Experimentos importantes en la Historia de la Física

Grecia clásica

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019

Experimentos importantes en la historia de la física

Grecia Clásica

Thales de Mileto. Medida de la altura de las pirámides de Giza

Thales de Mileto. Distancias astronómicas

Aristarco de Samos. Distancia al Sol y a la Luna

Aristarco de Samos. Cuánto más grande es el Sol que la Luna

Aristarco de Samos. Cuánto más grande es la Tierra que la Luna

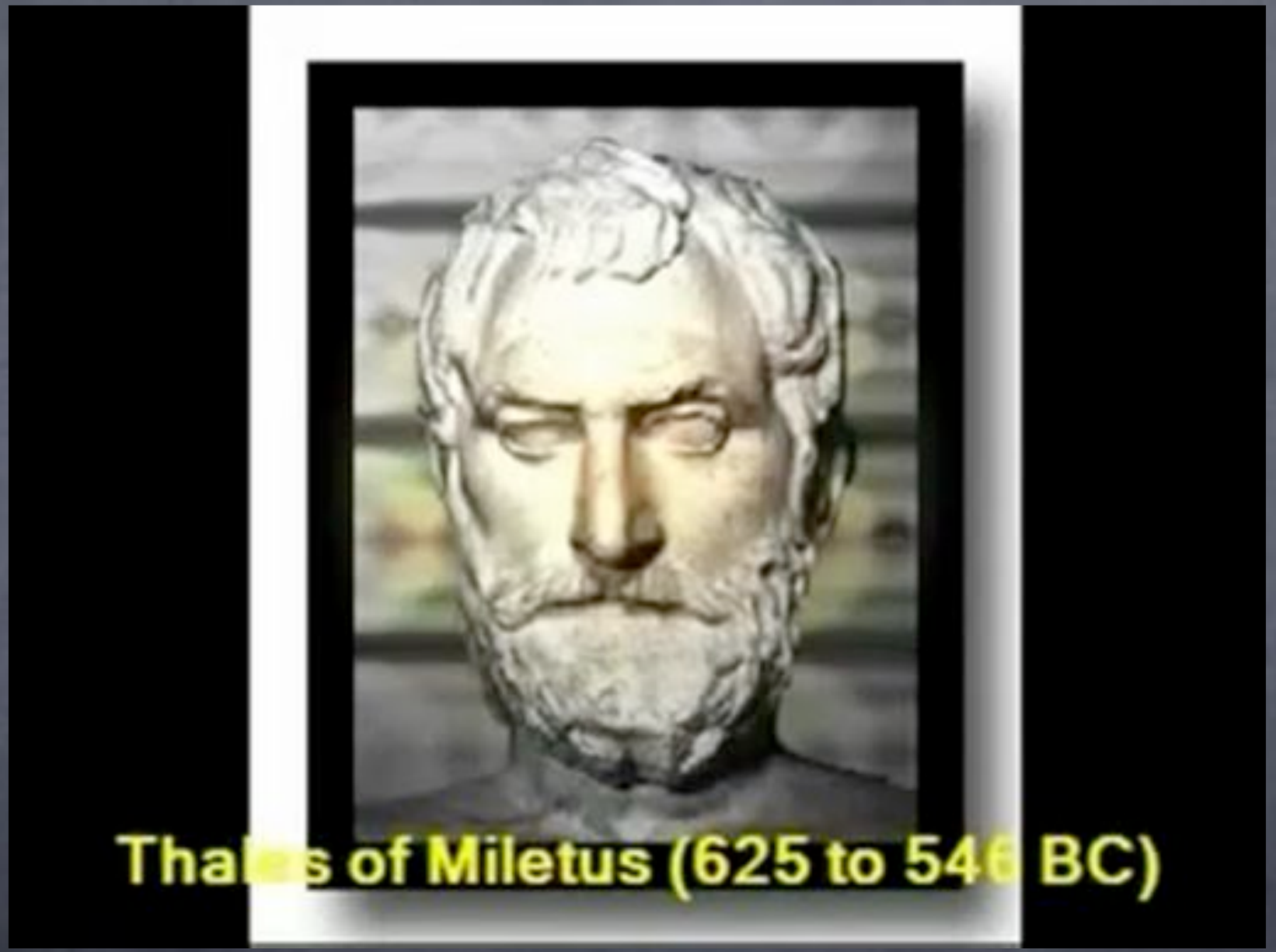
Eratóstenes. Medida de la longitud de la circunferencia de la Tierra

