

Asteroides, Meteoros, Meteoritos e Cometas

Aula 8

S.Lorenz-Martins
Observatório do Valongo/UFRJ

Sistema Solar e os Pequenos Corpos

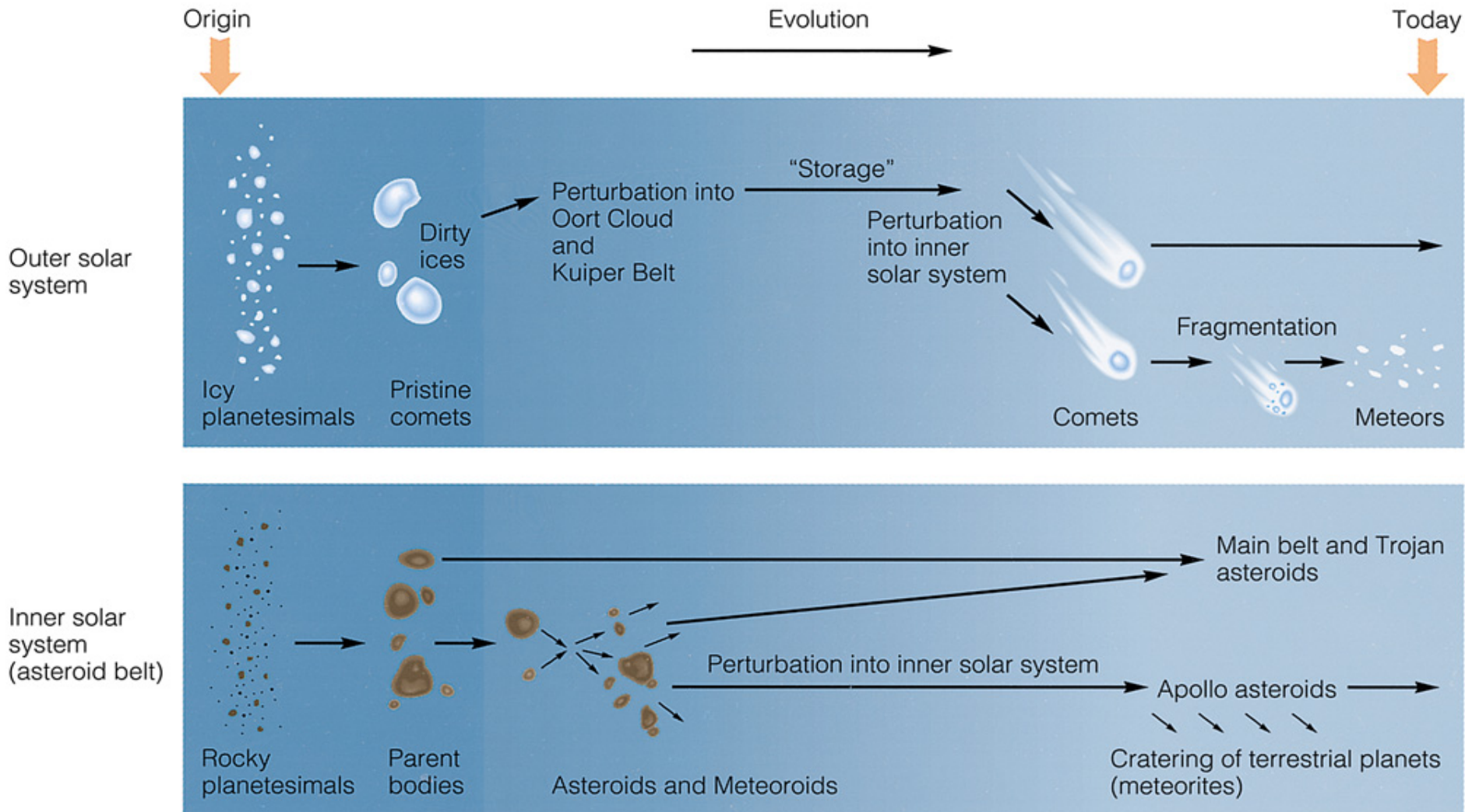
- Planetas + satélites
- IDP – *Interplanetary Dust Particles*
- Cinturão dos Asteróides
- Cinturão de Kuiper – cometas
- Nuvem de Oort – cometas

Origem do Sistema Solar

- Entender a origem do SS
 - Época da formação e os estágios evolutivos finais da Nebulosa Solar
- Evidência física não foi preservada na Terra ou em outros planetas devido a processos de destruição: aquecimento, derretimento, diferenciação, erosão, metamorfismo
- **Meteoritos: condições e processos físicos e químicos durante estágios iniciais da formação do SS.**

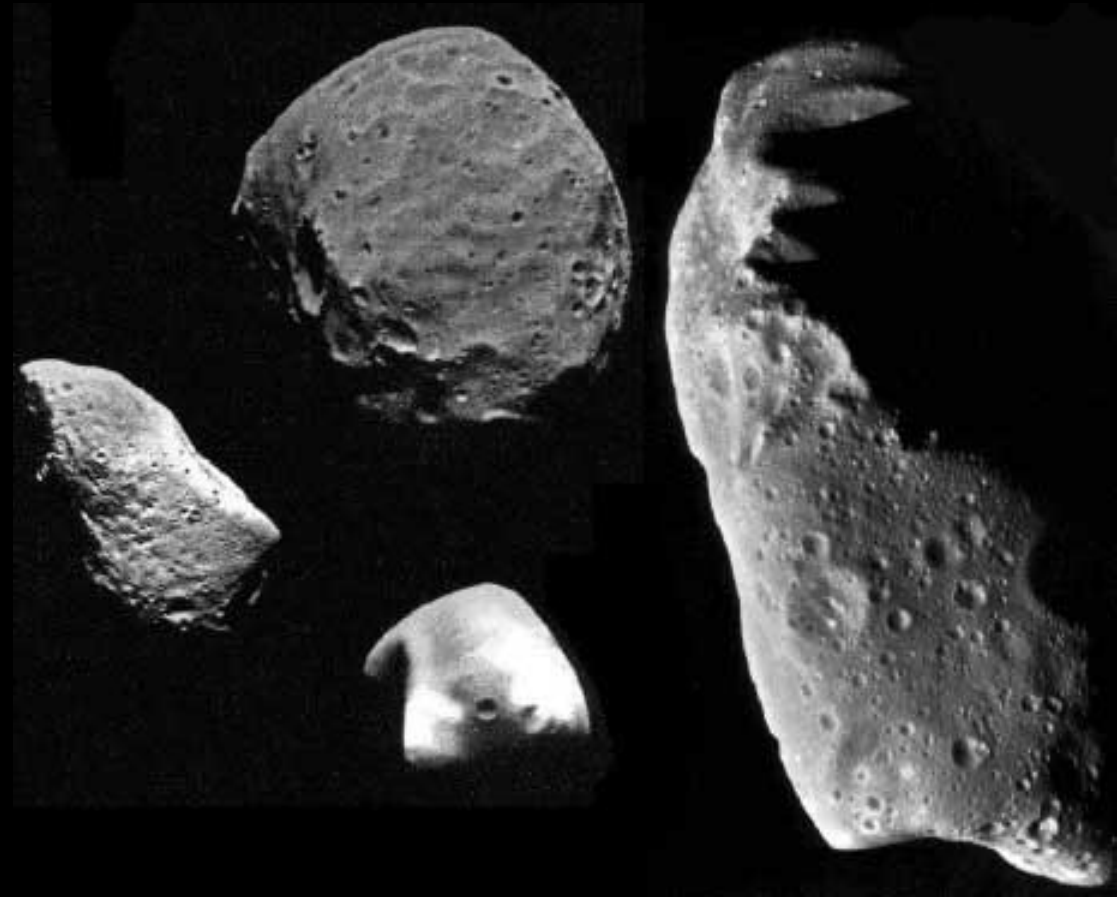
- Colapso de uma nuvem interestelar de gás e poeira formando a Nebulosa Solar
- Conservação do momento angular $\Rightarrow$ disco com um bojo central
- Sol forma-se da condensação central
- Poeira primordial ou condensada e gelos são empurrados para o disco $\Rightarrow$ planetesimais
- Planetesimais pobres em voláteis e ricos em rochas $\Rightarrow$ planetas terrestres
- Planetesimais ricos em gelo e voláteis $\Rightarrow$ planetas gasosos

Formação de cometas e asteroides



- Asteroides e cometas são classes de pequenos corpos que seguem órbitas independentes em torno do Sol.
- Historicamente $\Rightarrow$
 - Asteroide: fonte pontual (asteroide = tipo-estrela)
 - Cometas: desenvolvem comas
- Asteroides: rochas e metais não-voláteis
- Cometas: gelos voláteis, que sublimam formando a coma e caudas cometárias, grãos refratários

Asteroides



- 1801 – Giuseppe Piazzi 1º asteroide: **Ceres** (planeta anão -2006)
- Atualmente: > 10000 asteroides foram até agora descobertos e identificados.

O que são Asteroides?

- Também chamados de **PLANETÓIDES** e **PLANETAS MENORES**, os asteroides são objetos rochosos
- Imagina-se que os asteroides sejam planetesimais deixados como resíduos da formação dos planetas
- Alguns asteroides podem ser núcleos de cometas extintos com gelo no interior
- Asteroides sofreram diferenciação
- Matéria primordial da formação do Sistema Solar

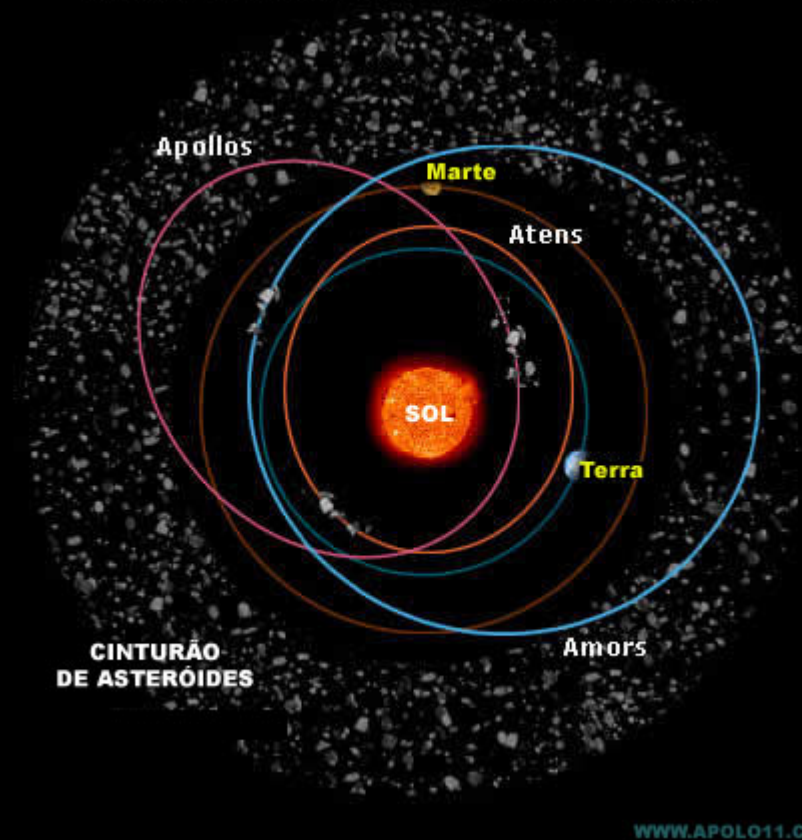
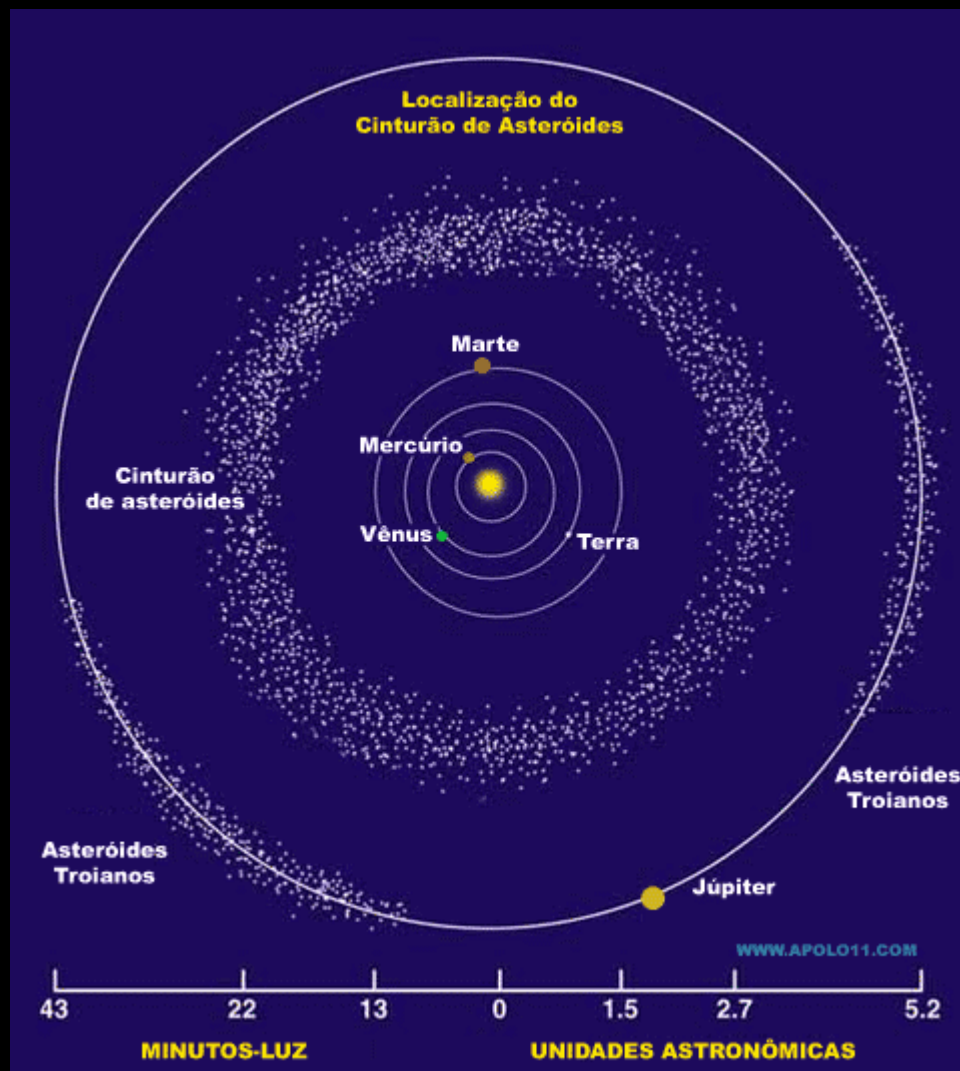
Cinturão dos Asteroides

- Maior concentração de asteroides: 1.52 a 5.2 u.a.
 - **Cinturão de Asteroides** $\Rightarrow$ entre as órbitas de Marte e Júpiter –
- Resultado da formação planetária
- Total em massa: $10^{21} - 10^{22}$ kg (Massa Terra $\approx 6 \times 10^{24}$ kg)

Classificação - localização

- **Cinturão Principal de Asteroides**: 2 – 4 u.a.
(entre Marte e Júpiter)
 - Hungarias, Flora, Phocaea, Koronis, Eos, Themis, Cybeles, **Hildas (4.0 u.a.)**
- **Near-Earth Asteroids** (NEAs): 0.9 – 1 u.a.
- **Apollos**: semi-eixos maiores que 1 u.a.
- **Trojans**: próximos de Júpiter

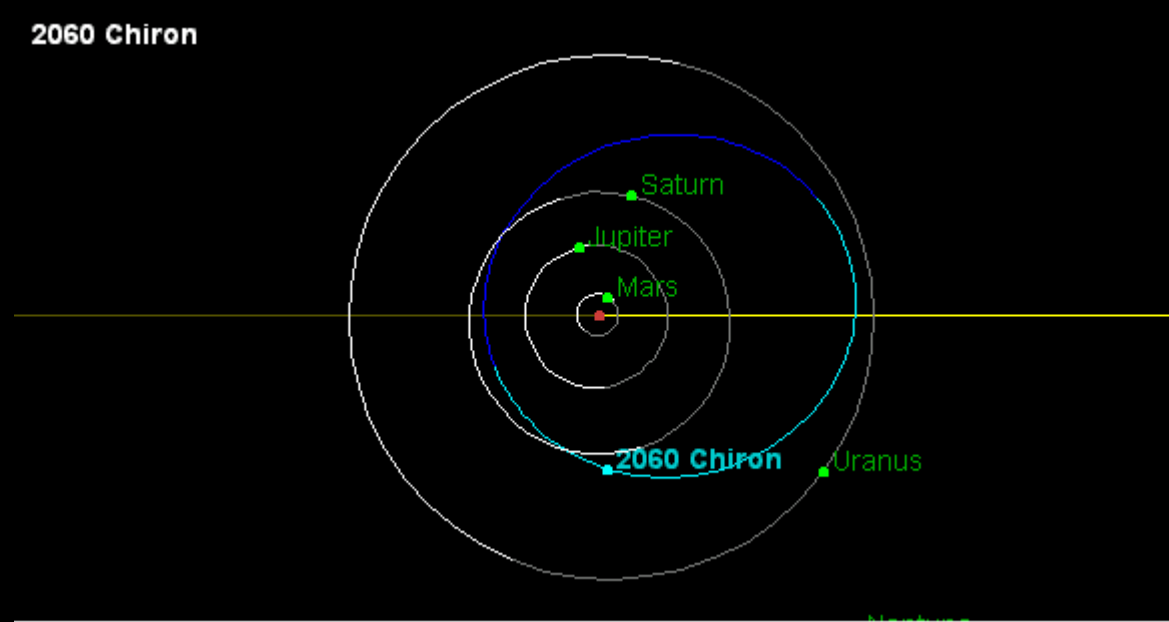
ÓRBITAS DOS ASTERÓIDES QUE CRUZAM A TERRA



