

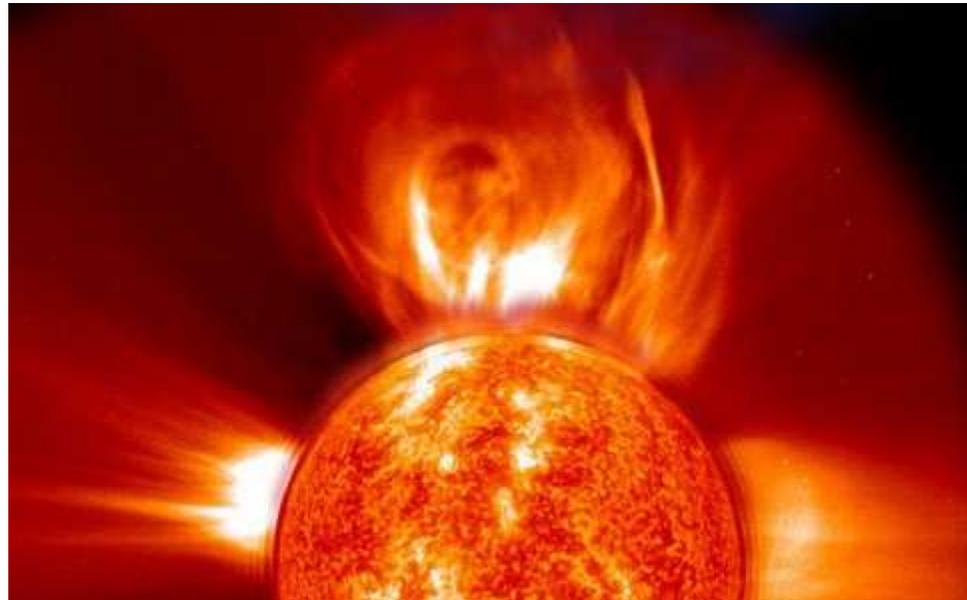
# Água no Universo

- Programa de curso (Sweet Briar College)
  - <http://witcombe.sbc.edu/water/participants.html#hyman>
- Água no Universo:
  - <http://witcombe.sbc.edu/water/physicsuniverse.html>

