

Aula 10 - Sistema Solar: Corpos Menores.

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller



Cometa NEAT (C/2001 Q4).
Crédito: NASA

Introdução

Na aula passada fizemos um estudo comparativo dos planetas do sistema solar. Hoje vamos estudar os outros corpos do sistema solar – os “corpos menores” -, englobando tudo o que orbita os planetas e tudo o que orbita o Sol e não é planeta: planetas anões, asteroides e cometas. Embora a maioria desses corpos tenha tamanho insignificante comparado com os planetas, eles existem em grande número e, no caso de asteroides e cometas, muitas vezes se aproximam da Terra, causando um misto de encantamento e receio por parte da população. Qual o risco desses objetos para a vida na Terra? O que diferencia um planeta anão de um planeta e de um asteroide? Do que são feitos os anéis planetários? Como se formam as caudas dos cometas? Quais os objetos mais distantes do sistema solar? Essas são algumas das perguntas que procuramos responder nesta aula.

Bom estudo!



Objetivos

- listar os tipos de objetos que se enquadram na categoria de corpos menores do sistema solar;
- descrever e comparar as características gerais de planetas anões, asteroides, cometas e objetos do cinturão de Kuiper;
- descrever a composição e a estrutura de um cometa, explicando como se forma e para onde aponta a sua cauda;
- estabelecer a diferença entre meteoróide, meteoro e meteorito;
- perceber de forma realista a possibilidade de ocorrerem impactos de corpos menores na Terra e estimar os riscos que tais impactos podem oferecer.

Corpos menores do sistema solar

O sistema solar contém, além dos planetas e dos planetas anões, um grande número de corpos menores, entre os quais estão incluídos os satélites e anéis dos planetas, os asteroides, os meteoróides e os cometas.

Com exceção dos satélites e dos anéis, que orbitam os planetas, todos os demais corpos orbitam o Sol.

Asteroides

São corpos pequenos, rochosos, encontrados principalmente no cinturão de asteroides, entre as órbitas de Marte e Júpiter.

O Cinturão de Asteroides é também chamado Cinturão Principal. Acredita-se que os objetos que formam esse cinturão são resquícios de um planeta que não se formou.

Asteroides

Os asteroides são corpos relativamente pequenos, predominantemente rochosos, que orbitam o Sol. Em geral são objetos de forma irregular, com diâmetros de alguns quilômetros e densidade em torno de $2,5 \text{ g/cm}^3$. Na grande maioria estão localizados no Cinturão de Asteroides, entre as órbitas de Marte e Júpiter (figura 10.1), mas alguns asteroides são encontrados fora dessa região.

Atualmente, mais de 600 000 asteroides são catalogados; todos juntos têm massa menor do que 5% da massa da Lua.

Asteroides do Cinturão Principal

Esses objetos têm órbitas quase circulares, com semieixos maiores de 2,2 a 3,3 *UA*, correspondendo a períodos orbitais de 3,3 a 6 anos. Orbitam o Sol na mesma direção dos planetas e aproximadamente no mesmo plano. Provavelmente mais de 90% de todos os asteroides estão nesse cinturão.



Ceres foi o considerado o maior asteroide do sistema solar até 2006, quando foi reclassificado como planeta-anão.

A lei de **Titius-Bode** é uma relação empírica descrevendo as distâncias médias dos planetas ao Sol, como $a = (n + 4)/10$, com a em UA e $n = 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192$ e 384 . Volte à Aula 5, p11, para uma revisão.

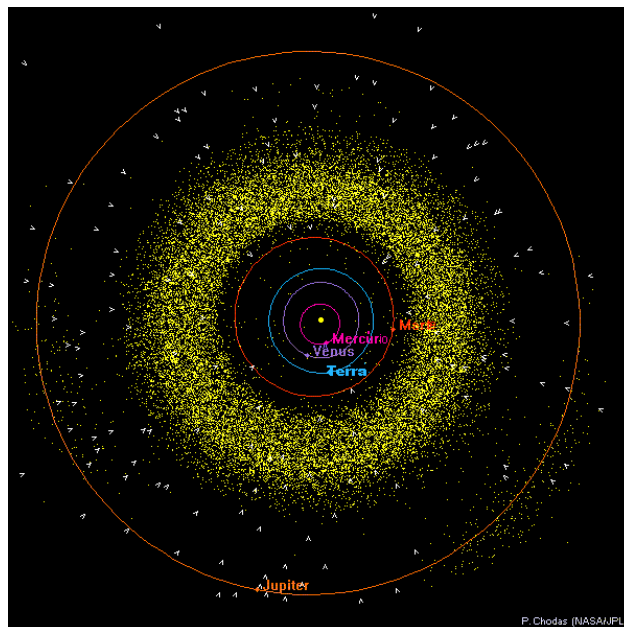


Figura 10.01: Diagrama mostrando a localização do Cinturão de Asteroides (pontinhos amarelos) entre as órbitas de Marte e de Júpiter. As duas fracas nuvens de pontinhos amarelos na órbita de Júpiter, localizadas 60° à frente e atrás do planeta, são os asteroides troianos.

