

# Os cometas e a origem da vida

Cathleen A. McGunigle e  
William M. Irvine <sup>a)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Se bem que datem de há mais de 3000 anos os mais antigos registos escritos com referência a cometas, estes astros continuam a ser dos mais misteriosos objectos conhecidos do homem. Ao longo da história os cometas foram encarados como presságios, quase sempre de má sorte, e foram considerados culpados de várias tragédias, desde pestes até à queda de impérios. Actualmente, há cientistas que associam os cometas à origem da vida na Terra e à grande catástrofe biológica que abriu o caminho para a Idade dos Mamíferos.

Descritos pelo astrónomo americano F. Whipple como bolas de neve sujas, os cometas serão mais provavelmente uma mistura gelada de material que abunda no meio interestelar, presumivelmente produtos da mesma nuvem que se condensou para formar o Sol e os respectivos planetas. O seu estudo tem pois uma importância fundamental para a compreensão das nossas próprias origens.

## II. OBSERVAÇÕES

Até muito recentemente (há poucas décadas atrás), a espectroscopia óptica era o método corrente de observação dos cometas. Desde então vieram juntar-se-lhe os estudos em ultravioleta, infravermelho e radio-frequências.

### A. Aparência visual

Se bem que os cometas possam diferir significativamente no seu aspecto, quer de uns para os outros, quer mesmo individualmente ao longo do tempo, um cometa típico apresenta uma *cabeça* (\*) esferoidal com uma dimensão de  $10^5$  km ou mais e uma *cauda* com um comprimento de pelo menos  $10^6$  km. À medida que o cometa se aproxima do Sol dá-se em primeiro lugar a formação da cabeça, que pode ocorrer a grandes distâncias heliocêntricas (\*\*) da ordem de 5 ou 6 unidades astronómicas (1UA  $\approx$  150 000 000 km) mas que ocorre mais frequentemente a cerca de 5UA. A cauda forma-se a distâncias heliocêntricas mais curtas, e estes processos invertem-se à medida que o cometa se afasta do sol.

#### 1. A cabeça

O seu espectro (ver adiante) mostra que a cabeça é uma mistura difusa de poeiras, moléculas, átomos e iões. O radical CN é geralmente o primeiro constituinte detectado após a formação da cabeça, logo seguido pela espécie  $C_2$  (Marsden e Roemer, 1982). A extensão e luminosidade da cabeça são determinadas pelas velocidades de produção de gás e de poeira que variam continuamente com o tempo e com a distância helio-

cêntrica. A descoberta de que os cometas contêm poeira foi feita através de observações da luz solar reflectida pela cabeça do cometa Arend-Roland em 1957. Nessa altura atribuiu-se aos grãos uma dimensão de  $1\ \mu\text{m}$  a partir do avermelhamento do espectro da luz do Sol. Se bem que seja muito difícil obter evidência directa para a presença de grãos de gelo, detectou-se pela primeira vez no cometa Cernis (Hanner, 1983) uma absorção característica a  $2,9\text{-}3,0\ \mu\text{m}$  que foi interpretada como sendo resultante da dispersão pelos grãos de  $H_2O$  sólida na cabeça deste cometa.

Se bem que muitas vezes se apresente como esférica, é através da assimetria da cabeça que podemos obter informações sobre o eixo e a velocidade de rotação do núcleo. Por exemplo, em fotografias com curto tempo de exposição, alguns cometas exibem uma cabeça com estrutura espiral. Dado que se verifica que esta estrutura é independente do comprimento de onda, pensa-se que ela resulta da presença de poeira nos jactos de material ejectado para a cabeça. As interacções entre o vento solar e os iões formados na cabeça pode também dar origem a efeitos que se assemelham a serpentinhas, que são estruturas do tipo "bigode de gato" que emanam da vizinhança da cabeça. São habitualmente mais curtas que as caudas e fazem ângulos agudos com o eixo destas. Os períodos de rotação dos cometas são da ordem de 10 horas.

#### 2. Caudas

Há dois tipos de caudas formadas pelos cometas. As de tipo I são constituídas por gás ionizado e as de tipo II por pequenos grãos de poeira. Os cometas mais activos exibem a primeira e são em menor número os que exibem a segunda, mas alguns apresentam ambas as caudas.

##### a. Caudas iónicas

A distâncias de cerca de 1,5 UA do Sol, o campo magnético transportado pelo vento solar acelera os iões do cometa afastando-os na direcção anti-solar, formando assim uma cauda de plasma. Dado que é constituída por iões, o mais óbvio dos quais é o ião  $CO^+$ , esta cauda é facilmente fotografada em luz azul e caracteriza-se por uma estrutura filamentosa complexa e rapidamente variável. Foram as observações das caudas iónicas que forneceram a primeira evidência para a

a) Department of Physics and Astronomy, and Five College Radio Astronomy Observatory, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003, USA.