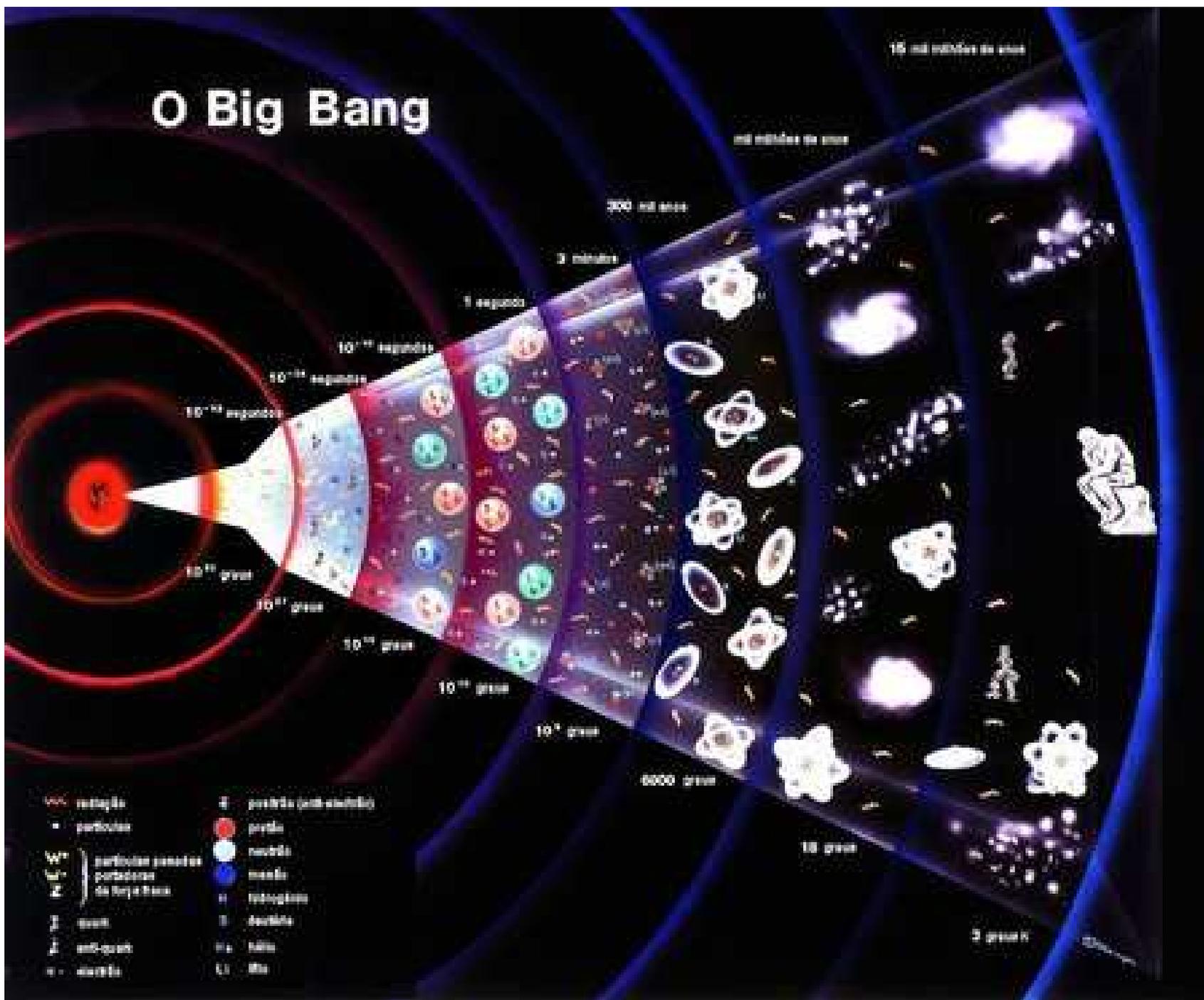
# Onde existe água

- **Astrônomos encontraram evidência da existência de água na Lua terrestre, Marte, satélites de Júpiter e Saturno, cometas e no espaço interestelar, além da Terra.**
- **De onde vêm o H e o O?**

- Há 10 a 20 bilhões de anos, o Universo estava em um estado de alta densidade e temperatura (~10 bilhões de °C !) que explodiu no que os astrônomos chamam de Big Bang. Depois, o Universo expandiu e esfriou. Grandes massas de gas formaram bilhões de galáxias separadas, com bilhões de estrelas cada.
- Protons, nêutrons e eletrons foram formados nesse processo.
- Hidrogênio e hélio foram também formados, nas diferentes formas isotópicas.



# O Big Bang



# Matéria escura

COMPOSITION OF THE UNIVERSE					
MATERIAL	REPRESENTATIVE PARTICLES	TYPICAL PARTICLE MASS OR ENERGY (ELECTRON VOLTS)	NUMBER OF PARTICLES IN OBSERVED UNIVERSE	PROBABLE CONTRIBUTION TO MASS OF UNIVERSE	SAMPLE EVIDENCE
Ordinary ("baryonic") matter	Protons, electrons	$10^6$ to $10^9$	$10^{78}$	5%	Direct observation, inference from element abundances
Radiation	Cosmic microwave background photons	$10^{-4}$	$10^{87}$	0.005%	Microwave telescope observations
Hot dark matter	Neutrinos	$\leq 1$	$10^{87}$	0.3%	Neutrino measurements, inference from cosmic structure
Cold dark matter	Supersymmetric particles?	$10^{11}$	$10^{77}$	25%	Inference from galaxy dynamics
Dark energy	"Scalar" particles?	$10^{-31}$ (assuming dark energy comprises particles)	$10^{114}$	70%	Supernova observations of accelerated cosmic expansion

<http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/I02-13-composition.jpg>

