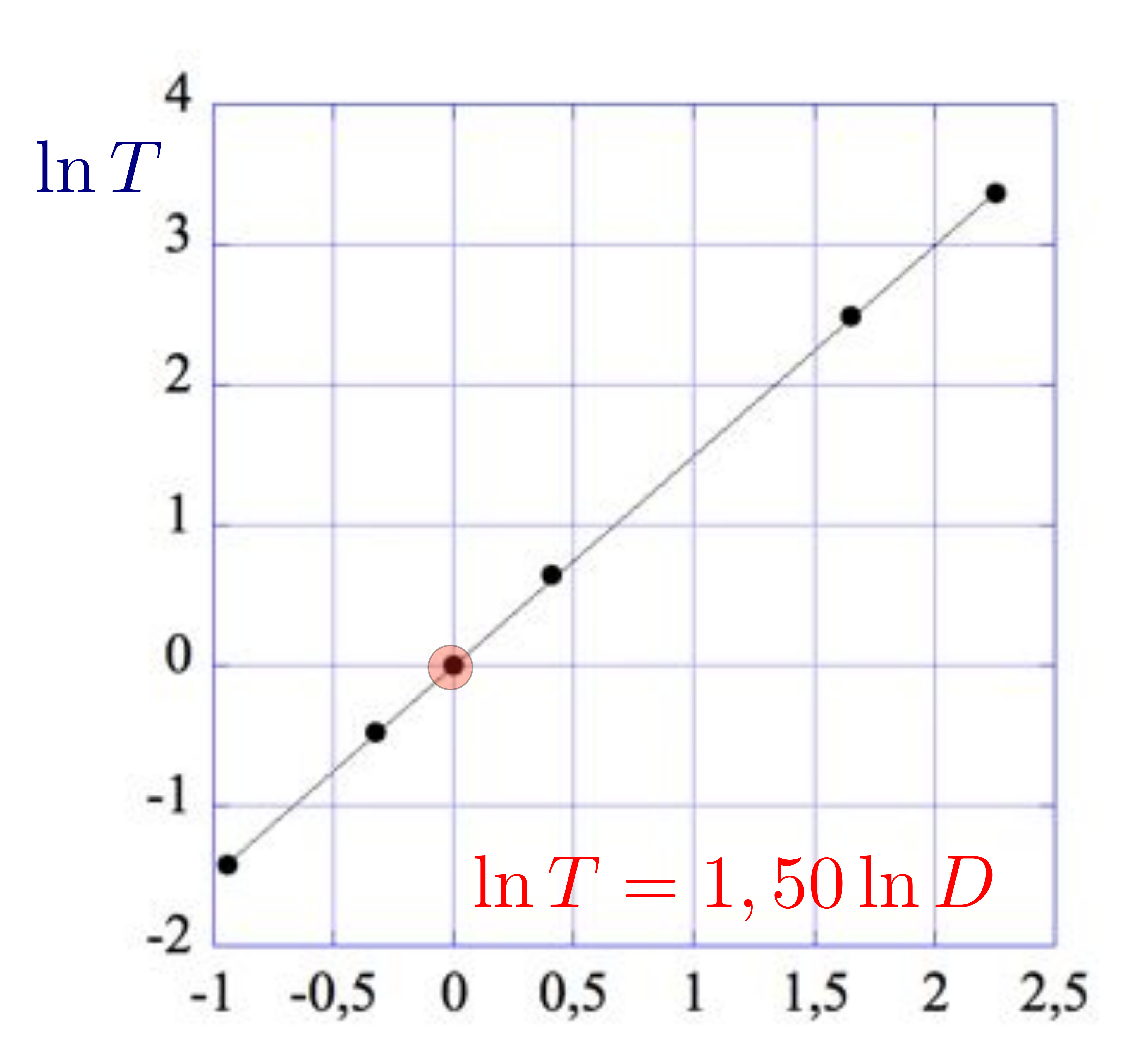
Tercera Ley de Kepler

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

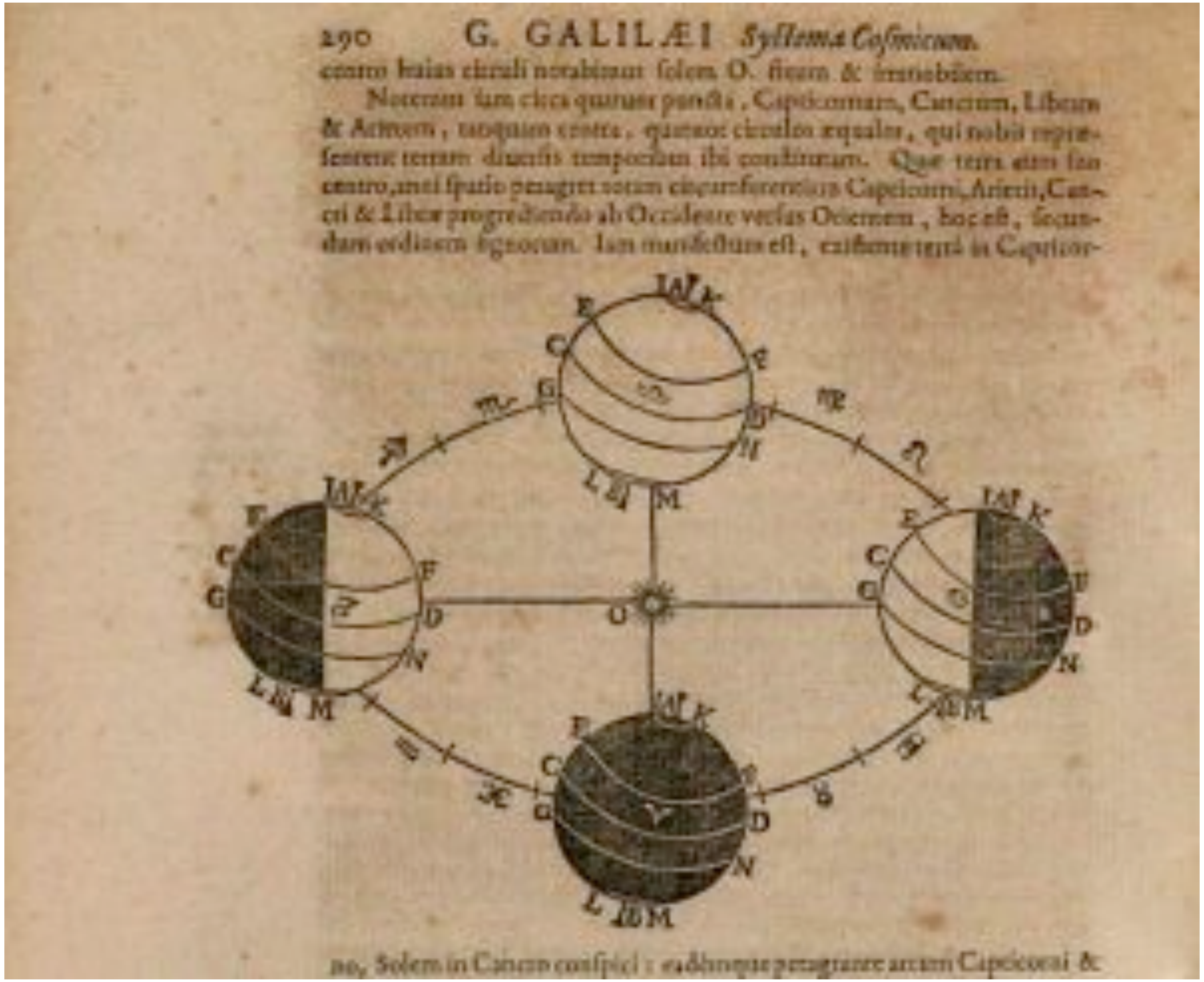
(Galileo Galilei, Pisa 15 de febrero de 1564, 9 de enero de 1642). Para dar a conocer sus descubrimientos, Galileo redactó a toda prisa un breve texto que se publicó en marzo de 1610 y que no tardó en hacerle famoso en toda Europa: el *Sidereus Nuncius*, el 'mensajero de los astros', aunque el título permite también la traducción de 'mensaje'.

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)

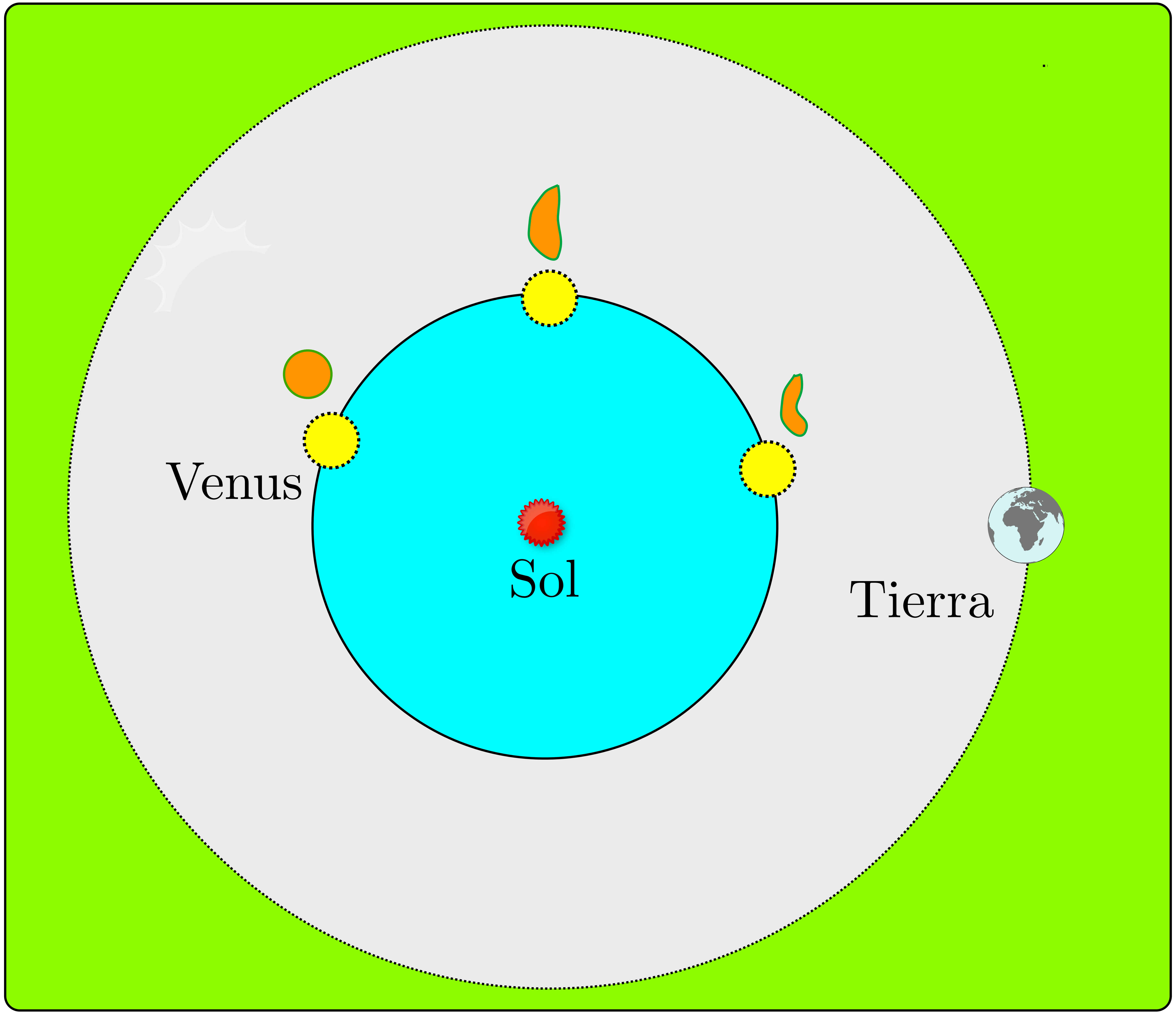
El sistema planetario Copernicano no sólo simplifica los cálculos sino que permite explicar fenómenos, como el de las fases de Venus, que no se pueden explicar con otros sistemas.



