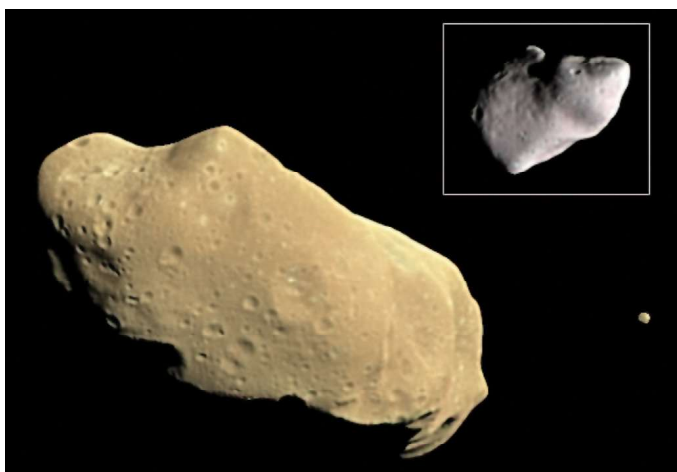
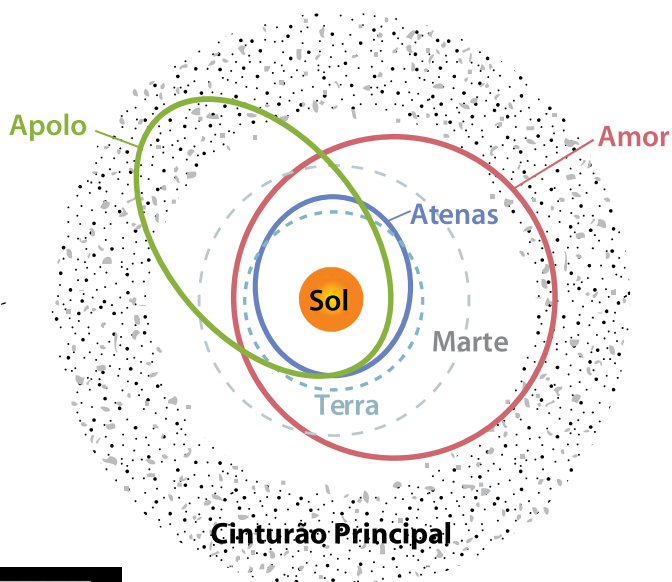


18- O cinturão Principal de asteroides, entre Marte e Júpiter, e os grupos Atenas, Apolo e Amor.



19- O asteroide Ida ($56 \times 24 \times 21$ km) e seu satélite Dáctilo ($1,2 \times 1,4 \times 1,6$ km) pertencem ao Cinturão Principal (Sonda Galileu, 1993, NASA/JPL/USGS).

5.6 ASTEROIDES E FRAGMENTOS ROCHOSOS (METEOROIDES)

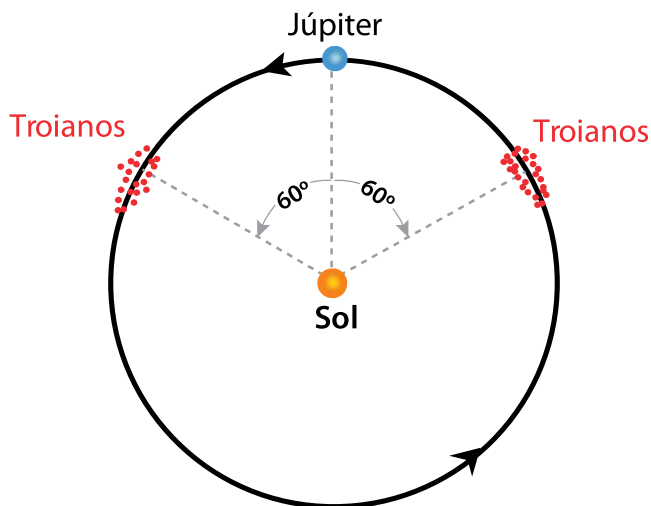
Asteroide é palavra de origem grega que significa "semelhante à estrela". Visto de longe, um asteroide se parece com um ponto luminoso. Qualquer objeto pequeno ou muito distante terá tal aparência. Neste livro, o termo asteroide será aplicado aos corpos menores de composição química rochosa (ver tabela 1).

