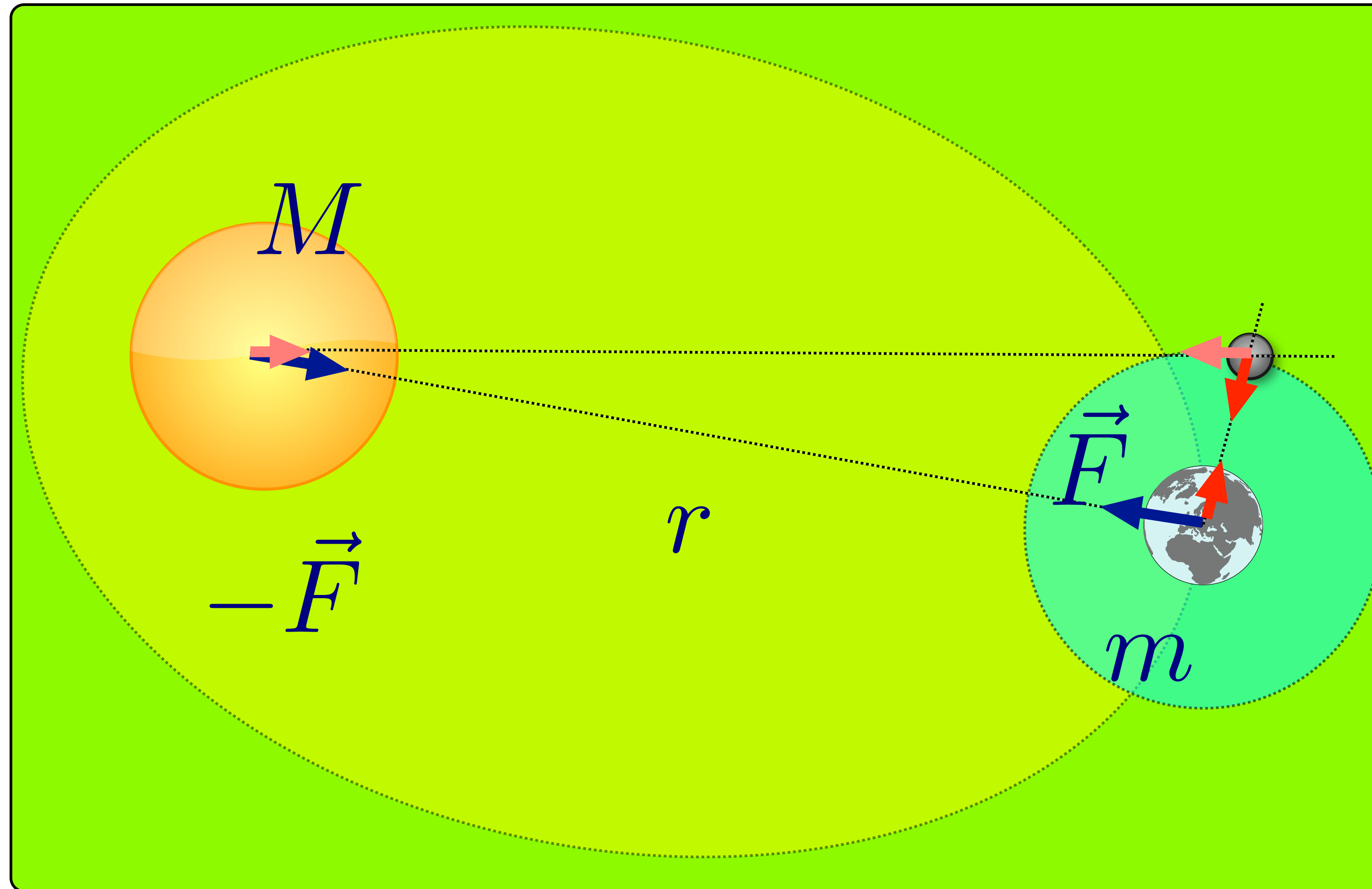


Ley de gravitación universal



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

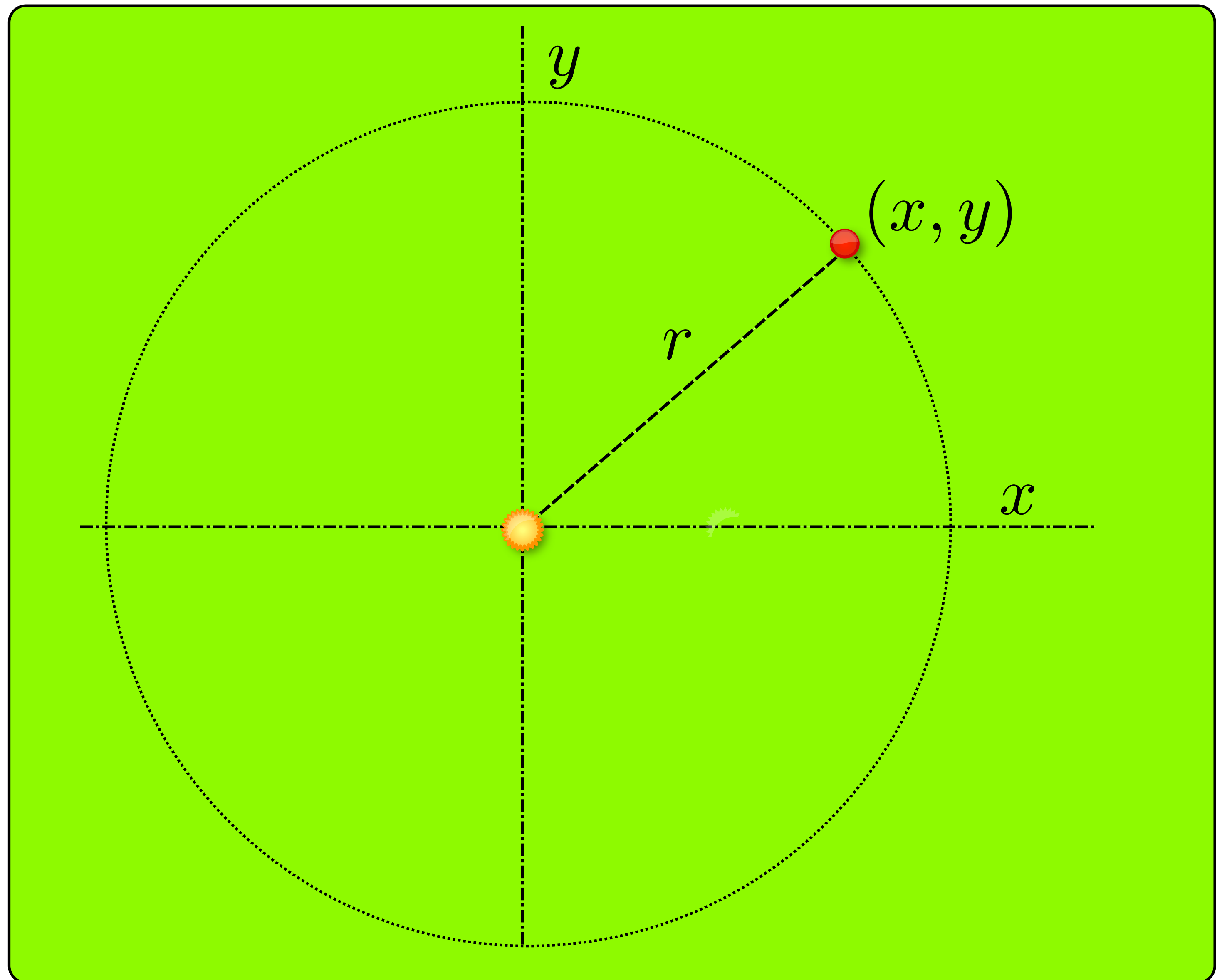
¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