Galileo Galilei

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

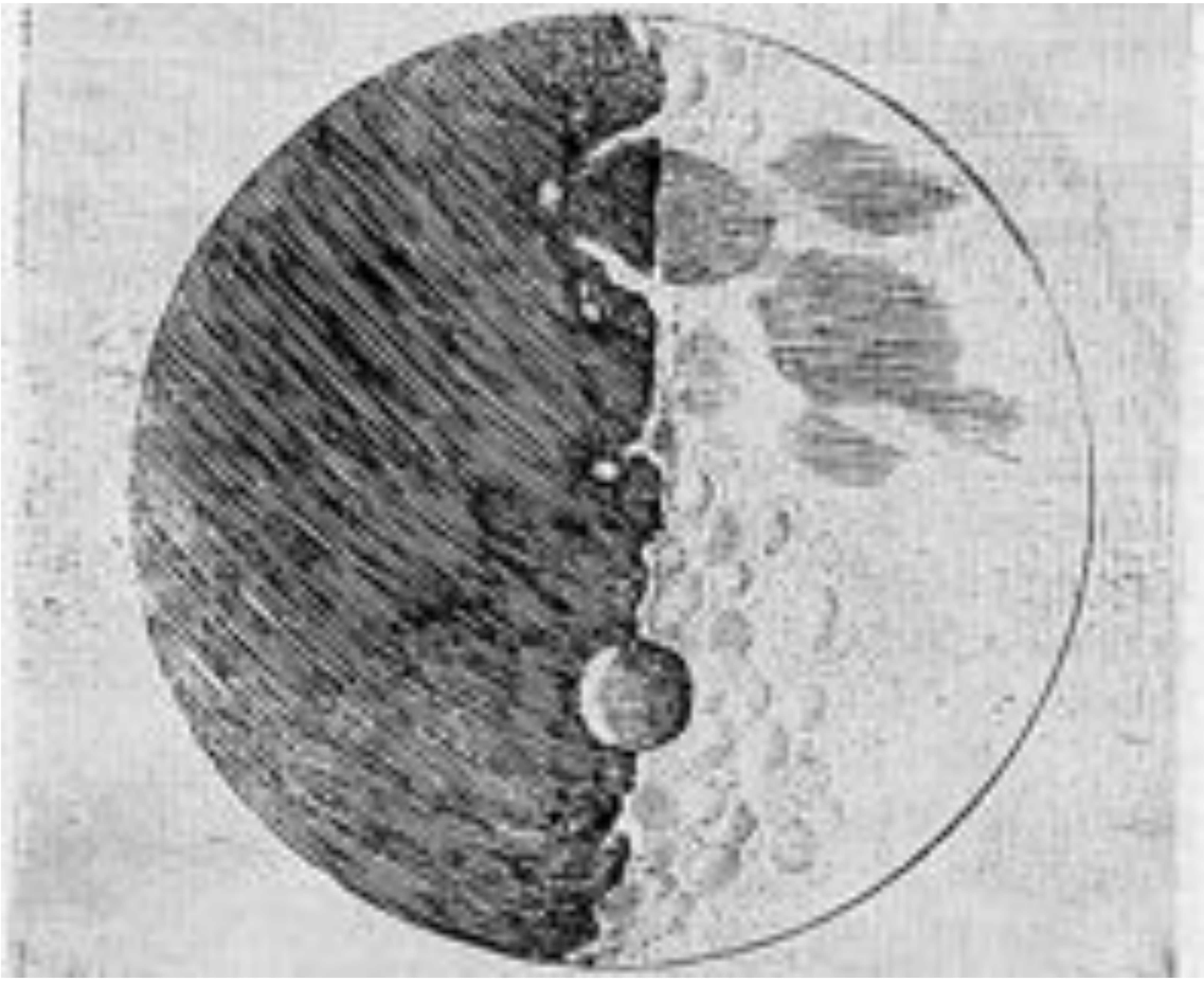
El sistema planetario Copernicano no sólo simplifica los cálculos sino que permite explicar fenómenos, como el de las fases de Venus, que no se pueden explicar con otros sistemas.



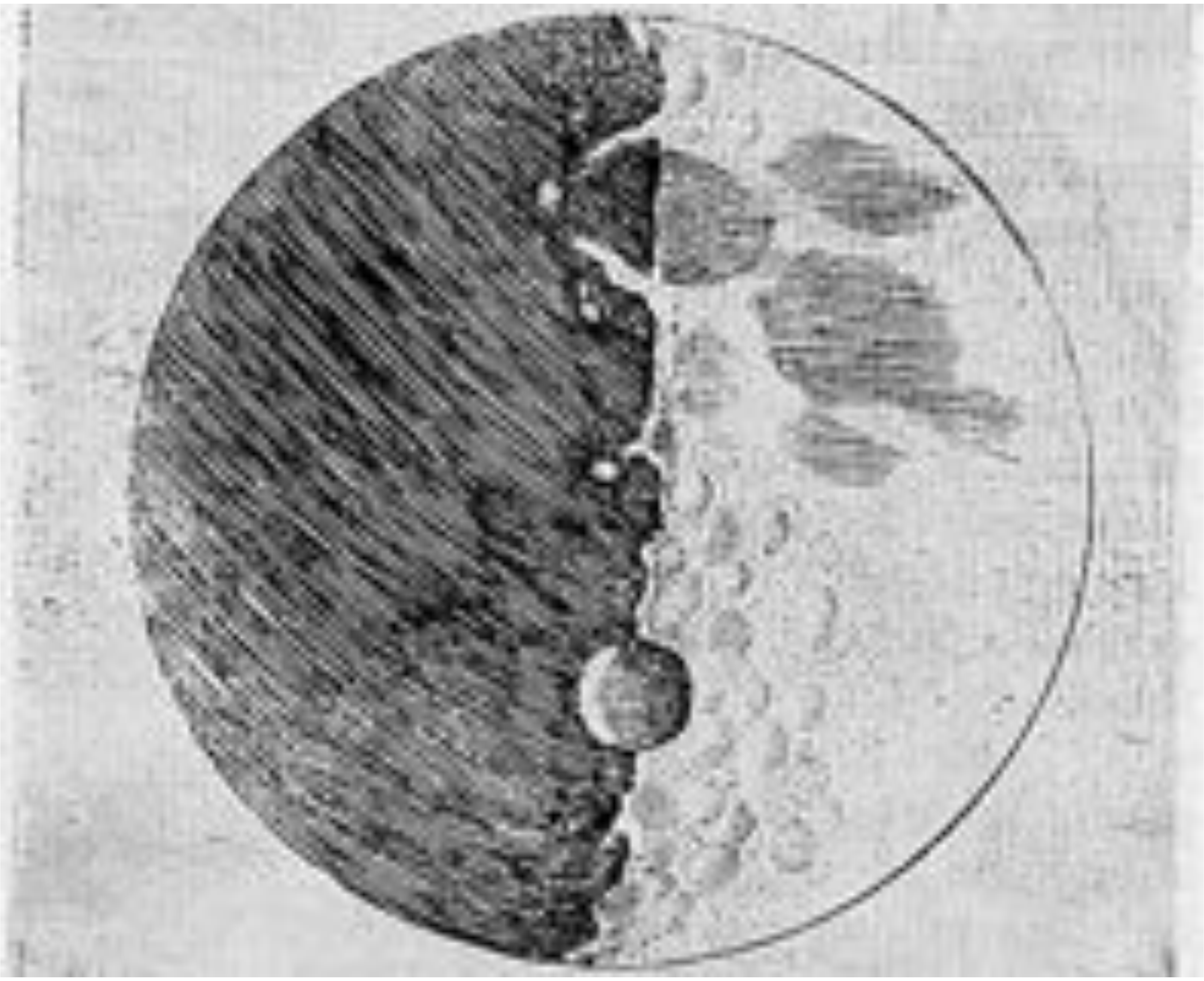
Galileo Galilei
Dibujos de la Luna.

Galileo Galilei

Dibujos de la Luna.



Robert Hooke



Para Hooke, la forma circular de los cráteres de la luna y la circunferencia de material formado a su alrededor son consecuencia de un impacto de un meteorito que eleva el material del suelo de la Luna cuando lo golpea, pero de tal modo que la atracción de la Luna por este material hace que éste vuelva a caer sobre el suelo, adoptando la forma de circunferencia elevada.

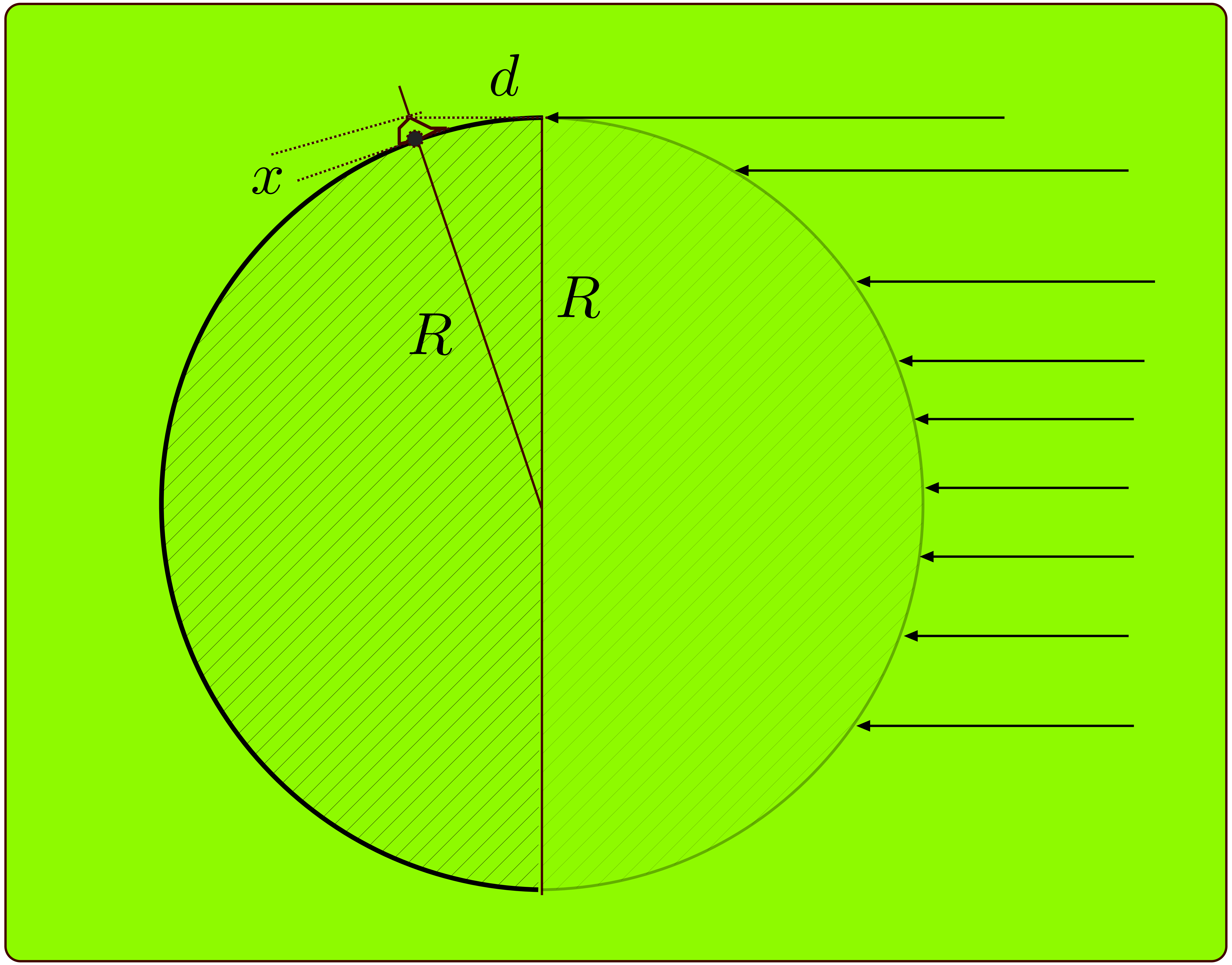
Galileo Galilei

Altura de las montañas de la Luna.

