

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Departamento de Astronomia

Introdução à Astronomia
Complemento Forças Gravitacionais
Diferenciais

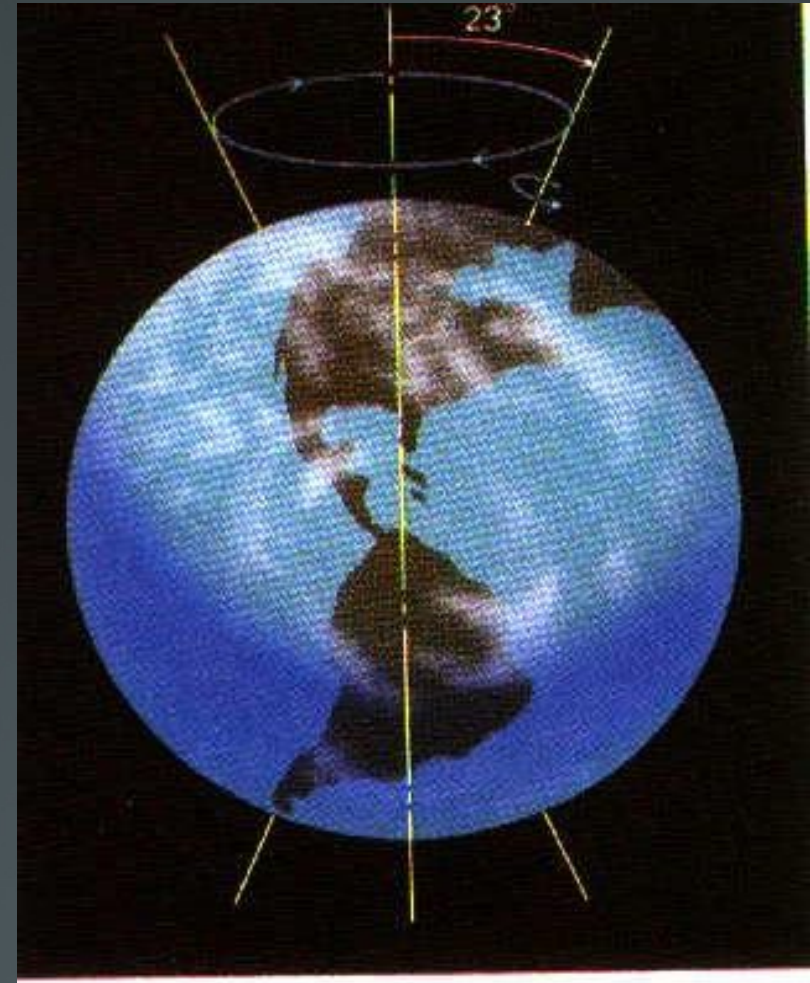
Prof. Rogério Riffel



Precessão do Eixo da Terra

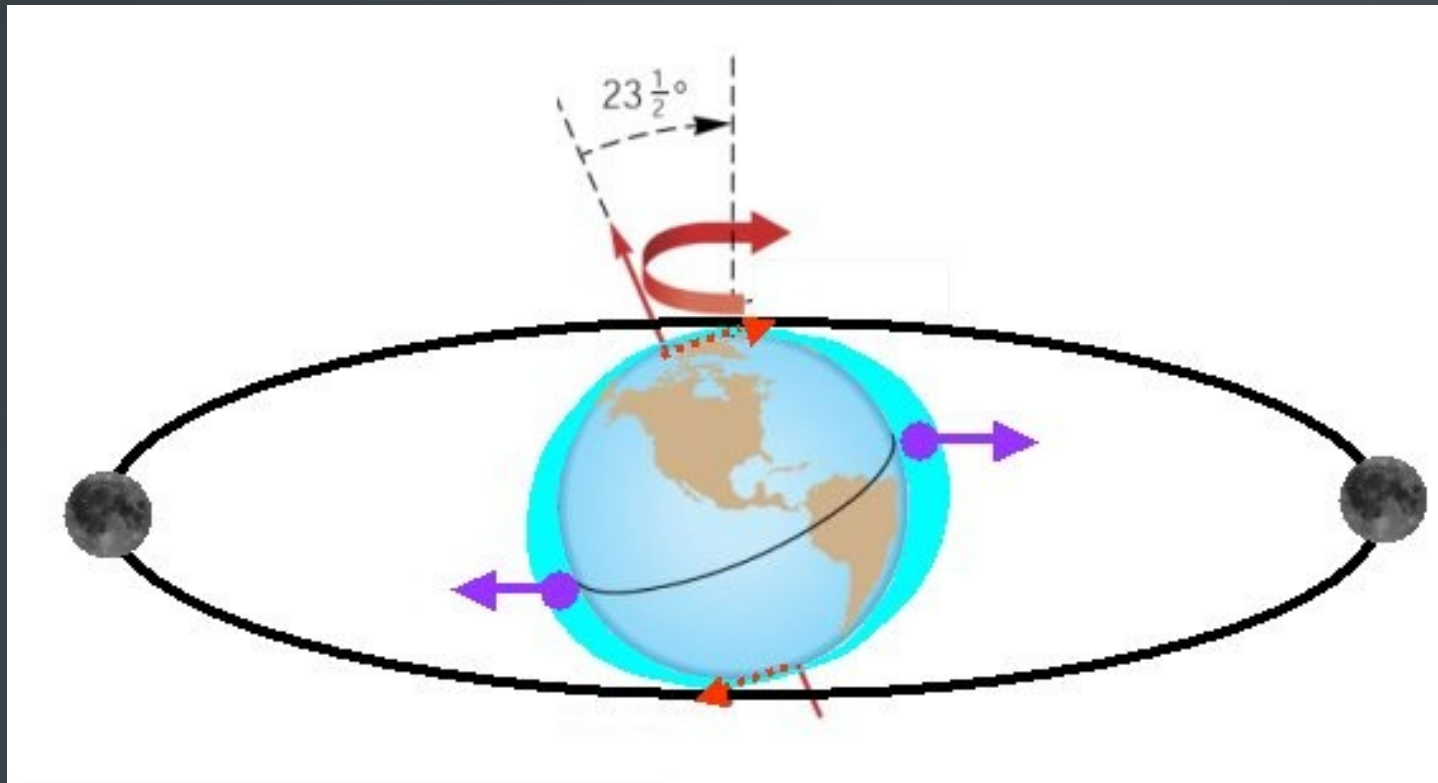
Causas:

- ◆ Assimetria da Terra (a Terra não é uma esfera perfeita);
- ◆ O plano do equador terrestre (plano do bojo equatorial) está inclinado $23^{\circ} 26' 21,418''$ em relação ao plano da eclíptica, que por sua vez está inclinado $5^{\circ} 8'$ em relação ao plano da órbita da Lua.
- ◆ As forças diferenciais não tendem apenas a achatá-la, mas também a “endireitar” seu eixo.



Precessão do Eixo da Terra

- Como a Terra está girando, o eixo da Terra não se alinha com o eixo da eclíptica, mas precessiona em torno dele, da mesma forma que um pião posto a girar precessiona em torno do eixo vertical ao solo.

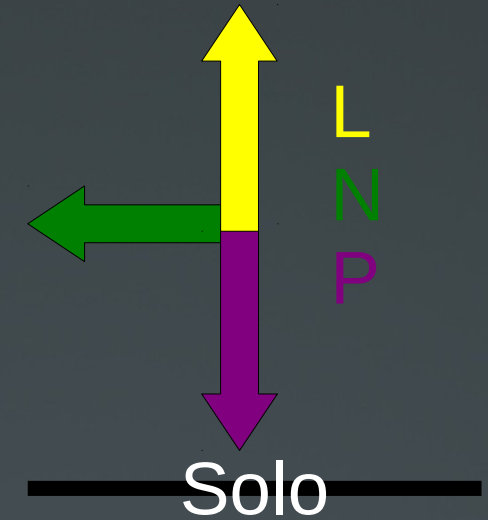


Precessão do Eixo da Terra

Torque

$$\vec{N} = \vec{r} \times m\vec{g}.$$

Como o torque é definido por:

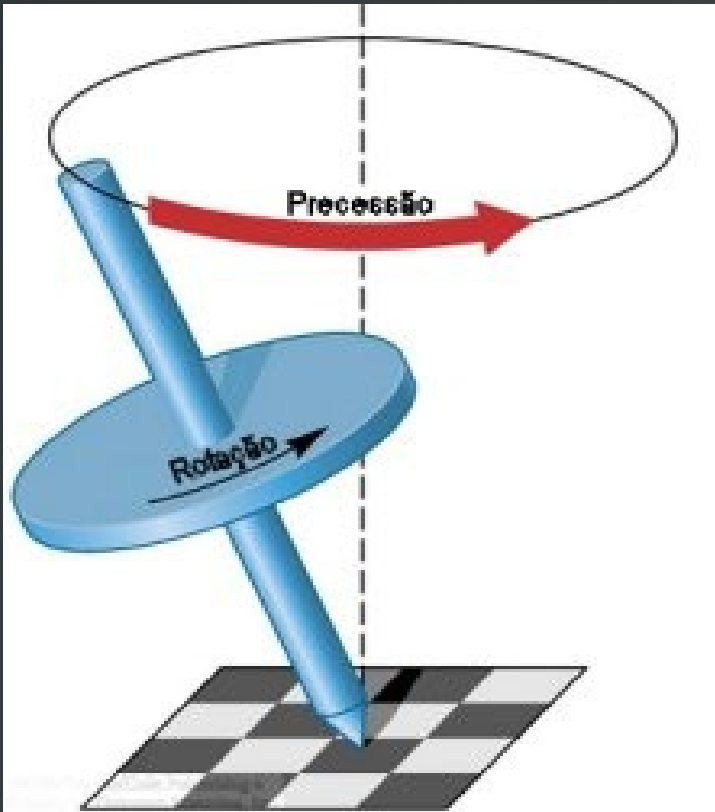


$$\vec{N} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$

$$d\vec{L} = \vec{N} dt$$

Seu efeito é variar o momentum do Pião

Como L e N são perpendiculares o torque não altera o módulo de L, apenas muda a sua direção, fazendo o Pião precessionar em torno do eixo perpendicular ao solo.