Primera ley de Kepler

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

Órbita circular

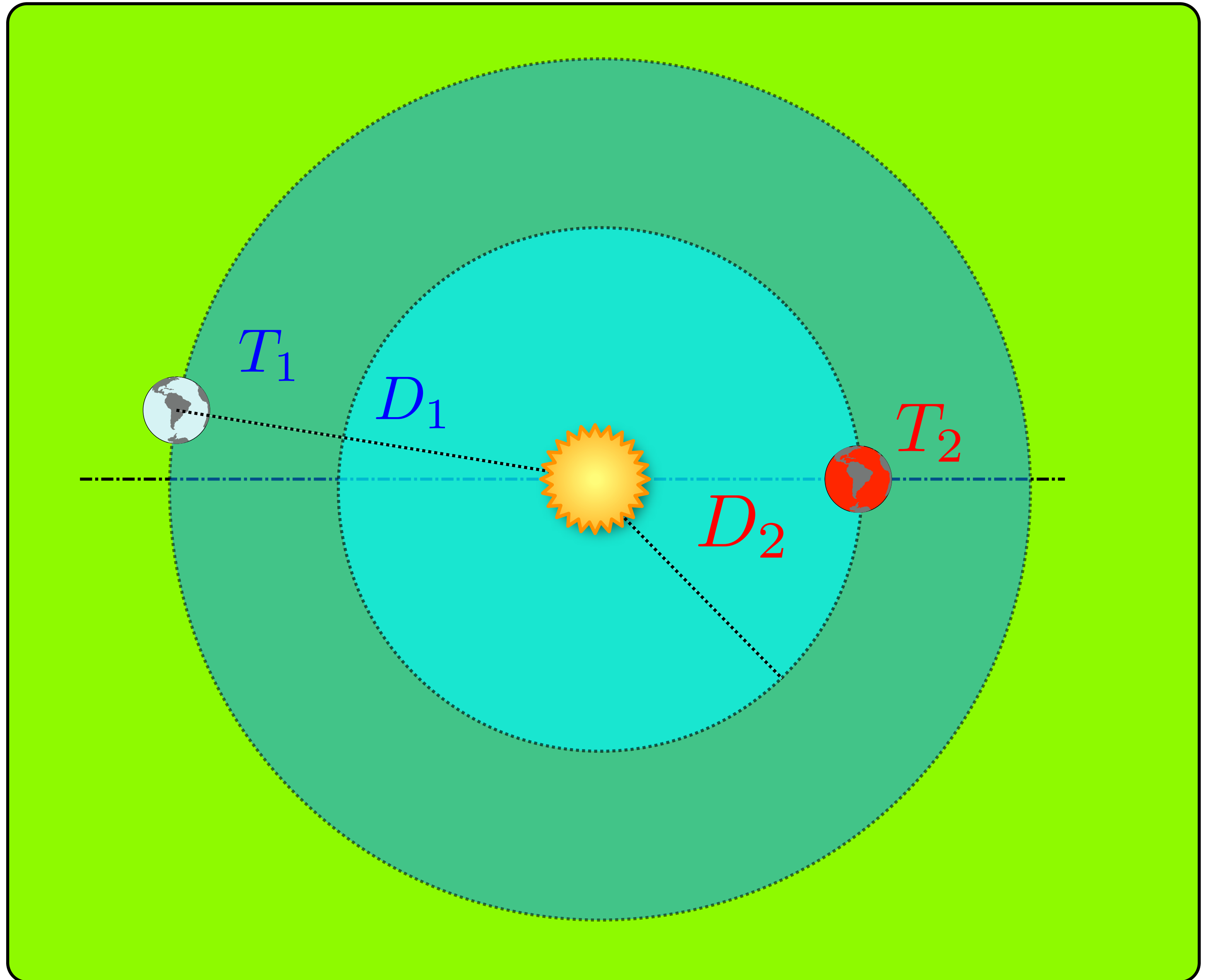
$$L = 2\pi D$$



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

Tercera ley de Kepler

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



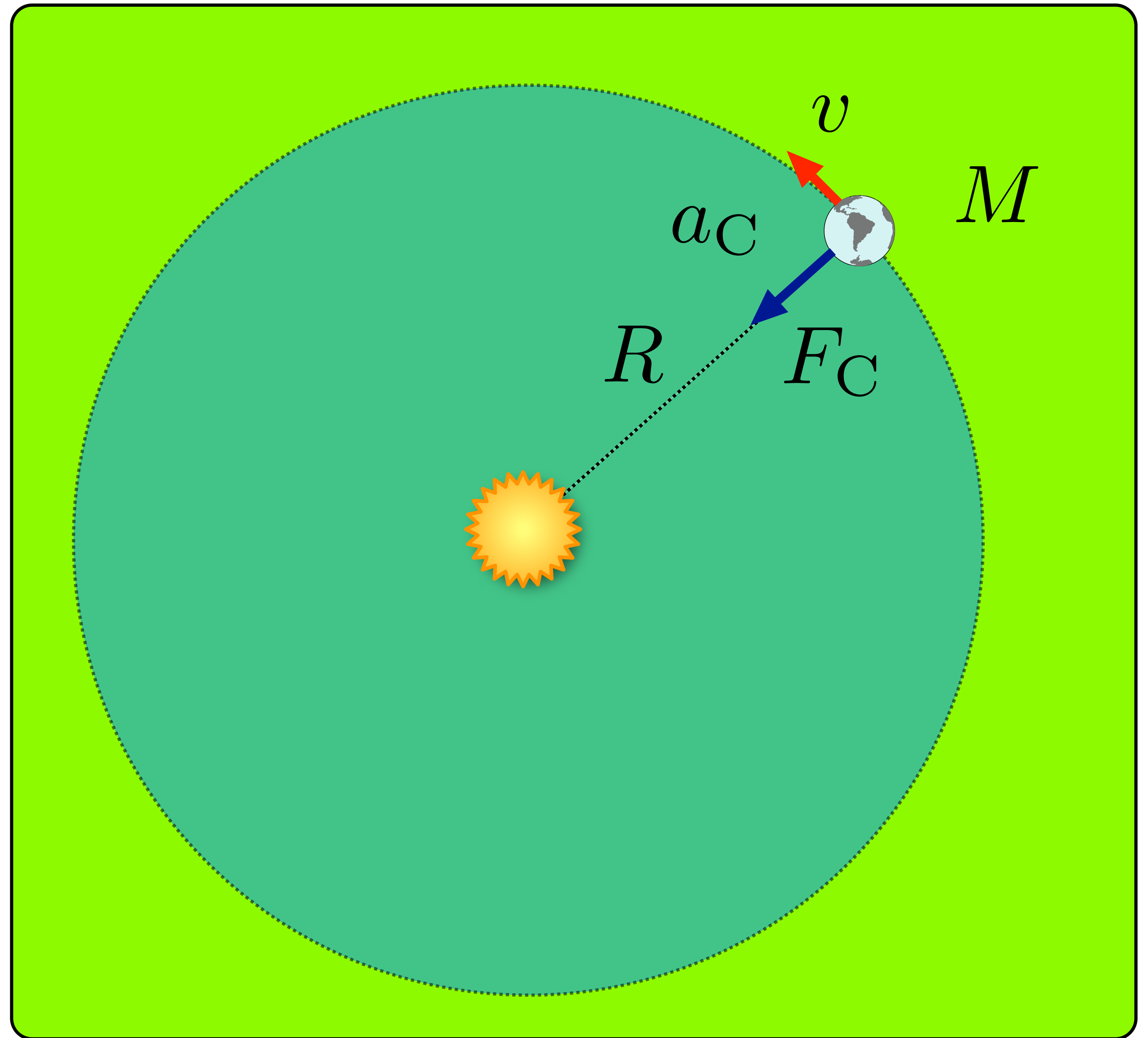
¿Cómo obtuvo Newton su ley del inverso del cuadrado de la distancia?

Segunda ley de Newton

$$\vec{F} = M_T a_c$$

Ley de Huygens

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



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

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

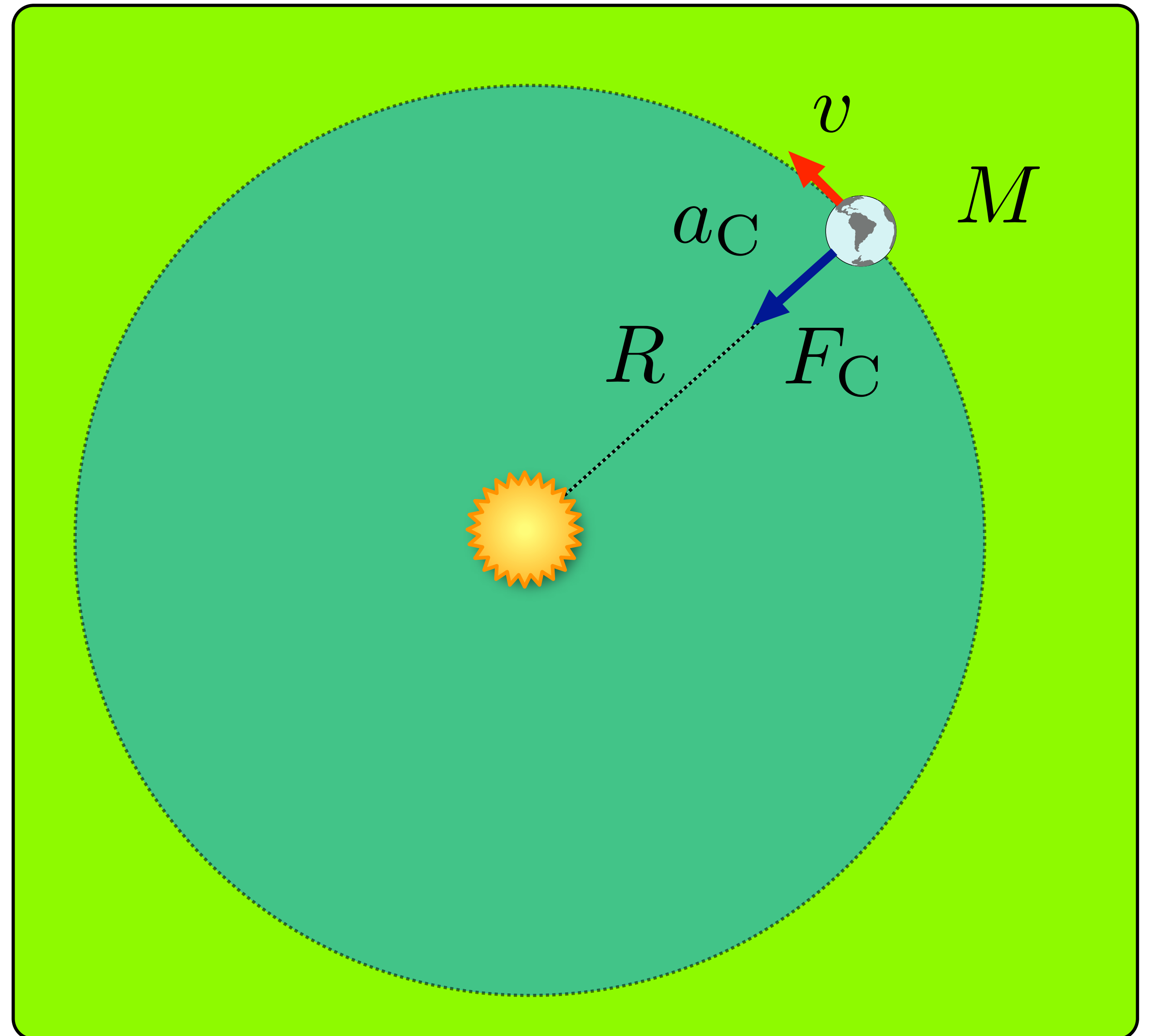
$$F = M_T a_c$$

$$F = M_T \frac{v^2}{R}$$

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

$$F \propto M_T \frac{4\pi^2 R}{R^3}$$

$$F \propto \frac{1}{R^2}$$

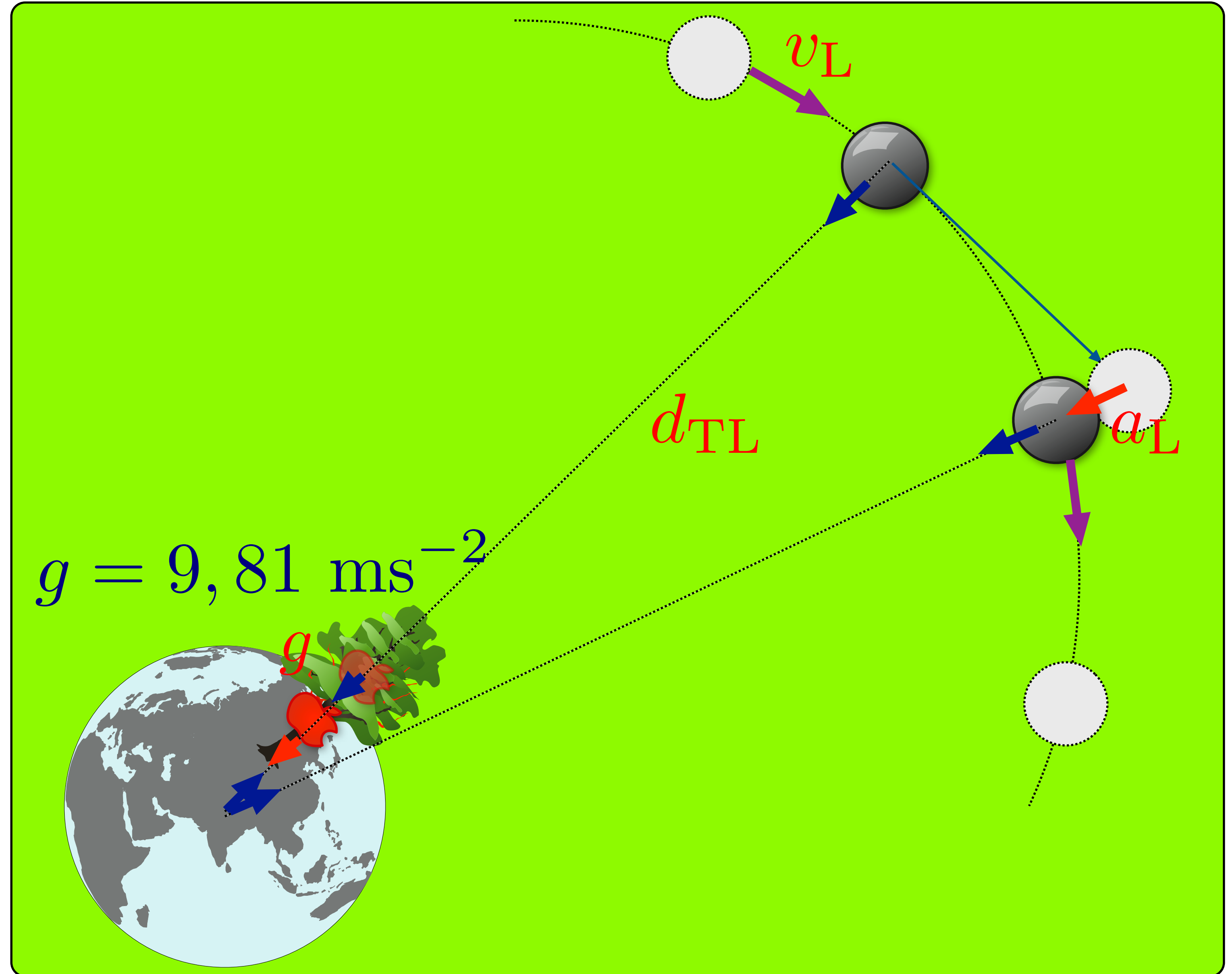


La Luna y la manzana

Como la Luna se encuentra a una distancia 60 veces mayor del centro de la Tierra que la distancia a la que se encuentra la manzana del centro de la Tierra, la Luna 'cae' con una aceleración que es 3600 veces menor que la aceleración con que cae la manzana.

