Ideas que dan forma a la física

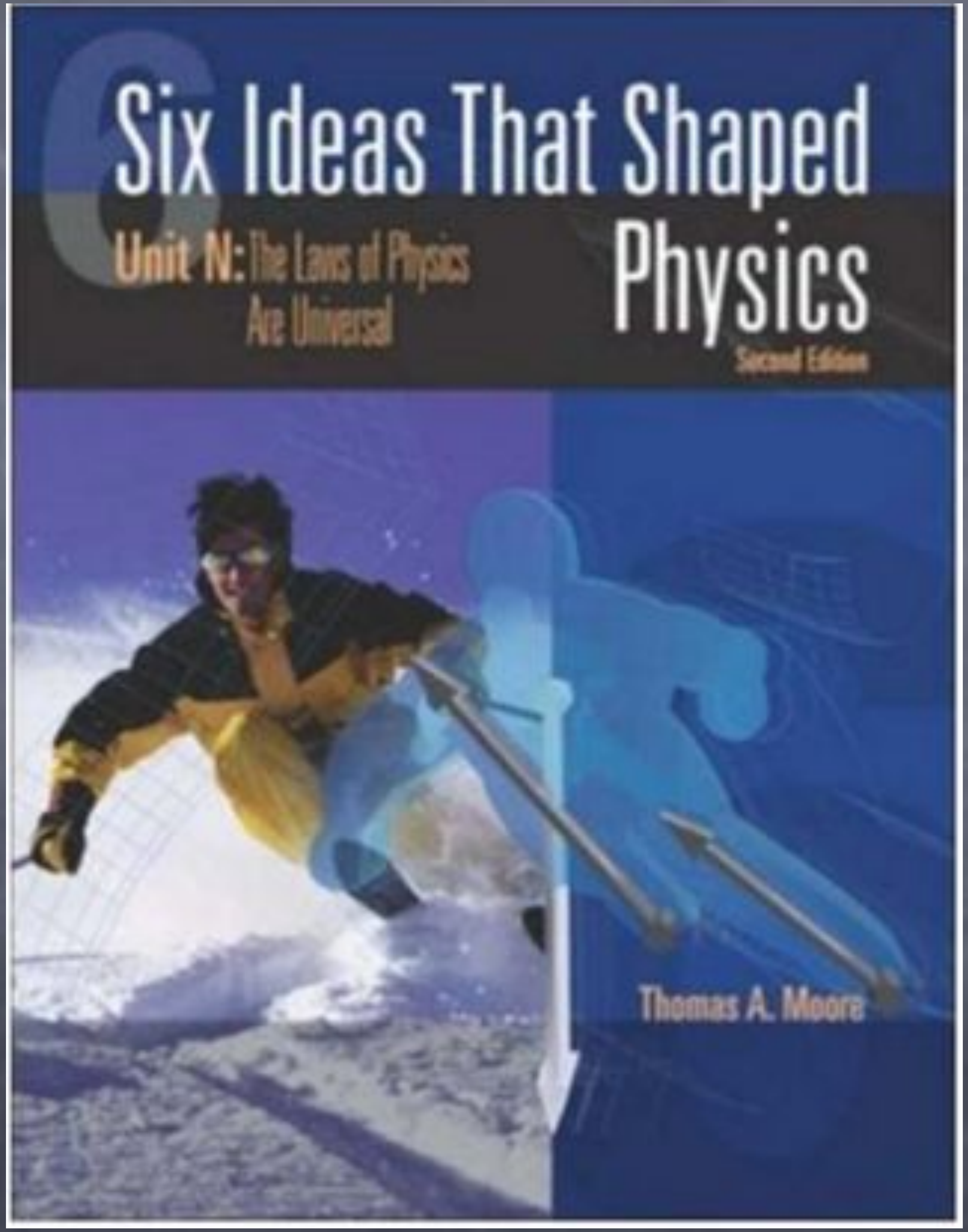
Las leyes de la física son universales

(Las leyes de Newton en los cielos como en la tierra)

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Santander, enero 2019

En los cielos como en la Tierra.
Las leyes físicas son universales.



En los cielos como en la Tierra.
Las leyes de la física son universales.

Durante mucho tiempo se tuvo la idea de que las leyes del mundo físico sub lunar, por debajo de la Luna, cambiante, eran diferentes de las leyes que gobernaban el mundo supra lunar, más allá de la Luna, que no cambiaba.

Las leyes de Newton y la ley de gravitación universal permitieron entender que no existe tal distinción cielos-Tierra, emergiendo la idea de que las leyes de la física son universalmente válidas. Esta idea fue desarrollada principalmente por Newton, demostrando que las leyes de caída de graves cerca de la superficie de la Tierra son las mismas que rigen el movimiento, la `caída', de la Luna respecto a la Tierra o el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, unificando las ideas de Galileo y las leyes de Kepler.

Sin embargo, las leyes de Newton, en particular, la segunda ley de Newton, aún produciendo resultados correctos, tiene algunas limitaciones a la hora de explicar algunos procesos físicos.

Aristóteles

I. Movimiento eterno: movimiento de las esferas celestes (motus a se).

II. Movimientos terrestres.

a. Movimiento de los organismos vivos (*motus a se*).

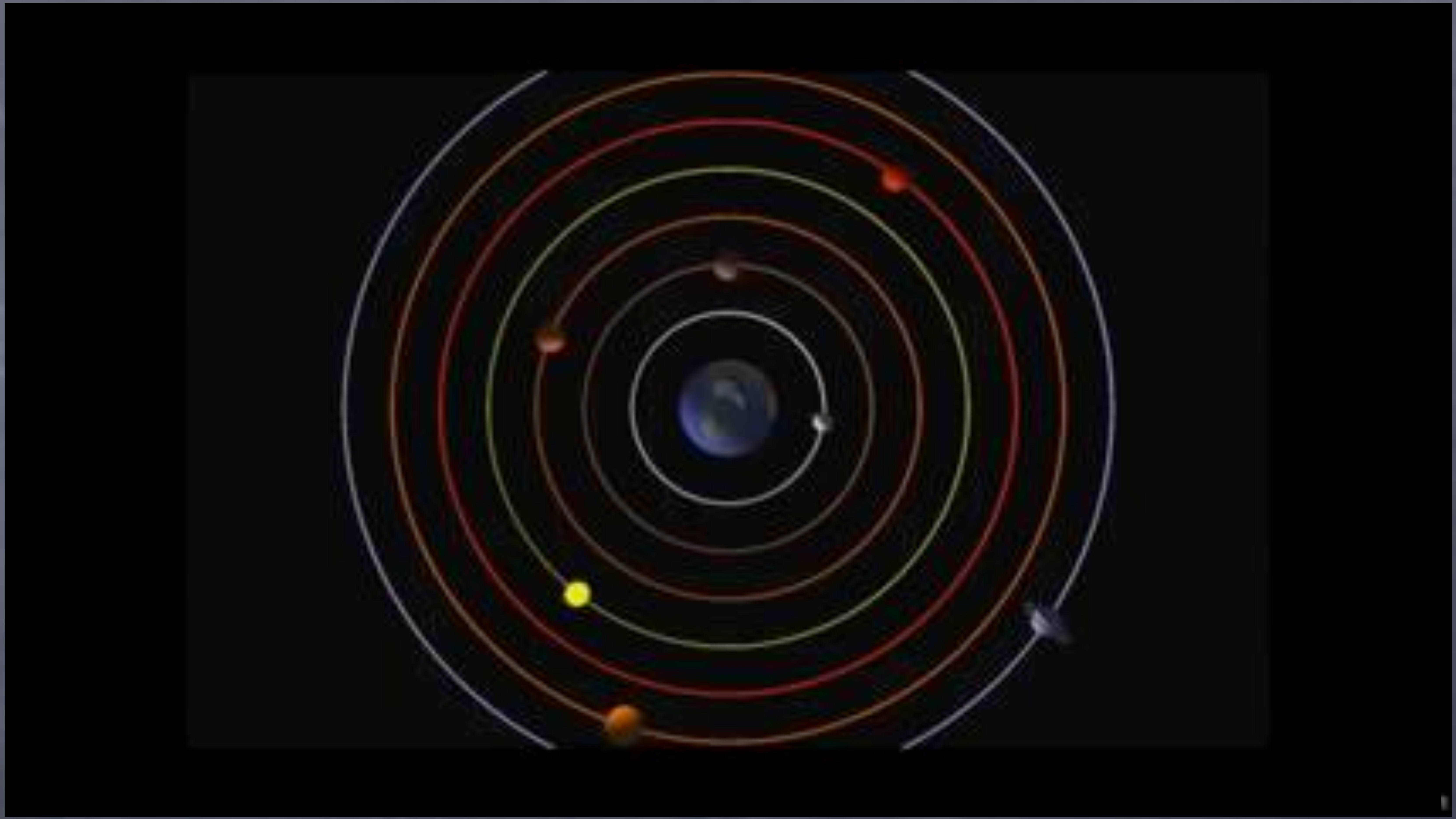
b. Movimientos naturales o restauración e un orden perturbado: los cuerpos pesados caen hacia abajo; los cuerpos ligeros se mueven hacia arriba (*motus secundum naturam* o *motus naturalis*) .

c. Movimiento violento debido a una fuerza forzante (*motus violentus*).

Clasificación Aristotélica de los movimientos

Aristóteles

En el centro del Universo se encuentra la Tierra.
A su alrededor se mueven, la Luna, Venus, Marte, Mercurio el Sol, que la ilumina, Júpiter y Saturno.



Sistema planetario

Aristóteles

Los cuerpos buscan su lugar natural. Los cuerpos pesados (piedras, etc.) el centro de la Tierra y los ligeros (el humo, el vapor de agua, etc.) el cielo.

Los cuerpos más pesados descienden más rápido que los cuerpos menos pesados.

Teoría sobre la caída de graves

Aristóteles

$$v \approx \frac{\text{causa efectiva}}{\text{resistencia}} \rightarrow v \approx \frac{F}{R}$$

Para mantener un cuerpo en movimiento con velocidad constante, es necesario aplicarle una fuerza.

Teoría sobre el movimiento de los cuerpos

Eratóstenes

La Tierra es esférica, al igual que el Sol y que la Luna.

Nicolás Copérnico

(Torun, actual Polonia, 1473 - Frauenburg, id., 1543) Astrónomo polaco. Primer formulador de una teoría heliocéntrica coherente: Copérnico fue, ante todo, el iniciador de la revolución científica que acompañó al Renacimiento europeo.

El modelo heliocéntrico de Nicolás Copérnico fue una aportación decisiva a la ciencia del Renacimiento. La concepción geocéntrica del universo, teorizada por Ptolomeo, establecía un cosmos geocéntrico con la Luna, el Sol y los planetas fijos en esferas girando alrededor de la Tierra. Con Copérnico, el Sol se convertía en el centro inmóvil del universo, y la Tierra quedaba sometida a dos movimientos: el de rotación sobre sí misma y el de traslación alrededor del Sol. No obstante, el universo copernicano seguía siendo finito y limitado por la esfera de las estrellas fijas de la astronomía tradicional.

Copérnico

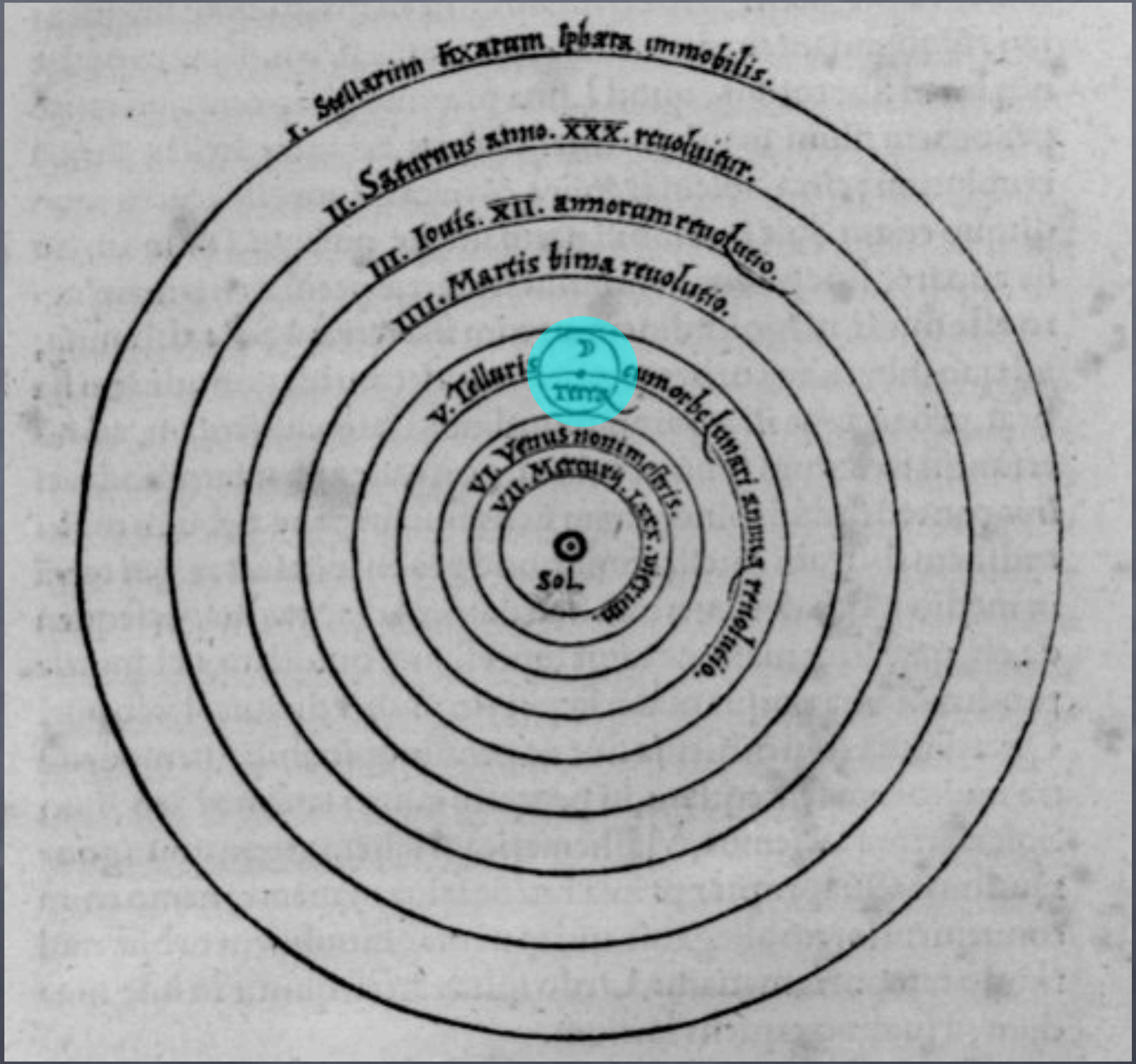
De revolutionibus orbium coelestium.

