

Newton, Dios y el caos

Alejandro Jenkins, UCR

III Mini-congreso, IFT
19 dic. 2013

Isaac Newton (1642-1727)

- **Lagrange:** el mayor y más afortunado de los mortales, porque solo se puede descubrir una vez el sistema del mundo
- **Weinberg:** “*al educar a los nuevos físicos lo primero que les enseñamos sigue siendo la mecánica newtoniana, y nunca olvidan cómo pensar en términos newtonianos*”



Busto por L.-F. Roubillac. *Fuente:* Foster (1928)

Newton, cont.

- **Newton:** *“No sé cómo me vea el mundo, pero yo me veo como un niño jugando en playa, que se divierte al encontrar de vez en cuando una piedra más lisa o una concha más bonita de lo usual, mientras que el gran océano de la verdad se extiende desconocido ante mí.”*
- **Keynes:** *“el último de los magos”*



Estatua por L.-F. Roubillac, capilla de Trinity College, Cambridge. *Fuente:* Wikipedia

Genealogía

- Newton venía de trasfondo **puritano**
- Cromwell, Milton, los *Pilgrims*
- Cambridge, Harvard, Yale, Princeton
- Weber, Troeltsch, Merton *et al.* han enfatizado relación entre puritanismo y **revoluciones científica e industrial**



Woolsthorpe Manor. *Fuente:* Flickr

Religión



<http://blog.londonconnection.com/wp-content/uploads/2013/05/Picture-92.png>

- Ultra-protestante
- Involucrado en “**Revolución Gloriosa**” de 1688
- Secretamente anti-trinitario (*arriano*)
- Descreía de inmortalidad del alma
- Dispuesto a perder cátedra antes que ordenarse sacerdote anglicano
- Rechazó extremaunción

Disputa con Leibniz

- Newton descubrió **cálculo** antes de 1670, pero lo circuló solo en cartas privadas
- Leibniz publicó resultados equivalentes a partir de 1684
- Relación con Newton fue buena hasta *ca.* 1700
- A.R. Hall: “*Leibniz no era una persona modesta. En esto era realmente distinto a Newton.*”



Retrato por C.B. Francke. *Fuente:* Wikipedia

Disputa con Leibniz, cont.

- Pleito por historia del cálculo alcanza apogeo en 1710-12
- Leibniz rechaza gravedad newtoniana
- alega que constituye “causa **oculta**”
- niega que **tiempo** y **espacio** puedan definirse sin referencia a la materia (Berkeley, Mach)
- niega posibilidad del **vacío** y existencia de **átomos**
- intenta formulación de **mecánica** basada en conservación de *vis viva* (energía)

Principia, 2da ed.

- *Aquel tan presuntuoso como para creer que puede hallar los verdaderos principios de la física y las leyes naturales por la mera fuerza de su propia mente y por la luz interna de la razón, debe suponer, o bien, que el mundo existe por necesidad y que por la misma necesidad sigue las leyes propuestas, o, si el orden la naturaleza fue establecido por la voluntad de Dios, que él mismo, un miserable reptil, puede decir qué es lo más adecuado.*
- -Introducción de Roger Cotes (1713)

Leibniz a Carolina (nov. 1715)

- *Newton y sus seguidores tienen una opinión muy curiosa del trabajo de Dios. Según ellos, el reloj de Dios, el Universo, dejaría de funcionar si no le diera cuerda de vez en cuando. No tuvo suficiente previsión para hacerlo un movimiento perpetuo. La máquina que ha construido es tan imperfecta que necesita repararla de tiempo en tiempo por una intervención milagrosa, e inclusive repararla, como un relojero repara su aparato.*

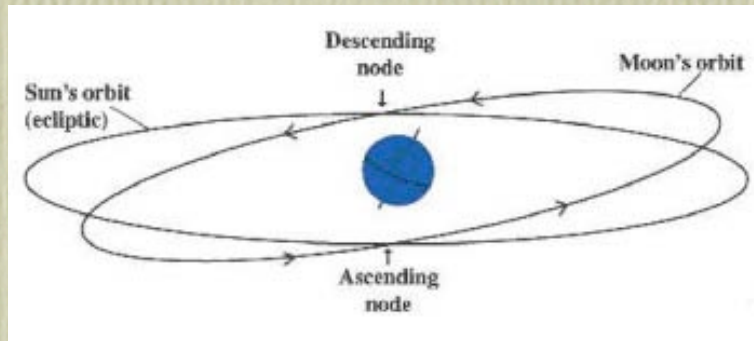


Retrato de J. Amigoni (1735). Fuente: Wikipedia

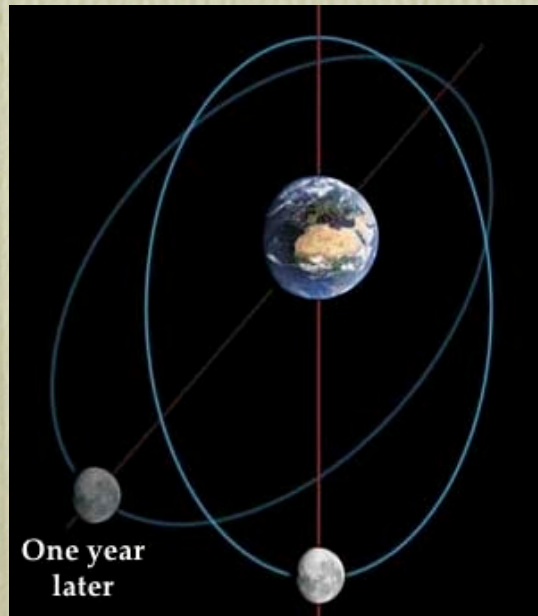
Opticks, “Query 31” (1706)