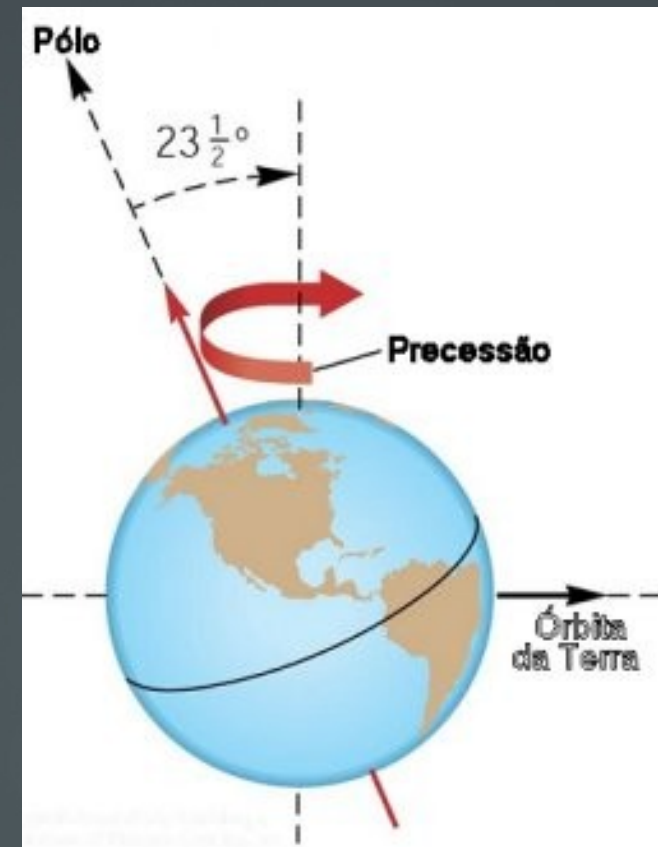


Precessão do Eixo da Terra

◆ No caso da Terra, as forças diferenciais gravitacionais da Lua e do Sol produzem um torque que tende a alinhar o eixo de rotação da Terra com o eixo da eclíptica, mas como esse torque é perpendicular ao momentum angular de rotação da Terra, seu efeito é mudar a direção do eixo de rotação, sem alterar sua inclinação.

◆ Os pólos celestes NÃO ocupam uma posição fixa no céu. Cada pólo celeste se move lentamente em torno do respectivo pólo da eclíptica, descrevendo uma circunferência em torno dele com raio de $23,5$ graus.

◆ Período é de 25 770 anos.



Precessão do Eixo da Terra

◆ Atualmente o Pólo Celeste Norte está nas proximidades da estrela Polar, na constelação da Ursa Menor, mas isso não será sempre assim. Daqui a cerca de 13000 anos ele estará nas proximidades da estrela Vega, na constelação de Lira.

A precessão não tem nenhum efeito importante sobre as estações (eixo mantém sua inclinação de 23,5);

Como o ano do nosso calendário é baseado nos equinócios, a primavera continua iniciando em setembro no hemisfério sul, e em março no hemisfério norte.



Introdução à Astronomia

Formação do Sistema Solar COSMOGONIA

Rogério Riffel



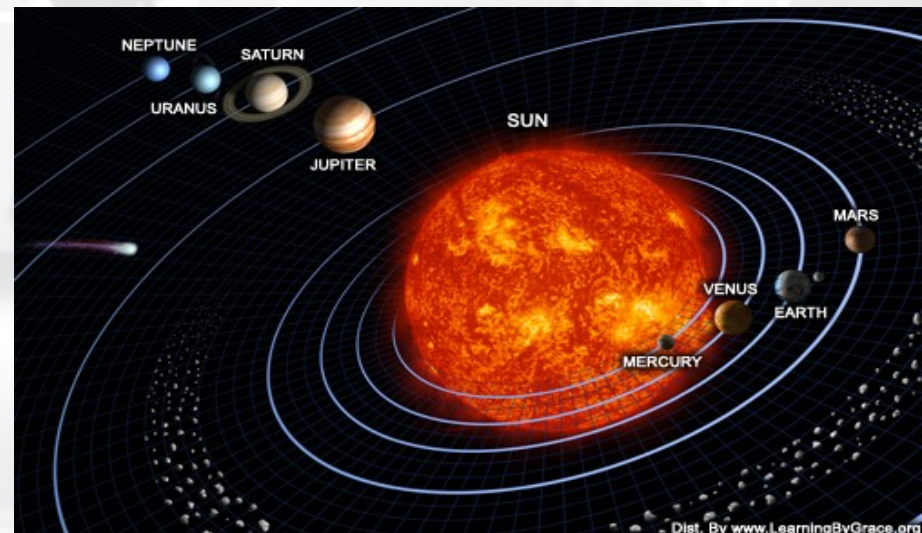
Requerimentos do Modelo

- 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)