Outras Classes de Asteroides

- **Centauros** : sistema Solar Externo, entre Saturno e Urano
 - Órbitas instáveis
 - Exemplo: 2060 Chiron – maior objeto
- Composição química mais próxima de cometas (objetos que escaparam do Cinturão de Kuiper)
- 2060 Chiron → órbita muito elíptica e instável → tem coma detectável → **cometa** 95P/Chiron
- Chiron: 170 Km diâmetro

2060 Chiron, also known as 95P/Chiron



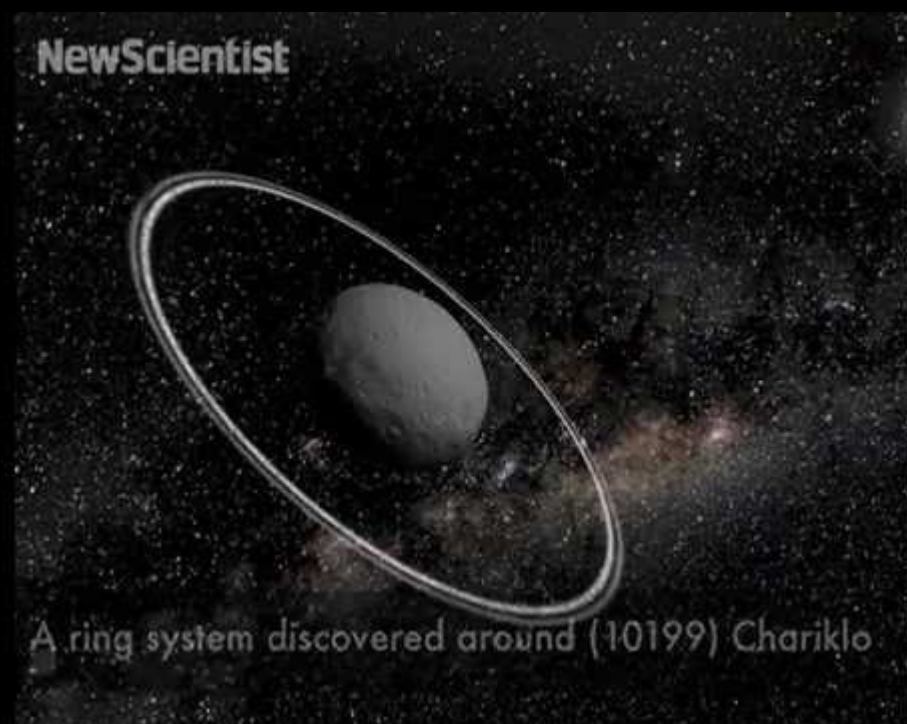
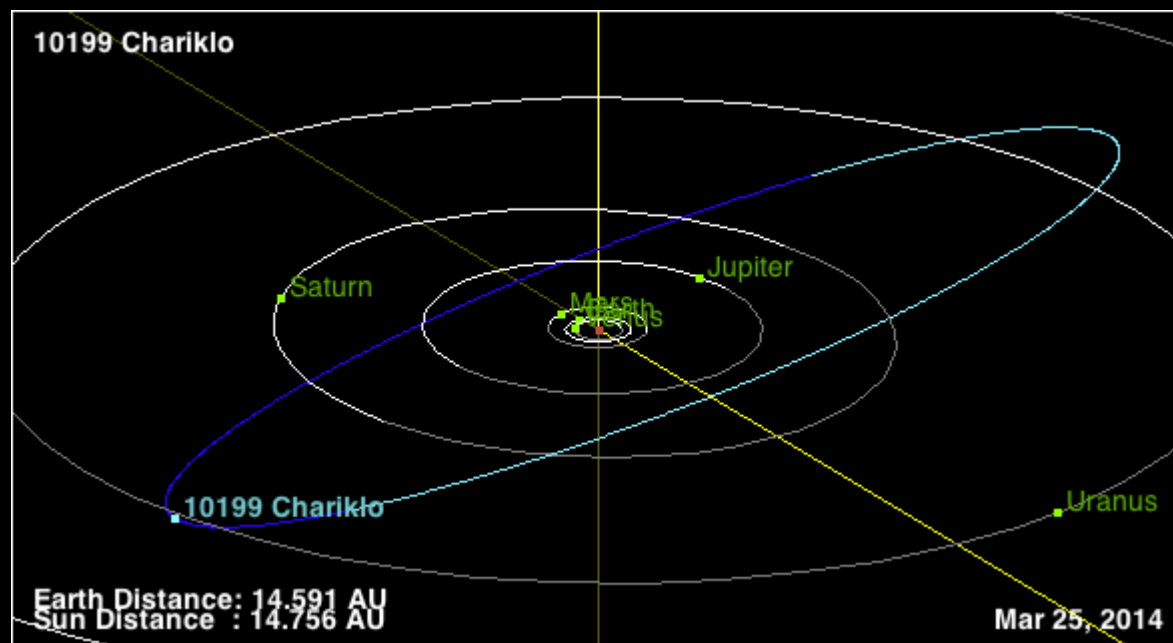
<http://www.argonavis.com.br/astronomia/orbitas/>

Chariklo

Maior asteroide centauro conhecido do Sistema Solar.

250 km de diâmetro, é o único centauro conhecido que contém um sistema de anéis a seu redor

Dois anéis, batizados provisoriamente como "Oiapoque" e "Chuí", de sete e três quilômetros de largura, separados entre si por nove quilômetros



- **Objetos Trans-Netunianos (TNO):**
 - Objetos menores, feitos de rocha e gelo
 - Além de Netuno (Cinturão de Edgewood-Kuiper)
- **Plutinos:** pequeno Plutão
 - Membros do Cinturão de Edgewood-Kuiper, órbitas peculiares
 - Cruzam a órbita de Netuno
 - Tamanhos: 500 Km
 - ex. 1996TL66: órbita: distância de 35 u.a. do Sol até 130 u.a.

CINTURÃO DE KUIPER

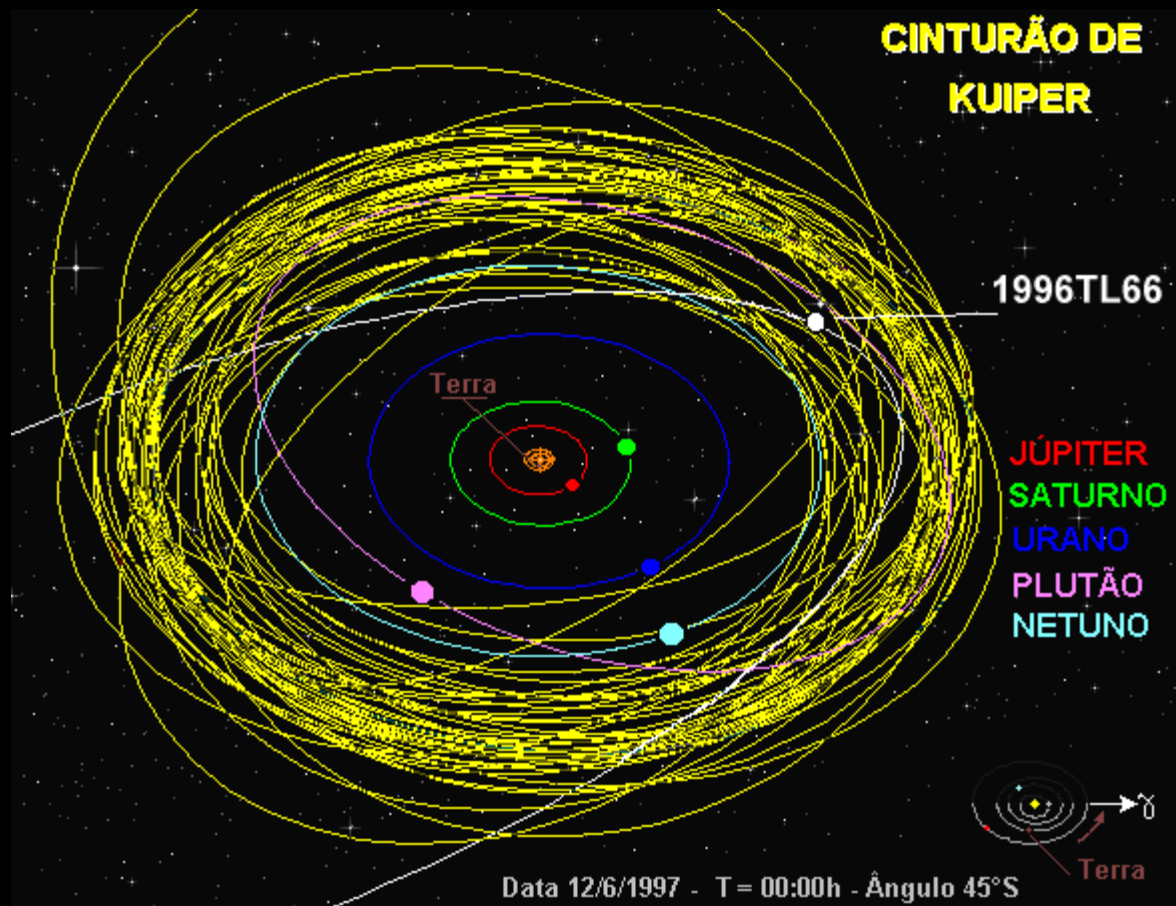
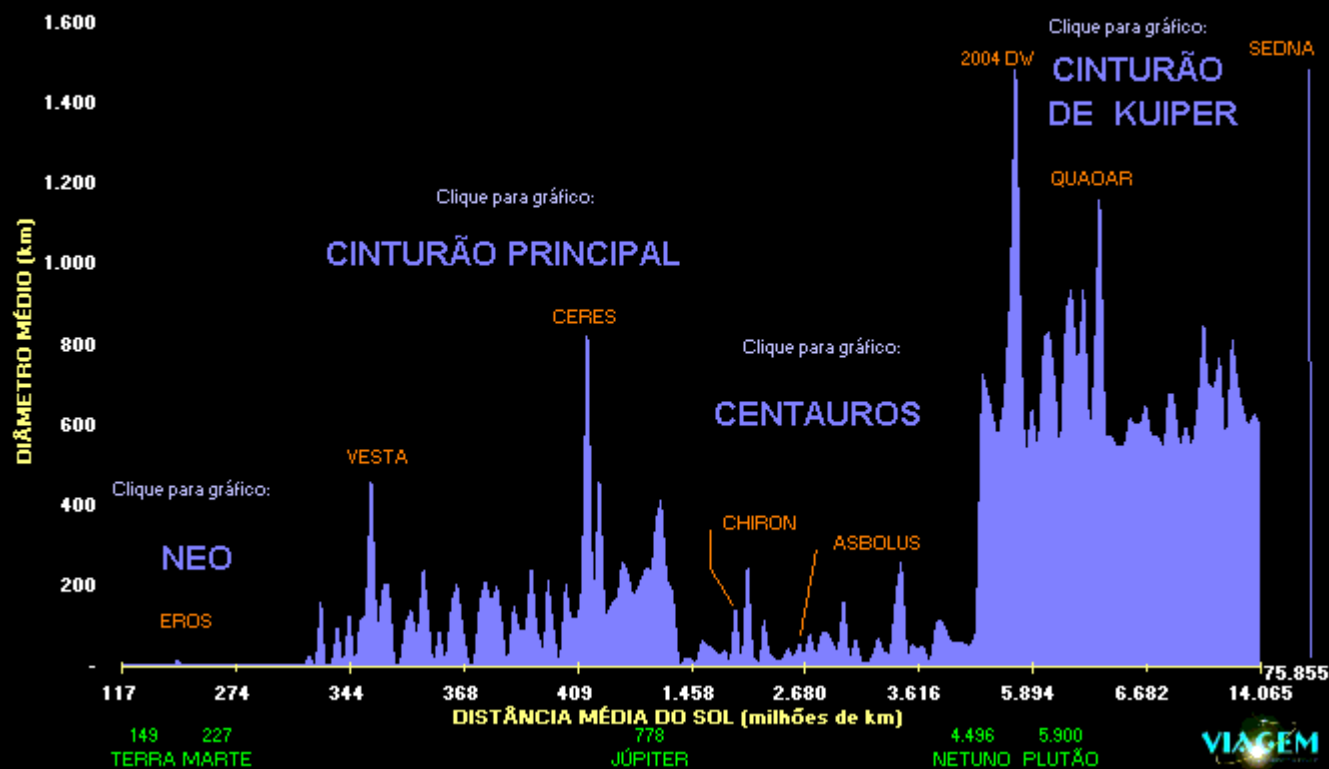
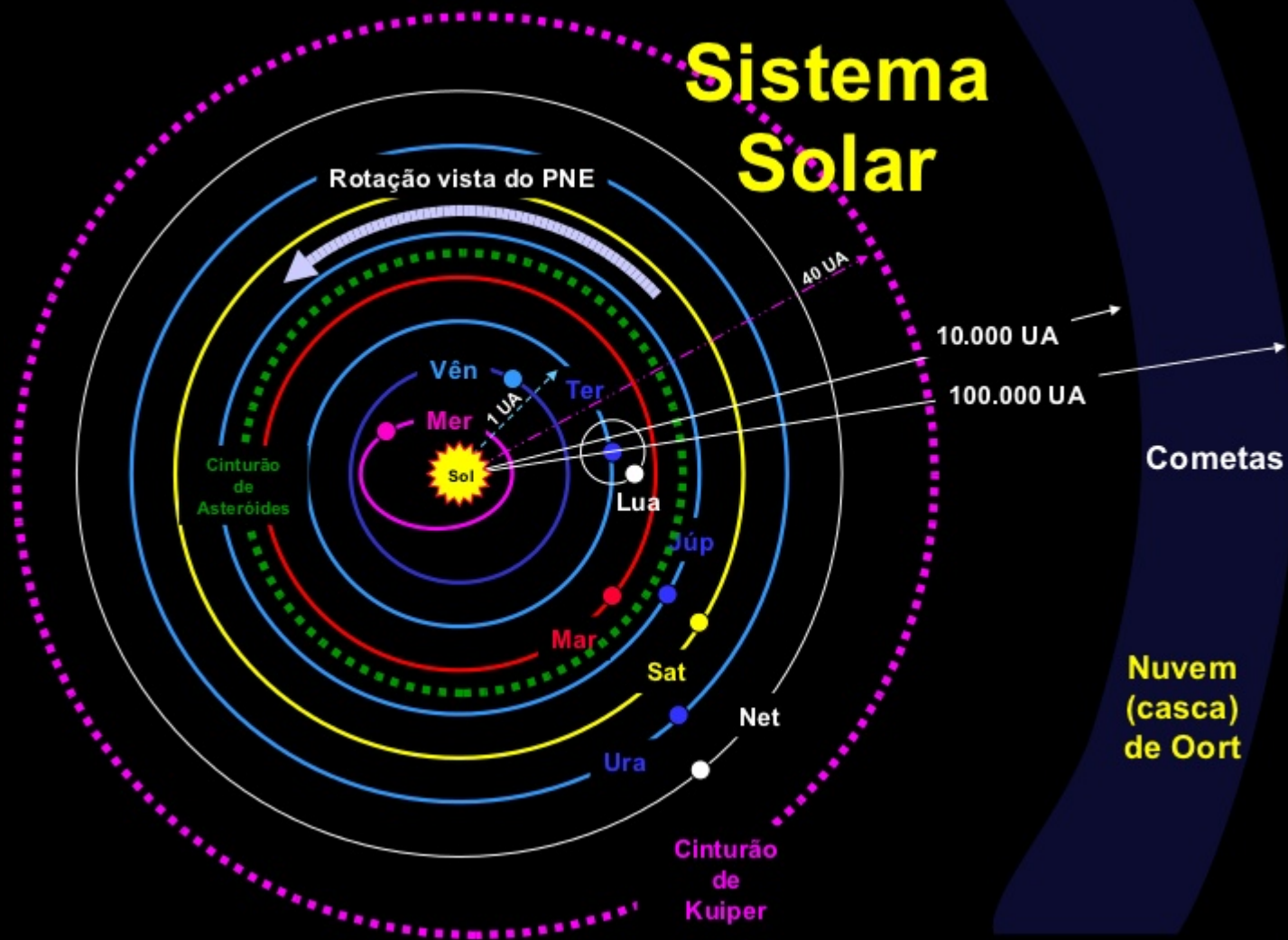


GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DE 200 ASTERÓIDES



Sistema Solar



Falhas de Kirkwood (1866)

Regiões vazias

- Perturbações orbitais:
- Força gravitacional de Júpiter não deixa os asteroides terem órbitas estáveis – ressonância 3:1
- Ast:3 voltas
- Júpiter 1