De la revolución de los cuerpos celestes.

Copérnico

Sistema heliocéntrico de Copérnico.

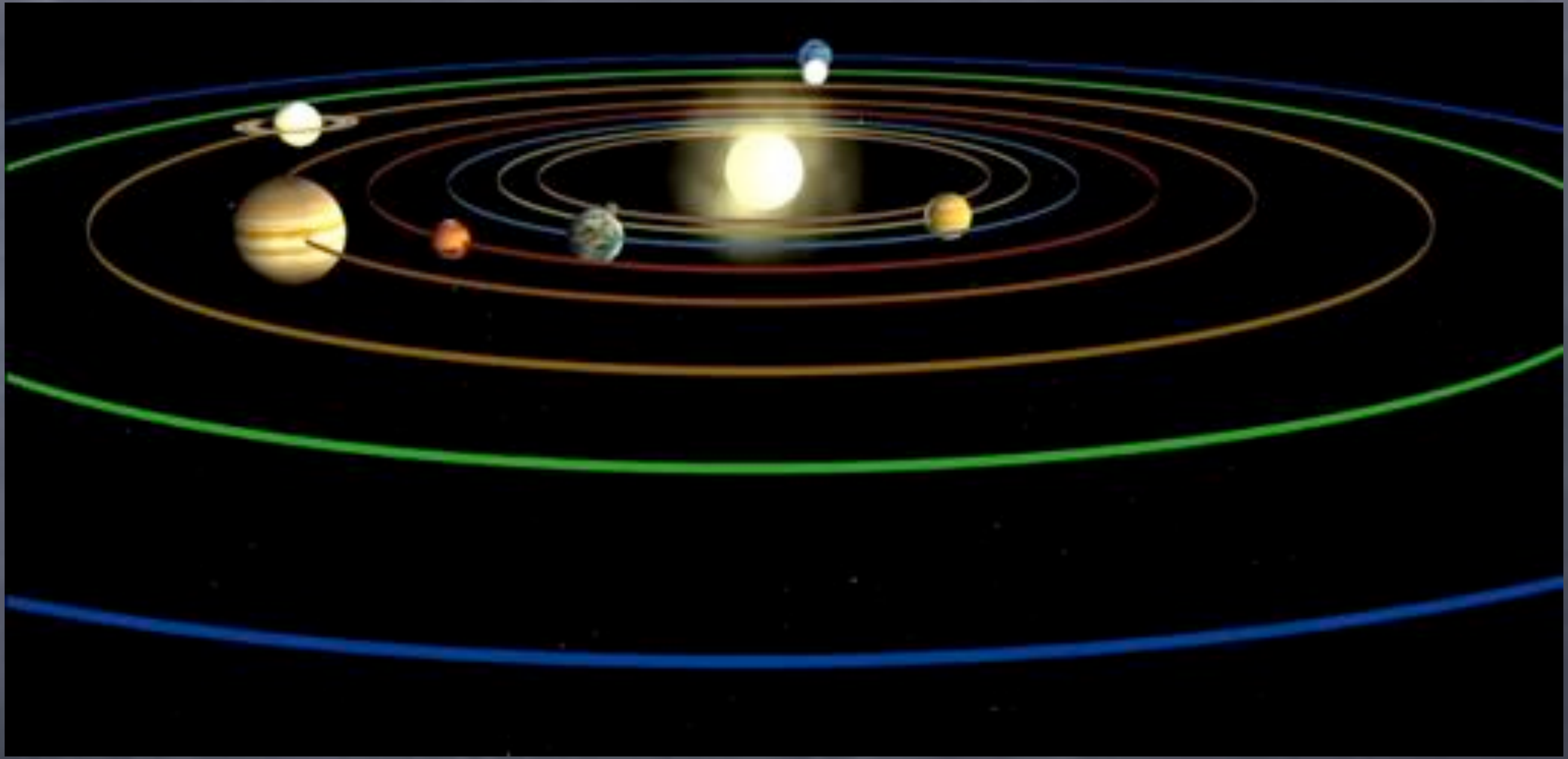
El Sol se encuentra en el centro del universo y los planetas, incluyendo la Tierra, giran a su alrededor. La Luna gira alrededor de la Tierra.



Sistema Heliocéntrico.

Copérnico

1. Un Sol central , 8 planetas que giran a su alrededor.
2. Todos los planetas giran en el mismo sentido antihorario .
3. Un planeta más interno gira más deprisa que un planeta más externo.



Tycho Brahe

(Knudstrup, Dinamarca, 1546 - Benatky, actual Chequia, 1601) Astrónomo danés. Hijo mayor de un miembro de la nobleza danesa, cuando contaba tan sólo un año fue literalmente secuestrado por su tío, quien no tenía descendencia y se ocupó de su educación con el consentimiento del padre de Brahe. Orientado por su familia a la carrera política, en 1559 fue enviado a Copenhague para estudiar filosofía y retórica, tras lo cual cursó estudios de derecho en Leipzig (1562-1565).

Sin embargo, en 1560, año en que presenció un eclipse de sol, decidió dedicarse a la astronomía, disciplina que durante una primera época estudió por su cuenta.

Brahe

Sistema planetario de Tycho Brahe.

La Tierra se encuentra en el centro del universo. La Luna gira alrededor de la Tierra en una órbita próxima.

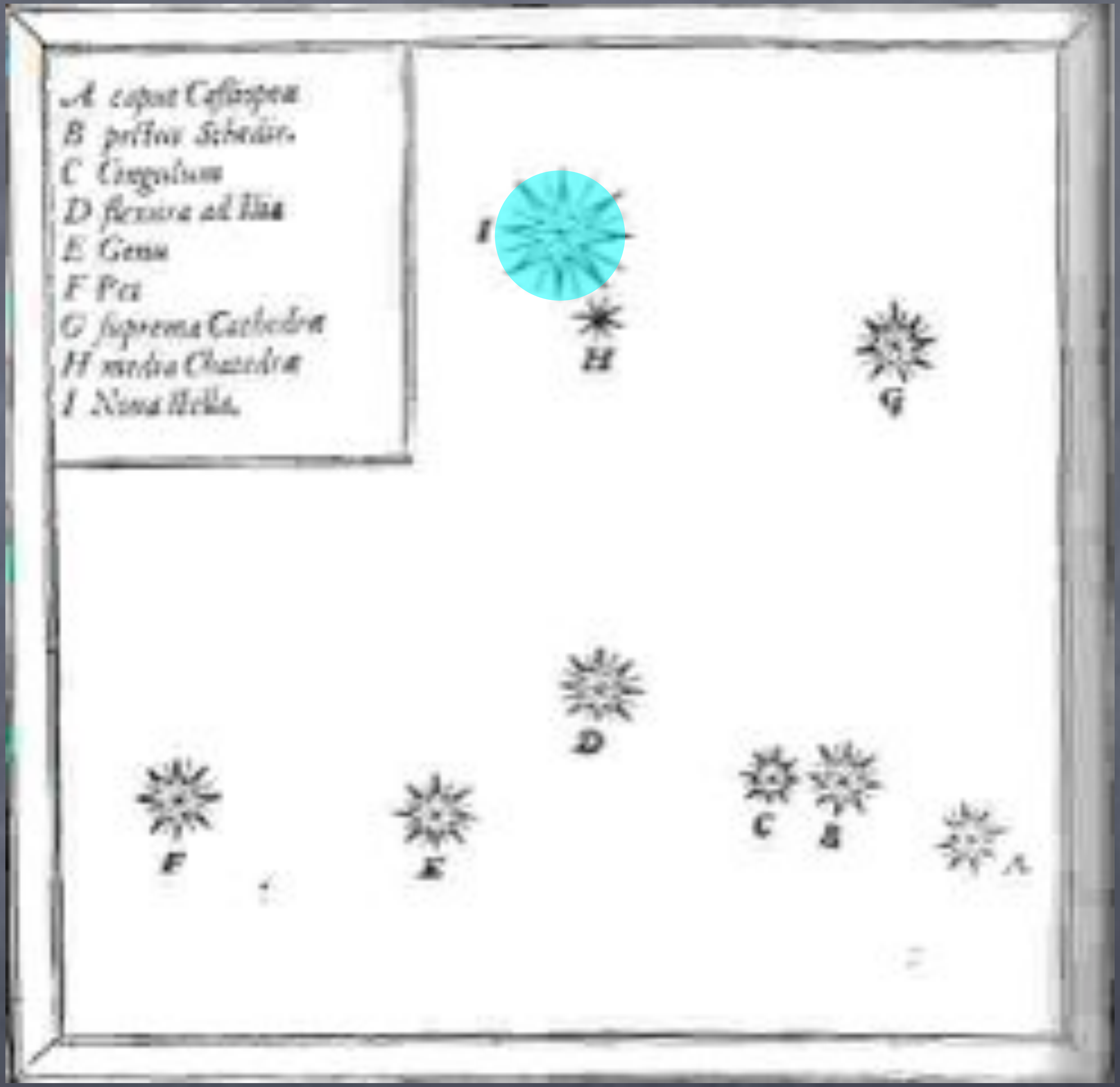
El Sol gira alrededor de la Tierra en una órbita alejada.

Tycho Brahe

Stella nova.

Primera observación bien documentada de (lo que hoy se denomina) una supernova.

Evidencia de que en los cielos también se producen cambios.



Johannes Kepler

(Würtemburg, actual Alemania, 1571-Ratisbona, id., 1630) Astrónomo, matemático y físico alemán. Hijo de un mercenario -que sirvió por dinero en las huestes del duque de Alba y desapareció en el exilio en 1589- y de una madre sospechosa de practicar la brujería, Johannes Kepler superó las secuelas de una infancia desgraciada y sórdida merced a su tenacidad e inteligencia.

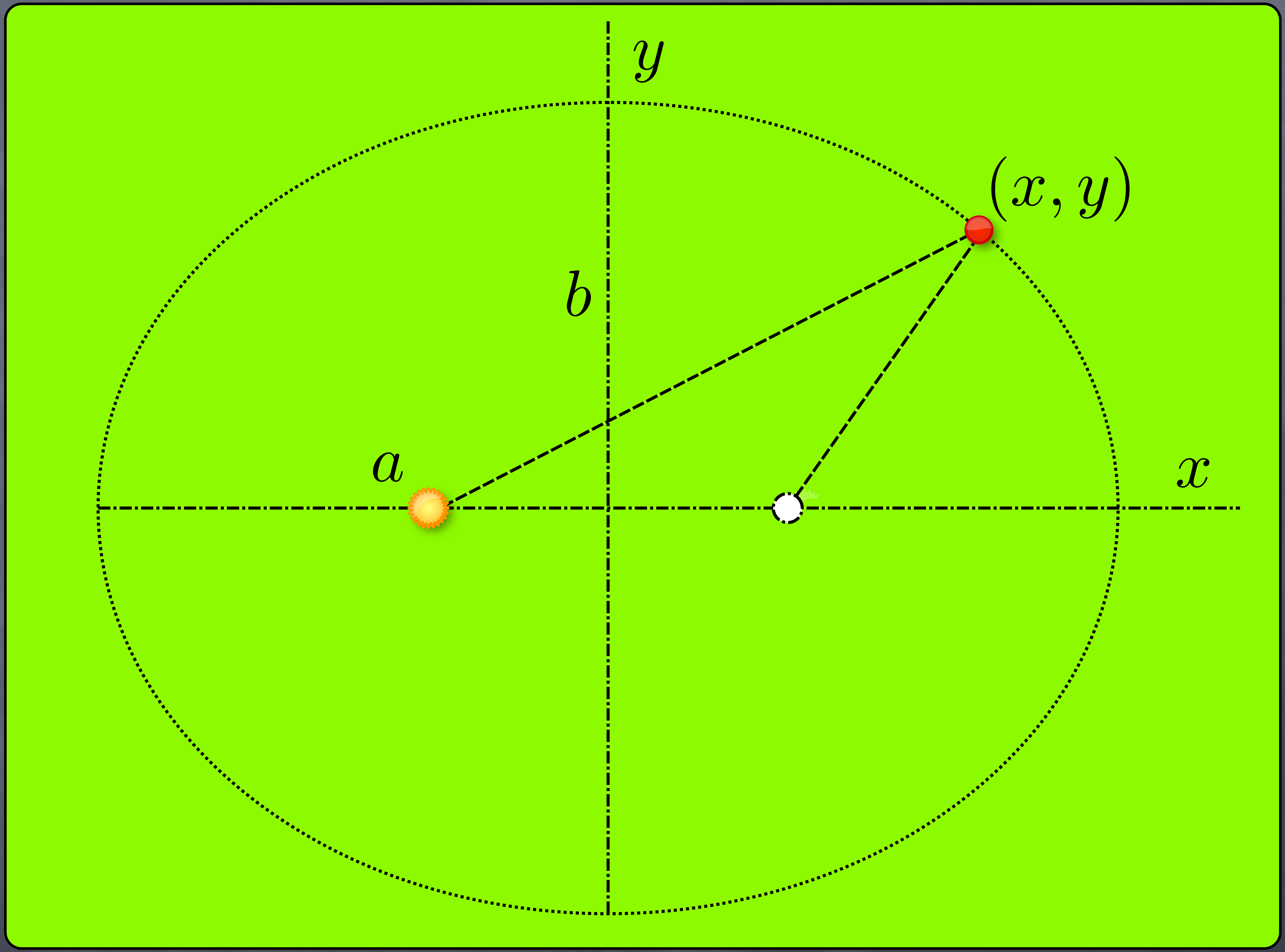
Pero el trabajo más importante de Kepler fue la revisión de los esquemas cosmológicos conocidos a partir de la gran cantidad de observaciones acumuladas por Brahe (en especial, las relativas a Marte), labor que desembocó en la publicación, en 1609, de la Astronomia nova (Nueva astronomía), la obra que contenía las dos primeras leyes llamadas de Kepler, relativas a la elipticidad de las órbitas y a la igualdad de las áreas barridas, en tiempos iguales, por los radios vectores que unen los planetas con el Sol.

