

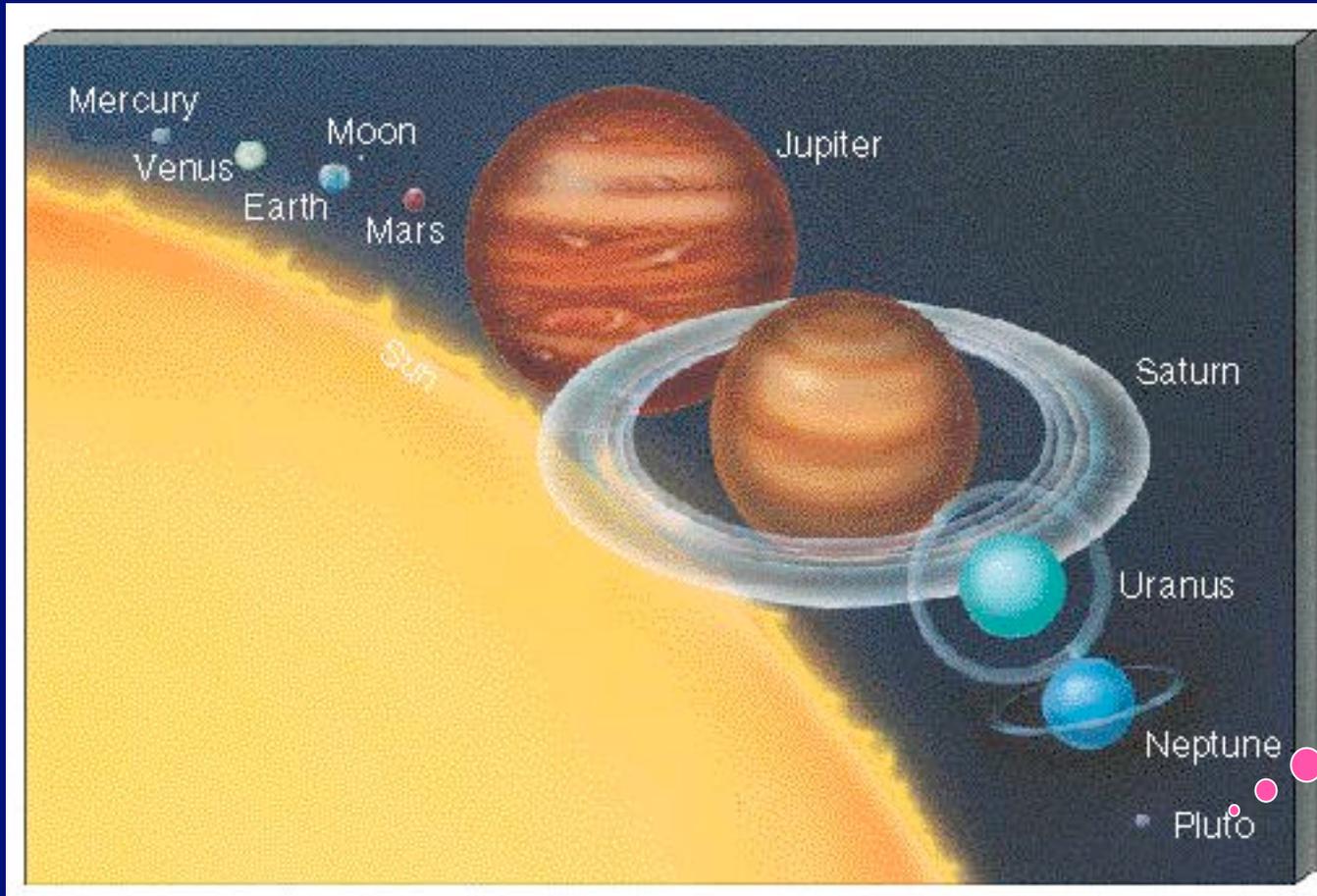
Sistema Solar

Regularidades

Formación del S.S.