O maior asteroide do cinturão principal é Ceres (figura 10.02), com massa de um centésimo da massa da Lua e diâmetro pouco menor do que 1000 km (aproximadamente metade do diâmetro da Lua). Ceres foi descoberto pelo italiano Giuseppe Piazzi, no primeiro dia de 1801. Naquela época, os astrónomos estavam procurando insistentemente um planeta que, de acordo com a lei de Titius-Bode, deveria existir entre as órbitas de Marte e Júpiter. Piazzi achou que tinha encontrado tal planeta, mas em seguida as descobertas de novos "pequenos planetas" nessa região se multiplicaram, e todos foram agrupados sob o nome de "asteroides". Pallas, o segundo maior asteroide, com metade do diâmetro de Ceres, foi descoberto em 1802, pelo alemão Heinrich Olbers. Em 1804 outro astrónomo alemão, Harding, descobriu Juno, com apenas 233 km de diâmetro. Em 1807 Olbers descobriu Vesta, de tamanho similar ao de Pallas.

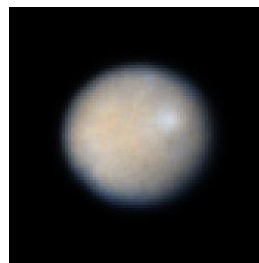


Figura 10.02: Uma imagem colorida de Ceres, que tem pouco menos de 1000 km de diâmetro e forma quase esférica. Ceres é atualmente classificado como planeta anão.

O asteroide Ida (figura 10.03) com 50 km de diâmetro, foi fotografado pela sonda Galileo em 1993, quando se descobriu que ele possui um satélite, Dactyl, de 1,5 km de diâmetro, a 100 km de distância. Aproximadamente 10 % dos asteroides têm satélites.



Figura 10.03: O pequeno asteroide Ida e sua minúscula lua Dactyl (pontinho branco à direita). Crédito: [Galileo Project](#), [JPL](#), [NASA](#).

Asteroides fora do Cinturão Principal

Embora a maioria dos asteroides tenha órbitas confinadas entre as órbitas de Marte e Júpiter, alguns asteroides ficam fora dessa região, como mostrado na figura 10.04.

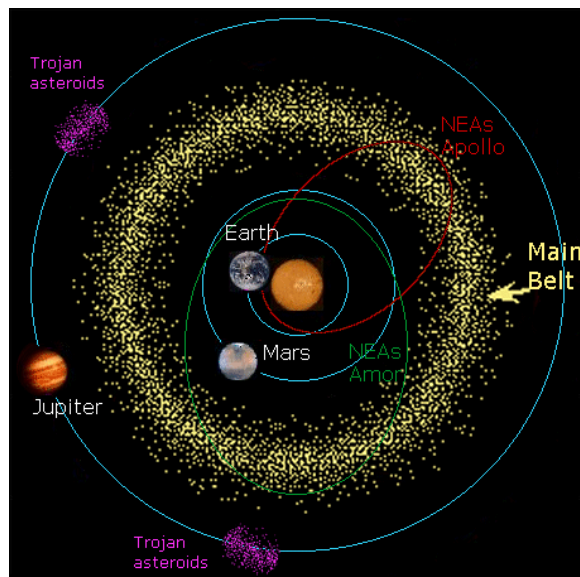


Figura 10.04: A figura mostra, em azul, as órbitas dos planetas Terra, Marte e Júpiter; em vermelho está indicada a órbita do asteroide Apollo e em verde a do asteroide Amor. A localização do Cinturão Principal está em amarelo e em rosa são indicadas as posições dos asteroides Troianos, Crédito: [Spaceguard Foundation](#)

Os **pontos lagrangeanos** ou **pontos de Lagrange** da órbita de Júpiter são pontos em que a gravidade de Júpiter está equilibrada pela gravidade do Sol, de forma que uma partícula colocada ali fica estável.