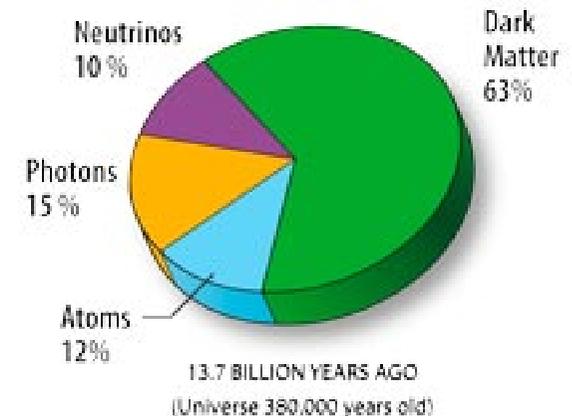
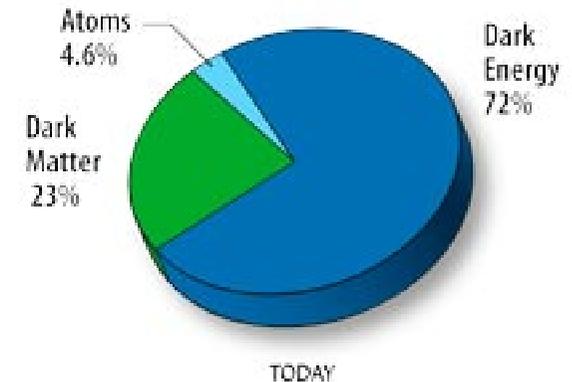
Leitura: <http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A1.html>

# Matéria escura vs. Cargas elétricas

- O conceito de matéria escura é crucial para o modelo do *Big Bang*.
  - gravidade é a interação dominante

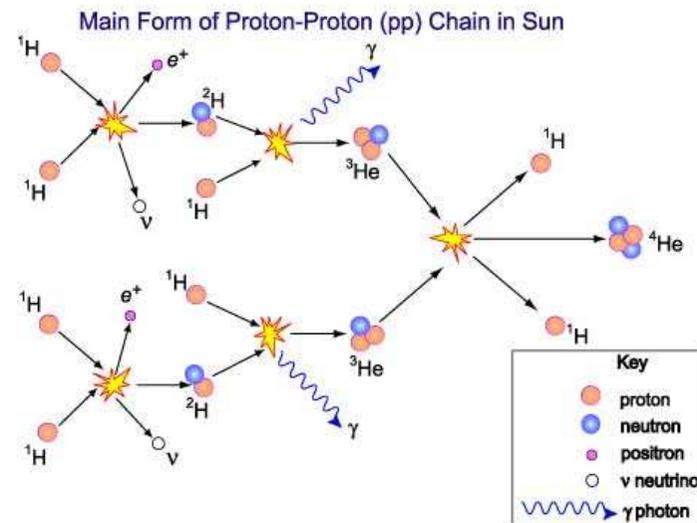
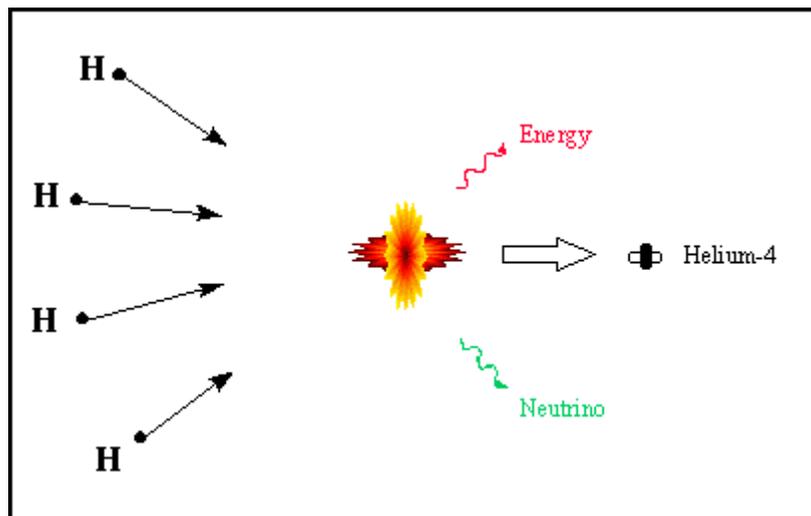
VS.

- Cosmologia de plasma
  - atribuída a Hannes Alfvén, nobelista de Física em 1970
  - admite interações eletromagnéticas.



- **Modelos atuais do Big Bang predizem que houve a formação de três vezes mais hidrogênio do que hélio.**
- **Isso foi deduzido por astrônomos que estimaram a proporção entre os dois elementos.**
- **Elementos mais pesados foram produzidos em quantidades muito menores.**
  - Um átomo de lítio em  $10^{10}$  átomos.
- **Elementos mais pesados são formados durante a evolução das estrelas.**

- As estrelas, como o Sol, produzem grandes quantidades de energia devido à fusão de núcleos no seu interior.
- Sob pressão e temperatura muito elevadas, átomos de hidrogênio fundem formando átomos de hélio.
  - *A diferença de massa é transformada em energia,  $E = mc^2$ .*
- 90 por cento do tempo de vida de uma estrela é gasto fundindo hidrogênio em hélio.
- A fusão de hélio produz oxigênio (e outros elementos).
- Em estrelas de massa muito elevada, elementos mais pesados, até o ferro, podem ser criados.