(\*) Também designada por *cabeleira* ou por *coma*.  
(\*\*) Distância ao Sol.

existência do vento solar e são aliás ainda hoje utilizadas como sondas para obter informações acerca do fluxo do vento solar.

#### b. Caudas de poeira

As caudas de poeiras formam-se quando a pressão da radiação solar excede a atracção gravitacional cometária e solar que se exerce sobre os grãos individuais na cabeça, soprando-os para longe do Sol. Estas caudas reflectem o espectro solar contínuo e por isso tendem a ter uma cor amarelada, sendo pois mais facilmente visíveis que as caudas iónicas azuis (Marsden e Roemer, 1982). Nem todos os cometas formam caudas de poeira e ainda se desconhece o que determina a sua formação. A proporção mássica poeira/gás nos cometas varia entre 0,1 e 1,0, com um valor médio de 0,7, e parece ser independente da idade do cometa. No entanto esta proporção não deve ser o único factor envolvido no processo de formação da cauda (por exemplo o cometa Kobayashi-Berger-Milon apresenta uma elevada proporção poeira/gás — cerca de 1 — mas não exhibia uma cauda de poeira durante a sua passagem pelo periélio (\*) em 1975). Pensa-se pelo contrário que a distribuição dos tamanhos dos grãos e a distância do periélio poderão ser factores mais decisivos no desenvolvimento da cauda. Os cometas que formam caudas de poeira têm uma cauda que apresenta um recuo de cerca de 60 graus relativamente ao eixo cometa-Sol. Este recuo é resultante do movimento Kepleriano dos grãos sob a influência gravitacional do Sol.

As características da poeira como a composição, a temperatura dos grãos e as velocidades de produção, foram determinadas por fotometria óptica e infravermelha. As observações a 10  $\mu\text{m}$  e a 18  $\mu\text{m}$  revelam características dos silicatos nos cometas “poeirentos”. O albedo (reflectividade) é medido comparando a luz visível dispersa por um dado volume com a emissão térmica no infravermelho desse mesmo volume; obtêm-se valores entre 0,1 e 0,4. Vários métodos de observação (ópticos, infravermelhos, medidas de polarização) confirmam que as dimensões das partículas de poeira são da ordem de 1  $\mu\text{m}$ .

### B. Órbitas

As órbitas dos cometas variam na forma desde o círculo grosseiro à parábola, se bem que a maioria sejam elipses excêntricas, e apresentam inclinações diversas relativamente ao plano da eclíptica. Nunca se registaram órbitas que fossem indubitavelmente hiperbólicas antes das perturbações gravitacionais planetárias e por isso se considera que os cometas são membros do Sistema Solar e não do meio interestelar. É usual classificar os períodos em curtos se forem inferiores a 200 anos e longos se forem superiores. O cometa Encke, de todos os cometas conhecidos aquele que apresenta um período mais curto, 3 ½ anos, foi chamado a pedra de roseta da ciência cometária pelas frequentes oportunidades de estudo que oferece.

#### 1. Cometas novos e velhos

Se bem que seja possível que todos os cometas tenham idades semelhantes, é costume chamar novos àqueles que visitam pela primeira vez a parte interna do Sistema Solar. Têm períodos muito superiores a 200 anos e órbitas com inclinações aleatórias relativamente à eclíptica. Considera-se que o Sol está rodeado por

uma extensa nuvem constituída por cerca de  $10^{12}$  cometas (a nuvem Oort) cuja órbitas se estendem até distâncias comparáveis às das estrelas mais próximas. Oort postulou que as perturbações estelares provocam a difusão do periélio dos cometas membros dessa nuvem para a região planetária onde se torna possível a sua observação (Weissman, 1982). Dado que os cometas novos são mais activos que os cometas de período curto (velhos) a maiores distâncias heliocéntricas, Donn e Whipple sugeriram que as camadas exteriores destes novos cometas continham material volátil produzido pela acção dos raios cósmicos sobre os gelos cometários ao longo do tempo de vida do Sistema Solar ( $4,6 \times 10^9$  ano). Isto significa que os cometas novos são ainda mais brilhantes na sua primeira passagem no periélio e por isso são mais frequentemente descobertos do que os cometas velhos.