$$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

$$a_L = 0,0027 \text{ ms}^{-2}$$



La Luna y la manzana

Como la Luna se encuentra a una distancia 60 veces mayor del centro de la Tierra que la distancia a la que se encuentra la manzana del centro de la Tierra, la Luna 'cae' con una aceleración que es 3600 veces menor que la aceleración con que cae la manzana.

$$g_T = G \frac{M_T}{R_T^2}$$

$$g_{TL} = \frac{GM_T}{R_{TL}^2}$$

$$R_{TL} = 60R_T$$

$$g_{TL} = \frac{1}{60^2} g_T$$

$$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

$$a_L = 0,0027 \text{ ms}^{-2}$$

La Luna y la manzana

Como la Luna se encuentra a una distancia 60 veces mayor del centro de la Tierra que la distancia a la que se encuentra la manzana del centro de la Tierra, la Luna `cae' con una aceleración que es 3600 veces menor que la aceleración con que cae la manzana.

$$g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

$$a_L = 0,0027 \text{ ms}^{-2}$$

$$a_L = \frac{v_L^2}{D_{TL}} \quad (\text{Huygens})$$

$$D_{TL} = 60 R_T$$

$$R_T \approx 6500 \text{ km}$$

$$v_L = \frac{2\pi D_{TL}}{T_L}$$

$$T_L \approx 30 \text{ dias}$$

$$a_L \approx \frac{4\pi^2 \cdot 60 \cdot 6500 \cdot 10^3}{30 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,0030 \text{ ms}^{-2}$$

$$\frac{9,81}{60^2} = 0,0028 \text{ ms}^{-2}$$

Caída de la Luna y caída de la manzana

Como la Luna se encuentra a una distancia 60 veces mayor del centro de la Tierra que la distancia a la que se encuentra la manzana del centro de la Tierra, la Luna 'cae' en 1 minuto (60 segundos) la misma distancia que cae una manzana en 1 segundo en la superficie de la Tierra.

$$h_L = \frac{1}{2} g_L 60^2$$

$$h_L = \frac{1}{2} G \frac{M_T}{R_{TL}^2} 60^2$$

$$h_L = \frac{1}{2} G \frac{M_T}{60^2 R_T^2} 60^2$$

$$h_L = \frac{1}{2} G \frac{M_T}{R_T^2} 1^2 = \frac{1}{2} g_T 1^2 = h_T(1)$$

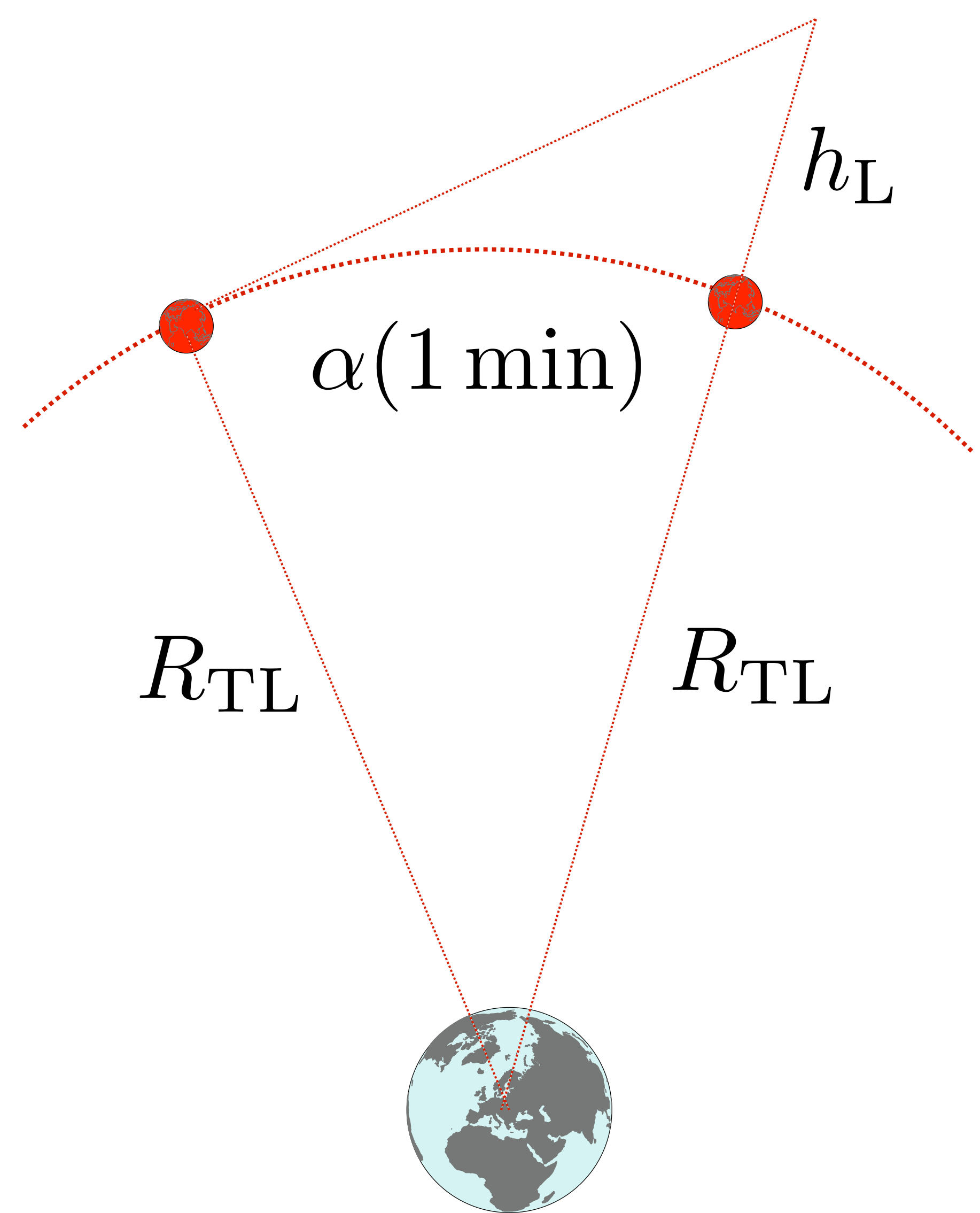
$$h_T(1) = \frac{1}{2} 9,81^2 = 4,9 \text{ m}$$

Caída de la Luna

La Luna tarda unos 28 días en completar una vuelta alrededor de la Tierra (recorrer 2π radianes).

$$\alpha = \frac{2\pi}{28 \cdot 24 \cdot 3600} 60$$

$$\alpha \approx 1,56 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$



$$(60R_T + h_L)^2 = (60R_T)^2 + (60R_T \sin \alpha)^2$$

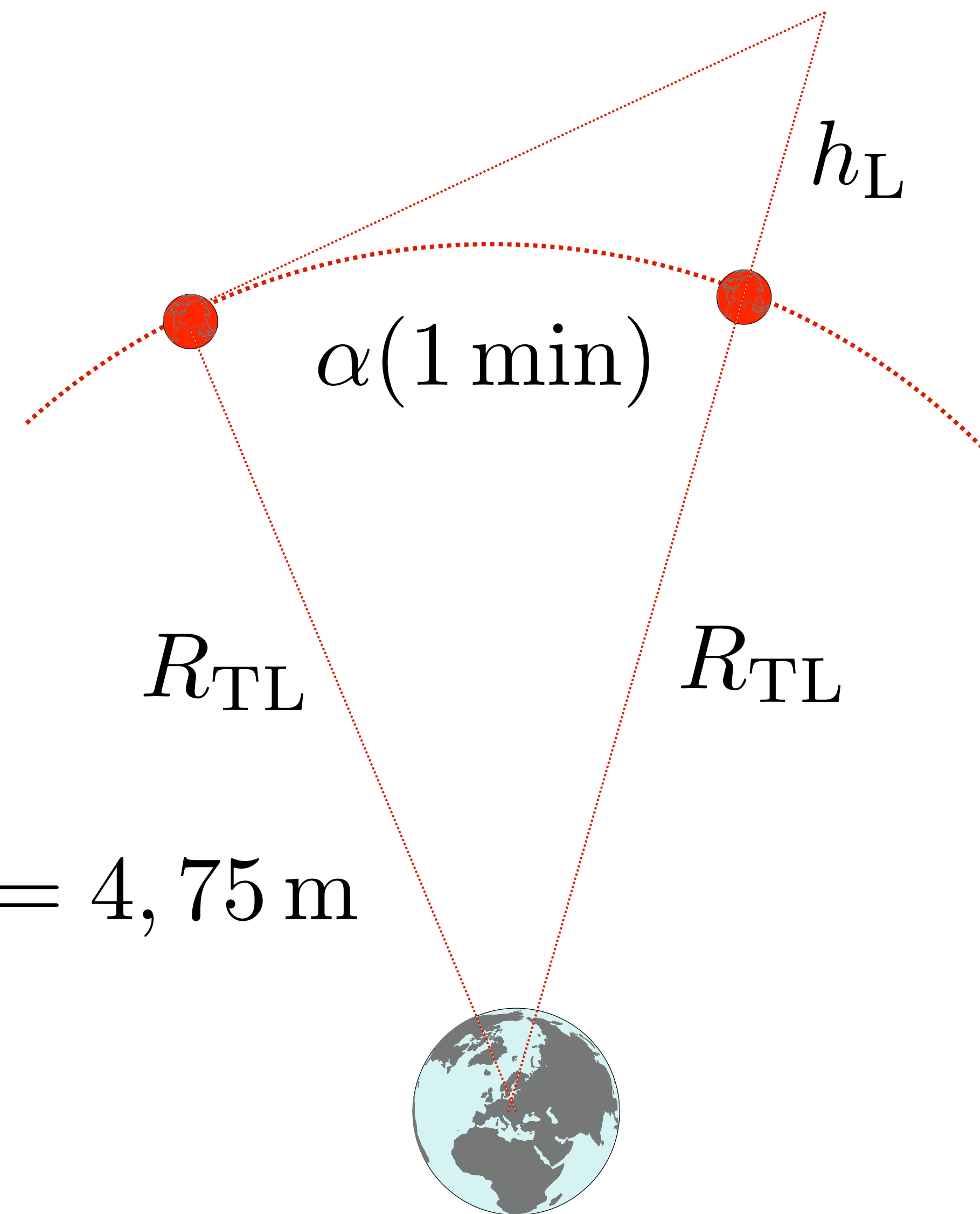
$$(60R_T + h_L)^2 = (60R_T)^2 + (60R_T \alpha)^2$$

