anos na região próxima ao Sol a distâncias que permitem sua detecção com os recursos astronômicos existentes hoje. Na região próxima

Figura 1

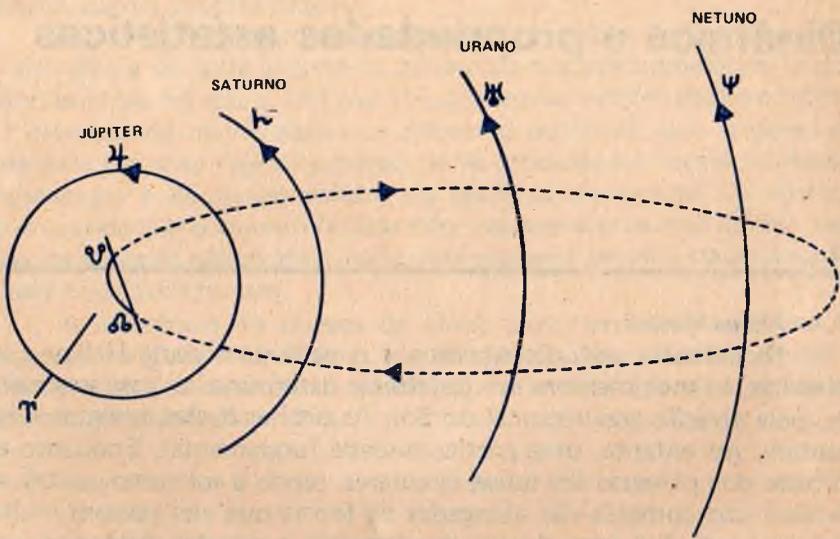


Figura 2

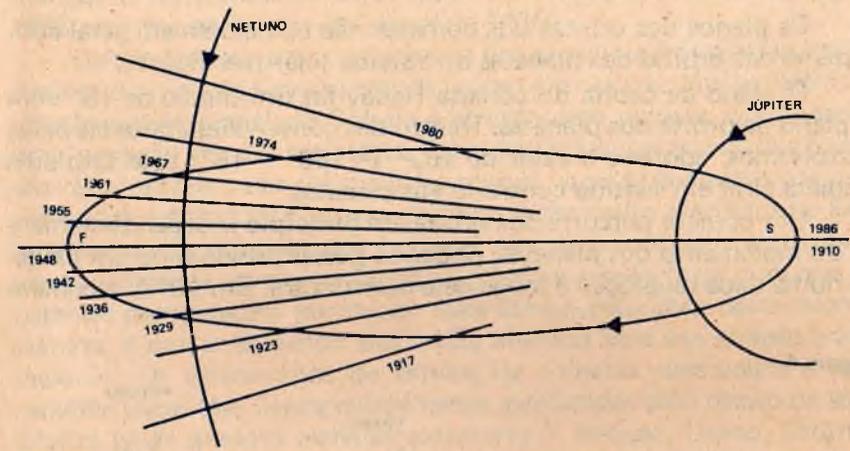
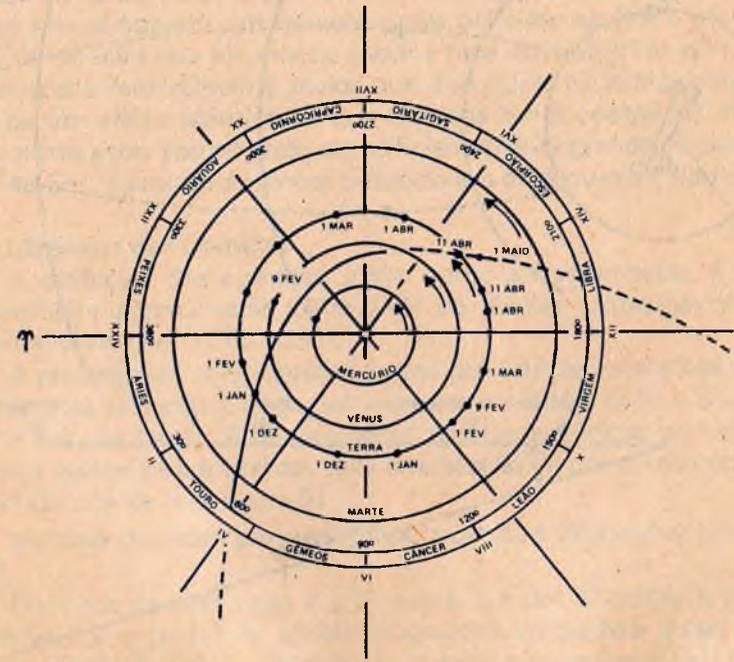
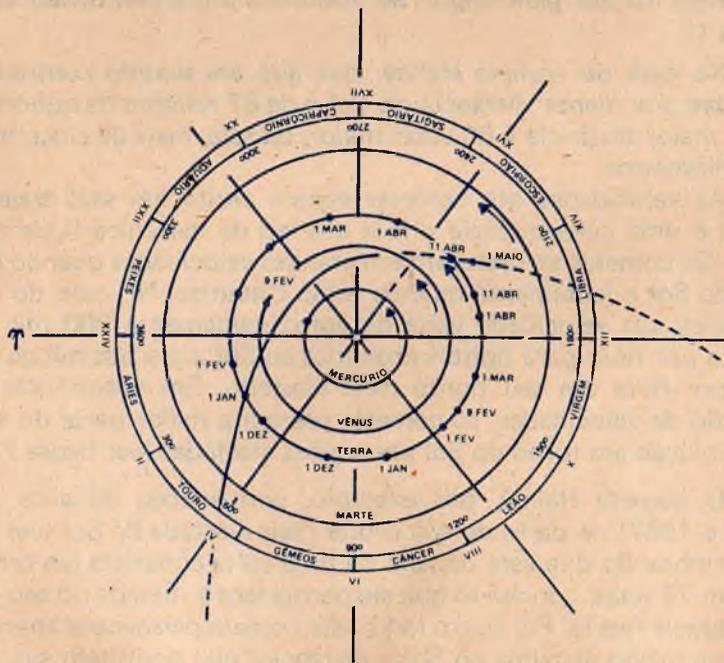


Figura 3



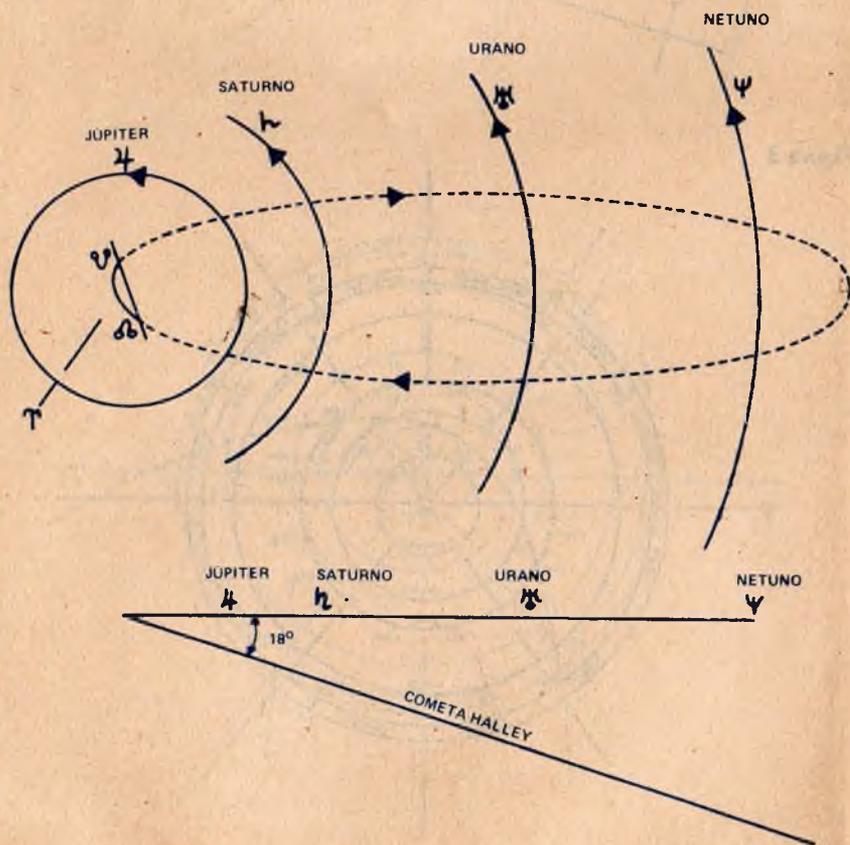
ao Sol, limitada pela órbita da Terra, o cometa Halley permanecerá apenas três meses, entre 1º de janeiro e 1º de abril de 1986 (ver figura 3).

