

Fundamentos de Astronomia e Astrofísica

Formação do Sistema Solar COSMOGONIA

Prof. Tibério B. Vale

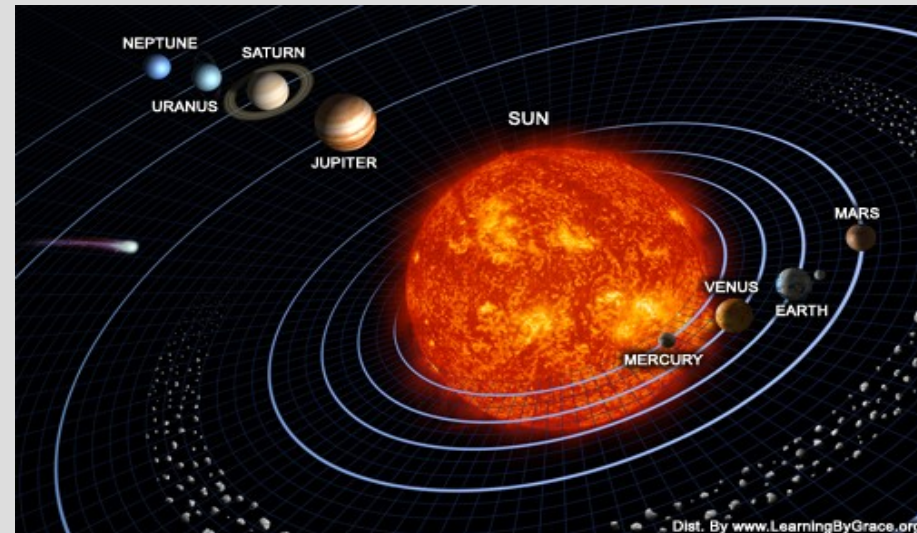
Requerimentos do Modelo

- As órbitas dos planetas são em sua maioria coplanares e paralelas ao equador Solar;
- As órbitas são quase circulares;
- Os planetas orbitam o Sol com orbitas no sentido anti-horário, que é a direção da rotação solar;
- A maioria dos planetas rota no sentido anti-horário (exceto: Vênus e Urano);
- A distância deles ao Sol obedece a lei de Titus-Bode;
- Os planetas tem ~98% do momento angular do sistema solar, mas apenas 0.15% da massa;
- Planetas terrestre e Jovianos exibem diferenças físicas e químicas;
- A estrutura dos satélites dos sistemas planetários lembram sistemas solares em miniaturas.

Várias teorias

Ao longo dos séculos foram desenvolvidos vários modelos para descrever o Sistema Solar. Os principais são:

- 1- Modelos baseados em turbulência;
- 2- Teoria Nebular (antiga);
- 3- Teoria de Forças de Maré;
- 4- Teorias de Acreção;
- 5- Teoria Nebular (moderna).



Modelos baseados em turbulência



- Proposto por Decartes (1596-1650)
 - Primeira pessoa a propor um modelo científico para a existência do sistema solar;
- Em 1644, Decartes propôs uma teoria onde o universo e então cheio de éter e matéria, era cheio de vórtices de todos os tamanhos.
- Apenas qualitativo;
- Não explica o plano da eclíptica;
- Abandonado após a descoberta das leis de Newton.

Teoria Nebular - Antiga

- Proposto por Kant & Laplace em 1755;
- O conceito primitivo de nebulosa, de onde o Sol e o sistema solar nasceram;
- De acordo com Laplace a nebulosa contrai-se sob a influência da gravidade e sua velocidade rotacional aumenta até que ela colapse em um disco.
- Subseqüentemente anéis de gás são ejetados e condensam em planetas e satélites.
- Este modelo explica todos os fenômenos observados durante o século XVIII.