Hipótesis colisional

Hipótesis Nebular

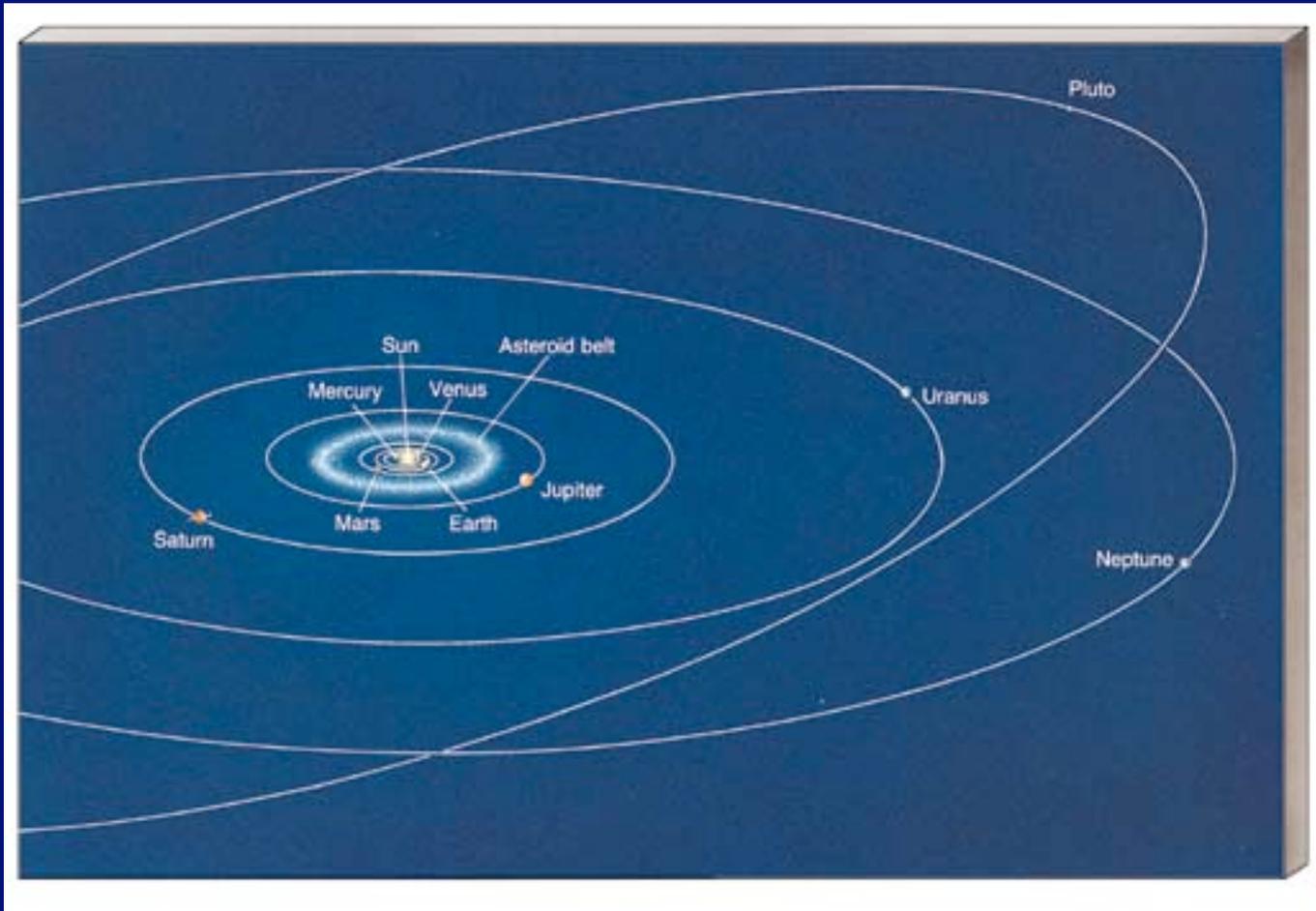


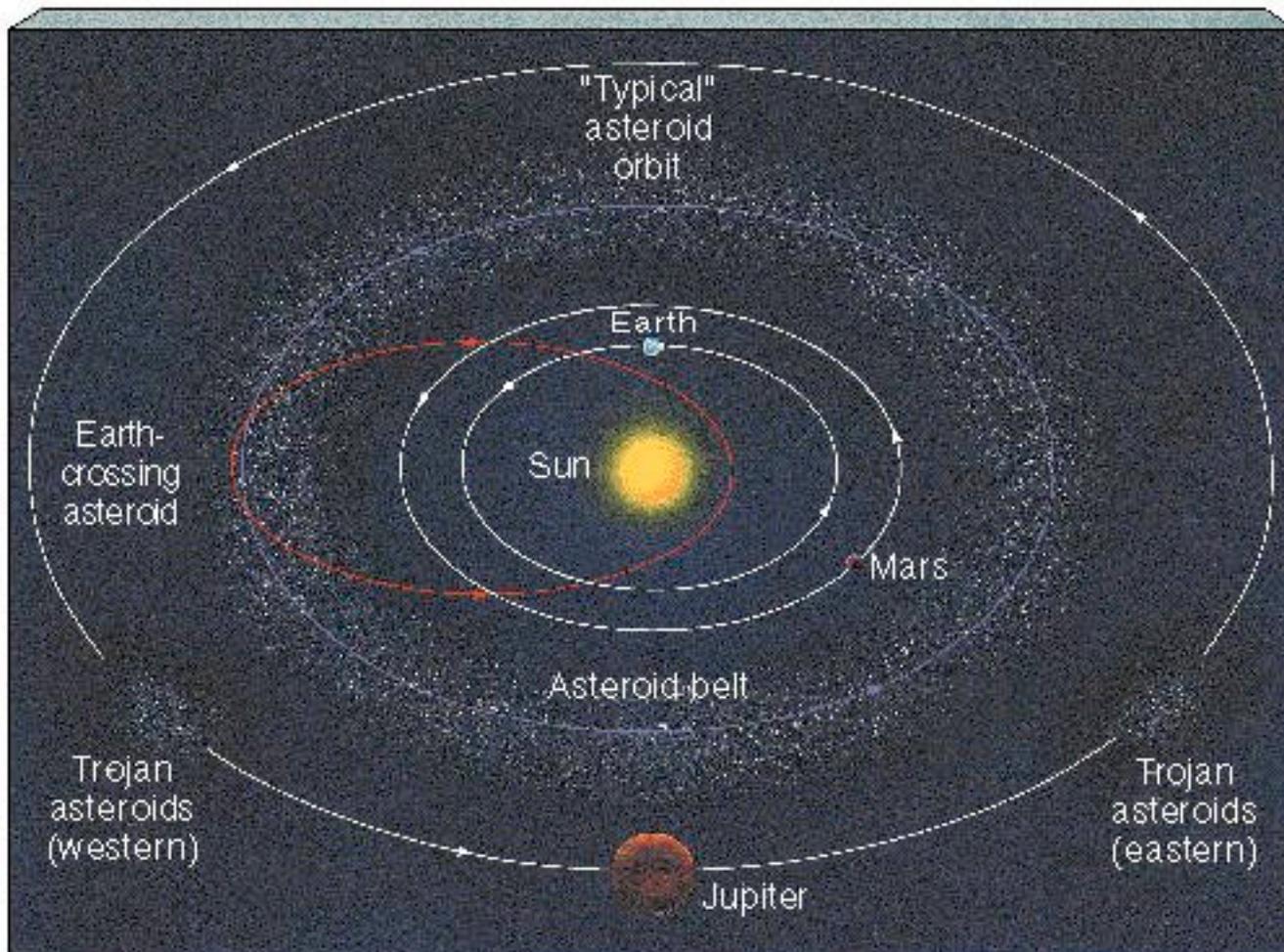
Ya no!

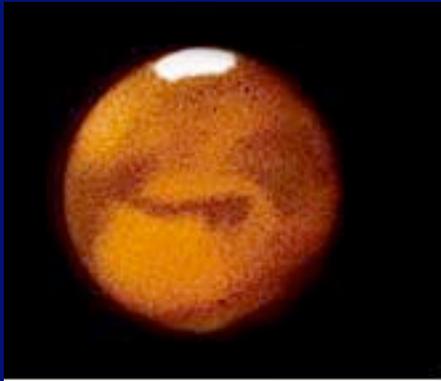
8 son los Planetas + plutonianos

- **En la antigüedad se conocían sólo 6 planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno**
- **Urano fue descubierto por accidente a fines del siglo 18.**
- **Neptuno se descubrió a partir de perturbaciones observadas en la órbita de Urano.**