Os cometas velhos são provavelmente o resultado daqueles cometas novos cujas órbitas foram significativamente alteradas pelos efeitos gravitacionais dos planetas, particularmente Júpiter. Estes cometas descrevem normalmente órbitas pequenas com inclinações fracas relativamente à eclíptica. Existe uma erosão do núcleo provocada pela radiação solar, pelos raios cósmicos, pelos iões do vento solar e pelas correntes fotoelectrónicas de superfície, o que tem como consequência que os cometas periódicos existem como tal durante um tempo finito, perdendo  $10^{-3}$  ou  $10^{-4}$  da sua massa em cada órbita. É possível estimar que o tempo de vida típico dos cometas de curto período é muito inferior à idade do Sistema solar. Mas ainda não se sabe com que frequência estes cometas inertes se transformam em asteróides ou quais são os destinos alternativos que eles podem seguir.

#### 2. Forças não-gravitacionais

As forças não gravitacionais nos cometas são produzidas pela ejeção gasosa resultante da sublimação dos gelos assimetricamente distribuídos em torno do núcleo. O gás ejectado traz consigo a matéria observada nas caudas de poeira. As fortes variações há muito observadas nos movimentos não gravitacionais do cometa Encke foram explicadas pela precessão do seu eixo de rotação. Marsden et al. (1973) mostraram que se assim fosse, se as modificações das forças não-gravitacionais fossem devidas à precessão, as direcções de rotação do núcleo dos cometas deveriam ser aleatórias; em reforço desta teoria estes autores encontraram igual número de cometas acelerados (o período diminui ao longo do tempo) e de cometas retardados.

### C. Espectro

A radiação proveniente dos cometas é mais intensa na região óptica e ultravioleta, especificamente nas bandas características dos radicais moleculares. Na Tabela I apresenta-se a lista das espécies químicas até hoje identificadas; as detecções prováveis apresentam-se entre parêntesis. Estes constituintes não se encontram distribuídos uniformemente. Os iões ocorrem predominantemente nas caudas iónicas, e os metais observam-se na cabeça dos cometas que passam muito perto do Sol. O espectro revela claramente uma predominância de radicais e iões quimicamente instáveis. Estes são, segundo se pensa, produtos de dissociação de “moléculas-mãe” que seriam os verdadeiros constituintes do

(\*) Ponto mais próximo do Sol na órbita de um cometa ou planeta.



cometa. As transições espectrais atômicas e moleculares observadas correspondem a processos de emissão por fluorescência no campo de radiação solar; as densidades e temperaturas cinéticas na cabeça e na cauda são geralmente demasiado baixas para que a excitação colisional seja eficaz.

TABELA I

Espécies Atômicas e Moleculares Observadas nos Cometas

Orgânicas:	C, C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , CH, CN, CO, CS, (HCN), (CH <sub>3</sub> CN)
Inorgânicas:	H, NH, NH <sub>2</sub> , O, OH, S, Si, (H <sub>2</sub> O), NH <sub>3</sub> , S <sub>2</sub>
Metais:	Na, Ca, Cr, Co, Mn, Fe, Ni, Cu, V, K
Iões:	C <sup>+</sup> , CO <sup>+</sup> , CO <sub>2</sub> <sup>+</sup> , CH <sup>+</sup> , CN <sup>+</sup> , N <sub>2</sub> <sup>+</sup> , OH <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> , Ca <sup>+</sup>
Poeira:	Silicatos, Gelos.

## D. Atividades Características

### 1. Quebra

Observaram-se mais de 20 cometas cujo núcleo sofreu um processo de quebra em vários pedaços. Durante o processo de quebra, o brilho do cometa aumenta fortemente. Por exemplo, o cometa West foi fotografado quando se quebrou em 4 componentes e o seu brilho aumentou em 2 ordens de grandeza. As teorias orbitais clássicas não explicam os movimentos dos componentes dos núcleos quebrados, mas Sekanina (1977) conseguiu descrever correctamente esses movimentos postulando que cada componente estava actuado por forças não gravitacionais radiais.

### 2. Explosões e erupções luminosas

Se bem que as erupções luminosas esporádicas sejam características de todos os cometas independentemente do seu período, verifica-se que elas são mais frequentemente observadas nos cometas jovens do que nos antigos. Isto é sobretudo verdade a grandes distâncias do Sol (cerca de 5 Unidades Astronómicas), possivelmente porque os cometas jovens são constituídos por material mais volátil. A causa destas erupções é desconhecida mas é frequentemente atribuída à quebra ou pulverização de um volume considerável de material quebradiço devida à perda irregular de massa que origina cavidades em que o material volátil é exposto à luz solar. As erupções de grandeza um ou dois são frequentemente observadas nos cometas. No entanto o cometa Schwassmann-Wachmann I revelou erupções que provocaram um aumento do brilho até à grandeza oito; este cometa tem um período de 6 anos e meio e nos últimos 50 anos observaram-se nele cerca de 100 erupções deste tipo.