Os planos das órbitas dos cometas não coincidem em geral com o plano das órbitas dos planetas do sistema solar (ver figura 4).

O plano da órbita do cometa Halley faz um ângulo de 18° com o plano da órbita dos planetas. Dentro das convenções adotadas pelos astrônomos, adota-se o valor de $162^\circ (= 180^\circ - 18^\circ)$ pelo fato de o cometa girar em sentido contrário aos planetas.

Um cometa percorre sua órbita em princípio independentemente do movimento dos planetas, podendo passar próximo de um planeta numa dada revolução e longe dele numa outra. Em 1910, o cometa

Figura 4



Halley passou próximo à Terra, tendo sua distância mínima sido de 21 milhões de quilômetros. Em 1986, a distância mínima será de 63 milhões de quilômetros e sendo uma das razões porque a passagem de 1986 será menos espetacular que a de 1910.

Se um cometa passa próximo a um planeta e principalmente se a massa do planeta é muito grande, como é o caso de Júpiter, além da atração gravitacional do Sol ele é atraído pelo planeta, o que causa uma variação da sua trajetória. Estas variações das trajetórias é que são responsáveis pelas dificuldades muitas vezes encontradas nas previsões das órbitas dos cometas. Quando estão muito afastados do Sol, as velocidades relativas dos cometas são pequenas; isto aumenta a possibilidade de aproximação de um planeta e pode fazer com que os cometas permaneçam por muito mais tempo próximos deste mesmo planeta, e portanto, tendo sua órbita alterada pela sua atração gravitacional. Os vários tipos de órbitas de cometas observados e suas características são, fundamentalmente, explicados pelo desvio de suas órbitas pelos grandes planetas exteriores — Netuno, Urano, Saturno e, sobretudo, Júpiter (ver capítulo seguinte).

A força gravitacional do Sol, além de ser responsável pelas órbitas dos cometas, pode causar em certos casos sua destruição. O que ocorre é que quando um cometa passa próximo ao Sol o efeito da força de atração que ele exerce sobre a face mais próxima do núcleo do cometa é sensivelmente maior que a exercida na face oposta (trata-se de um efeito idêntico ao que causa às marés oceânicas). A diferença entre estas forças pode ser suficientemente grande na proximidade do Sol, de modo a romper o núcleo em duas ou mais partes.

2 — Dinâmica dos Cometas

A dinâmica dos cometas, assim como a dos planetas, é regida em primeira aproximação pelas Leis de Kepler (Johannes Kepler, astrônomo alemão, 1571-1630).

A primeira lei, relacionada à forma das órbitas, estabelece que as órbitas (dos planetas e cometas) são curvas cônicas com o Sol, ocupando um dos focos. A denominação de curvas cônicas vem do fato de estas curvas serem geradas pela intersecção de um plano com uma superfície cônica (ver figura 5).

No caso dos cometas periódicos, a órbita é uma elipse (ver figura 6).

Os focos da elipse são S e S', sendo S o Sol. O ponto A chama-se periélio e o ponto A' afélio (originados da palavra grega *helio* = Sol). A distância $OA = OA'$ define o semi-eixo maior da elipse, e a



Figura 5

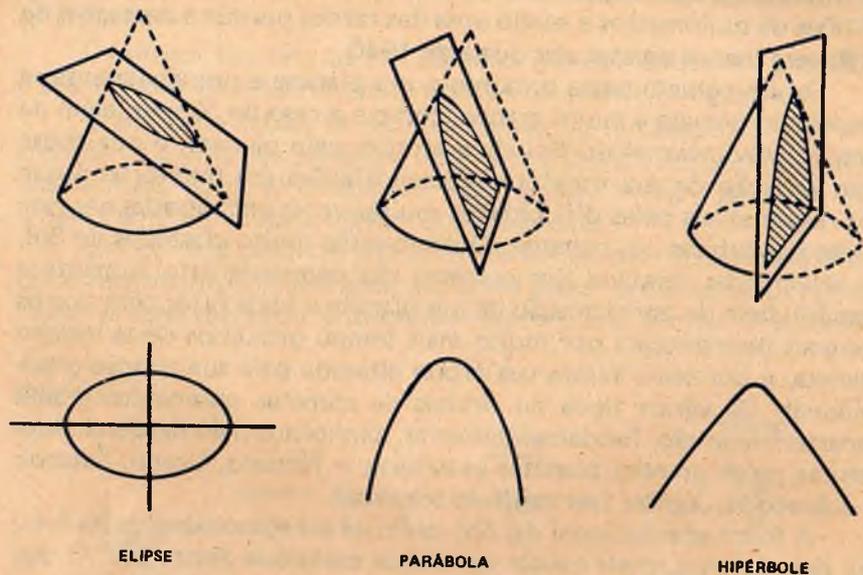
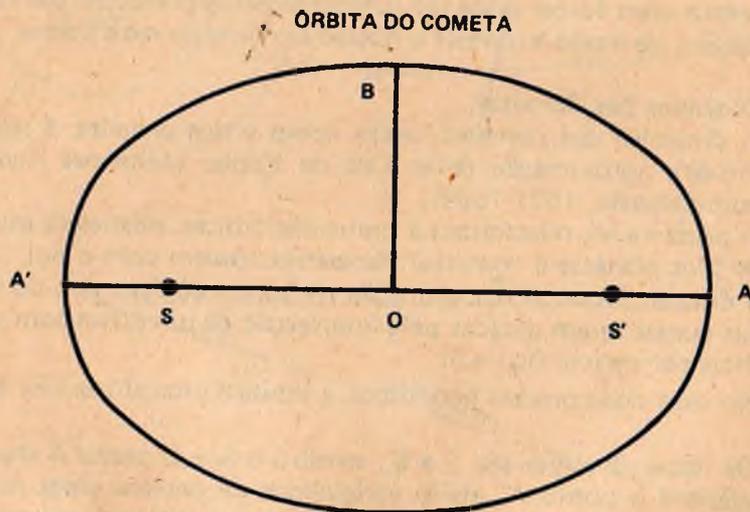


Figura 6

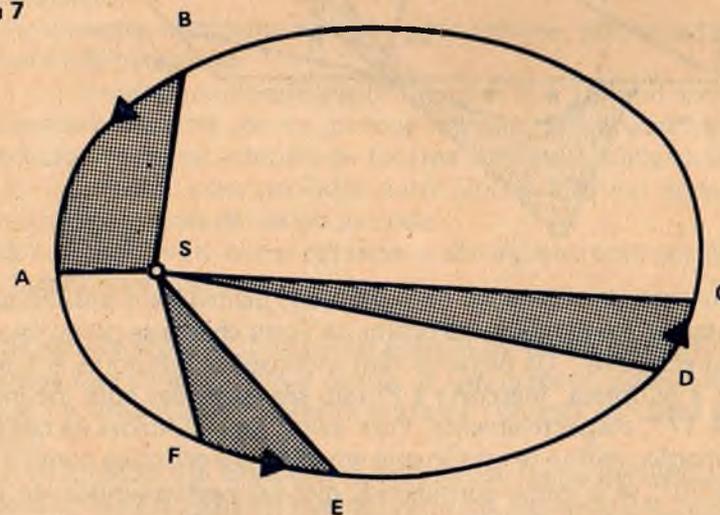


grandeza obtida pela divisão das distâncias OS por OA define a excentricidade. O segmento OB é chamada semi-eixo menor.