Primera Ley de Kepler

La órbita de Marte es una elipse (poco excéntrica, es decir, que se distingue poco de una circunferencia), con el Sol en uno de sus focos.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$x^2 + y^2 = r^2$$



Segunda Ley de Kepler

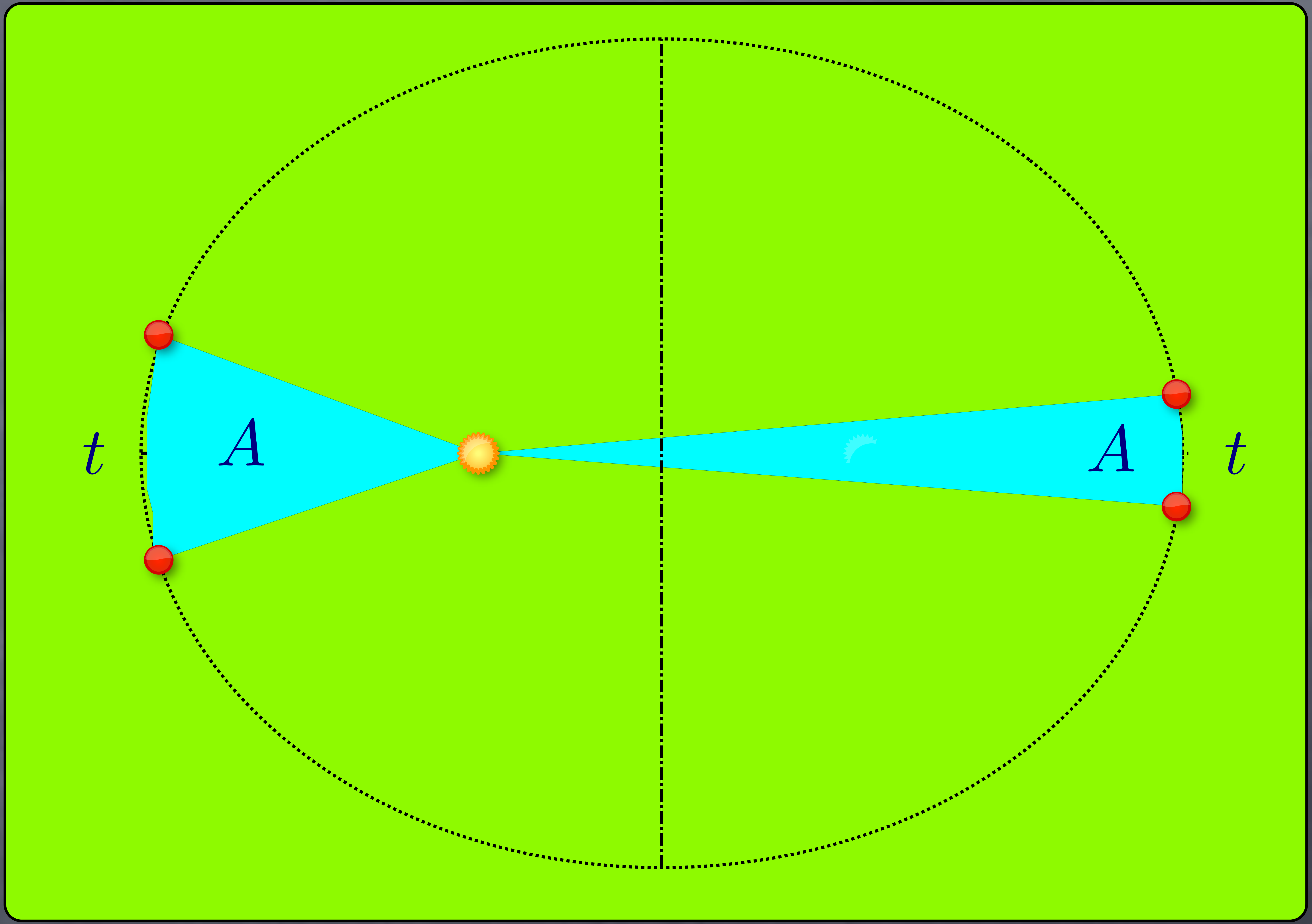
Segunda ley de Kepler.

En su movimiento alrededor del Sol de un planeta, el mismo no se mueve siempre con la misma velocidad y reas iguales son barridas en tiempos iguales.

$$\mathrm{d}A = \frac{1}{2} r \mathrm{d}\theta$$

$$\frac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}t} = \text{constante}$$

$$\frac{\mathrm{d}(r\theta)}{\mathrm{d}t} = \text{constante}$$



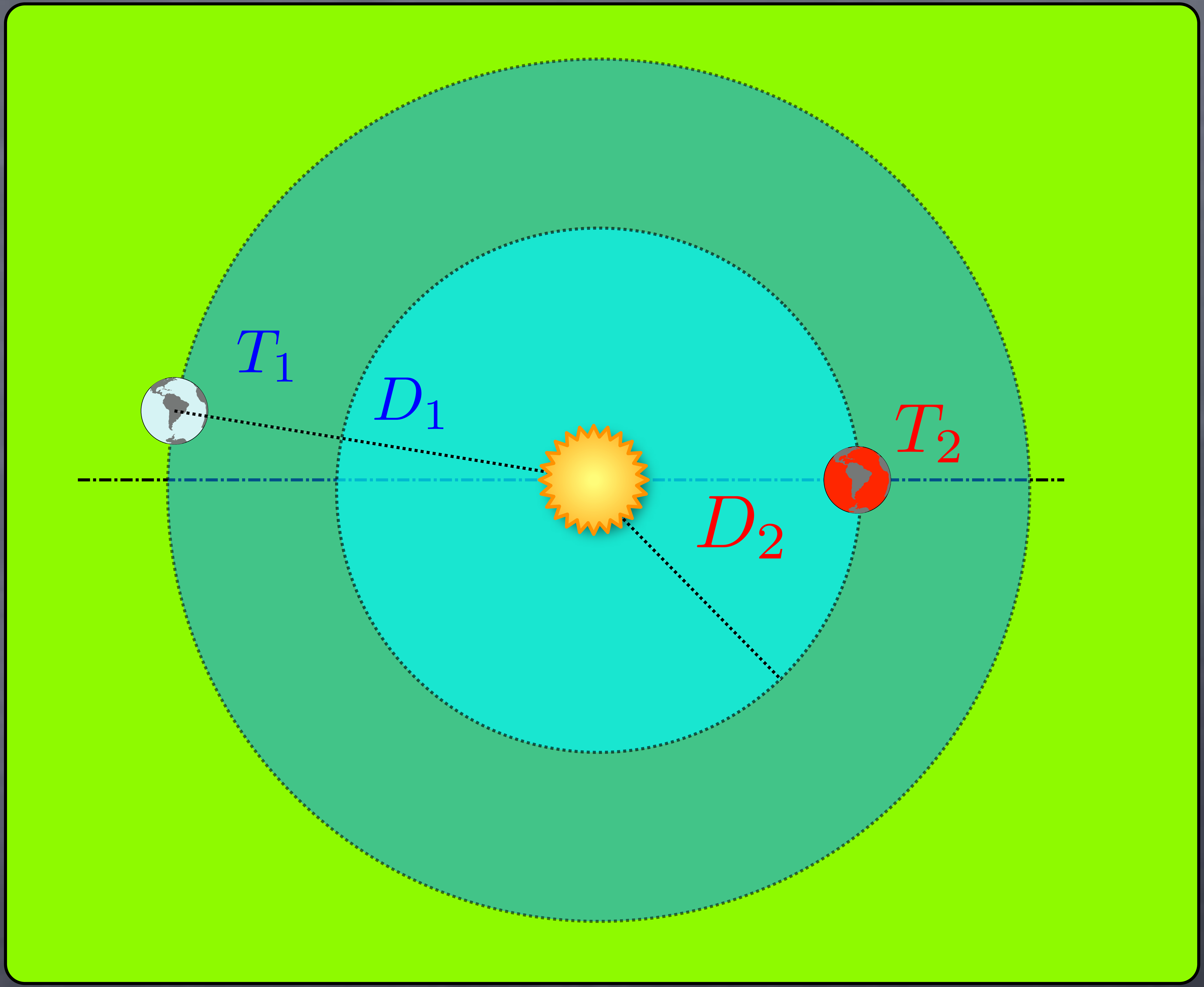
A mayor distancia al Sol, menor velocidad

Tercera Ley de Kepler

Tercera ley de Kepler.

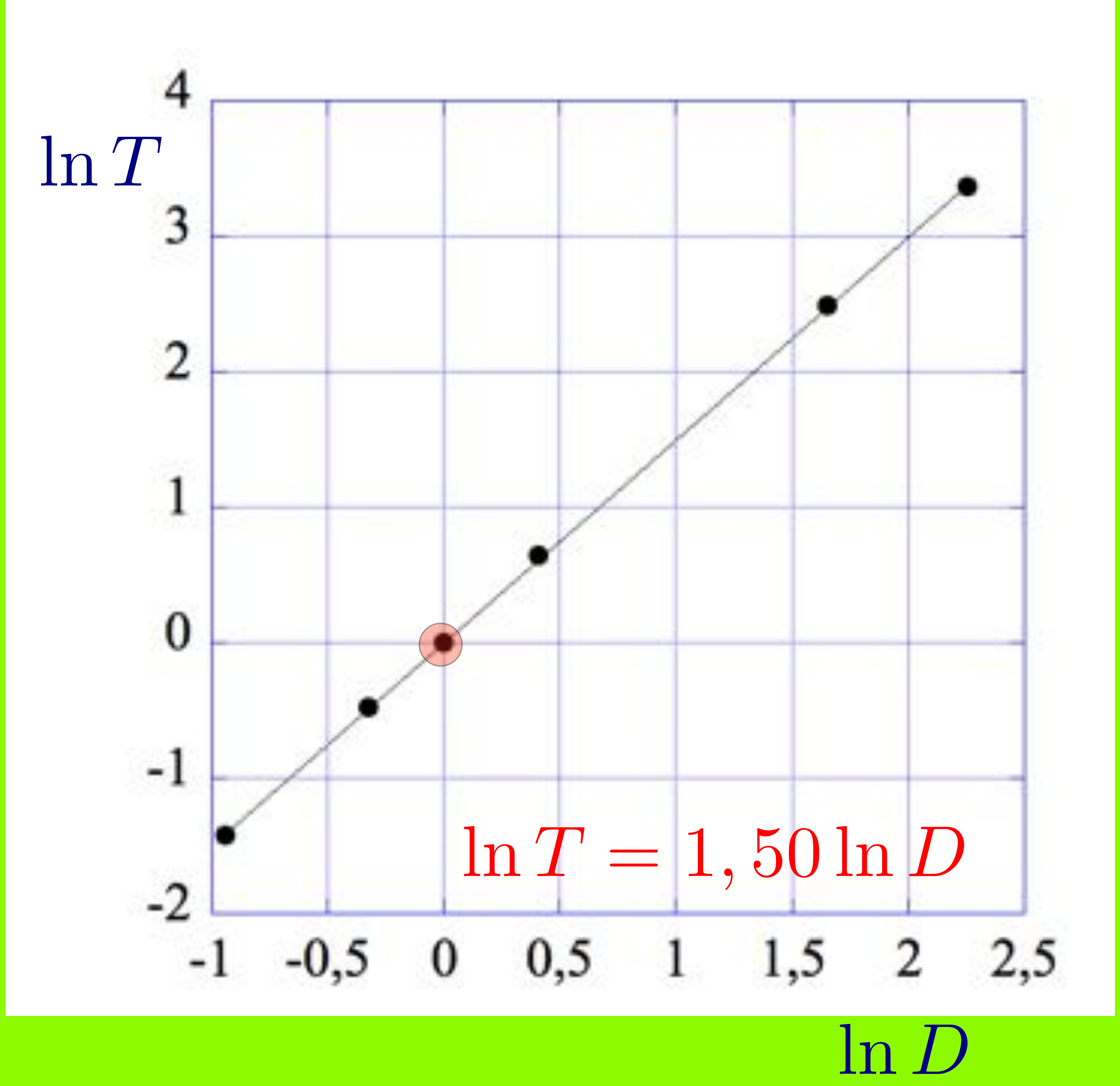
Para los planetas que orbitan alrededor del Sol, el cubo de su distancia media dividido por el cuadrado de su periodo es una constante.

$$\frac{D_1^3}{T_1^2} = \frac{D_2^3}{T_2^2} = \text{constante}$$



Tercera Ley de Kepler

T/a	D/UA
$0,24$	$0,39$
$0,62$	$0,72$
$1,00$	$1,00$
$1,90$	$1,50$
$12,00$	$5,20$
$29,00$	$9,50$



$$\frac{D^{1,5}}{T} = 1,00$$

$$\frac{D^3}{T^2} = 1,00$$

Galileo Galilei

(Galileo Galilei, Pisa 15 de febrero de 1564, 9 de enero de 1642). Lo poco que, a través de algunas cartas, se conoce de su madre, Giulia Ammannati di Pescia, no compone de ella una figura demasiado halagüeña.