Caída de la Luna

$$h_L = \frac{60 R_T \alpha^2}{2}$$

$$h_L = \frac{60 \cdot 6500 \cdot 10^3 (1,56 \cdot 10^{-4})^2}{2} = 4,75 \text{ m}$$

$$h_T(1) = \frac{1}{2} 9,81^2 = 4,9 \text{ m}$$



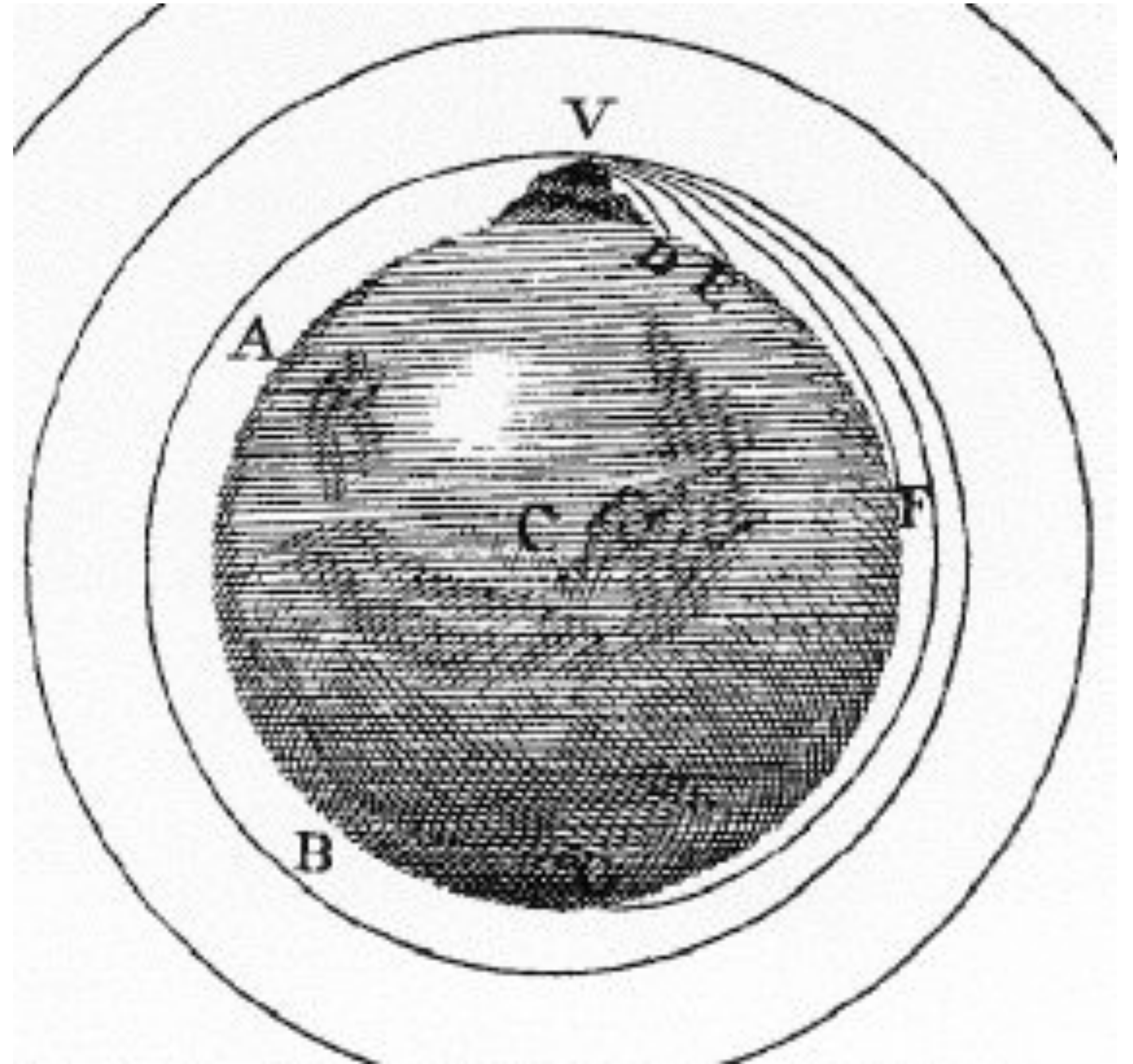
La Luna `cae' en 1 minuto la misma distancia que la manzana cae en 1 segundo.

Ley de gravitación universal y Sputnik

Un cuerpo lanzado con una velocidad igual a la primera velocidad de escape, podría orbitar la Tierra próxima a su superficie. El cuerpo tardaría unos 80 minutos en dar la vuelta a la Tierra.

$$G \frac{M_T m}{R_T^2} = m \frac{v_1^2}{R_T}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T}} = 7,8 \text{ km s}^{-1}$$



Ley de gravitación universal y Sputnik

El 12 de abril de 1961, Yuri Gagarin se convirtió en el primer ser humano en tripular una nave espacial, en el primer cosmonauta humano (la perrita Laika había dado antes que Gagarin dos vueltas a la Tierra) en dar una vuelta completa a la Tierra a bordo de la cápsula Vostok 1, lanzada por un cohete R-7 desde el cosmódromo de Baikonur. La cápsula tardó 108 minutos en dar la vuelta a la Tierra antes de aterrizar, con la ayuda de paracaídas, en la aldea de Smelkovka, cerca del río Volga. No se puede conocer el peso de la cápsula

$$T(r) = \frac{2\pi R^{3/2}}{g^{1/2} R_T}$$

$$R = \left(\frac{T g^{1/2} R_T}{2\pi} \right)^{2/3}$$

$$T = 6,5 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$R \approx 7,500 \text{ km}$$

$$h \approx 1000 \text{ km}$$

Segunda ley de Newton y la ecuación de Galileo

Espacio recorrido en función del tiempo

$$v_f = v_i + gt_0$$

$$\frac{dh}{dt} = v$$

$$h_f = h_i + v_i t_0 + \frac{1}{2}gt_0^2$$

$$v_i = 0 \quad h_i = 0$$

$$h_f = \frac{1}{2}gt_0^2$$

$$v_f^2 = 2gh_f$$

La altura recorrida por un cuerpo en caída libre es proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido

Método de Huygens y la ecuación de Galileo

Energía cinética y trabajo

$$\Delta K = W_G$$
$$\frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = \int_{h_i}^{h_f} mg dh$$

$$v_i = 0$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = mgh_f$$

$$h_f = \frac{v_f^2}{2g}$$

$$v_f = gt_0$$

$$h_f = \frac{1}{2}gt_0^2$$

La altura recorrida por un cuerpo en caída libre es proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido

La pluma y la moneda



Brian Cox

Edmund Halley. 1656-1742



Cometa Halley

Newton fue capaz de demostrar que un cuerpo que orbita alrededor de un cuerpo masivo puede seguir trayectorias circulares o elípticas, dependiendo de las condiciones iniciales.

La predicción de Halley sobre la vuelta del cometa Halley cada 75 años supuso en gran apoyo a la teoría de Newton.



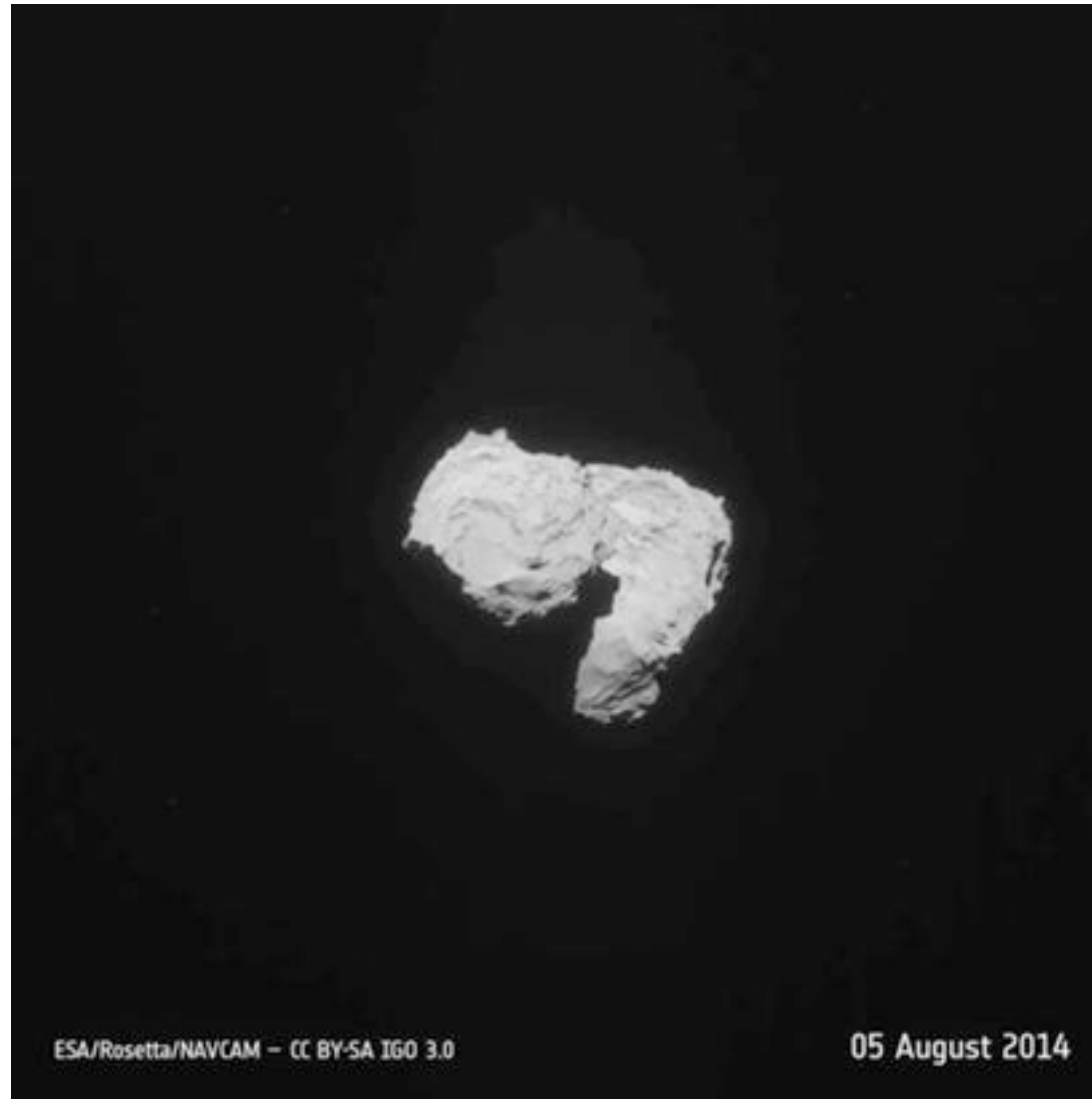
Cometa Halley



Cometa Halley



Cometa 67P-Chiryumov-Guerasimenko



Cometa 67P-Chiryumov-Guerasimenko

Rosetta

La sonda Rosetta -- de la Agencia Espacial Europea (ESA)-- órbita el cometa 67P-Chiryumov-Gerasimenko y ha enviado el módulo Philae a aterrizar sobre el mismo.



Cometa 67P-Chiryumov-Guerasimenko

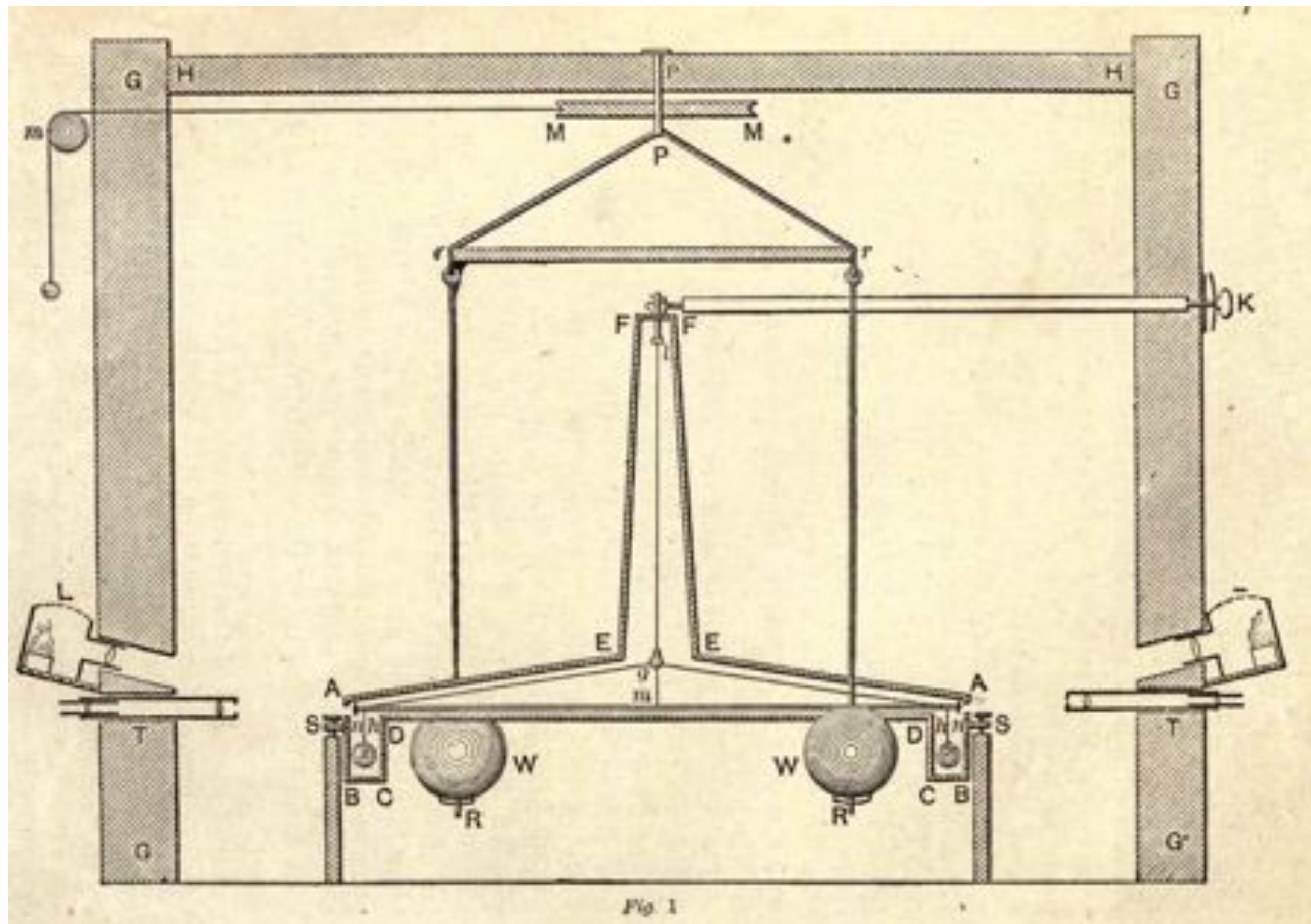
On 12 November 2014,
Philae lander descended onto
Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko.