Arquímedes. composición de la corona del rey Hierón

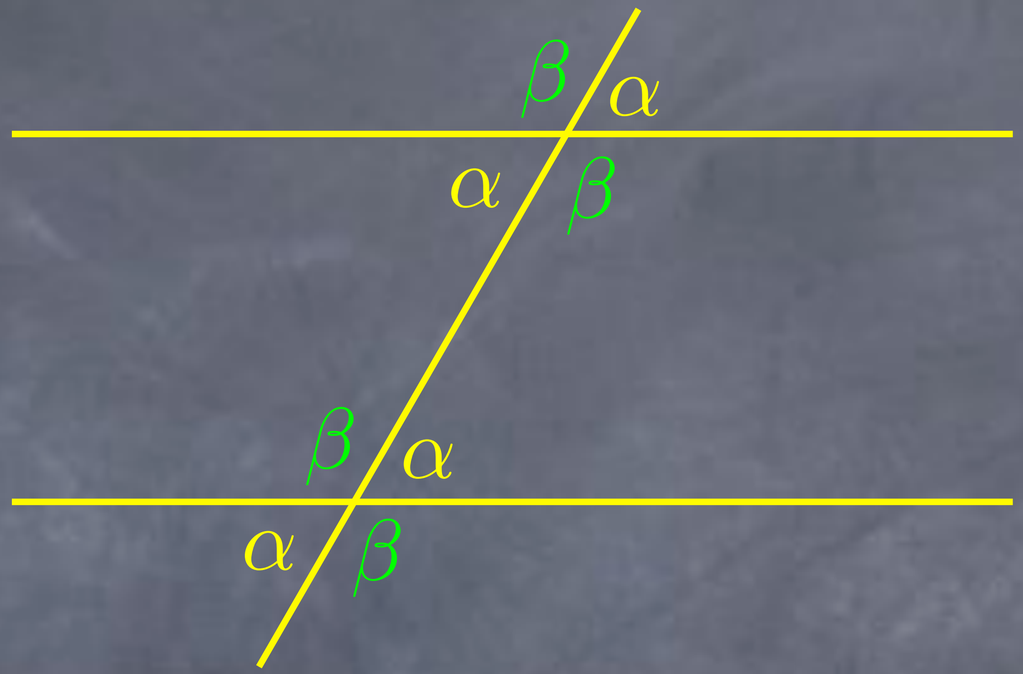
Aristóteles. Caída de graves

Aristóteles. Experimentos de electrostática y magnetismo

Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza



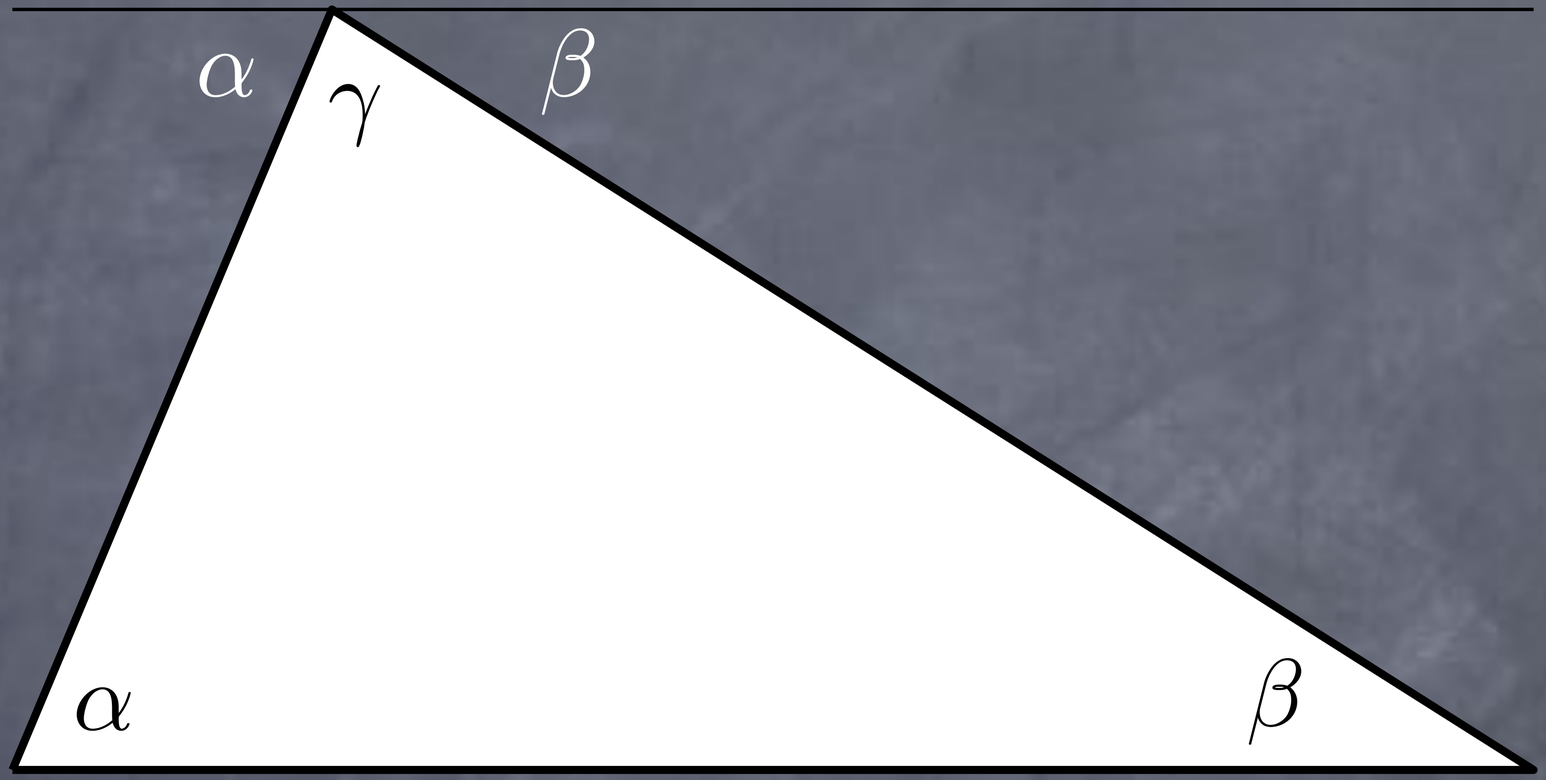
Thales de Mileto: Teorema de Thales



Dos rectas paralelas cortadas por una secante. Ángulos iguales alternos internos y ángulos iguales alternos externos