### 3. Chuva de meteoros

Os cometas fragmentam-se e desintegram-se. Por vezes a Terra passa através da órbita de um cometa e é então possível observar chuvas de meteoros ou aerólitos. Dado que a frequência destas ocorrências é razoável, pensa-se que as partículas de Brownlee (partículas de poeira que são colectadas na estratosfera da Terra pelos aviões) poderão ter chegado à estratosfera por esse processo. Se essas partículas tiverem de facto uma origem cometária, elas poderão fornecer informações importantes sobre as abundâncias e a mineralogia dos constituintes não voláteis dos cometas.

## III — O MODELO

O modelo de bola de neve suja devido a Whipple postula um núcleo sólido mas frágil, constituído por uma mistura de gelos contendo essencialmente H<sub>2</sub>O, outras moléculas constituídas por H, C, N, O assim como poeira. O modelo mais largamente aceite é no entanto uma modificação da bola de neve suja que sugere a presença de clatratos. Os clatratos são compostos moleculares sólidos (em particular H<sub>2</sub>O sólido) com uma estrutura reticular que encerra outras moléculas ou átomos ligados por interacções de Van der Waals. Esta teoria modificada fornece uma explicação para os efeitos não-gravitacionais característicos dos cometas.

Tanto as observações directas como as indirectas reforçam o modelo de um núcleo sólido. Enquanto que a maioria das observações dependem da ejeção de poeira e de material volátil a partir do núcleo de um cometa, o radar é o único método que possibilitou a observação directa do núcleo. A evidência indirecta para um núcleo sólido provém do cálculo da resistência à tracção dos cometas rasantes ao Sol (periélio de cerca de 0.005 Unidades Astronómicas) e a primeira evidência directa resultou da detecção por radar do núcleo dos cometas Encke (Kamoun *et al.*, 1982) e IRAS-Araki-Alcock. Para além disso, os efeitos não-gravitacionais são melhor explicados através de um modelo que considere o núcleo como um corpo sólido.

Uma série de fenómenos cometários indica que o núcleo é um objecto frágil e de baixa densidade com uma elevada homogeneidade radial (Donn e Rahe, 1982). No entanto as explosões e erupções dos grandes cometas são mais provavelmente devidas às suas heterogeneidades. Para além disso, a descoberta recente pelo IRAS (Satélite Astronómico Infra-Vermelho) de um corpo não cometário na órbita associada a uma conhecida chuva de meteoros sugere que pelo menos alguns cometas terão núcleos asteroidais, o que indica uma diferenciação nuclear, e podem evoluir para asteróides do tipo Apolo.

É difícil determinar a massa do núcleo de um cometa através da medida das perturbações gravitacionais que ele provoca noutros corpos e isto porque essas perturbações são fracas e quase impossíveis de detectar. As estimativas do volume e da densidade fornecem uma alternativa segura. A detecção recente de uma emissão térmica nas radiofrequências e de um eco radar provenientes do cometa IRAS-Araki-Alcock (*e.g.*, Altenhoff *et al.*, 1983) são consistentes com as estimativas precedentes do tamanho que sugeriam um raio nuclear de alguns quilómetros. A relação observada entre a quantidade de poeira e de gás conduz a uma densidade média de 1 a 2 g cm<sup>-3</sup>, ou seja uma massa de 10<sup>16</sup> g para uma esfera de raio igual a 2 km. As estimativas da massa dos cometas através deste método conduzem a valores que se situam entre 10<sup>13</sup> e 10<sup>19</sup> g (Donn e Rahe, 1983).

As observações dos radicais H e OH revelam abundâncias que estão aproximadamente na relação 2:1, o que implica que a água sólida esteja presente na cabeleira de alguns cometas em grande quantidade e que seja ela o agente mais importante a controlar a vaporização do material do núcleo. Para além disso as observações de uma elevada velocidade de escape do H<sub>2</sub> a partir da cabeleira são consistentes com a fotodissociação de H<sub>2</sub>O. A cerca de 3 UA do Sol a temperatura da radiação solar é suficientemente elevada para sublimar a água sólida sendo pois de esperar que, quando a ca-

beleira se forma a distâncias inferiores a estas, a água seja o constituinte volátil dominante. No entanto, o papel determinante da água no processo de vaporização não é universal; em outros cometas este papel pode ser desempenhado por  $\text{CO}_2$  ou  $\text{CO}$  sólidos. Também deverão existir nitrilos no núcleo para produzir o radical CN observado na cabeleira.