Teoria Nebular - Antiga

- Vários problemas no Século XIX;
- É difícil explicar a acreção de um planeta a partir de um anel de planetóides;
- O momento angular do sistema solar deveria estar em sua maioria no Sol, mas não é isso que se observa.
- A maior parte do momento angular está nos planetas (Júpiter – 60% e Saturno – 25%);
- Como a maior parte da massa do sistema solar está no Sol (99.8%) o Sol deveria ter retido a maior parte do momento angular do Sistema Solar;

Teorias de Força de Maré

- O primeiro a propor uma teoria **catastrófica** foi Buffon (1707-1788);
- **Sugeriu que o sistema solar surgiu de uma ejeção de material do Sol, causado por uma colisão com um cometa;**
- Esta teoria que não tem base científica foi abandonada (na época não se conhecia o material dos cometas);
- **Como haviam muitos problemas nas teorias de nebulosas (século XIX);**

Teorias de Força de Maré - Revisitada

- Como haviam muitos problemas nas teorias de nebulosas (século XIX);
- Colisão entre o Sol e outra estrela e os planeta se formaram de material condensado perdido pelo Sol (evento raro);
- Segundo está hipótese, no momento do encontro (ponto + próximo) um filamento do Sol foi arrancado e passou a circundar o Sol com momento angular alto;
- A condensação destes filamentos em grandes planetas é difícil de explicar.

Teorias de Força de Maré - Revisitada

- Na década de 30 surgiram modelos que sugerem que o Sol inicialmente fazia parte de um sistema binário e que os planetas se originaram da companheira;
- Na década de 60 Wolfson sugeriu que o encontro entre o Sol e uma proto-estrela e um filamento da proto-estrela condensou em planetas;
- Este tem a vantagem de levar em conta a composição química e isotrópica dos planetas vem de um meio frio e não de um filamento quente.

Teorias de Acreção

- São divididas basicamente em dois grupos que consideram a possibilidade do Sol acretar material interestelar;

Necessidade de ter outra estrela próxima;

Este arranjo permite que o material interestelar condense em planetas (Ponto de Lagrange)

Segundo Arrhenius & Alfén.

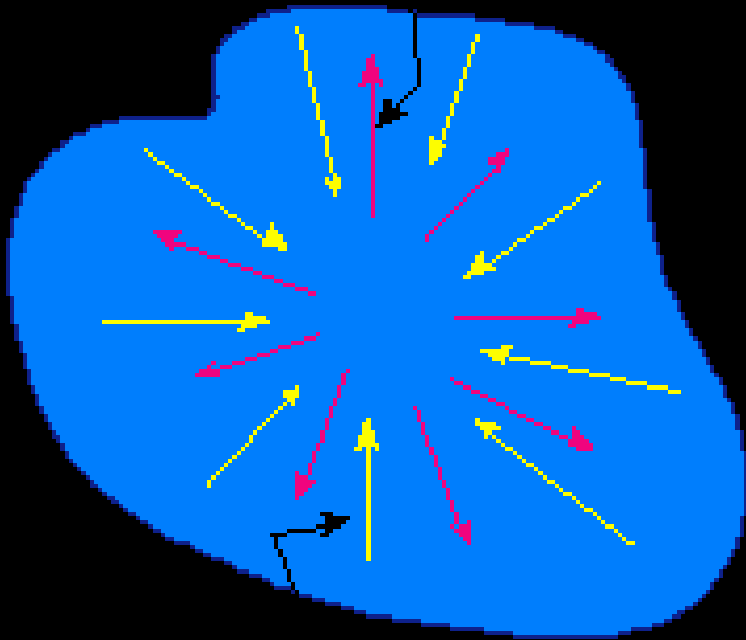
O Sol passou por duas nebulosas:

- Uma formada por grãos não voláteis (sólidos) – Planetas terrestres;
- Outra formada por H – Planetas Gigantes

Teoria nebular moderna

Baseada na Teoria Original de Laplace – Sol e Planetas foram formados quase simultaneamente.