- *Mientras que los cometas se mueven en órbitas muy excéntricas y en toda clase de posiciones, el mero azar no hubiera hecho que los planetas se movieran todos en órbitas concéntricas, exceptuando algunas pequeñas irregularidades, que pueden haber sido producidas por las acciones mutuas de los cometas y planetas y que bien podrían tender a aumentar, hasta que el sistema requiera una reforma.*

Precesión lunar



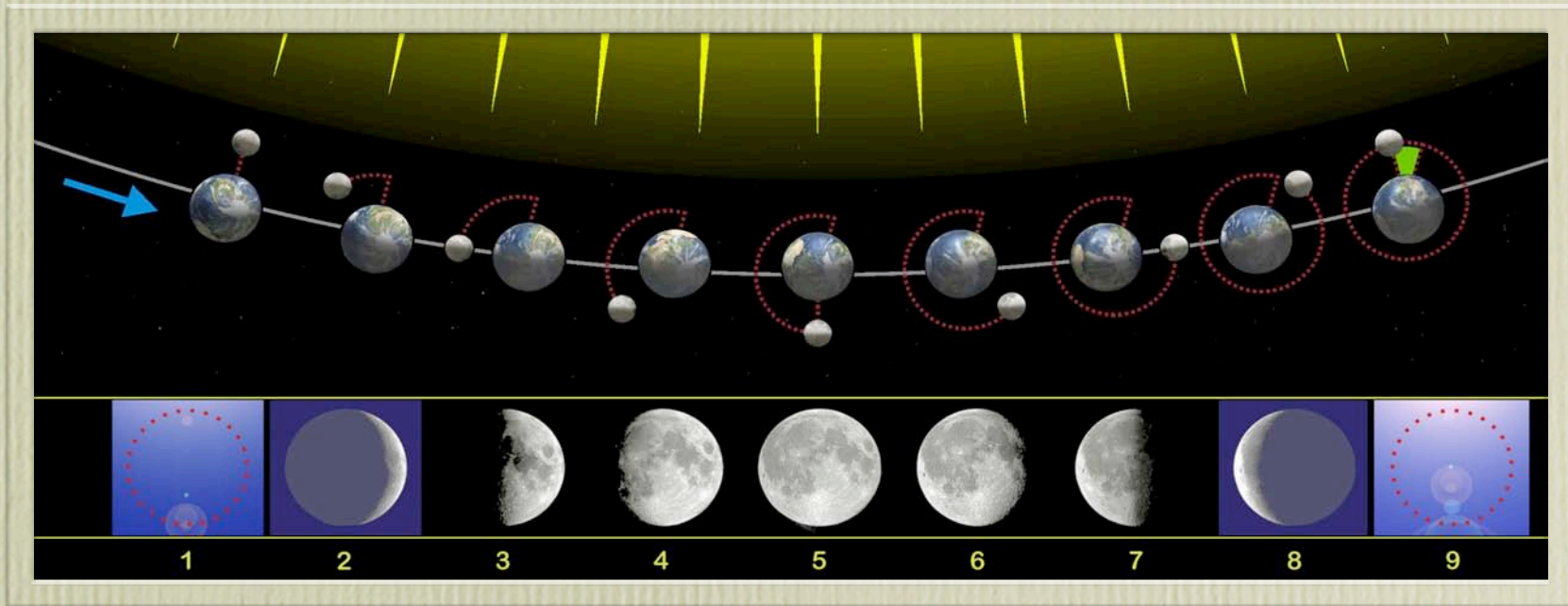
<http://www.chara.gsu.edu/lab/labs/lab4.html>



Fuente: Bondemann (2010)

- Conocida desde la antigüedad
- plano orbital **inclinado** $\sim 5^\circ$ respecto a eclíptica
- **nodos** precesan hacia atrás con período ~ 18 años
- **ábsides** precesan hacia adelante con período ~ 8 años