- **En Agosto de 2006 la IAU declara que hay sólo 8 planetas en el Sistema Solar. El resto son de tipo plutonianos.**
- **Plutón se descubrió a fines de los años 30 buscando la fuente de las perturbaciones en la órbita de Neptuno.**

**Perturbaciones en el S.S. son pequeñas: ¿Es estable o inestable el Sistema Solar?
Nadie sabe (simulaciones)**



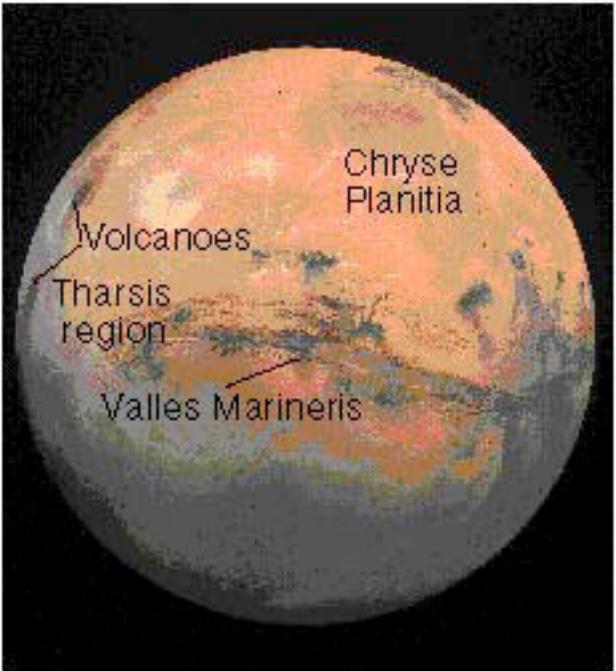




(a)