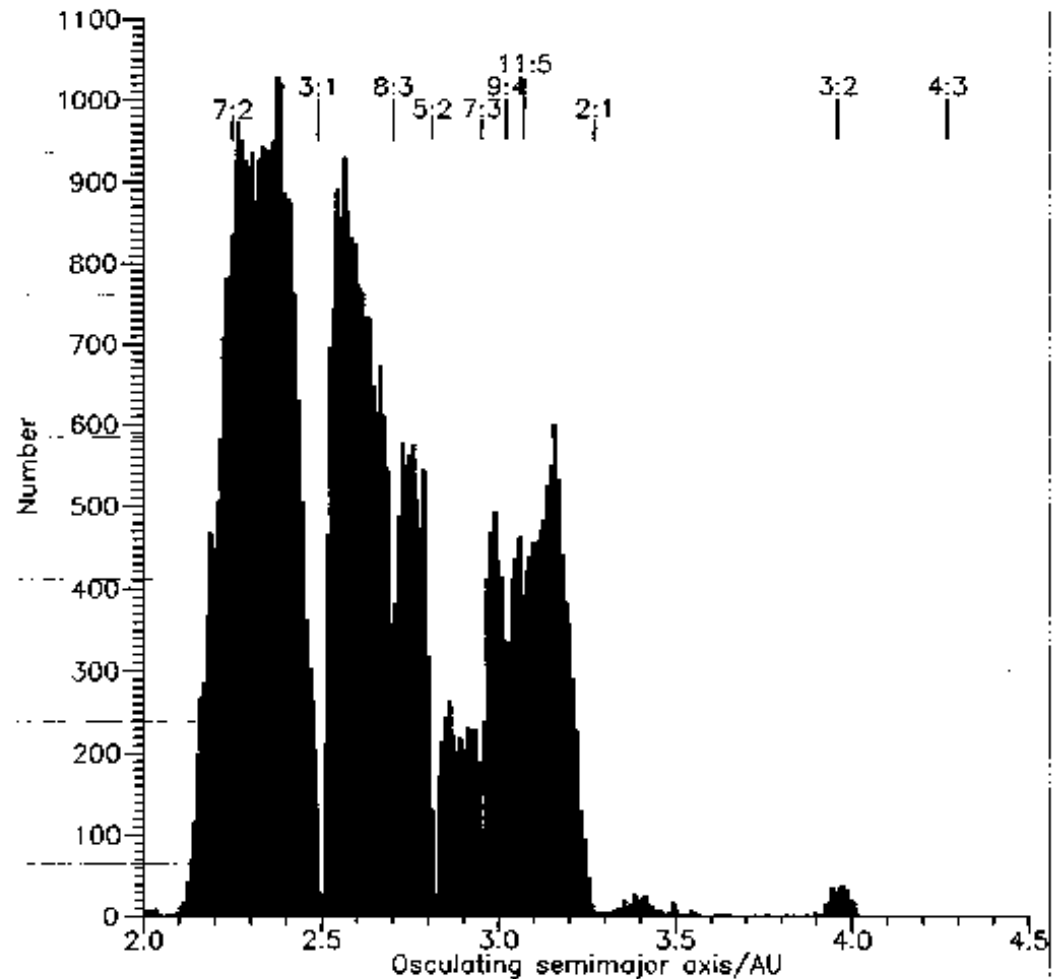


Figure 3 Distribution of 58,000 asteroids with reliable orbits from the most current files of the Minor Planet Center. Principal mean-motion resonances are indicated. The gap/boundary near $a = 2.08$ AU results from the strong perturbations on e 's and i 's due to the ν_6 and ν_{16} secular resonances.

Ressonâncias

- Importância: rotas de escape para deixar o Cinturão de asteróides → **meteoros**
- 3:1 – transfere objetos com semi-eixo > 2.5 u.a. ou < 2.5 u.a. para a órbita da Terra
- Meteoróides

Famílias

- Grupos dinamicamente associados que são fragmentos individuais resultantes de colisões com o corpo-pai – comp. Química, evolução

Classificação Asteroides - química

C-type (75 % dos asteroides conhecidos)

Extremamente escuros, similares aos meteoritos condritos carbonaceos

Aproximadamente a mesma composição que o Sol, exceto H, He e voláteis

S-type (17%)

relativamente brilhantes, mistura Ni-Fe com Fe e silicatos de Mg

M-type (restante)

Brilhantes

Ni-Fe puro

Espectros NIR

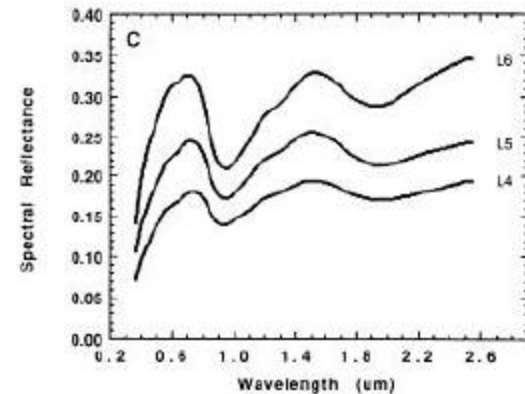
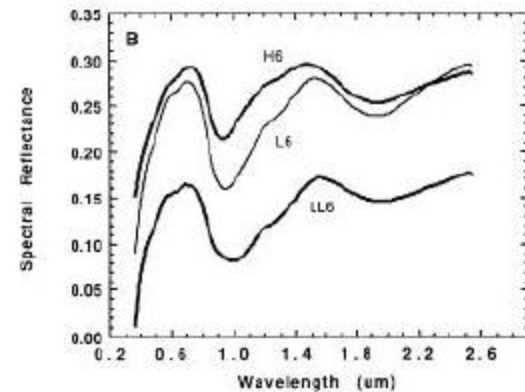
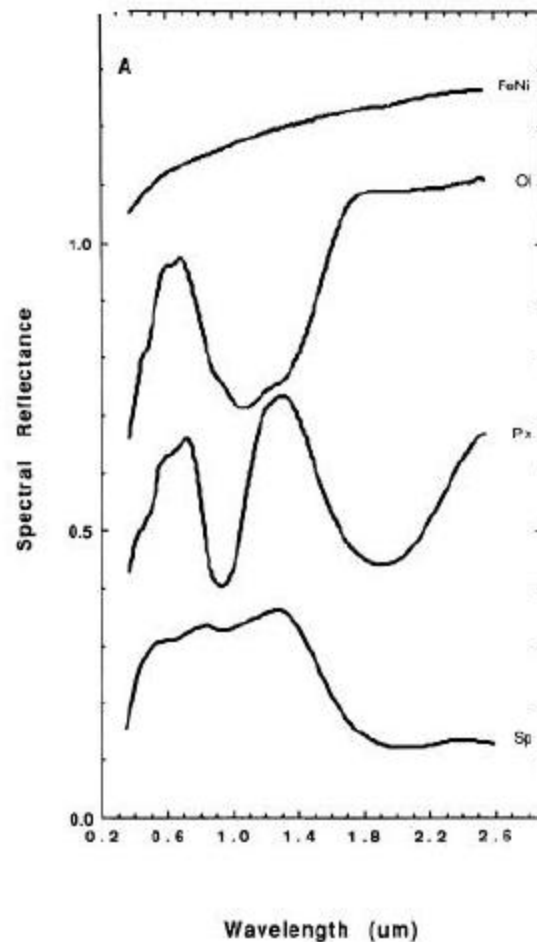
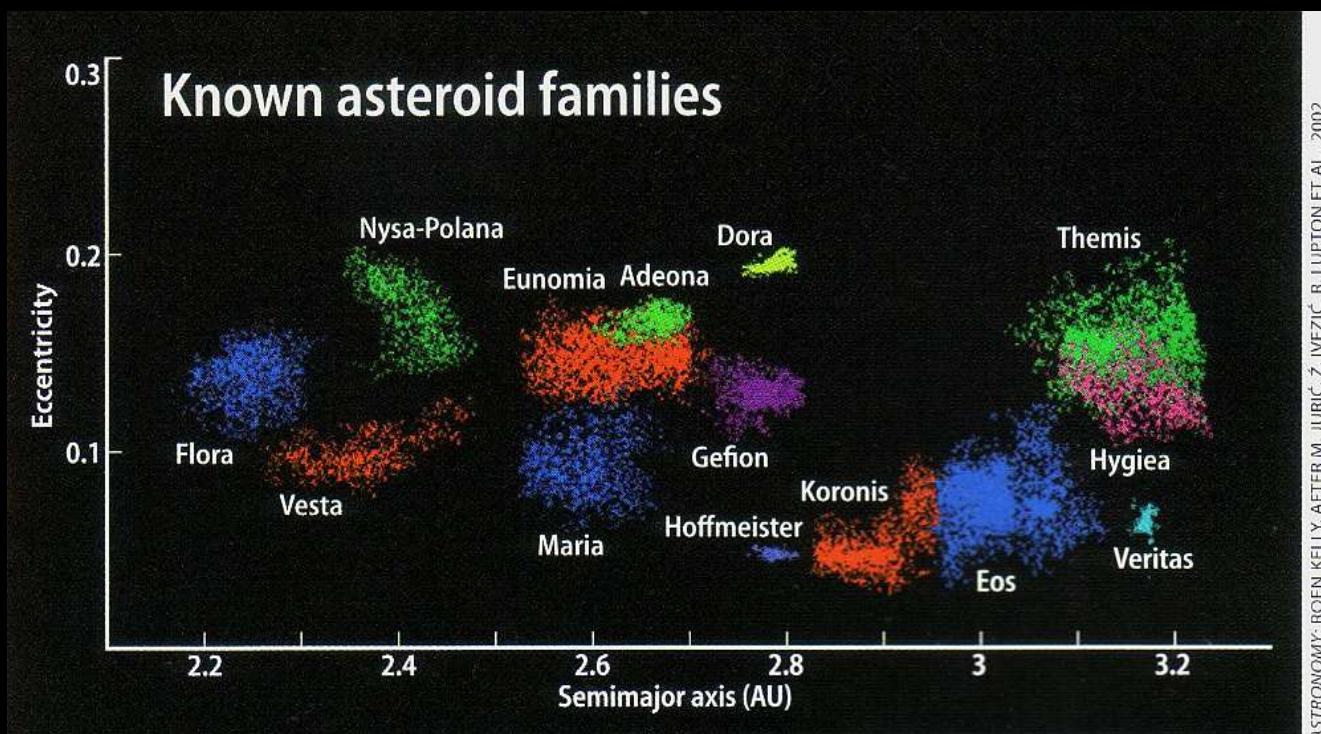


FIG. 3. Reflectance spectral of several cosmically or meteoritically important minerals and mineral assemblages. a) Spectral reflectances of olivine (Ol), pyroxene (Px), iron-nickel metal (FeNi) and spinel (Sp). b) Average spectral reflectance curves of H6, L6 and LL6 chondrites. The LL6 curve has been displaced downward by 0.10 for clarity. Note the systematic broadening and shift towards longer wavelength of the 1 μm absorption feature from H to LL assemblages. c) Average spectral reflectance curves of different metamorphic grades of L-chondrites. The L4 curve has been displaced downward by 0.05 for clarity. Note the intensification of the absorption features from type 4 to type 6.

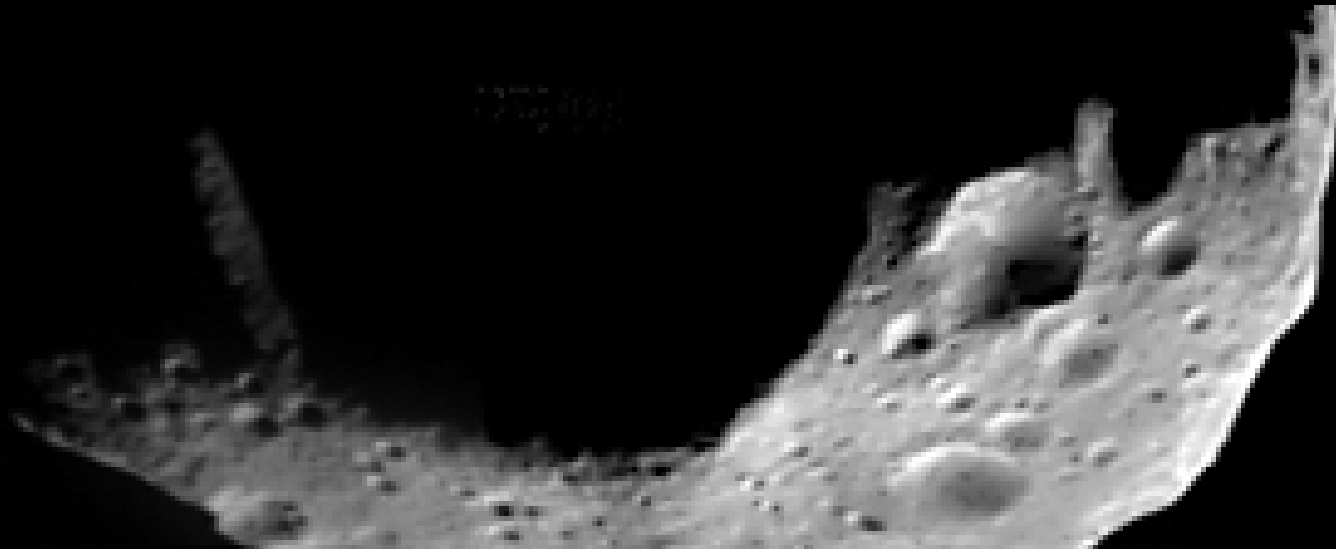
Famílias de Hirayama

- Hirayama descobriu que os muitos asteroides se aglomeram no espaço de parâmetros orbitais; i.e., seguem órbitas similares. Esse resultado indica que as famílias sejam compostas por fragmentos de colisões asteroidais.
- Número total de famílias: 100
- Espectros e cores de membros das maiores famílias reforçam a hipótese de uma origem comum



Mathilde – **NEAR** (Near-Earth Asteroid Rendezvous) - 1997

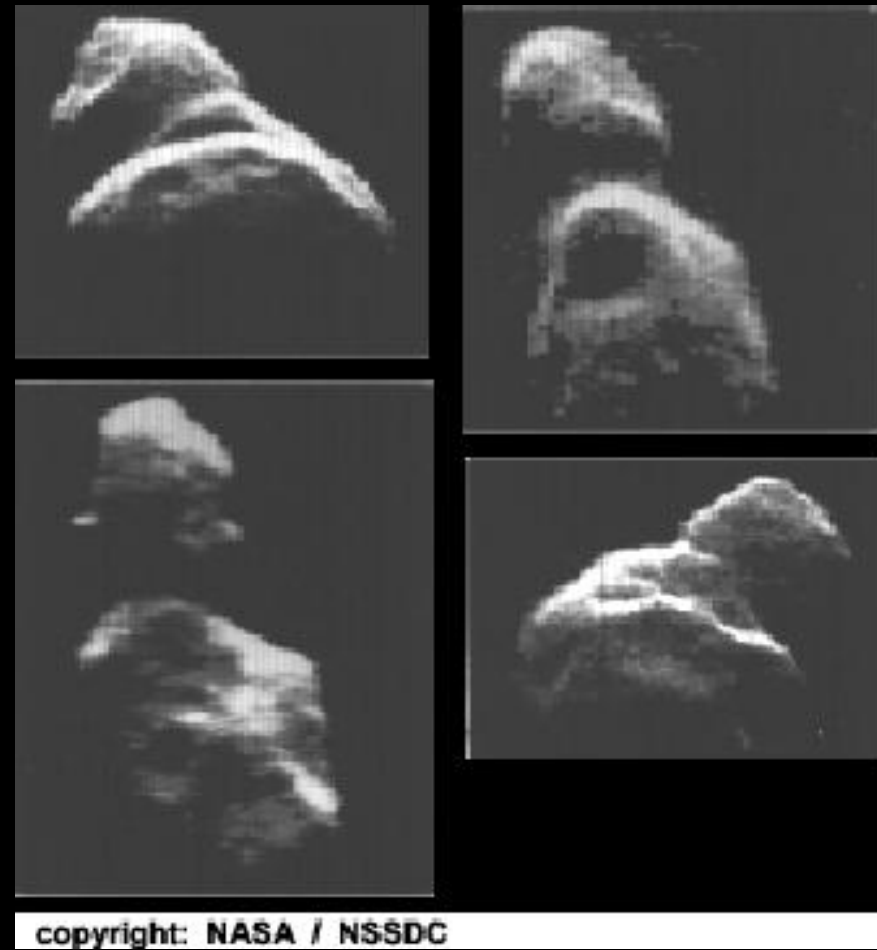
- Mathilde : Cinturão dos Asteroides
 - 50 x 53 x 57 Km, craterizado
 - Escuro, 2 vezes mais escuro que um carvão C-type, rico em Carbono
 - Período de rotação: 415 horas



copyright: NASA / NSSDC

Toutatis

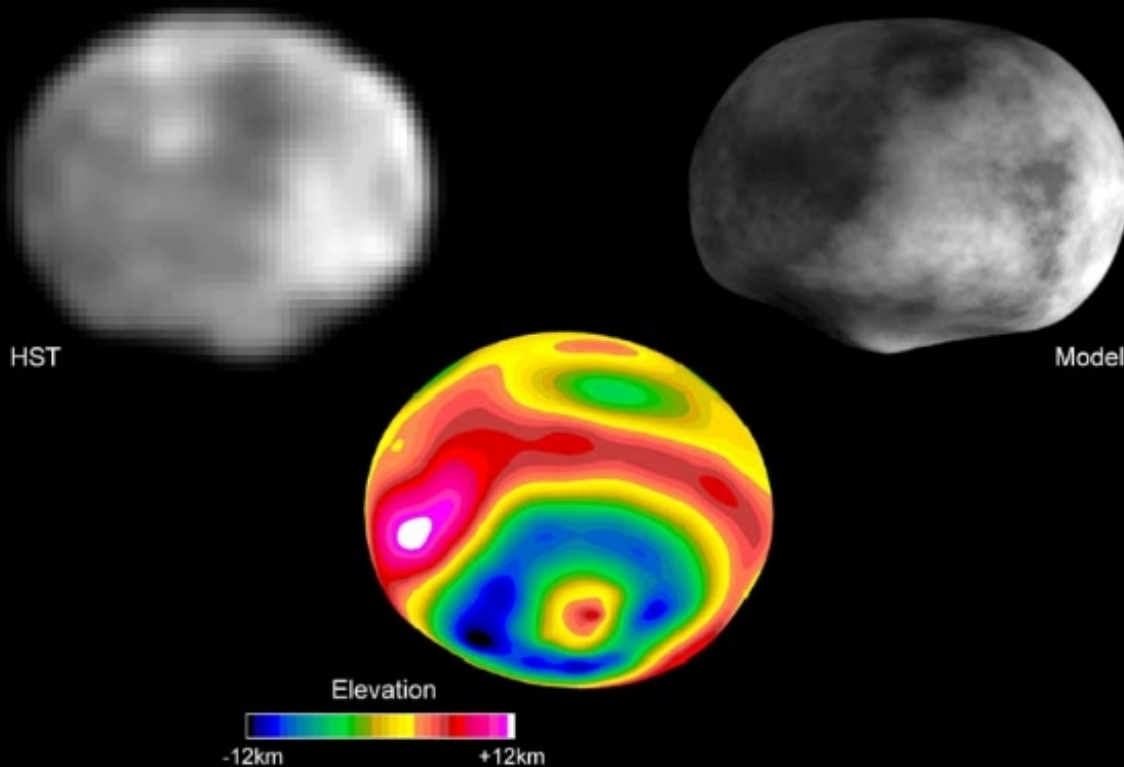
- Descoberto em 1989
- Irregular
- 4,6 x 2.4 x 1.9 Km
- 2 objetos em contato
- Crateras de ~ 1Km
- Rotação não-usual
 - Impactos violentos
- Órbita caótica