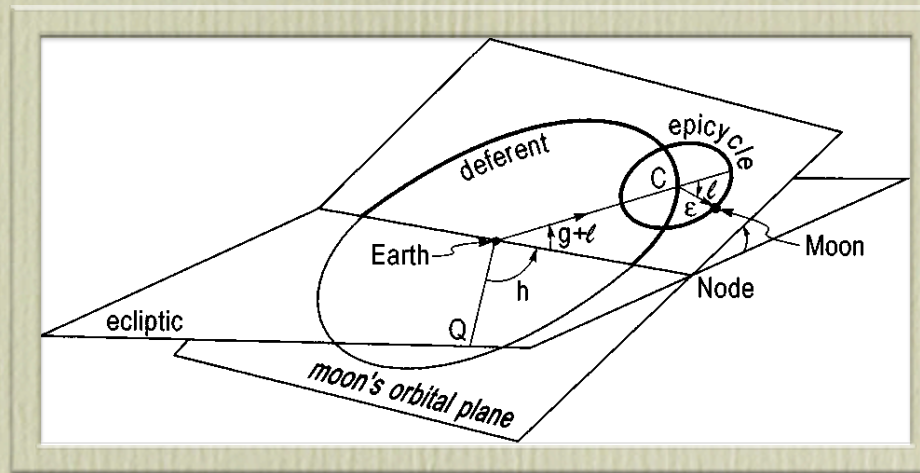
Meses



Fuente: Wikipedia

- *Sinódico:* 29,53059 d
- *Anomalístico:* 27,55455 d
- *Sideral:* 27,32166 d
- *Draconítico:* 27,21222 d
- *Tropical:* 27,32158 d

Desigualdades lunares



Fuente: Gutzwiller (1998)

- **anomalía** (babilonios):

$$A \sim 6^{\circ} 15', T = 1 \text{ mes}$$

- **evección** (Ptolomeo):

$$A \sim 1^{\circ} 15', T \sim 32 \text{ días}$$

- **variación** (Tycho):

$$A \sim 40', T = 1/2 \text{ mes}$$

- **ec. anual** (Tycho y Kepler):

$$A \sim 11', T = 1 \text{ año}$$

- **desigualdad paraláctica**

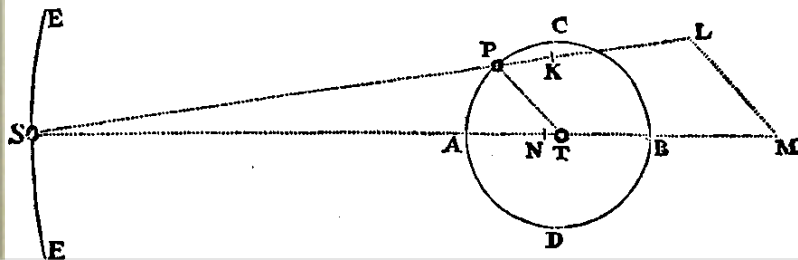
(Halley y Newton):

$$A \sim 2', T = 1 \text{ mes}$$

Tres cuerpos

PROPOSITIO LXVI. THEOREMA XXVI.

Si corpora tria, quorum vires decrescunt in duplicata ratione distantiarum, se mutuo trahant; & attractiones acceleratrices binorum quorumcunque in tertium sint inter se reciproce ut quadrata distantiarum; minora autem circa maximum revolvantur: dico quod interius circa intimum & maximum, radiis ad ipsum ductis, describet areas temporibus magis proportionales, & figuram ad formam ellipseos umbilicum in concursu radiorum habentis magis accedentem; si corpus maximum his attractionibus agitetur; quam si maximum illud vel a minoribus non attractum quiescat, vel multo minus vel multo magis attractum, aut multo minus aut multo magis agitetur.



Principia, I (1687)

- Newton estudia órbita lunar en libros I y III de *Principia*
- Resuelve completamente variación, ec. anual, precesión de nodos, y oscilación de inclinación
- “una de las partes más profundas de este admirable trabajo”
-**Laplace** (1825)
- “el capítulo más valioso que se ha escrito en las ciencias físicas”
-**Airy** (1834)

Discrepancias



- *Principia* no da tratamiento claro de evección
- Explica solo 1/2 de precesión de ábsides
- Dudas sobre exactitud de $F = G M m / r^2$
- Despejadas por **Clairaut** en 1749, yendo a siguiente orden en perturbación

Grabado por L.-J. Cathelin. *Fuente*: Wikipedia

“Teoría lunar”

- Utilidad de tablas lunares para navegación (problema de **longitud**)
- En 1702, Newton publica algoritmo con precisión de 2’
- “[Es] desafortunado que un planeta tan cercano como la luna tenga una órbita tan irregular que es, en cierto sentido, vano depender de cualquier cálculo, por más exacto que sea.”
- **Gutzwiller** (1998): “**imaravillosa** definición de lo que ahora llamaríamos **caos!**”

A New and most Accurate

THEORY

OF THE

Moon's Motion;

Whereby all her Irregularities may be solved, and her Place truly calculated to Two Minutes.

