

XXXIX Universitat Catalana d'Estiu

Física

Astronomia i astrofísica: l'univers proper i llunyà

Sistema Solar i exoplanetes

I: El Sistema Solar: Generalitats

David Galadí-Enríquez

Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA)

Prada del Conflent,

21 d'agost 2007

Sistema Solar i exoplanetes

I: El Sistema Solar: Generalitats

- Dimensions del Sistema Solar
- Estructura
- Lleis del moviment planetari (lleis de Kepler)
- Formació i edat

El Sistema Solar

Consta de:

- Estel central (el Sol)
- 8 planetes: Mercuri, Venus, la Terra, Mart, Júpiter, Saturn, Urà, Neptú
- 2 cinturons principals d'asteroides: el cinturó clàssic (entre Mart i Júpiter) i el cinturó de Kuiper (objectes transneptunians)
- Asteroides addicionals i cometes
- Matèria interplanetària (meteoroides, vent solar)

L'entorn quotidià

- Espai: 1 m
- Temps: 1 s
- Massa: 1 kg

La grandària dels països

- Espai: ~ 100 km
- Temps: dies – setmanes
- Massa: perd sentit intuitiu

Mitjans de transport habituals:

automòbil: ~ 120 km/h

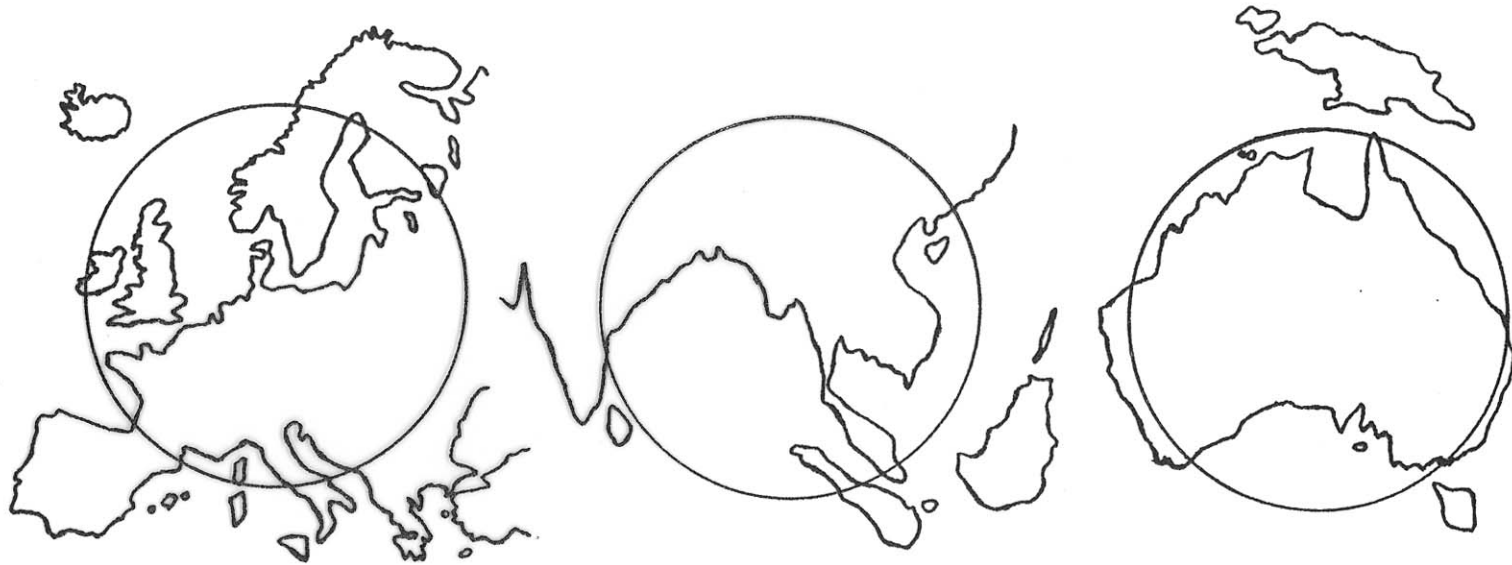
avió: ~ 1000 km/h

Dimensions planetàries

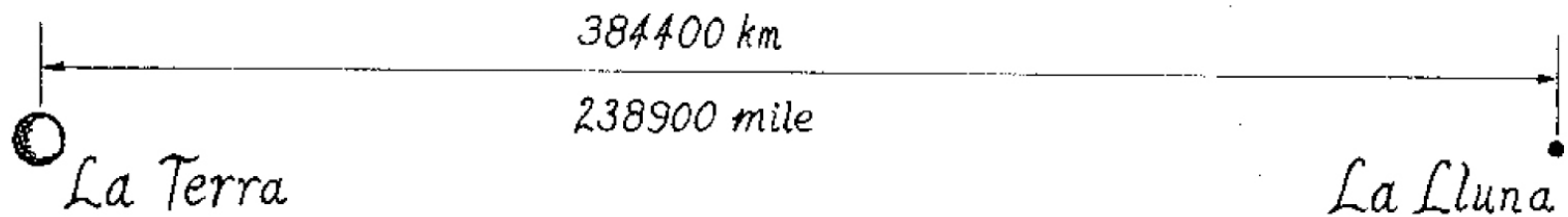
- Diàmetre terrestre: 12 735 km ($\sim 10^7$ m)
- Altres planetes:
 - Mercuri: 4879 km ($\sim 5 \times 10^6$ m)
 - Júpiter: 142 984 km ($\sim 143 \cdot 10^6$ m)

Volta al món: a peu: 10 mesos
amb cotxe: 14 dies
amb avió: ~ 40 hores

La Terra i la Lluna, 1



La Terra i la Lluna, 2



La Terra i la Lluna, 3

- Distància Terra-Lluna:

384 000 km ($\sim 4 \cdot 10^8$ m)

A peu: 7 anys (en línia recta)

Amb cotxe: 130 dies (en línia recta)

Amb avió: 16 dies (en línia recta)

Viatges *Apolo*: ~ 3 dies

Temps-llum

Velocitat de la llum:

300 000 km/s

1 000 000 000 km/h

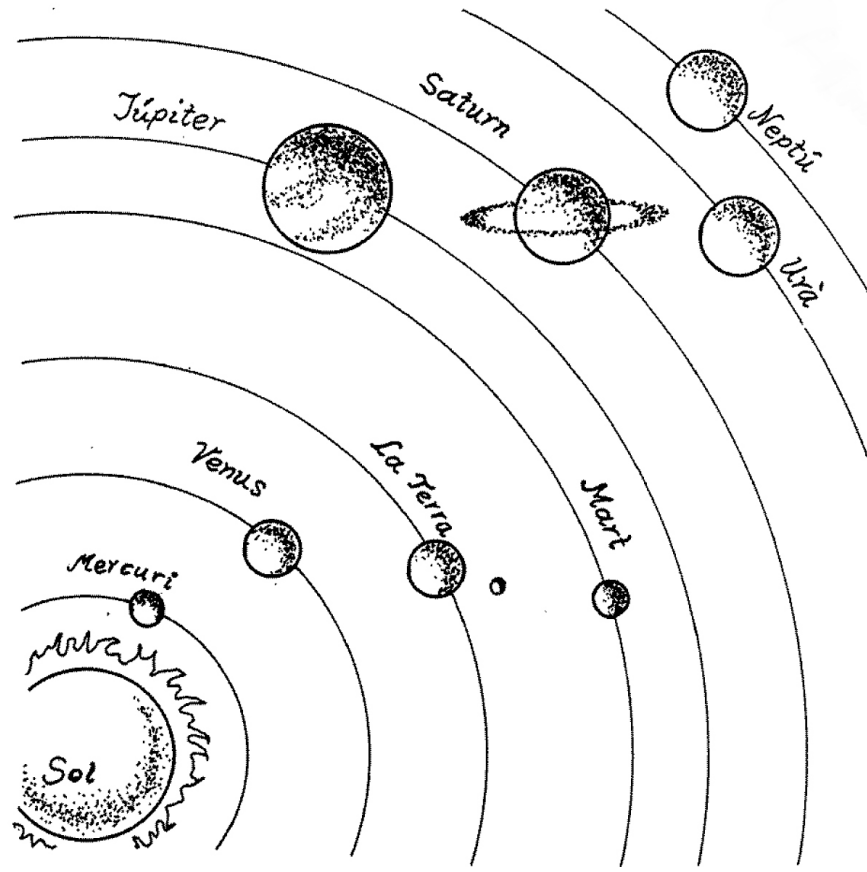
mil milions de km per hora

Terra – Lluna: 1.3 segons-llum

Perímetre terrestre: 0.1 segons-llum