$$(R+x)^2 = R^2 + d^2$$

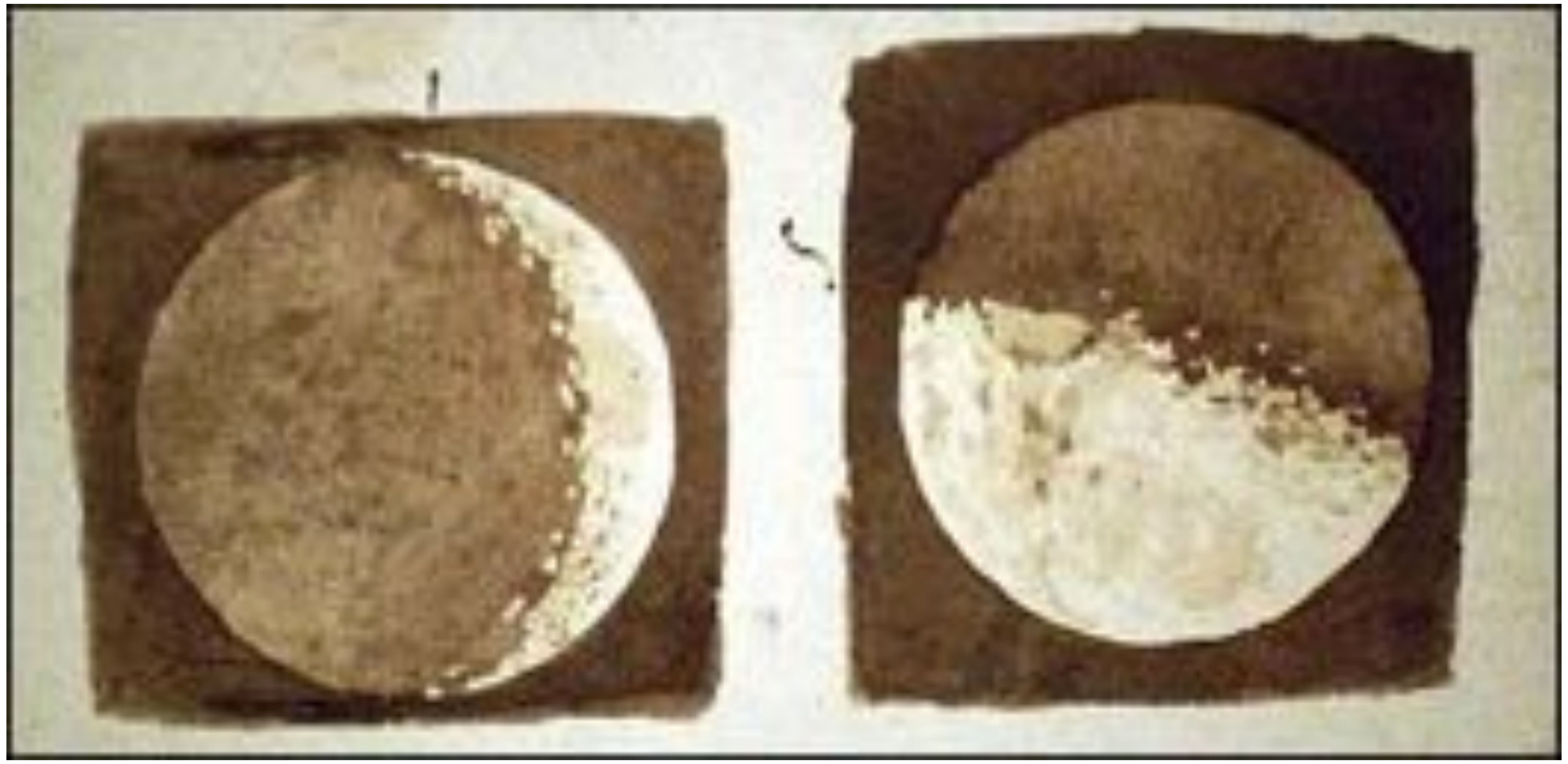
$$(R+x)^2 \approx R^2 + 2Rx$$

$$x \approx \frac{d^2}{2R}$$



Galileo Galilei

Dibujos de la Luna.



Galileo Galilei

Satélites de Júpiter

Otra prueba de que la Tierra no es el único centro alrededor del que giran otros cuerpos

Galileo Galilei

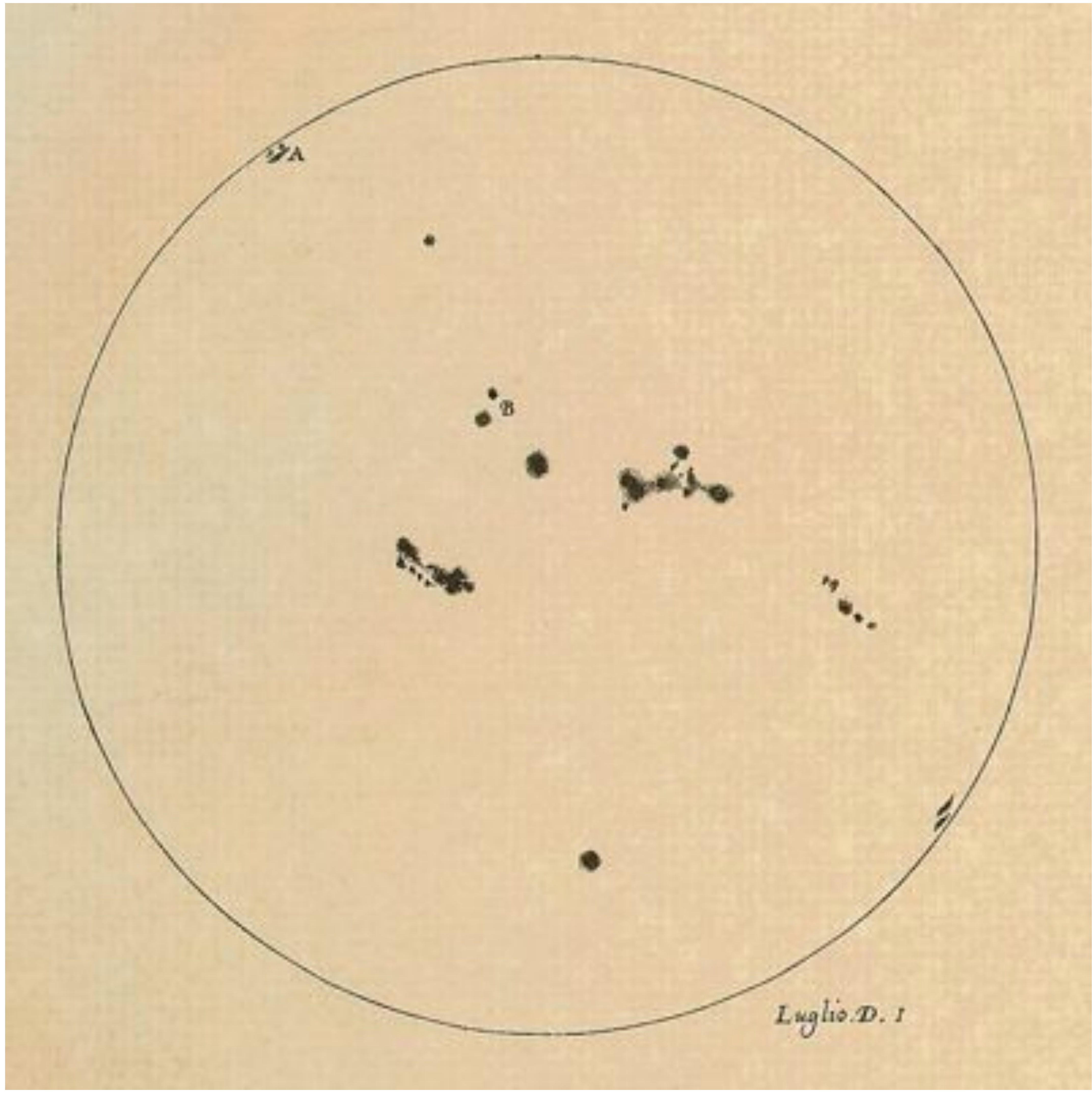
Satélites de Júpiter

Otra prueba de que la Tierra no es el único centro alrededor del que giran otros cuerpos

Galileo Galilei

Manchas en el Sol

Otra prueba de que los cuerpos celestes no son perfectos



Galileo Galilei

Manchas en el Sol

Otra prueba de que los cuerpos celestes no son perfectos

Galileo Galilei

Principio de inercia.

Inercia del reposo.

Un cuerpo mantiene su estado de reposo si sobre el mismo no actúa ninguna fuerza o la resultante vectorial de las fuerzas que actúan es cero.

Galileo Galilei

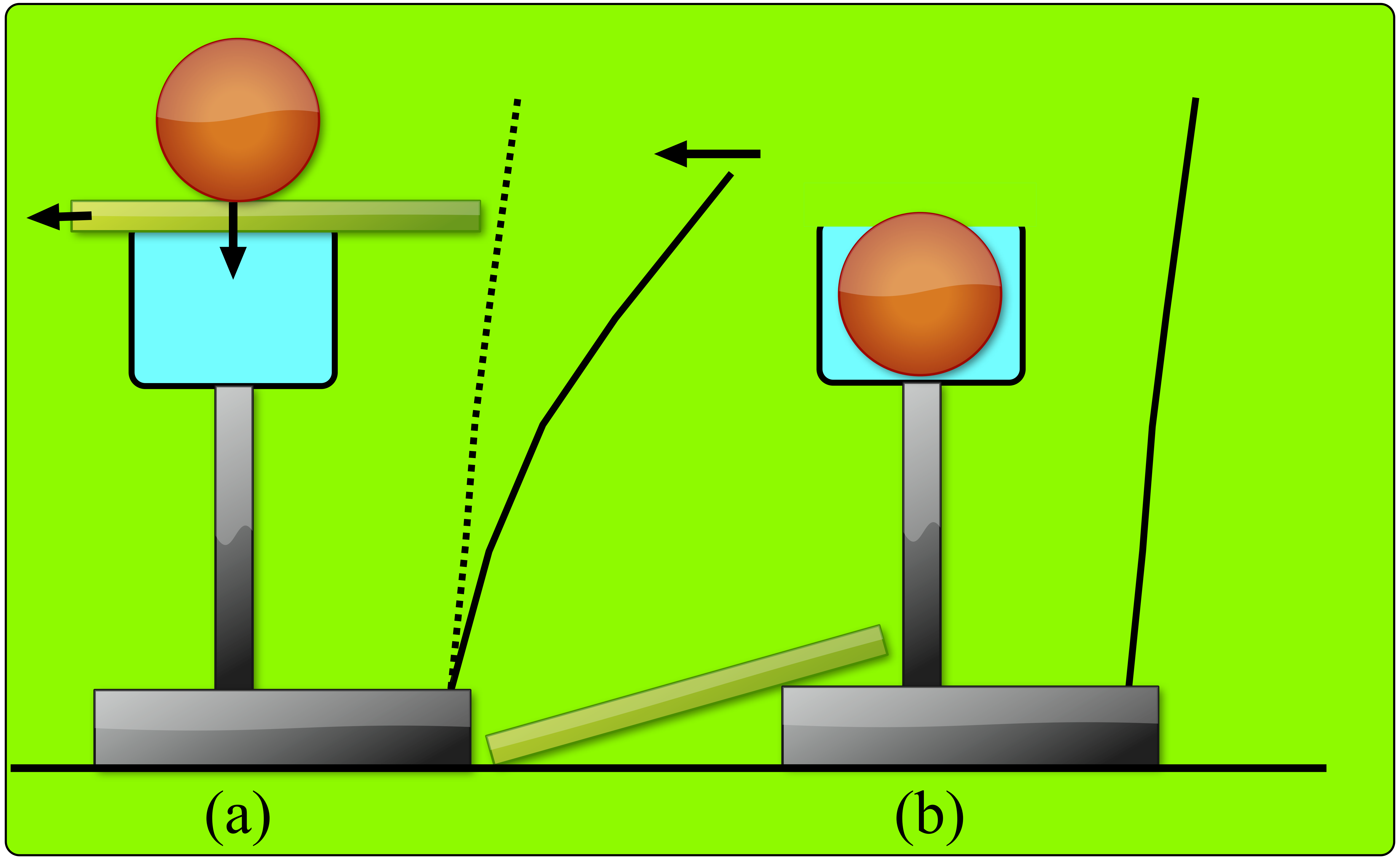
Inercia del reposo.