Os *Troianos* constituem um grupo de asteroides que foram capturados pela atração gravitacional combinada de Júpiter e do Sol, e ocupam os pontos lagrangeanos L4 e L5 da órbita de Júpiter, localizados 60° à frente e 60° atrás do planeta, orbitando o Sol com o mesmo período de Júpiter.

Os asteroides dos grupos *Amor* e *Apolo* têm órbitas



altamente elípticas que os trazem para as partes mais internas do sistema solar, sendo que os do grupo Apolo cruzam a órbita da Terra. Muitos desses asteroides pertencem à categoria "Asteroides próximos à Terra" (*Near Earth Asteroides*), que enquadra os asteroides que têm maior chance de colidir com nosso planeta, e por isso são constantemente monitorados. A maioria desses objetos tem uma probabilidade de 0,5% de colidir com a Terra no próximo um milhão de anos.

Outro tipo de asteroides fora do cinturão principal são os *Centauros*, que têm órbitas que os levam para as partes externas do sistema solar, cruzando a órbita de Júpiter. Esses objetos já apresentam características mistas de asteroides e de cometas.

Cometas



Figura 10.05: Cometas Hale-Bopp (C/1995 O1) e West (C/1975 V1). Fonte: Wikipédia

Os cometas constituem outro conjunto de pequenos corpos orbitando o Sistema Solar. Suas órbitas são elipses muito alongadas. Assim como os asteroides, os cometas são muito pequenos e fracos para serem vistos mesmo com um telescópio, a não ser quando se aproximam do Sol. Nessas ocasiões eles desenvolvem caudas brilhantes (figuras 10.05) que algumas vezes podem ser vistas mesmo a olho nu.

Estrutura:

Os cometas são feitos de uma mistura de gelo e poeira, como uma bola de gelo sujo, segundo o modelo proposto por Fred Whipple em 1950. À medida que eles se aproximam do Sol, parte do gelo sublima, formando uma grande nuvem de gás e poeira ao redor do cometa, chamada **coma**, com diâmetro da ordem de 100 mil km. A parte sólida e gelada no interior é o **núcleo** e normalmente tem 1 a 10 km de diâmetro. A radiação e o vento solar (as partículas carregadas emitidas pelo Sol) empurram o gás e a poeira da coma formando a **cauda**, que sempre aponta na direção oposta à do Sol (ver figura 10.06).

Normalmente podem ser observadas duas caudas, uma **cauda de poeira** e uma **cauda de gás**. A cauda de poeira em geral é mais larga, curva e amarela. A cor amarela se deve a que ela brilha por reflexão da luz solar; a forma curva se deve a que as partículas de poeira seguem órbitas keplerianas, isto é, movem-se mais devagar quanto mais distantes estão do Sol. A cauda de gás, ou cauda ionizada, é composta de partículas leves que, ao serem empurradas, se afastam em linha reta, formando uma cauda reta e de cor azulada, pois seu brilho se deve ao monóxido de carbono ionizado, que emite no azul.



Cometas:

São objetos compostos de materiais voláteis congelados, têm órbitas altamente elípticas e não confinadas ao plano da eclíptica. Apresentam poeira (silicatos) em sua composição, (daí serem considerados “bolas de gelo sujo”).

Ao se aproximarem do Sol, parte do gelo derrete, formando uma grande nuvem de gás e poeira ao redor do cometa, chamada coma.

O envelope de hidrogênio, formado por átomos de hidrogênio, embora não seja visível no ótico, é a componente mais extensa, podendo chegar a ter 1 UA de comprimento. Por ser composta das partículas mais leves, é a componente mais afetada pela pressão de radiação. A figura 10.07 ilustra a estrutura do cometa.

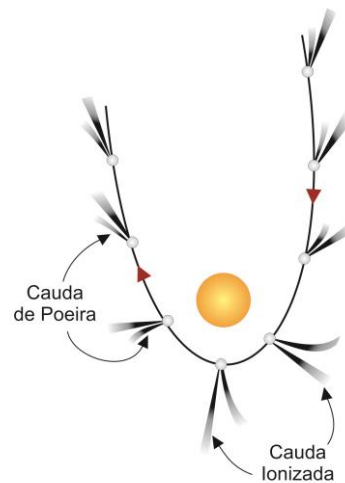


Figura 10.06: A cauda do cometa sempre aponta em direção oposta à do Sol.