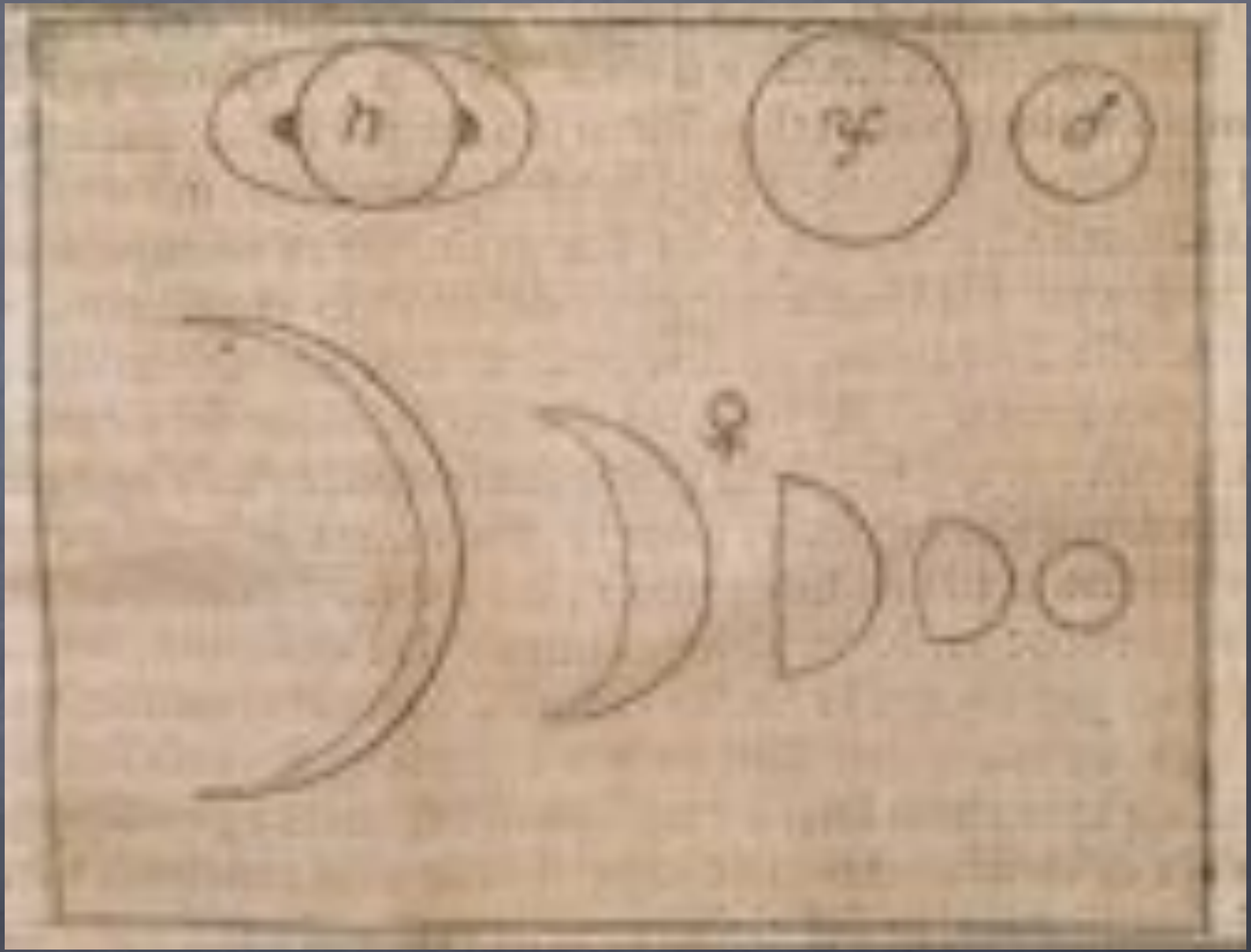
Para dar a conocer sus descubrimientos, Galileo redactó a toda prisa un breve texto que se publicó en marzo de 1610 y que no tardó en hacerle famoso en toda Europa: el Sidereus Nuncius, el 'mensajero sideral' o 'mensajero de los astros', aunque el título permite también la traducción de 'mensaje', que es el sentido que Galileo, años más tarde, dijo haber tenido en mente cuando se le criticó la arrogancia de atribuirse la condición de embajador celestial.

La nueva situación animó a Galileo a redactar la gran obra de exposición de la cosmología copernicana que ya había anunciado en 1610: el Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano; en ella, los puntos de vista aristotélicos defendidos por Simplicio se confrontaban con los de la nueva astronomía abogados por Salviati, en forma de diálogo moderado por la bona mens de Sagredo.

Galileo Galilei

Las fases de Venus.
Visto desde la Tierra, el planeta Venus presenta fases (semejantes a las de la Luna)

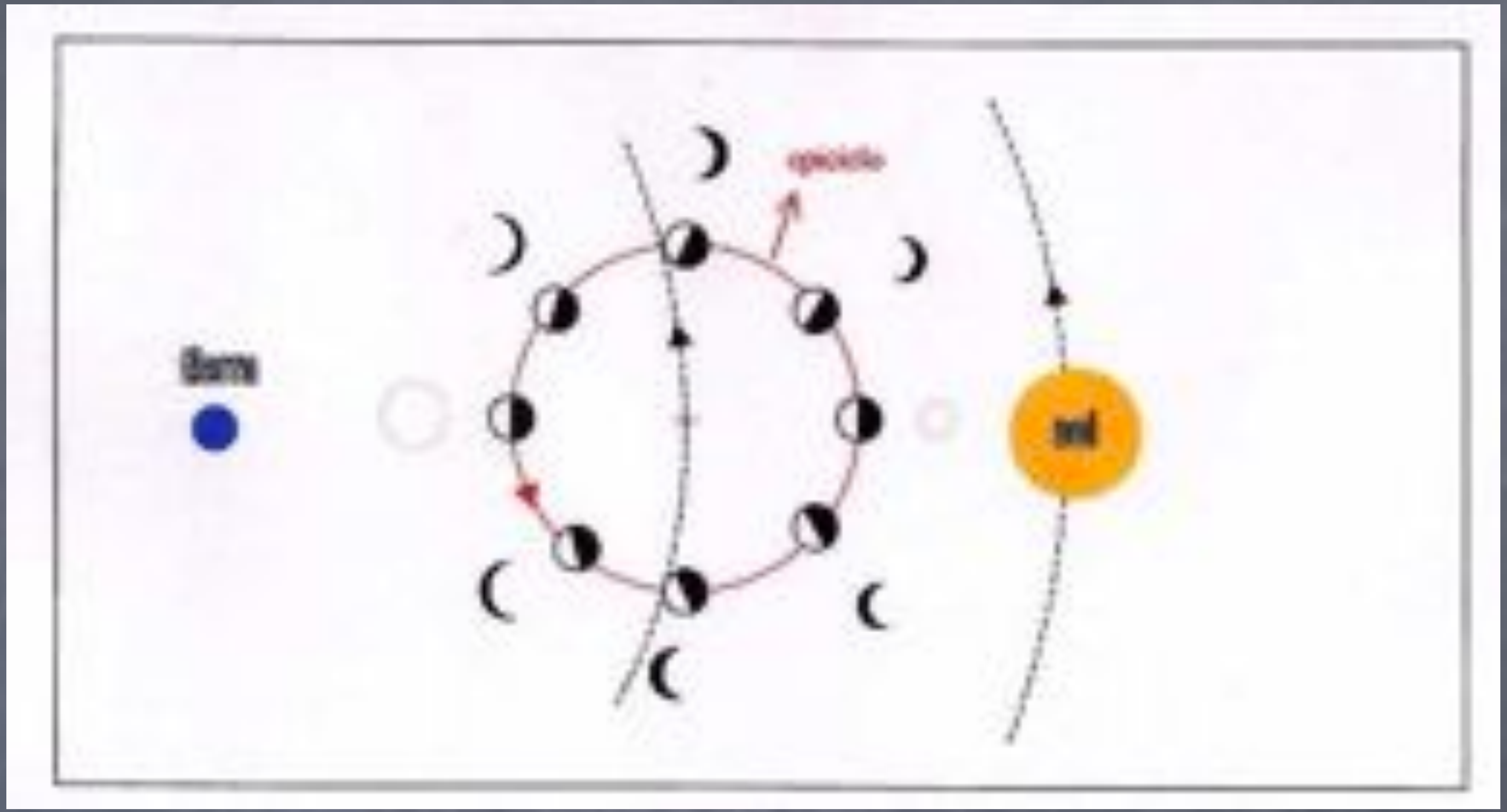
El sistema planetario Copernicano no sólo simplifica los cálculos sino que permite explicar fenómenos, como el de las fases de Venus, que no se pueden explicar con otros sistemas.

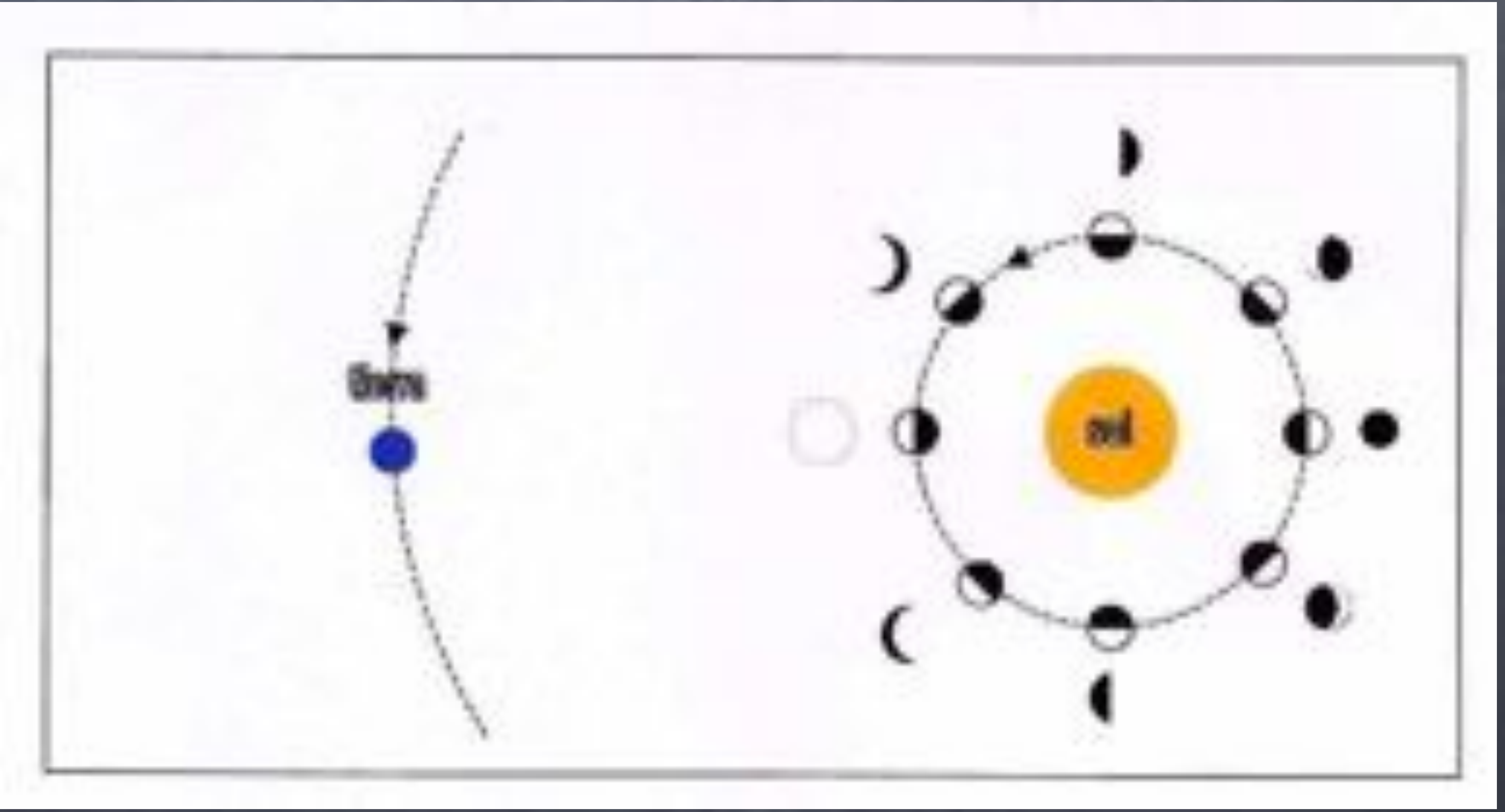


Galileo Galilei y las fases de Venus

Aunque el modelo geocéntrico también predice fases para el planeta Venus visto desde la Tierra, las formas de dichas fases no se corresponden con las observadas.