● Radar: Goldstone Deep Space Communications Complex

4 Vesta

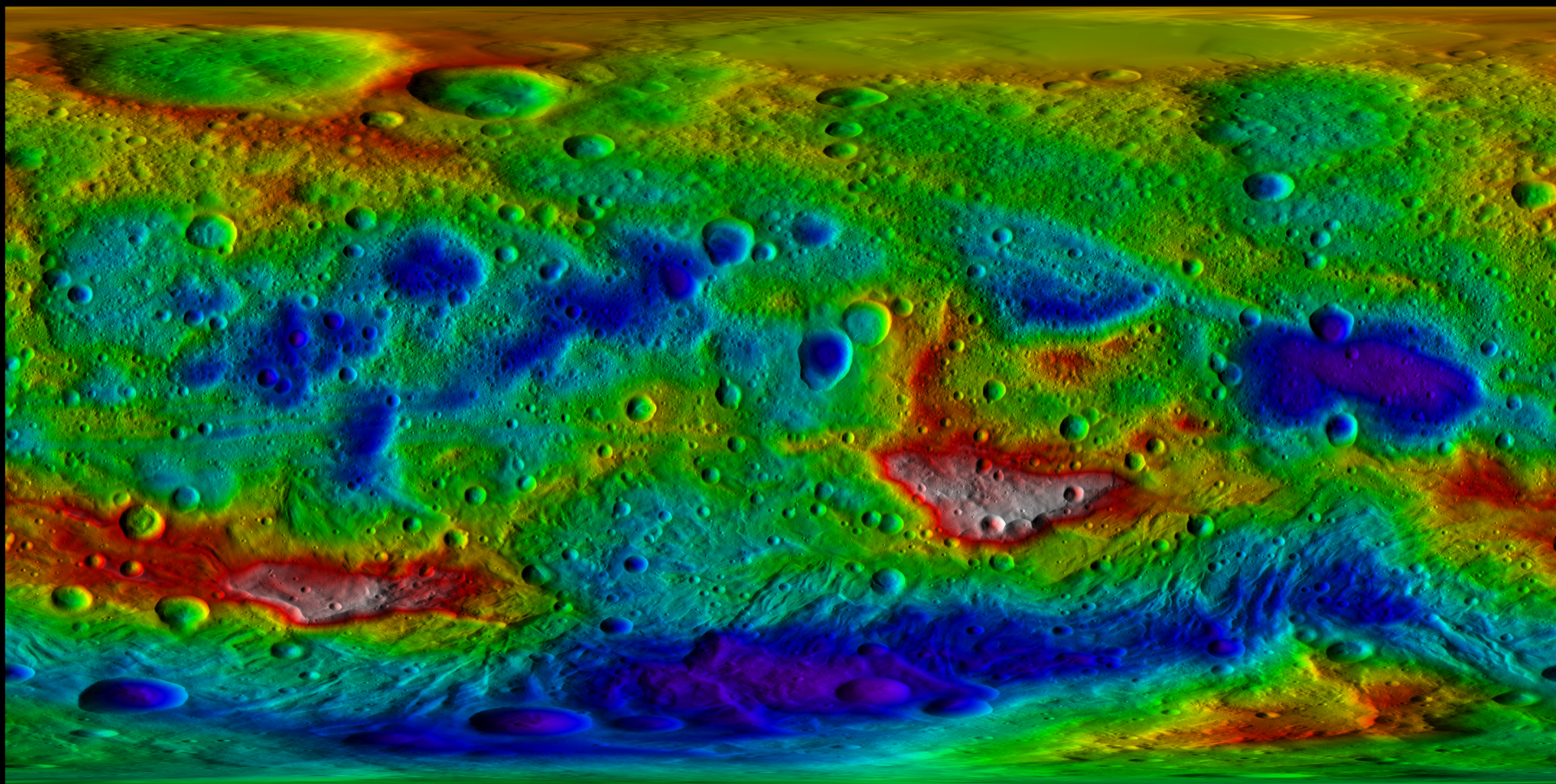
● Hubble Space Telescope:
gigantesco
impacto
deixou o
manto exposto



- Diâmetro: 468 Km
- Diversidade geológica, crosta basáltica (o que indica que o objeto sofreu aquecimento, derretimento e diferenciação), basaltos: formados no interior dos planetas

Vesta Dawn

Mapa topográfico



NEAR-S (Near-Earth Asteroid Rendezvous Shoemaker)

Eros



Missões

Asteroides

Asteroid Redirect Initiative (NEAs - 2020)

Dawn

Near Earth Asteroid Rendezvous (NEAR)

Osiris-REX (Bennu – asteróide - 2016)

Cometas

Deep Impact

EPOXI

Rosetta

Stardust-NExT

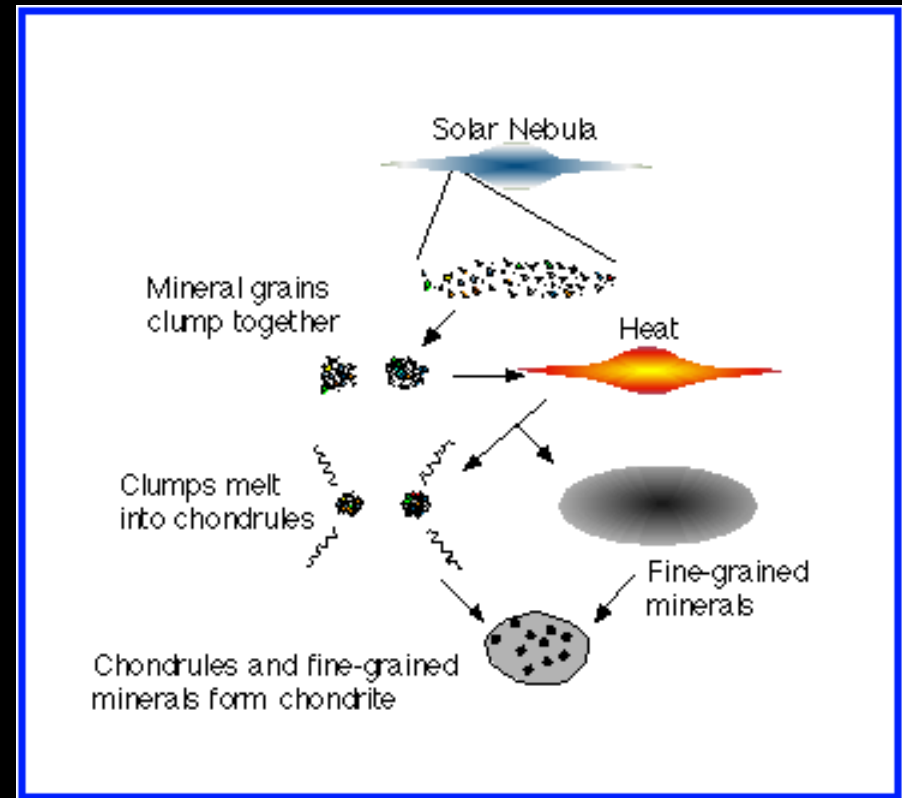
Meteoros - Meteoritos

- Fragmentos de pequenos corpos principalmente asteróides
- Material primitivo → origem e evolução do Sistema Solar
- Meteoróide : asteróides em rota de colisão com a Terra
 - Atinge atmosfera:
 - **meteoro**
 - Atinge o solo:
 - **meteorito**



Origem dos meteoritos

- Mais velhos:
remanescentes
dos primeiros
processos
geológicos que
ocorreram no SS
(4.6 bilhões de
anos): *côndrulos*
- **Condritos**

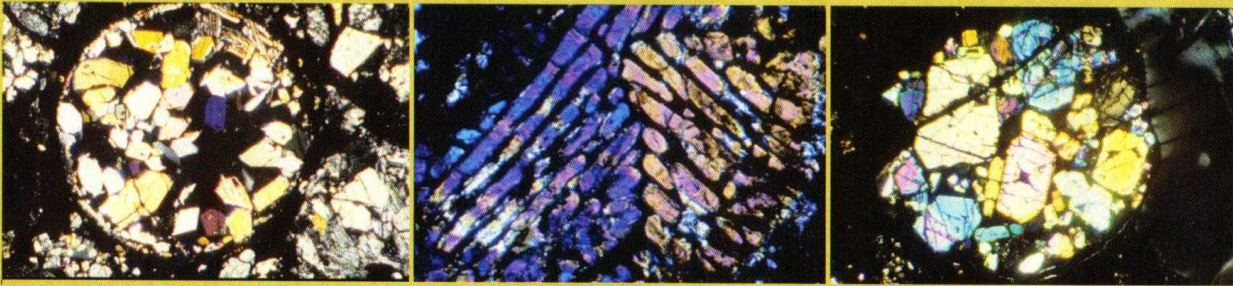


Côndrulos

São esferas vítreas → olivina e piroxênios.

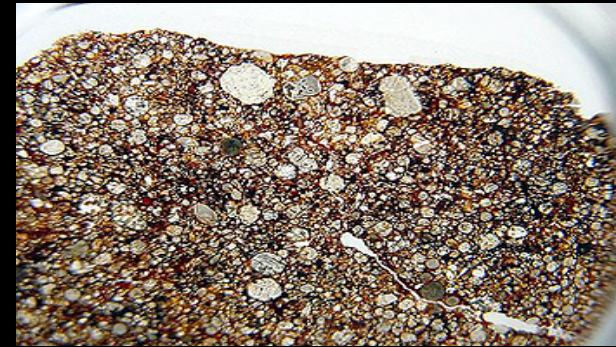
Tamanhos: 0.5 a 5 mm.

Estrutura → formadas em altas temperaturas, durante um rápido resfriamento.



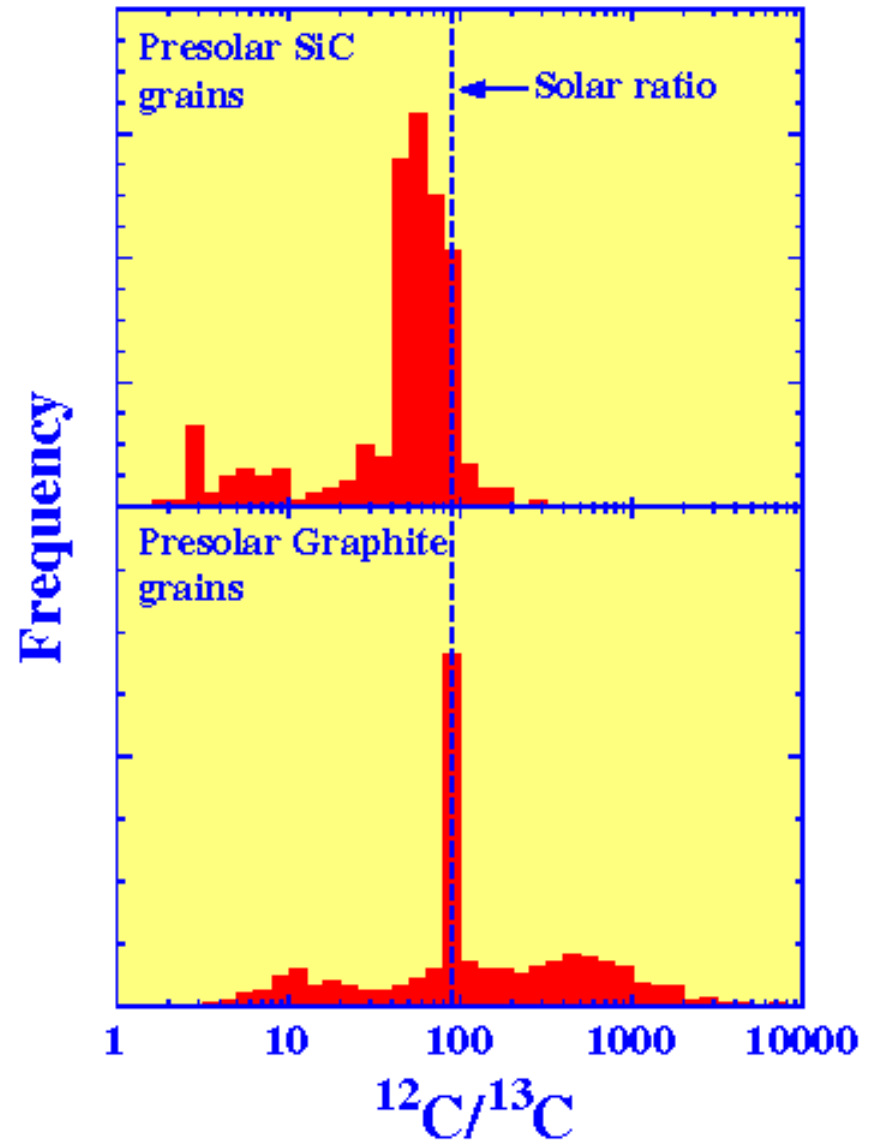
CRISTAIS PRIMITIVOS chamados côndrulos são aglomerações esféricas de minerais que se formaram antes que a Terra existisse. O côndrulo à esquerda foi encontrado no meteorito Semarkona, que caiu na Índia em 1940. O côndrulo do centro é do meteorito primitivo Mokoia, encontrado na Nova Zelândia em 1908. O meteorito Cat Mountain (elevação perto de Tucson), encontrado no Arizona em 1980 continha o côndrulo da direita.

vo Mokoia, encontrado na Nova Zelândia em 1908. O meteorito Cat Mountain (elevação perto de Tucson), encontrado no Arizona em 1980 continha o côndrulo da direita.



Não existe ainda uma teoria bem estabelecida que explique a formação dos côndrulos. O rápido aquecimento seguido de resfriamento é uma das maiores dificuldades na busca de teorias.

- Meteoritos
 muito
 primitivos:
informações
sobre a poeira
interestelar
que sobreviveu
ao
processamento
térmico na
Nebulosa Solar



- **Meteoritos** podem se originar de asteróides de diferentes regiões do SS e portanto tem diferentes propriedades químicas e estruturais
- **Tipos de meteoritos:**
 - Condritos carbonáceos
 - Ferrosos – análogos ao núcleo da Terra
 - Ferro-rochosos
 - Condritos ordinários
 - Acondritos – não contém côndrulos

- **Ferrosos** : primariamente Fe/Ni; similar aos asteroides tipo M



- **Fe-rochosos** : mistura Fe-rocha similares aos asteroides tipo S



- **Condritos** : similar a comp. Dos mantos e crostas dos planetas terrestres - maior número de meteoritos pertence a essa classe



- **Condritos carbonáceos:** comp. **Similar ao Sol**, menos os voláteis, asteroides tipo C

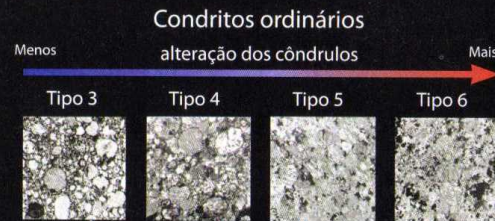


- **Acondritos:** similar aos basaltos terrestres; **originados na Lua e Marte**



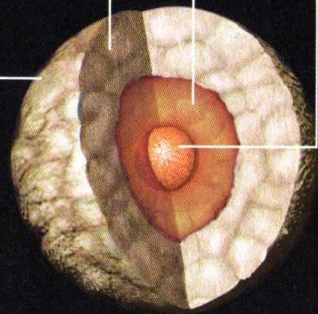
Corpos Parentais

Origem dos meteoritos

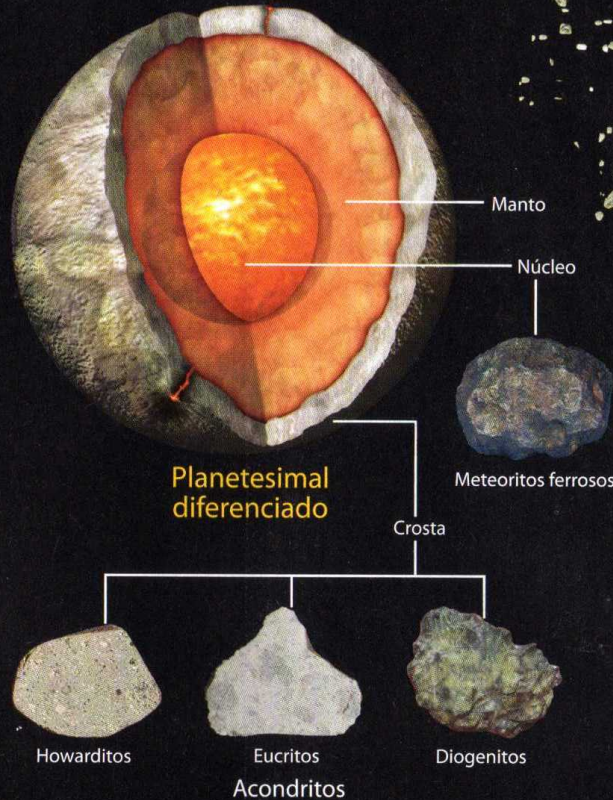


Condritos carbonáceos

Planetesimal primitivo



Planetesimal metamórfico



AS DIFERENTES CLASSES DE METEORITOS revelam diferentes partes da história do Sistema Solar. Os condritos ordinários são meteoritos que se formaram em planetesimais que sofreram metamorfismo (corpos que se fundiram parcialmente e depois se recrystalizaram. Meteoritos

ferrosos e acondriticos originam-se de planetesimais que sofreram fusão completa. Esses corpos formaram camadas diferenciadas: núcleo ferroso, manto e crosta.