Cuando se tira fuerte y rápido de un mantel colocado sobre una mesa y con objetos, vasos, platos, etc., encima, se puede conseguir sacar el mantel sin mover los objetos.

Principio de inercia de Galileo

Inercia del reposo.

Una bola descansa sobre una cartulina que cierra la boca de una cazoleta. (a) Una barrita de acero flexionada se suelta y golpea la cartulina, que sale en horizontal con cierta velocidad. (b) La bola cae en la cazoleta una vez la cartulina de desliza por debajo de ella.



Principio de inercia de Galileo

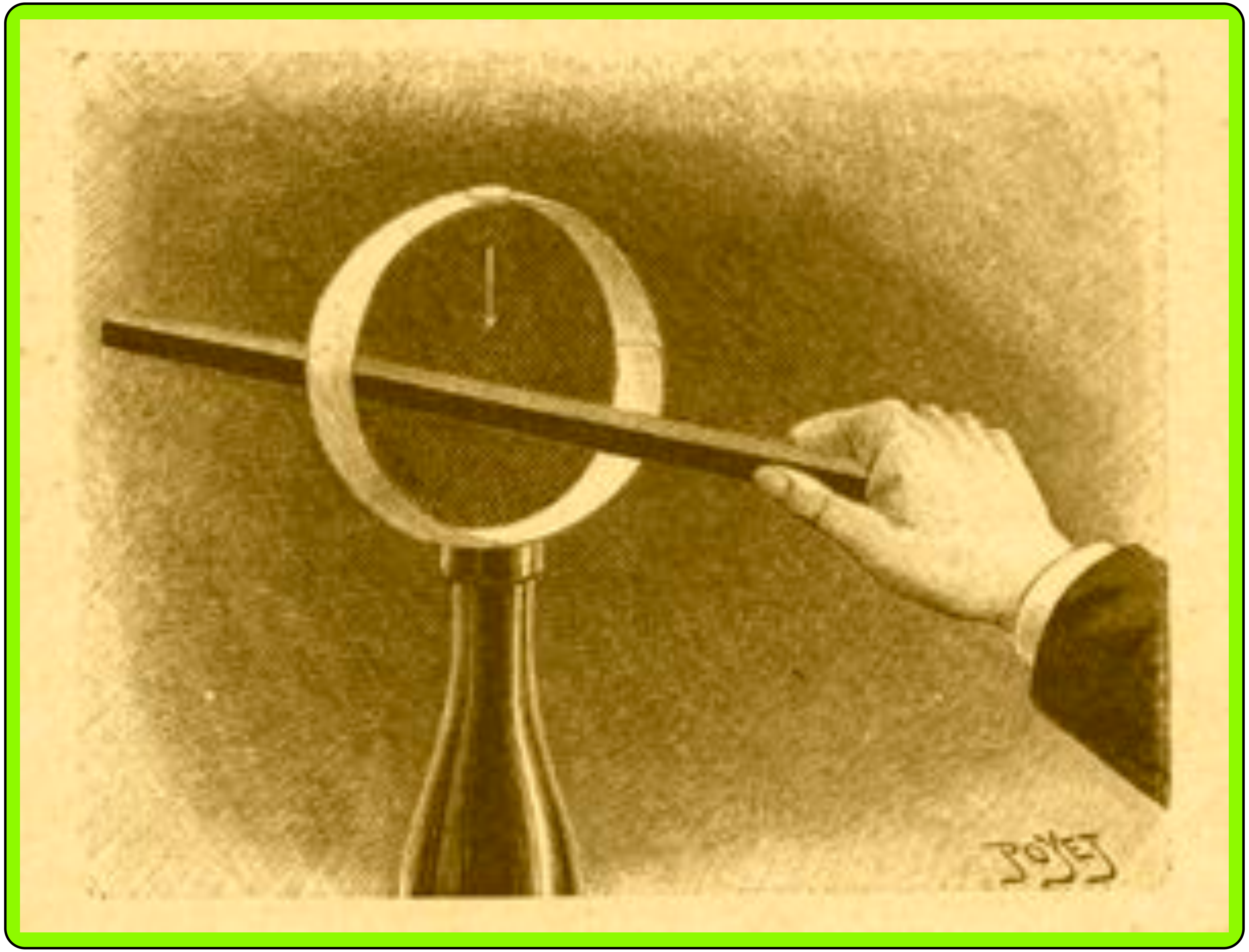
Inercia del reposo.

Una bola descansa sobre una cartulina que cierra la boca de una cazoleta. (a) Una barrita de acero flexionada se suelta y golpea la cartulina, que sale en horizontal con cierta velocidad. (b) La bola cae en la cazoleta una vez la cartulina de desliza por debajo de ella.

Principio de inercia de Galileo. Inercia del reposo

Inercia de la moneda sobre arco de papel.

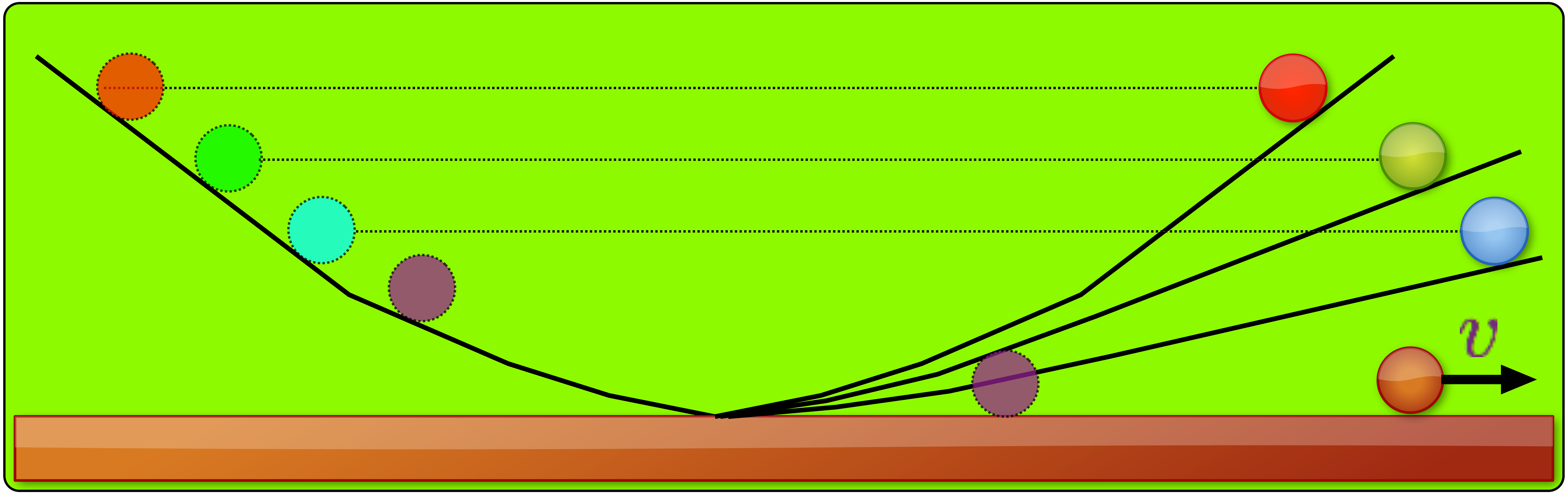
Una moneda descansa sobre una circunferencia de papel, justo encima de la boca de una botella. Si sobre la circunferencia de papel se da un golpe brusco, la moneda caerá en vertical y entrará en la botella.



Principio de inercia de Galileo. Inercia del reposo

Inercia de la moneda sobre arco de papel.

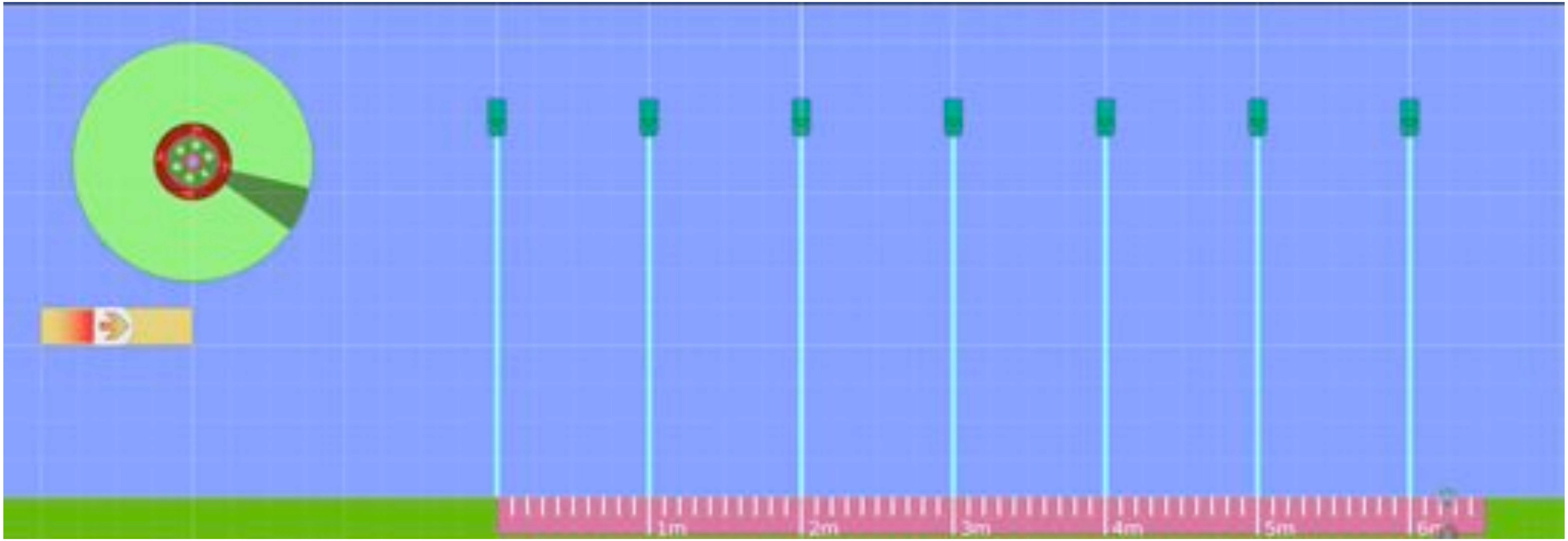
Una moneda descansa sobre una circunferencia de papel, justo encima de la boca de una botella. Si sobre la circunferencia de papel se da un golpe brusco, la moneda caerá en vertical y entrará en la botella.



Inercia del movimiento en carril de Galileo.

Se dispone de un carril, 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.



Inercia del movimiento.

Si no se le aplica ninguna fuerza, un cuerpo en movimiento permanece moviéndose con velocidad constante.

Principio de inercia de Galileo. Inercia del movimiento

Inercia de libros sobre silla en movimiento.

Unos libros que se mueven con una silla, seguirán en movimiento aunque la silla se detenga.

No es evidente que un cuerpo se mueva aunque sobre él no se apliquen fuerzas. Es éste un gran descubrimiento de Galileo.

Principio de relatividad de Galileo

No hay un sistema de referencia privilegiado.

Mediante experimentos mecánicos no se puede determinar si un cuerpo asociado a un sistema de referencia se encuentra en reposo o en movimiento.

Un mismo proceso se puede describir de forma equivalente en diversos sistemas de referencia (inerciales).

Relatividad del movimiento.

Aunque aparentemente hay dos principios de inercia, inercia del reposo e inercia del movimiento, el principio de relatividad va a mostrar que, en realidad, se trata de un único principio.