Gas pressure attempting to expand the cloud



Gravitational force attempting to collapse the cloud

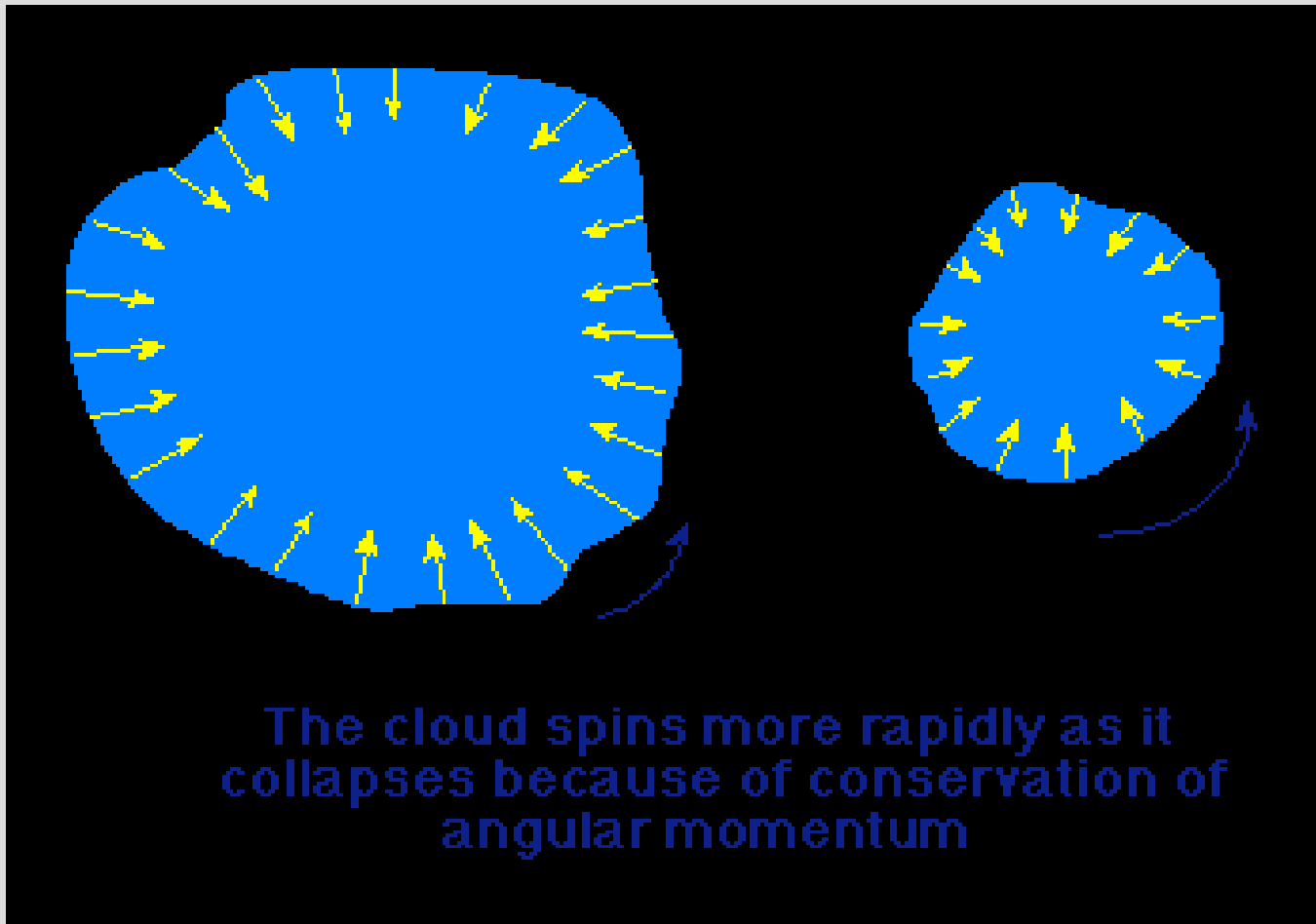
Massa da nuvem primordial =
Massa de Jeans $> 10^5$ Msol

A nuvem colapsa gravitacionalmente.