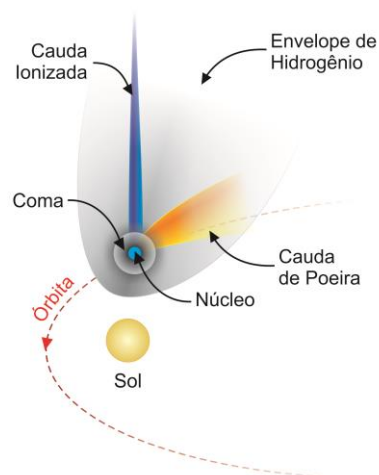


Figura 10.07: Componentes de um cometa: núcleo, coma, cauda de gás ionizado, cauda de poeira, envelope de hidrogênio.

Origem:

Na década de 1950, o astrônomo holandês Jan Oort (figura 10.08) propôs a existência de uma vasta nuvem esférica envolvendo o sistema planetário, estendendo-se de 10 000 a 100 000 UA do Sol. Essa nuvem, que ficou conhecida como **Nuvem de Oort**, seria composta de uma enorme quantidade de pequenos corpos gelados, resíduos da formação do sistema solar. Eventualmente, a interação gravitacional com uma estrela próxima perturbaria a órbita de algum desses corpos, fazendo com que ele fosse lançado para as partes mais internas do Sistema Solar.

Acredita-se que a maioria dos cometas “novos” (aqueles que estão passando perto do Sol pela primeira vez),



tenham origem na nuvem de Oort. Uma vez que o cometa é desviado para o interior do Sistema Solar, ele não sobrevive mais do que 1 000 passagens periélicas antes de perder todos os seus elementos voláteis.



Figura 10.08: Jan Hendrik Oort (1900-1989). Astrofísico e astrônomo holandês.

Origem dos cometas:

Alguns cometas vêm da Nuvem de Oort, outros vêm do Cinturão de Kuiper.

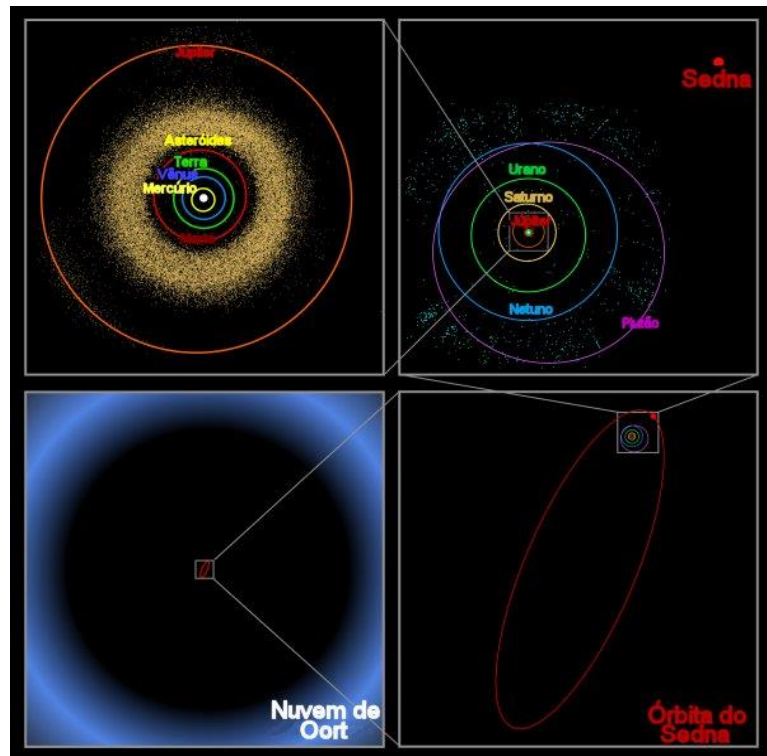


Figura 10.09:: Tamanhos relativos entre o Cinturão de Asteroides Principal (quadro superior esquerdo), o cinturão de Kuiper (quadro superior direito), a órbita do objeto transnetuniano Sedna (quadro inferior direito) e a nuvem de Oort (quadro inferior esquerdo).

O cinturão de Kuiper

Objetos do Cinturão de Kuiper:

São corpos de composição mista entre rocha e gelo que habitam uma região em forma de rosquinha centrada no Sol, com bordas entre 30 e 55 UA.

Outro reservatório de cometas existente no sistema solar reside um pouco mais perto do Sol, à distância média de Plutão: trata-se do *cinturão de Kuiper*, cuja existência foi prevista pelo astrônomo Gerard Kuiper (figura 10.10) em 1951, e confirmada a partir de 1992, com a descoberta de vários corpos pequenos e congelados além da órbita de Netuno.