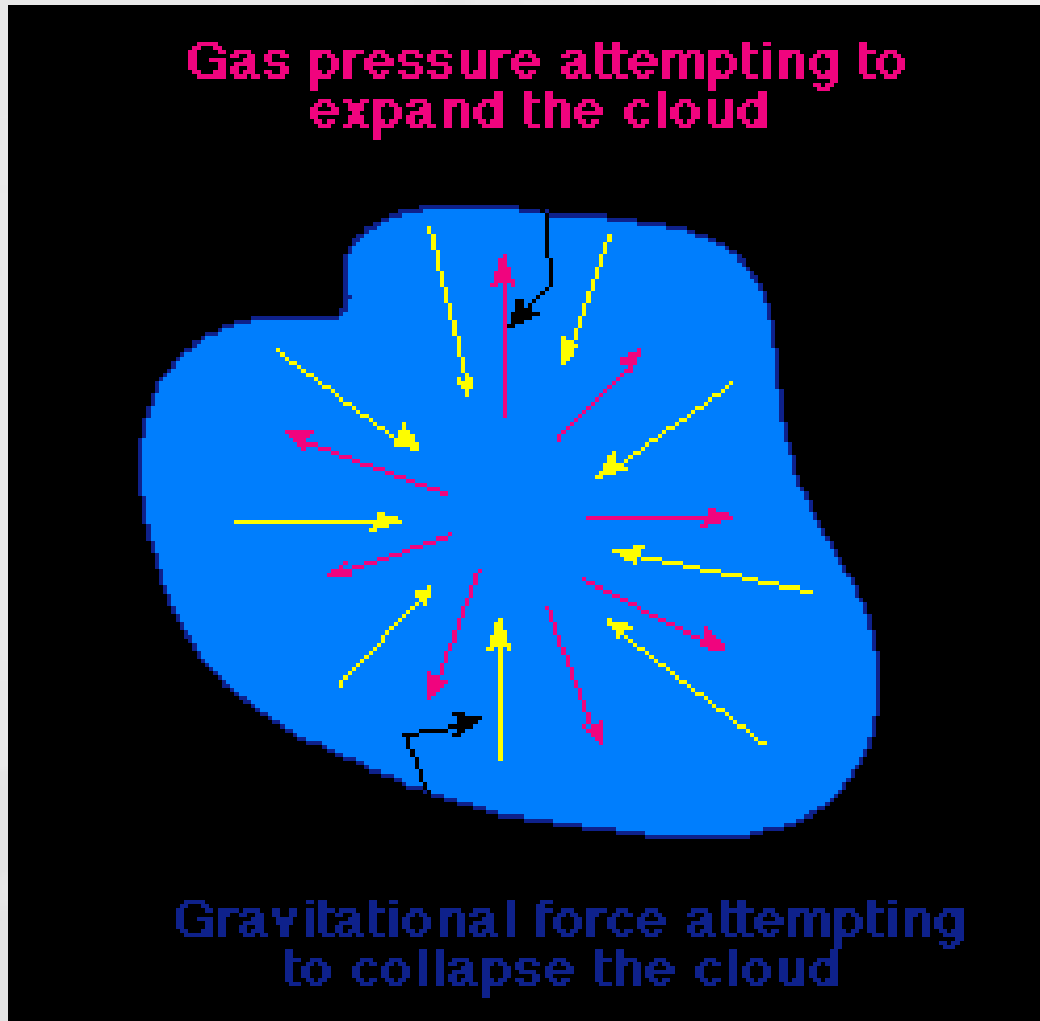
Segundo Arrhenius & Alfén.

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.



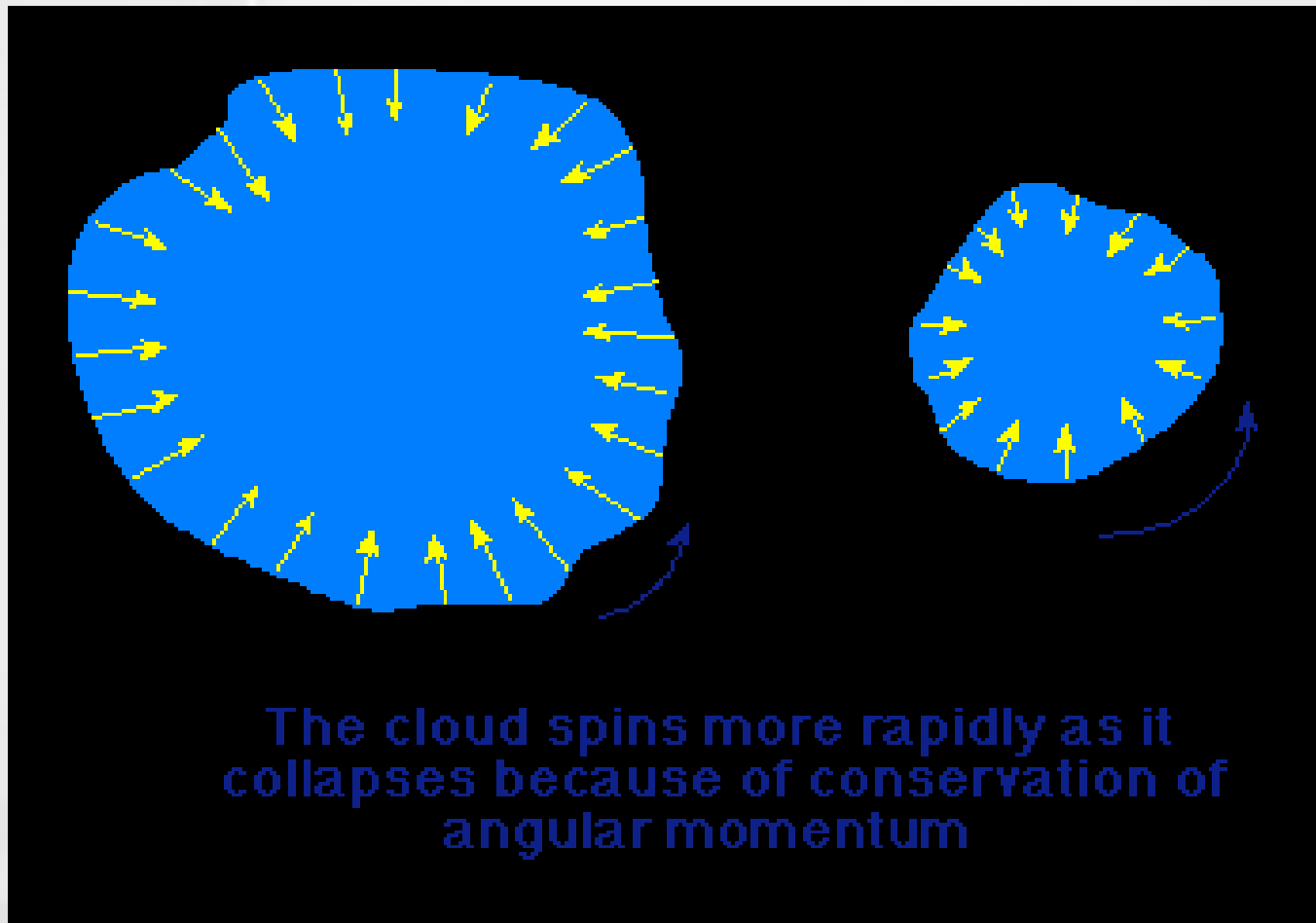
Massa da nuvem primordial =
Massa de Jeans $> 10^5 M_{\text{sol}}$