Força gravitacional x pressão

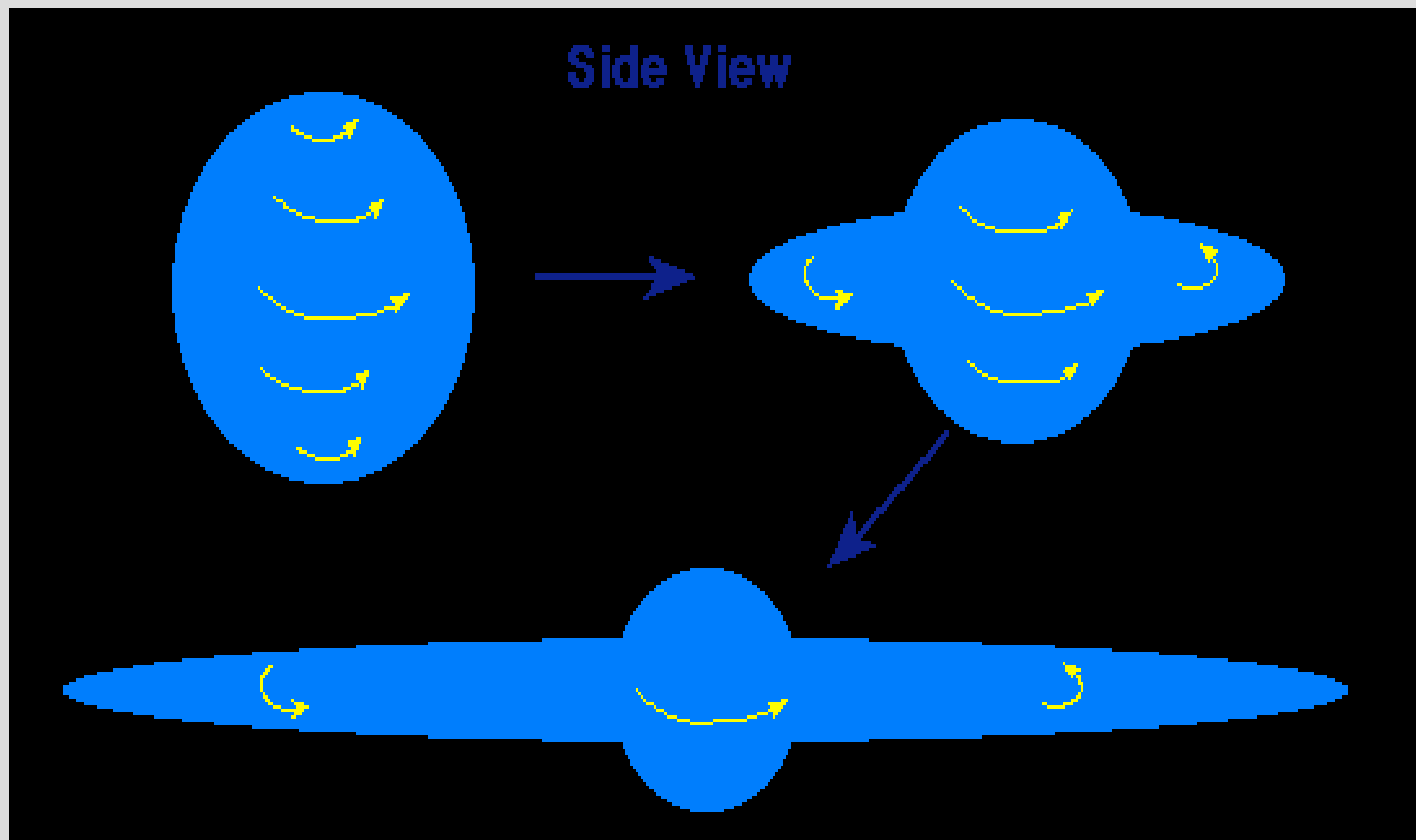
Teoria nebular moderna

A nuvem gira mais rapidamente enquanto a nuvem colapsa –
aumento de Spin



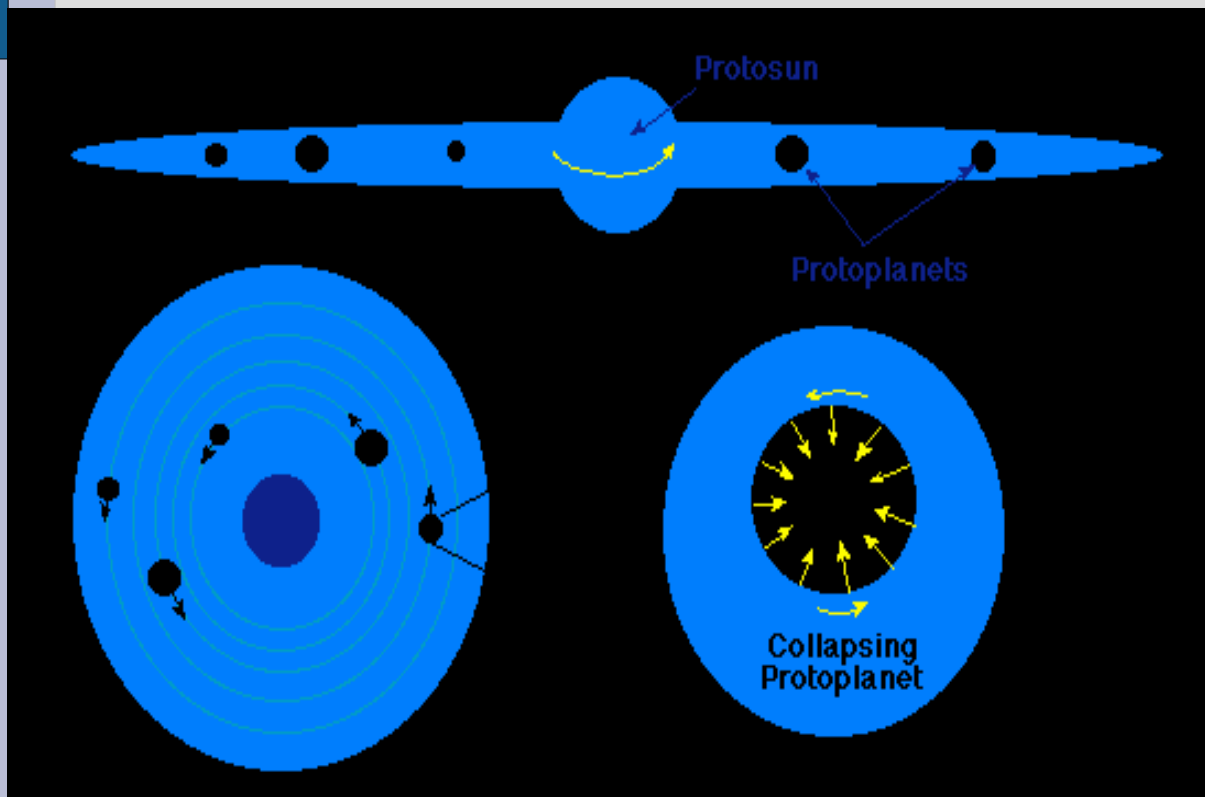
Teoria nebular moderna

Devido a competição entre a força gravitacional, pressão do gás e rotação, a nebulosa em contração começa a achatarse em uma panqueca em rotação com um bojo no centro.



Teoria nebular moderna

Enquanto a nebulosa colapsa, instabilidades no colapso, a rotação faz com que pontos localizados contraíam gravitacionalmente. Estas regiões se tornarão o Sol, os planetas (e suas luas) e corpos menores do Sistema Solar no futuro.



Teoria nebular moderna