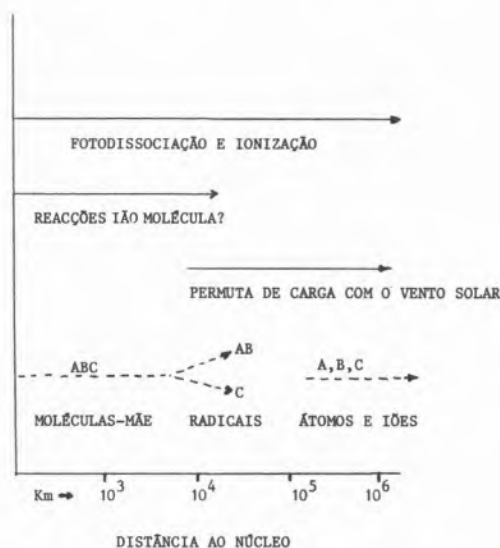


Figura 1

Processos físicos e químicos na cabeça cometária em função da distância ao núcleo. As moléculas-mãe ABC são primeiro convertidas em radicais e iões e finalmente em átomos e iões atômicos

Os processos físicos e químicos que operam provavelmente nos cometas estão esquematicamente ilustrados na Figura 1. É sabido que a fotoionização produz iões moleculares na parte interna da cabeleira; as elevadas constantes de velocidade das reacções ião-espécie neutra sugerem que as concentrações dos diferentes constituintes podem variar significativamente à medida que os gases da cabeleira se expandem para o meio interplanetário. A actividade química prevista na cabeleira está directamente relacionada com a produção de gás e com as velocidades de ionização, e portanto com as distâncias heliocêntricas assim como com as secções rectas efectivas do núcleo.

A grande abundância de material volátil, assim como a aparente homogeneidade no interior do núcleo e entre diferentes núcleos confirma a concepção dominante segundo a qual o material cometário é aquele que no Sistema Solar sofreu menos metamorfoses. Por isso se pensa que os cometas devem ser as amostras mais primitivas da nébula solar.

#### IV. A ORIGEM DOS COMETAS

De acordo com a teoria "clássica" sobre a origem dos cometas, estes ter-se-ão formado por condensação a partir da nébula solar em arrefecimento na vizinhança dos planetas gigantes e terão sido posteriormente escuraçados para as suas órbitas actuais na nuvem Oort devido a perturbações gravitacionais causadas por esses planetas. Esta teoria sugere uma composição cometária idêntica à prevista pelo equilíbrio químico para uma nébula solar em arrefecimento. Se eles se tivessem de facto formado entre os gigantes gasosos do Sistema Solar exterior, os cometas deveriam conter o registo mais claro do ambiente planetário primitivo.

Pelo contrário, os modelos mais recentes para a formação dos cometas inclinam-se mais para uma condensação de gás e poeira interestelar na mesma nuvem que mais tarde formou o Sol e os planetas. Dado que as condições interestelares estão longe de ser condições de equilíbrio termodinâmico, a composição do núcleo cometário deverá ser neste caso bastante diferente da prevista pelo modelo (clássico) de equilíbrio. Um conhecimento detalhado da química dos cometas permitirá talvez um dia fazer uma opção entre estes modelos, ou antes elaborar um cenário intermediário e talvez mais complicado.

#### V — OS COMETAS E A ORIGEM DA VIDA

A detecção de moléculas orgânicas nos meteoritos e no meio interestelar (ver Tabela II) torna aceitável a existência de moléculas orgânicas complexas através da Galáxia e portanto a existência de uma química orgânica prebiológica universal. As observações das nuvens moleculares gigantes e das nuvens densas de dimensões mais reduzidas mostram que as matérias-primas essenciais para a formação dos monómeros de interesse biológico ( $\text{HCN}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}$ , etc.), são abundantes nas nuvens interestelares e que nelas também estão presentes moléculas mais complexas (e.g.,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  e  $\text{HCO}_2\text{CH}_3$ ). No próprio sistema solar, a presença de moléculas orgânicas complexas (e.g., aminoácidos, purinas e piridinas) nas condrites carbonáceas levanta a hipótese da existência de sínteses idênticas nos cometas.