# Como o oxigênio sai das estrelas?

- **Uma vez formado o ferro, não há novas reações de fusão nuclear.**
  - A estrela não tem como dissipar energia.
- **A gravidade provoca o adensamento da estrela, até o seu colapso e explosão.**
  - **Explosão de uma *supernova*.**
    - Brilhante como toda uma galáxia.

NGC 1569

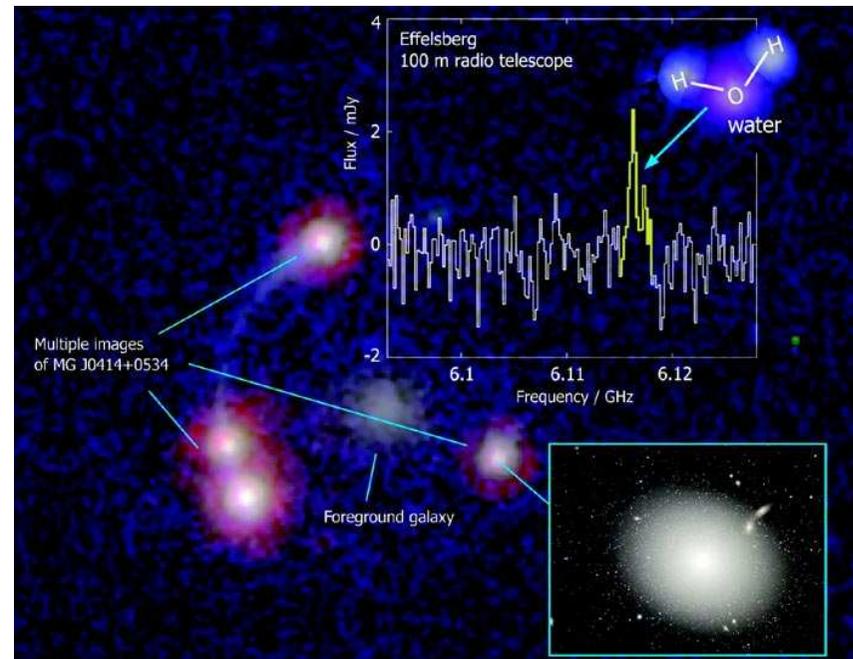


- Os produtos da explosão da supernova expandem-se e eventualmente todos os elementos formados se espalham através dela, misturando-se no espaço interestelar.
- Com o tempo, formam-se regiões mais densas que são nuvens gigantescas de gás e pó.
- Essas nuvens são berçários de estrelas, onde serão formadas estrelas.
- Em torno das estrelas também há agregação de gás residual e pó, formando planetas.
- *“Thus, the planets and ourselves, are in fact, all made out of star-stuff!”*