Os asteroides são objetos rochosos, relativamente pequenos, com formas e tamanhos diversos. Os maiores são aproximadamente esféricos. A maior parte deles está concentrada entre Marte e Júpiter, no cinturão asteroidal, ou cinturão principal, orbitando o Sol em trajetórias quase circulares. Mas há asteroides com órbitas bem elípticas, alguns cruzando a órbita da Terra.

Os asteroides foram descobertos apenas no século 19. No primeiro dia do ano de 1801, o astrônomo italiano Giuseppe Piazzi descobriu um objeto novo que se movimentava com maior rapidez que os planetas. Ele foi batizado como Ceres, hoje classificado como planeta-anão. Sua órbita estava entre as órbitas de Marte e Júpiter. Nos anos seguintes, foram descobertos Pallas, Juno e Vesta, todos nessa região. Os asteroides maiores receberam nomes próprios, mas a grande maioria é identificada por sigla.

• Cinturão Principal de Asteroides

A tabela 7 apresenta algumas características físicas e orbitais dos principais asteroides do cinturão. A figura 18 ilustra a região principal dos asteroides, entre 2 e 4 UA.



20- Os asteroides troianos circulam na mesma órbita de Júpiter e se agrupam nas proximidades dos pontos lagrangianos L4 e L5.

O cinturão não é preenchido uniformemente, existem regiões praticamente desprovidas de asteroides. Isto ocorre por conta da influência gravitacional de Júpiter, que altera as órbitas dos asteroides que estejam nessas regiões. A massa total dos asteroides do cinturão é da ordem de um milésimo da massa da Terra.

· Grupos e famílias de asteroides

Os asteroides podem ser agrupados em função das características de suas órbitas, sem que mantenham necessariamente relação entre si. Outros, no entanto, apresentam órbitas tão similares que podem ter uma origem comum, por exemplo a fragmentação de corpos maiores decorrentes de colisão. Neste caso, podemos reuni-los em famílias.

Existem asteroides que circulam o Sol na região interna da órbita da Terra, ou seja, seus afélios jamais ultrapassam 1 UA. Alguns deles cruzam as órbitas de Mercúrio e/ou de Vênus. Outro grupo de asteroides tem periélios menores que 1 UA, ou sejam, eles cruzam a órbita da Terra. Os grupos Atenas e Apollo são exemplos. Os do grupo Atenas têm afélios da ordem de 1,2 UA, já as distâncias afélicas do grupo Apollo é quase dobro. Os asteroides que se aproximam da Terra são também conhecidos como Asteroides Próximos da Terra (ou pela sigla NEA – *Near Earth Asteroids*). Os asteroides do grupo Amor possuem distâncias periélicas entre 1,1 e 1,3 UA, ou seja, entre Terra e Marte.

Alguns destes asteroides formam famílias. As maiores contêm centenas de asteroides, enquanto as famílias menores têm apenas alguns membros. Conhecemos cerca de duas a três dezenas de famílias, a maioria no cinturão principal de asteroides. As famílias Pallas (associada ao asteroide 2 Pallas), Hungaria (associada ao asteroide 434 Hungaria) e Phocaea (associada ao asteroide 25 Phocaea) são alguns exemplos.

Os Troianos são asteroides que giram em torno do Sol na mesma órbita de Júpiter, portanto com o mesmo período do planeta. Na realidade eles não se espalham pela órbita de Júpiter. Eles se concentram em duas regiões específicas e equidistantes do planeta, 60° à frente e 60° atrás. Esses locais são conhecidos como pontos de Lagrange L4 e L5, em homenagem ao matemático Joseph-Louis de Lagrange, que estudou a interação gravitacional entre três corpos, no caso asteroide, Júpiter e Sol. Esses pontos formam o ápice de dois triângulos equiláteros que têm os três astros como vértices.