Henry Cavendish. 1731-1810



H. Cavendish

Balanza de torsión para pesar la Tierra



$$\rho_T = 5,448 \pm 0,003 \rho_A$$

$$M_T = \rho_T \frac{4}{3} \pi R_T^3$$

$$G \frac{M_T}{R_T^2} = g$$

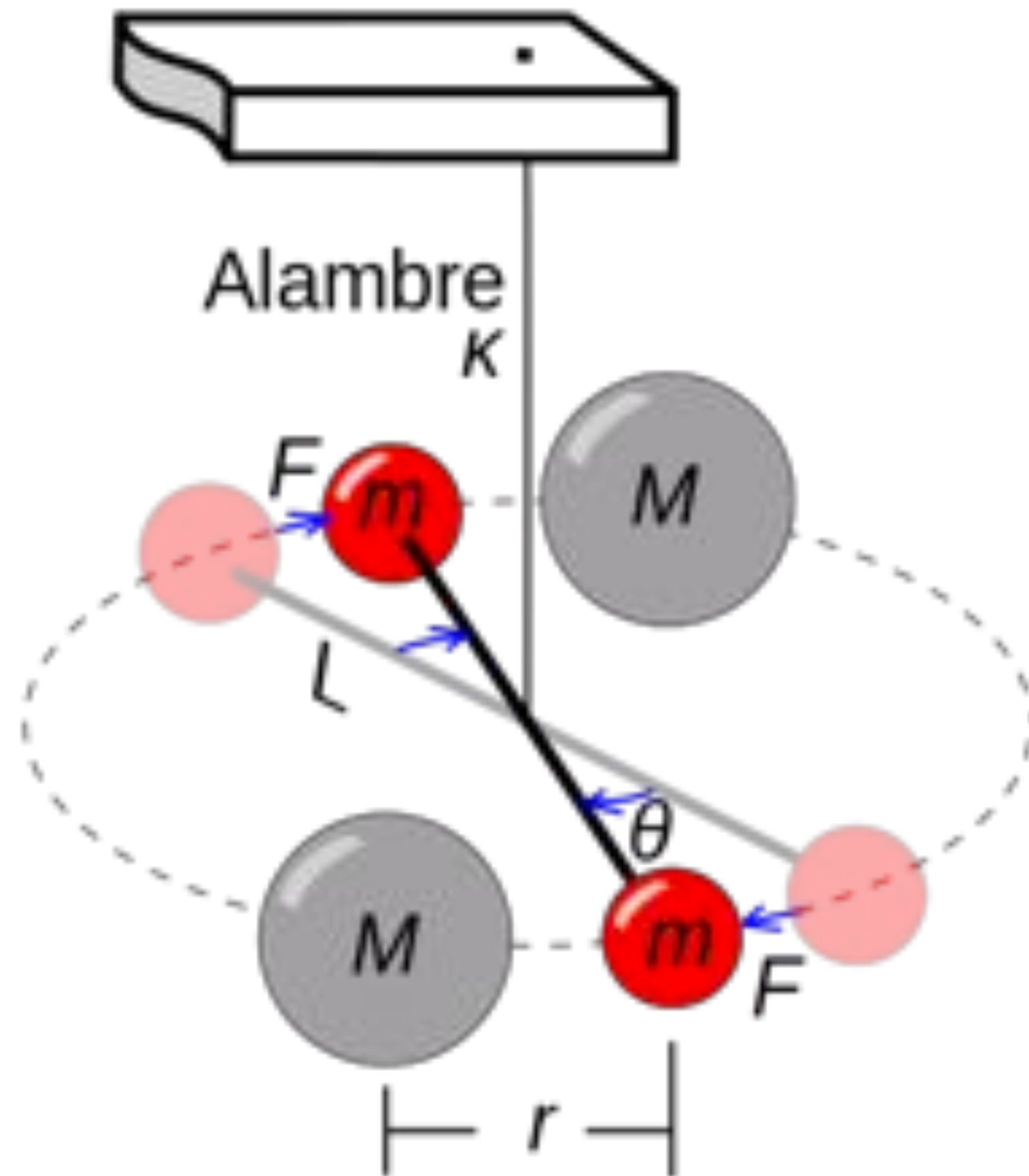
$$G = g \frac{R_T^2}{M_T}$$

$$R_T = 6370 \text{ km}$$

$$M_T = 5,898 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$$

Balanza de torsión para pesar la Tierra



$$\rho_T = 5,448 \pm 0,003 \rho_A$$

$$M_T = \rho_T \frac{4}{3} \pi R_T^3$$

$$G \frac{M_T}{R_T^2} = g$$

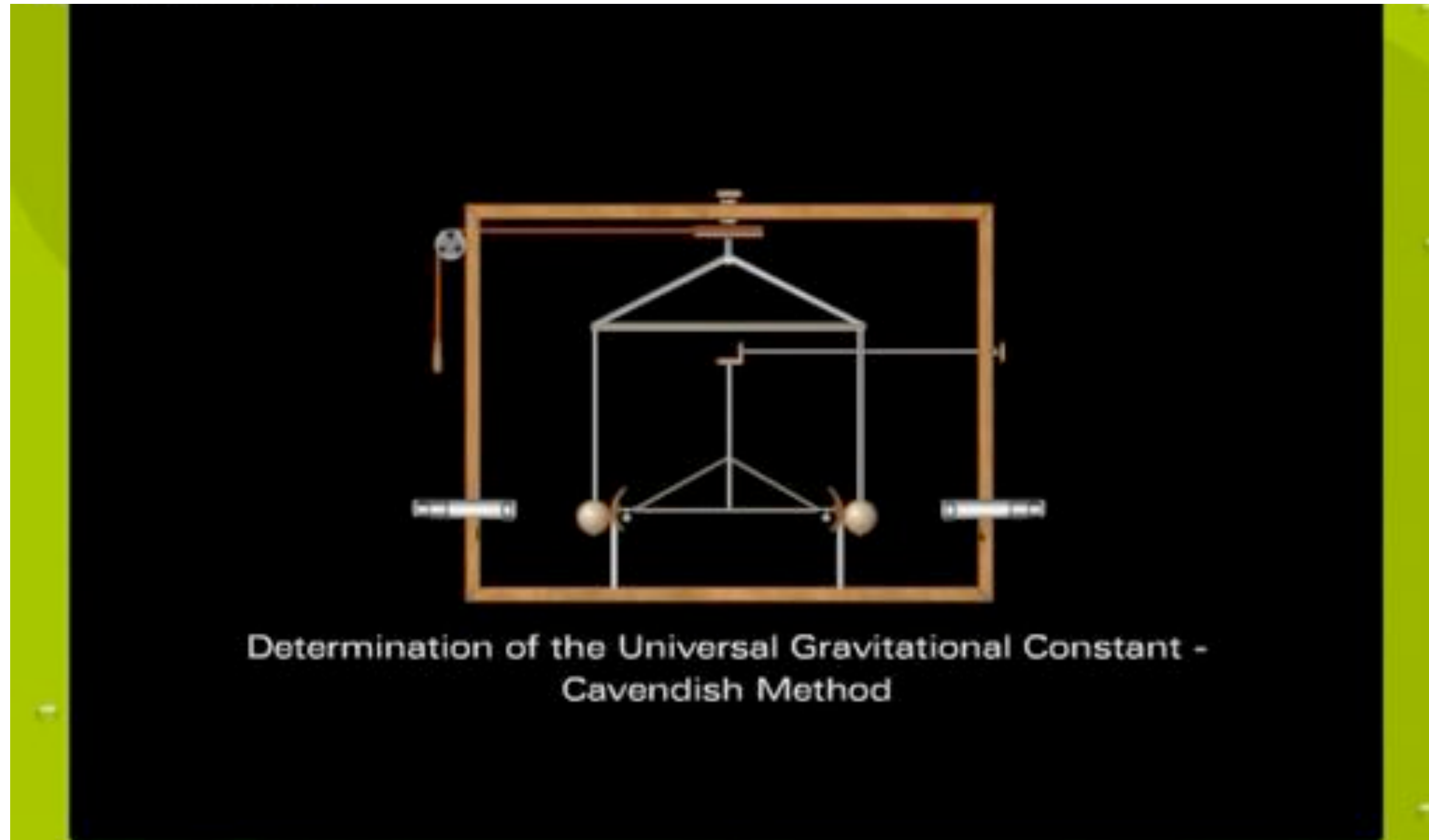
$$G = g \frac{R_T^2}{M_T}$$

$$R_T = 6370 \text{ km}$$

$$M_T = 5,898 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$$

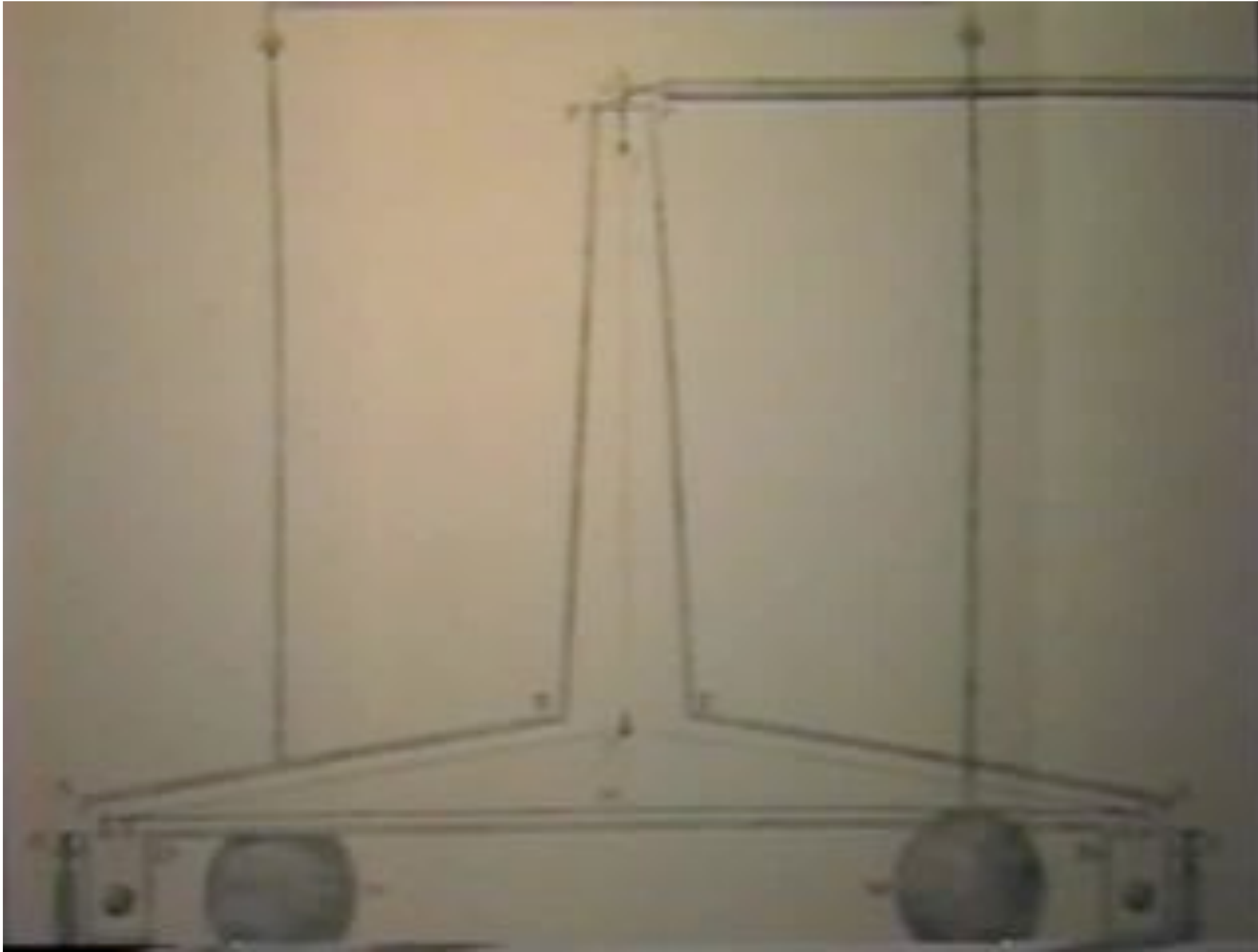
Balanza de torsión para pesar la Tierra



$$\rho_T = 5,448 \pm 0,003 \rho_A$$

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$$