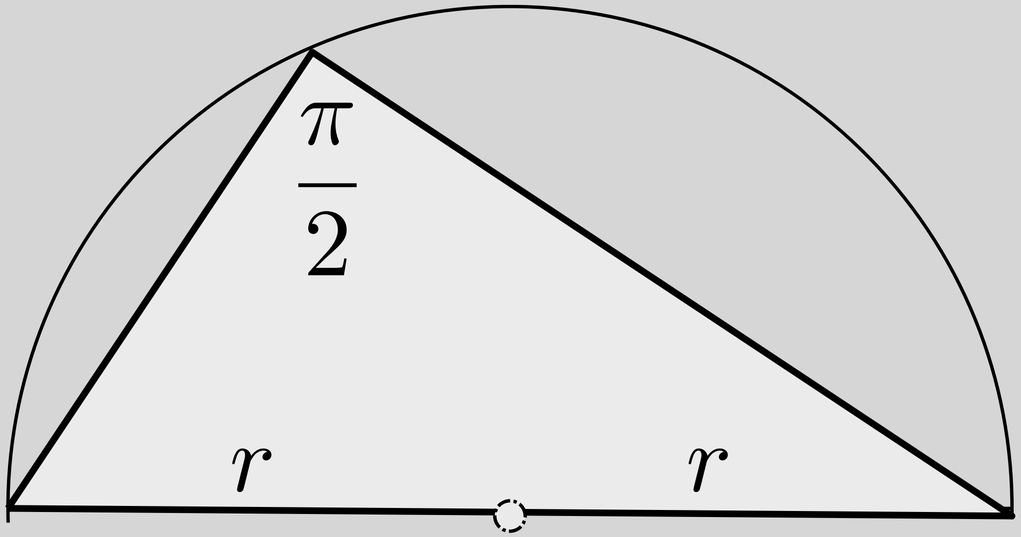
Thales de Mileto: Teorema de Thales

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi$$

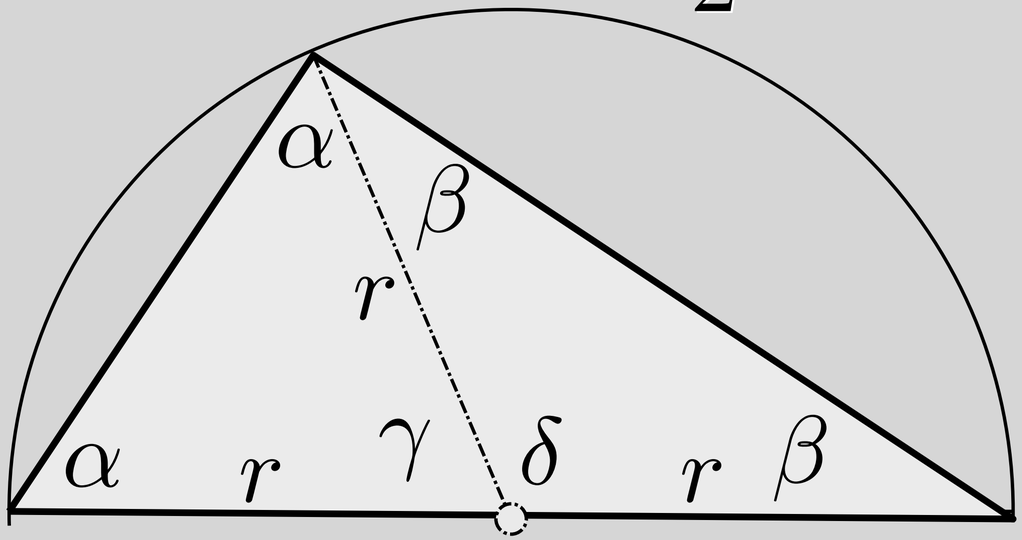