O cinturão de Kuiper é uma região em forma de rosca, centrada no Sol e alinhada com plano da eclíptica, com bordas entre 30 e 55 UA do Sol, portanto logo após a órbita de Netuno. Os objetos que povoam essa região são compostos de uma mistura de gelo e rocha, e são conhecidos como "objetos do cinturão de Kuiper" (KBOs, na sigla em inglês).



Desde 1992, mais de 1000 objetos do cinturão de Kuiper foram descobertos, a maioria com cerca de 100 km de diâmetro.

Se um desses objetos tiver a órbita perturbada por interação com algum planeta gigante, pode ser desviado para as partes internas do sistema solar, dando origem a um cometa de curto período.



Figura 10.10: Gerrit Pieter Kuiper (1905-1973), astrônomo holandês. Descobriu duas luas de planetas de nosso sistema solar (Miranda, em Urano; Nereida, em Netuno). Calculou a existência do cinturão de objetos gelados que leva seu nome.



Figura 10.11: Concepção artística mostrando os tamanhos de alguns objetos do cinturão de Kuiper, em comparação com a Terra. Xena foi rebatizado como Éris, e seu satélite Gabrielle foi rebatizado como Disnomia. 2003 EL61 foi batizado como Haumea e 2005 FY9 como Makemake. Assim como Plutão, são classificados atualmente como planetas anões. Fonte: http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=10783

Planetas anões:

São objetos que têm massa suficiente para ter formato esférico, mas não o suficiente para "prender" gravitacionalmente os demais corpos que orbitam o Sol à mesma distância em que se encontram.

Planetas anões

Desde agosto de 2006 o sistema solar tem uma nova categoria de objetos, que são os planetas anões. Enquadram-se nessa categoria objetos que:

1. estão em órbita em torno do Sol (como os planetas);
2. têm forma determinada pela auto-gravidade, ou seja, são esféricos (como os planetas);
3. não têm tamanho significativamente maior do que os outros objetos em sua vizinhança (ao contrário dos planetas).

Até o momento, os planetas anões do Sistema Solar são **Éris, Plutão, Ceres, Haumea e Makemake**. Todos são menores do que a Lua.



Éris, nome oficial do objeto apelidado de “Xena” ao ser descoberto (ver figura 10.11) tem um satélite, Dysnomia (nome oficial de “Gabrielle”, na figura 10.11). A órbita de Dysnomia indica que a massa de Éris é 27% maior do que a de Plutão.

Plutão tem três satélites: Caronte, Nix e Hydra. Haumea tem dois satélites e Makemake não tem nenhum conhecido até o momento.

Meteoros

Meteoros são fenômenos que acontecem quando meteoroides – asteroides muito pequenos ou pedaços de cometas - são atraídos pela Terra. A imensa maioria desses objetos têm massas de microgramas. Ao penetrar na atmosfera, o calor gerado pelo atrito faz com que se incendeiam e/ou ionizem o ar à sua volta, gerando rastros brilhantes facilmente visíveis a olho nu, chamados de estrelas cadentes. O termo vem do grego *meteoron*, que significa fenômeno no céu.

Uma fonte de meteoros são os cometas que têm órbitas interceptando a órbita da Terra. Cada vez que os cometas passam perto do Sol eles perdem parte de seus componentes, deixando um rastro de partículas que ficam “demarcando” sua órbita. Se a Terra cruza essa órbita, as partículas ali presentes são atraídas por gravidade e entram na atmosfera terrestre a velocidades muito altas, ocorrendo então uma **chuva de meteoros**. No pico de algumas chuvas pode-se observar até 50 meteoros por hora, os quais parecem vir todos da mesma direção do céu, chamada **radiante**; a chuva de meteoros tem o nome da constelação na qual está o radiante. Por exemplo, a chuva Leonídeas (figura 10.12), vista em novembro de cada ano, tem seu radiante na constelação de Leão.



Figura 10.12: Fotografia de um meteorito durante uma chuva de meteoros Leonídeas. Crédito: [Navicore/wikimedia Commons](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leonids_meteor_shower_2011.jpg).



Meteoroide , meteoro e meteorito:

Meteoroide: pequeno asteroide, geralmente pedaço arrancado de asteroide ou de cometa ou da Lua ou de outro planeta.

Meteoro: fenômeno luminoso resultante do atrito de um meteoroide ao entrar na atmosfera da Terra. É popularmente chamado estrela cadente.