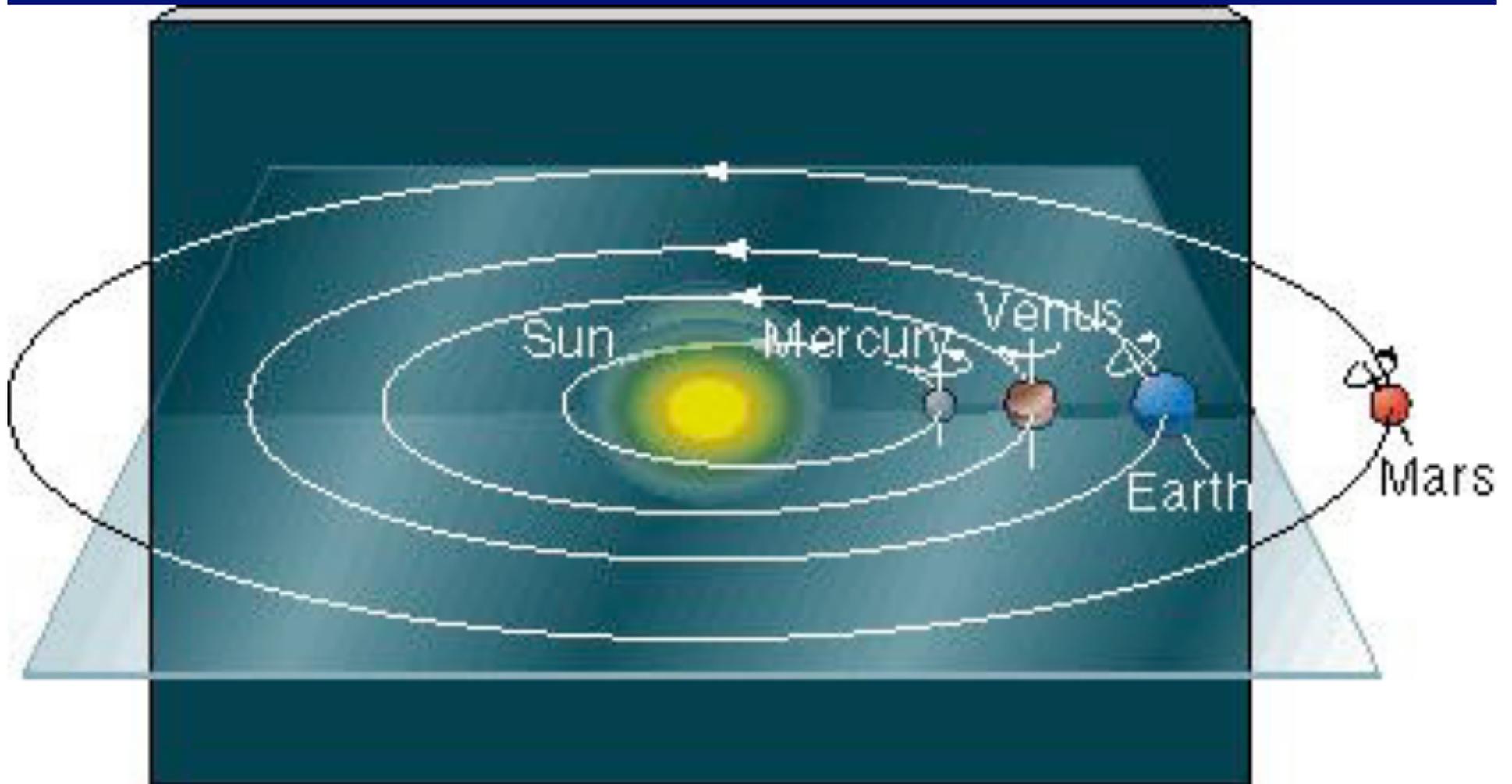


(b)



Sin embargo, el S.S. es muy regular

- **Existe la eclíptica, planetas orbitan en un mismo plano**
 - **Máxima inclinación, Mercurio (y Plutón), $\approx 5^\circ$**
- **Todos los planetas giran en torno al Sol en el mismo sentido; incluso el Sol (periodo de ≈ 25 días) rota en el mismo sentido.**
- **Elipticidades de las órbitas son muy pequeñas.**
 - **Kepler dice que las órbitas deben ser elipses.**
- **Muchos de los planetas rotan en el mismo sentido.**
 - **Venus rota en sentido contrario.**
 - **Urano rota alrededor de un eje que está inclinado en aprox. 90°**
 - **La Luna orbita y rota en un plano cerca de la eclíptica.**



Formación del S.S.