Balanza de torsión para pesar la Tierra



$$\rho_T = 5,448 \pm 0,003 \rho_A$$

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$$

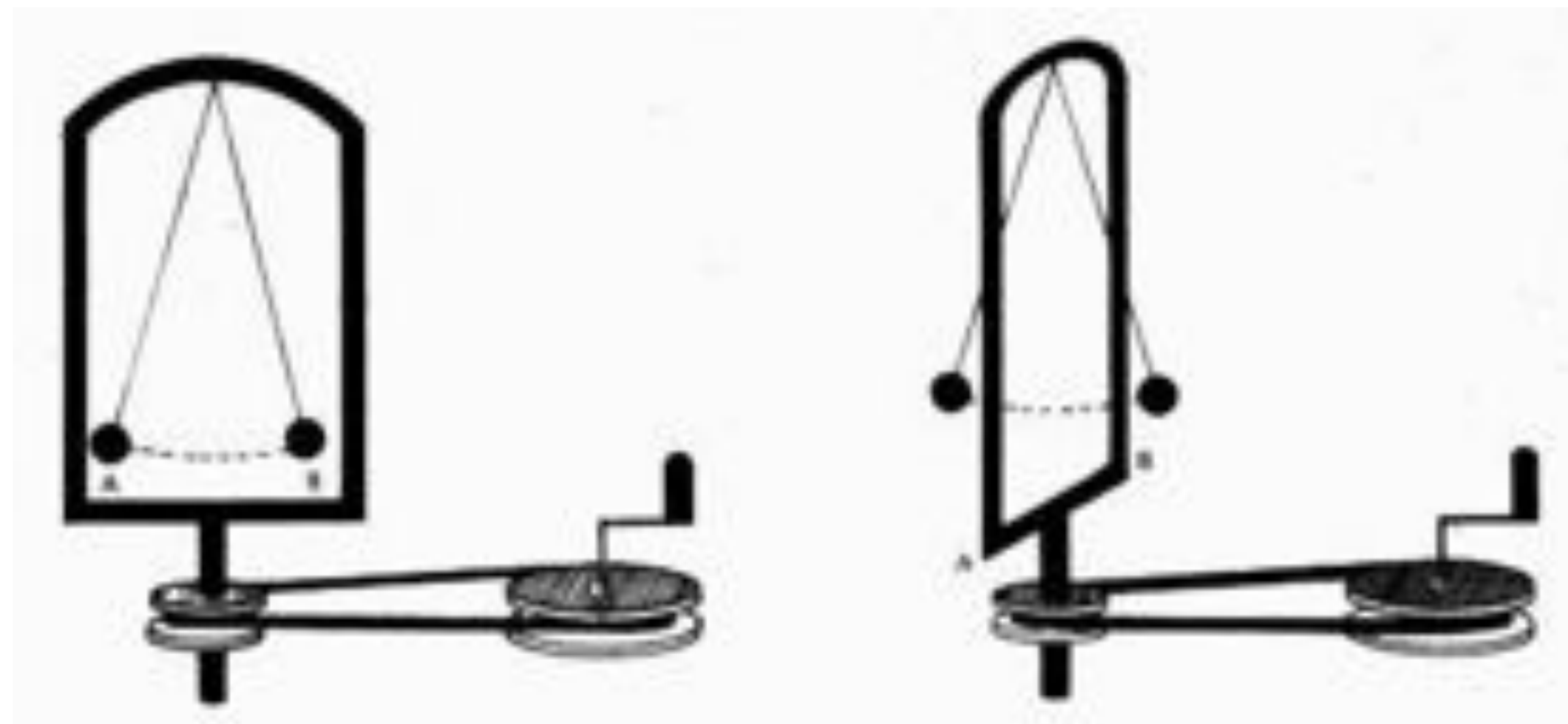
Leon Foucault. 1819-1868



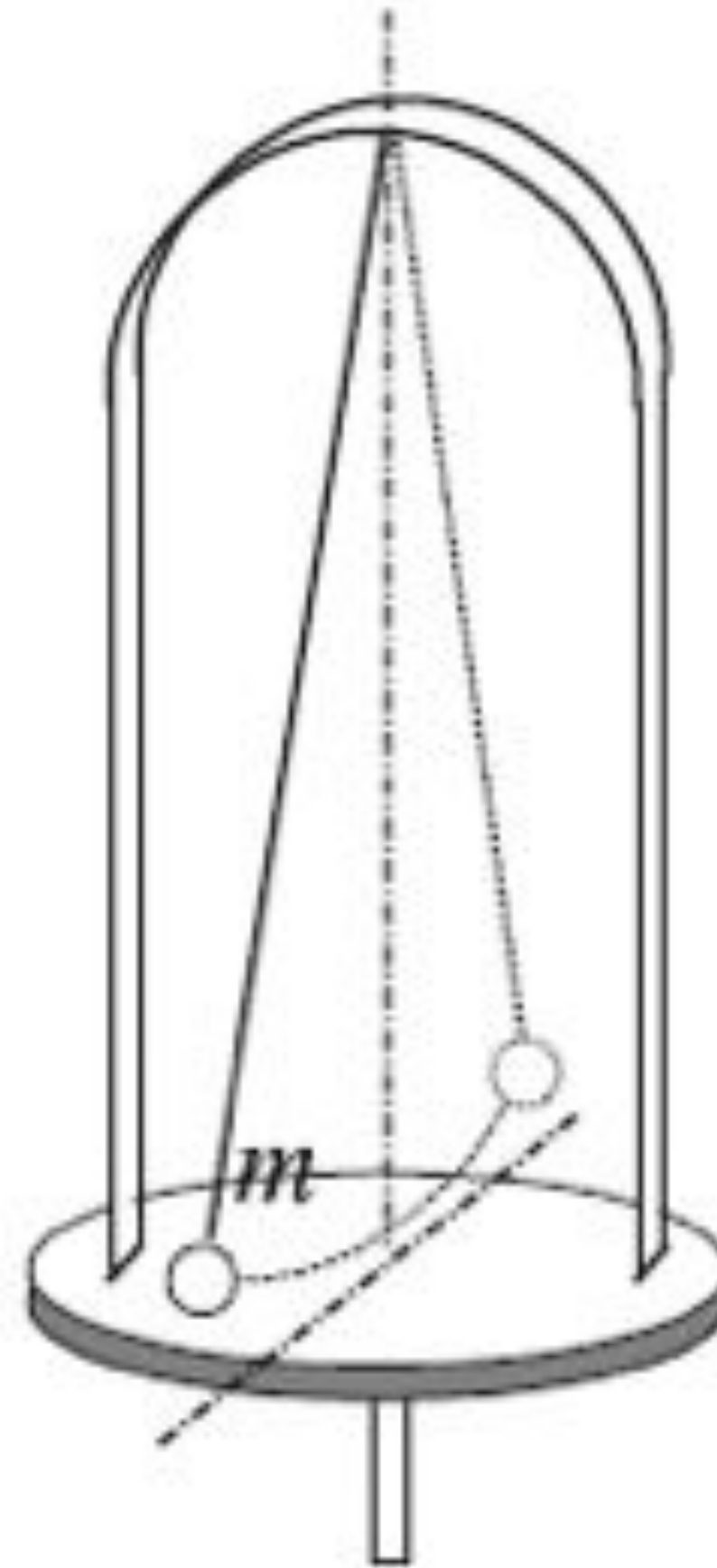
Péndulo de Foucault

En 1851 Jean Leon Foucault colgó un péndulo de 67 metros de largo de la cúpula de los Inválidos en Paris. Un recipiente que contenía arena estaba sujeto al extremo libre, el hilo de arena que caía del cubo mientras oscilaba el péndulo señalaba la trayectoria. Demostró experimentalmente que el plano de oscilación del péndulo giraba $11^{\circ} 15'$ cada hora.

El experimento de Foucault es una prueba efectiva de la rotación de la Tierra. Aunque la Tierra estuviera cubierta de nubes, este experimento hubiese demostrado que tiene un movimiento de rotación.