TABELA II  
Moléculas interestelares\*

Hidretos simples, óxidos, sulfuretos, amidas e moléculas afins				
$\text{H}_2$	$\text{CO}$	$\text{H}_2\text{CNH}$	$\text{CC}$	$\text{NaOH}^?$
$\text{OH}$	$\text{SO}$	$\text{H}_3\text{CNH}_2$	$\text{CS}$	
$\text{CH}$	$\text{OCS}$	$\text{HN}_2^+$	$\text{SiS}$	
$\text{CH}^+$	$\text{NO}$		$\text{NS}$	
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{HNO}^?$			
$\text{H}_2\text{S}$	$\text{SiO}$			
$\text{NH}_3$	—			
$\text{CH}_4^*$	$\text{SO}_2$			

Nitrilos, derivados acetilénicos e moléculas afins.

$\text{CN}$	$\text{HCN}$	$\text{H}_3\text{C-CN}$	$\text{H}_2\text{C=CH}_2^*$
$\text{C}\equiv\text{CH}$	$\text{HC}\equiv\text{C-CN}$	$\text{H}_3\text{C-C}\equiv\text{C-CN}$	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-CN}$
$\text{C}\equiv\text{C-C}\equiv\text{CH}$	$\text{H(C}\equiv\text{C)}_2\text{-CN}$	$\text{H}_3\text{C-C}\equiv\text{CH}$	$\text{H}_2\text{C=CH-CN}$
$\text{C}\equiv\text{C-CN}$	$\text{H(C}\equiv\text{C)}_3\text{-CN}$	$\text{H}_3\text{C-(C}\equiv\text{C)}_2\text{H}$	$\text{HN=C}$
$\text{HC}\equiv\text{CH}^*$	$\text{H(C}\equiv\text{C)}_4\text{-CN}$		$\text{HN=C=O}$
$\text{H}_2\text{NCN}$	$\text{H(C}\equiv\text{C)}_5\text{-CN}^*$		$\text{HN=C=S}$
$\text{C}\equiv\text{C-CO}$			

Aldéidos, alcoóis, éteres, cetonas e moléculas afins

$\text{H}_2\text{C=O}$	$\text{H}_3\text{COH}$	$\text{HO-CH=O}$	$\text{HC=O}^*$
$\text{H}_2\text{C=S}$	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-OH}$	$\text{H}_3\text{C-O-CH=O}$	$\text{HC=S}^*$
$\text{H}_3\text{C-CH=O}$	$\text{H}_3\text{CSH}$	$\text{H}_3\text{C-O-CH}_3$	$\text{HC=O}$
$\text{NH}_2\text{-CH=O}$			$\text{HOC}^?^?$
$\text{H}_2\text{C=C=O}$			

\* Apenas detectado no envelope em torno da estrela IRC + 10216.

? Ainda não absolutamente confirmado.

\* Em Janeiro de 1984 (Irvine *et al.*, 1984)\*.

\* Nota do tradutor: Desde então foi confirmada a detecção da primeira molécula cíclica: SiCC (W.M. Irvine, Newsletter of ISSOL, 1984, n.º 3).



Há quem defenda a hipótese de que terá havido uma injeção de  $^{26}\text{Al}$  no Sistema Solar primitivo como resultado de uma explosão supernova. A detecção de  $^{26}\text{Mg}$ , o produto do decaimento do  $^{26}\text{Al}$ , em meteoritos constitui um reforço desta hipótese. Se tivesse havido introdução de  $^{26}\text{Al}$  no Sistema Solar primitivo isso poderia ter tido como consequência um aquecimento interno dos cometas (Irvine *et al.*, 1981), conduzindo à presença de água líquida que proporcionaria um meio favorável à síntese de compostos orgânicos complexos. Se de facto os cometas tivessem vivido esse período quente, a duração desse período teria dependido: do período de formação do cometa; dos parâmetros térmicos que determinam o seu arrefecimento; do tamanho do núcleo cometário.

Whipple sugere que após a dissipação da nébula solar a quantidade de cometas perturbados enviados para a parte interna do Sistema Solar foi tão grande que se terá formado uma nébula cometária para além da órbita de Júpiter, o que poderá ter tido uma contribuição importante para o revestimento da Terra primitiva com substâncias voláteis. É pois muito possível que os cometas tenham desempenhado um papel de relevo na modelação das condições ambientais da Terra prebiótica. Independentemente de eles terem ou não trazido para a Terra moléculas prebióticas, uma fracção importante dos elementos voláteis da Terra terá uma origem cometária. Anders e Owen também sugeriram esta possibilidade com base nas concentrações relativas de isótopos observadas nas atmosferas de Marte e da Terra (ver p. ex., Lazcano-Araújo e Oro, 1981).