ASTRONOMY: ROEN KELLY; FOTOS CONDRITOS ORDINÁRIOS: W. R. VAN SCHMUS E J. A. WOOD; FOTOS HOWARDITO, DIOGENITO E MARTE: ROBERT HAAG; OUTRAS IMAGENS POR DAVID A. KRING

Fim do período de intenso bombardeamento
3,9 há 4,0 bilhões de anos



Meteoritos lunares



Meteoritos marcianos

Quedas

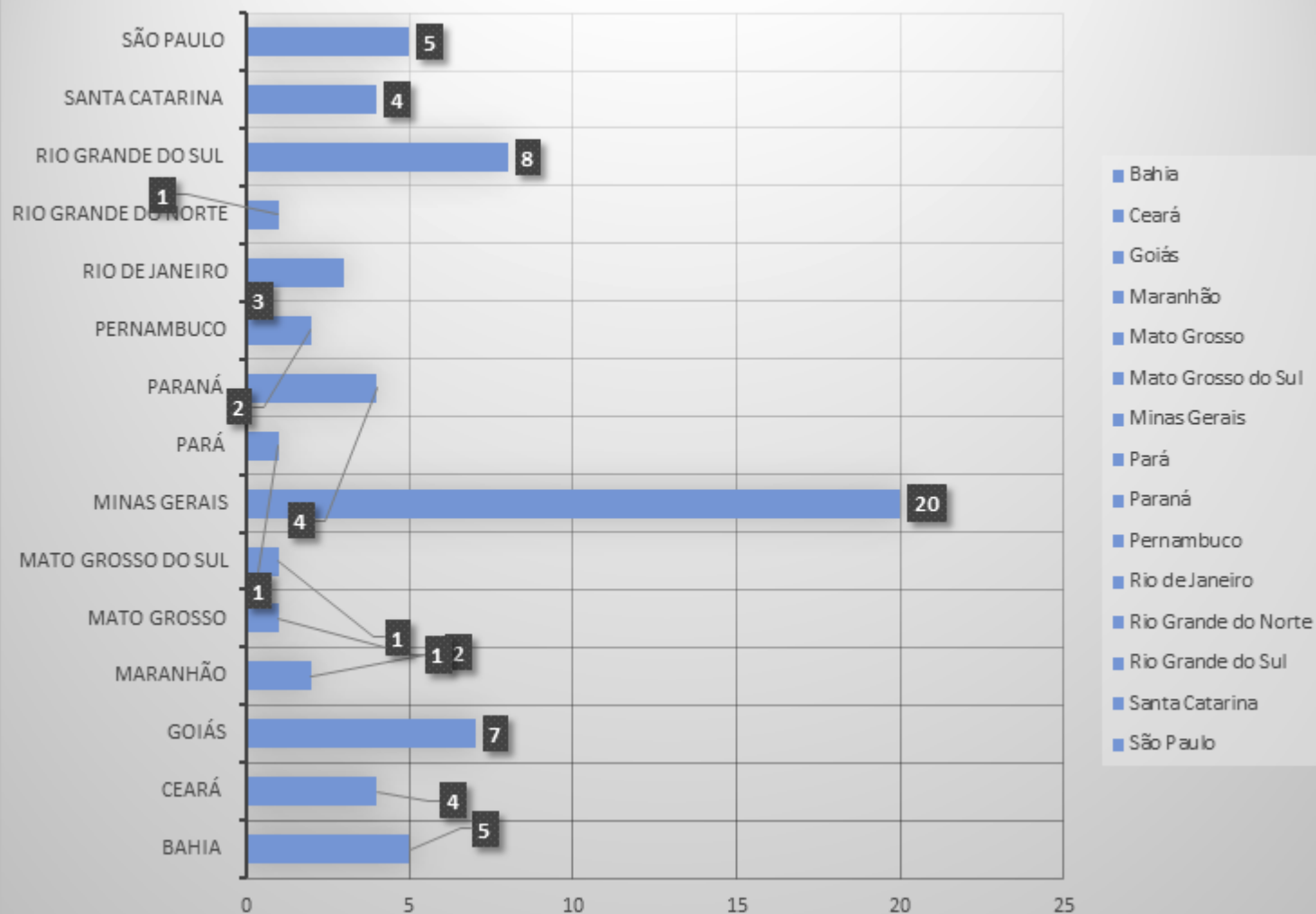
- Fall: visto por alguém quando caía
- Find: não foi visto, mas foi encontrado
- Meteoritos encontrados entre 1740-1990 (excluindo os encontrados na Antártica)

<http://press.exoss.org/> atualizado diariamente!

Meteorite Statistics

Type	Fall %	Find %	Fall Weight	Find Weight
Stony	95.0	79.8	15200	8300
Stony-Iron	1.0	1.6	525	8600
Iron	4.0	18.6	27000	435000

METEORITOS BRASILEIROS DESCOBERTOS POR ESTADO



Índice de meteoritos por área territorial (Km²)

meteoritosbrasil.weebly.com

Brasil e países de tamanho territorial semelhante



Brasil

Área territorial: 8.515.767 Km²
Nº de meteoritos oficiais: 62

Índice: 1 meteorito para cada
137.351,1 Km²



China

Área territorial: 9.596.961 Km²
Nº de meteoritos oficiais: 135

Índice: 1 meteorito para cada
71.088,6 Km²



EUA

Área territorial: 9.371.174 Km²
Nº de meteoritos oficiais: 1.718

Índice: 1 meteorito para cada
5.486,6 Km²



Austrália

Área territorial: 7.692.024 Km²
Nº de meteoritos oficiais: 666

Índice: 1 meteorito para cada
11.549,585

A descoberta de meteoritos

A descoberta de meteoritos em um determinado país leva em conta diversos fatores, que vão da conscientização das pessoas sobre a identificação de um meteorito e ainda de condições climáticas (intemperismo dos meteoritos), povoamento, etc.

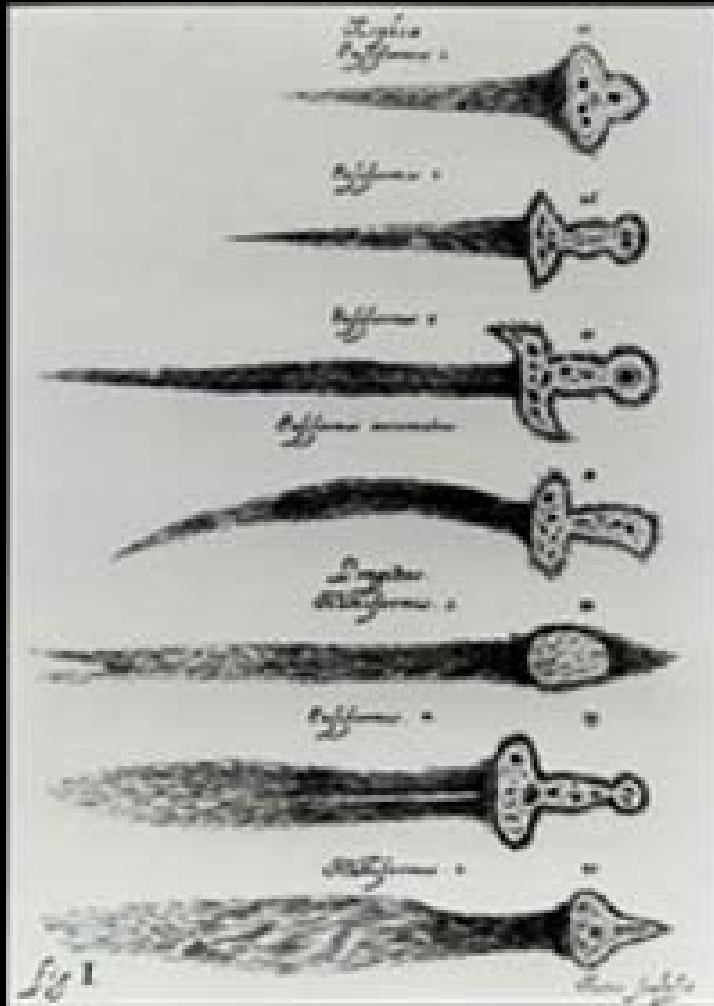
Rússia: Grande área territorial e poucos meteoritos

A Rússia é o país com maior área territorial, apesar de contar com 17.098.242 Km² a Rússia possui apenas 134 meteoritos catalogados, o que daria um índice de 1 meteorito para cada 127.598,82 Km², contudo ainda um índice menor que o do Brasil.

Diferentes tipos de meteoritos descritos
vem de **asteroides**

- **Cometas** são fontes de material primitivo
mas poucos meteoritos vem deles
 - Contribuem com **micrometeoritos**
- **Antártica** : melhor lugar para encontrar meteoritos
 - Branco
 - Meio ambiente favorável à conservação

Cometas



Mensageiros da morte

- Inspiravam medo em muitas culturas e sociedades através do tempo
- Mensageiros da morte e ameaça do Universo
- Cometas não se parecem com nada no céu
 - Movem-se em órbitas diferentes
- Romanos: morte de Julio César
- Halley – Suíça - associado a doenças, morte e nascimento de animais com 2 cabeças
- Papa Calisto III – excomungou o cometa Halley

Cometas: Portadores das Desgraças

Tycho Brahe: primeiro a demonstrar que os cometas estavam mais distantes do que a Lua.

Edmond Halley: Em 1702 descobriu que um cometa observado em 1682 possuía órbita idêntica a de outros cometas observados em diversas ocasiões anteriormente, a cada 75 anos.

Chineses

- Astrônomos chineses: registros extensivos sobre aparecimento, trajetórias, e desaparecimentos de centenas de cometas.
- **Atlas** datando da dinastia Han: cometas como “estrelas com caudas longas” ou como “broom stars” (estrelas-vassoura)
- Associam diferentes formas cometárias a diferentes disastres.

Composição química

CHEMICAL COMPOSITION DIVERSITY AMONG 24 COMETS OBSERVED AT RADIO WAVELENGTHS

NICOLAS BIVER

ESA/ESTEC, Sci-Sb, Keplerlaan 1, 2200-AG Noordwijk, The Netherlands and LESIA, Observatoire de Paris-Meudon, 5 pl. J. Janssen, F-92195 Meudon, France
E-mail: Nicolas.Biver@obspm.fr

DOMINIQUE BOCKELÉE-MORVAN, JACQUES CROVISIER, PIERRE COLOM and FLORENCE HENRY

LESIA, Observatoire de Paris-Meudon, 5 pl. J. Janssen, F-92195 Meudon, France

RAPHAËL MORENO

IRAM, 300, rue de la Piscine, F-38406 Saint Martin d'Hères, France

GABRIEL PAUBERT

IRAM, Avd. Divina Pastora, 7, 18012 Granada, Spain

DIDIER DESPOIS

Observatoire de Bordeaux, BP 89, F-33270 Floirac, France

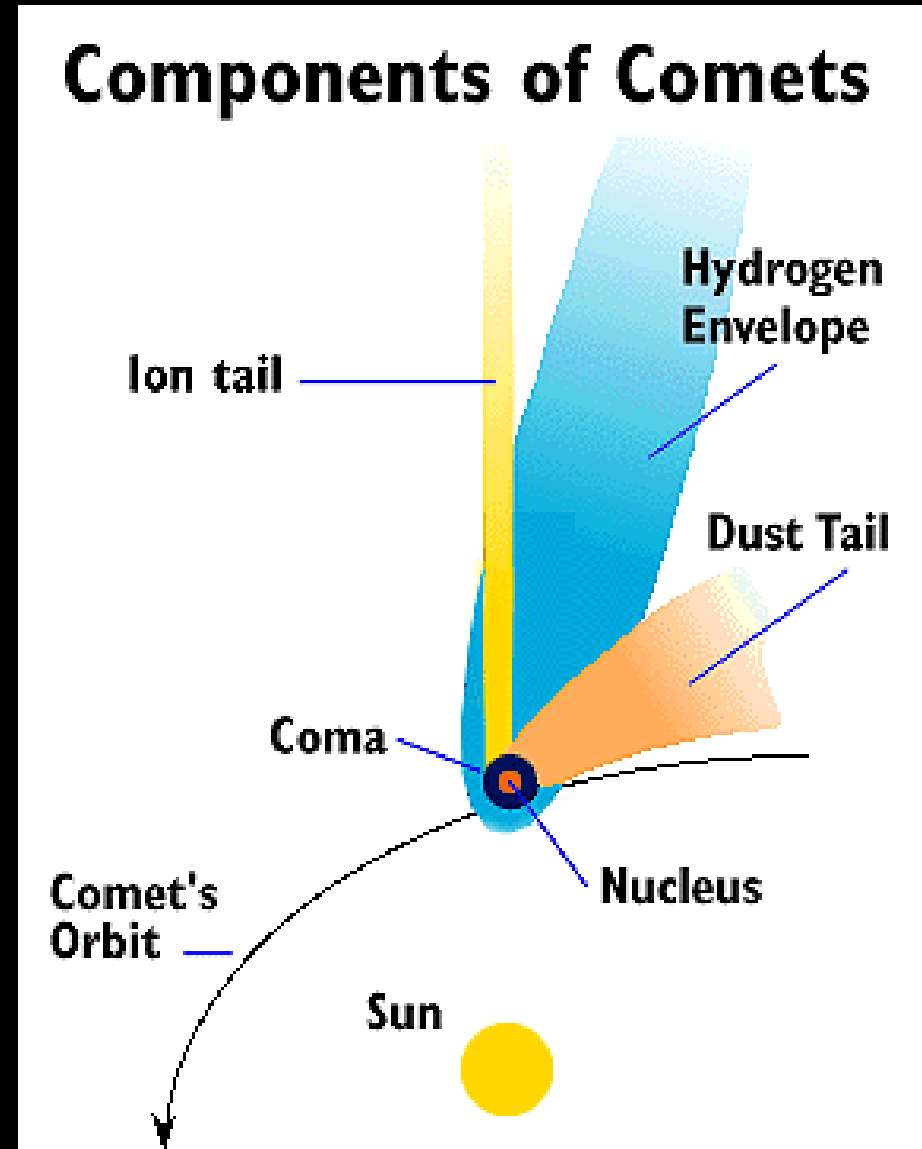
DARIUSZ C. LIS

Caltech, MS 320-47, Pasadena, CA 91125, USA

Molecule	Q/Q_{water}		Q/Q_{HCN}	
	Mini	Maxi	Mini	Maxi
HCN	0.08%	0.25%	1	1
HNC	<0.003%	0.035%	<0.03	0.17
CH ₃ CN	0.013%	0.035%	0.08	0.23
CH ₃ OH	<0.9%	6.2%	<9	64
CO	<1.7%	23%	<19	180
H ₂ CO	0.13%	1.3%	1.6	10
H ₂ S	0.12%	1.5%	1.5	7.6
CS	0.05%	0.17%	0.5	1.2

•Componentes de um cometa

- Núcleo
- Coma
- Cauda de poeira
- Cauda de íons
- Envelope de H







O núcleo

- Sólido:
 - Gelo
 - Grãos submilimétricos de poeira até partículas maiores, não volátil
 - Gás
 - Poeira
- Giotto : núcleo do Halley



Composição do material cometário sólido

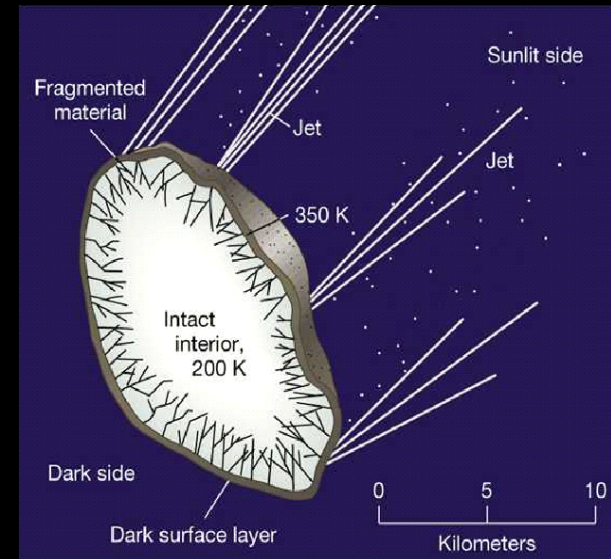
Núcleo: Gelo de H_2O ;

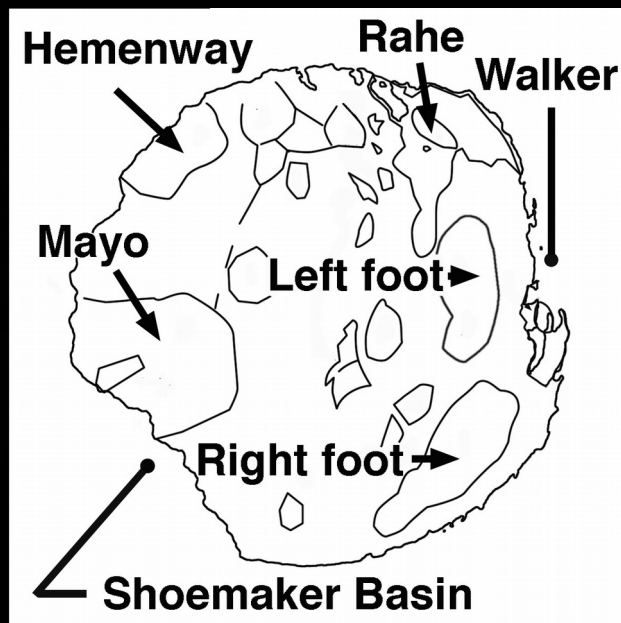
Gelos de CH_4 e NH_3 também são importantes.