Fornece algumas explicações naturais para alguns fatos observados no sistema solar, como:

a) A órbita dos planetas estão todas no mesmo plano com o Sol no centro (~circulares);

b) Os planetas todos revolvem na mesma direção

c) A maioria dos planetas rota na mesma direção com eixos de rotação aproximadamente perpendiculares ao plano orbital.

Teoria nebular moderna

A questão do momento angular é explicada pela perda de massa do Sol;

Uma estrela em rotação perde massa através do fluxo de partículas ao longo das linhas de força associadas ao centro de atividade magnética;

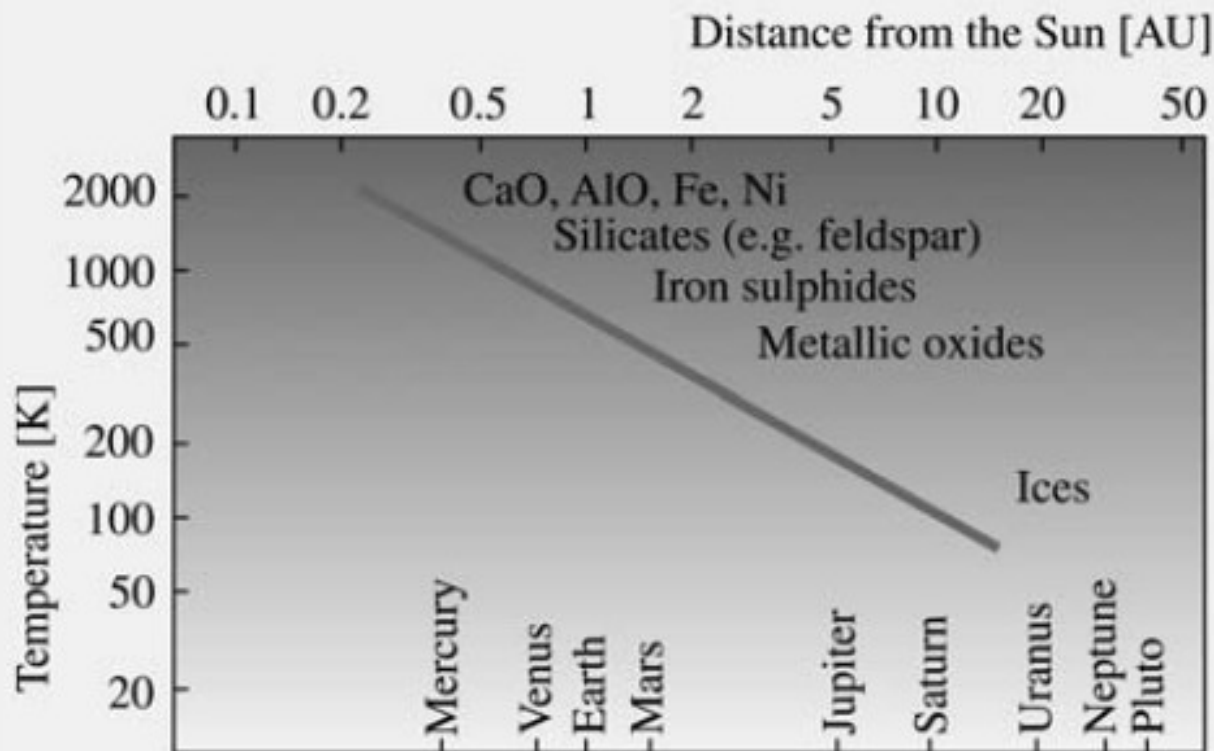
As partículas são transportadas a uma distância **a** muito maior que o raio **R** da estrela;