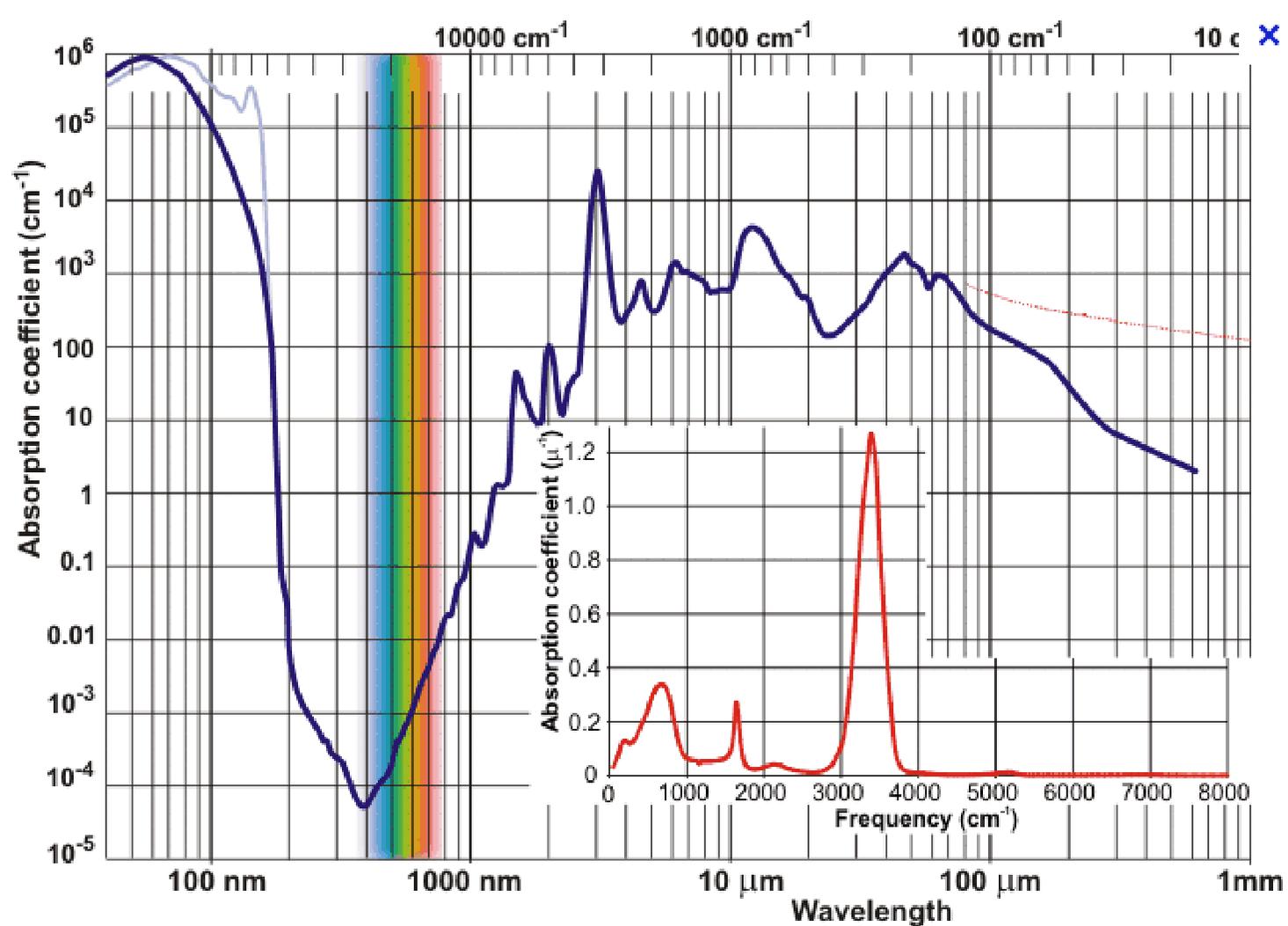
- Como o hidrogênio foi formado no Big Bang e o oxigênio foi formado nas estrelas, pode-se esperar que a água seja muito comum no Universo.
- Entretanto, ela só existe na forma líquida sob certas condições de temperatura e pressão, como as observadas na Terra.

# Água fora da Terra

- Sondas espaciais exploraram todos os planetas, exceto Plutão.
  - Em poucos casos foi feita análise química de amostras de solo ou atmosfera.
- A maior parte da detecção de água foi feita remotamente.
- A composição da atmosfera e da superfície de um planeta pode ser determinada analisando o espectro de radiação emitida ou absorvida.
- São usadas todas as faixas do espectro da radiação eletromagnética.