No caso do cometa Halley, a distância OS é próxima de OA, ou seja, a excentricidade é próxima da unidade, o que faz com que a órbita seja alongada, tendo o periélio muito próximo do Sol e o afélio muito afastado. No cometa Halley, a excentricidade é de 0,967, enquanto que nos planetas elas não excedem 0,1 (exceto Mercúrio, que tem 0,2). O semi-eixo maior do Halley é de 17,8 unidades astronômicas.

A descrição do movimento dos cometas ou planetas sobre a órbita é dada pela segunda lei de Kepler. Ela estabelece que os segmentos que unem o Sol e um dado planeta ou cometa varrem áreas iguais em tempos iguais (figura 7).

Figura 7

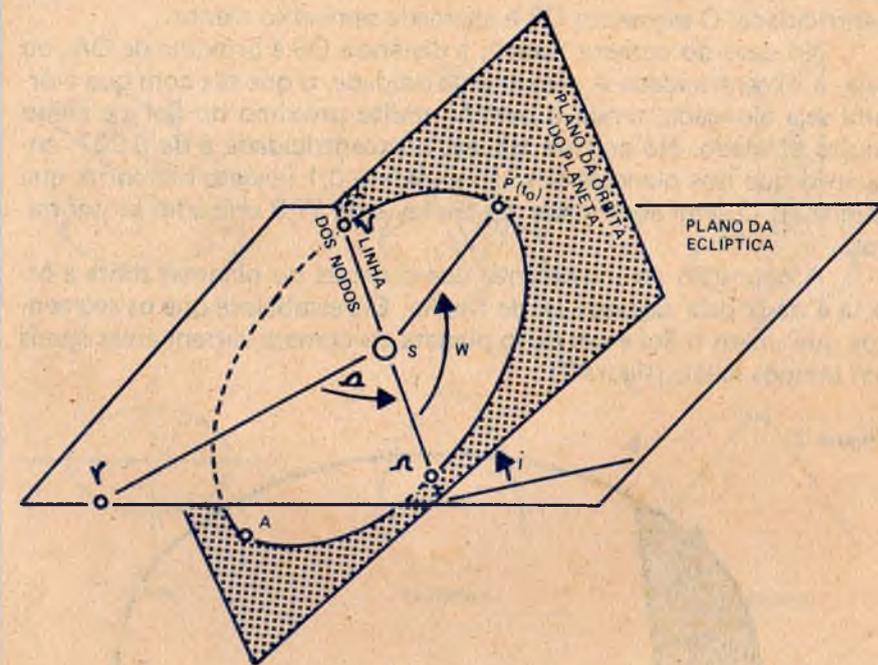


Esta lei garante que a velocidade de um cometa, que tem excentricidade grande, é muito maior no periélio do que no afélio.

Existe uma terceira lei de Kepler que relaciona os períodos dos planetas e cometas periódicos com o tamanho dos semi-eixos maiores.

Para a descrição de uma órbita em relação a outra, um parâmetro essencial é a inclinação. As cônicas são curvas, isto é, estão contidas num plano. Corpos celestes diferentes têm suas órbitas em planos diferentes. Os ângulos que estes planos fazem entre si definem a inclinação de uma órbita em relação a outra (figura 8).





No caso dos planetas, eles estão em planos bem próximos. Em particular, o plano médio da órbita da Terra chama-se plano da eclíptica (ou eclíptica). Os planetas têm inclinações inferiores a 3° , 5° em relação à eclíptica. Mercúrio e Plutão são exceções com inclinações de 7° e 17° , respectivamente. Para evitar ambigüidades na definição de inclinação, define-se este ângulo em relação à eclíptica como menor do que 90° , se o corpo considerado gira no mesmo sentido da Terra, em torno do Sol. Este ângulo é maior do que 90° em caso contrário, ou seja, se o movimento do corpo é retrógrado. Este é o caso do cometa Halley que tem inclinação de 162° em relação à eclíptica.

3 – Estatísticas dos Cometas

Conforme vimos anteriormente, existe um "reservatório" de cometas no sistema solar situado a mais ou menos 50 mil UA, constituindo a chamada "nuvem" de Oort. Nela se encontram cerca de 100 bilhões de cometas com uma massa total, aproximadamente, equivalente a um décimo da massa da Terra. Assim, apesar do grande núme-

ro, a massa total é desprezível face aos demais astros do Sistema Solar.

De tempos em tempos, a passagem de uma estrela próximo da nuvem ocasiona perturbações consideráveis nos elementos das órbitas de cometas ali situados. Desta forma, inúmeros objetos penetram nas regiões internas do sistema solar, tornando-se visíveis (com o aparecimento da coma e cauda), conforme se aproximam do Sol. Assim, cerca de quatro a cinco novos cometas são descobertos anualmente. Durante a década de 1963/1972 foram descobertos 45 novos cometas. A taxa anual de descobertas oscilou entre apenas um novo cometa descoberto em 1971 a sete novas descobertas em 1968. Os anos de 1947 e 1948 foram extremamente propícios a novas descobertas, pois nove e dez novos cometas foram, respectivamente, encontrados naquelas datas.

Os cometas, conforme seus períodos orbitais, podem ser classificados em três categorias:

- 1 – Cometas com períodos (P) maiores que 100 mil anos – são considerados cometas novos porque devem, provavelmente, estar penetrando nas partes internas do sistema solar pela primeira vez.
- 2 – Cometas com períodos entre 200 e 100 mil anos – são chamados de cometas de longo período.
- 3 – Cometas de curto período – são aqueles com períodos orbitais inferiores a 200 anos.

Se estudarmos, de uma forma estatística, como se distribuem os elementos que caracterizam a órbita de um cometa, podemos verificar que há uma nítida diferença entre os cometas de curto e longo período.

A inclinação das órbitas dos cometas de longo período apresenta uma distribuição mais ou menos uniforme, havendo um número de órbitas diretas (inclinação menor que 90°) praticamente equivalente ao de órbitas retrógradas (inclinação maior que 90°). Os cometas de curto período, ao contrário, encontram-se fortemente concentrados no plano do sistema solar, com inclinações orbitais não ultrapassando, em geral, valores da ordem de 30° . Existem poucas exceções a esta regra. Uma é o próprio cometa Halley que possui uma inclinação orbital igual a 162° e as outras são os cometas Temple-Tuttle ($i = 163^{\circ}$) e Swift-Tuttle ($i = 114^{\circ}$).

As diferenças entre os cometas de curto e de longo período são ainda mais notáveis quando estudamos a distribuição dos afélios (conforme vimos anteriormente, são os pontos da órbita de máximo



afastamento do sol). Os cometas de curto período, na sua maioria, têm seus afélios entre cinco e seis UA, praticamente coincidindo com a distância de Júpiter ao Sol (5,1 UA). Tal coincidência faz supor que a influência de Júpiter é extremamente importante nestes cometas para o estabelecimento de seus parâmetros orbitais.