A nuvem colapsa gravitacionalmente.

Força gravitacional x pressão

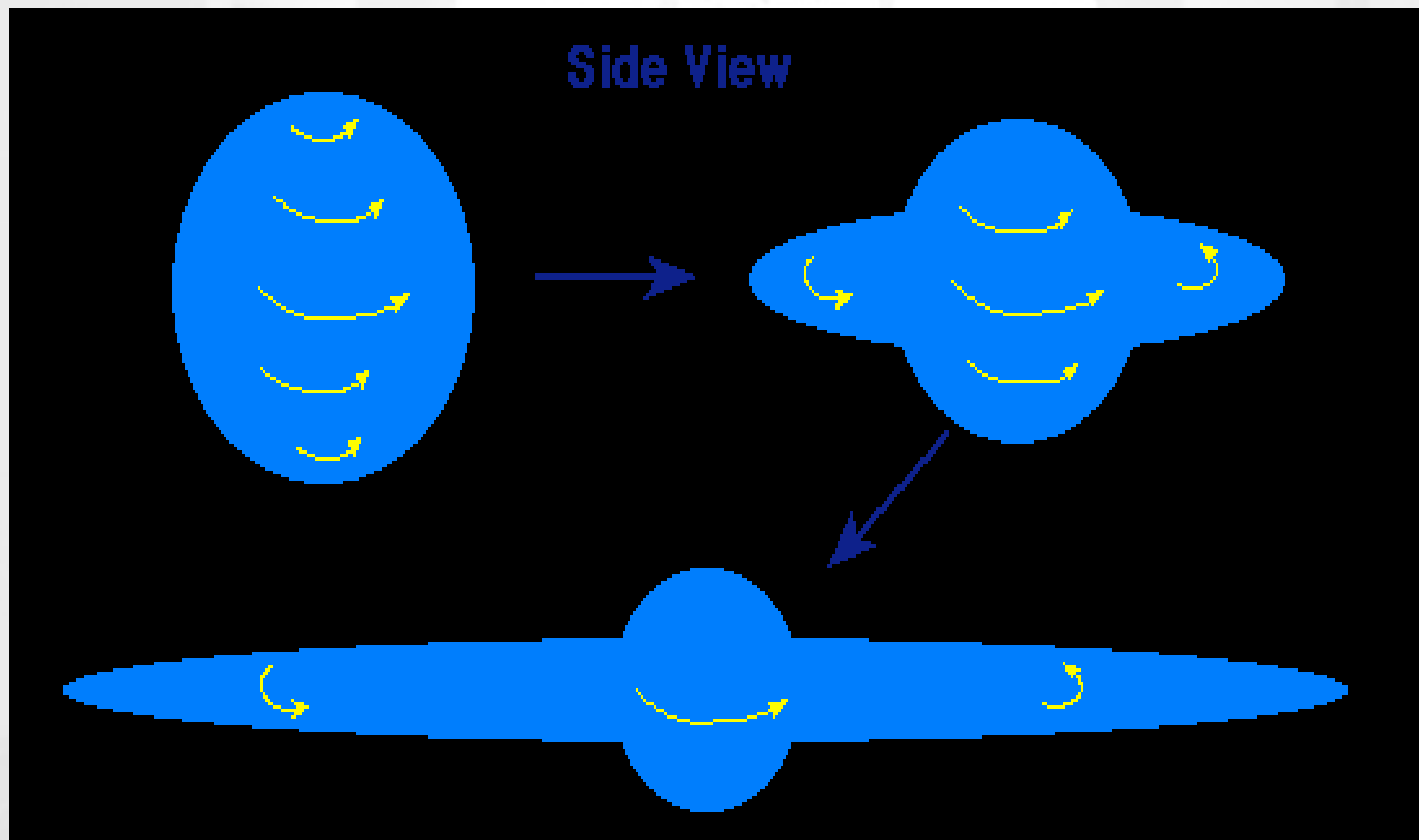
Teoria nebular moderna

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



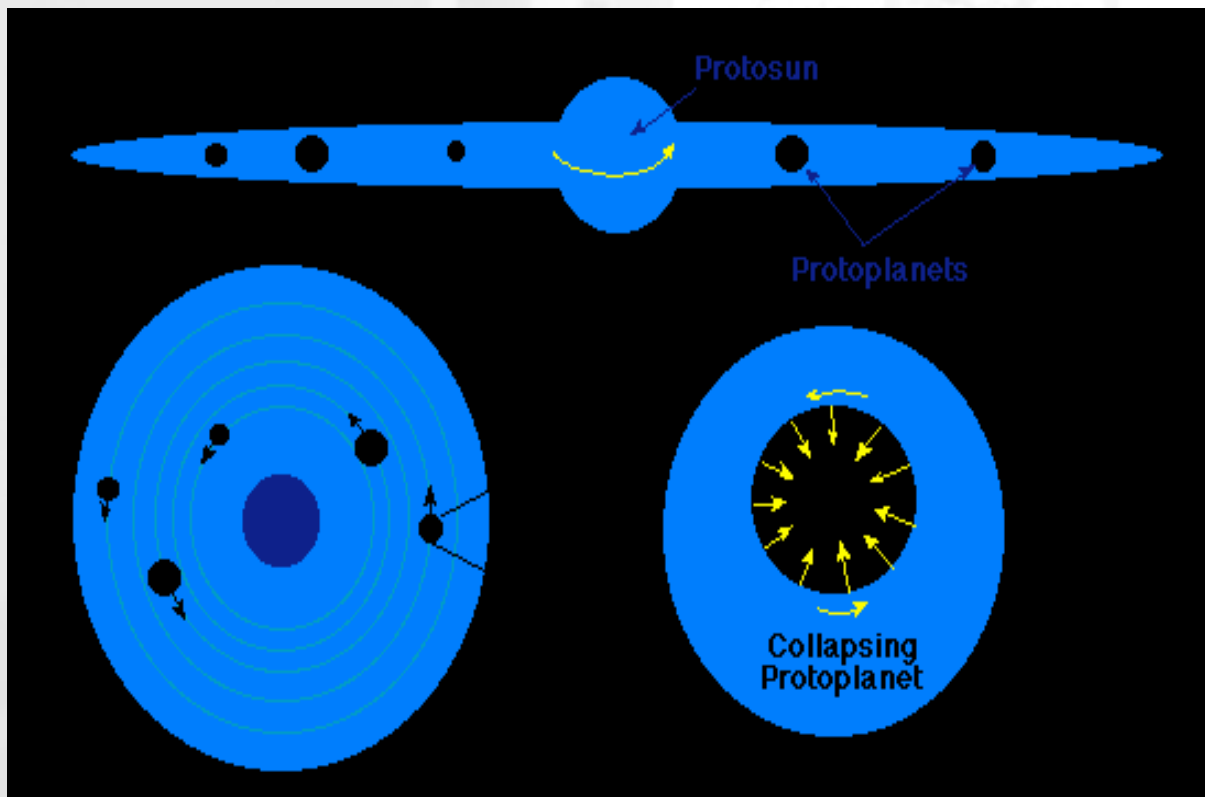
Teoria nebular moderna