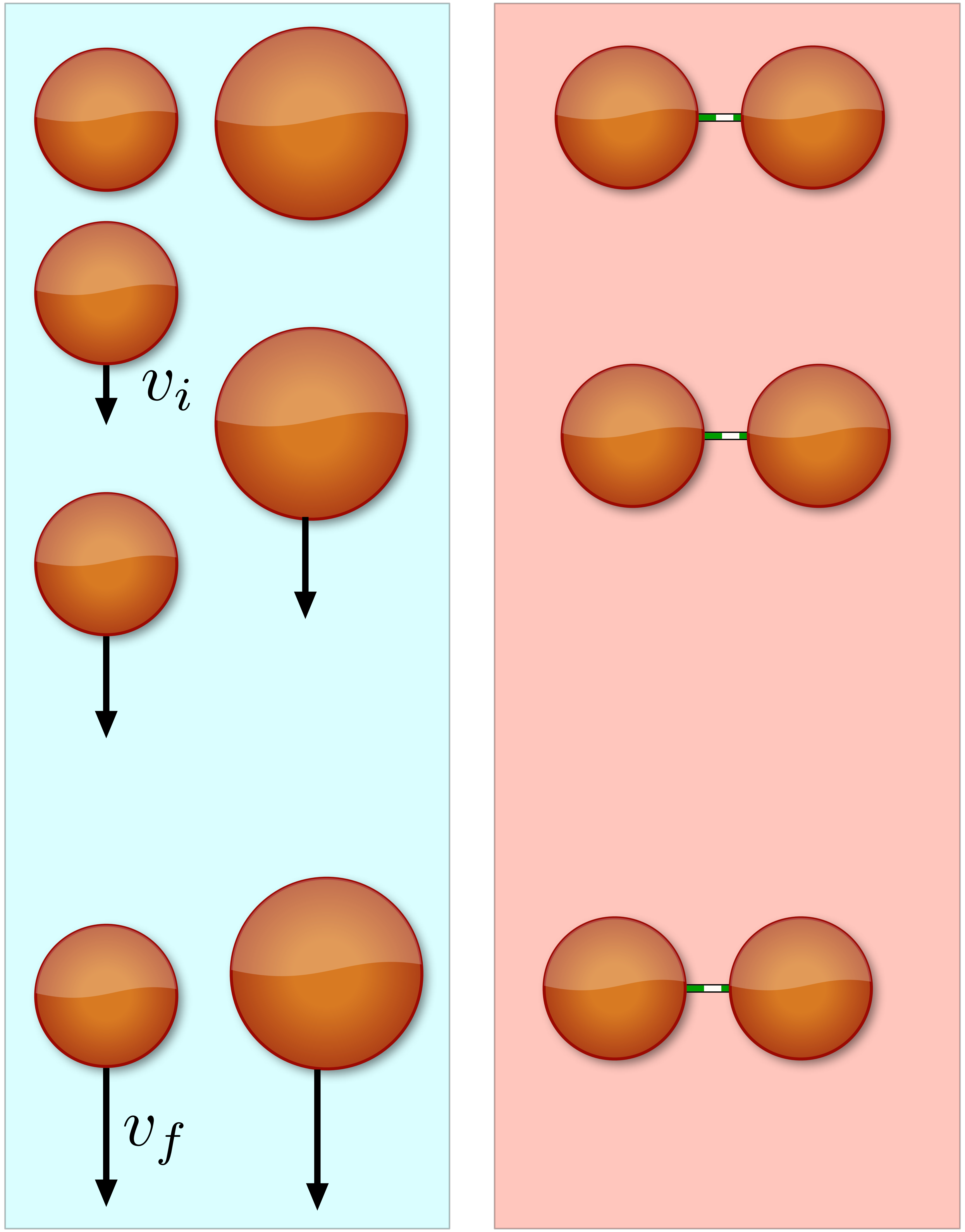
Como la velocidad es una magnitud con un valor relativo, la inercia del reposo o la inercia del movimiento no son tampoco conceptos absolutos sino relativos.

Para un observador que se mueve con la velocidad de la bola respecto de la rampa, la bola permanece en reposo (inercia del reposo) mientras que para el observador en reposo respecto de la rampa, la bola se mueve con velocidad constante (inercia del movimiento).

Caída de graves

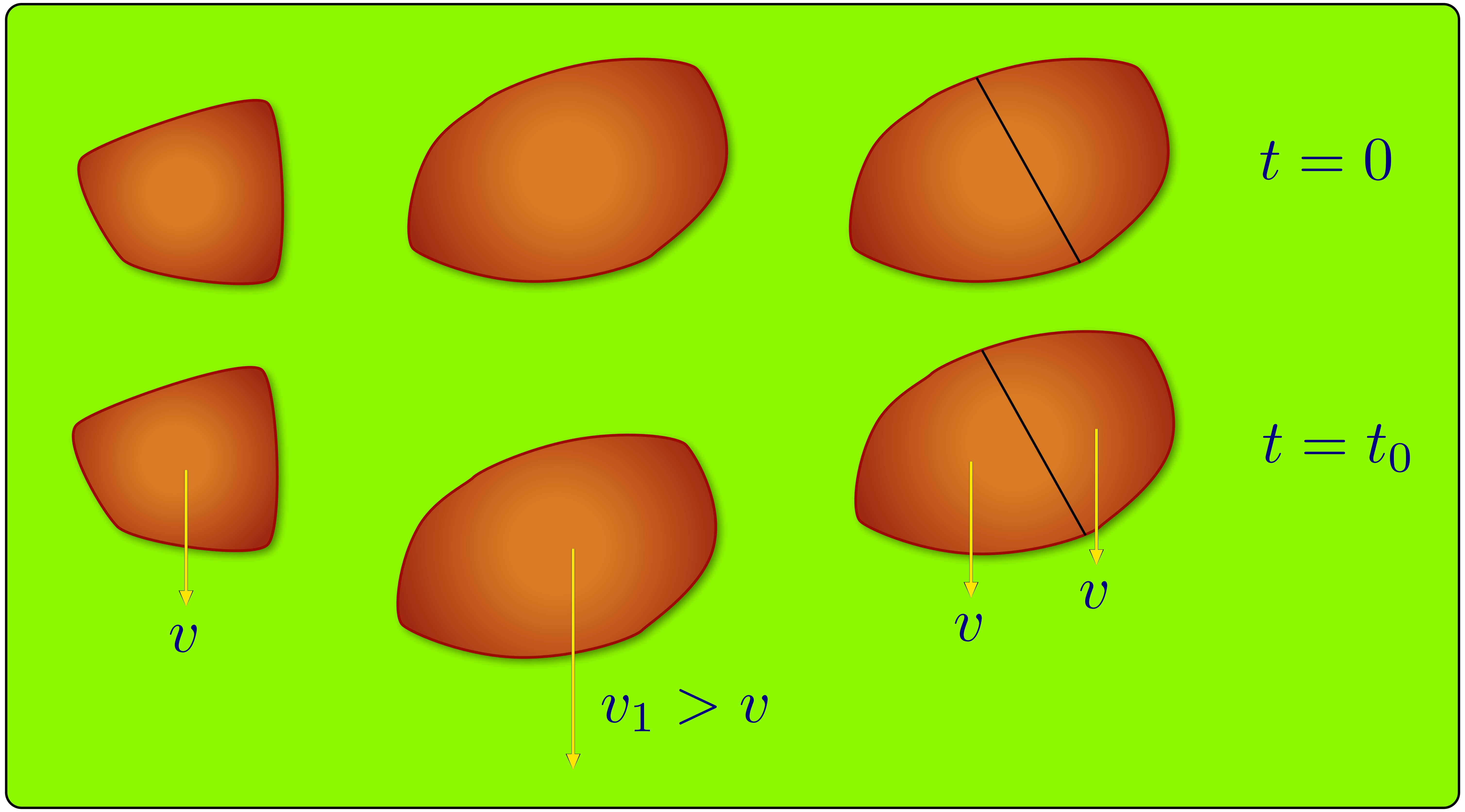
Un cuerpo con el doble de masa que otro, debe caer más deprisa, según Aristóteles.
Pero si dos cuerpos iguales se unen mediante una cuerda para formar uno doble, ¿tendría ahora el conjunto que comportarse como el cuerpo pesado?
La respuesta de Benedetti es que esta conclusión es absurda y que Aristóteles estaba equivocado en este punto

Giambattista Benedetti (1530-1590)



Caída de graves

De acuerdo con la descripción de Aristóteles, una piedra grande llega al suelo antes que una piedra pequeña si ambas son dejadas caer desde la misma altura. Pero Galileo razona que si la piedra grande se rompe en dos trozos pequeños no tiene sentido pensar que entonces va a caer más despacio. Concluye entonces que piedras grandes y pequeñas caen con la misma aceleración y llegan al suelo



Descenso de una bola por un plano inclinado

$$s \, \alpha \, t^2$$

$$t : 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1$$

$$s : 1 + 3 + 5 + 7 + 9 + 11 + 13 + 15 + 17$$

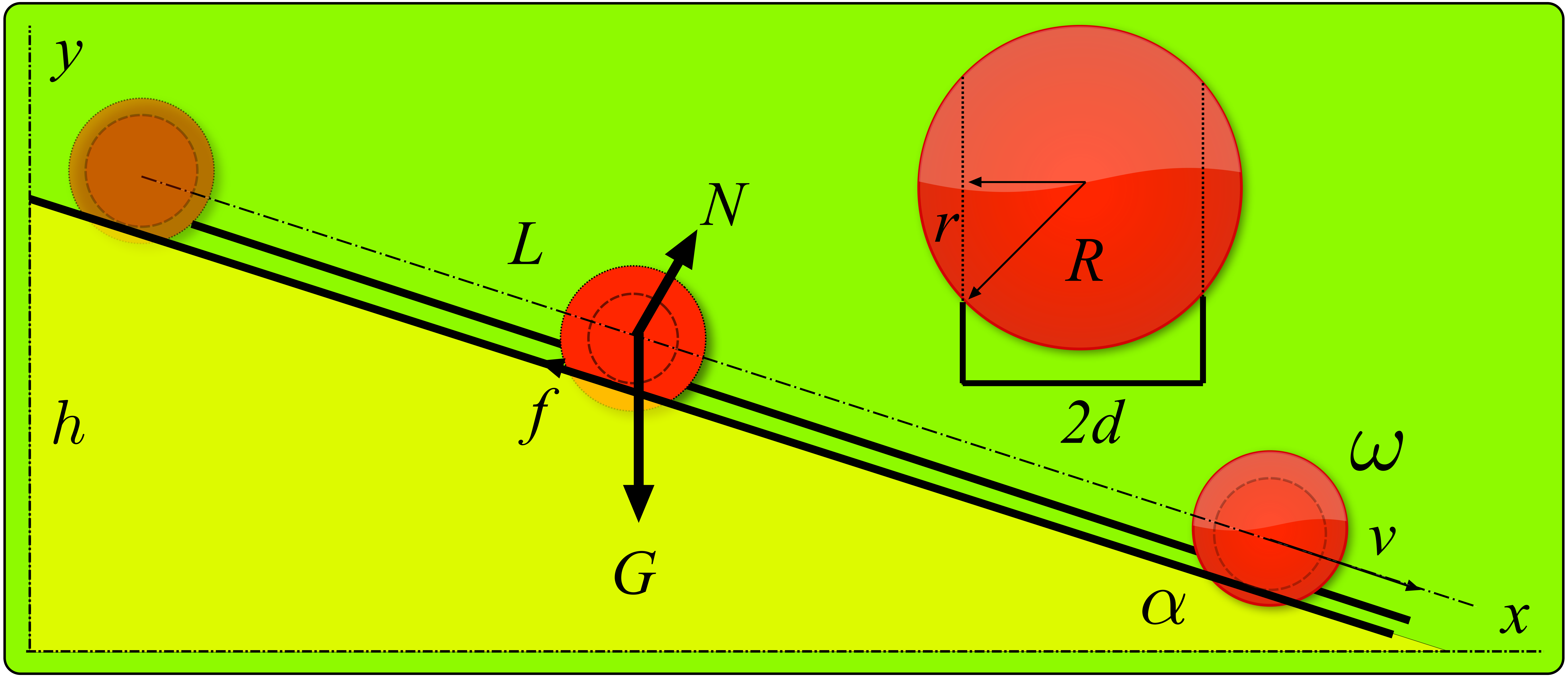
Los espacios recorridos en cada segundo son proporcionales a la sucesión de números impares.

$$s_{\mathrm{A}} : 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49 + 64 + 81$$

En caída de graves, los espacios recorridos acumulados son proporcionales al cuadrado del tiempo transcurrido.

Galileo Galilei

Carril de Galileo.
El tiempo se marca mediante campanillas.