Estas regularidades no se explican ni con la teoría de Newton ni con las leyes Kepler

Las interacciones en el S.S. no son tan fuertes para generar las regularidades
(plano orbital, sentido rotación, órbitas circulares).

Hoy se piensa que las regularidades del S.S. que observamos son marcas de nacimiento.

✓ **Siglo 19 se pensaba que el S.S. se había formado por la colisión entre una estrella y el Sol. Esta estrella había arrastrado materia del Sol que posteriormente se condensó en los planetas**

✓ **explica la eclíptica**

Hipótesis Colisional

Hipótesis Colisional

Sin embargo, el choque entre estrellas es muy improbable.

- **Saturno es un mini S.S, tiene 18 lunas y anillos coplanares \Leftarrow ¿Es también producto de un choque? Improbable!**
- **Lo mismo con Urano, Júpiter y Neptuno**

Formación del S.S., cont. Hipótesis Nebular

**El Sistema Solar se formó de una
nube de gas y polvo**

REGIONES DE FORMACIÓN DE ESTRELLAS



Nebulosa Roseta



**Nebulosa oscura,
Barnard 86
en Sagitario**

Hipótesis Nebular

El Sol y los *planetas* se formaron de una *misma nube* al mismo tiempo.

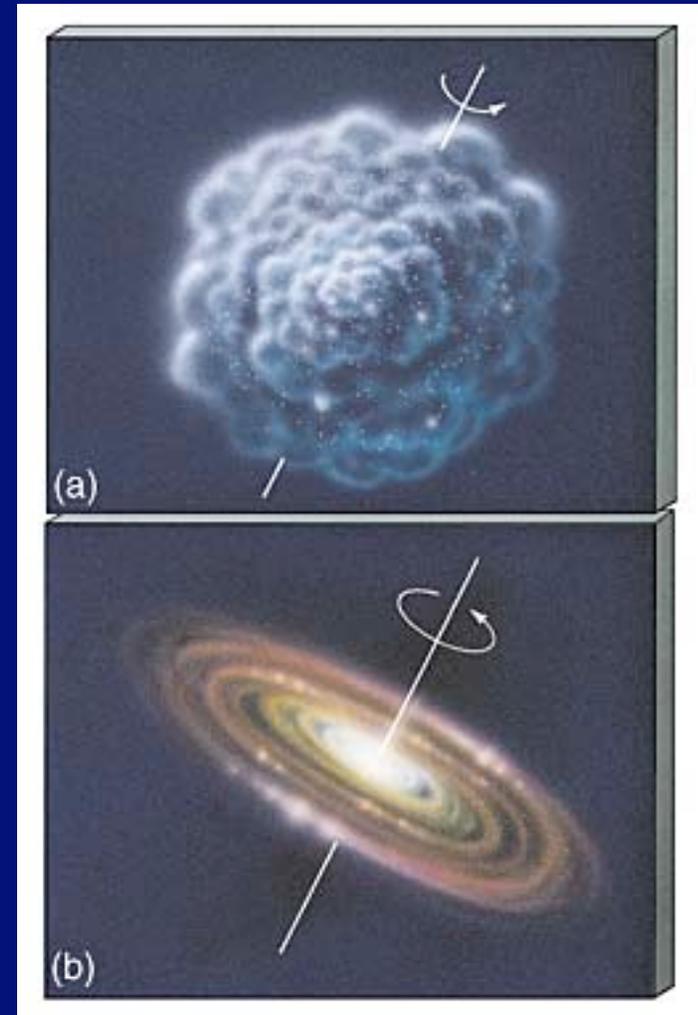
Nube rota lentamente