Meteorito: resíduo petrificado do meteoroide que atravessou a atmosfera da Terra sem ser completamente vaporizados, caindo ao solo.



Figura 10.13: Fotos de meteoritos tirada na Antártica. Na Antártica encontra-se a maioria dos meteoritos estudados, pois lá estão melhor preservados.

Meteoritos são meteoroides que atravessam a atmosfera da Terra sem serem completamente vaporizados, caindo ao solo. Do estudo dos meteoritos pode-se aprender muito sobre o tipo de material a partir do qual se formaram os planetas interiores, uma vez que são fragmentos primitivos do Sistema Solar.

Existem três tipos de meteoritos: os **metálicos**, os **rochosos**, e os **metálico-rochosos**. Os rochosos são os mais abundantes, compreendendo 90 % de todos meteoritos conhecidos. Os metálicos são compostos principalmente de ferro e níquel. Na Terra caem aproximadamente 25 milhões por dia, a grande maioria com alguns microgramas.

Impactos na Terra



Figura 10.14: A foto acima é da Meteor Crater, ou Cratera Barringer, no Arizona. A cratera tem 1,2 km de diâmetro e idade de 50 mil anos.

Existe uma relação inversa entre o tamanho do objeto e a frequência com que objetos desse tamanho caem na Terra. Embora partículas com massas de microgramas caiam em grande quantidade diariamente, a queda de objetos com diâmetros da ordem de 10 m acontece a cada 10 ou 100 anos, e objetos com 1 km de diâmetro caem a intervalos de milhões de anos. Já objetos com 10 km de diâmetro caem, em média, um a cada 100 milhões de anos.

No século XX dois objetos grandes colidiram com a Terra, embora nenhum tenha deixado cratera. O caso mais famoso aconteceu em 30 de junho de 1908, quando um grande bólido explodiu na atmosfera perto do Rio Tunguska, na Sibéria, derrubando árvores num raio de 30 km e matando



muitos animais. Somente pequenos pedaços do objeto foram encontrados, indicando que o objeto, que seria um pequeno asteroide ou pedaço de cometa, deveria ter 30 a 60 metros de diâmetro, massa de 100 mil toneladas e energia equivalente à de uma bomba de hidrogênio, de 5 a 15 Mton TNT. A figura 10.15 mostra uma foto do local, tirada vinte anos depois da explosão.



Figura 10.15: Foto a 20 km do centro da explosão na região do Rio Tunguska, no centro-norte da Sibéria, tirada em 1927).

A extinção dos dinossauros, 65 milhões de anos atrás, é consistente com um impacto de um asteroide ou cometa de mais de 10 km de diâmetro, que teria caído na península de Yucatan, no México, perto da localidade de Chicxulub, abrindo uma cratera de 200 km de diâmetro.

O impacto liberou uma energia equivalente a 5 bilhões de bombas atômicas como a usada sobre Hiroshima em 1945.

Segundo o físico americano Luis Walter Alvarez e seu filho Walter L. Alvarez, geólogo americano, a extinção ocorreu porque o impacto gerou uma grande nuvem de pó que se espalhou por todo o planeta, cobrindo a luz do Sol. Com a queda da fotossíntese, as plantas morreram e os dinossauros e outros animais morreram por falta de alimentos.

Outros grandes impactos sobre a Terra podem ter causado o rompimento do grande supercontinente, Pangea, 250 milhões de anos atrás, e a extinção dos mamutes, há 13 mil anos, no fim do último período glacial.

Satélites

Em geral, o número de satélites de um planeta está associado à sua massa. O maior satélite do sistema solar é **Ganimedes**, (Fig.10.17) um dos quatro satélites galileanos de Júpiter, com raio de 2 631 km. O segundo é Titã, de Saturno, com 2 575 km de raio (5 150 km de diâmetro). Ambos são maiores do que o planeta Mercúrio, que tem 2 439 km de raio (4 878 km de diâmetro). Note que a Lua, com 3 475 km de diâmetro, é maior do que Plutão, que tem 2 350 km de diâmetro.

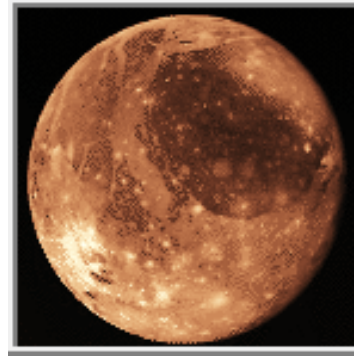


Figura 10.17: Ganímedes, o maior satélite de Júpiter e de todo o Sistema Solar.