Written by

That Incomparable Mathematician

Mr. ISAAC NEWTON,

And Published in *Latin* by

Mr. DAVID GREGORY

in his *Excellent Astronomy.*

L O N D O N,

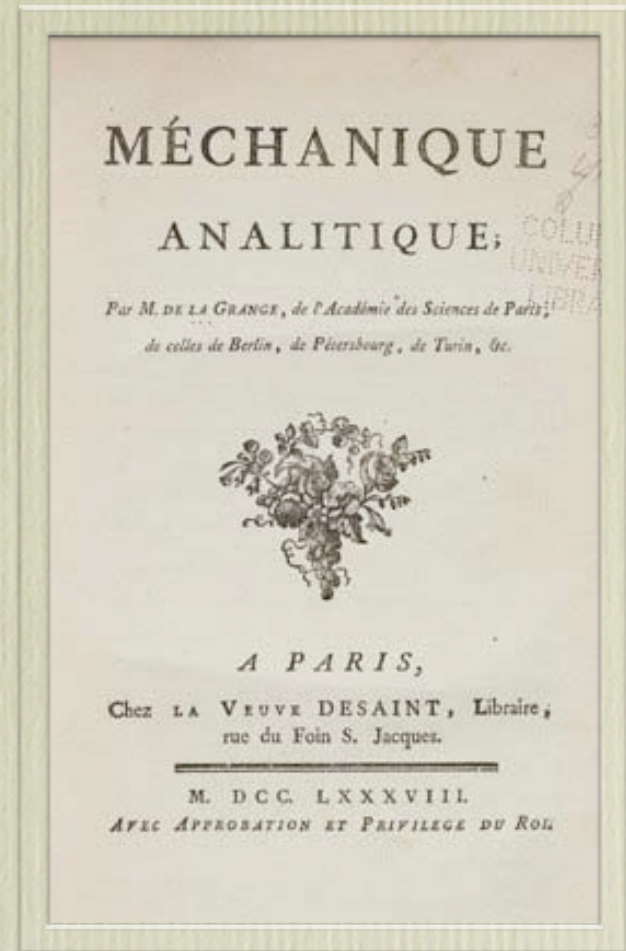
Printed, and sold by *A. Baldwin* in
Warwick-lane. 1702.

Perturbaciones

- Disputa con **Flamsteed** por acceso a datos del observatorio de Greenwich
- Newton desarrolló método equivalente a perturbación de parámetros orbitales, redescubierto por Euler, Lagrange y Laplace
- Nunca lo incorporó a *Principia*
- Desconocido hasta 1872
- Ver **Nauenberg** (2001)

Mecánica analítica

- Desarrollada por **Euler**, **Lagrange** y otros
- Aplica a mecánica newtoniana métodos analíticos de Leibniz
- **Arnold**: “*enseña cómo usar el análisis (y cómo enseñarlo) a personas que no lo entienden*”
- Paréntesis de Poisson, transformaciones canónicas, etc., surgen de mecánica celeste



P. S. de Laplace (1749-1827)

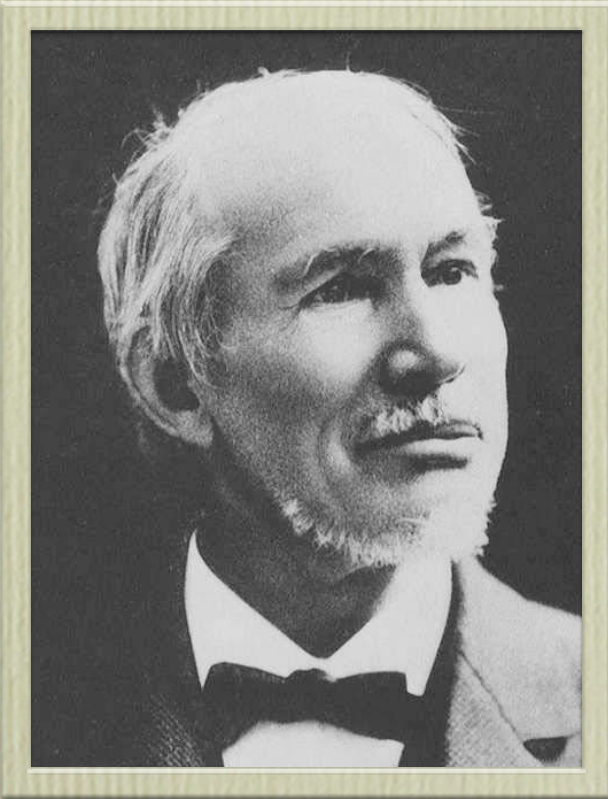
- Laplace cree mostrar **estabilidad** del sistema solar en 1784
- Sobre Dios: “*no necesité de esa hipótesis*”
- Demonio de Laplace (1814)
- Pero serie *no* es necesariamente convergente