Asteróide (descoberta)	Diâmetro ¹ (km)	Rotação (horas)	Excentricidade	Albedo	Tipo ²
Pallas (1802)	583	7,9	0,23	0,09	M
Juno (1804)	249	7,2	0,26	0,16	S
Vesta (1807)	555	5,3	0,09	0,26	S
Astraea (1845)	116	16,8	0,19	0,13	S
Hebe (1847)	206	7,3	0,20	0,16	S
Iris (1847)	222	7,1	0,23	0,2	S
Elora (1847)	160	13,6	0,16	0,13	S
Metis (1848)	168	5,1	0,12	0,12	S
Higiea (1849)	443	18	0,12	0,05	C
Eros (1898)	20	5,3	0,22	0,18	S
Aquiles (1906)	70		0,15		
Hektor (1907)	230	6,9	0,03	0,03	C
Hidalgo (1920)	30	10,1	0,66		M
Amor (1932)	57		0,43		
Icarus (1949)	2	2,3	0,83		
Appolo (1932)	2,5		0,56		
Chiron (1977)	320		0,38		

(1) Por serem pequenos, nem sempre os asteroides são esféricos; estes valores são os que representam melhor seus volumes. (2) Ver tabela 9.

Tabela 7- Características físicas e orbitais dos principais asteroides (*Fundamental Astronomy*, H. Karttunen, P. Kroger H. Oja, M. Poutanen, K.J. Donner, Springer Verlag, p. 490, 1995).

Tipo	C	M	S
Abundância	60%	≤ 10%	≈ 30%
Composição predominante	C + Fe ₃ O ₄	Metais	Silicatos
Albedo	< 5%	≈ 10%	≈ 15%
Cor	Escuros	Intermediário	Claros
Posição	cinturão externo (próximo de Júpiter)	cinturão intermediário	cinturão interno (próximo de Marte)

Tabela 8- Características (valores médios) dos asteroides do cinturão.

• Composição química e origem

Os asteroides do cinturão principal apresentam diferenças de composição química, que guardam certa relação com a posição orbital. Os mais próximos de Marte (30% do total), conhecidos por tipo S, são mais claros e formados basicamente de uma mistura de rocha (silicatos) e ferro, muito parecidos com os meteoritos ferropétreos. Já os asteroides mais próximos de Júpiter (60% do total), conhecidos por tipo C, são mais escuros e têm composição química semelhante a dos meteoritos condritos carbonáceos. Os demais asteroides, conhecidos por tipo M, são constituídos basicamente de uma liga metálica de ferro e níquel, semelhantes aos meteoritos sideritos (tabela 8).

A origem dos asteroides é um assunto ainda em discussão. A hipótese mais aceita é que eles sejam fragmentos (planetésimos) que, na época de formação do Sistema Solar, não se agregaram aos planetas por influência gravitacional de Júpiter. Colisões mútuas posteriores fragmentaram os objetos maiores dessa região, aumentando a população dos asteroides. Asteroides do tipo metálico (liga de ferro e níquel) só podem ter origem no núcleo de corpos grandes e diferenciados que se fragmentou por colisão.

5.7 CORPOS TRANSNETUNIANOS

O limite do Sistema Solar está bem mais adiante de Netuno, no mínimo a 0,5 a.l. (cerca de 31.620 UA), no máximo a 1,6 a.l.. A estrela mais próxima do Sol está a 4,3 a.l.. Ainda não sabemos com exatidão o que contém essa região imensa, mas é muito provável que ela seja preenchida por corpos de dimensões subplanetárias, de composição química mista (gases e rochas) e órbitas muito alongadas (elipses de alta excentricidade).

A importância dos objetos dessa região transnetuniana repousa nas suas características. Por estarem em região muito fria, distante do Sol, eles preservam a composição química primitiva que deu origem ao Sistema Solar. Eles formam um estofo de matéria que não foi agregada aos corpos maiores, por isso podem fornecer informações inéditas sobre a história e a evolução do Sistema Solar. Suas órbitas, por exemplo, podem nos ajudar a compreender como as órbitas dos planetas gigantes evoluíram desde a formação.