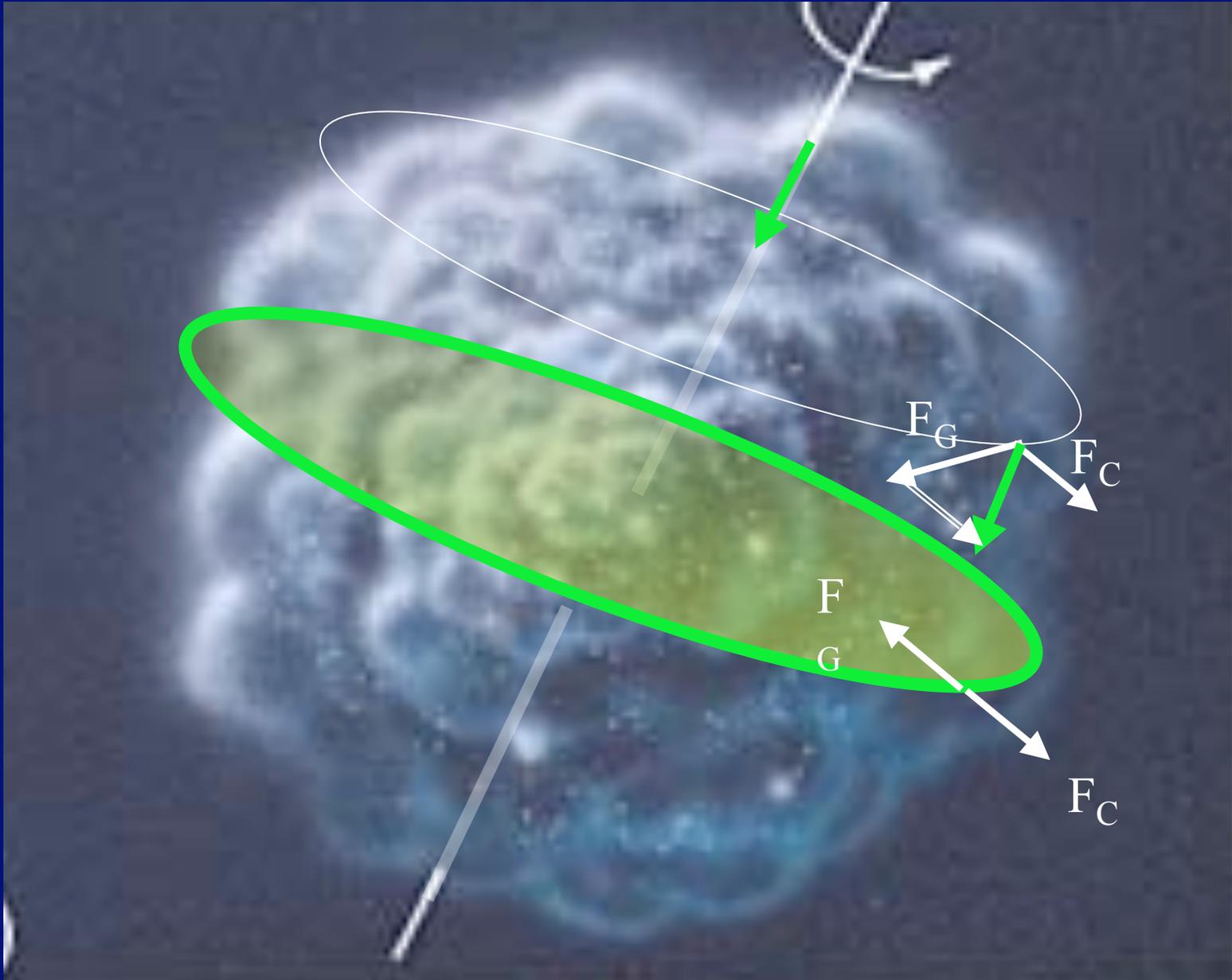
Colapsa por gravedad

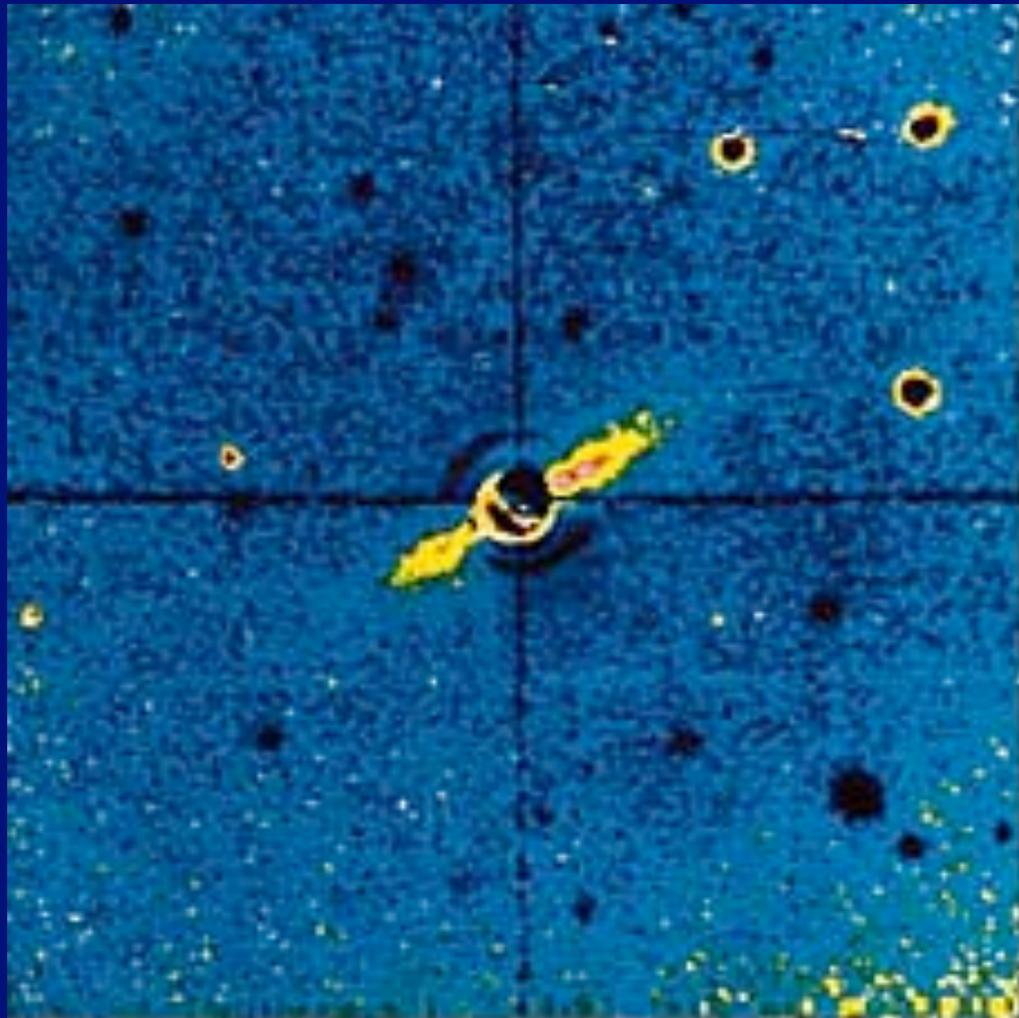
Momentum angular se conserva \Rightarrow nube rota cada vez más rápido.

¿Que ocurre físicamente en una nube que rota?

- Material en el ecuador se mantiene rotando en círculos; la fuerza centrífuga se iguala a la fuerza gravitacional.
- Material en los polos no está en equilibrio y cae al centro.







(a)



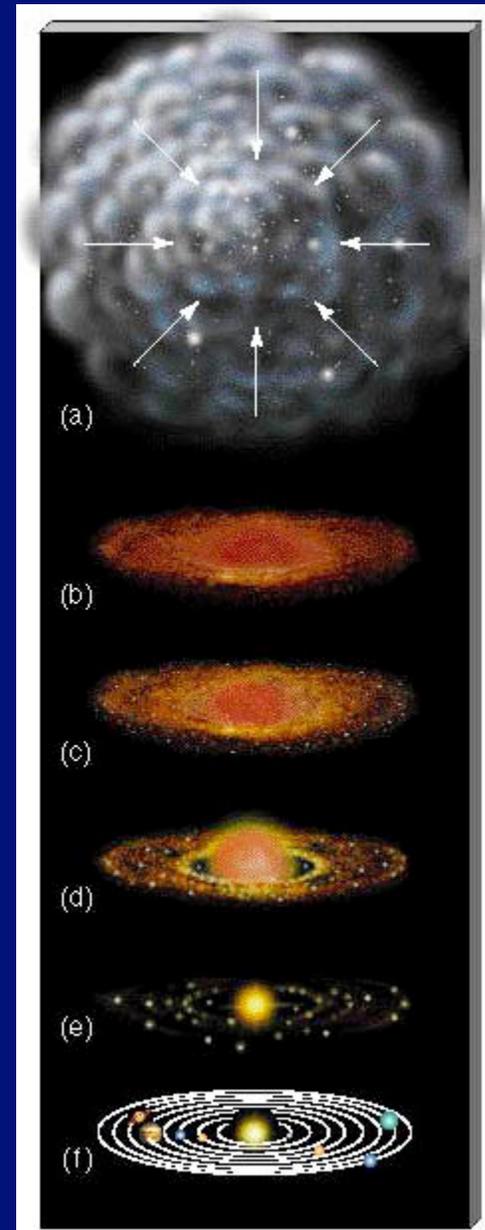
(b)

Hipótesis Nebular, cont.

Material se acumula en un disco ecuatorial.(Este proceso es muy común en astrofísica.)