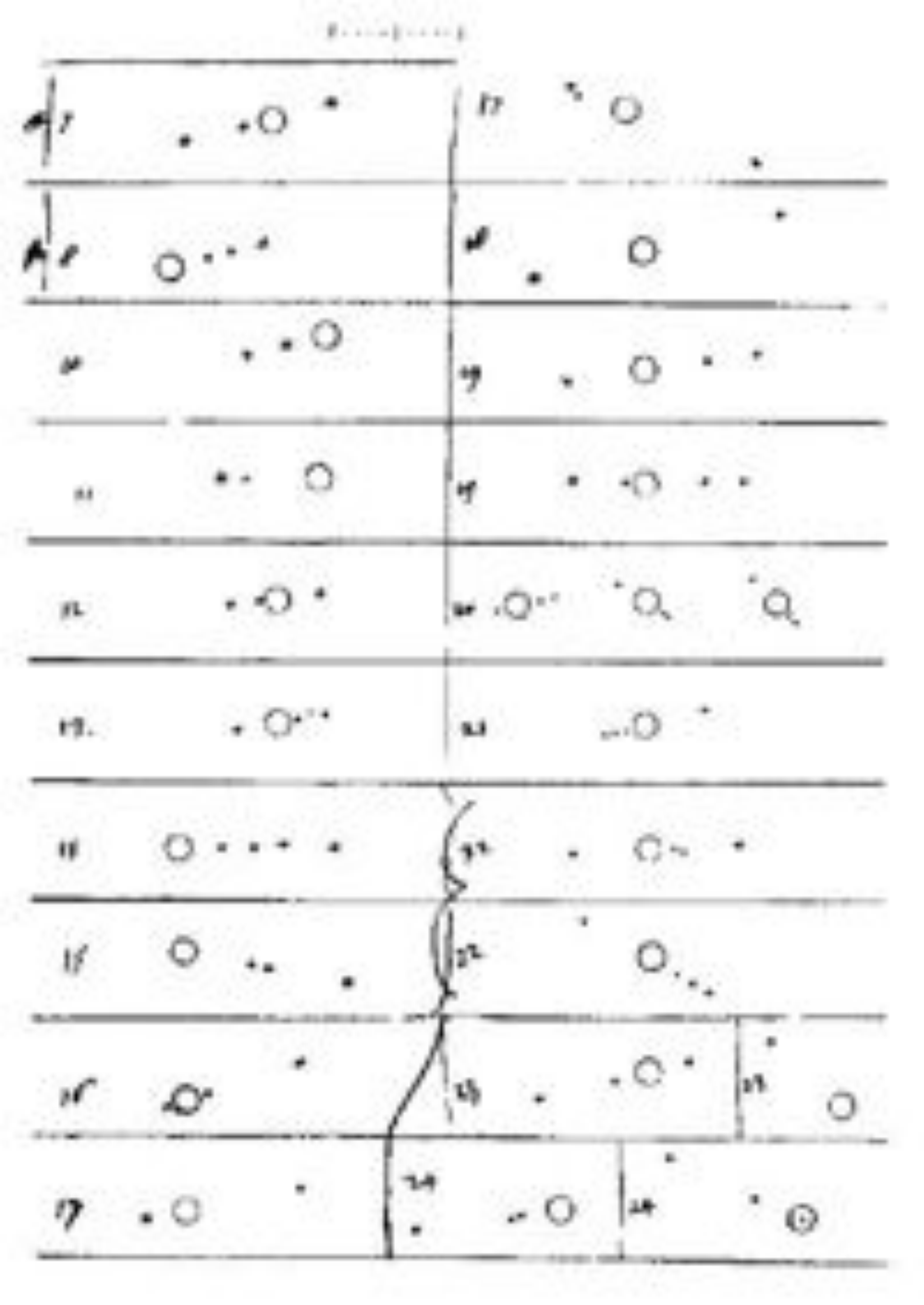
El modelo heliocéntrico predice correctamente las fases observadas en Venus.





Galileo Galilei

Satélites de Júpiter.
Hay cuerpos que no giran
alrededor de la Tierra.

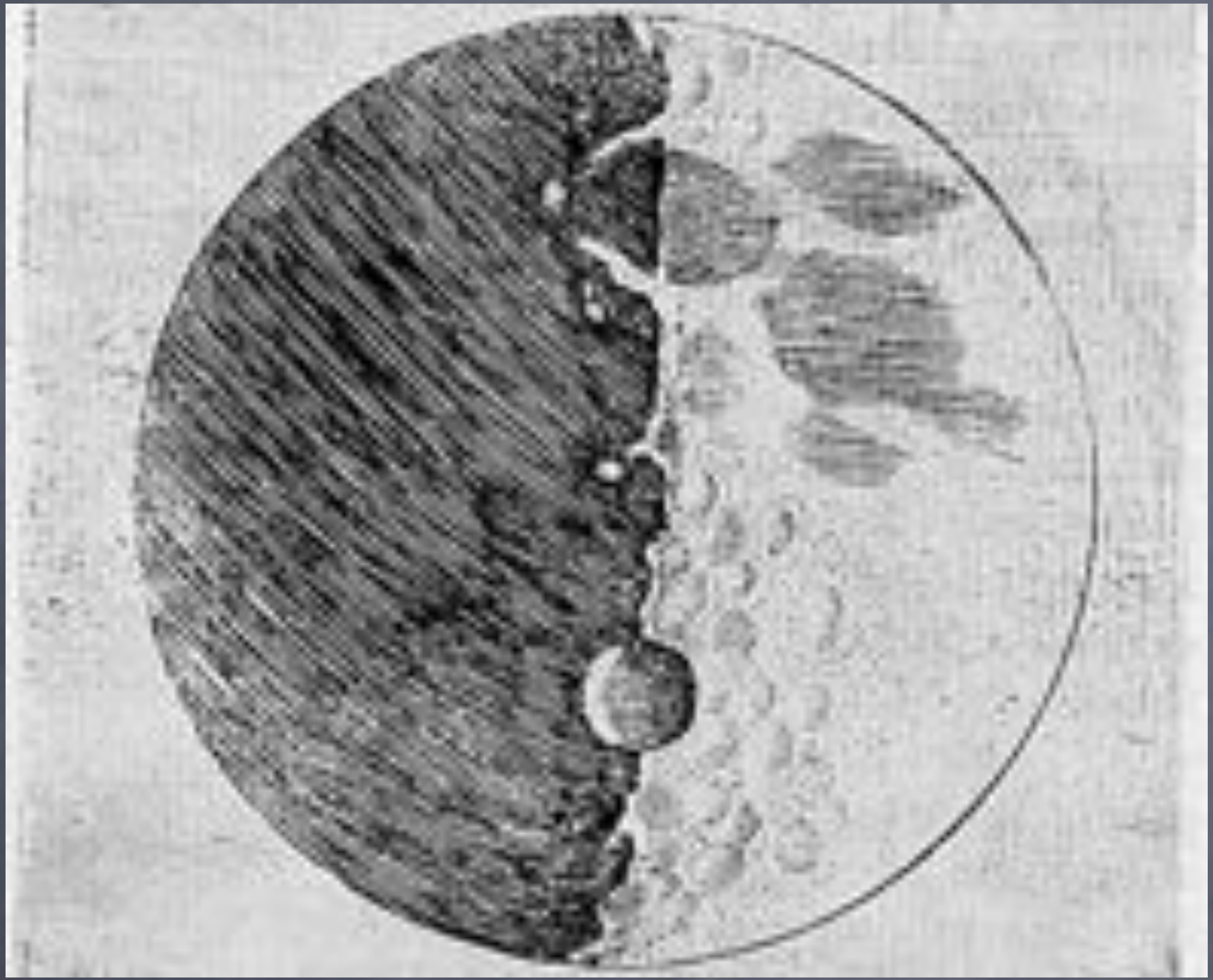


Galileo Galilei

Dibujos de la Luna.
Evidencias de que la Luna no está hecha de un material perfecto.

Galileo Galilei

Dibujos suyos de la Luna.



Robert Hooke: los crateres de la Luna se deben al impacto contra ella de meteritos, que levantan el material, que vuelve a la Luna por algún tipo de atracción.

Isaac Newton (1642-1727)

Las leyes de Newton

Primera ley de Newton

Segunda ley de Newton

Tercera ley de Newton

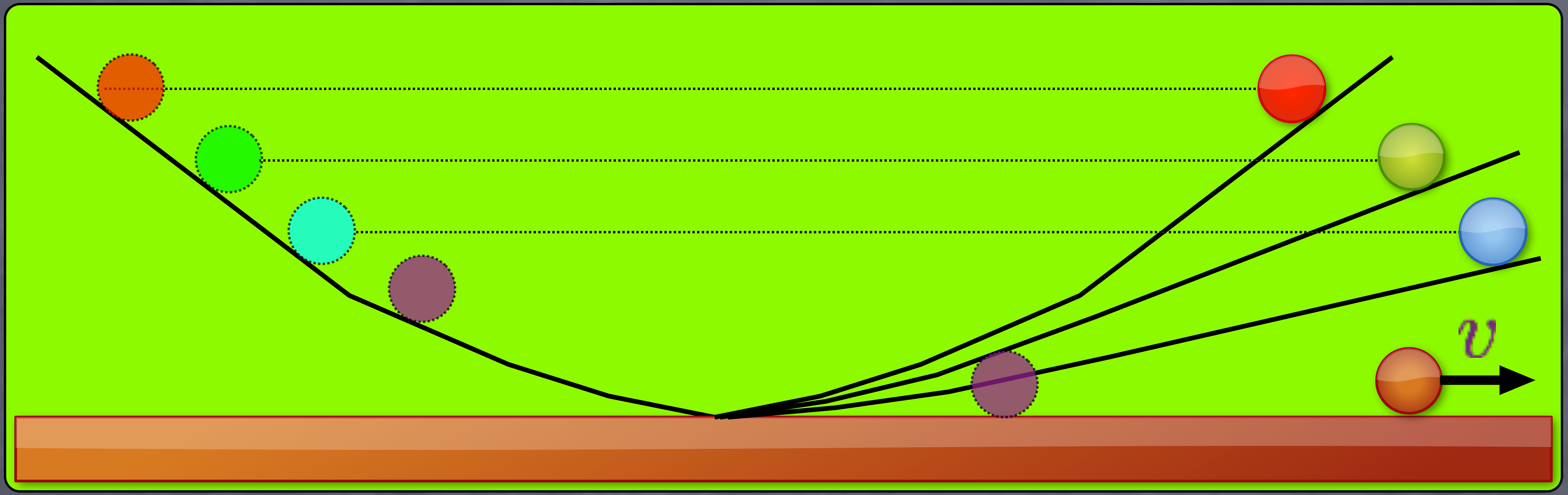
Principio de superposición

Ley de Gravitación Universal

Primera ley de Newton

Principio de inercia de Galileo.

Un cuerpo permanece en su estado, de reposo o de movimiento con velocidad constante, si sobre él no se aplica ninguna fuerza.



Inercia en raíl curvo de Galileo.

Se dispone de un carril curvo, con forma de parábola, por el que una bola puede moverse rodando y cumpliendo la condición de rodadura. La parte izquierda del carril puede inclinarse, haciendo que se pierda la simetría derecha-izquierda. Cuando el lado derecho del carril es horizontal, la bola se mueve con velocidad constante v.

Partícula puntual. Forma de Newton

$$\frac{\mathrm{d}(m\vec{v})}{\mathrm{d}t} = \vec{F}$$

Masa constante

$$m\mathrm{d}\vec{v} = \vec{F}\mathrm{d}t$$

Partícula puntual. Forma de Euler

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Partícula puntual

$$m\left(v_f - v_i\right) = F t_0$$

masa

velocidad final

velocidad inicial

fuerza

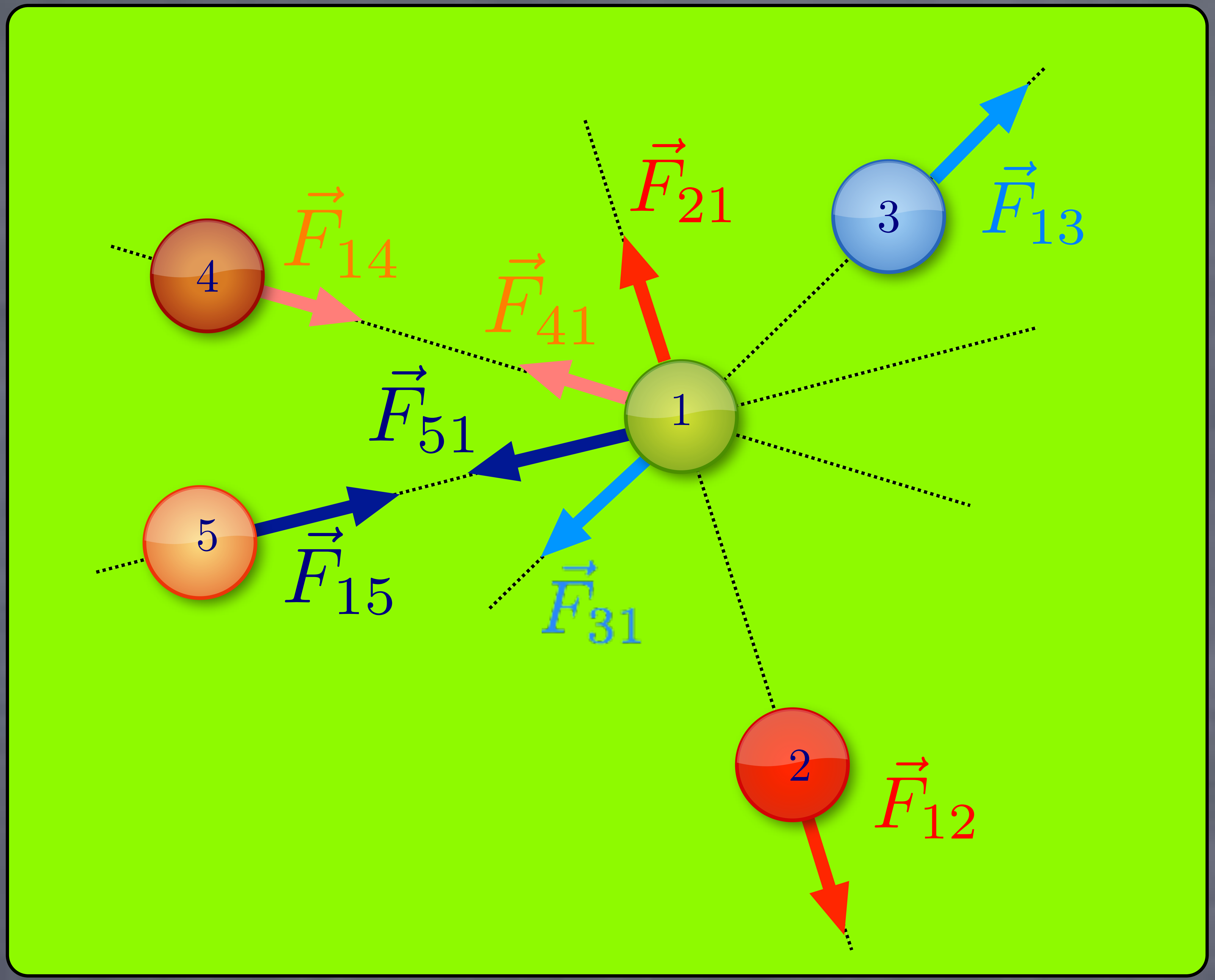
tiempo

Variación del momento lineal

Impulso

Ecuación impulso-variación del momento lineal integrada para fuerza constante.
Si se conoce la fuerza aplicada y el intervalo de tiempo durante el que se aplica, se puede obtener su velocidad final, conocidas las condiciones iniciales.