Retrato póstumo por J.-B. Paulin Guérin. *Fuente*: Wikipedia

G. W. Hill (1838-1914)

$$\ddot{q} + \omega^2(t)q = 0$$

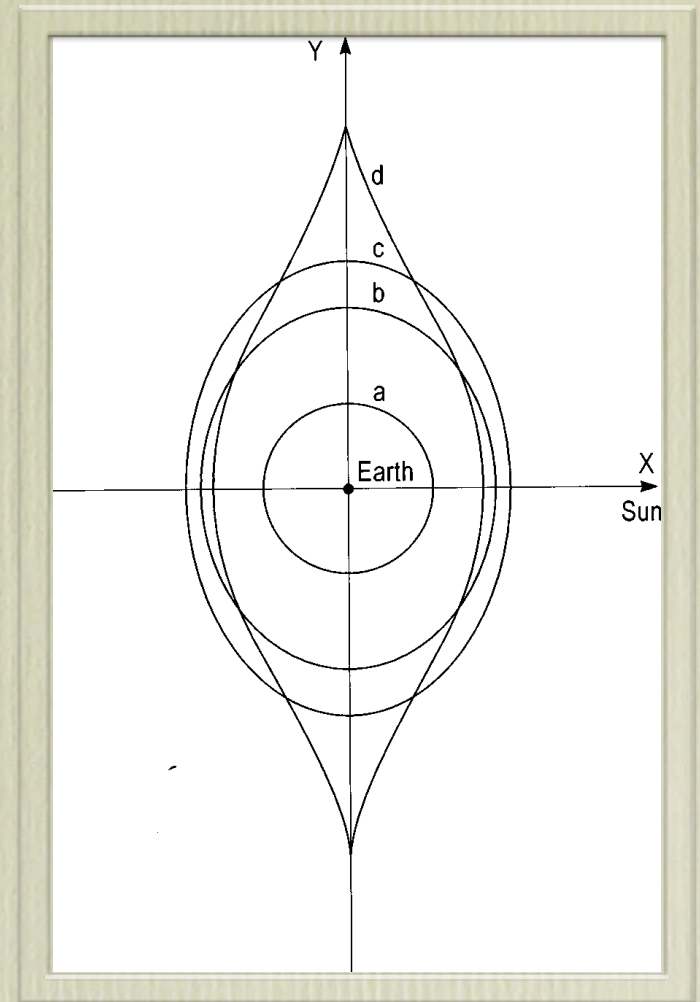


Fuente: *Collected mathematical works of George William Hill* (1905)

- ec. de Hill (resonancia paramétrica)
- En 1877, primero en resolver satisfactoriamente precesión de ábsides
- **Poincaré:** “*vemos en esta obra el germen de la mayor parte del progreso que se ha hecho en [la mecánica celeste] desde entonces*”
- “*esta reserva, iba a decir este salvajismo, ha sido una feliz circunstancia para la ciencia*”

Órbita variacional

- Dificultad está en *no integrabilidad* del problema de tres cuerpos
- No hay soluciones periódicas exactas
- Necesitamos **órbita cerrada** para *definir* ábsides
- Hill la obtiene imponiendo periodicidad observada (mes sinódico)
- Perturbación sobre esta *órbita variacional* da precesión



$a = 12.369$ meses / año; $b = 4$; $c = 3$; $d = 1,78265$
Fuente: Gutzwiller (1998)

H. Poincaré (1854-1912)

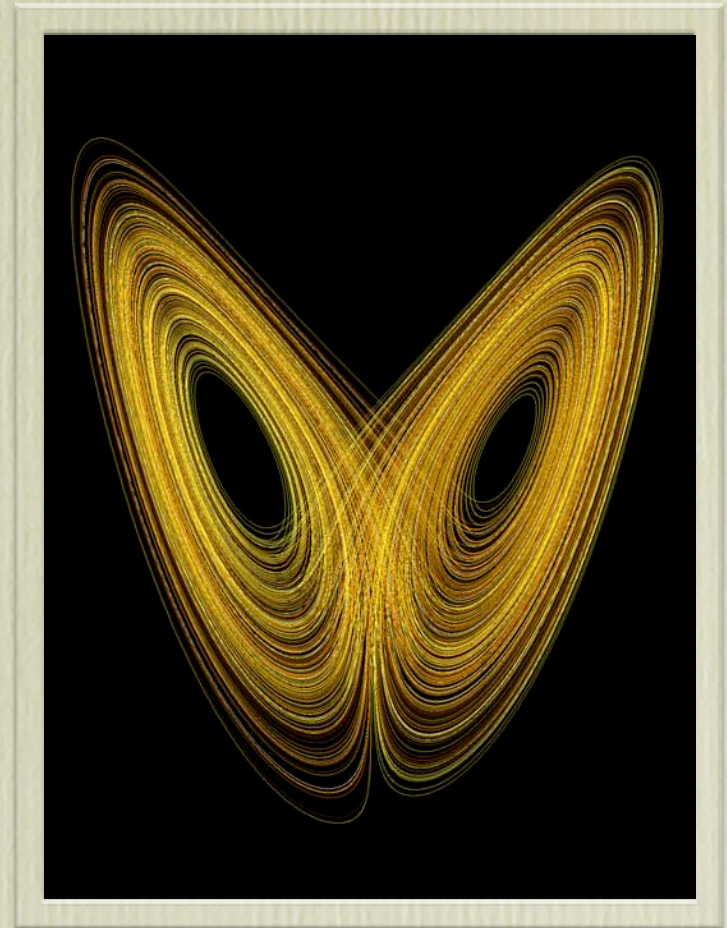


HENRI POINCARÉ DANS SON CABINET DE TRAVAIL. — PHOT. DORNAC.