Uma outra questão relevante refere-se à "vida-média" dos cometas, que no caso dos de curto período está limitada pela taxa de sublimação do material volátil do núcleo. O quadro 1 nos mostra, para vários cometas de curto período, o número de revoluções esperado antes que o núcleo se sublima por completo. Podemos verificar que o Halley, atualmente com um núcleo de diâmetro da ordem de dez quilômetros, tem ainda uma vida da ordem de 17 mil anos pela frente.

Quadro 1

| Cometa | Período (Anos) | Distância Periélica (UA) | Nº de Revoluções |
|-----------|----------------|--------------------------|-------------------|
| Temple-2 | 5.26 | 1.37 | 380 |
| Borrelly | 7.00 | 1.45 | 512 |
| Whipple | 7.44 | 2.46 | 1.4×10^4 |
| Oterma | 7.89 | 3.39 | 2.6×10^5 |
| Crommelin | 27.9 | 0.74 | 65 |
| Halley | 76.0 | 0.59 | 225 |

Capítulo III

Resumo histórico

Registros de cometas que apareceram na antigüidade têm sobrevivido até os nossos dias. Naturalmente, a aparição de um brilhante e inesperado cometa no céu deve ter surpreendido o homem muito antes que qualquer registro permanente pudesse ser feito para a posteridade, mas dos séculos precedentes da era cristã, numerosos registros de cometas têm sobrevivido.

A palavra cometa é derivada diretamente da palavra grega *Κομη'της*, que significa longa cabeleira. Muitos livros dão como origem a palavra latina *coma*, cabelo. Este nome vem, naturalmente, das longas caudas que freqüentemente acompanham os grandes cometas, as quais atraíam a atenção, pois eram únicas na forma em relação a outros corpos celestes, geralmente, considerados esféricos.

Para a maioria dos cometas observados na antigüidade, os chineses deixaram registros mais completos que as nações européias, e é devido às suas observações que podem ser calculadas as órbitas aproximadas de alguns cometas que apareceram há dois mil anos atrás.

As visitas do cometa Halley têm mantido a atenção do homem por mais de dois mil anos. Suas aparições foram cuidadosamente registradas nas crônicas das velhas cortes da China, Coréia e Japão, e mais tarde nos documentos da Europa Medieval. O Halley é, sem dúvida, aquele que causou as mais importantes influências na astronomia, não somente pelo fato de que sua periodicidade foi estabelecida antes de qualquer outro, mas também porque a sua história, como vimos acima, pode ser traçada há dois mil anos. Seus retornos, em intervalos que coincidem com o tempo médio de vida humana (e também porque na maioria das vezes têm coincidido com vários eventos importantes na história), têm lhe dado um interesse adicional, não somente para os supersticiosos, mas também para os estudiosos das reações e da conduta dos homens. No quadro 2 temos as passagens históricas anteriores do Halley.

Aparições do Cometa Halley

| Ano* | Periélio | Ano | Periélio |
|--------|--------------|------|-------------|
| 240 AC | 25 maio | 912 | 18 julho |
| 164 AC | 12 novembro | 989 | 5 setembro |
| 87 AC | 6 agosto | 1066 | 20 março |
| 12 AC | 10 outubro | 1145 | 18 abril |
| 66 | 25 janeiro | 1222 | 28 setembro |
| 141 | 22 março | 1301 | 25 outubro |
| 218 | 17 maio | 1378 | 10 novembro |
| 295 | 20 abril | 1456 | 9 junho |
| 374 | 16 fevereiro | 1531 | 26 agosto |
| 451 | 28 junho | 1607 | 27 outubro |
| 530 | 27 setembro | 1682 | 15 setembro |
| 607 | 15 março | 1759 | 13 março |
| 684 | 2 outubro | 1835 | 16 novembro |
| 760 | 20 maio | 1910 | 20 abril |
| 837 | 28 fevereiro | | |

(*) Foi usado o calendário Juliano para datas anteriores ao ano de 1782 e calendário Gregoriano para os anos após.

Com relação às superstições, o cometa Halley foi considerado "responsável" pelos seguintes acontecimentos:

- 66 – Foi visto pouco antes da destruição de Jerusalém pelos romanos (figura 9).
- 451 – Durante a batalha de Chalons quando os romanos venceram Átila, o rei dos Hunos.
- 1066 – Durante a batalha de Hastings onde o Rei Haroldo, da Inglaterra, foi vencido pelo exército de Guilherme, o Conquistador (figura 10).
- 1456 – Quando os turcos realizavam o cerco a Belgrado, o Papa Calixto III mandou rezar contra o diabo, os turcos e o cometa. Conta-se, sem confirmação histórica, que o papa excomungou o cometa.
- 1910 – Um relativo pânico aconteceu em certas cidades quando se soube que a terra ia cruzar a cauda do cometa. O medo se devia à possível contaminação da atmosfera terrestre pelo gás altamente tóxico que existe na cauda do cometa.

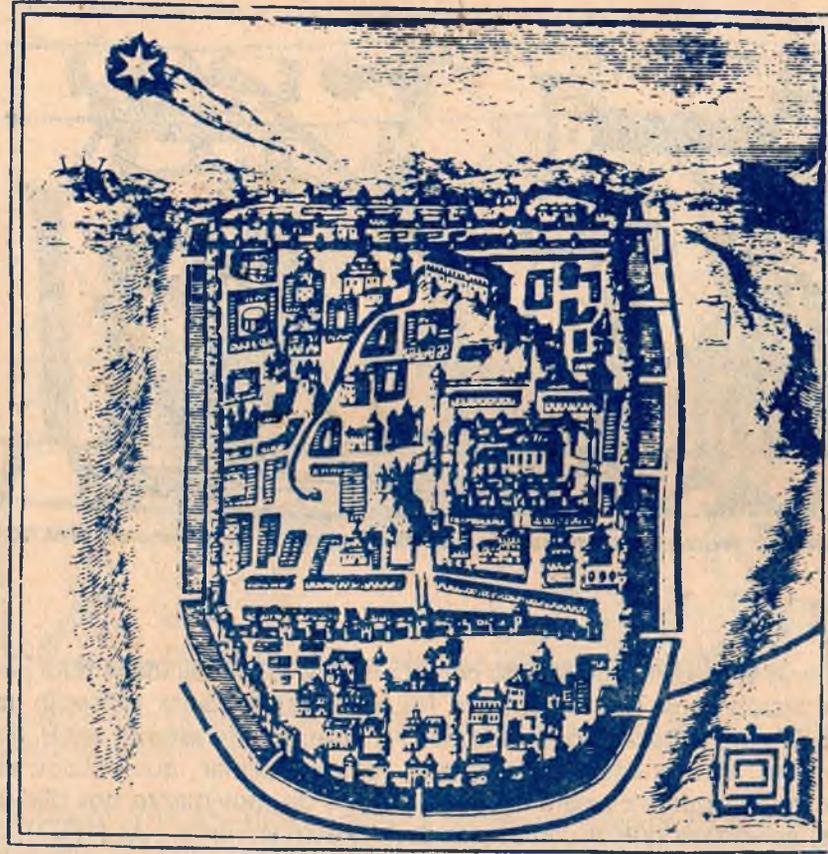


Figura 9 – Representação da passagem do Halley em 66 DC sobre Jerusalém, conforme Stanislaw de Lubienietzki (Leiden – 1681)

Hoje sabemos que no caso da passagem pela cauda, a quantidade de gás CN que entraria em nossa atmosfera seria muito pequena (uma parte em cada 10 bilhões de partes em massa).

A probabilidade de encontro com um cometa é também muito pequena. Estima-se em aproximadamente um encontro a cada dois mil anos. Mesmo no caso de queda, a maior probabilidade seria a de atingir uma área pouco povoada ou o oceano. Por exemplo, a conhecida explosão ocorrida em Tunguska (na Sibéria), no ano de 1908, poderia ter sido ocasionada pela queda de um cometa com um núcleo sólido de aproximadamente 40 metros de diâmetro. Tal hipotética colisão incendiou uma área de cinco mil km².