Tercera ley de Newton



Tercera ley de Newton. Principio de superposición.
Fuerzas iguales, y de sentido contrario, a pares, aplicadas sobre cuerpos diferentes.
Cada cuerpo ejerce una fuerza sobre el cuerpo central con independencia de los demás cuerpos presentes.

La Tercera ley de Newton debería ser la Primera

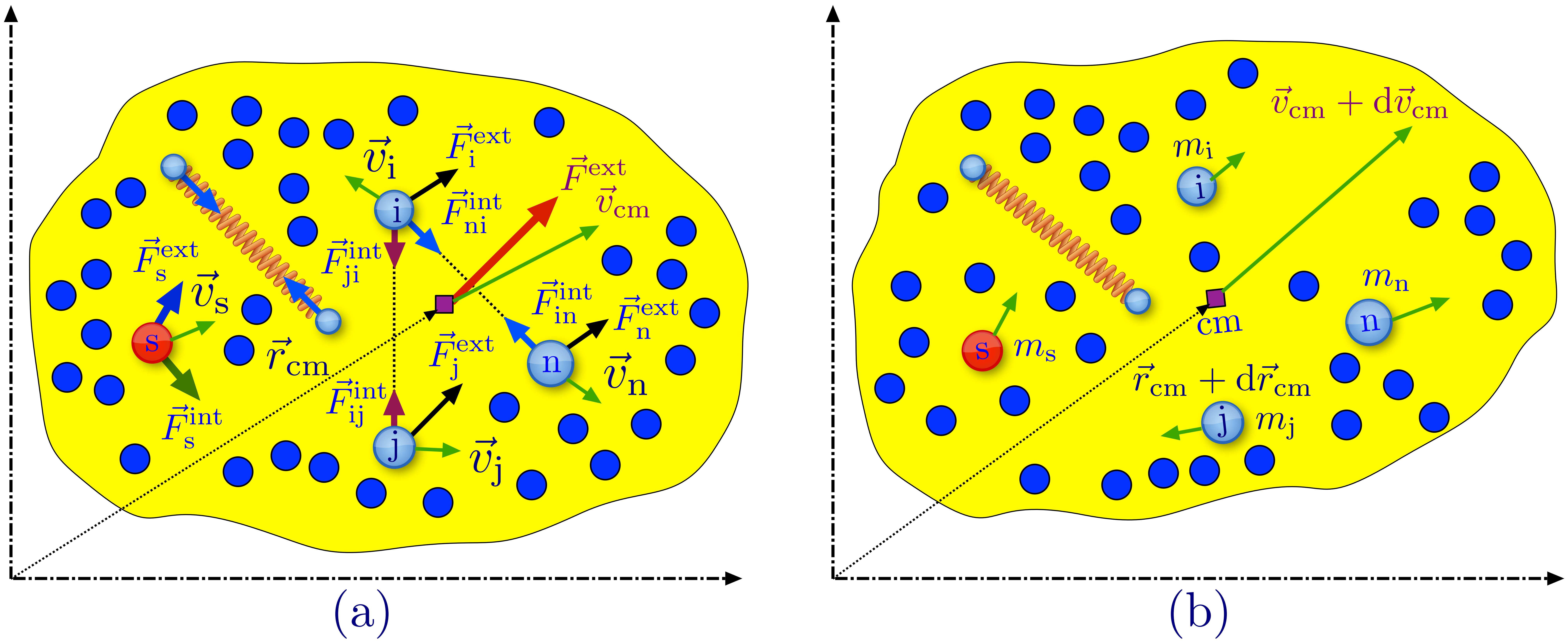
Changing the Order of Newton's Laws –Why & How the Third Law Should be First

Sue Stocklmayer, John P. Rayner, and Michael M. Gore, The Australian National University, Canberra, Australia

Newton's laws are difficult both for teachers and students at all levels.[1-3] This is still the case despite a long history of critique of the laws as presented

not to be coincident. Some authors[17] have attempted to rewrite the law to overcome this problem; others have described misconceptions that have arisen through careless language

Segunda ley de Newton. Cuerpo extenso



$$M = \sum_k m_k$$

Cuerpo extenso formado por partículas que interaccionan entre sí o con el exterior mediante fuerzas conservativas.

Las fuerzas internas forman pares de acción-reacción.

Segunda ley de Newton aplicada a una partícula del cuerpo extenso.

$$\sum_i m_i \mathrm{d}\vec{v}_i = \sum_i \left(\sum_k \vec{F}^{\text{ext}}_{k,i} + \sum_n \vec{F}^{\text{int}}_{n,i} \right) \mathrm{d}t$$

$$\left(\vec{F}^{\text{int}}_k + \vec{F}^{\text{ext}}_k \right) \mathrm{d}t = m_k \, \mathrm{d}\vec{v}_k$$

Suma de todas las fuerzas externas aplicadas sobre el cuerpo.

La suma de las fuerzas internas, pares de acción-reacción es nula (Tercera ley de Newton).

¿Cómo se puede saber algo sin tener que saberlo todo?

$$\sum_i \sum_n \vec{F}^{\text{int}}_{n,i} = 0$$

Segunda ley de Newton aplicada a una partícula del cuerpo extenso.

$$\vec{F}^{\mathrm{ext}} = \sum_k \vec{F}_k^{\mathrm{ext}}$$

Velocidad del centro de masas.

$$\vec{v}_{\mathrm{cm}} = \frac{\sum_k m_k \vec{v}_k}{M}$$

Suma de todas las fuerzas externas aplicadas sobre el cuerpo.

La suma de las fuerzas internas, pares de acción-reacción es nula (Tercera ley de Newton).

$$M \mathrm{d}\vec{v}_{\mathrm{cm}} = \vec{F}^{\mathrm{ext}} \mathrm{d}t$$

Suma de todas las fuerzas externas aplicadas sobre el cuerpo.

La suma de las fuerzas internas, pares de acción-reacción es nula (Tercera ley de Newton).

$$M \mathrm{d}\vec{v}_{\mathrm{cm}} = \vec{F}^{\mathrm{ext}} \mathrm{d}t$$

Esta ecuación es válida incluso si hay fuerzas externas no-conservativas o disipativas.

Para fuerzas constantes

$$M \left(\vec{v}_{f,\mathrm{cm}} - \vec{v}_{i,\mathrm{cm}} \right) = \vec{F}^{\mathrm{ext}} \Delta t$$

Esta ecuación permite obtener la velocidad final, del centro de masas del sistema, si se conocen las fuerzas externas y su tiempo de aplicación.

Cuerpo extenso

La variación del momento lineal del centro de masas del cuerpo es igual al impulso de la resultante de las fuerzas externas aplicadas.

$$M\left(\vec{v}_{f,\mathrm{cm}}(t_0) - \vec{v}_{i,\mathrm{cm}}\right) = \sum_k \vec{F}^{\mathrm{ext}}_{k,i} t_0$$

tiempo

masa

fuerza resultante

velocidad final del centro de masas

velocidad inicial del centro de masas

$$M\mathrm{d}\vec{v}_{\mathrm{cm}} = \vec{F}^{\mathrm{ext}}\mathrm{d}t$$

Se multiplica escalarmente la segunda ley de Newton por la velocidad del centro de masas

$$M\,\vec{v}_{\mathrm{cm}} \cdot \mathrm{d}\vec{v}_{\mathrm{cm}} = \vec{F}^{\mathrm{ext}} \cdot \vec{v}_{\mathrm{cm}}\mathrm{d}t$$

Relaciones matemáticas

$$\vec{v}_{\mathrm{cm}} \cdot \mathrm{d}\vec{v}_{\mathrm{cm}} = \frac{1}{2}\mathrm{d}v_{\mathrm{cm}}^2 \qquad \vec{v}_{\mathrm{cm}}\mathrm{d}t = \mathrm{d}\vec{r}_{\mathrm{cm}}$$

Ecuación `variación de la energía cinética del centro de masas-pseudotrabajo'

$$\frac{1}{2}M\mathrm{d}v_{\mathrm{cm}}^2 = \vec{F}^{\mathrm{ext}} \cdot \mathrm{d}\vec{r}_{\mathrm{cm}}$$

$$\vec{F}^{\mathrm{ext}} \cdot \mathrm{d}\vec{r}_{\mathrm{cm}}$$

Pseudotrabajo.

Cuerpo extenso

La variación del momento lineal del centro de masas del cuerpo es igual al impulso de la resultante de las fuerzas externas aplicadas.

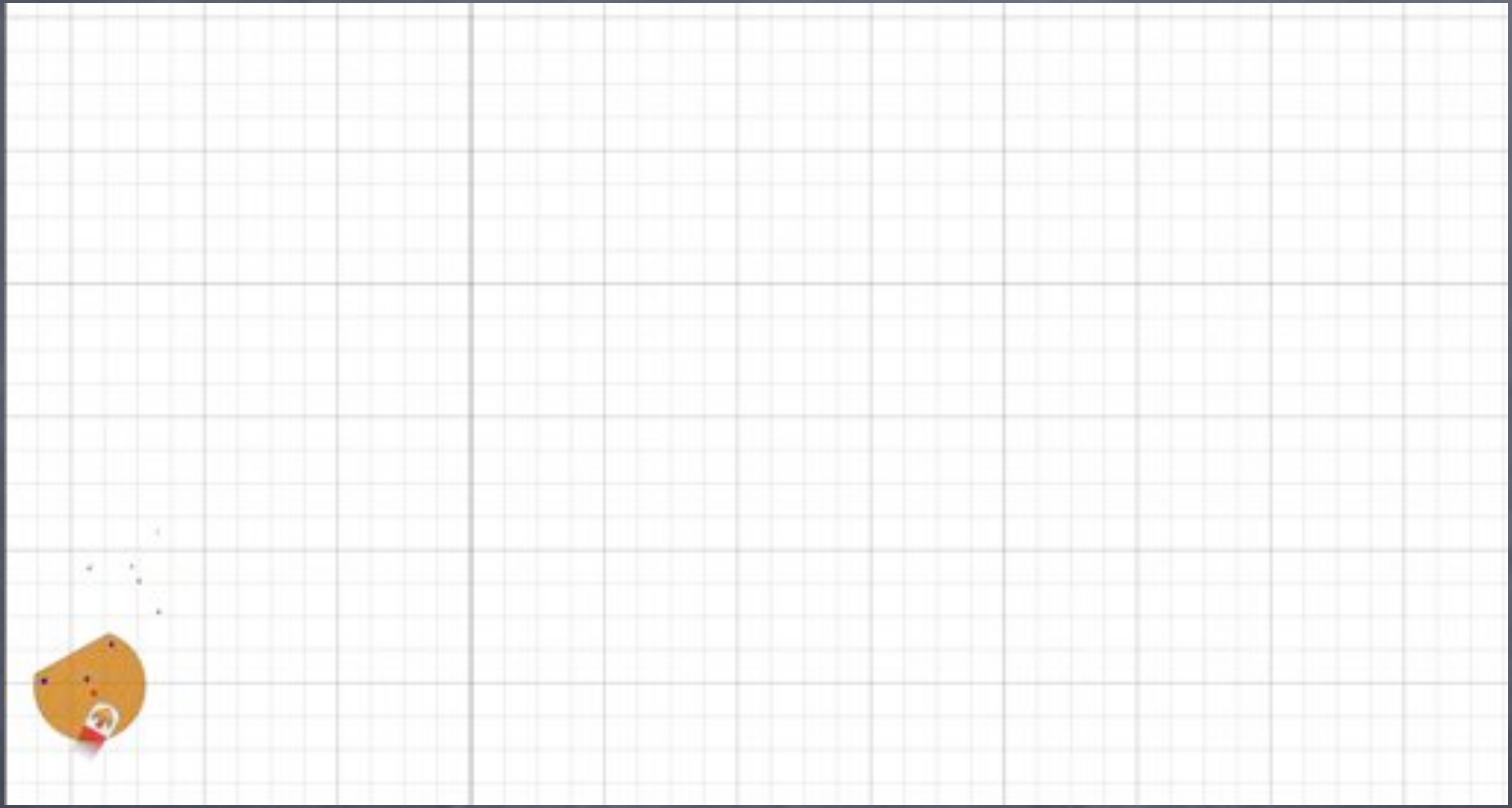
$$\frac{1}{2}M\left[\vec{v}^{2}_{f,\mathrm{cm}}(t_0)-\vec{v}^{2}_{i,\mathrm{cm}}\right]=\sum_k \vec{F}^{\mathrm{ext}}_k\left[\vec{x}_{f,\mathrm{cm}}(t_0)-\vec{x}_{i,\mathrm{cm}}\right]$$