Péndulo de Foucault



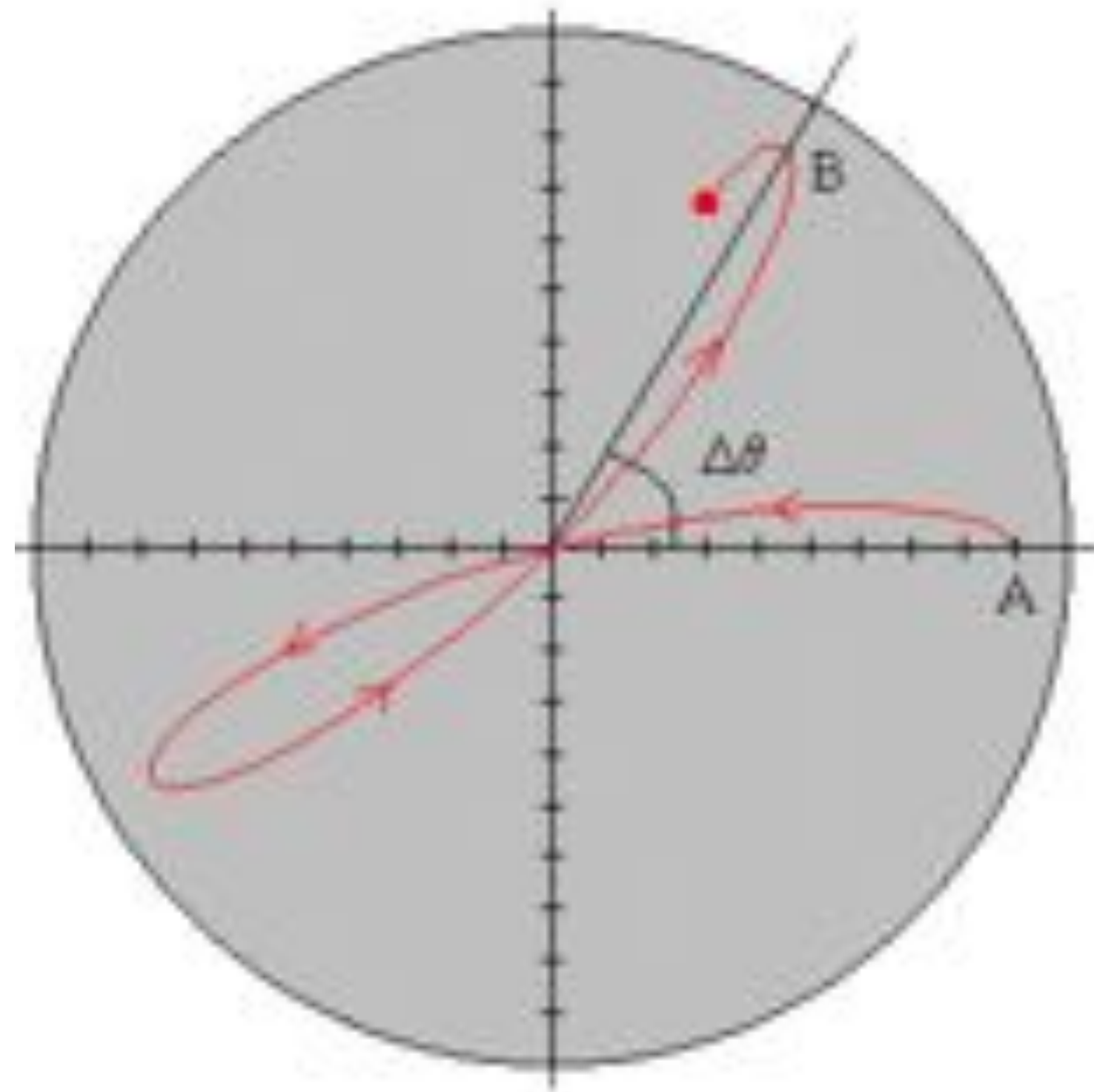
Péndulo de Foucault



Péndulo de Foucault

**Foucault's
Pendulum at Arts
Metiers et
Pantheon, Paris,
France**

Péndulo de Foucault



Mecánica de fluidos

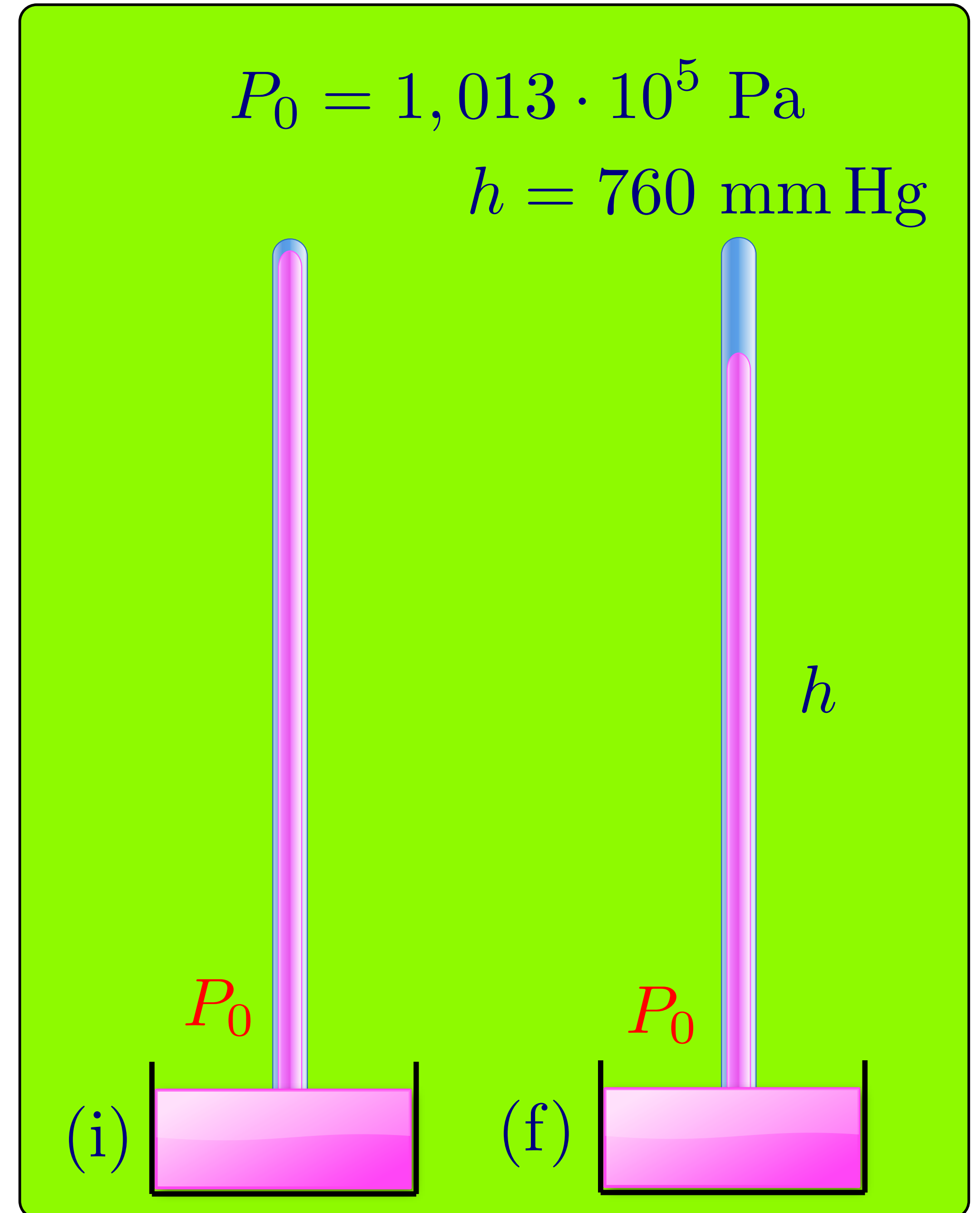
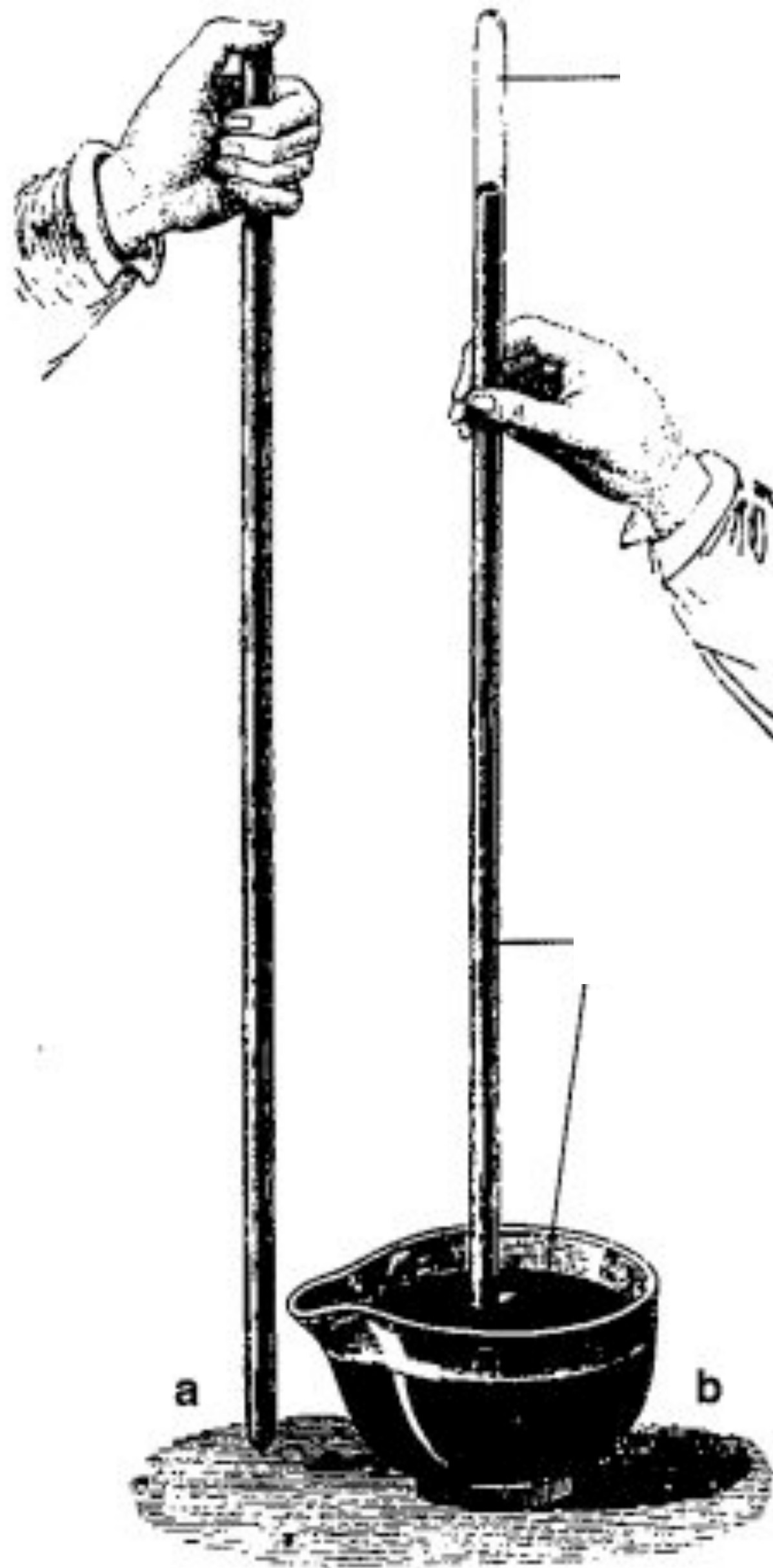
Evangelista Torricelli. 1608-1647



Experiencia de Torricelli.

La presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie del mercurio equilibra la presión que ejerce la propia columna de mercurio.

Sobre toda la superficie del mercurio, fuera y dentro del tubo, la presión debe ser la misma.



Blaise Pascal. 1623-1662



Experimento en una calle de Ruén.

$$P_0 = \rho_L g h_L$$

Repitiendo la experiencia de Torricelli pero con una columna de agua, Pascal comprobó que una columna invertida y cerrada de agua -- con una densidad 13,5 veces menor que el mercurio --, alcanzaba una altura de unos 11 metros, 13,5 veces mayor que los 0,76 metros de la experiencia de Torricelli. En ambos casos, es la misma presión atmosférica la que equilibra las columnas. Por la misma razón, si se quiere sacar agua de un pozo mediante una bomba de vacío, sólo se podrá extraer agua de una profundidad de unos 11 metros.

$$\rho_{Hg} g h_{Hg} = \rho_A g h_A$$



Ascenso con barómetros de mercurio al Puy de Dôme.

Siguiendo una sugerencia de Pascal, varios científicos ascendieron con barómetros de mercurio a la cima del Puy de Dôme, comprobando que la columna de mercurio iba descendiendo en altura a medida que la altura respecto del nivel del mar aumentaba. El resultado estaba de acuerdo con la predicción de Pascal de que a medida que disminuía la capa de atmósfera disminuía su presión y la altura de la columna de mercurio que la equilibraba.

$$P_0 = \rho_L g h_L$$



Otto von Guericke. 1602-1686



Experiencia de los hemisferios de Magdeburgo.

Cuando se extrae el aire del interior de una esfera formada por dos hemisferios, varios caballos tirando por cada lado no consiguen separarlos



Experiencia de los hemisferios de Magdeburgo.

Cuando se extrae el aire del interior de una esfera formada por dos hemisferios, la presión atmosférica ejerce tal fuerza que no se pueden separar fácilmente.



Experiencia de los hemisferios de Magdeburgo.