5 La suma de los ángulos de un triángulo es igual a dos ángulos rectos.

Thales de Mileto: Teorema de Thales



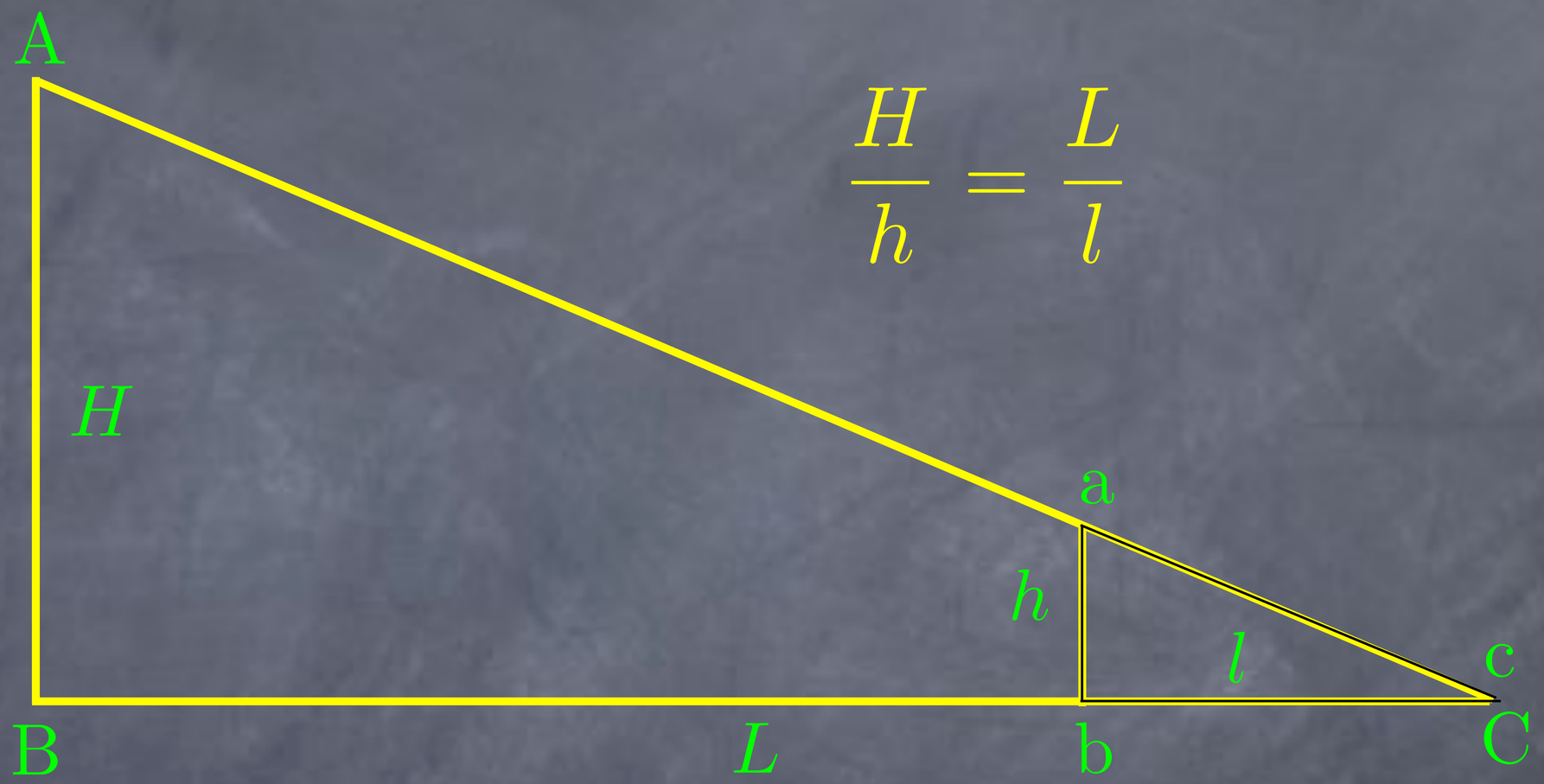
$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$$