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;

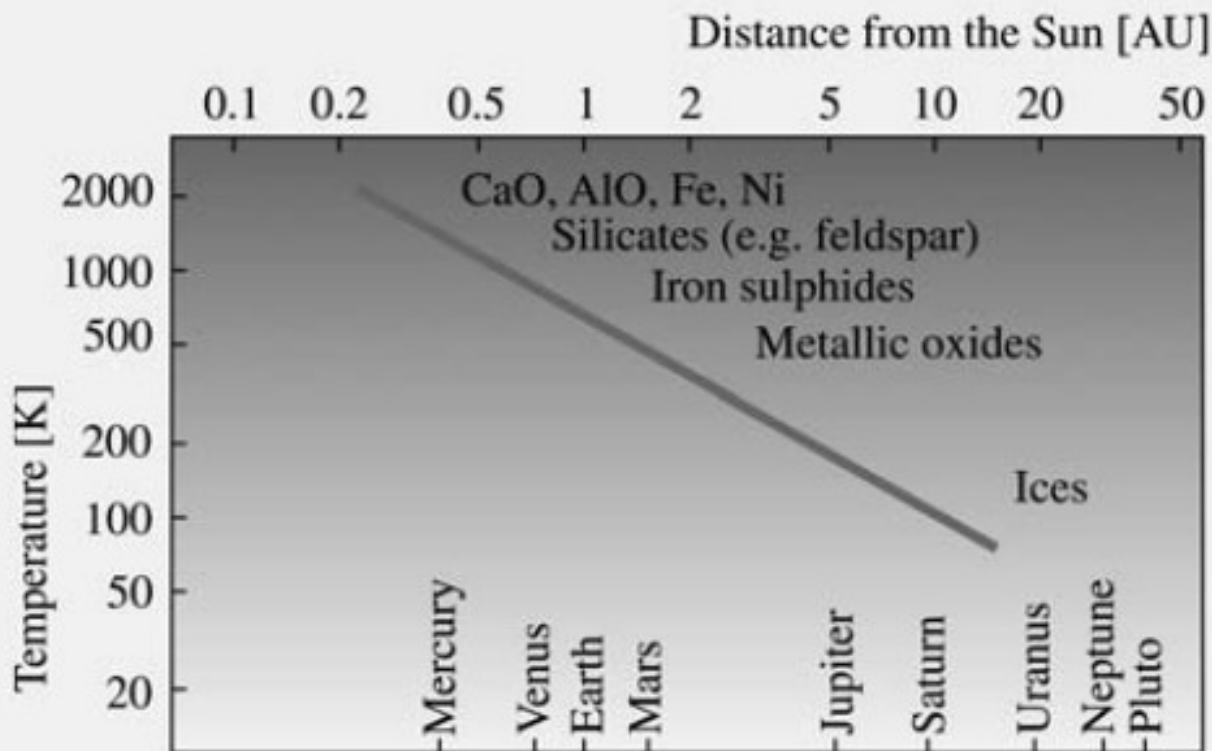
As partículas são transportadas a uma distância **a** muito maior que o raio **R** da estrela;

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.