- *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (1899)
- “teoría cualitativa de las ecuaciones diferenciales”
- topología diferencial, sistemas dinámicos
- cibernética, catástrofes, caos, complexología...
- ver **Holmes** (1990)

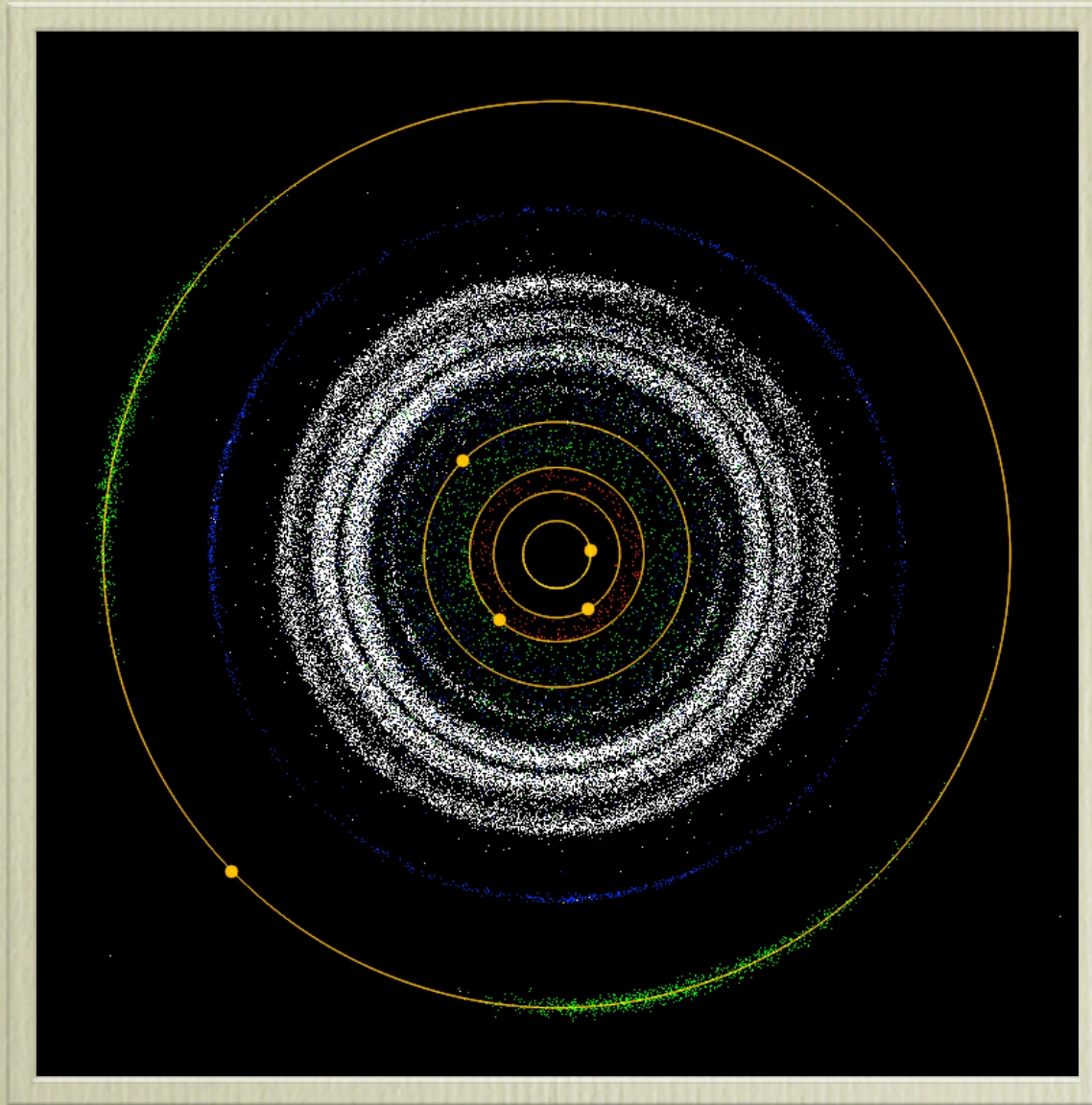
Teoría del caos

- Facilidad de simulación numérica, a partir de 1950s
- “atractor de Lorenz” (1963)
- *caos* acuñado por Jim Yorke (1975)
- gran éxito popular: J. Gleick, *Chaos: Making of a New Science* (1987)
- M. Crichton, *Jurassic Park* (1990)