Os três maiores satélites do Sistema Solar têm a mesma densidade e aproximadamente o mesmo tamanho e, portanto, devem ter a mesma composição química; provavelmente têm um interior estratificado, com um núcleo rochoso do tamanho da Lua cercado por uma camada espessa de gelo ou possivelmente água. **Titã apresenta a notável característica de possuir uma atmosfera densa, rica em compostos de carbono e metano.** Titã, como Vênus, é cercado por uma camada opaca de nuvens.

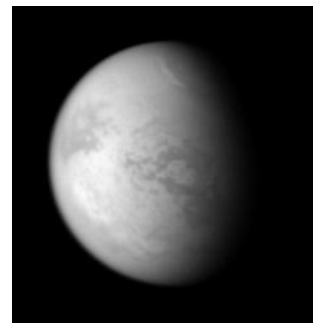


Figura 10.18: Titan, o maior satélite de Saturno e o segundo maior satélite do sistema solar, é o único satélite a ter uma atmosfera densa.

A maioria dos satélites revolve em torno do respectivo planeta no sentido de oeste para leste e a maioria tem órbita aproximadamente no plano equatorial de seu planeta.

Satélites:

Orbitam os planetas e o número de satélites de um planeta está relacionado à massa de cada planeta.

Tabela 10.01: Alguns satélites com suas características: diâmetro, massa e densidade

| Nome | Diâmetro (km) | Massa (Lua = 1) | Dens (g/ |
|------------------|---------------|-----------------|----------|
| <u>Ganímedes</u> | 5 280 | 2,0 | |
| <u>Titan</u> | 5 150 | 1,9 | |
| <u>Calisto</u> | 4 820 | 1,5 | |
| <u>Io</u> | 3 640 | 1,2 | |
| <u>Lua</u> | 3 475 | 1,0 | |
| <u>Europa</u> | 3 130 | 0,7 | |
| <u>Tritão</u> | 2 710 | 0,3 | |



Anéis

Os quatro planetas jovianos apresentam um sistema de anéis, constituídos por bilhões de pequenas partículas orbitando muito próximo de seu planeta. Nos quatro planetas, os anéis estão dentro do limite de Roche e devem ter se formado pela quebra de um satélite ou a partir de material que nunca se aglomerou para formar um satélite. Já em 1857, James Maxwell demonstrou que os anéis só poderiam permanecer em órbitas estáveis se fossem constituídos de pequenas partículas.

Saturno é, de longe, o que possui anéis mais espetaculares (ver figura 10.19). Eles são constituídos principalmente por pequenas partículas de gelo, que refletem muito bem a luz. Já os anéis de Urano (figura 10.20), Netuno e Júpiter (nesta ordem de massa constituinte), são feitos de partículas escuras, sendo invisíveis da Terra.

Limite de Roche:

Máxima distância a que um satélite (ou planeta) pode chegar de seu planeta (ou estrela) sem se quebrar por efeito de maré. Voltar à aula 8 para revisar o assunto.

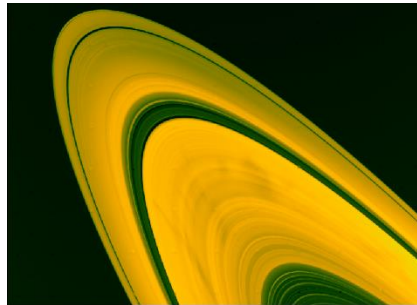


Figura 10.19: Os brilhantes anéis de Saturno,feitos de partículas de gelo.

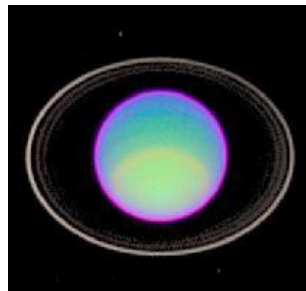


Figura 10.20: Anéis de poeira em torno de Urano.



Resumo

O sistema solar contém, além dos planetas e dos planetas anões, um grande número de corpos menores, entre os quais estão incluídos os satélites e anéis dos planetas, os asteroides, os meteoroides e os cometas.

Com exceção dos satélites e dos anéis, que orbitam os planetas, todos os demais corpos orbitam o Sol.

Os **asteroides** são corpos pequenos, de forma irregular e composição rochosa ou metálica. A maioria deles têm órbitas quase circulares e coplanares com a eclíptica, localizadas no Cinturão de Asteroides, entre as órbitas de Marte e Júpiter.