$$\gamma + \delta = \pi$$
$$2\alpha + \gamma = 2\pi$$
$$2\beta + \delta = 2\pi$$

6 Un triángulo inscrito en una circunferencia, es siempre recto.

Thales de Mileto: Teorema de Thales



$$\frac{H}{h} = \frac{L}{l}$$

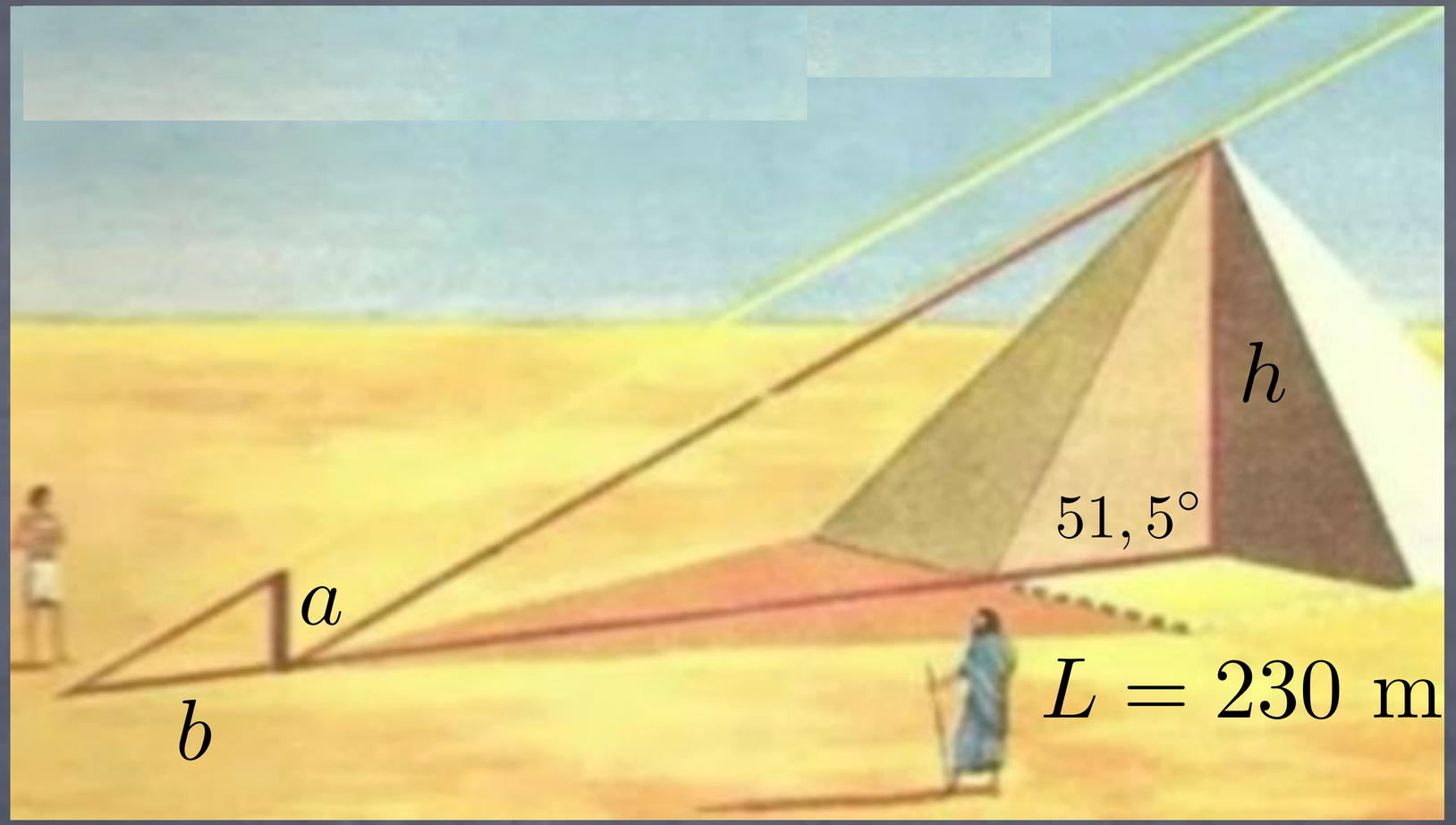
Semejanza de triángulos

$$H = \frac{L}{l} h$$

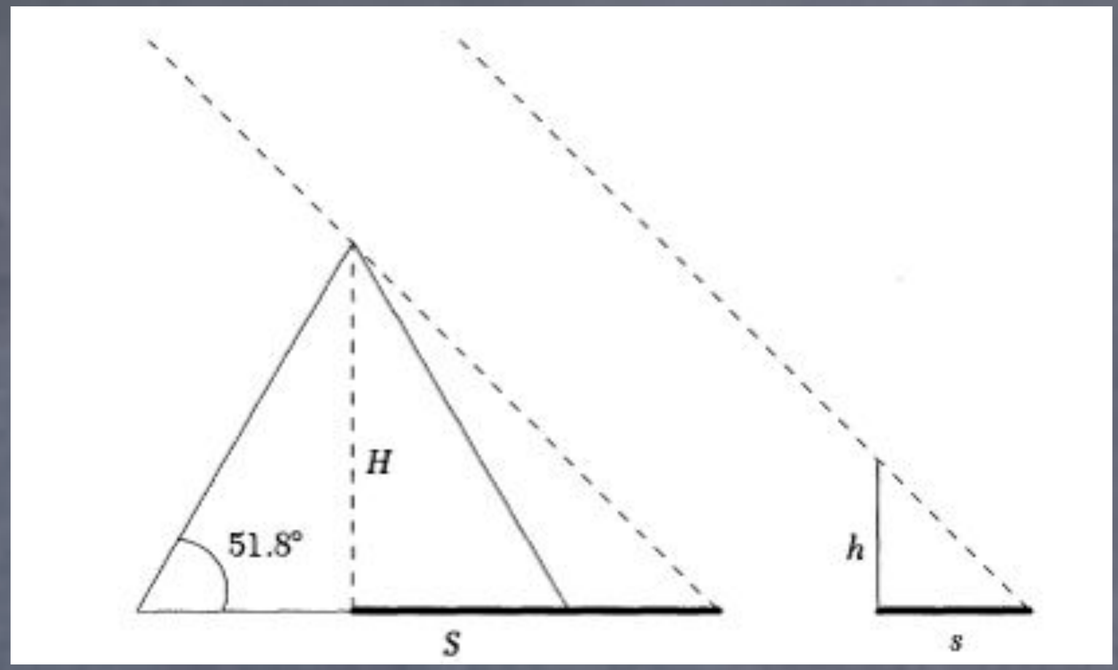
Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza

Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza

Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza



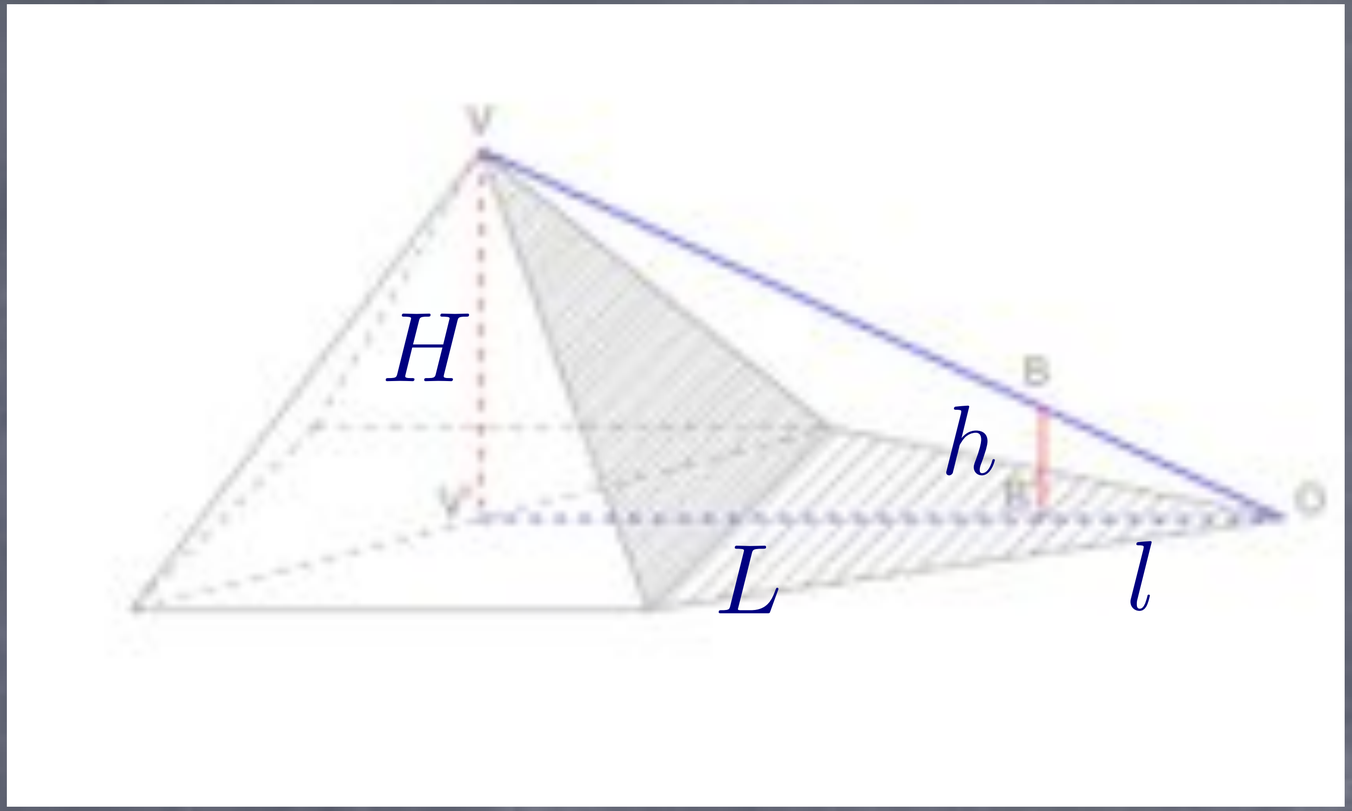
Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza



$$L = 230 \text{ m}$$

$$h = 144 \text{ m}$$

Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza



$$H = \frac{L}{l} h$$

Thales de Mileto: Medida de la altura de las pirámides de Giza

Dada la orientación de la pirámide, todos los días al mediodía no se proyecta sombra a los lados.

Sólo en los días 3 de noviembre y 9 de febrero, los rayos solares inciden con un ángulo de 45º en ese punto. En esos momentos, la sombra y la altura son iguales.

Sólo entre el 15 de octubre y el 25 de febrero, los rayos solares inciden con un ángulo menor de 51º en ese punto. Entonces la pirámide proyecta una sombra que puede utilizarse.

Aristarco de Samos. Experimentos astronómicos

Tamaños relativos de la Luna y la Tierra.

Aprovechando un eclipse total de Luna, Aristarco mide: 1. El tiempo desde que la Luna comienza a oscurecer hasta que se oculta por completo,

Károly Simonyi, A Cultural History of Physics. CRC Press, Boca Raton 2012. p. 94

Aristarco de Samos. Experimentos astronómicos

Aristarco de Samos. Experimentos astronómicos

Tamaños relativos de la Luna y la Tierra.