Carril de Galileo

F S Crawford, *Rolling and slipping down Galileo's inclined plane: Rhythms of the spheres*, American Journal of Physics **64** 541-546 (1996)

Galileo Galilei

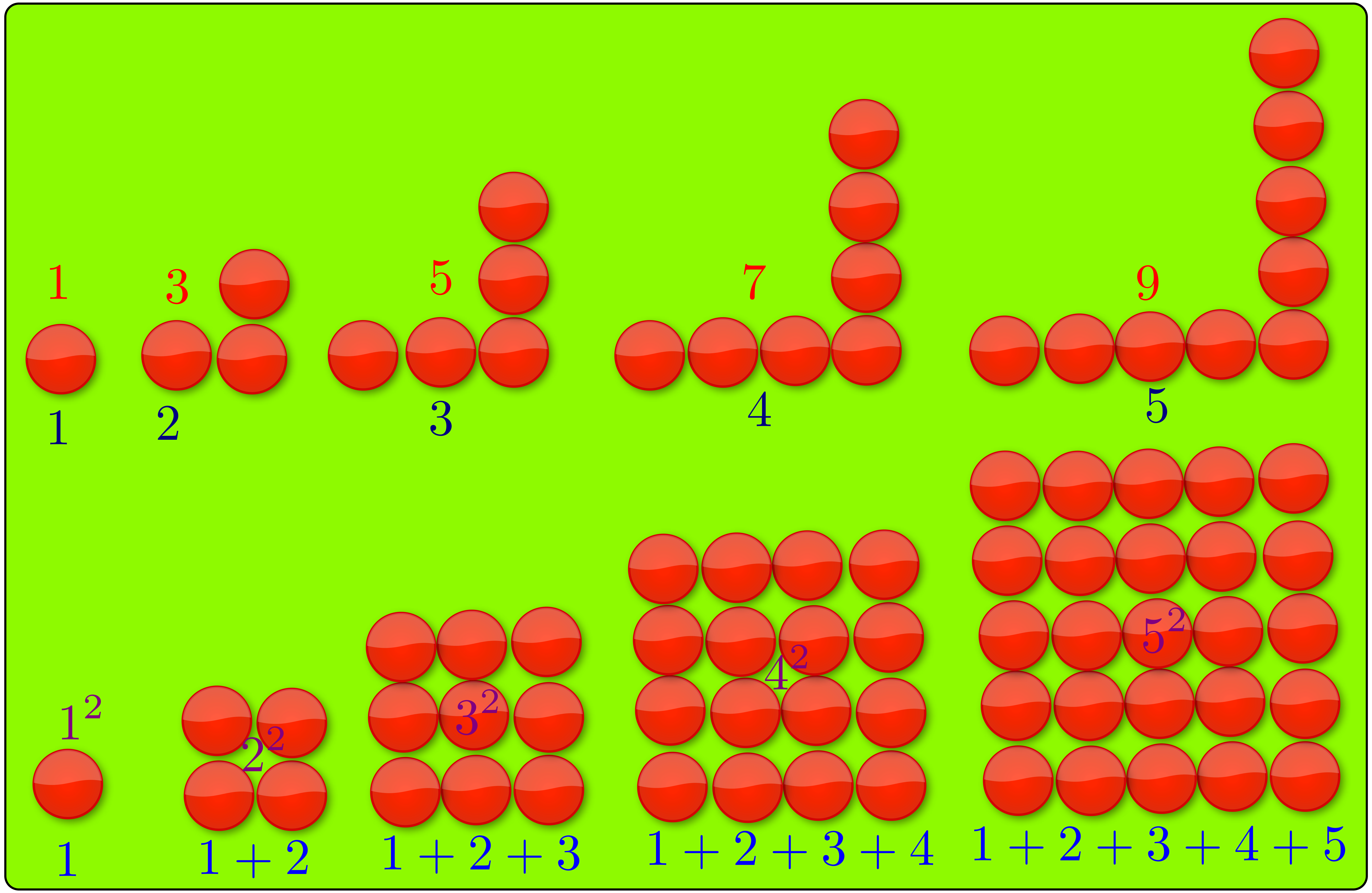
Experimento del descenso de una bola por un plano inclinado.

Caída de graves

$$s : 1 + 3 + 5 + 7 + 9 + 11 + 13 + 15 + 17$$

$$s_{\mathrm{A}} : 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49 + 64 + 81$$

Los espacios recorridos en los sucesivos intervalos de tiempo (1, 2, 3, 4, 5, ...) varían como los números impares (1, 3, 5, 7, 9, ...),
y
los espacios recorridos acumulados varían como los cuadrados de los números enteros (1, 4, 9, 16, 25, ...)



Galileo Galilei

Experimento de la Torre de Pisa.

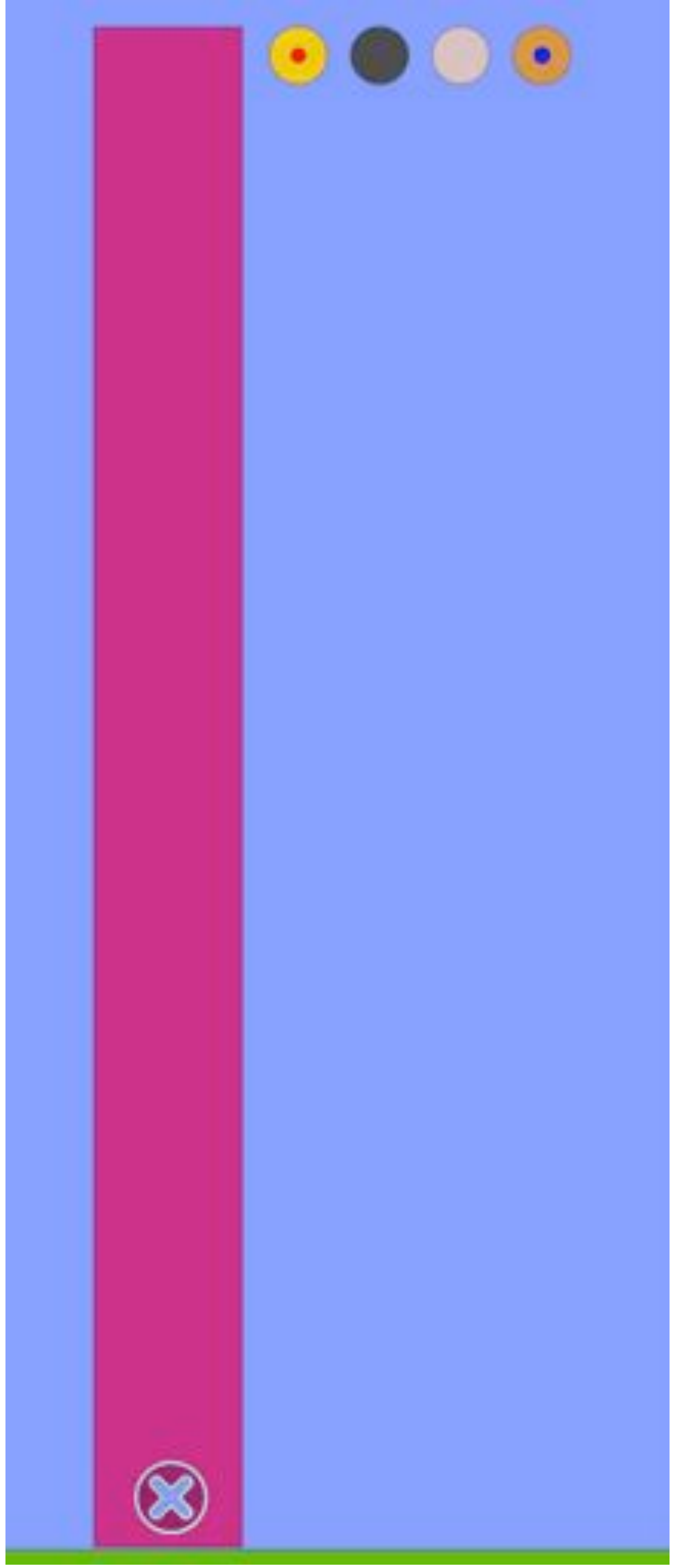
Galileo deja caer cuerpos del mismo tamaño pero de distintos materiales, y distintas, masas, desde lo alto de la Torre de Pisa.

Galileo Galilei

Experimento de la Torre
de Pisa.

Sin aire (sin rozamiento).

Los cuerpos llegan a la
vez al suelo.



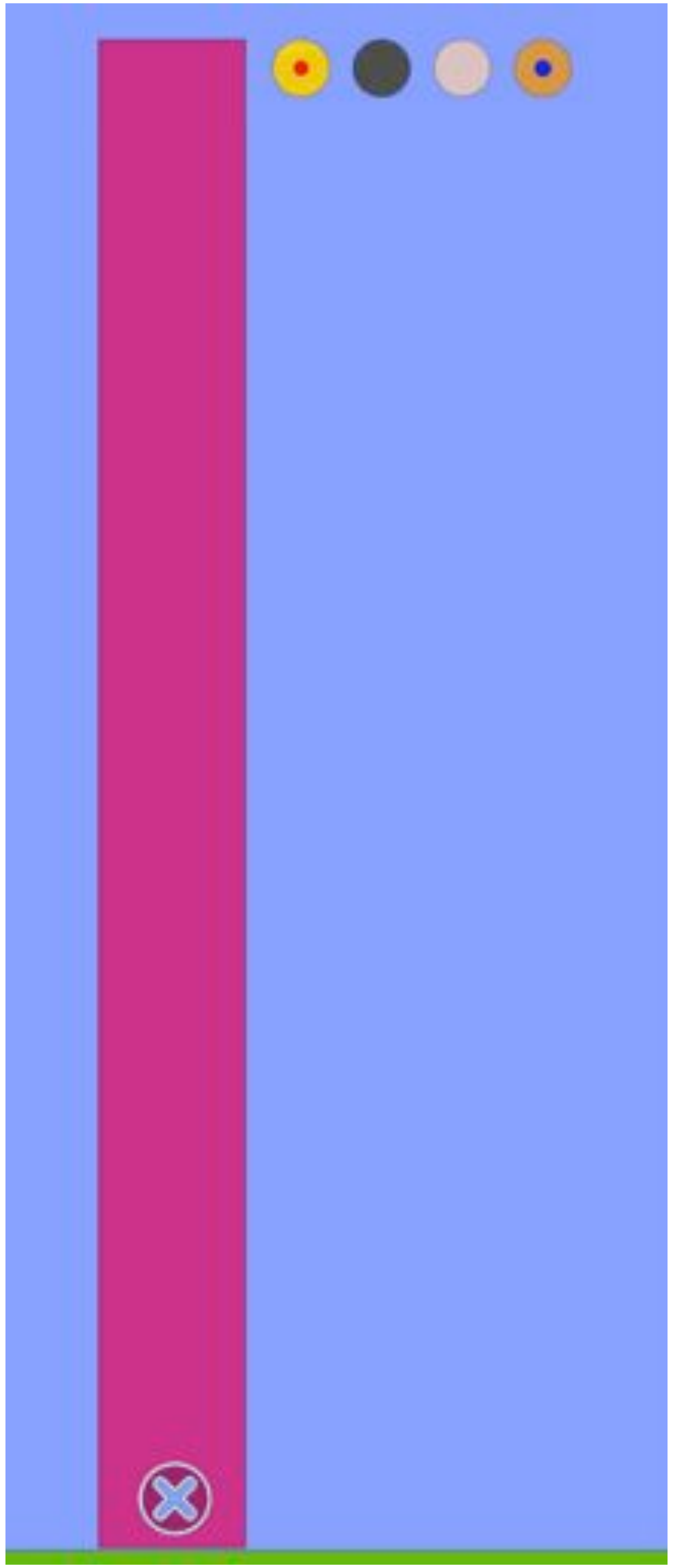
C G Adler, B L Coulter, *Galileo and the Tower of Pisa experiment*, American Journal of Physics **46** 199-201 (1978)

Galileo Galilei

Experimento de la Torre de Pisa.

Con aire (con rozamiento).