Uma pequena perda de massa é suficiente para levar o momento angular do Sol ao valor observado hoje ($a/R=10$ e $dM/dt = 0.003$)

$$L \sim \left(\frac{a}{R}\right)^2$$

Teoria nebular moderna

A distribuição de temperatura da nuvem primordial explica as diferentes composições químicas dos planetas.



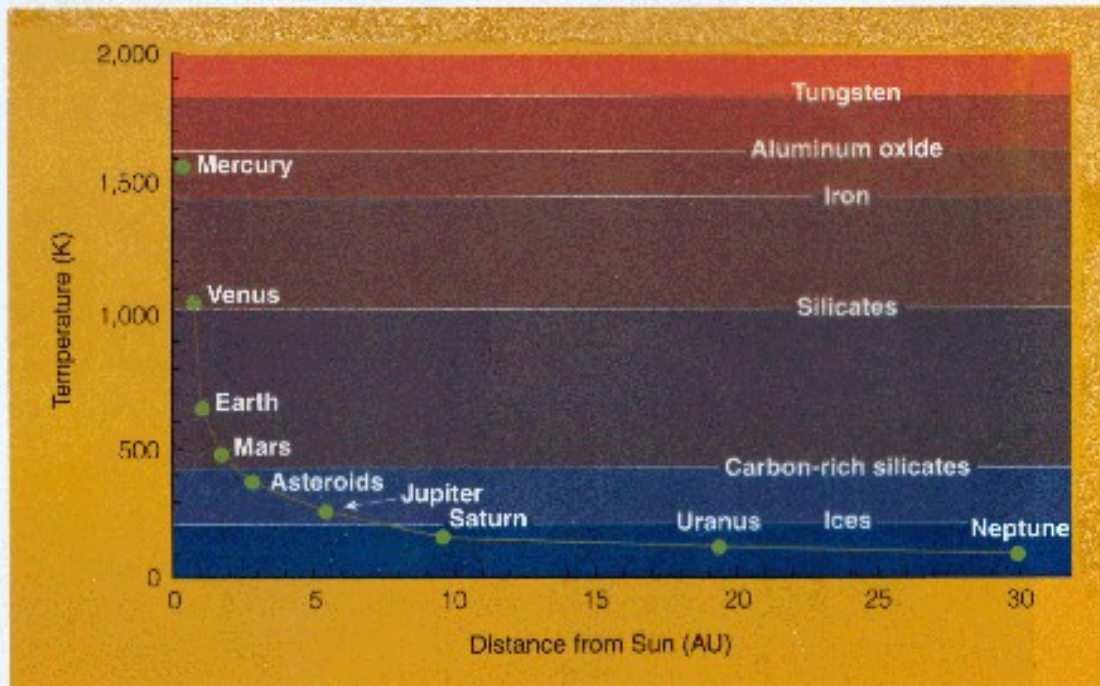
Elementos voláteis (H; He e gelo) estão ~ ausentes nos planetas interiores

Estes planetas são compostos basicamente por rochas, material que condensa a ~500K.