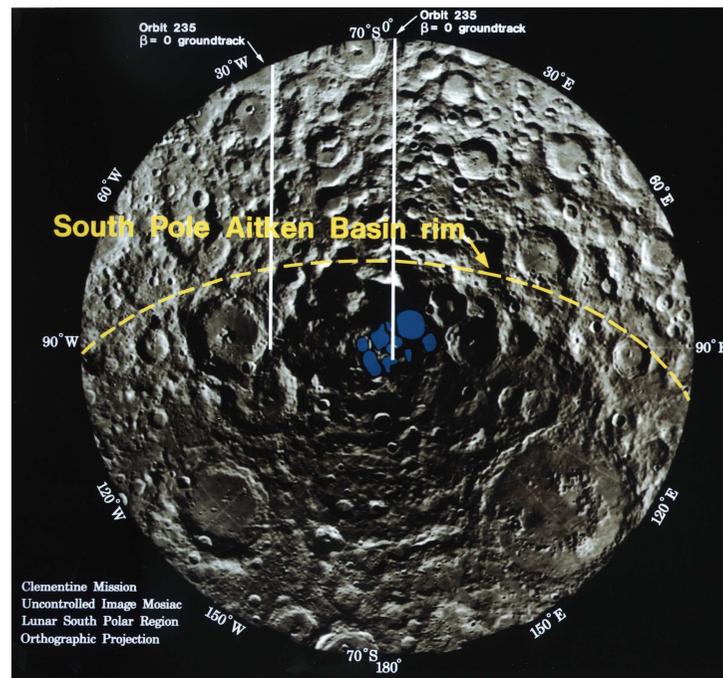


# Espectro da água



# Gelo na Lua

- Sondas orbitando a Lua analisaram sinais de radar de crateras vizinhas aos polos
- Evidência de gelo subsuperficial, em grandes quantidades.



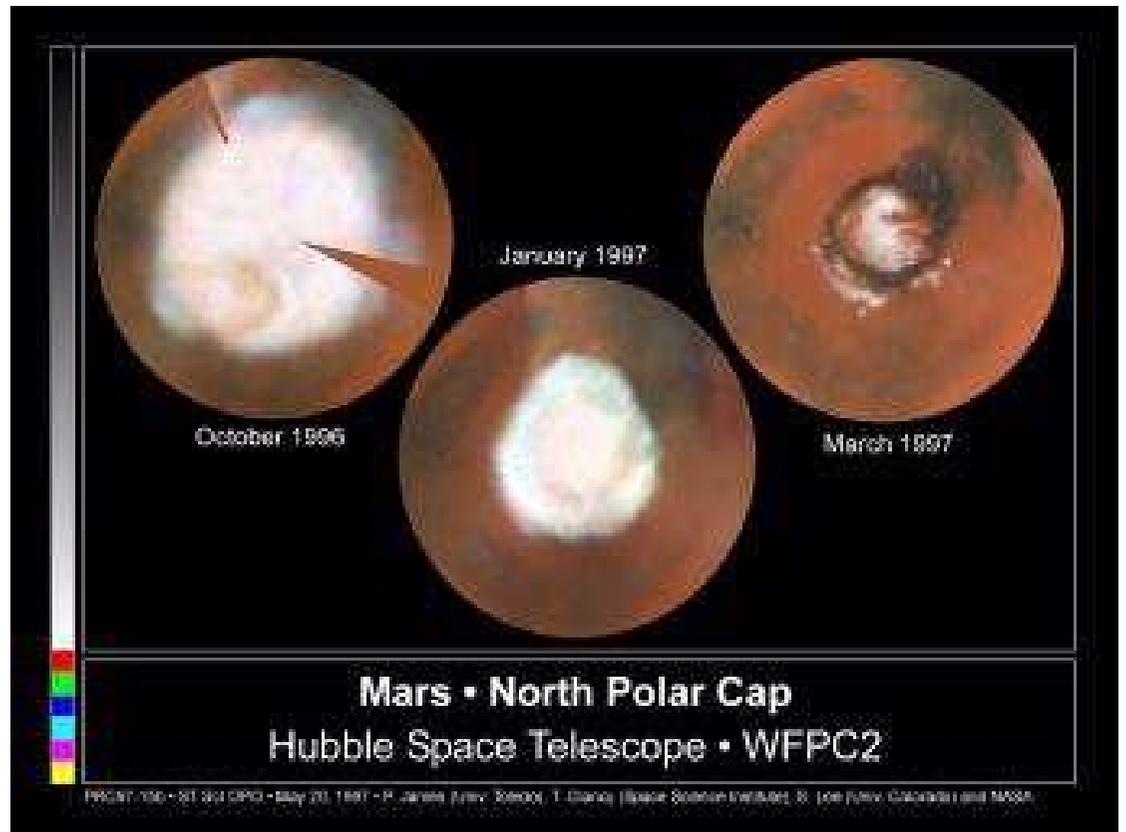
- Cometas são porções de poeira e de gases congelados, inclusive água, com órbitas muito oblongas (elípticas ou hiperbólicas) em torno do Sol.
- São às vezes chamados de “bolas de neve sujas”, embora tenham dimensão de muitos quilômetros.
- Quando se aproximam do Sol, parte do gelo funde e evapora, formando a cauda.
- Alguns astrônomos sugerem que os oceanos da Terra tenham sido cheios de água nas colisões de cometas.