fuerza resultante

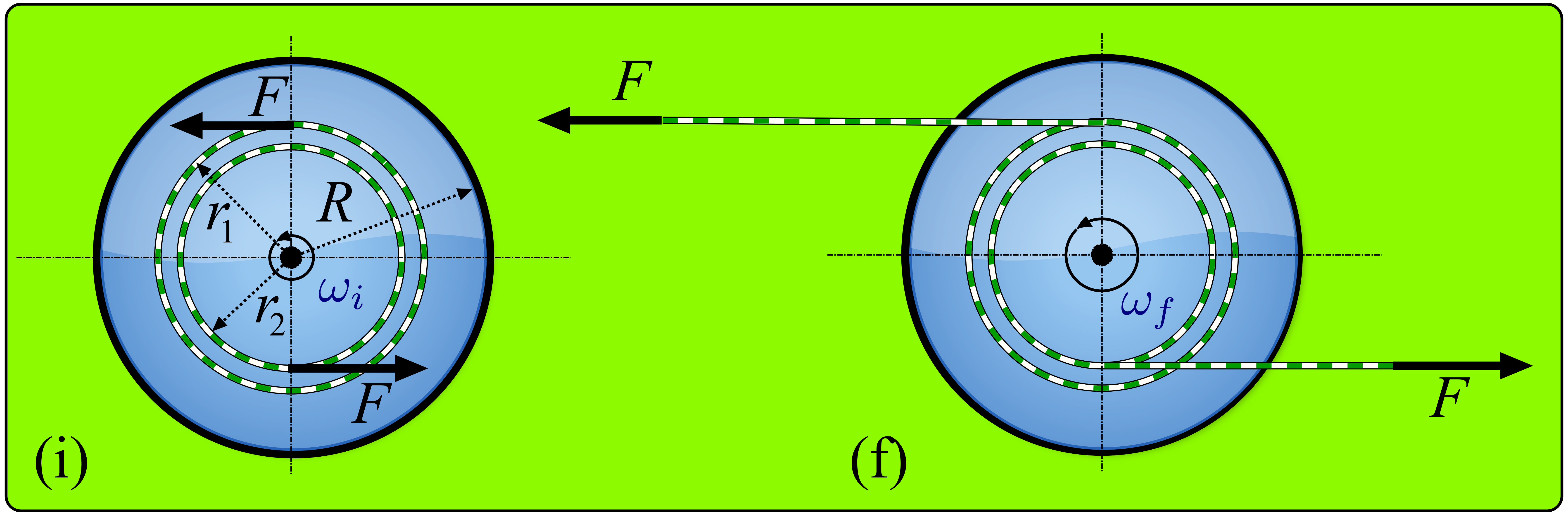
posición final del centro de masas

posición inicial del centro de masas

Movimiento del centro de masas.



Conocidas las fuerzas aplicadas sobre un sistema, la segunda ley de Newton (sólo) proporciona información sobre el movimiento del centro de masas.



$$\sum_k \vec{F}_k = 0\,;\, \Delta K_{\mathrm{cm}} = 0$$

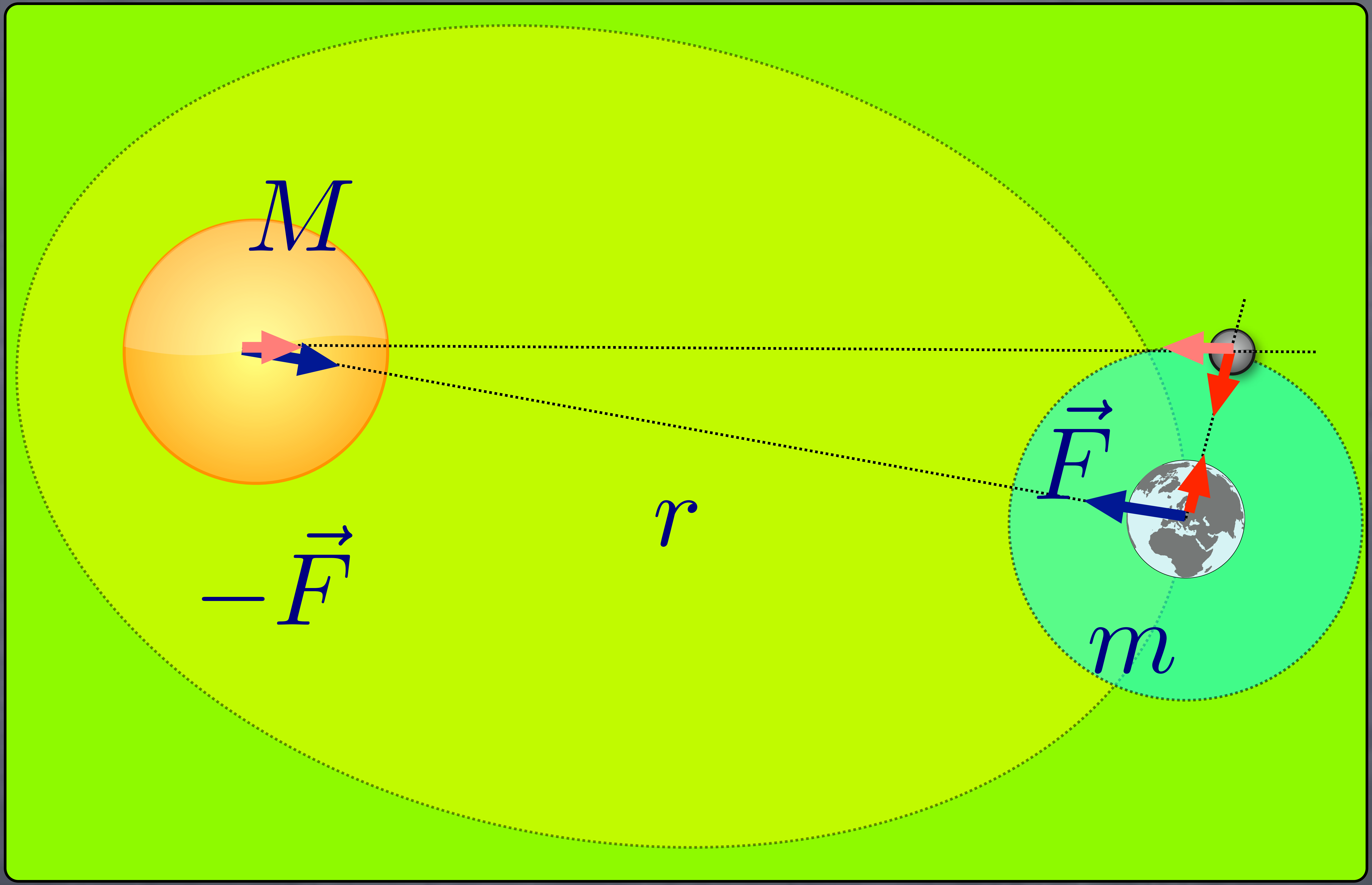
$$W_{\mathrm{ext}} = F r_1 \Delta\theta + F r_2 \Delta\theta$$

Trabajo de las fuerzas externas.

$$\Delta U = \Delta K_I = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Energía interna en forma de energía cinética interna o energía cinética de rotación.

Ley de Gravitación Universal



Dos cuerpos masivos ejercen una fuerza mutua que es directamente proporcional a sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias.

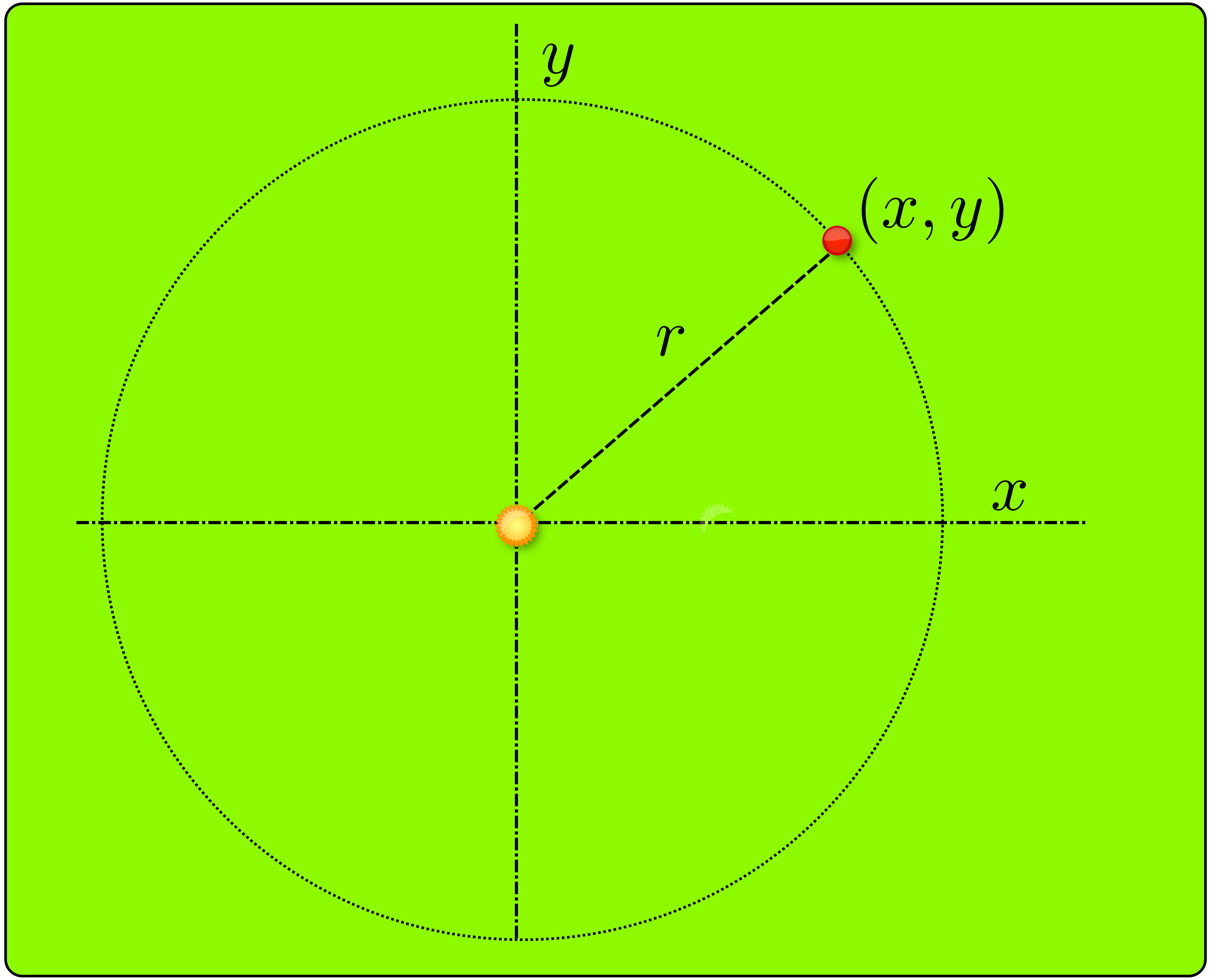
¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