Teoria nebular moderna

A diferença de abundâncias químicas entre Mercúrio e Marte – mais FeO (500K) em Marte que em Mercúrio.

Condensation of different chemicals

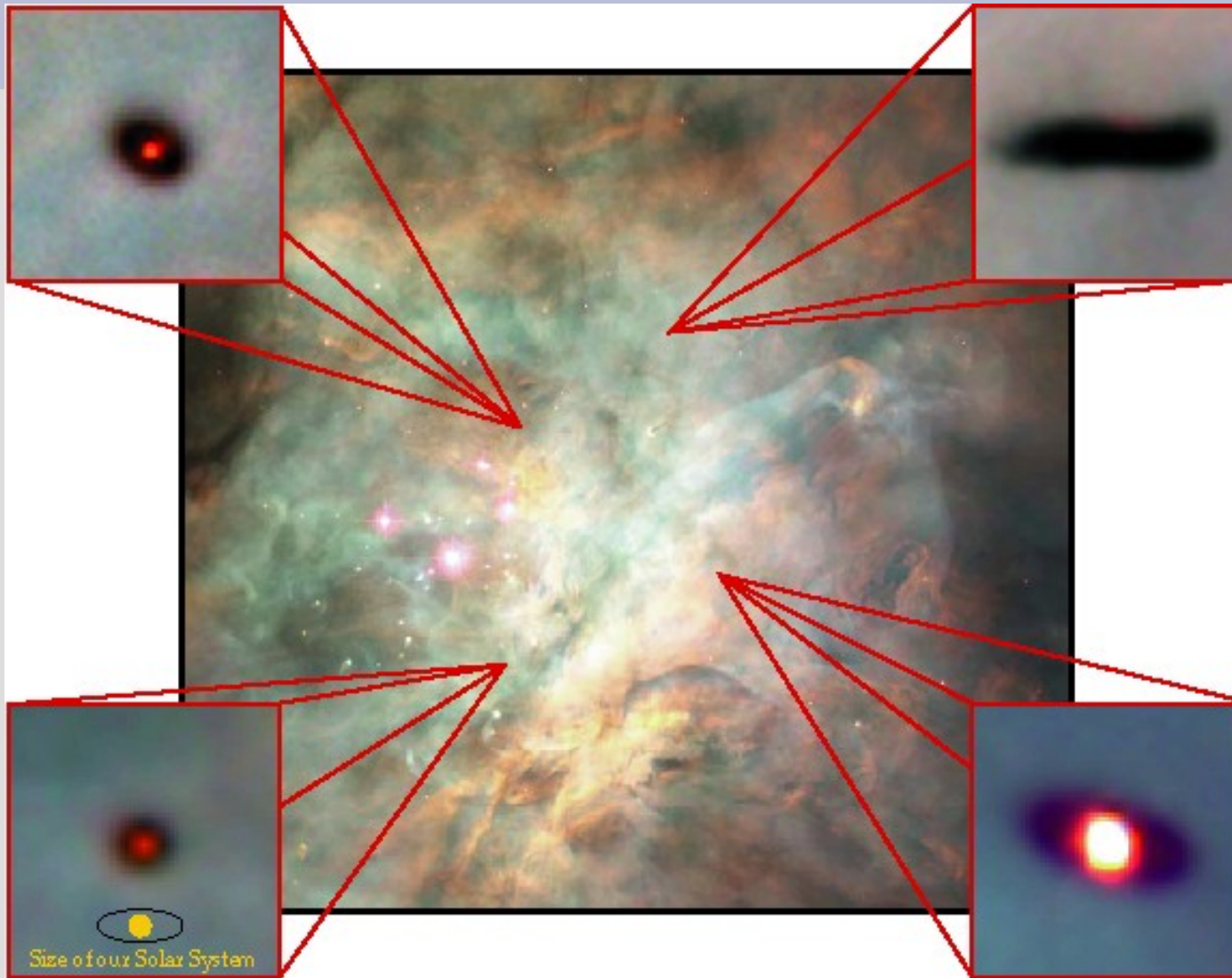


Na parte mais externa da nuvem os materiais voláteis condensaram e puderam ser acretados pelos planetesimais.