Un any-llum = $\sim 10^{16}$ m = 10 bilions de km

Escala interplanetària, 1

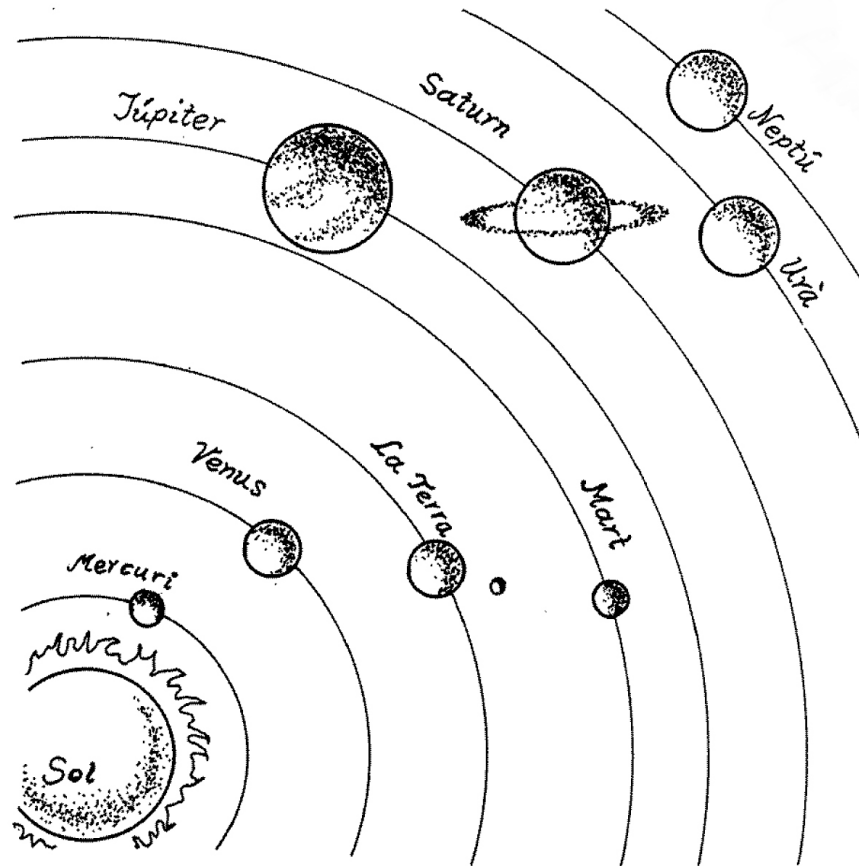


Escala interplanetària, 2