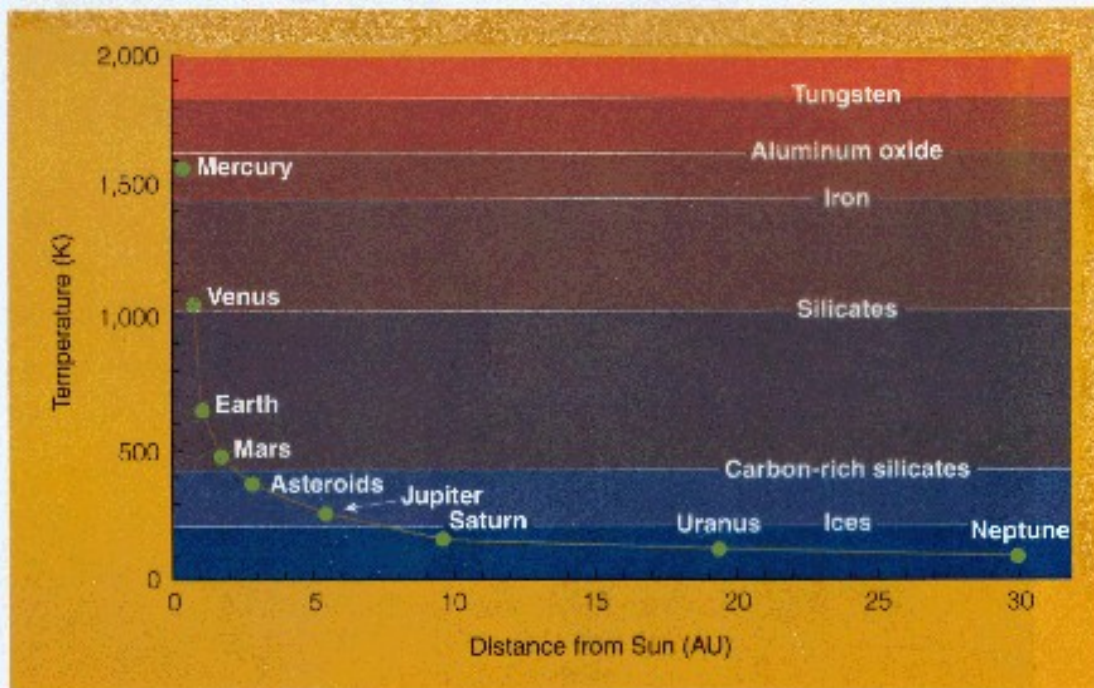
Elementos voláteis (H; He e gelo) estão ~ ausentes nos planetas interiores