Medidas da Giotto (Halley)

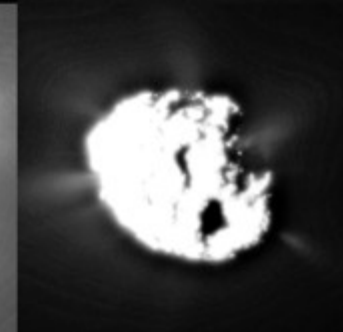
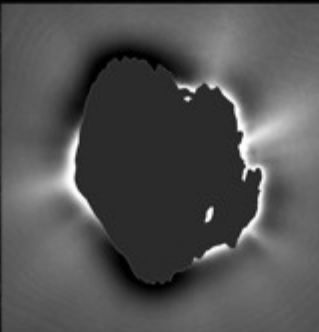
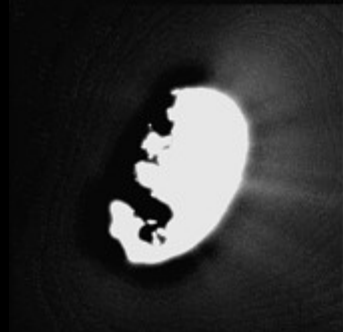
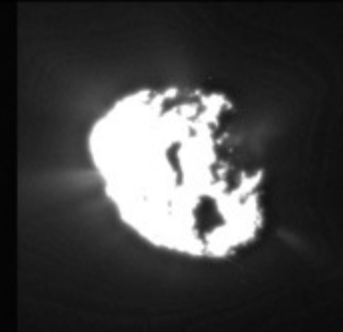
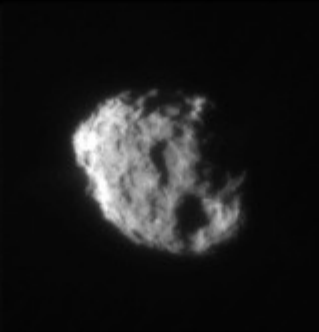
Núcleo: 80% de H_2O , 10% de CO , 3.5% de CO_2 , e poucos % de formaldeído e outros compostos.

Nas partículas ejetadas pelo Halley, encontrou-se compostos ricos em C, O, H e N, e alguns óxidos, bem como **compostos orgânicos fuliginosos, típicos de condritos carbonáceos**





**Stardust –
Wild 2 - 2004**



NASA EPOXI Flyby of Hyper Comet (2km x 4km - núcleo)

Detalhe obtido pela missão EPOXI do cometa Hartley 2.

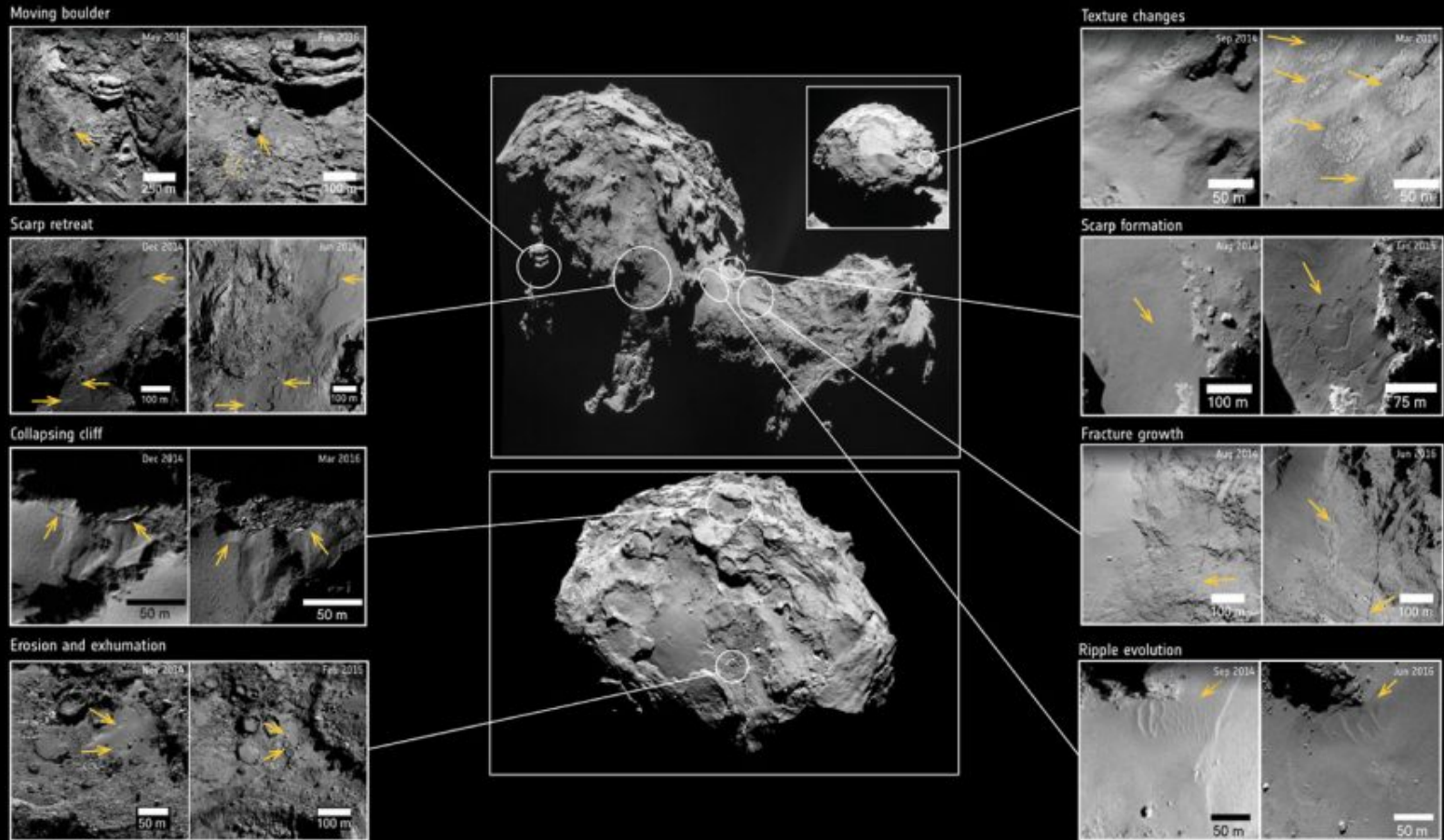


Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko



Imagem obtida em 21-08-2014, quando a sonda Rosetta estava a 70 km do cometa.

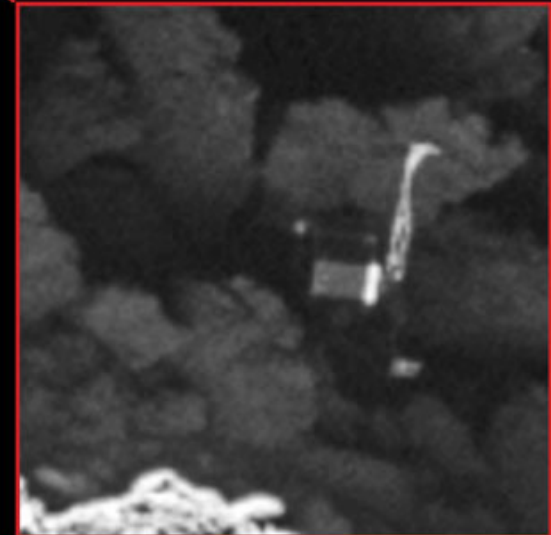
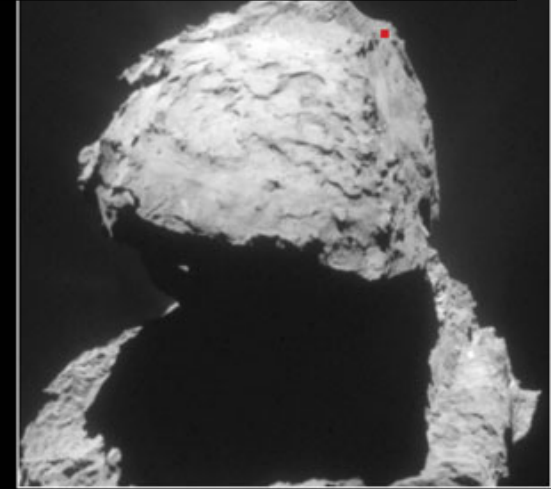
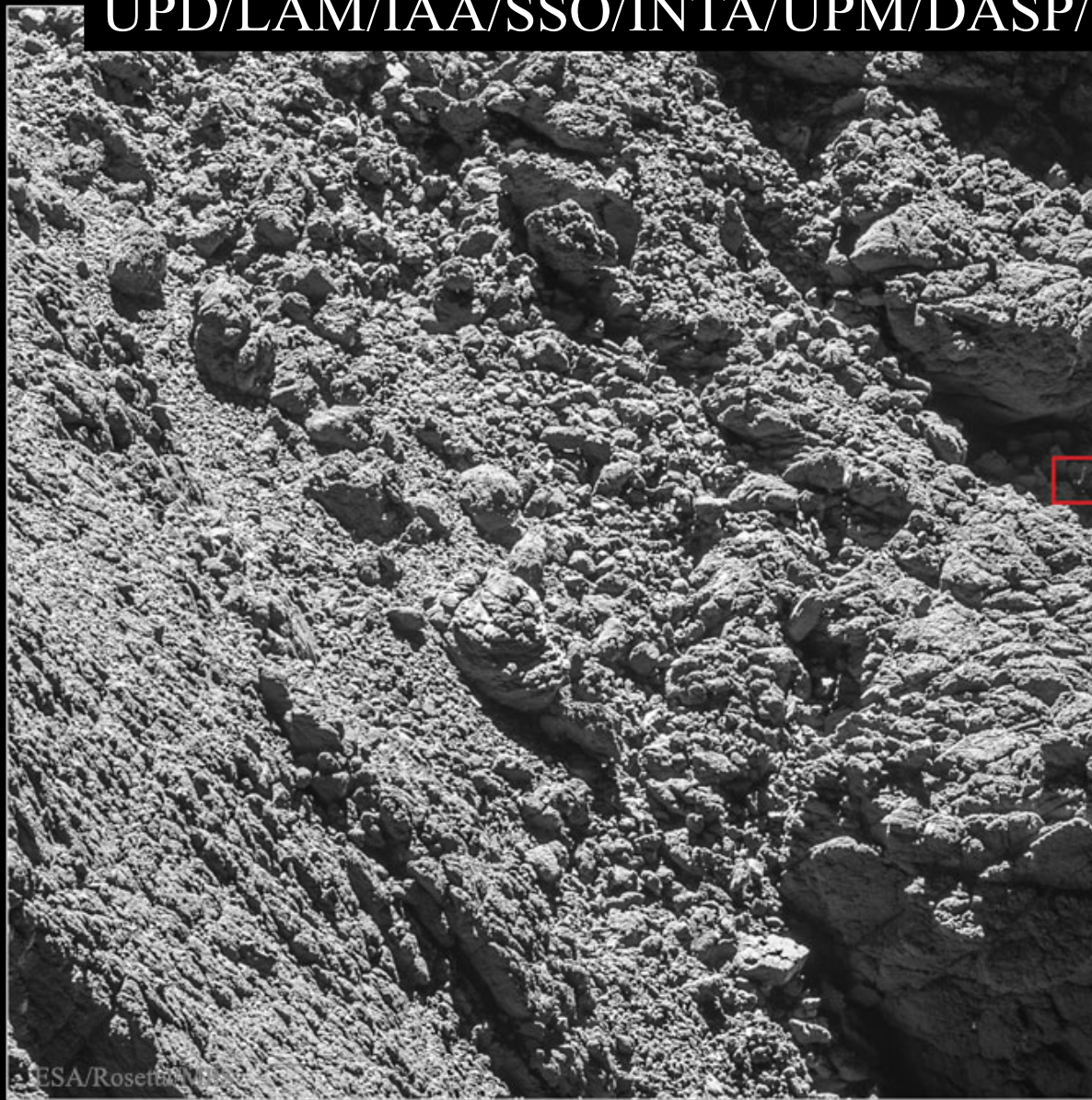
→ COMET CHANGES



Dados indicam que muito da água e CO₂ na coma do cometa são originados nas plumas em sua superfície.

Philae Lander Found on Comet 67P

Image Credit & Copyright: ESA, Rosetta, MPS, OSIRIS;
UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA/Navcam



Coma

- Ao aproximar-se do Sol, o gelo do núcleo se aquece e vaporiza, ejetando gases que arrastam grãos de poeira.
- **Coma: tênue nuvem de gás (H_2O e CO_2) e de poeira que envolve o núcleo**
- Raio típico: 100.000 Km
- Matéria que o cometa perde definitivamente para o meio interplanetário: 0.01% massa total
- Brilho:
 - grãos de poeira que refletem a luz solar
 - Moléculas do gás que reemitem a luz solar

Coma - grãos

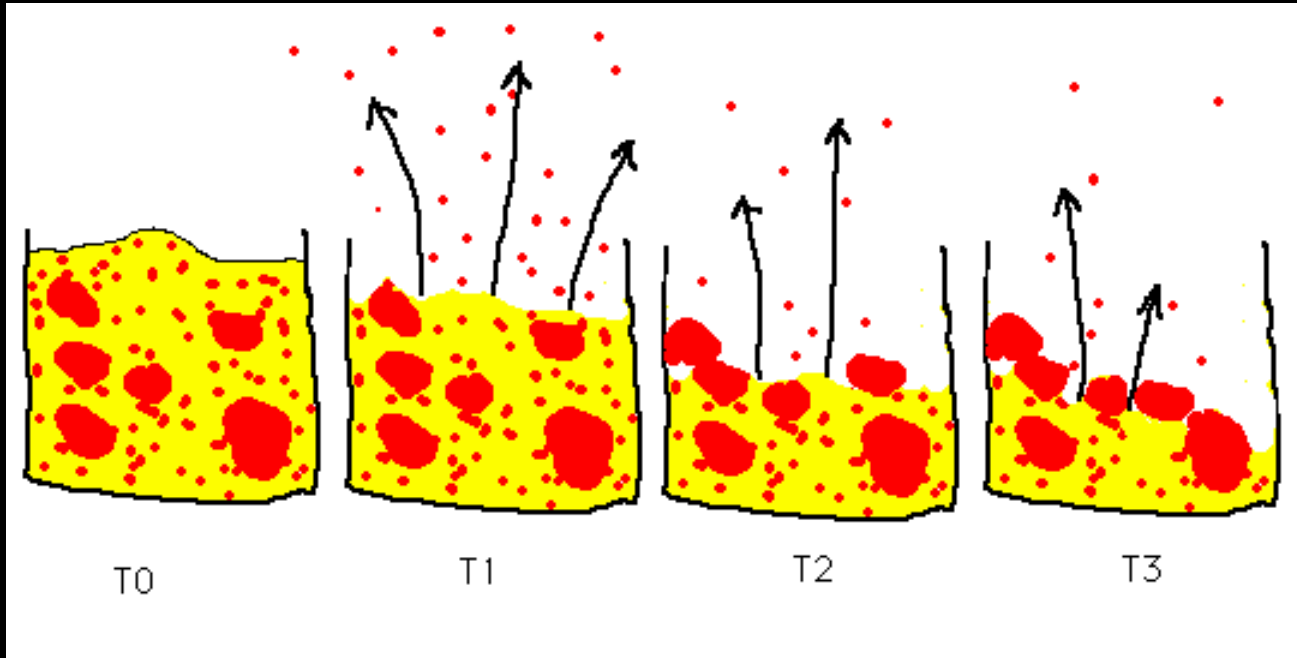
Grãos retirados do núcleo pela sublimação de elementos voláteis

Velocidades diferentes para diferentes grãos

Grãos muito grandes para serem ejetados caem de volta: "Rubble Mantle"

Muitos passam para a cauda e daí para o meio interplanetário: Nuvem Zodiacal e Chuvas de Meteoros