Figura 10

A verdadeira história do cometa Halley foi na realidade feita pelos astrônomos. Sua descoberta foi a consequência da aplicação da teoria da gravitação enunciada por Newton. É interessante notar, no entanto, que o célebre astrônomo Joannes Kepler, que aplicou as idéias de Copérnico para encontrar as leis do movimento dos planetas, acreditava que os cometas se deslocassem em linha reta (1607), o que é falso.

Edmond Halley, astrônomo inglês (1656-1742), amigo, colaborador e profundo conhecedor das idéias de Newton, determinou as órbitas de 24 cometas. Na realidade, ele teve a excelente idéia de pesquisar os cometas que possuíam as mesmas características orbitais. Graças a esse estudo, fez uma grande descoberta mostrando que vários cometas "idênticos" eram na realidade o mesmo cometa. Desta forma, foi capaz, pela primeira vez, de prever a aparição de um cometa brilhante, aquele que a posteridade passou a conhecer como o cometa periódico de Halley. Nessa época, ele escreveu:

"Agora, muitas coisas me levam a pensar que o cometa do ano 1531, (ver figura 11) observado por Apianus, é o mesmo que em 1607 foi descrito por Kepler e Longomontanus, e que eu mesmo vi e observei

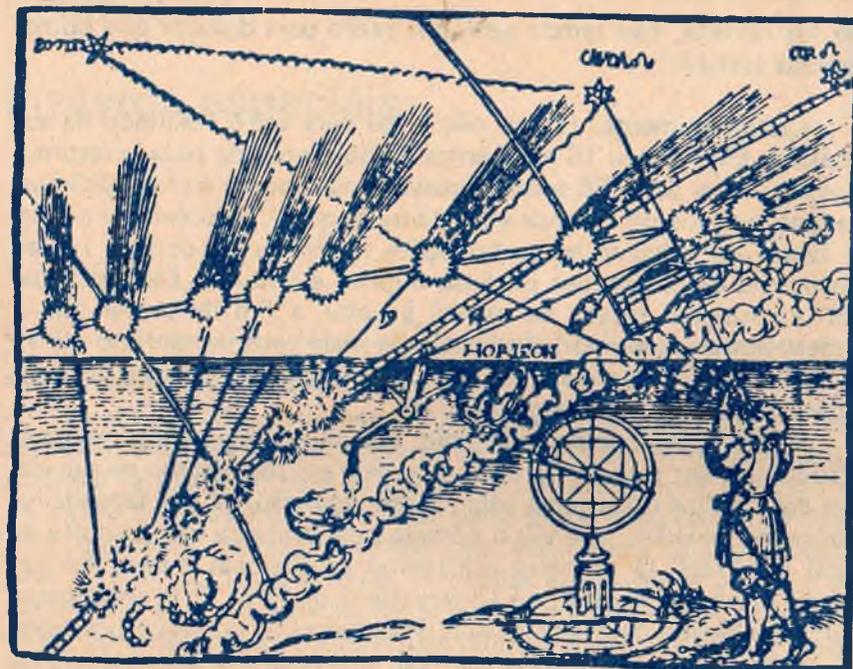


Figura 11 — Na xilogravura de 1532, Apianus mostra que a cauda aponta sempre na direção oposta ao Sol

em seu retorno em 1682. Todos os elementos estão de acordo, salvo uma diferença nos períodos de revolução, mas que não é tão grande para que não possa ser atribuída a algumas causas físicas (os intervalos entre as passagens de 1531, 1607 e 1682 diferem de 459 dias). Por exemplo, o movimento de Saturno é tão perturbado pelos outros planetas, em particular por Júpiter, que seu período é incerto em vários dias. Um cometa que está afastado a uma distância, aproximadamente, quatro vezes maior que a de Saturno, onde um ligeiro aumento de velocidade poderia mudar a órbita de uma elipse para uma parábola, não estaria muito mais sujeito a essas perturbações? A identidade desses cometas está confirmada pelo fato de que no verão de 1456, um cometa foi visto passar no sentido retrógrado, entre a Terra e o Sol, quase da mesma maneira, se bem que não foi observado de maneira científica, de seu período e de sua trajetória. Eu deduzo que se trata do mesmo cometa dos anos 1531, 1607 e 1682. Eu posso assim, com confiança, prever seu retorno no ano 1758. Se esta predi-



ção for correta, não temos nenhuma razão para duvidar que outros cometas voltarão”.

Lastimavelmente, Halley não viveu para ver o resultado da sua predição. Ele morreu 16 anos antes da data prevista para o retorno. Quando o ano de 1758 se aproximava, o astrônomo francês Clairaut, ajudado por Joseph Lalande e Hortense Lepaute, empreendeu a grande tarefa de calcular as perturbações na órbita do cometa Halley provocadas pelos grandes planetas Júpiter e Saturno. Eles trabalharam durante seis meses, de manhã à noite, a fim de prever que o cometa passaria pelo periélio (distância mais curta ao Sol) no dia 13 de abril de 1759. Na realidade, eles erraram em exatamente um mês. A data certa era 13 de março de 1759.

Nesses anos, como ainda hoje, era muito importante no meio astronômico ser o primeiro a ver o cometa em seu retorno de sua viagem aos confins do sistema solar. Nessa aparição foi um fazendeiro, astrônomo amador, que viu o cometa pela primeira vez na noite de Natal de 1758. O primeiro astrônomo profissional a vê-lo foi um francês chamado Messier, no Observatório de Paris. Este astrônomo, muito conhecido depois pelas suas descobertas de novos corpos celestes, passou por uma história incrível: o diretor do Observatório de Paris naquela época não permitiu o anúncio oficial da descoberta do cometa por parte de Messier.

Nos séculos seguintes, as previsões eram feitas com erros muito menores, da ordem de quatro dias. Hoje se prevê que sua passagem ocorrerá em 9 de fevereiro de 1986. Previsão feita com uma precisão de ± 0.25 dias, ou seja, seis horas.



Capítulo IV

Projetos espaciais

Planos científicos de observação

Para o estudo do Halley foi montado, e está em curso, o mais completo e o mais amplo programa de cooperação astronômica internacional já realizado para o estudo de um astro, com exceção da Terra, do Sol e da Lua. Dele farão parte tantas observações feitas do solo, utilizando os maiores telescópios do mundo, quanto observações a partir de equipamentos colocados em aviões e balões e até mesmo em satélites especialmente lançados com esse fim. Essas observações estão sendo coordenadas pelo International Halley Watch (Vigilância Internacional do Halley), organismo financiado pela NASA e criado com essa finalidade.

O International Halley Watch, que designaremos por IHW, como ele é conhecido, está organizado ao redor de dois centros básicos, um situado na Califórnia — EUA e o outro, em Bamberg — Alemanha Ocidental. Esses dois laboratórios funcionam como centros de ligação entre os astrônomos e observatórios nos dois hemisférios, as oito redes mundiais por especialidades que concatenam observações pelo mundo todo, os projetos espaciais para investigação do cometa, os astrônomos amadores, os meios de comunicação e o público em geral. Sua mais importante tarefa é organizar e publicar o Arquivo da Vigilância do Halley, planejado como a mais completa coleção de dados jamais coletados sobre um cometa. Esse arquivo deverá ser organizado na forma de um diário que permitirá, aos interessados, a análise da evolução diária do cometa, nos seus mais diversos aspectos.