Os objetos na periferia do Sistema Solar (Cinturão de Kuiper) podem sobreviver.

O início das reações nucleares no Sol (1 Milhão de Anos) e o vento solar expulsa o material interestelar residual e marca o fim da formação do Sistema Solar.

Teoria nebular moderna – Outros Sistemas Planetários



Teoria nebular moderna – Outros Sistemas Planetários

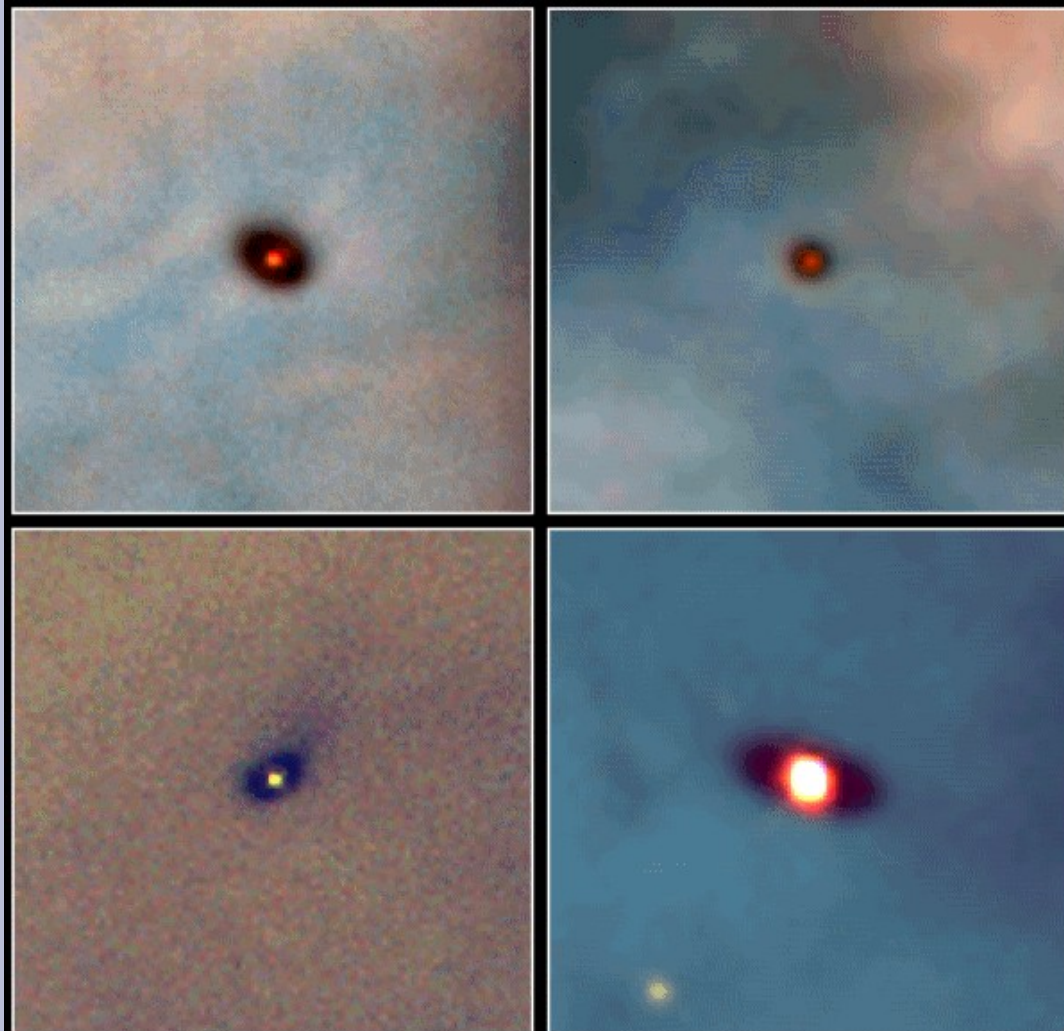


Imagem do HST de 4 discos proto-planetários

Diâmetros entre 2 e 8 vezes o diâmetro do Sistema Solar.

OrionAnim.mpg

**Protoplanetary Disks
Orion Nebula**

HST · WFPC2

PRC95-45b · ST ScI OPO · November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

Teoria nebular moderna – Outros Sistemas Planetários



Novidades com o satélite
Kepler

<http://kepler.nasa.gov/>