Cuando se extrae el aire del interior de una esfera formada por dos hemisferios, la presión atmosférica ejerce tal fuerza que no se pueden separar fácilmente.

$$r \approx 5 \text{ cm}$$

$$F = P_0 A \approx 7,8 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$1 \text{ per.} \approx 5,0 \cdot 10^2 \text{ N}$$



Bomba de vacío construida por Hooke para Boyle.

Robert Hooke construyó
diversos instrumentos
científicos para Robert
Boyle, entre otros, una
bomba de vacío.

Dotada de una válvula
asimétrica (válvula de no
eterno), permitía la
extracción de aire de la
esfera superior, pero
impedía su entrada.



Experimentos con
bombas de vacío.

Se colocaban pequeños
animales para ver su
reacción a la falta de
aire.

Se relacionó la
combustión de una vela
con la respiración
animal.

Pintura de Joseph
Wright (1734-1797)



Experimentos con bombas de vacío.

El globo, inicialmente con poco aire, se hincha a medida que se va haciendo vacío en el interior de la cámara.



René Descartes. 1596-1650



Experiencia del buzo de Descartes (Cartesian Diver).

Cuando las
paredes de la
botella se
comprimen o el
tapón se oprime,
el cuentagotas
desciende. Y
vuelve a
ascender cuando
la presión se
relaja

Robert Krampf



EXPERIMENT OF THE WEEK
Cartesian Diver

Daniel Bernoulli. 1654-1705



Bernoulli

DANIELIS BERNOULLI JOH. FIL.
MED. PROF. BASIL.
ACAD. SCIENT. IMPER. PETROPOLITANÆ, PRIUS MATHESEOS
SUBLIMIORIS PROF. ORD. NUNC MEMBRI ET PROF. HONOR.
HYDRODYNAMICA,
SIVE
DE VIRIBUS ET MOTIBUS FLUIDORUM
COMMENTARIIL.
OPUS ACADEMICUM
AB AUCTORE, DUM PETROPOLI AGERET,
CONGESTUM.



ARGENTORATI,
Sumptibus JOHANNIS REINHOLDI DULSECKERI,
Anno M D CC XXXVIII.
Typis JOH. HENR. DECKERI, Typographi Basiliensis.

Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

La diferencia de energías potenciales y cinéticas entre un punto y otro es igual al trabajo realizado.

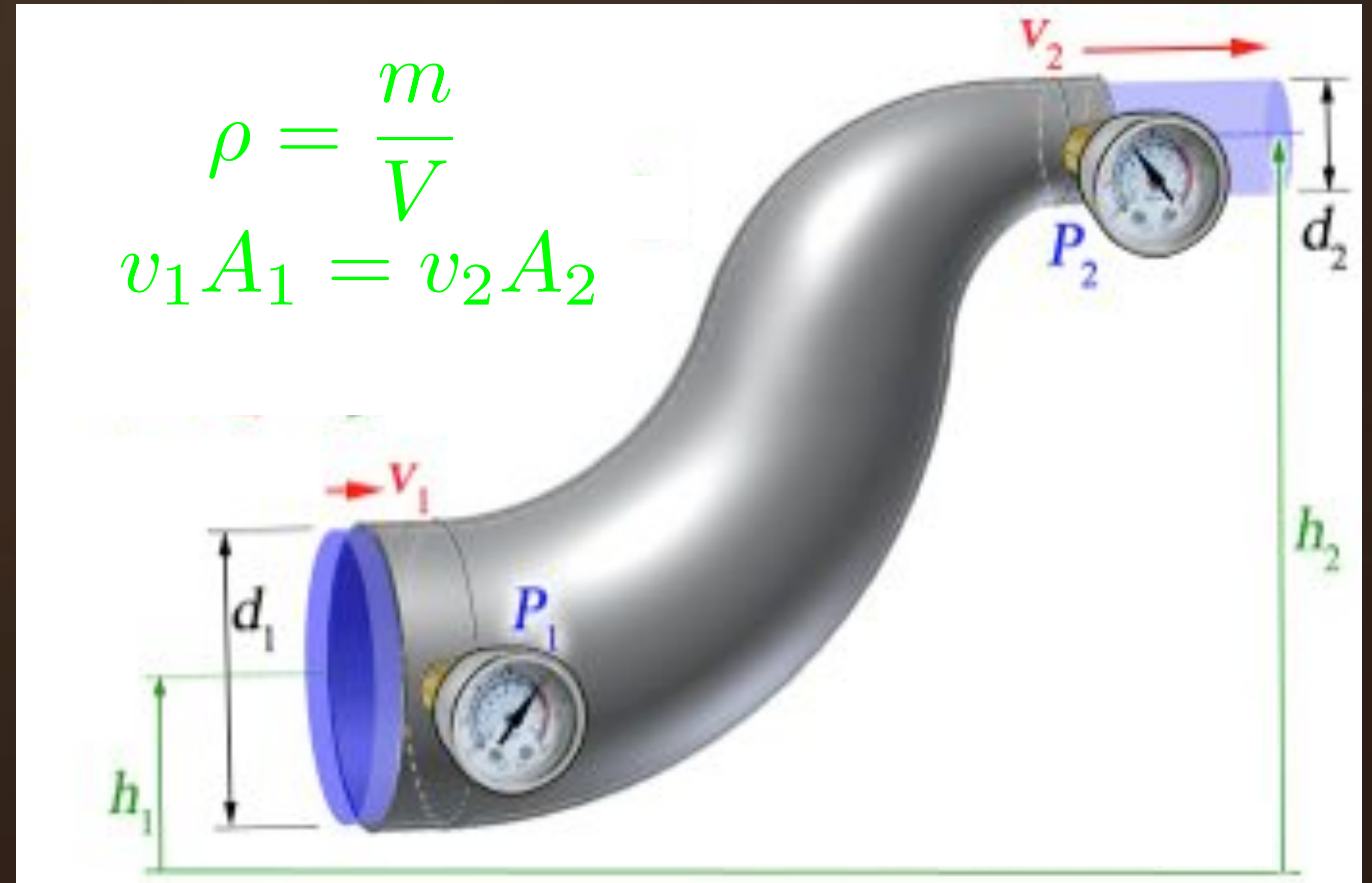
Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Ecuación de Bernoulli.

Válida para un gas incompresible, la ecuación de Bernoulli es equivalente al principio de conservación de la energía mecánica, por unidad de volumen.

El trabajo realizado sobre el fluido es igual a las variaciones de su energía cinética y de su energía potencial.



$$-(P_2 - P_1)V = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) + mg(h_2 - h_1)$$

Teorema de Bernoulli

Efecto Venturi.

Cuando un líquido que fluye por una tubería llega a un estrechamiento, para mantener el caudal debe aumentar su velocidad, disminuyendo entonces su presión, de acuerdo con el teorema de Bernoulli.

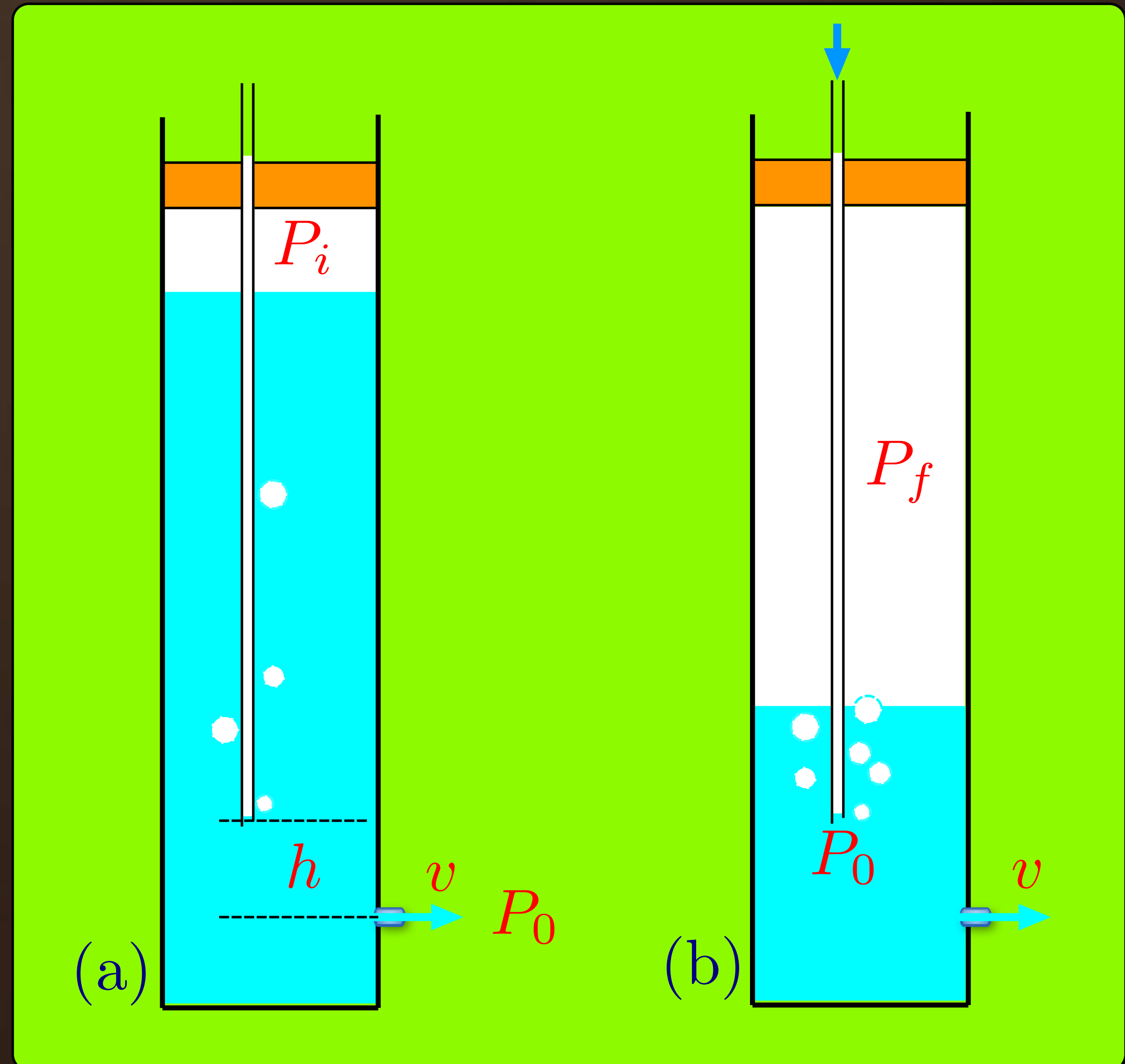
La menor presión se detecta por la menor altura de la columna de líquido.



Teorema de Bernoulli

Botella de Mariotte de flujo constante.

Una botella cerrada, con un tubo abierto a la atmósfera y un orificio de salida de líquido. El flujo de líquido es constante debido a que su velocidad viene determinada por la altura de líquido que hay entre el orificio de salida y el extremo sumergido del tubo abierto a la atmósfera.



Bola flotante

Una bola ligera puede flotar en un chorro de aire, incluso con cierta inclinación.



Bola flotante



Una bola ligera puede flotar en un chorro de aire, incluso con cierta inclinación.

Teorema de Bernoulli

Aero-deslizador.

El aire a alta velocidad crea una capa sin rozamiento sobre la que desliza el aerodeslizador.

La menor presión hace que la presión atmosférica estabilice el aerodeslizador.



Pulverizador de Altamira

Para pintar manos en negativo en las paredes de las cuevas de Altamira, se utilizaban dos huesecillos huecos para construir un pulverizador que lanzara la pintura sobre la mano colocada en la pared, obteniéndose así una pintura en negativo de la mano.



Teorema de Bernoulli

Bolsa de Bernoulli.

Es más fácil llenar una bolsa grande de aire soplando a una cierta distancia de la boca de la bolsa, que haciéndolo directamente sobre la boca. El flujo de aire hace que parte del aire exterior también entre en la bolsa, ayudando a su llenado.





FIN

Experimentos importantes en la
Historia de la Física

Mecánica. Fluidos

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019