O objetivo dessas observações é enriquecer nosso ainda limitado conhecimento sobre os cometas. Esses estudos deverão aumentar enormemente nossa compreensão da estrutura e da composição química dos cometas, fornecendo-nos, em última instância, importantes dados sobre a matéria originária do sistema solar, da qual os cometas estão entre as principais testemunhas. As observações previstas, ao

invés de se sobreporem entre si, na realidade se complementam, cada disciplina astronômica realizando estudos sobre aspectos diferentes que se somarão para dar uma visão conjunta do que é o cometa Halley e, por extensão, todos os demais.

Espera-se, com esse conjunto de observações, quantificar não somente os íons, átomos e moléculas sublimados pela energia solar, mas, principalmente, as moléculas mães produtoras desses átomos, íons e moléculas. Espera-se, assim, chegar à real composição química do cometa e, portanto, da matéria primordial do sistema solar. Para isso serão extremamente úteis as análises dos grãos de poeira despreendidos do cometa que serão feitas por satélites enviados pela Europa e pela União Soviética. Será de particular interesse a medição de certas razões isotópicas (dois átomos são isótopos que pertencem ao mesmo elemento químico, logo, têm o mesmo número de prótons, mas têm massas atômicas diferentes, logo, têm número de neutrões diferentes). A determinação de certas razões isotópicas, como, por exemplo, carbono-12/carbono-13, nas poeiras dos cometas podem revelar alguns dos processos físicos e químicos em ação durante a formação do sistema solar. A medição da razão lítio-6/lítio-7 nas relativamente primitivas poeiras dos cometas podem até mesmo trazer nova luz sobre as condições da criação do universo.

As observações feitas da Terra estão separadas em oito diferentes disciplinas, cada uma com uma organização própria, formando uma rede de observadores ao redor do mundo. Entre as principais finalidades dessas redes destacamos as seguintes:

— Rede de Astrometria — tem por finalidade receber e analisar as medidas precisas de posição do cometa, visando o cálculo acurado de sua órbita necessário para a orientação das sondas que irão encontrar o cometa e para o apontamento dos telescópios de observação. Posteriormente, uma análise detalhada dessa órbita permitirá a inferência de detalhes de processos ocorrendo no núcleo do cometa, pois as pequenas variações da órbita são devidas a forças não gravitacionais que agem sobre ele.

— Rede de Fenômenos de Larga Escala — diz respeito ao estudo das caudas do cometa, tanto a iônica quanto a de poeira, sendo a de mais complexa e difícil organização. Como as mudanças na cauda de íons podem ocorrer numa escala de tempo de minutos, os observadores dessa rede estão espalhados por toda a zona de longitude possível para prover uma cobertura contínua, 24 horas por dia, do cometa. Telescópios portáteis estão sendo transportados para várias ilhas do Hemisfério Sul para eliminar os buracos existentes nessa cobertura.



Até mesmo um telescópio será operado pela Missão Britânica na Antártida. O objetivo é de entender a interação entre a cauda iônica e o vento solar. A cauda de poeira não será desprezada, com o monitoramento de suas variações, normalmente a longo termo, visando compreender os processos de produção e de desintegração da poeira e descobrir indicações sobre a composição e estrutura de suas partículas.

— Coronógrafo do satélite da Missão Solar Máximo — permitirá observações durante a conjunção solar, isto é, na época de maior proximidade do Sol (coronógrafo é um aparelho feito para estudar a região mais externa do sol).

— Rede de Estudo da Vizinhança do Núcleo — fará uso das mais recentes técnicas eletrônicas e fotográficas para obtenção de imagens para registrar a coma. As imagens serão usadas para caracterizar os fenômenos que ocorrem na coma e núcleo, as origens das "fontes" e "jatos" na coma e medir a velocidade e o eixo de rotação do núcleo.

— Rede de Fotometria e Polarimetria — é responsável pelas medidas da distribuição de gases e poeira da coma, emitindo na faixa de 0,3 a um micrômetro. Usando filtros estreitos especialmente selecionados, esta rede estudará a composição do cometa, em particular medindo a quantidade de moléculas e a razão de gás e poeira. O enfraquecimento de estrelas durante uma ocultação pelo cometa será usado nos estudos da quantidade e distribuição da poeira na cabeça. Observações polarimétricas podem fornecer importantes dados sobre o tamanho, forma e índice de refração das partículas, para ajudar a identificar os compostos químicos que as formam.

— Rede de Espectroscopia Infravermelha e Radiometria — diz respeito à região de comprimento de onda, indo de um micrômetro a um milímetro. Os dados obtidos nessa região espectral são particularmente úteis nos estudos da composição e da distribuição em tamanho dos microgrãos de poeira liberados quando o núcleo é sublimado. Além disso, serão possíveis estudos do balançamento da energia global, assim como a busca e a identificação de moléculas. Esta é uma das poucas redes que poderão realizar observações quando o cometa estiver nas proximidades do Sol em fevereiro de 1986.

— Rede de Estudos em Radiofrequências — complementar a anterior, estendendo esses estudos até as ondas mais longas do espectro. Ele também procurará identificar as moléculas que emitem linhas nessa região espectral, estudando as proporções em que as moléculas são produzidas. Os estudos de plasma, nas frequências em que se observa o contínuo, podem trazer uma melhor compreensão sobre os

processos da cauda. Estudos usando radar serão tentados nas ocasiões de maior aproximação da Terra, ocorrendo em novembro de 1985 e em abril de 1986. Esta rede estará ativa durante a conjunção solar (maior proximidade do Sol), quando o cometa estará mais brilhante nas rádiofreqüências.

— Rede de Estudos de Meteoros — está encarregada de observar as partículas de poeira que o cometa Halley liberou durante todas as suas passagens pelo Sol, as quais podem colidir com a Terra durante as duas chuvas anuais de meteoros do Halley, uma em outubro passado e a próxima em maio. Usando técnicas visuais, fotográficas e de radar, esta rede de estudos poderá trazer nova luz sobre os componentes da poeira do cometa.

— Rede de Espectroscopia e Espectrofotometria — que tradicionalmente tem fornecido os mais importantes dados sobre os cometas, deverá realizar estudos do espectro visível, ou próximo ao visível, a grande dispersão, utilizando os mais avançados detectores espectroscópicos. Entre seus objetivos estão a identificação das espécies moleculares, com as respectivas quantidades, temperaturas e duração. Os estudos da abundância dos isótopos podem fornecer novas chaves sobre a origem do cometa e do próprio sistema solar.

A contribuição dos astrônomos amadores

Os astrônomos amadores também estão incluídos no IHW. Com os modernos equipamentos atualmente disponíveis para eles e com a liberdade, que não têm os astrônomos profissionais, de observarem sempre que puderem, os amadores podem fornecer importantes dados obtidos visual, fotográfica e fotoeletricamente. As observações visuais serão úteis para estudos teóricos e históricos, e os desenhos feitos durante esta passagem poderão ser comparados aos existentes sobre as passagens anteriores. Observações fotográficas podem representar um importante fato colaborador aos trabalhos das redes de Astrometria, Fenômenos de Larga Escala e de Estudos das Vizinhanças do Núcleo. Observações fotoelétricas por amadores podem ser particularmente úteis quando o Halley estiver muito próximo e maior no céu: nessa época as imagens menores dos instrumentos de amadores tornarão mais fácil as medidas da coma como um todo.