- **Próximo paso se entiende menos:**
 - **Regiones centrales colapsan para formar el Sol.**
 - **El material en el disco se amontona en grumos.**
 - **Los planetésimos acumulan material al barrer por el disco.**
 - **Colisiones son comunes durante la formación del Sistema Solar.**

- **Resultado \Rightarrow Todo rota en torno al centro en un mismo plano y en el mismo sentido.**



Propiedades de los Planetas

Dado este modelo, veamos algunas propiedades de los planetas

<i>Planeta</i>	<i>Diámetro</i> <i>(Tierra=1)</i>	<i>Densidad</i> <i>(kg-m³)</i>	<i>Orbita</i> <i>(UA)</i>	<i>Nº Lunas</i>	<i>Anillos</i>
Mercurio	0.38	5430	0.39	0	No
Venus	0.95	5250	0.72	0	No
Tierra	1.00	5520	1.00	1	No
Marte	0.53	3950	1.52	2	No
Júpiter	11.21	1330	5.20	16	Si
Saturno	9.45	690	9.53	18	Si
Urano	4.01	1290	19.19	15	Si
Neptuno	3.88	1640	30.06	8	Si
Plutón	0.18	2030	39.53	1	No

Cont.

- **Veamos algunas regularidades en esta tabla:**
 - pequeños ↔ grandes
 - densos ↔ menos denso
 - cercanos ↔ lejanos
 - pocas lunas ↔ muchas lunas
 - sin anillos ↔ con anillos
- **Dividimos los planetas en dos grupos**
 - Rocosos (Mercurio, Venus, Tierra y Marte)
 - Gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno)
- *Notemos* que los planetas gigantes se parecen entre si; cualquier proceso que formó el S.S. formó a estos planetas también.

Densidad

Planetas ROCOSOS: Mercurio, Venus, Tierra, Marte

- **Densidad de la Tierra es un poco más alta que la de las rocas superficiales**
- **Planetas interiores tienen \approx la misma densidad.**
 - **Están hechos del mismo material.**
 - **El interior es más denso comparado con las capas externas.**
 - **Interior de la Tierra hecha por hierro y níquel fundido.**

Planetas GASEOSOS: Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno

- **Densidad bastante menor \Rightarrow no pueden estar hechos de roca.**
- **Densidad de Saturno es aún menor que la del agua.**
- **Se cree que ninguno de los gigantes tienen material sólido (quizás en el centro); a los más líquido debido a la alta densidad en el interior.**

¿Qué gas domina? Hidrógeno y Helio

¿Qué tiene que ver esto con la formación del S.S.?

¿Como es el disco original que hace que las condiciones sean distintas en el interior del S.S. que en el exterior?

- En el interior todo se mueve más rápido \Rightarrow más caliente.
 - Mientras más caliente menor posibilidad de condensarse en planetésimos, (que están hechos de agua sólido, hielo, o CO₂, hielo seco).
- En el exterior el disco es frío; más lejos del Sol.

Se cree que la formación de planetas externos se inicia antes, por lo que tienen más tiempo para acumular más material por gravitación.

\Rightarrow más masivos \Rightarrow pueden acumular H y He
- H y He son los dos elementos más livianos.
 - En un gas, a una temperatura dada, mientras más liviano el elemento más rápido se mueve.
 - En la Tierra H y He escapan del campo gravitacional. En la atmósfera no hay H y He, ni moléculas livianas.
 - En los planetas gigantes si hay H y He, la gravedad es mayor.

¿Como sabemos la edad del S.S.?

- Procesos radioactivos sirven para medir la edad de la Tierra.
 - Mientras más vieja una piedra, menos material radioactivo tiene.
 - Material radioactivo se caracteriza por su vida media, que es el tiempo que demora en decaer a la mitad.

U238 (92 protones, 146 neutrones) → varios decaimientos → Pb206 (82 protones) muy estable.

La vida media de U238 $\approx 4.5 \times 10^9$ años.

En el pasado había más U238 y menos Pb206.

Supongamos que en una piedra hay U238 y Pb206.

Cada átomo de U238 decae en uno de Pb206,

$$N(U238) + N(Pb206) = \text{constante}$$

Supongamos que encontramos igual cantidad de U que de Pb, y que inicialmente no había Pb, entonces la edad de la piedra es 4.5 mil millones de años

Edad de la Tierra

- Las piedras más viejas encontradas en la Tierra tienen cerca de 3.8×10^9 años (encontradas en Groenlandia).
- Probablemente la Tierra sea más vieja que esto.
 - La corteza terrestre es muy activa, las piedras más antiguas probablemente se hundieron en la corteza (escalas de miles de millones de años).
- Hay rocas más antiguas, e.g. las traídas de la Luna por la misión Apolo tienen cerca de 4.2×10^9 años.
- Meteoritos (pocos Kg.), que eventualmente penetran la atmósfera terrestre, tienen cerca de 4.6×10^9 años.
- Por modelos solares se estima una edad de 4.5×10^9 años.

Nuestra historia \approx miles de años \Rightarrow Humanos modernos \approx 100,000 años
 \Rightarrow Monos \approx 10,000,000 años \Rightarrow Animales 450×10^6 años
 \Rightarrow Tierra \approx 4.5×10^9 años