Manto de Cascalho



<http://www.ifa.hawaii.edu/faculty/jewitt/rubble.html>

Amarelo – Gelo

Vermelho – Grãos

Setas - Sublimação



Caudas

- Prolongamento da coma

- Cauda Iônica:

- Gás ionizado – moléculas dissociadas e fotoionizadas pela ação da radiação solar
- Mais retilínea, estreita e estruturada
- Oposta à direção do Sol

- Cauda de poeira

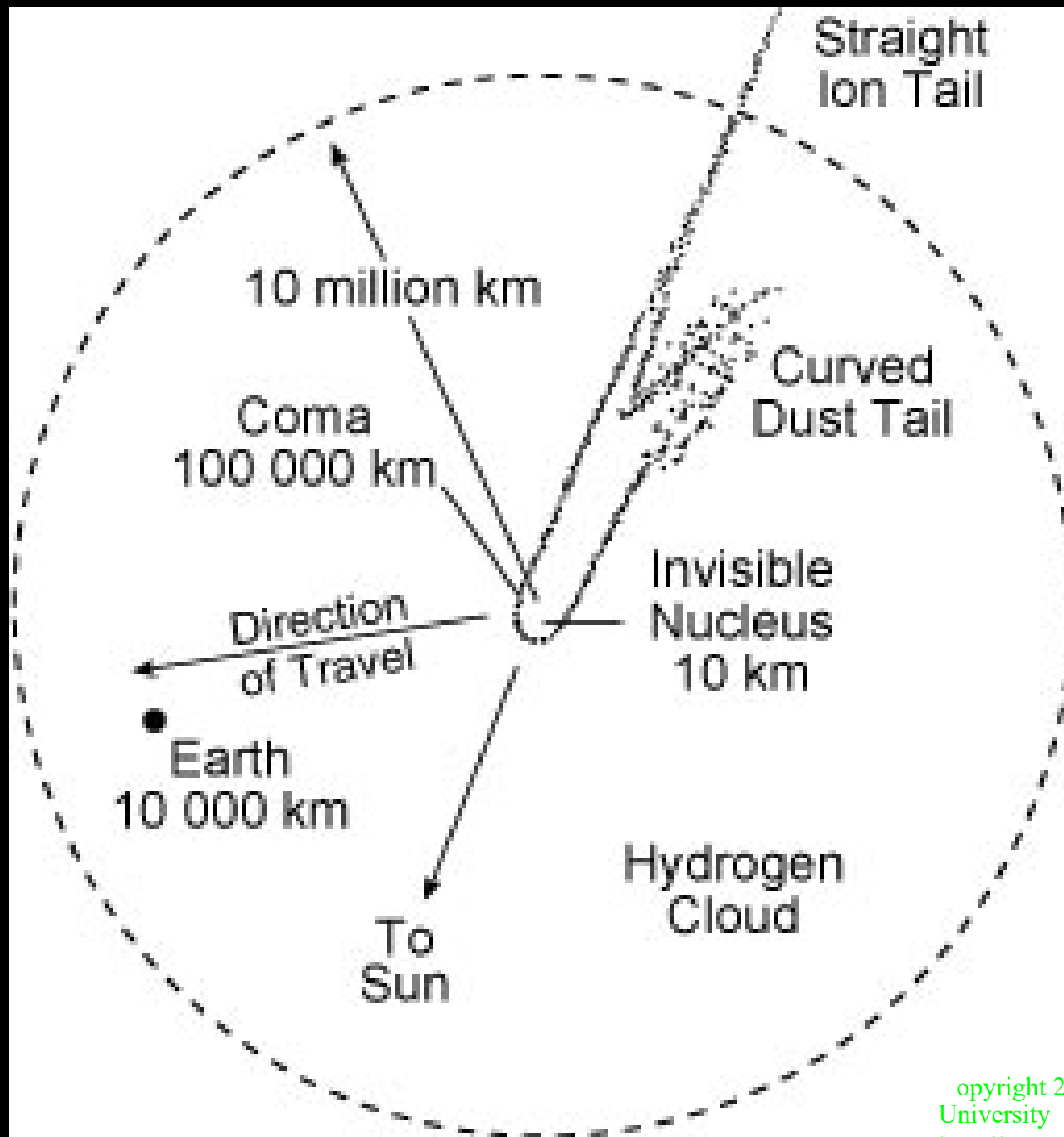
- Grãos de poeira de diferentes tamanhos
- Atraídos pela gravidade solar, mas repelidos pela pressão de radiação: cauda curva
- Direção do cometa

Nos casos mais espetaculares ambas as caudas podem atingir até cerca de 1U.A.

Envelope de Hidrogênio

- Conforme o cometa absorve luz ultravioleta, processos químicos liberam hidrogênio, que escapa da gravidade do cometa e forma um envelope de hidrogênio.
- Este envelope não pode ser visto de Terra porque sua luz é absorvida por nossa atmosfera, mas tem sido detectado através de sondas.

Dimensões



Hale-Bopp

- Cauda azul: iônica (CO₂)
- Cauda amarelada: poeira
- Alan Hale e Thomas Bopp
- Diâmetro: 40 km
- Visto pela última vez em 1997 e será visto de novo no ano 4377.
- Seu período é de 2380 anos.



Hale-Bopp – Abril de 1997



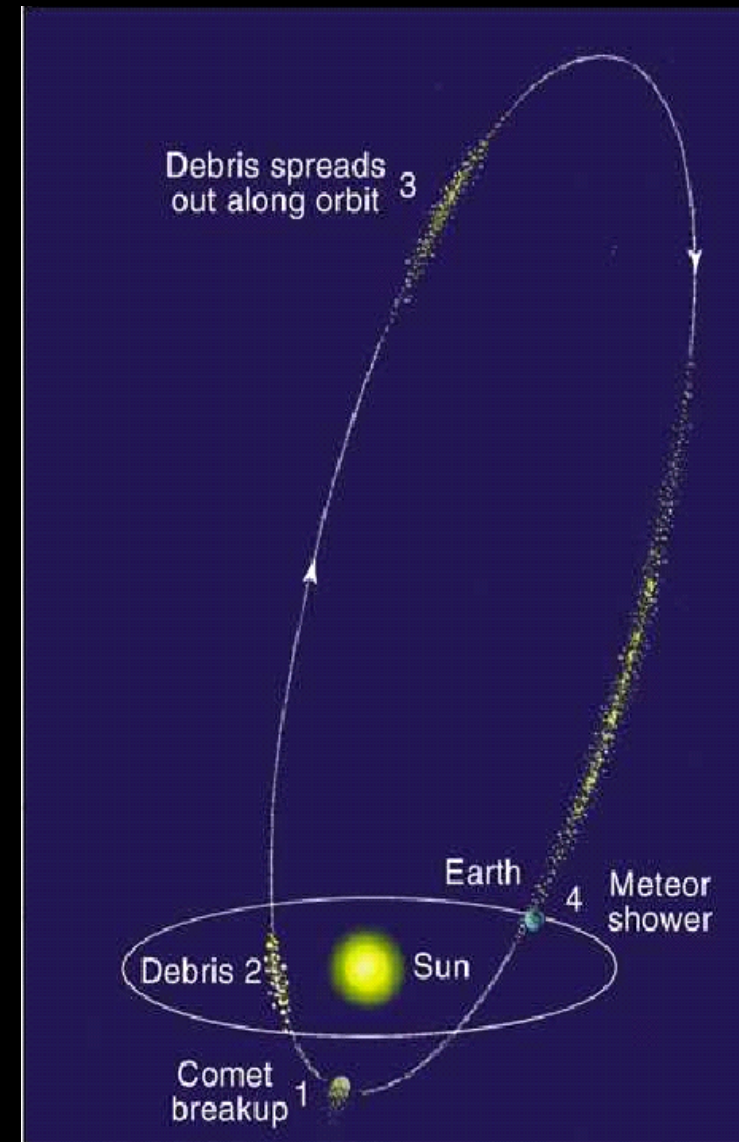
Halley

- Cometa periódico
- Aparição mais antiga: 240 A.C. na China
- Visto pela última vez em 1986 e será visto de novo no ano 2061
- Período: 76 anos (Halley)
- Quando a Terra passa através da órbita do cometa Halley, duas vezes cada ano, os detritos dele causam as **chuvas de meteoros** conhecidas como Eta Aquarids e Orionids.



Chuvas de meteoros

- Muitos meteoros passam pela atmosfera em um intervalo de tempo curto e em trajetórias aproximadamente paralelas
- **Ocorrem quando a Terra passa através da órbita de um cometa e os fragmentos do cometa**
- Cada chuva de meteoros ocorre em uma época prevista a cada ano
- As chuvas têm o seu nome dado pela constelação da qual elas parecem se originar



<http://press.exoss.org/>



Leônidas: cometa Tempel-Tuttle: 17-18 de novembro

Tipos de cometas

- As órbitas dos cometas: amplo intervalo de tamanhos, inclinações e excentricidades.
- Dois grupos baseados em seus **períodos orbitais**
 - Cometas de Curto Período (SPC - Short-Period Comets)
 - Cometas de Longo Período (LPC - Long-Period Comets)

Cometas de curto período

- Período orbital < 200 anos
- Origem: **Cinturão de Edgewood-Kuiper**
- Ex: Halley é um cometa de curto período

Cometas de longo período

- Período orbital > 200 anos
- Origem: **Nuvem de Oort**
- Cerca de 50% dos LPC são retrógrados
- Ex: Hale-Bopp

Vida do cometa

- Cada passada pelo Sol: cometas perdem parte de seus voláteis
- Tornando-se massa rochosa $\Rightarrow$ vida curta
- Alguns asteroides $\Rightarrow$ núcleos de cometas extintos; cometas que perderam todo o seu material volátil.

Cometa adormecido

- Acumulou uma espessa crosta de grãos de poeira interestelar sobre a sua camada de material volátil
- A radiação solar não consegue mais atingir e arrancar seu material volátil para formar a cauda e a coma.
- Este manto espesso de poeira acumulada sobre sua superfície volátil dá ao cometa uma aparência externa de asteroide mas, sob este manto, está o núcleo de um cometa.
- O "asteroide" Phaeton: **cometa adormecido**

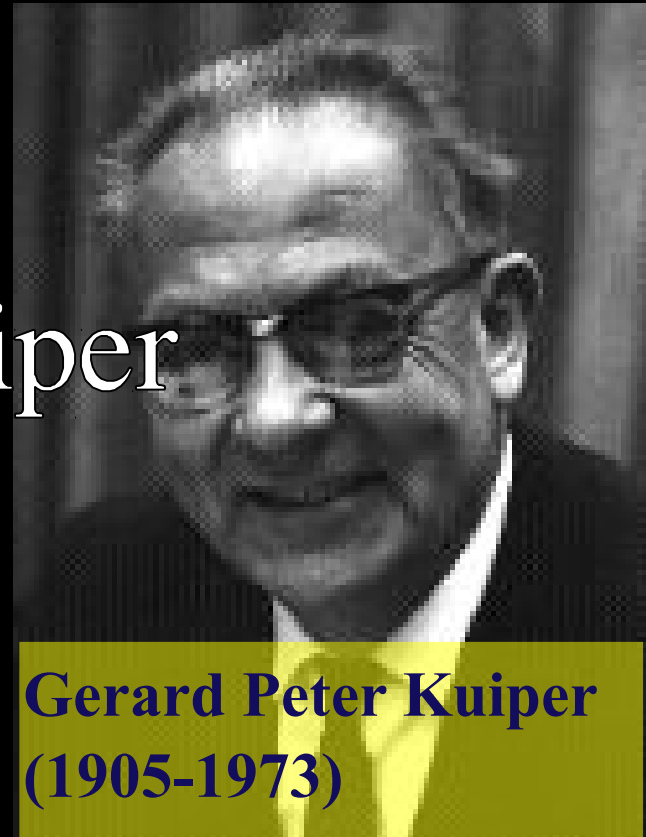
Nuvem de Oort

e

Cinturão de Kuiper



Jan Hendrik Oort
(1900-1992)



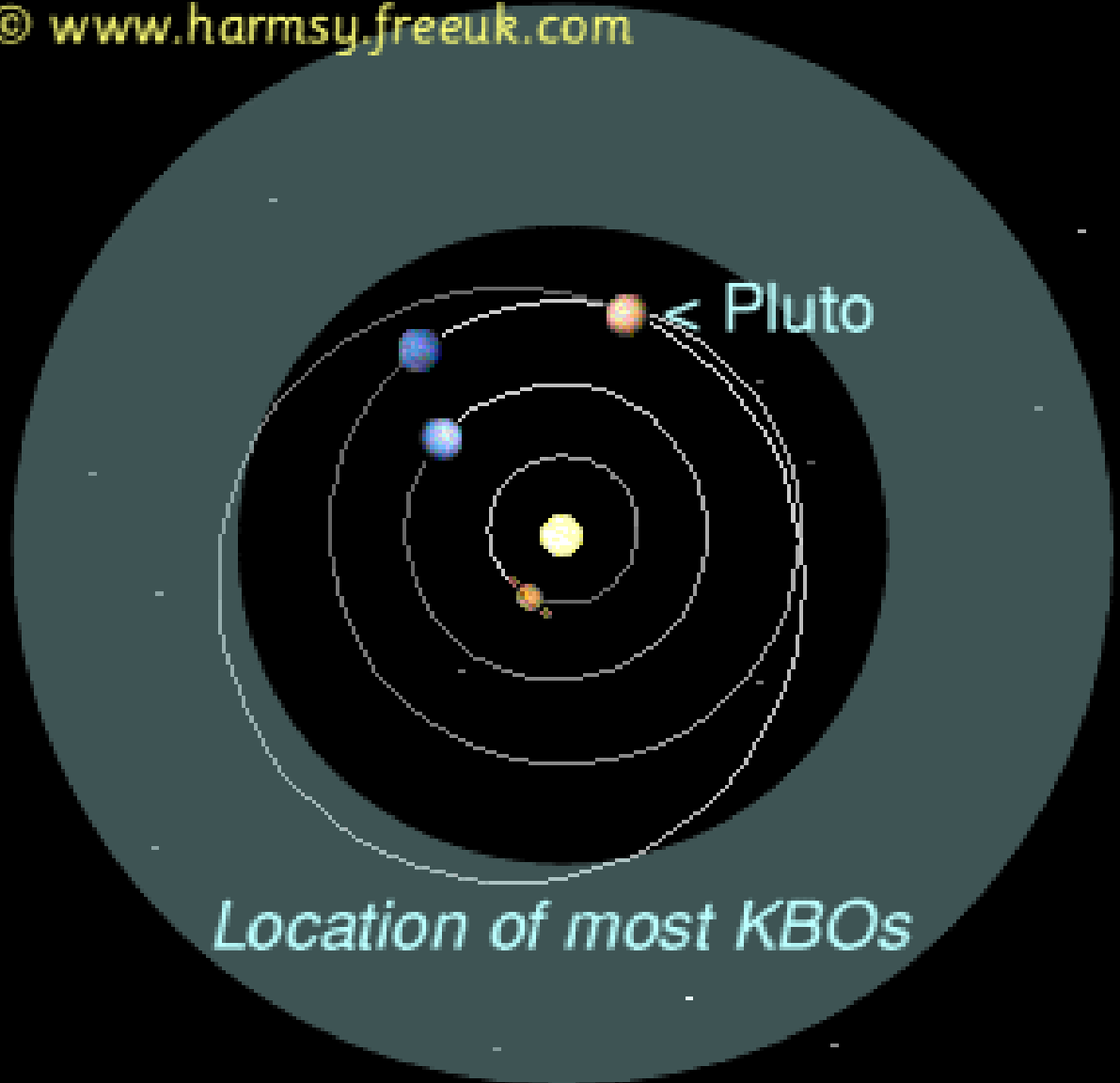
Gerard Peter Kuiper
(1905-1973)

1950 – Oort lança a hipótese da concha esférica – raio de 100.000 u.a. envolvendo todo o SS – 10^{12} cometas, distância 50.000 u.a.