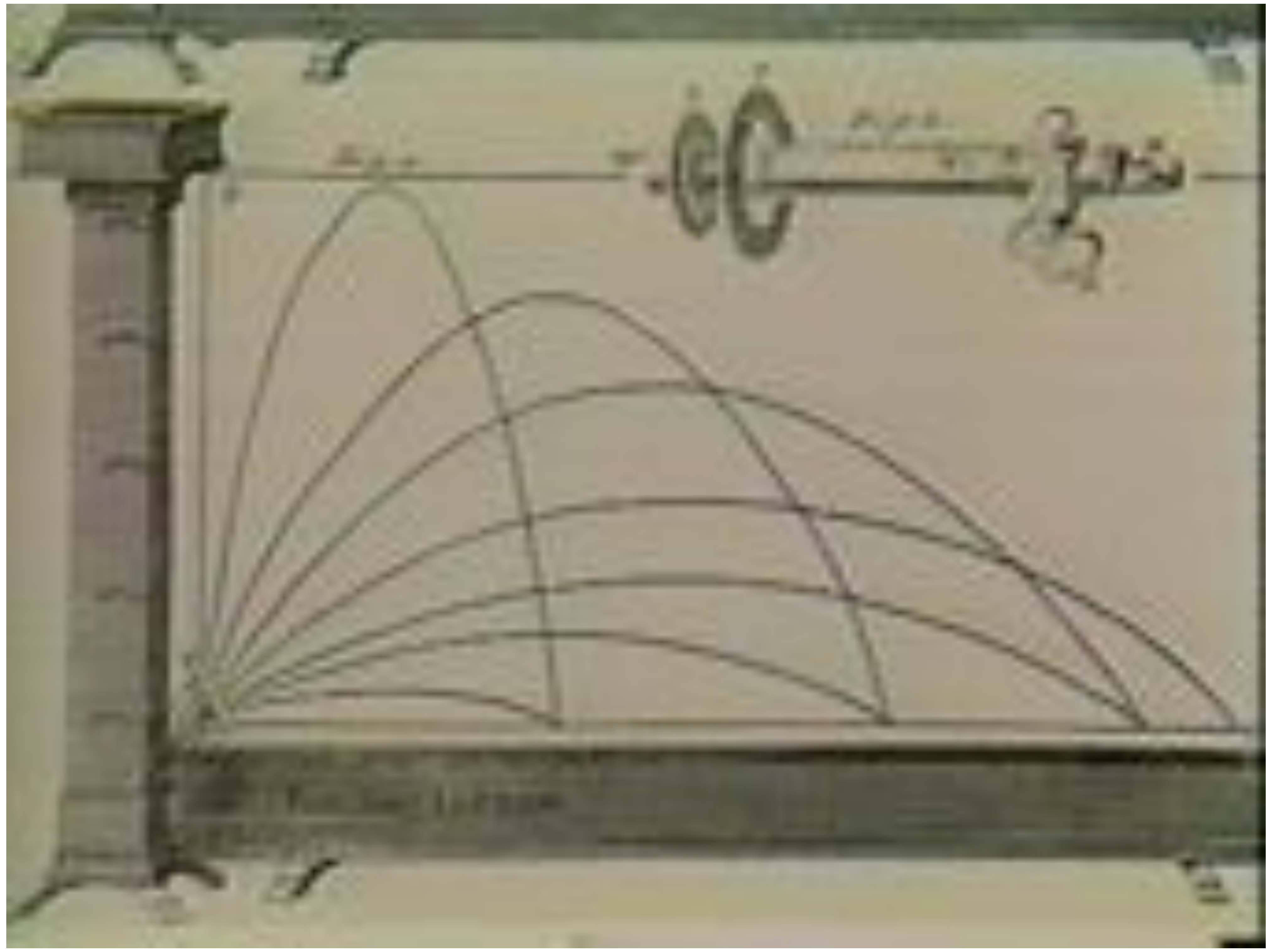
Los cuerpos no llegan a la vez al suelo, pero la diferencia es pequeña



Galileo Galilei

Lanzamiento de proyectiles.

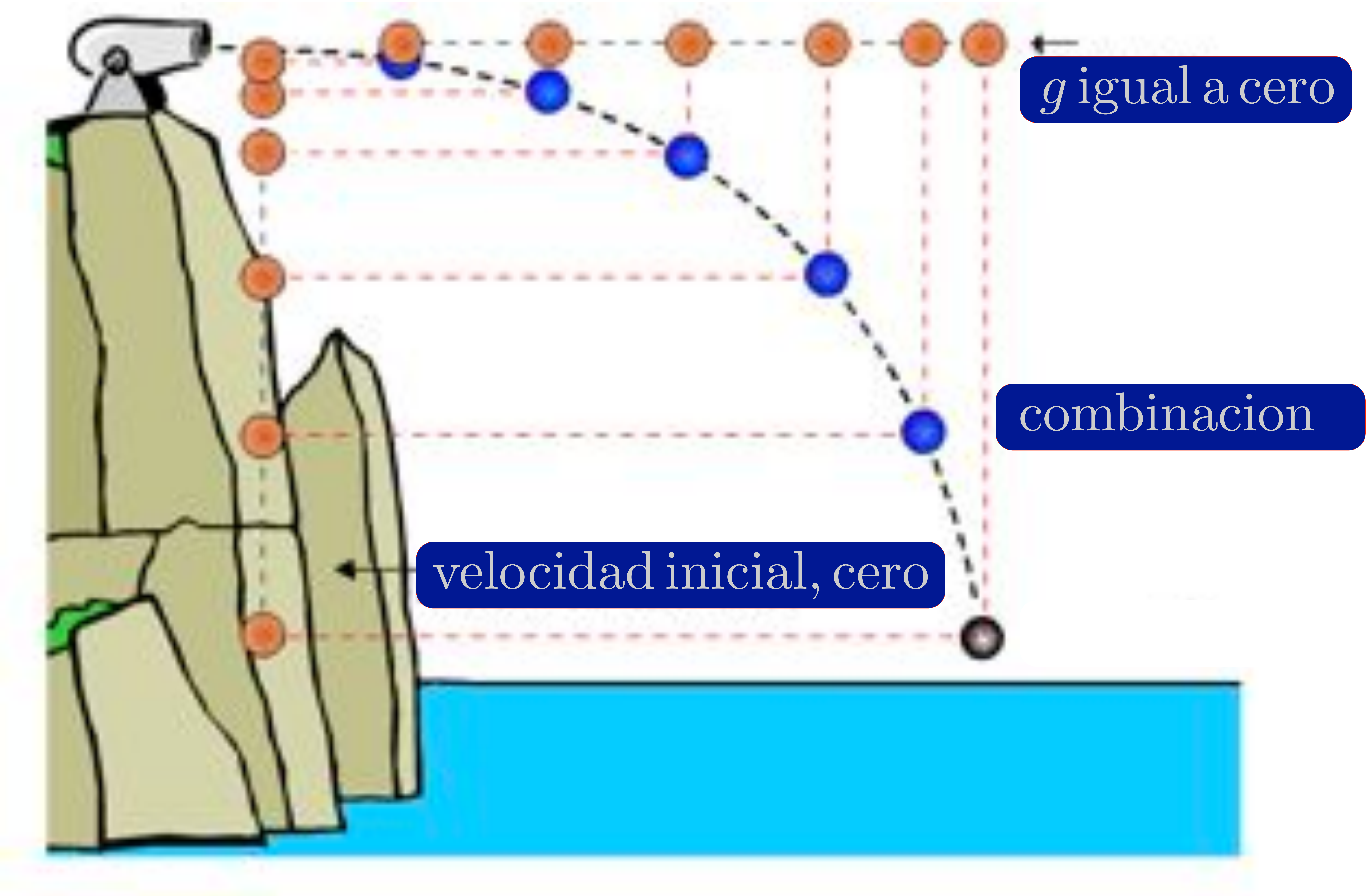
¿Cuál es la trayectoria de un proyectil?
Se supone que Galileo se emplea como consultor militar.
La hipótesis de Aristóteles se demuestra falsa.



Galileo Galilei

Lanzamiento de proyectiles.

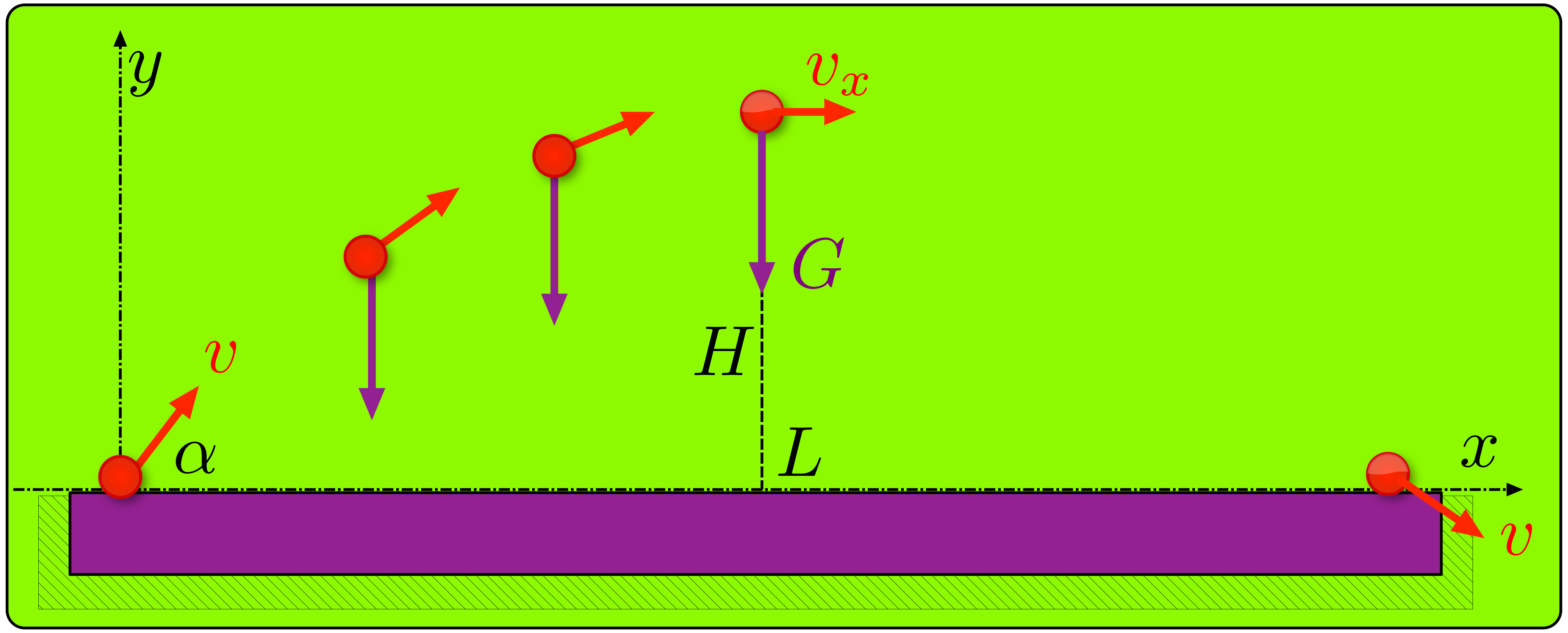
Descomposición del movimiento por componentes vertical y horizontal.