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

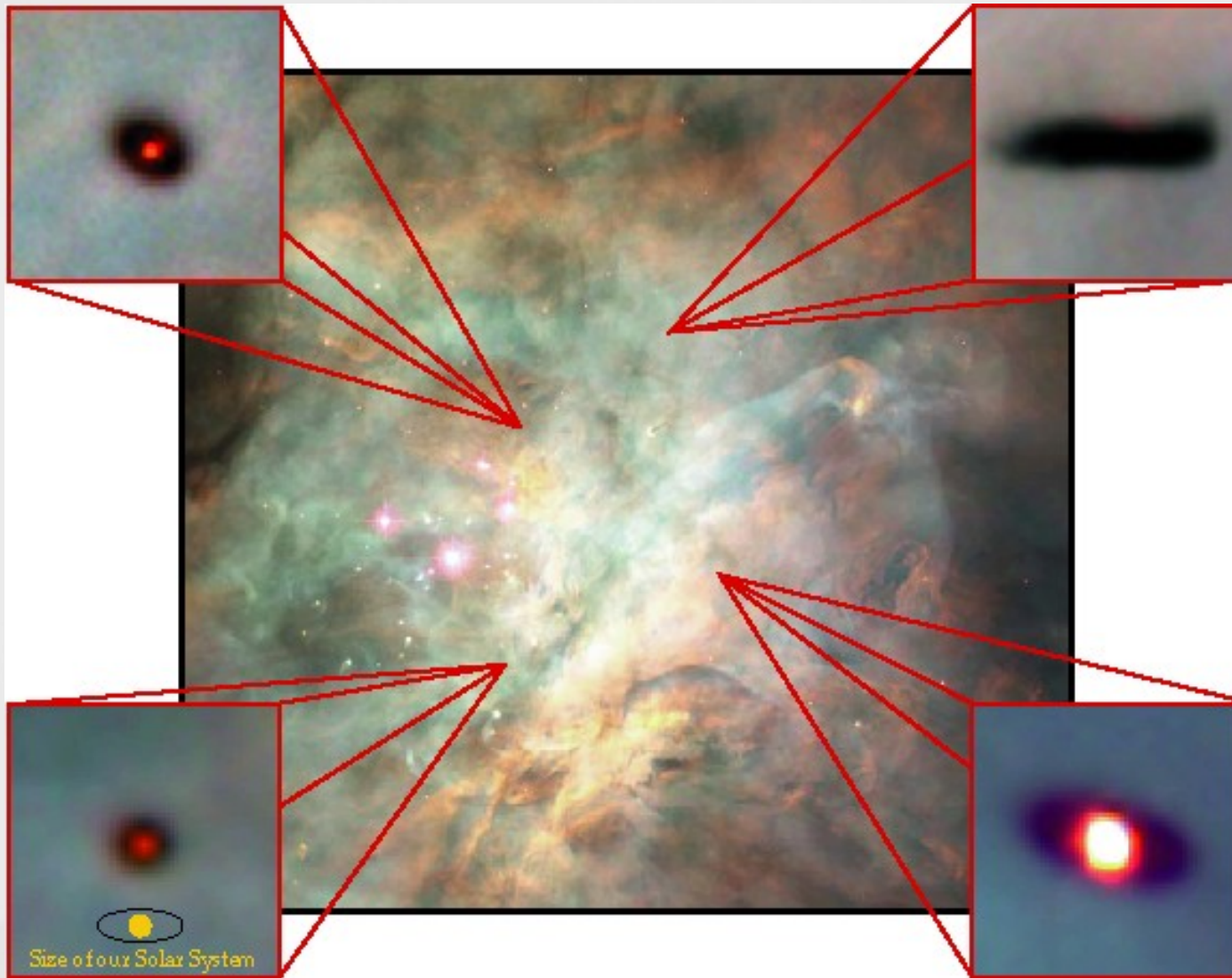


Na parte mais externa da nuvem os materiais voláteis condensaram e puderam ser acretados pelos planetesimais.

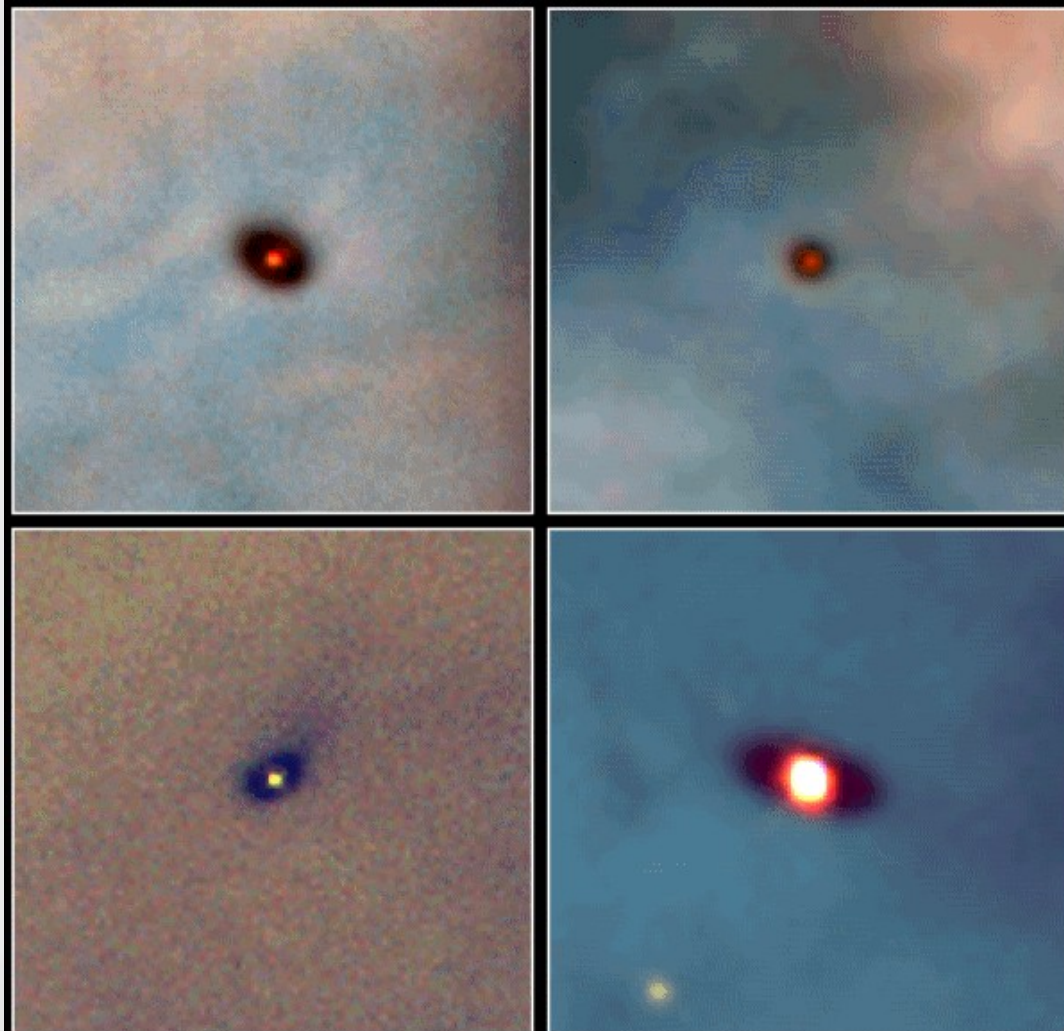
Os objetos na periferia do Sistema Solar (Cinturão de Kuiper) podem sobreviver.

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



**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

Imagem do HST de 4
discos proto-planetários

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

Filme:

<http://www.if.ufrgs.br/~riffel/fundamentos/OrionAnim.mpg>

Teoria nebular moderna – Outros Sistemas Planetários



Novidades com o satélite
Kepler e Corot

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

<http://smc.cnes.fr/COROT/>