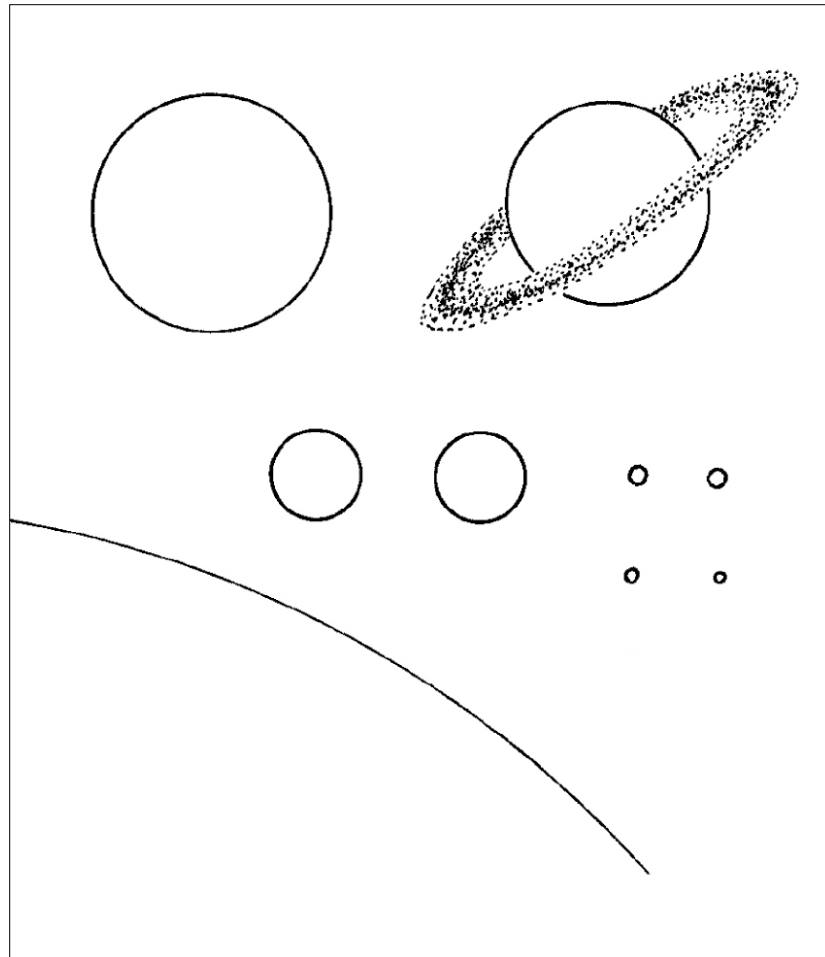
Diagrama ingenu

Informació correcta:

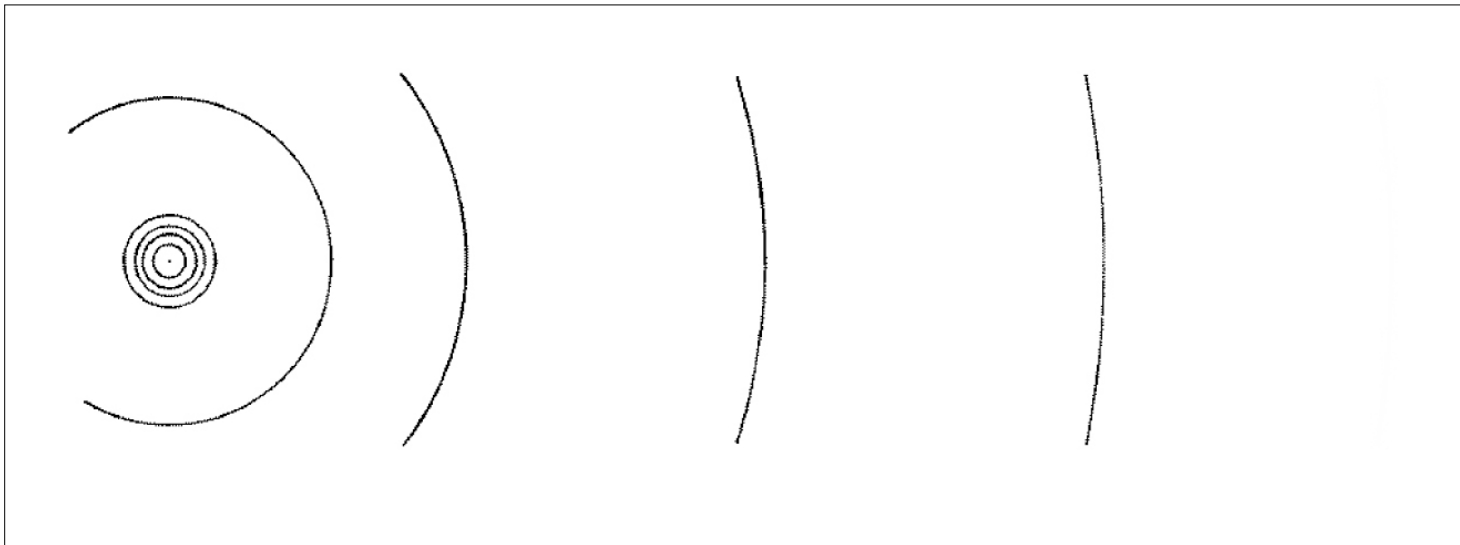
- Òrbites coplanàries
- Ordenació de les òrbites