Galileo. Lanzamiento de proyectiles

Movimiento horizontal. Inercia. Movimiento uniforme

$$x(t) = v \cos\alpha\, t$$



Movimiento vertical. Aceleración. Movimiento acelerado

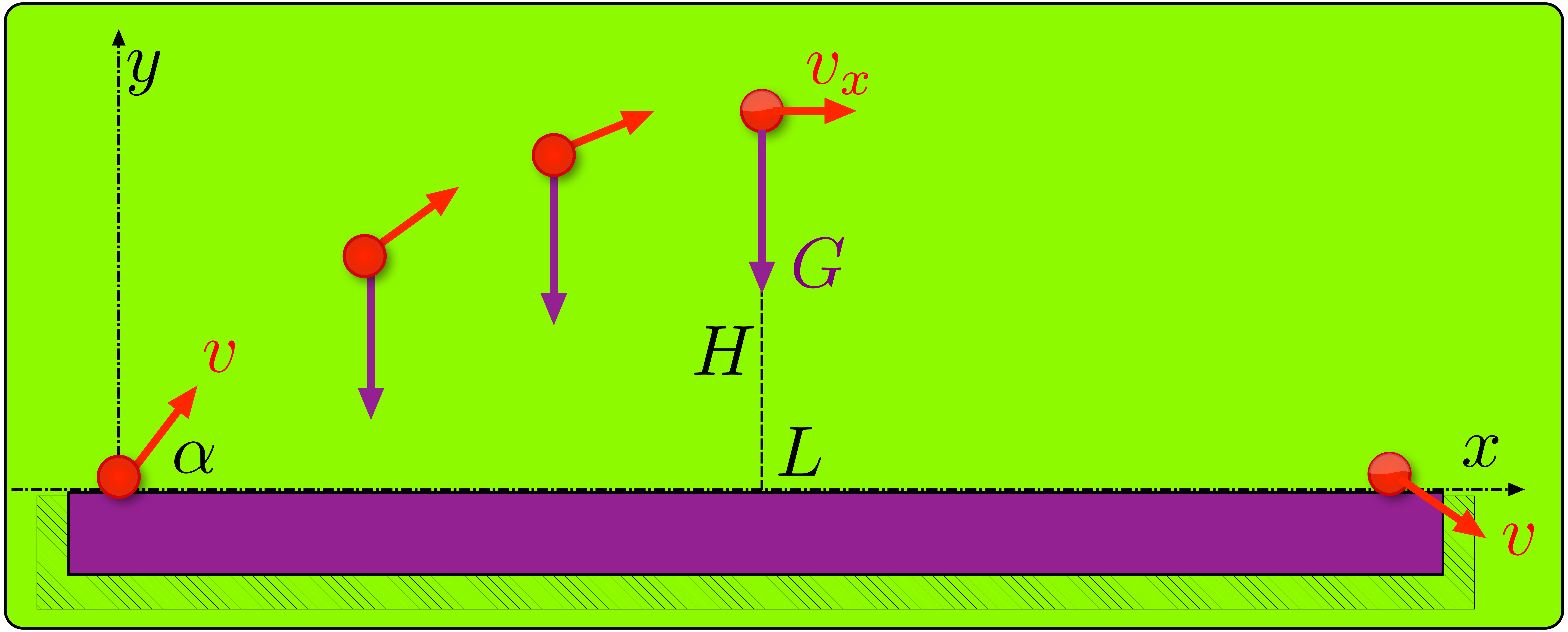
$$y(t) = v\, \mathrm{sen}\alpha\, t - \frac{1}{2} g t^2$$

La trayectoria del proyectil es una parábola

$$y(x) = \frac{\mathrm{sen}\,\alpha}{\cos\,\alpha} x - \frac{1}{2} g \frac{x^2}{v^2 \cos^2\,\alpha}$$

Galileo. Lanzamiento de proyectiles

La trayectoria del proyectil es una parábola



Altura máxima

$$H = \frac{v^2 \text{sen}^2\,\alpha}{2g}$$

Alcance máximo

$$L = \frac{2v^2 \text{sen}\,\alpha \cos\,\alpha}{g}$$

Galileo. Lanzamiento de proyectiles

Un proyectil en la superficie de la Tierra sigue una trayectoria con forma de parábola invertida.

Galileo Galilei

Galileo Galilei

Altura máxima

$$H = \frac{v^2 \text{sen}^2 \alpha}{2g}$$

Alcance máximo

$$L = \frac{2v^2 \text{sen}\, \alpha \cos\, \alpha}{g}$$

El problema del mono y el cazador

Si inicialmente el arma apunta directamente al mono y justo en el momento del disparo el mono se deja caer, la bala siempre le alcanza. Con velocidad baja de la bala, le alcanza cuando ha descendido bastante altura. Por debajo de una cierta velocidad inicial de la bala, el mono alcanzará el suelo sin que ésta le alcance.

El problema del mono y el cazador

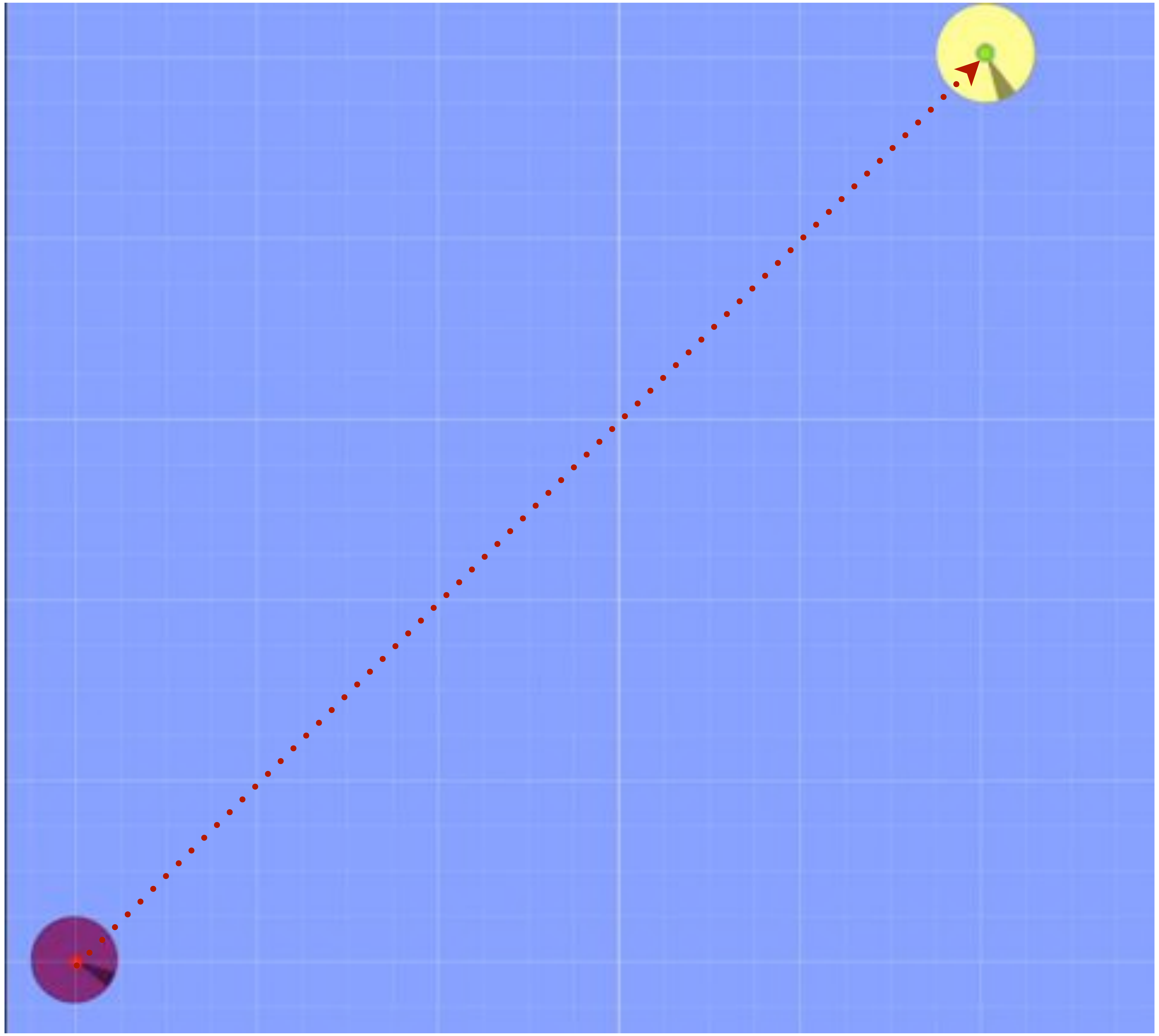
Si inicialmente el arma apunta directamente al mono y justo en el momento del disparo el mono se deja caer, la bala siempre le alcanza. Con velocidad baja de la bala, le alcanza cuando ha descendido bastante altura. Por debajo de una cierta velocidad inicial de la bala, el mono alcanzará el suelo sin que ésta le alcance.

El problema del mono y el cazador

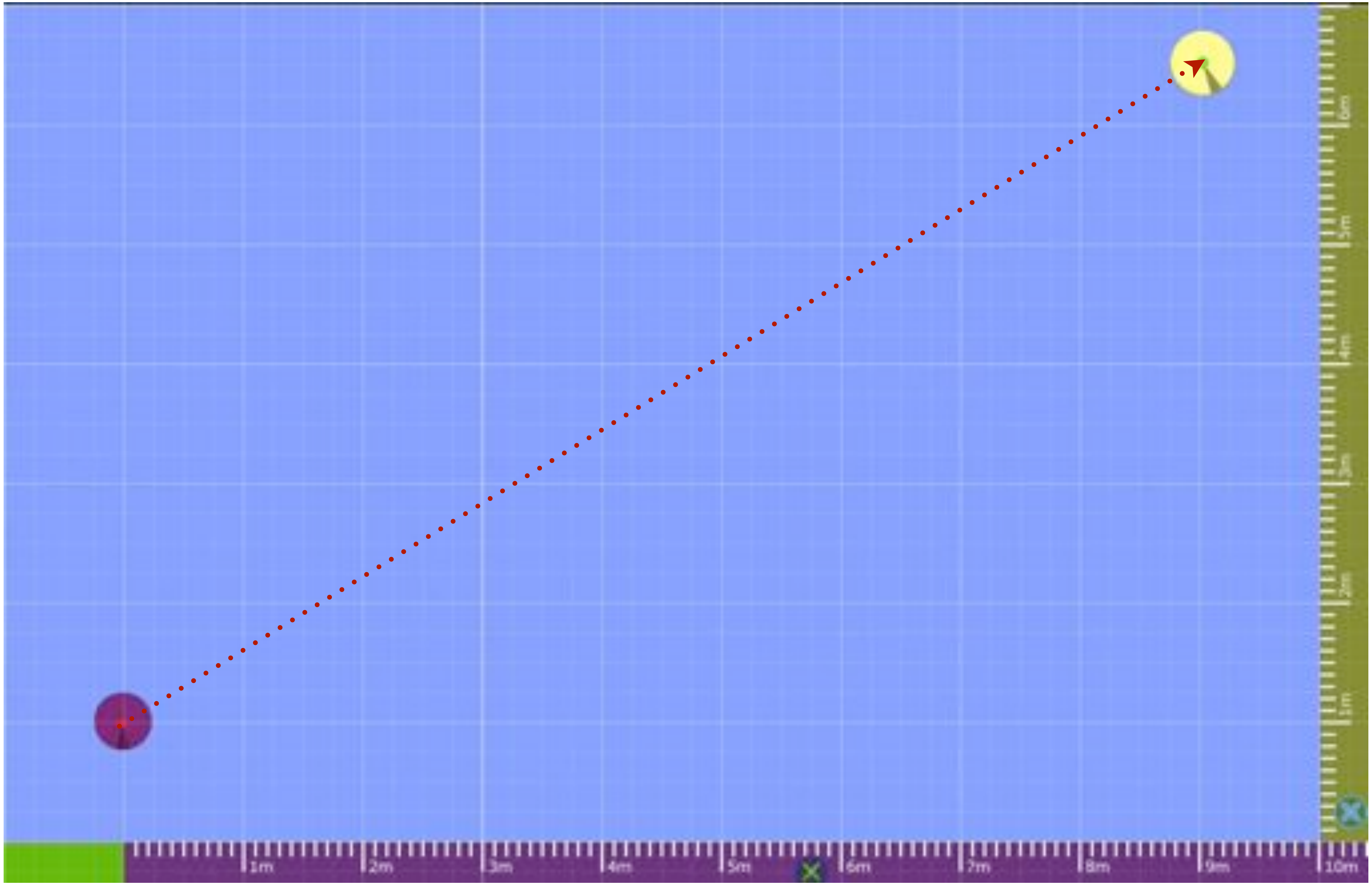
Bajo la influencia común del campo gravitatorio, si un proyectil (el cazador) se lanza en la dirección de un objeto (el mono) y, justo en el momento en que el proyectil se dispara, el objeto se deja caer, el proyectil siempre alcanza el objeto.

En ausencia del campo gravitatorio, el proyectil alcanzaría el objeto.

Por tanto, ambos cuerpos, proyectil y objeto, caen lo mismo en presencia del campo gravitatorio, por lo que al cabo de un cierto tiempo de caída libre, se encuentran.



El problema del mono y el cazador



FIN

Experimentos importantes en la Historia de la Física

Edad Media

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019