Mesmo que os cometas e/ou os meteoritos não estejam directamente relacionados com a origem da vida, eles desempenharam provavelmente um papel importante em etapas remotas da evolução. Os estudos geológicos no limite Cretáceo-Terciário revelam a ocorrência de uma grande catástrofe biológica há cerca de 60 milhões de anos, que conduziu à extinção abrupta das Foraminíferas planctónicas e dos nanofósseis e que é pelo menos grosseiramente coincidente com a morte de grandes animais terrestres incluindo os dinossauros. Este fenómeno é síncrono com o enriquecimento em determinados elementos raros, em particular o irídio e o ósmio, observado numa fina camada em diversos locais do nosso planeta. A raridade destes dois elementos na crosta terrestre conduziu à hipótese de que ambos os fenómenos teriam sido causados por um acontecimento único (Smith e Hertogen, 1980). Os diferentes dados disponíveis apontam para o impacto de uma grande meteorito ou cometa, de 5 a 15 km de diâmetro, que teria depositado essas quantidades de irídio e ósmio. Os cálculos de probabilidade indicam que pelo menos um cometa com massa de cerca de  $10^8$  g e energia de impacto de  $10^{31}$  erg deverá ter colidido com a Terra nos últimos 100 milhões de anos (Hsu, 1980). Finalmente, dado que não foram encontrados vestígios de uma cratera continental provocada por um corpo de tão grandes dimensões, é provável que este tenha caído no oceano provocando o envenenamento pelo cianeto da vida marinha.

## VI — O COMETA HALLEY

De todos os cometas conhecidos pelo homem, o cometa Halley é certamente o mais popular. Os seus regressos periódicos todos os 76 anos funcionam como um relógio que conta o tempo em unidades de tempo de vida humana. Dado que é frequentemente visível a

olho nu, não há outro cometa que tenha sido observado por tanta gente ao longo da história.

### A. Missões espaciais

#### 1. Vega (URSS e França)

Vega é uma sigla formada a partir dos nomes russos dos dois objectivos do programa: Vénus e Halley. O lançamento está previsto para Dezembro de 1984 e estudará Vénus após o que se aproximará do cometa Halley num voo rápido em Março de 1986 (um mês após o periélio, no período mais activo do cometa). A sonda passará a cerca de 10 000 km do núcleo e fotografará a sua face iluminada pelo Sol. Os objectivos científicos essenciais da sonda são a determinação da estrutura física e química do núcleo e a composição química da cabeça.

#### 2. Giotto (Agência Espacial Europeia)

Depois de ter visto o cometa Halley em 1301, o pintor italiano Giotto pintou-o dois anos mais tarde no lugar da estrela de Belém no seu famoso fresco "A adoração dos Reis Magos". A sonda foi assim baptizada em sua homenagem. Deverá ser lançada em Julho de 1985 e encontrará o cometa numa missão "suicida" em Março de 1986. Os objectivos do seu voo consistem em estudar: a composição química da cabeça, em particular as moléculas-mãe; os processos físicos e químicos na atmosfera e na ionosfera cometárias; a composição química das partículas de poeira.

#### 3. Planet A (Japão)

O lançamento desta sonda está marcado para Agosto de 1985 e está previsto que se aproxime a uma distância de 100 000 km do cometa. Para além de estudar as propriedades físicas e químicas da cauda do cometa Halley, esta sonda leva um analisador de vento solar.

### B. Observação Internacional do Halley

A Observação Internacional do Halley (International Halley Watch, IHW) é uma rede de correspondência à escala mundial criada com o objectivo de maximizar a eficiência de obtenção de dados científicos a partir da passagem do Halley em 1986. Trata-se do órgão coordenador das observações do cometa a partir da superfície da Terra. Diversos especialistas de oito áreas fornecem aos observadores, amadores e profissionais, dados de efeméride e notícias correntes sobre o acontecimento que se aproxima, e levam a cabo observações experimentais de outros cometas. Os dados finais coligidos pelo IHW constituirão um arquivo completo a publicar o mais tardar em 1989.

#### AGRADECIMENTOS:

Este trabalho foi em parte suportado pelo contrato de investigação NGR 22-010-023 da NASA.