· Cinturão de Edgeworth-Kuiper

A primeira pessoa a postular a existência de uma população de corpos pequenos adiante de Netuno foi Frederick Leonard, em 1930. Treze anos mais tarde, Kenneth Edgeworth sugeriu a concentração desses objetos em um cinturão, semelhante ao dos asteroides entre Marte e Júpiter. Estudando os cometas de curto período, Gerard Kuiper concluiu em 1951 que eles provinham dessa região transnetuniana, mais especificamente entre 30 e 50 UA. Essa região ficou conhecida como Cinturão de Edgeworth-Kuiper.

A constatação visual desse cinturão ocorreu em 1992, com a descoberta de um objeto de 160 km de diâmetro, distante 43,7 UA do Sol e identificado como 1992 QB1. Desde então, outros corpos foram descobertos naquela região, e classificados de acordo com as características orbitais. Plutão é o mais famoso deles. Tritão pode ter pertencido a esta região antes de se tornar satélite de Netuno. Os objetos mais conhecidos dessa região são os três planetas anões Eris (maior que Plutão), Makemake, Haumea, além dos outros candidatos como Quaoar, Ixion e Varuna.

Atualmente, há evidências de que o cinturão de Edgeworth-Kuiper estenda-se até 100 UA. Estima-se que nessa região haja cerca de cem mil corpos com diâmetros maiores que 100 km e algo como um bilhão de objetos com diâmetros entre 100 e 10 km.



20- Cometa C/1995 O1, Hale-Bopp (Wei-Hao Wang, Institute for Astronomy, University of Hawaii).

Uma definição mais moderna e abrangente para os possíveis e diferentes objetos que ocupam essa região distante é Objetos Transnetunianos (sigla TNO, em inglês). Quimicamente, esses corpos são compostos (gases congelados e rocha), diferentemente dos asteroides (rochosos). Mesmo assim, eles têm diferenças aparentes: alguns são mais brilhantes que outros, e as cores variam entre azul-acinzentado e vermelho bem escuro. Isto é consequência das diferenças em composição química de suas superfícies. As evidências indicam a presença de água congelada, carbono amorfo (estrutura que não têm ordenação espacial, ao contrário do carbono cristalino), silicatos, nitrogênio, metano, etano, metanol, dióxido de carbono, macromoléculas orgânicas e outras espécies.

• Cometas

Os cometas são os astros que, certamente, mais fascinaram o ser humano. Sêneca (4 a.C.-65 d.C.), em seu Livro VII de *Naturales Quaestiones*, exemplifica muito bem este aspecto quando diz: "Não há mortal tão apático, tão obtuso, tão voltado para a terra, que não se aprime e se oriente, com todas as forças do pensamento, para as coisas divinas, sobretudo quando algum fenômeno insólito aparece nos céus... Quando aparecem esses corpos (os cometas) de chama, com forma rara e insólita, todos querem ver como eles são, esquecem-se de tudo para se indagar sobre a novidade. Não se sabe se deve admirar ou temer, pois, nunca falta quem se aproveite para semear o medo prognosticando coisas terríveis" ("Cometas: do mito à ciência", Oscar T. Matsuura, Ícone Editora, pág.9, 1985).

Talvez o papel mais marcante dos cometas na vida do ser humano seja a possibilidade de eles serem as principais fontes de compostos orgânicos e água. Há evidências de que os cometas tiveram papel preponderante na formação da atmosfera atual e dos oceanos, bombardeando a Terra há cerca de quatro bilhões de anos.

Fisicamente, cometas são corpos de massa pequena, composta essencialmente de gases congelados como água (80%), monóxido de carbono (10%), dióxido de carbono (3,5%), compostos orgânicos ricos em carbono (alguns %), CHONs (grãos ricos em C, H, O, e N, diferentes da poeira terrestre rica em Si, O, Fe, e outros metais) e grãos de silicatos. Esta estrutura forma o núcleo do cometa, com tamanho inferior a dezenas de quilômetros e massa típica entre 100 e 1.000 bilhões de toneladas (figura 20).

Ao se aproximar do Sol, a temperatura superficial desse núcleo aumenta e o material volátil é sublimado, isto é, passa da fase sólida diretamente para a fase gasosa. O gás expelido na forma de jato arrasta os grãos impregnados nessa massa congelada formando a coma, um invólucro aproximadamente esférico de 100.000 km de diâmetro que envolve o núcleo, e as caudas. O núcleo e a coma formam a cabeça do cometa.