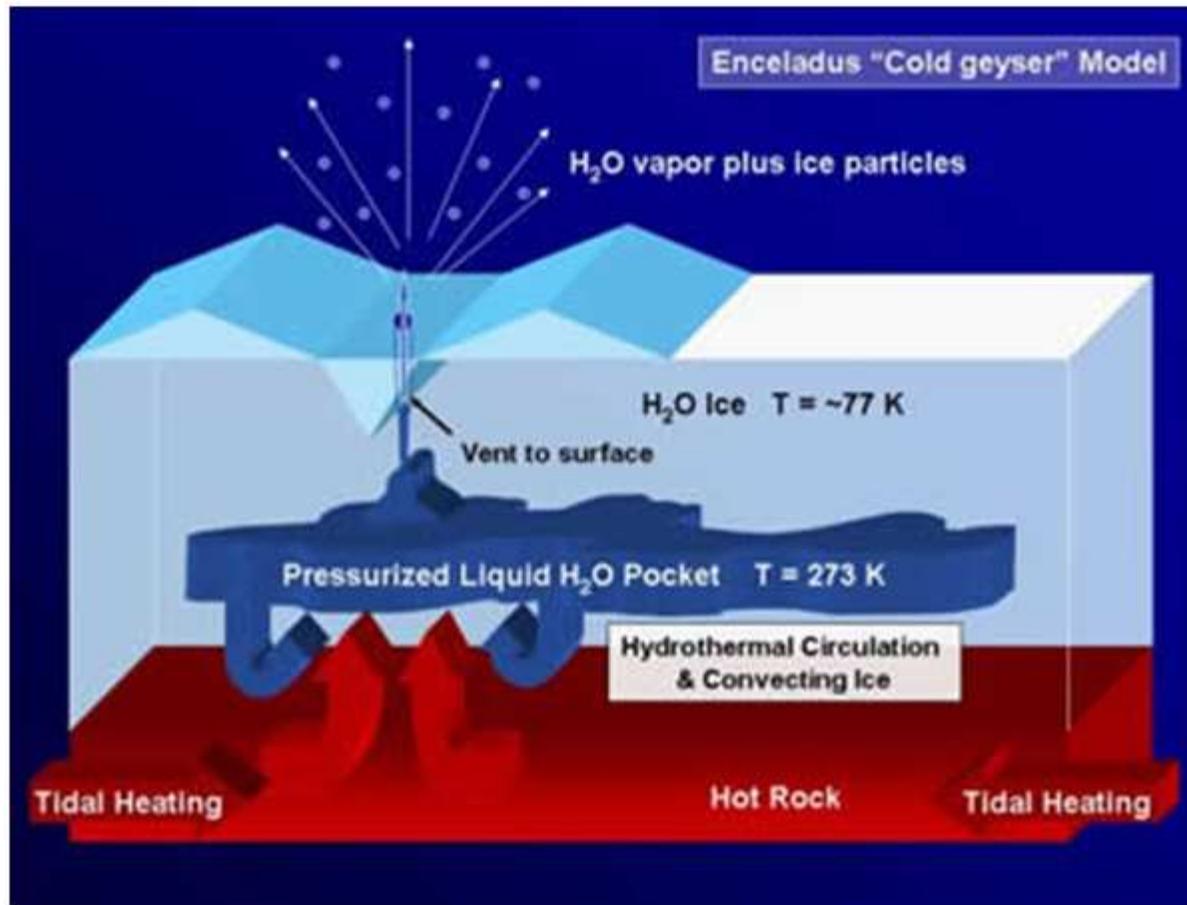
## Cometas



# Marte

- As fotos antigas de Marte já mostram estruturas longas e rugosas que se assemelham a rios e canyons antigos.
  - Um canyon é tão longo quanto os Estados Unidos.
- Também há sinais de restos de inundações.
- A atmosfera de Marte é muito mais rarefeita que a da Terra, portanto a água não pode existir como líquido.
- É possível que haja água sub-superficial.
- Marte tem calotas polares que crescem no inverno e diminuem no verão.
  - As calotas são formadas principalmente por CO<sub>2</sub> congelado, mas foram detectadas pequenas quantidades de água.