Os autores sublinham que na preparação deste artigo se basearam essencialmente nas seguintes referências:

- IRVINE, W.M., e HJALMARSON, A. (1983). Comets, the interstellar medium and the origin of life. In *Cosmochemistry and the Origin of Life*, ed. Co. Ponnampuruma (Boston, Mass; D. Reidel Pub. Co.), pp. 113-142.
- WHIPPLE, F.L. (1981). The nature of comets. In *Comets and the Origin of Life*, ed. Ponnampuruma (Boston, Mass: D. Reidel Pub. Co.), pp. 1-20.
- WHIPPLE, F.L., e HUEBNER, W.F. (1976). Physical process in comets. *Annual Reviews* 14: 143-172.
- WYCKOFF, S. (1982). Overview of comet observations. In *Comets*, ed. L.L. Wilkening (Tucson, Ariz. Univ. Press), pp. 1-55.

## REFERÊNCIAS

- ALTENHOFF, W.J., BATRA, W., HUCHMEIER, W.K., SCHMIDT, J., STUMPF, P., e WALMSLEY, M. (1983). Radio observations of comets. *Astron. Astrophys.* 125: L19-L22.
- DONN, B., e RAHE, J. (1982). Structure and origin of cometary nuclei. In *Comets*, ed. L.L. Wilkening (Tucson, Ariz. Univ. Ariz. Press), pp. 203-226.
- HANNER, M.S. (1983). Comet Cernis: Icy grains at last? *Astro-phys. J. Letters*, a publicar.
- HSU, K.J. (1980). Terrestrial catastrophe caused by cometary impact at the end of Cretaceous. *Nature* 285: 201-203.
- IRVINE, W.M., SCHLOERB, F.P., HJALMARSON, A., e HERBST, E. (1984). In *Protostars and Planets II*, ed. D. Black and M. Matthews (Tucson, Ariz. Univ. Ariz. Press), a publicar.
- IRVINE, W.M., SCHLOERB, F.P., e LESCHINE, S.B. (1981). Comets and the origin of life. In *Origin of Life*, ed. Y. Wolman (Boston, Mass: D. Reidel Pub. Co.), pp. 27-32.
- KAMOUN, P.G., PETTINGILL, G.H., e SHAPIRO, I.I. (1982). Radar detectability of comets. In *Comets*, ed. L.L. Wilkening (Tucson, Ariz. Univ. Ariz. Press), pp. 288-296.
- LAZCANO-ARAÚJO, R., A., ORO, J. (1981). Cometary material and the origins of life on Earth. In *Comets and the Origin of Life*, ed. C. Ponnamperna (Boston, Mass: D. Reidel Pub. Co.), pp. 191-225.
- MARSDEN, B.G., e ROEMER, E. (1982). Basic information and references. In *Comets*, ed. L.L. Wilkening (Tucson, Ariz: Univ. Ariz. Press), pp. 707-733.
- MARSDEN, B.G. SEKANINA, Z., e YOEMANS, D.K. (1973). Comets and nongravitational forces — V. *Astron. J.* 78: 211-225.
- SEKANINA, Z. (1977). Relative motions of fragments of the split comets-I. A new approach. *Icarus* 30: 574-594.
- SMIT, J., e HERTOGEN, J. (1980). An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature* 285: 198-200.
- WEISSMANN, P.R. (1982). Dynamic history of the Oort cloud. In *Comets*, ed. L.L. Wilkening (Boston, Mass: D. Reidel Pub. Co.), pp. 637-658.

## SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA

Avenida da República, 37 - 4.º — 1000 LISBOA

## REACÇÕES ÁCIDO-BASE

Fichas, acetatos (matrizes) e diapositivos

por Jean-Max Dumas, Doutor em Ciências

com a colaboração técnica de Joel Monteau, Doutor de 3.º ciclo

Centro Universitário dos Novos Media de Ensino, Universidade de Poitiers

## Tradução e adaptação por

Artur Marques da Costa, colégio Militar, Lisboa

Herta Beckert, Escola Secundária da Amadora

Maria Elisa Maia, Departamento de Química da Faculdade de Ciências de Lisboa

Maria da Vistação Barbosa, Escola Secundária de Queluz

Mariana P.B.A. Pereira, Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de Lisboa

## Este módulo destina-se essencialmente a:

Quimicotecnia — 10.º e 11.º anos

Química — 11.º e 12.º anos

Química — 1.º ano das Universidades

Nome .....

Morada.....

Escola.....

Está disposto a colaborar na avaliação deste módulo?.....

Está interessado (ou a sua escola) na aquisição de: .....

Colecção de 9 acetatos ..... colecção de 58 diapositivos .....

(O preço das colecções de acetatos e diapositivos será enviado a quem o solicitar, numa carta que contenha um envelope selado e endereçado)

Envio cheque n.º ..... do Banco ..... no valor de.....

(750\$00 módulo + 100\$00 embalagem e envio)