Primera ley de Kepler

$$x^2 + y^2 = r^2$$

Órbita circular

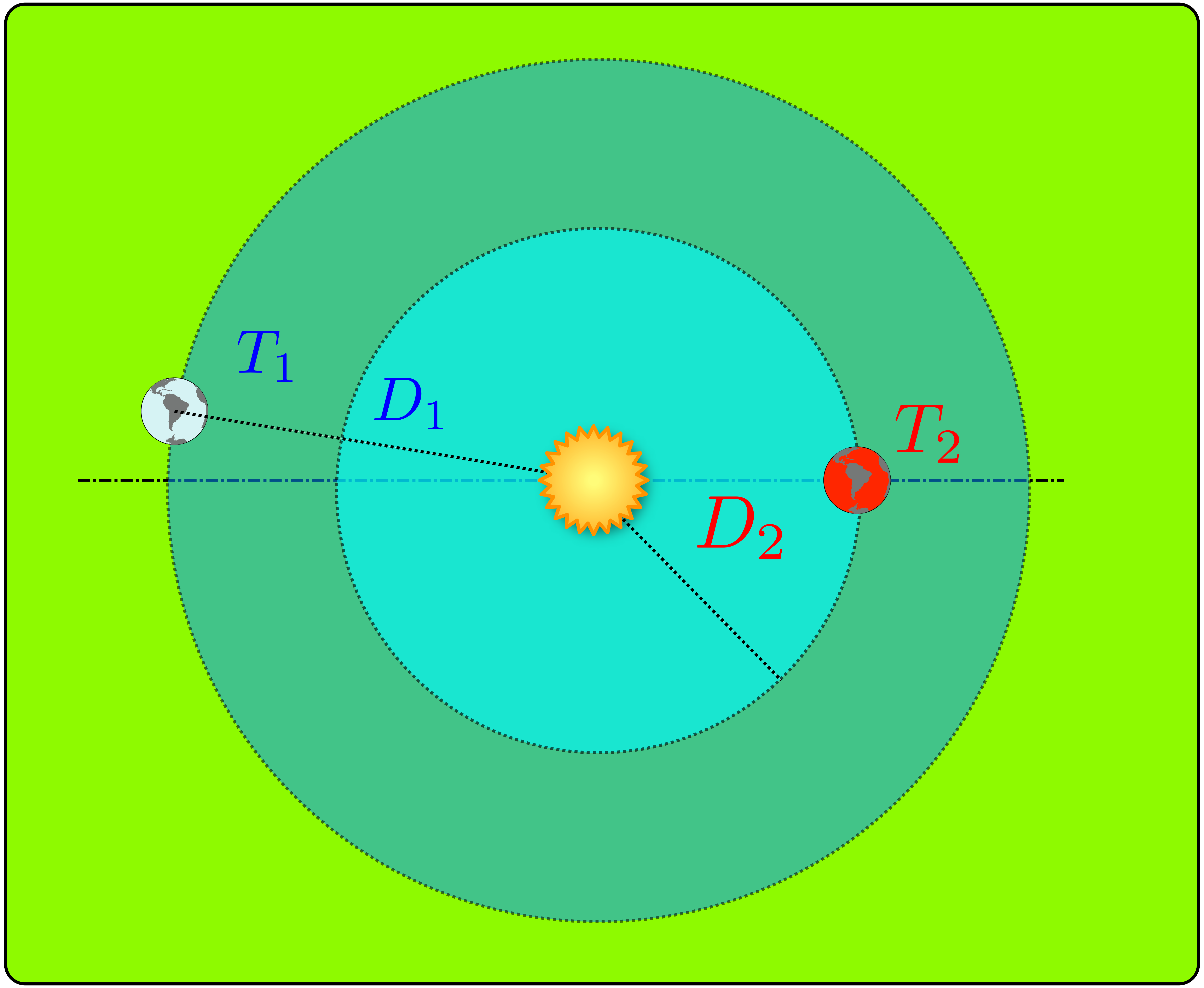
$$L = 2\pi D$$



¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

Tercera ley de Kepler

$$\frac{T^2}{D^3} = \text{Cte}$$



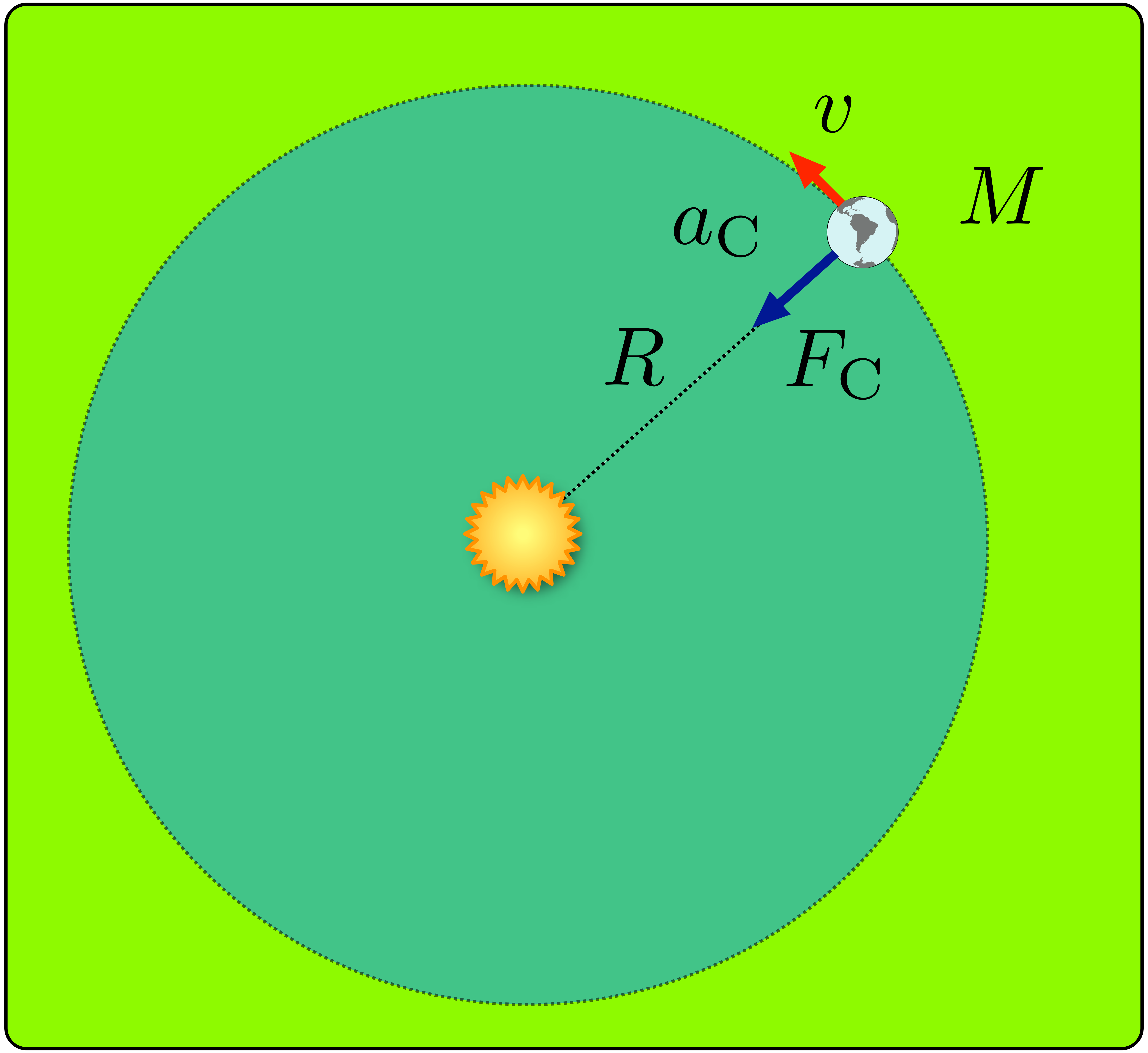
¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

Segunda ley de Newton.
Fuerza centrípeta

$$\vec{F} = M_{\mathrm{T}} a_{\mathrm{c}}$$

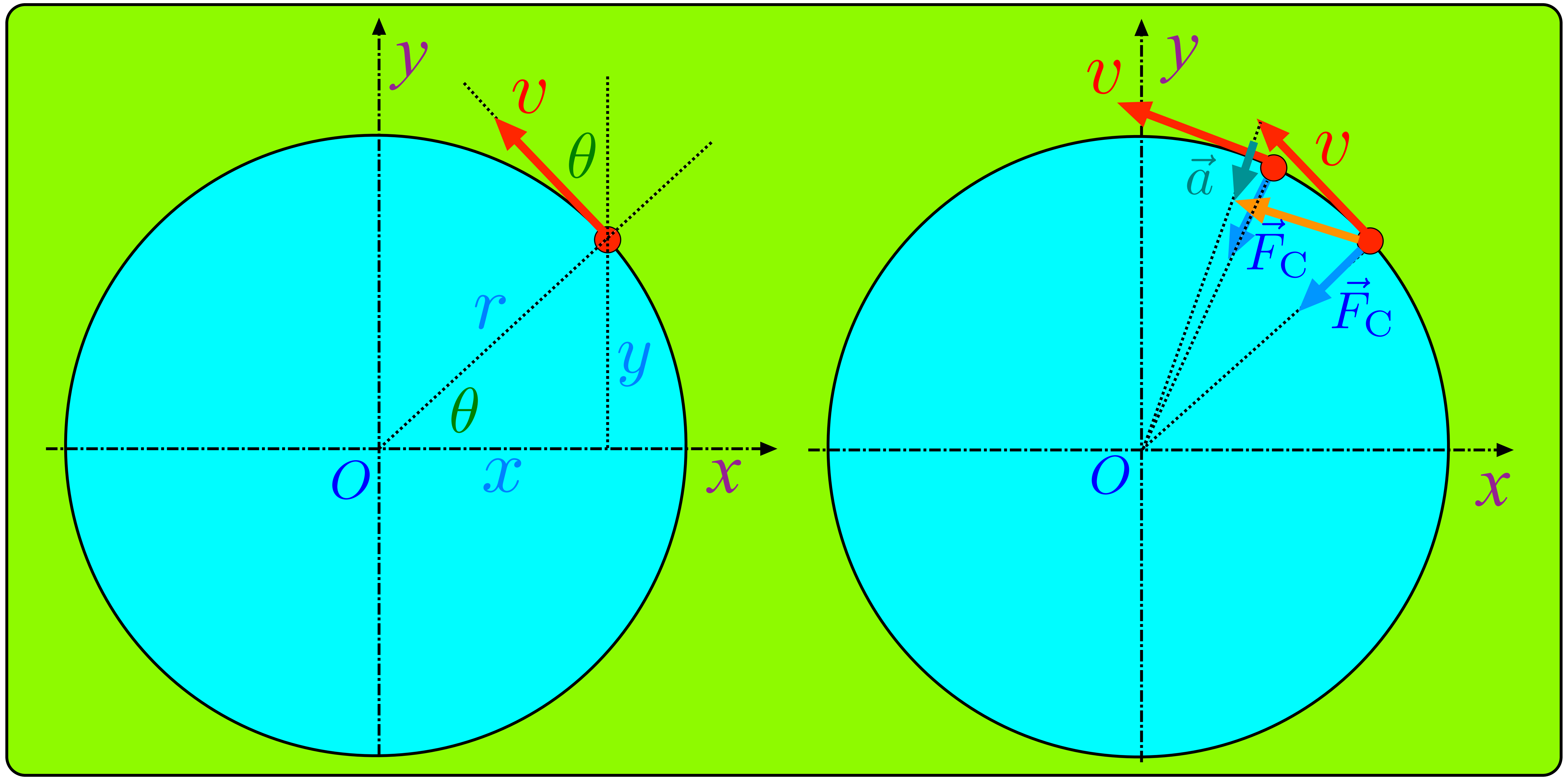
Ley de Huygens.
Aceleración centrípeta.

$$a_{\mathrm{C}} = \frac{v^2}{R}$$



¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

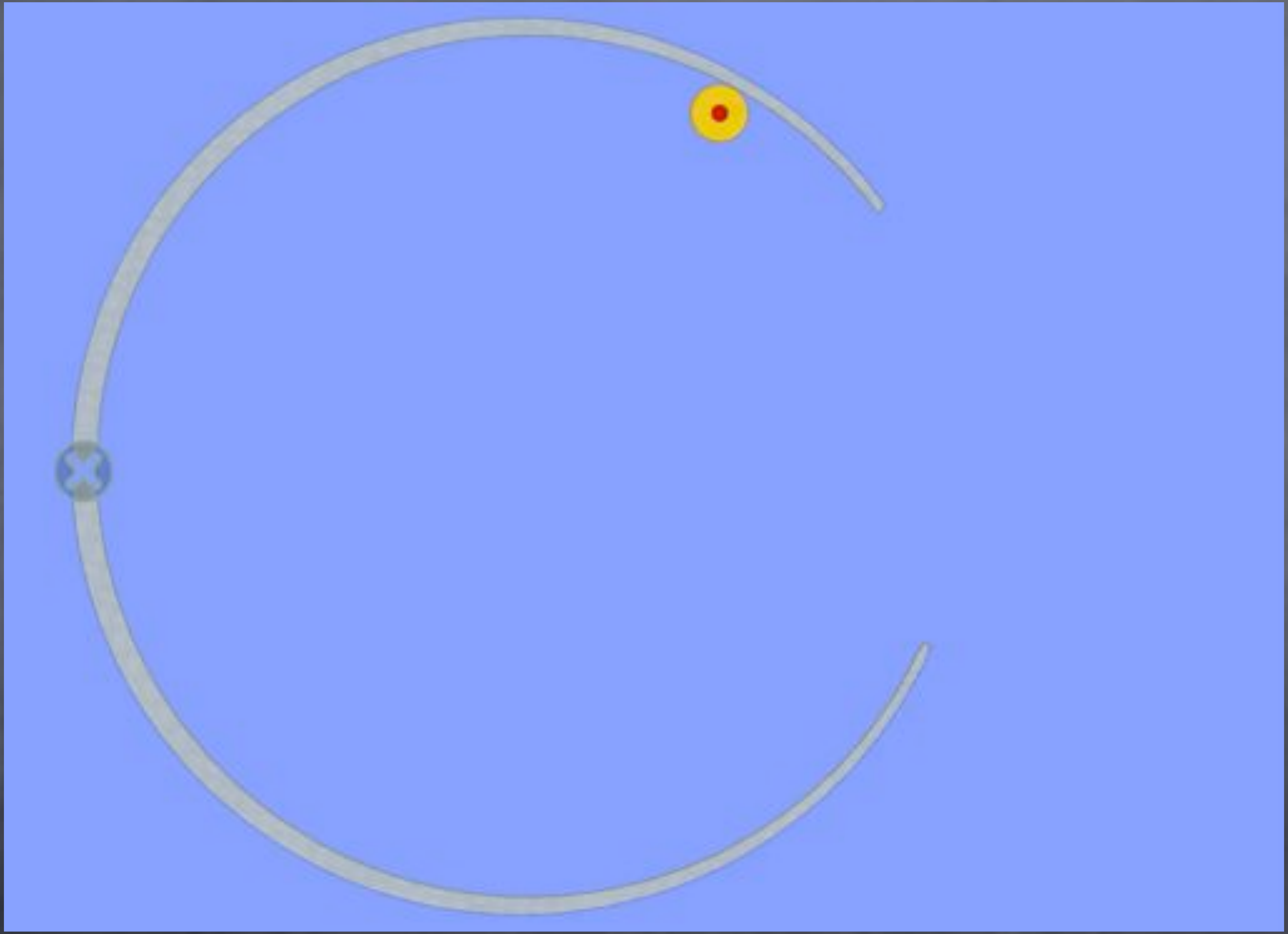
Para un cuerpo que se mueve sobre un arco de circunferencia, la aceleración centrípeta es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad, inversamente proporcional al radio y se dirige hacia el centro de la circunferencia.



Ley de Huygens

$$a_C = \frac{v^2}{R}$$

Movimiento circular. Fuerza centrípeta.



¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

$$T = \frac{2\pi R}{v} \qquad v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$F = M_{\mathrm{T}} a_{\mathrm{c}}$$

$$F = M_{\mathrm{T}} \frac{v^2}{R}$$

$$F = M_{\mathrm{T}} \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

$$F \,\alpha\, M_{\mathrm{T}} \frac{4\pi^2 R}{R^3}$$

$$\boxed{F \,\alpha\, \frac{1}{R^2}}$$