Observações especiais

Em março de 1986, quatro sondas espaciais encontrarão o cometa Halley para uma missão orbital: *Giotto*, lançada pela Agência Espacial Européia (ESA), *Planet-A*, lançada pelo Instituto de Ciências

Espacial e Astronáutica (ISAS), do Japão, e duas naves *Vega*, lançadas pela União Soviética. Além desses, outros programas de observação espacial do Halley estão previstos: a sonda americana ICE, lançada de encontro ao cometa Giacobini-Zinner, passará no rastro do cometa Halley para estudar sua interação com o vento solar; o satélite americano *Pionner Venus*, normalmente orbitando ao redor de Vênus, irá realizar observações do cometa de fins de janeiro até meados de março; finalmente, uma importante missão está sendo prevista pela NASA a bordo do *Space Shuttle*, usando o observatório astronômico chamado Astro. Os três principais objetivos científicos dessas missões são: composição química e estado físico do núcleo, processos físico-químicos ocorrendo na coma e interação entre o cometa e o vento solar. A seguir, apresentamos os principais aspectos desses programas.

Programa da Agência Espacial Européia

É o mais ousado, no sentido de que sua sonda *Giotto* é a que passará mais próxima do núcleo do cometa Halley (nome dado em homenagem a Giotto di Bondone, pintor florentino, cujo afresco "A Adoração dos Reis Magos", da Capela Arena em Pádua, retrata o cometa Halley como a Estrela de Belém). O encontro dessa sonda com o cometa ocorrerá dia 13 de março de 1986, devendo passar a uma distância de 500 a mil quilômetros dele, entre o núcleo e o Sol. Essa sonda é estabilizada em torno de seu eixo principal por rotação.

A *Giotto* passará tão perto do núcleo do Halley que muitos pesquisadores acreditam que ela não sobreviverá aos impactos dos grãos de poeira. Esta sonda, assim como os veículos *Vega* da URSS, não acompanhará o cometa em sua trajetória, mas sim cruzará com ele, a uma velocidade relativa de 70 quilômetros por segundo (para comparação, a velocidade de uma bala comum é inferior a um quilômetro por segundo). A essa velocidade um grão de areia de um milímetro é capaz de perfurar uma placa de aço de três cm de espessura. Por isso, essas três sondas possuem escudos protetores formados de duas capas, que deverão absorver os impactos. Os experimentos da sonda *Giotto* começarão quatro horas antes do encontro com o cometa, sendo seus dados transmitidos em tempo real, durante o tempo que for possível, por se temer que ele não sobreviva, intacto, ao encontro. Essa sonda está equipada com uma moderna câmara fotográfica que obterá fotos do núcleo, com exposições que variarão de um a 14 milionésimos de segundo. Devido à relativamente pequena distância que ele passará do núcleo, essas fotos permitirão a apreciação de detalhes



inferiores a 30 metros, em várias cores por possuir um grande número de filtros. Além disso, essa sonda leva outros instrumentos científicos e deverá realizar as seguintes experiências:

— Estudo da variação do brilho do centro para a borda do núcleo, a partir de medidas fotométricas e polarimétricas. Oito filtros foram selecionados, quatro para poeira e quatro para gás (CO, OH, CN e C₂).

— Identificação de átomos e moléculas neutras através de um espectrômetro de massa (chama-se espectrômetro de massa um instrumento capaz de identificar átomos, moléculas ou compostos, existentes numa amostra, a partir de seus pesos atômicos ou moleculares). Há esperança de identificação das moléculas mães formadoras de C₂, CN, NH, OH, etc. e da variação com a distância ao núcleo da razão CO/SO₂. Várias razões isotópicas deverão também ser obtidas (¹²C/¹³C, ¹⁶O/¹⁸O e, possivelmente, D/H).

— Há também dois espectrômetros de massa para íons nessa sonda. Entre outros resultados espera-se a distribuição de O⁺ e C⁺, testemunhos da interação com o vento solar e, mais próximo do núcleo, a distribuição de CO⁺ e CO₂⁺.

— A *Giotto* conta, também, com espectrômetro de massa para analisar a poeira e medir a composição química e isotópica das partículas individuais com tamanhos variados, de 0,1 a 10 μm (10⁻¹⁵ a 10⁻⁹ g em massa). Em adição, há nessa sonda um sistema de detecção de poeira por impacto de partículas maiores (limitas a 3 x 10⁻⁷ g) e um detector de plasma de impacto para partículas muito pequenas, inferiores a 10⁻¹⁷ g.

— *Giotto* carrega também instrumentos para analisar os íons e elétrons liberados pelo cometa e do vento solar. Possui, também, experimentos para partículas energéticas e magnetômetros.

Programa Soviético

Consta de duas sondas que deverão realizar missões de observação de Vênus e do Halley. Após passar pelo planeta, quando lançaram engenhos que desceram nele em junho último, essas sondas deverão encontrar-se com o cometa Halley, passando a primeira a cerca de dez mil quilômetros e a segunda, possivelmente, mais próximo. Os nomes dessas sondas são formados na primeira sílaba do nome, em russo, de cada um de seus objetivos: *VEGA*. Os seus encontros com o Halley estão previstos para os dias 6 e 9 de março de 1986, respectivamente. As sondas *Vega* são destinadas tanto a medidas locais,

como às descritas para a sonda *Giotto*, quanto para observações a distância, sendo para isso estabilizadas segundo os três eixos.

As sondas *Vega* possuem tanto câmara de campo estreito semelhante a da *Giotto* quanto câmara de grande abertura para observações da cauda. Elas são também equipadas com dois espectrômetros: um com três canais (UV, visível e infravermelho próximo), tem por objetivo a distribuição espacial dos principais íons e radicais; o outro é um espectrômetro infravermelho, desenvolvido por pesquisadores franceses, com dois canais (2,5 – 5 μm e 6 – 12 μm) e mais um para mapear o núcleo entre 7 e 14 μm através de uma rede moduladora. O objetivo deste espectrômetro infravermelho é a pesquisa de moléculas (H₂O, CO, CO₂, CH₄, etc.) e a determinação do diâmetro do núcleo no infravermelho.

As medições a serem realizadas localmente pelas sondas *Vega* são semelhantes às da *Giotto* e por isso não as descreveremos em detalhe. Elas carregam a bordo: espectrômetros de massa para partículas neutras, ionizadas e de poeira; dois contadores de impactos para poeira; analisadores de plasma e de íons do meio interestelar e liberados pelo cometa; e um magnetômetro. Somando-se a isso, as *Vega* terão dois analisadores de onda para o estudo da estrutura da ionopausa e da frente de choque do cometa.

As sondas *Vega* transmitirão seus dados em três seqüências programadas: duas seqüências de duas horas cada, 48 e 24 horas antes do encontro, e uma seqüência em tempo real de três horas, começando duas horas antes do encontro. Além disso, caso elas sobrevivam ao encontro, duas outras seqüências de duas horas cada ocorrerão após o encontro, uma 24 e a outra 48 horas depois.

Programa Japonês

A sonda japonesa *Planet-A* deverá passar nas proximidades do Halley a 8 de março de 1986, a uma distância de cerca de 200 mil quilômetros. Ela foi precedida pela sonda teste MS-75, a qual, entretanto, só passará pela "corrente" do cometa a 11 de março, a sete milhões de quilômetros deste. Ela é, principalmente, dedicada ao estudo da interação entre Halley e o vento solar. Além dos experimentos para medições dos elétrons e íons solares, essa sonda está munida de uma câmara UV centrada sobre Lyman-α para estudo da nuvem de hidrogênio do cometa. Os cientistas japoneses estão, particularmente, interessados nas observações feitas durante a fase imediatamente após o periélio. A sonda MS-75 também fará medições dos elétrons e íons do vento solar na "corrente" provocada pelo cometa, a uma



Calendário de eventos

distância bem maior. Esta foi a primeira sonda interplanetária lançada pelo Japão.

Programa da NASA

Embora menos espetacular que os anteriores, o programa de observação preparado pela NASA, para o cometa Halley, é dos mais importantes cientificamente. Consiste num observatório astronômico chamado Astro, formado de três telescópios ultravioletas e duas câmaras de grande campo.