O gás eletricamente neutro pode tornar-se carregado através da ionização provocada por fótons ultravioleta de origem solar. Como os íons são suscetíveis ao campo magnético carregado pelo vento solar eles são acelerados e arrastados na direção de expansão do vento solar, formando uma cauda estreita e linear de gás ionizado, chamada cauda Tipo I. A cauda ionizada é predominantemente azulada.

O material restante composto de gás neutro e poeira forma a cauda Tipo II, que é mais larga e mais curvada que a cauda ionizada. Os grãos de poeira são arrastados pela luz solar, porém com menos violência que no caso da cauda Tipo I, mantendo o formato curvo. As caudas Tipos I e II podem atingir comprimentos de até 1 UA e nem sempre estão presentes simultaneamente.

Normalmente o cometa fica envolto em um envelope imenso de hidrogênio, produzido pela fotodissociação do vapor de água pela luz solar.

A água é o componente majoritário de gelo cometário, também formado por hidratos de várias substâncias, tais como, CH_3 , NH_4 , CO_2 , e outros. Quando está distante do Sol, o brilho de um cometa provém da reflexão da luz solar pela matéria da coma e da cauda. Ao se aproximar do Sol, a cerca de 1 UA, as moléculas de gás passam a emitir luz por fluorescência (o gás é excitado por luz ultravioleta e, ao voltar a seu estado natural, libera o excesso de energia na forma de luz). Isto ocorre principalmente com carbono (C_2), cianogênio (CN), oxigênio (O_2), hidroxila (OH) e hidretos de nitrogênio (NH e NH_2). Nas distâncias heliocêntricas ainda menores surgem linhas de emissão do silício (Si), cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K) e níquel (Ni).

Tamanho e brilho aparentes dependem essencialmente das distâncias. Quanto mais próximo do Sol estiver o cometa, maiores serão o brilho e o tamanho. Quanto mais próximos nós estivermos do cometa, mais brilhante e maior ele nos parecerá. Portanto, brilho e tamanho aparentes dependerão dessas duas condições. Esta dependência de brilho e tamanho com a distância pode ser expressa por uma relação simples:

$$B = \frac{C}{R^n \Delta^2} \quad (4)$$

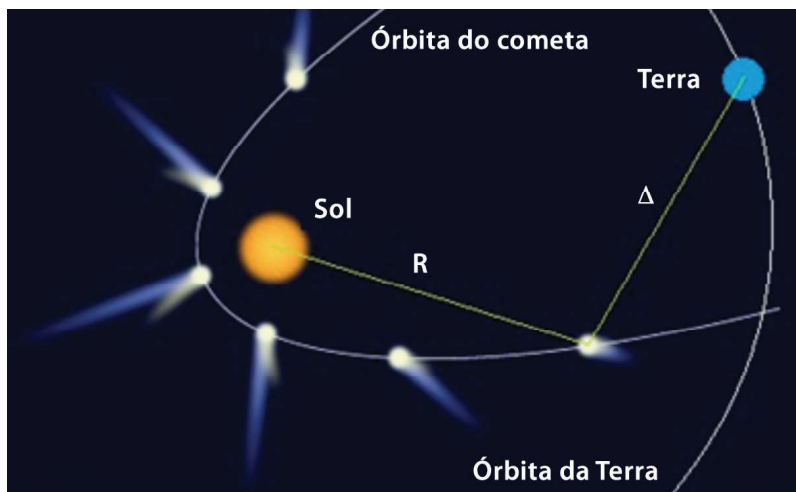
onde C é uma constante; R e D , respectivamente, as distâncias heliocêntrica e geocêntrica do cometa; e n o índice fotométrico. O parâmetro mais crítico nesta expressão é n . Ele varia com a distância heliocêntrica (geralmente n aumenta quando a distância heliocêntrica diminui), não é necessariamente igual nas sucessivas aparições do cometa e difere entre cometas. Valores razoáveis para n podem estar entre 1 e 6.