Escala interplanetària, 3



Escala interplanetària, 4



Escala interplanetària, 5

Terra – Sol: 150 milions de km ($1.5 \cdot 10^{11}$ m)

8 minuts-llum

Amb cotxe: 140 anys

Amb avió: menys de 20 anys

Altres distàncies interplanetàries

- Mínima Venus – Terra: 2.3 minuts-llum
- Màxima Terra – cinturó de Kuiper: més de 5 hores-llum
- Viatge al cinturó de Kuiper: amb avió, 500 anys

Model del Sistema Solar

- Distància Terra – Sol = 1 m:
- Sol – cinturó de Kuiper: 40 m

Quin seria el tamany equivalent dels astres del Sistema?...

Model del Sistema Solar

- Distància Terra – Sol = 1 m:
- Sol – cinturó de Kuiper: 40 m

Diàmetre del Sol: 1 cm

Diàmetre de Júpiter: 1 mm

Diàmetre de la Terra: 0.1 mm

Escala interestel·lar

- En el model, l'estel més proper es trobaria a 270 km (Barcelona-Saragossa o Barcelona-València)
- Viatge als estels més propers:
 - Sondes espacials més ràpides: 30 000 anys
 - Amb avió: 4 milions d'anys
 - Amb cotxe: 40 milions d'anys

Moviment al Sistema Solar: regularitats

- Estructura i moviment coplanaris (excepció: cometes, sobre tot els de llarg període)
- Moviment sistemàtic amb una direcció privilegiada: el “sentit directe”
- Moviment regit per la gravitació (excepcions: pols interplanetari i, fins cert punt, cometes actius)
- Els efectes gravitatoris es poden resumir amb les lleis de Kepler

Lleis de Kepler

Lleis de Kepler:

1. Els planetes es mouen al voltant del Sol segons òrbites amb forma d'el·lipse, amb el Sol situat a un dels focus. (→ periheli, afeli)
2. Els planetes es mouen més ràpid quan passen prop del Sol (periheli) i més lentament quan s'allunyen d'ell (afeli).
3. En comparar dues òrbites diferents, es mou amb moltíssima més lentitud el planeta que ocupa l'òrbita més allunyada del Sol (els planetes llunyans són més lents).

Lleis de Kepler

Lleis de Kepler:

1. Equació de les òrbites:

$$r = \frac{L^2 \frac{M + m}{GM^2 m^2}}{1 + e \cos \theta} = \frac{Q}{1 + e \cos \theta}$$

Lleis de Kepler

Lleis de Kepler:

2. Llei de les àrees:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} \frac{L(M + m)}{Mm}$$

Lleis de Kepler

Lleis de Kepler:

3. Llei harmònica:

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M + m)}{4\pi^2} \approx \frac{GM}{4\pi^2}$$

Formació del Sistema Solar:

les regularitats com a restriccions a la teoria

Qualsevol model de formació del Sistema Solar ha de donar resposta a les regularitats observades:

1. Planitud.
2. Moviment directe.
3. Rotació lenta del Sol.
4. Distribució de planetes rocosos a la regió interior i gasosos (o gelats) a l'exterior.

Formació del Sistema Solar:

les regularitats com a restriccions a la teoria

El model actual proposa:

1. Fragmentació i col·lapse d'un núvol molecular fa aprox. 5000 milions d'ans.
2. Formació al centre de la concentració principal que donaria lloc al Sol.
3. Formació d'un disc pla en rotació (disc d'acreció) a partir del qual es formarien els planetes (→ explicació de la planitud i el gir en sentit directe).
4. Condensació de materials refractaris a la regió calenta, i de materials volàtils més enllà de la "cota de neu" (→ separació física dels planetes).
5. Etapa primitiva d'intens vent solar i radiació (fase T Tauri).
6. Època d'intens bombardeig meteorític tot arreu del Sistema.
7. Sembla que per al Sistema Solar es pot descriure la formació dels planetes aproximadament a les regions on són ara, però veurem que el descobriment de planetes extrasolars requereix modificar aquest punt de la teoria.