Alguns asteroides têm órbitas não confinadas ao Cinturão, e alguns desses têm órbitas elípticas que cruzam a órbita da Terra.

Os **cometas** são objetos compostos de materiais voláteis congelados, têm órbitas altamente elípticas e não confinadas ao plano da eclíptica. Eles também apresentam poeira (silicatos) em sua composição, por isso são considerados "bolas de gelo sujo". À medida que eles se aproximam do Sol, parte do gelo derrete, formando a coma, com diâmetro da ordem de 100 mil km. A parte sólida e gelada no interior é o núcleo e normalmente tem 1 a 10 km de diâmetro. O calor e o vento solar proveniente do Sol sopram o gás e a poeira da coma formando a cauda, que sempre aponta na direção oposta à do Sol e pode estender-se até 1 UA de comprimento. Acredita-se que os cometas são corpos primitivos, sobras da formação do sistema solar.

A maioria dos cometas reside na "Nuvem de Oort", uma vasta nuvem esférica circundando o Sistema Solar, com borda a aproximadamente 50 000 UA do Sol, mas outros residem no "Cinturão de Kuiper", uma região em forma de rosca, centrada no Sol, com bordas entre 30 e 55 UA. Os objetos do Cinturão de Kuiper têm composição mista entre rocha e gelo, e também são resíduos da formação do sistema solar.

Os **planetas anões** são objetos que têm massa suficiente para terem adquirido forma esférica, mas não grande o suficiente para "limpar" as vizinhanças de sua órbita, ou seja, não são significativamente massivos para atrair gravitacionalmente todos os demais corpos que estão à mesma distância. Até o momento, os planetas anões do sistema solar são Éris, Plutão, Ceres, Haumea e Makemake. Ceres é o maior objeto do cinturão de asteroides principal; os outros quatro planetas anões são objetos do cinturão de Kuiper.

Meteoroides são asteroides muito pequenos ou pedaços de asteroides ou de cometas; eles se tornam visíveis quando são atraídos pela gravidade da Terra e esquentam ao entrarem na atmosfera, deixando um rastro brilhante – o **meteoro**. Se o meteoro não é completamente vaporizado na atmosfera, o pedaço sobrevivente que atinge o solo é chamado **meteorito**.



A cada dia a Terra é atingida por corpos interplanetários, a maioria deles microscópicos, sem qualquer risco para a Terra. No entanto, a intervalos de tempo grandes, da ordem de milhões de anos, acontecem impactos de objetos maiores, que podem levar a extinções em massa, como a grande extinção ocorrida há 65 milhões de anos, quando os dinossauros desapareceram da Terra.

Os **satélites** são corpos que orbitam os planetas e alguns são maiores do que o planeta Mercúrio. O número de satélites está relacionado à massa de cada planeta.

Os quatro planetas jovianos apresentam um sistema de **anéis**, constituídos por bilhões de pequenas partículas orbitando muito próximo de seu planeta. Nos quatro planetas, os anéis estão dentro do limite de Roche e devem ter se formado pela quebra de um satélite ou a partir de material que nunca se aglomerou para formar um satélite.

Questões de fixação

1. Que objetos são englobados na categoria de "corpos menores" do sistema solar?

2. Onde se localiza e o que é:

- a) o Cinturão de asteroides?
- b) o Cinturão de Kuiper?
- c) a Nuvem de Oort?

3. Por que os cometas são considerados "bolas de gelo sujo"? Como é a estrutura geral de um cometa? De que é feita e para onde aponta a cauda de um cometa?

4. Quais são as diferenças entre meteoróide, meteoro e meteorito? Qual a importância de estudar os meteoritos?

5. Segundo a definição de planeta anão, qual é o critério que diferencia esses objetos de planetas?

6. Existe relação entre o número de satélites de um planeta e a massa do planeta? Se existe, qual é?

7. Um satélite pode ser maior do que um planeta? Exemplifique.

8. Qual a constituição dos anéis dos satélites? Qual a possível origem dos anéis e qual sua relação com o conceito de limite de Roche?

9. Qual a frequência com que acontecem impactos de objetos de diferentes tamanhos na Terra? Como o impacto de um asteroide ou cometa pode levar a extinções em massa?

10. Cientistas calculam que o objeto que explodiu em Tunguska, em 1908, liberou uma energia em torno de 12 Mton TNT = 5×10^{16} J. Supondo que a densidade do objeto era 3000 kg/m^3 , e que seu raio era de 15 m, qual a massa do objeto? (considere que ele tem forma esférica). Qual a velocidade com que ele entrou na atmosfera?