A longevidade de um cometa depende essencialmente de quão perto ele passar do Sol e da frequência com que faz isso. Quanto menor a órbita do cometa, mais tempo ele estará exposto ao aquecimento solar e mais rapidamente perderá sua componente volátil. O que restar dele será um bloco rochoso sem coma e cauda, parecido com um asteroide. Portanto, a longevidade de um cometa depende da sua órbita.

Considerando a diversidade de órbitas, podemos ordenar os cometas segundo seus períodos. Os períodos podem ser curtos (até algumas dezenas de anos), médios (dezenas a algumas centenas de anos) ou longos (várias centenas a milhões de anos). Cometas de períodos muito longos podem ser classificados como novos porque não há registros de passagens anteriores. Na realidade esses cometas estão circulando o Sol desde que o Sistema Solar foi formado.

Os cometas periódicos têm o prefixo "P/" antes do nome. O cometa 1P/Halley tem esta designação formal porque foi o primeiro a ser reconhecido como periódico. Sua órbita foi calculada pelo astrônomo inglês Edmund Halley em 1705, através da teoria de gravitação de Isaac Newton. Este cometa havia sido observado em 1472, pelo astrônomo alemão Johann Müller Regiomontano, mas o primeiro registro parece datar o ano 239 a.C..

Boa parte dos cometas periódicos pertence a famílias associadas aos planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). Cometas da família de Júpiter, por exemplo, têm períodos menores que vinte anos. O cometa 1P/Halley pertence a uma família que leva seu nome Halley, cujos períodos vão de vinte a duzentos anos. A depender da aproximação com os planetas gigantes, os cometas podem ter suas órbitas alteradas, adquirindo períodos menores ou maiores.



22- O brilho aparente de um cometa depende simultaneamente da sua distância ao Sol (R) e da distância dele à Terra (D).

Normalmente os cometas novos têm órbitas muito alongadas (elipses de elevada excentricidade), que os levam a distâncias enormes do Sol. Por esta razão, esses cometas passam a maior parte de suas vidas em regiões muito frias. Estudando as características orbitais dos cometas de períodos muito longos, o astrônomo holandês Jan Hendrik Oort concluiu que esses objetos formavam uma nuvem esférica centrada no Sol, que ficou conhecida por Nuvem de Oort. Sua dimensão ainda não é bem conhecida, mas estima-se que ela ocuparia o espaço entre 5.000 e 100.000 UA, e poderia conter até um trilhão de cometas. Como os cometas são pequenos, a massa total deles deve ser menor que a de um planeta gasoso.

Perturbações gravitacionais (marés) causadas pela aproximação do Sol com estrelas, durante seu trajeto pela Via Láctea, lançam cometas na direção do Sol e eles surgem como cometas novos. Estes, quando visitam as partes internas do Sistema Solar, se aproximam de todas as direções, ao contrário dos cometas de curto período que o fazem através de órbitas quase coplanares à eclíptica.

5.8 ANÉIS PLANETÁRIOS E METEOROIDES

· Anéis

Anéis são enxames de partículas girando em torno de planetas, em órbitas circulares. As órbitas elípticas provocam colisões entre as partículas, que destroem o anel. Os anéis são finos, planos e estão no plano equatorial do planeta. Órbitas inclinadas resultam em colisões e destruição dos anéis.

Dois fenômenos gravitacionais explicam a existência dos anéis: ressonância e maré.

A ressonância orbital surge quando dois corpos em órbita exercem mutuamente influência gravitacional regular e periódica. Isto ocorre quando os períodos orbitais dos corpos estão relacionados por uma razão de dois números inteiros. Algumas ressonâncias são estáveis. Por exemplo, Plutão e Netuno estão em ressonância 3:2. A cada três revoluções de Netuno em torno do Sol ocorrem duas revoluções de Plutão, e os dois voltam na mesma posição relativa. Isto impede variações orbitais que possam aproximar muito os planetas.

Outras ressonâncias, no entanto, geram instabilidades nas órbitas dos corpos e criam lacunas. A Divisão de Cassini (tabela 9) é uma região que separa os anéis A e B de Saturno, em que predomina a