Fuente: Wikipedia

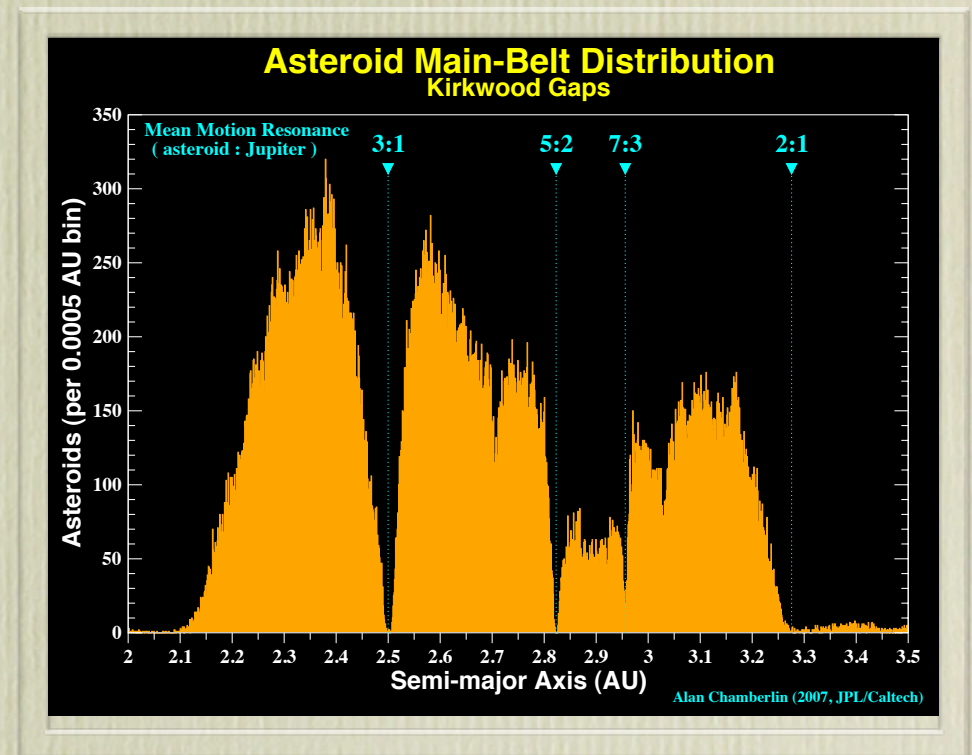
Huecos de Kirkwood



Fuente: Wikipedia

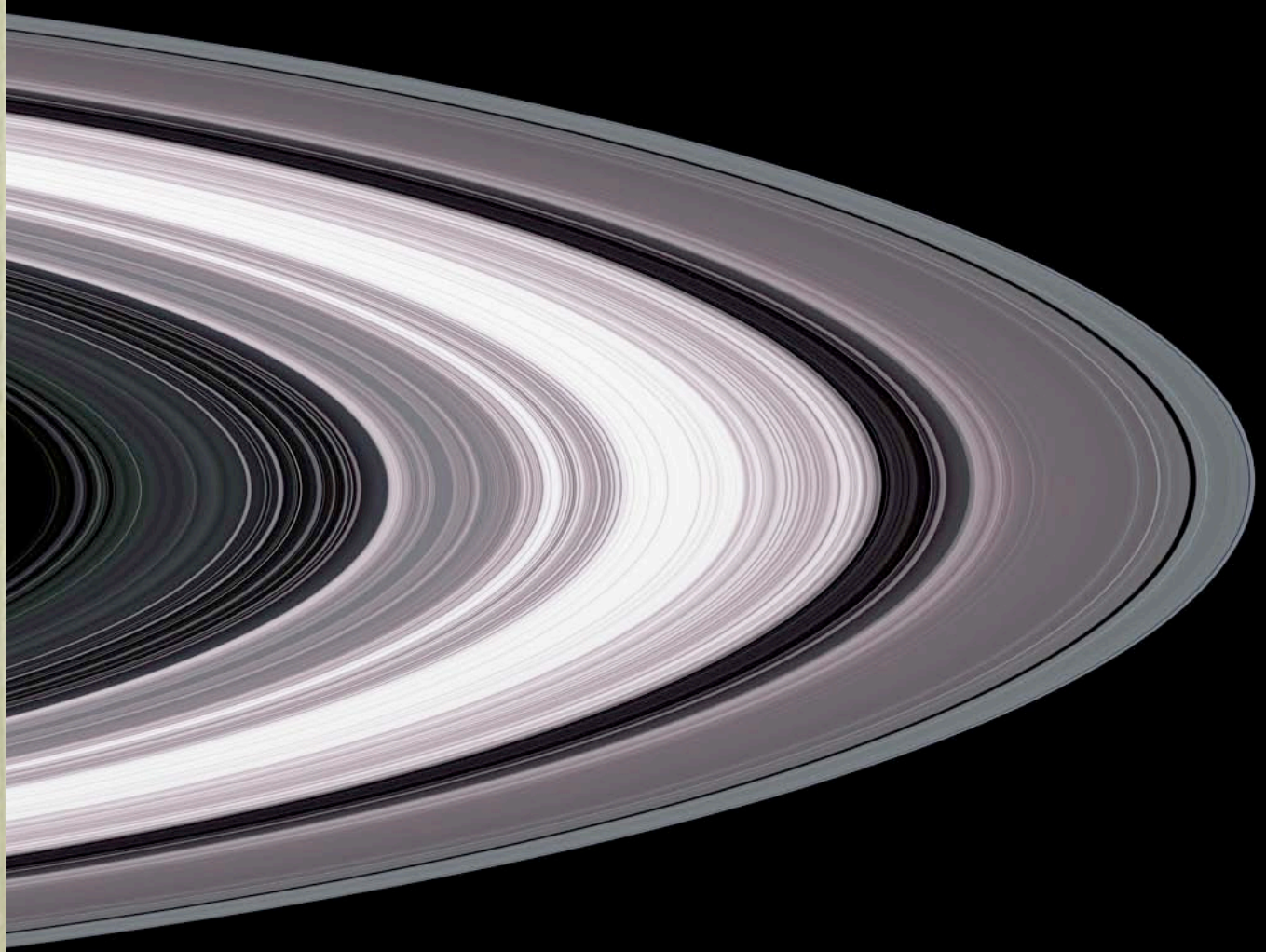
Huecos de Kirkwood, cont.