Vulcanismo  
em  
**Enceladus**,  
lua de  
Saturno: um  
gêiser de  
água

This helps explain one of the enigmas of the Saturn's system: "As Cassini approached Saturn, we discovered that the Saturnian system is filled with oxygen atoms. At the time we had no idea where the oxygen was coming from," said Dr. Candy Hansen, Cassini scientist at NASA's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena. "Now we know that Enceladus is spewing out water molecules, which break down into oxygen and hydrogen." <http://news.softpedia.com/news/Cassini-Finds-Liquid-Water-on-Saturn-s-Moon-Enceladus-19478.shtml>



## Europa, satélite de Júpiter

- **A sonda espacial Galileu fotografou os quatro maiores satélites de Júpiter. A superfície de Europa aparece com muitas rachaduras, como gelo que é congelado e funde repetidamente. Pode existir um oceano líquido sob o gelo. Ganímedes também apresenta superfície semelhante, mas em menor escala.**

# Nuvens interestelares

- O espectro da água foi detectado em nuvens de gás e poeira.
- Foram detectados masers de água.
  - *Maser é o acrônimo de Microwave Amplification by the Stimulated Emission of Radiation.*
  - *Laser: (visível) Light Amplification ... .*
- Moléculas de água em masers nas nuvens interestelares são estimuladas pelas energias de estrelas próximas.
- Masers muito poderosos foram detectados próximo aos centros de outras galáxias.

# De onde vem a energia para a excitação das moléculas de água?

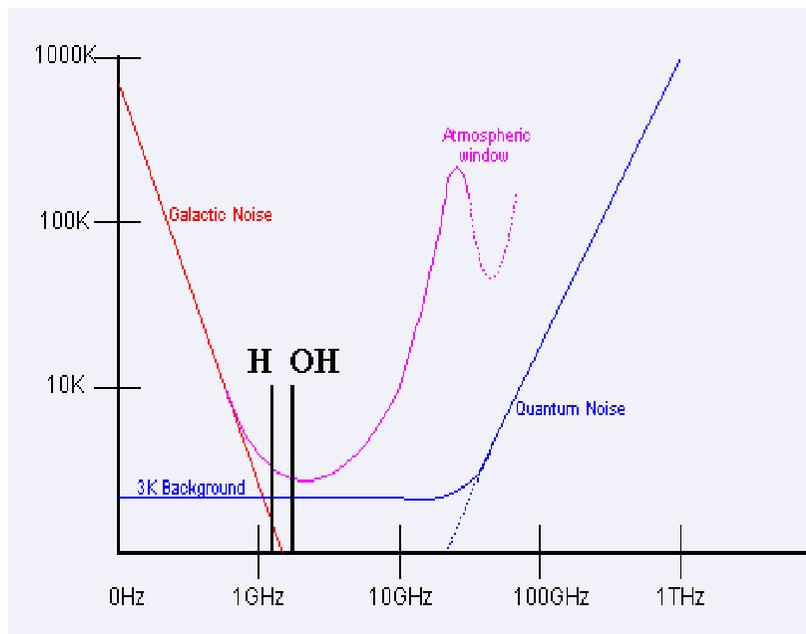
- Shocks with velocities exceeding some 20 km/s running into high-density magnetized material successfully explain the water maser emission (Hollenbach & McKee 1989; Elitzur, Hollenbach & McKee 1989).

<http://www.metsahovi.fi/spectroscopy/masers.shtml>

# O Buraco de Água

- Janela espectral na faixa de ondas de rádio
  - 21 cm: emissão natural de hidrogênio;
  - 18 cm: emissão natural de OH.
- Usada na pesquisa sobre a existência de inteligência extra-terrestre (SETI).

1 GHz ~ 3 m



<http://www.setileague.org/general/waterhole.htm>

"Where shall we meet our neighbors?" he asked. "At the water-hole, where species have always gathered."

Barney Oliver

# Exercícios

- Quais são as características espectrais da água, que permitem sua identificação remota?
- Pode-se esperar detectar água supercrítica em ambiente extraterrestre?
- Pode-se esperar que exista água supercrítica em ambiente extraterrestre?
- Para ler sobre o espectro da água:  
<http://www.lsbu.ac.uk/water/vibrat.html>