Esse satélite será transportado como carga do *Spacelab* e servirá depois para uma série de missões para estudos de estrelas e galáxias na luz ultravioleta. As duas câmaras foram acrescentadas especialmente para observar a cauda do cometa. Os três telescópios são coloados para observações simultâneas, em imagem no UV, espectroscópica e polarimétrica do cometa e outros alvos. Essas medidas deverão revelar a composição química do Halley, incluindo a primeira tentativa de medida da abundância do hélio; a distribuição e a destruição dos grãos de poeira da cauda; a estrutura global do cometa e os efeitos da passagem pelo periélio, quando o Sol evapora o material do núcleo.

Uma outra missão está sendo preparada pela NASA em colaboração com a Universidade do Colorado — EUA para observação no ultravioleta (Spartan Halley Mission) em 9 de fevereiro de 1986, quando o Halley atingirá o periélio. A finalidade é determinar a quantidade de radicais hidroxila (OH) e de átomos de oxigênio na coma e relacionar a produção deles à fotodissociação da água. Essas observações serão realizadas por um subsatélite autônomo, lançado pelo ônibus espacial *Challenger* e recuperado 48 horas depois.*

O espetacular programa de observações do cometa Halley foi montado por ser ele intrinsecamente brilhante, mas principalmente por ser periódico, sendo sua data de passagem pelo Sol e pela Terra, conhecida com muita antecedência. Mas certamente ele não será o único cometa a receber tanta atenção dos astrônomos. Outros cometas periódicos, no futuro, poderão vir a ser tão observados quanto ele, aumentando cada vez mais nossos conhecimentos sobre os cometas e a origem do sistema solar. Por exemplo, o Comitê de exploração do Sistema Solar da NASA já selecionou o cometa Kopff para uma missão de encontro em 1994, que deverá ser realizada com o primeiro exemplar da nova sonda *Mark II*.

* Na realidade, um pouco antes do lançamento deste texto, uma fatalidade fez com que a *Challenger* sofresse um acidente irreparável, no qual sucumbiram todos os seus tripulantes.



-
- 1984 — Meados de dezembro: lançamento de duas sondas *Vega* pelos soviéticos para atingir o cometa Halley, passando antes por Vênus (em junho de 1985).
- 1985 — Janeiro: os japoneses lançam a sonda MS-TS.
Janeiro: o Halley cruza a órbita de Júpiter.
5 de maio: a chuva de meteoros de Eta Aquarides atinge seu máximo.
10 de julho: a sonda *Giotto* é lançada de Korou, Guiana Francesa.
11 de setembro: a sonda *ICE*, americana, cruza a cauda do cometa Giacobini-Zinet a uma velocidade relativa de 20.7 quilômetros por segundo.
10 de outubro: queda dos meteoros Draconides atinge seu máximo.
20/21 de outubro: queda dos meteoros Orionides atinge seu máximo.
27 de novembro: distância mínima da Terra antes da passagem pelo periélio.
28 de novembro: o Halley cruza a órbita de Marte.
Final de dezembro: visível a olho nú.
- 1986 — Janeiro: o Halley cruza a órbita da Terra.
Meados de janeiro: o Halley desaparece de vista, por causa da proximidade do Sol.
9 de fevereiro: o Halley passa pelo periélio (87, 82 milhões de quilômetros de distância do Sol).
Final de fevereiro: o Halley reaparece, afastando-se do Sol de manhã.
8 de março: a sonda japonesa *Planet-A* cruza com o Halley.
9 de março: a sonda soviética *Vega 1* cruza com o Halley.
-

14 de março: a sonda européia *Giotto* intercepta o Halley por volta das três horas da madrugada.

21 de março: o Halley cruza novamente a órbita da Terra.

Março: a sonda soviética cruza o cometa Halley.

Início de abril: os dias de maior brilho do Halley.

11 de abril: aproximação maior da Terra (63 milhões de quilômetros).

23 de abril: o Halley cruza novamente a órbita de Marte, afastando-se.

5 de maio: queda dos meteoros de Eta Aquarides, restos do cometa, atinge o máximo.

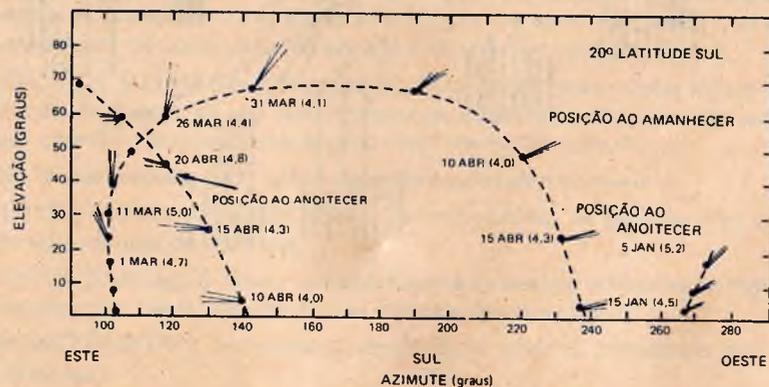
Meados de maio: o Halley deixa de ser visível a olho nú.

Mapas de Observação

Posição do cometa em relação às constelações



Posição do cometa em relação ao horizonte e aos pontos cardeais



METEORITOS: Corpos do sistema solar de pequenas dimensões que conseguem sobreviver ao atrito com a atmosfera da Terra, atingindo a superfície. Constituem-se em excelentes amostras de estudo da formação do sistema solar.

METEORO: Corpos do sistema solar de diminutas dimensões que se sublimam ao atravessar a atmosfera terrestre, produzindo um rastro luminoso.

MICRÔMETRO: Aparelho de medida de grande precisão capaz de avaliar distâncias entre dois pontos da ordem do micron.

MÍCRON: A milésima parte do milímetro ou a milionésima parte do metro.

NEBULOSA: Objeto celeste de constituição gasosa. As nebulosas de "emissão" devem sua radiação a estrelas jovens que as excitam. As nebulosas de "reflexão" não têm emissão própria. Sua luz provém da reflexão, por grãos de poeira, da radiação de estrelas próximas.

PLASMA: Estado da matéria constituído por íons e elétrons livres que interagem entre si. A carga elétrica total do meio é, no entanto, nula.

POLARIMETRIA: Técnica a partir da qual, usando-se um polarímetro, mede-se a fração da radiação emitida por um corpo que se encontra polarizado, isto é, oscilando numa dada direção. A luz não polarizada não possui uma direção privilegiada de oscilação.

PRÓTON E NÊUTRON: Partículas que constituem o núcleo atômico, classificadas como *Hadrons* (partículas pesadas). O próton tem carga elétrica positiva e o nêutron é desprovido de carga. Ambas as partículas têm estrutura, sendo constituídas por partículas mais fundamentais: os *quarks*.

RADAR: Instrumento eletrônico que detecta o reflexo, por um objeto material, de uma onda eletromagnética por ele emitida. O tempo entre a emissão e a recepção do reflexo indica a distância do objeto refletor.

SUBLIMAÇÃO: Processo físico no qual uma substância passa diretamente da fase sólida para a gasosa.

UNIDADE ASTRONÔMICA (UA): Unidade de distância usada em astronomia, equivalente a distância média da Terra ao Sol. Vale aproximadamente 150 milhões de quilômetros.

VENTO SOLAR: Emissão corpuscular do Sol, constituída, essencialmente, de prótons, núcleos de hélio e elétrons. Nas vizinhanças do Sol, a temperatura do vento solar é da ordem de um milhão de graus.



Impresso pela

 **grafica Brasileira**
Setor de Indústrias Gráficas - Quadra 4 - Nº 28.
PABX (061) 226 1828 - Telex (061) 3742
70 610 - Brasília - Distrito Federal