1951 – Kuiper argumenta o continuum de partículas que deveria haver após Netuno – disco : 30-50 u.a. – corpos compostos de gelo

Os Limites do Sistema Solar

© www.harmsy.freeuk.com



Cinturão de Kuiper

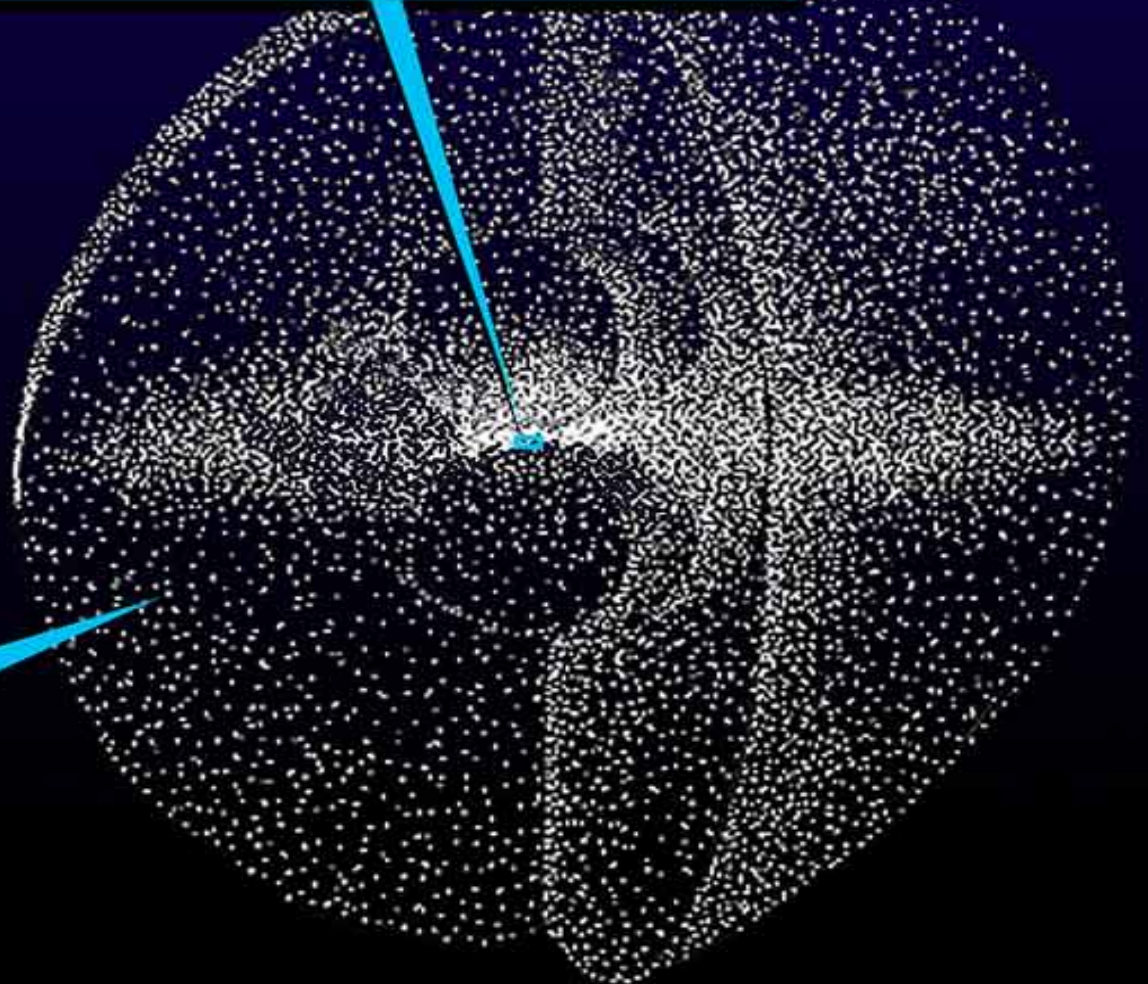
Location of most KBOs



Nuvem de Oort

The Oort Cloud
(comprising many
billions of comets)

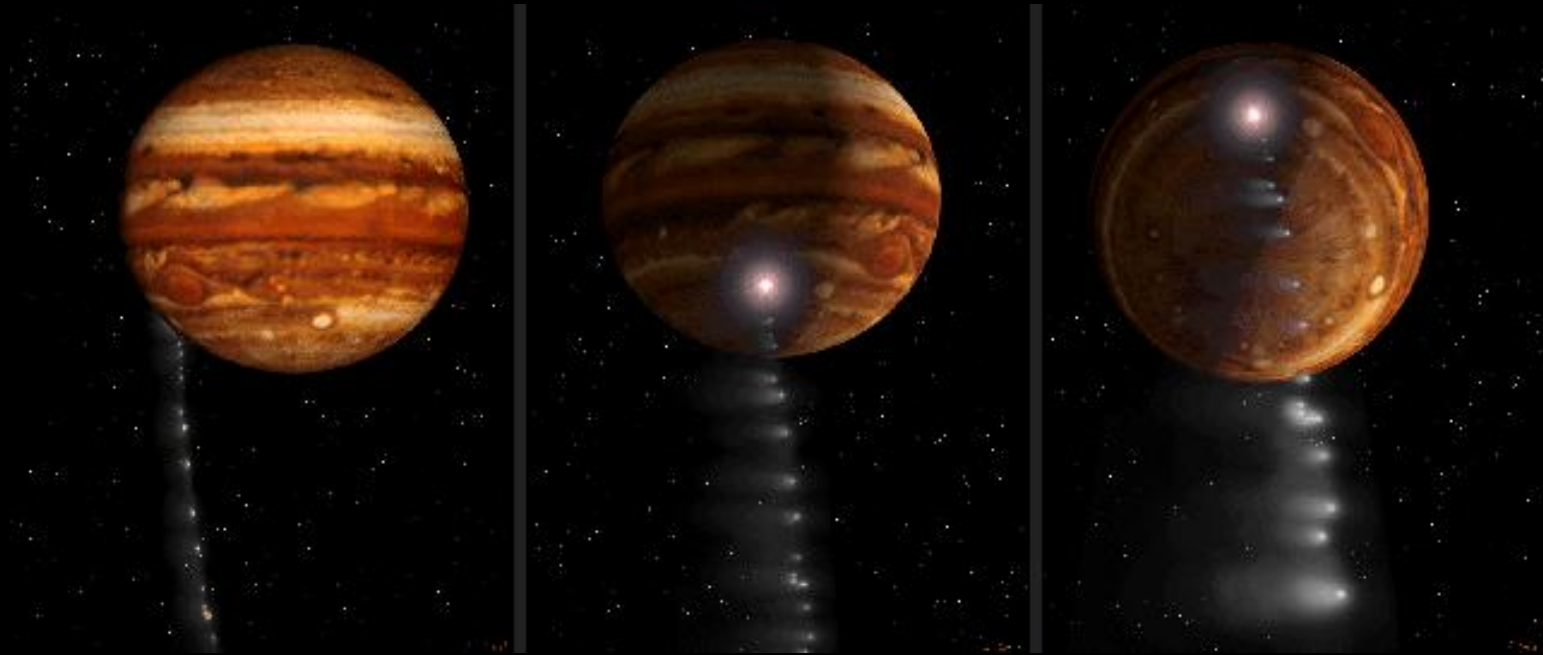
*Oort Cloud cutaway
drawing adapted from
Donald K. Yeoman's
illustration (NASA, JPL)*



Impactos e crateras

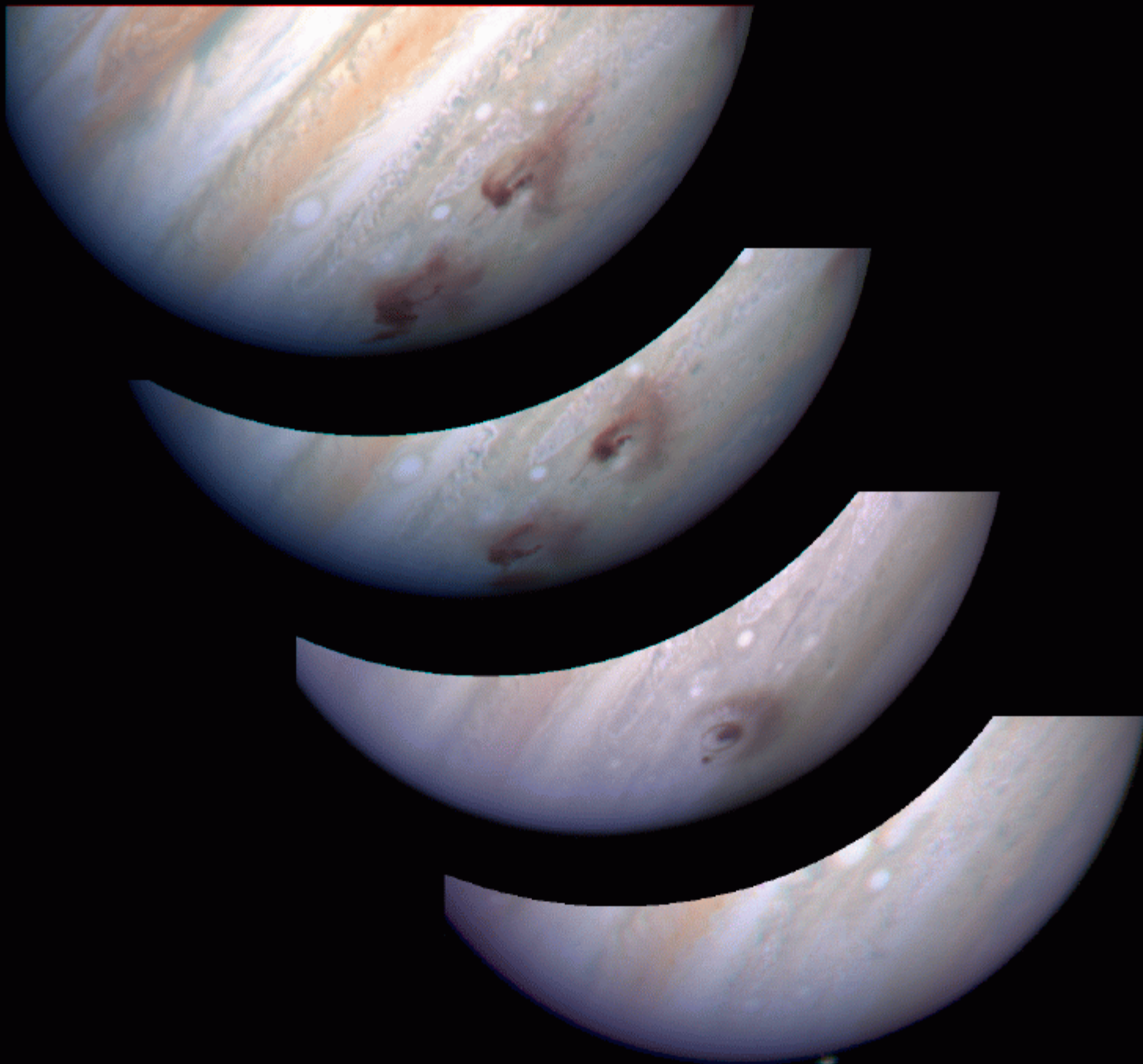
- Crateras:
estruturas
geológicas
formadas num
impacto de um
meteoróide,
asteróide ou
cometa
- Terra: 120 crateras
identificadas





- Shoemaker-Levy - 1994





Crateras em Ganimede



Arizona (EUA), 1.2 Km de diâmetro



Taxas de Impacto: Fluxo Meteoroidal

Fluxo meteoroidal :

Terra: 10^7 - 10^9 kg/ano.

Lua: 4×10^6 kg/ano.

A maioria das partículas cadentes são microscópicas. São chamadas de **micrometeoritos**.

Seis em cada sete meteoritos caem nos pólos ou oceanos terrestres e passam despercebidos.



Tunguska - 1908

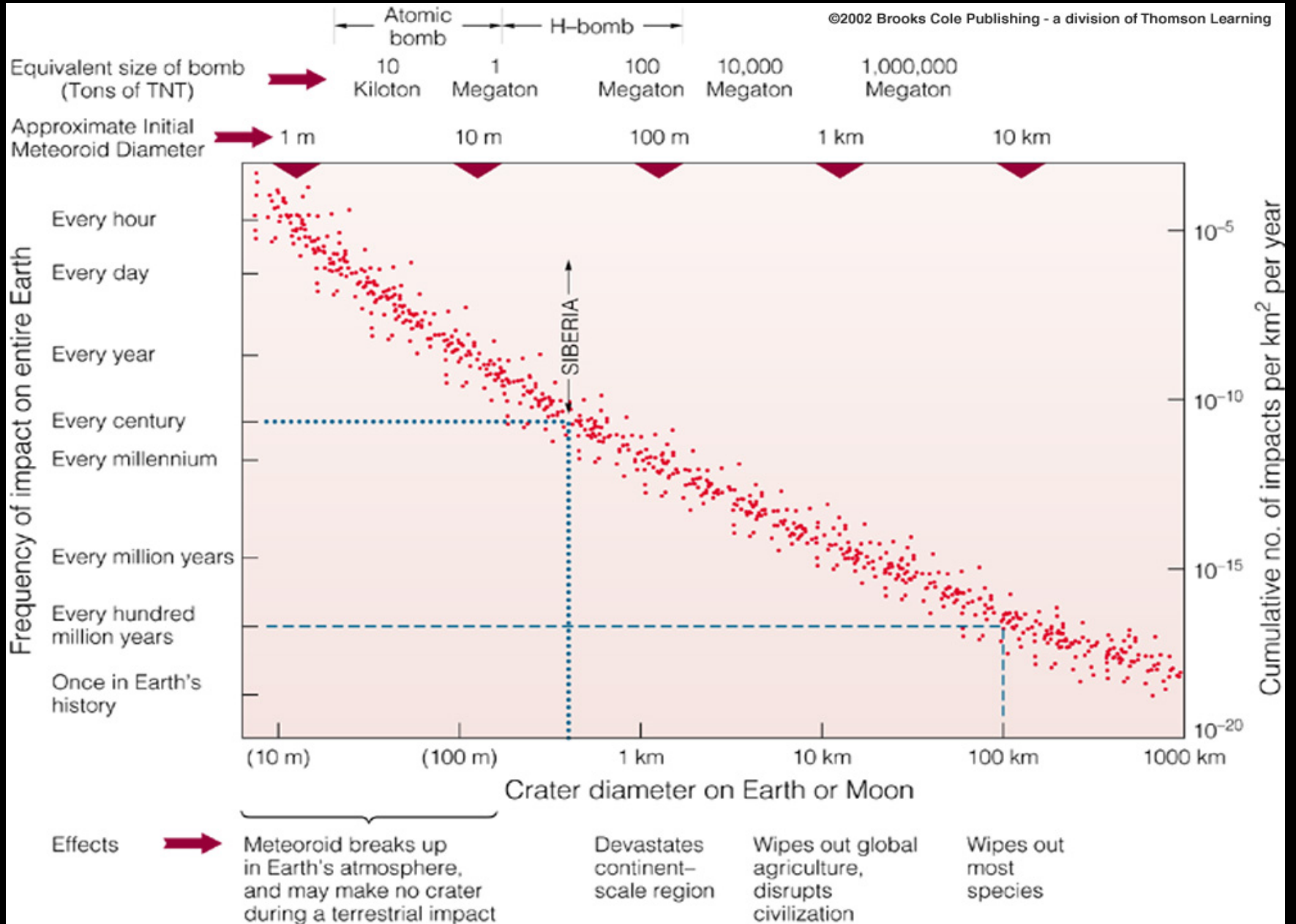
Por volta das 7:15 da manhã, nativos e russos que estavam em uma montanha próxima observaram uma “bola de fogo” movendo-se pelo céu, quase tão brilhante como o Sol.

Às 7:17 da manhã foi registrada uma explosão gerando forte clarão no céu e uma onda de choque que quebrou janelas a 650 Km de distância.



Chelyabinsk, 2013





Meteoros colidindo com a Terra

- Entram em combustão devido à fricção com a atmosfera terrestre e sendo destruídos antes que causem algum tipo de catástrofe.
- No entanto, alguns conseguem colidir com a superfície da Terra – meteoritos
- Há 65 milhões de anos atrás, no final do período Cretáceo $\Rightarrow$ plantas, animais subitamente extintos.

A extinção dos dinossauros

- Extinção Cretáceo-Terciário ou Extinção K-T
- 1980: Luis Alvarez, da University of California,
 - camada fina de irídio em sedimentos que datavam da época do final da extinção do Cretáceo.
 - O irídio é raro na Terra mas existe concentrado em meteoros e cometas
 - Enorme meteorito colidiu com a Terra
 - Diâmetro: entre 6 a 15 km
 - Cratera Chicxulub: Golfo do México: 180 km de largura e 1600 metros de profundidade

Extinção dos dinossauros

- Grandes quantidades de enxofre foram encontradas no solo de Chicxulub
 - hipótese de que o ácido sulfúrico disperso na atmosfera ocasionou chuvas ácidas naquele local.
- Além disso, por toda a região do Golfo do México há indícios de tsunamis do período K-T.

Alimente a sua paranoia!
 Se você é desconfiado e quer estar sempre
 prevenido, visite regularmente
<http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>

Objects Not Recently Observed

Object Designation	Year Range	Potential Impacts	Impact Prob. (cum.)	V_{∞} (km/s)	H (mag)	Est. Diam. (km)	Palermo Scale (cum.)	Palermo Scale (max.)	Torino Scale (max.)
2011 AG5	2040-2047	4	2.0e-03	9.55	21.9	0.140	-1.00	-1.01	1
101955 1999 RQ36	2169-2199	8	7.1e-04	6.36	20.7	0.560	-1.12	-1.52	n/a
2007 VK184	2048-2057	4	5.7e-04	15.63	22.0	0.130	-1.56	-1.57	1
2009 FD	2185-2190	2	1.9e-03	15.87	22.1	0.130	-1.76	-1.80	n/a
1994 WR12	2054-2109	129	9.4e-05	9.83	22.1	0.130	-2.83	-3.72	0
2011 BT15	2074-2109	45	7.9e-05	6.90	21.7	0.150	-2.88	-3.58	0
1979 XB	2056-2102	3	3.8e-07	24.35	18.5	0.681	-2.94	-3.01	0
99942 Apophis (2004 MN4)	2036-2103	6	7.4e-06	5.87	19.7	0.270	-2.97	-3.08	0
2008 CK70	2030-2030	1	3.7e-04	15.29	25.2	0.031	-2.99	-2.99	0
2000 SG344	2069-2094	21	1.4e-03	1.38	24.8	0.037	-3.10	-3.29	0

Escolha a sua catástrofe!

O universo é uma terra *sem lei*. Há diversos perigos à espreita de uma civilização, que envolvem:

Erupções e atividade magnética da estrela central

Novas, supernovas

Explosões de raios gama

Buracos negros

Esses eventos já afetaram o passado da Terra. Nós só não os vemos afetar nossa civilização diretamente porque o tempo de vida dela é curto perante a escala de tempo desses eventos cósmicos.