- Wisdom *et al.* (1984) muestran que órbitas cercanas a bajas **resonancias** pueden ser caóticas
- Tamaño y eccentricidad varían fuertemente
- En una excursión, asteroide puede chocar con Marte
- Ver **Arnold** (1990)



A. Chamberlin (2007), JPL/Caltech

Anillos de Saturno



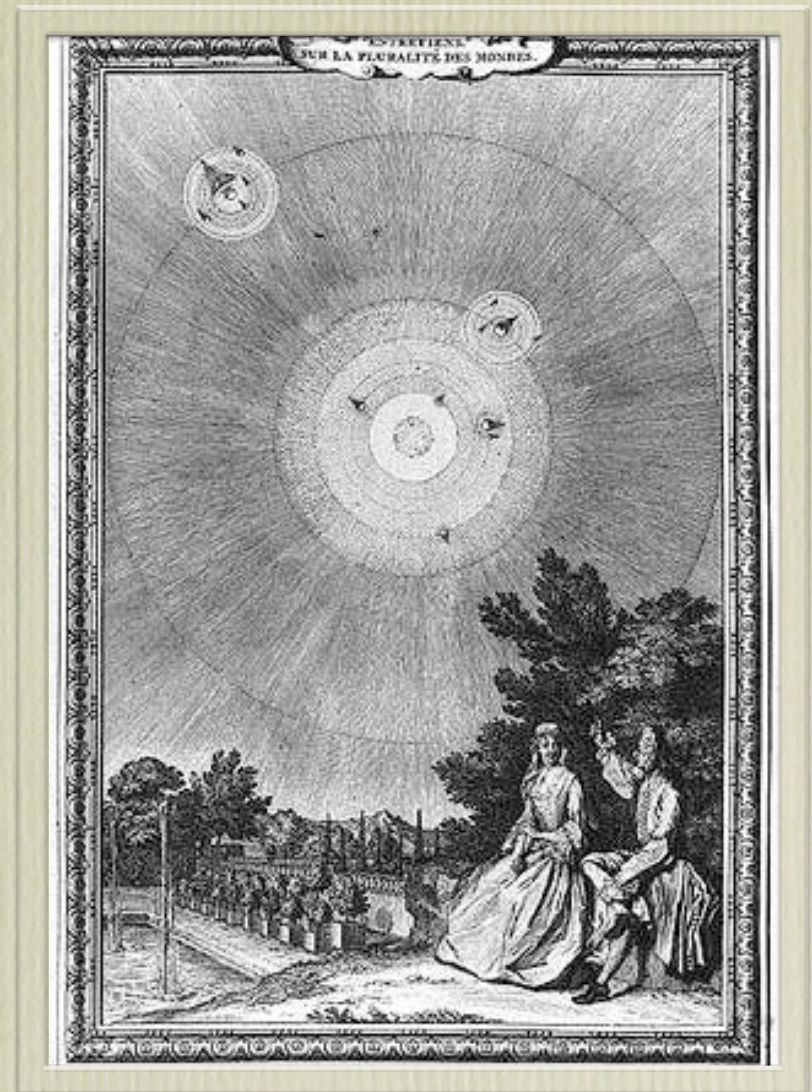
Satélite Cassini (NASA)

Estabilidad del sistema solar

- **Posiciones** de planetas son caóticas
- Mover lápiz sobre mi escritorio corre Júpiter de un lado al otro del sol en $\sim 10^9$ años
- **Forma** de órbitas planetarias parece estable en simulaciones, para vida esperada del sol (8×10^9 años)
- 1% de posibilidad de que Mercurio choque con Venus
- 0.002% de que la Tierra sea destruida
- ver **Tremaine** (2011)

Principio antrópico

- Planeta adicional en casi cualquier posición causaría **inestabilidad inmediata**
- No creemos que indique **diseño** divino, porque hay muchos sistemas solares
- Aplicación de *principio antrópico* (B. Carter)



B. Fontenelle, *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686)

Referencias

- S. Tremaine, “Is the Solar System Stable?”, *IAS Newsletter*, verano 2011, pp. 1, 6
- V. I. Arnold, *Huygens and Barrow, Newton and Hooke*, (Birkhäuser, 1990)
- M. C. Gutzwiller, “Moon-Earth-Sun: The oldest three-body problem”, *Rev. Mod. Phys.* **70**, 589 (1998)
- P. Holmes, “Poincaré, Celestial Mechanics, Dynamical Systems Theory, and ‘Chaos’ ”, *Phys. Rep.* **193**, 137 (1990)
- M. Nauenberg, “Newton's perturbation methods for the three-body problem and their application to lunar motion", en *Isaac Newton's Natural Philosophy*, eds. J. Z. Buchwald e I. B. Cohen, (MIT Press, 2001), pp. 189-224
- AJ, “The Mechanical Career of Councillor Orffyreus, Confidence Man”, *Am. J. Phys.* **81**, 421 (2013) [arXiv:1301.3097 [physics.hist-ph]]