Aprovechando un eclipse total de Luna, Aristarco mide: 1. El tiempo desde que la Luna comienza a oscurecer hasta que se oculta por completo,

Károly Simonyi, A Cultural History of Physics. CRC Press, Boca Raton 2012. p. 94

Aristarco de Samos. Experimentos astronómicos

Tamaños relativos de la Luna y la Tierra.

y, 2. El tiempo que tarda en atravesar la sombra de la Tierra. La relación de tiempos es la relación de diámetros Luna-Tierra.

$$\frac{t_{\mathrm{L}}}{t_{\mathrm{T}}} = \frac{D_{\mathrm{L}}}{D_{\mathrm{T}}}$$

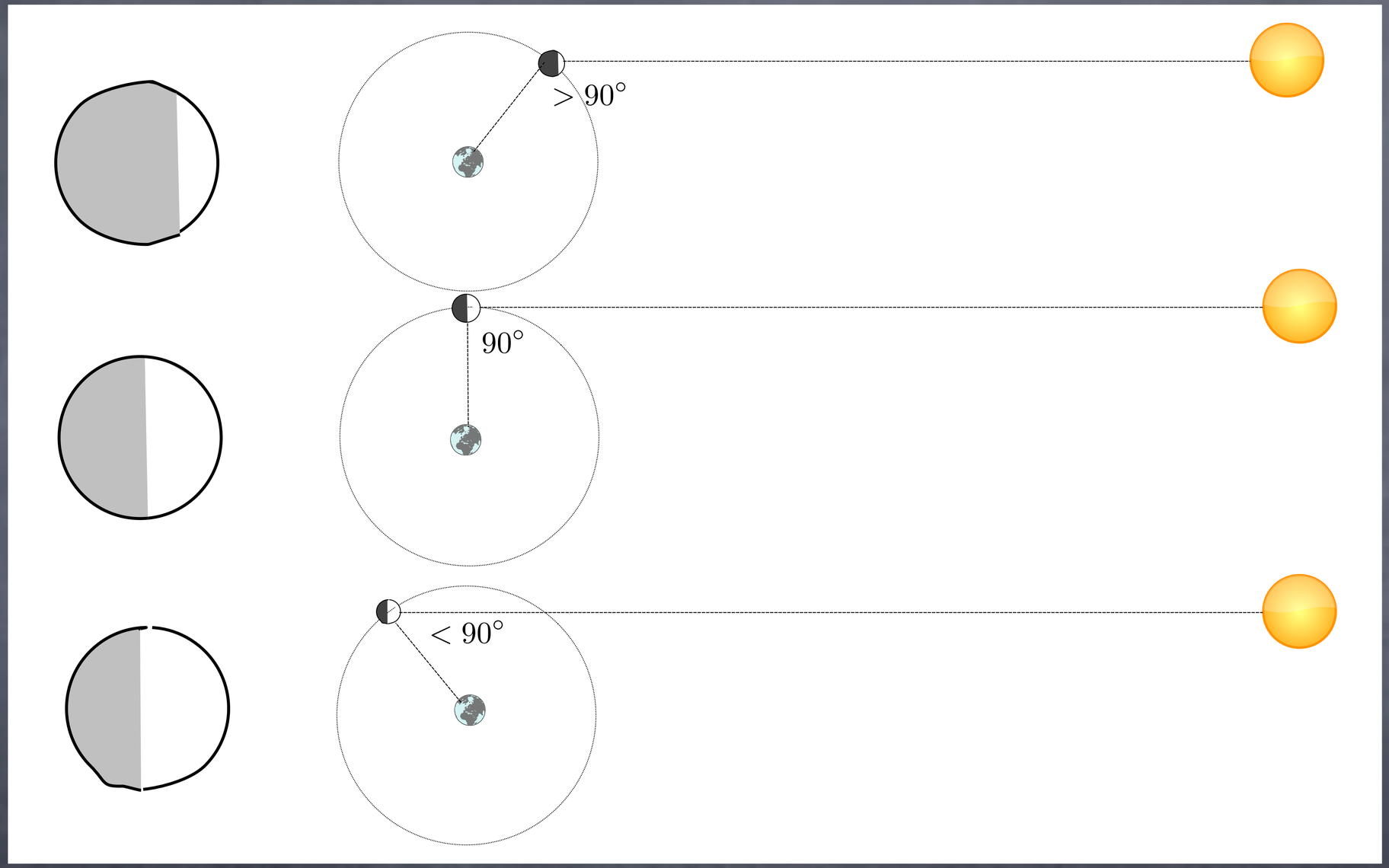
Károly Simonyi, A Cultural History of Physics. CRC Press, Boca Raton 2012. p. 94

Aristarco de Samos. Experimentos astronómicos

La Luna no tiene luz propia.

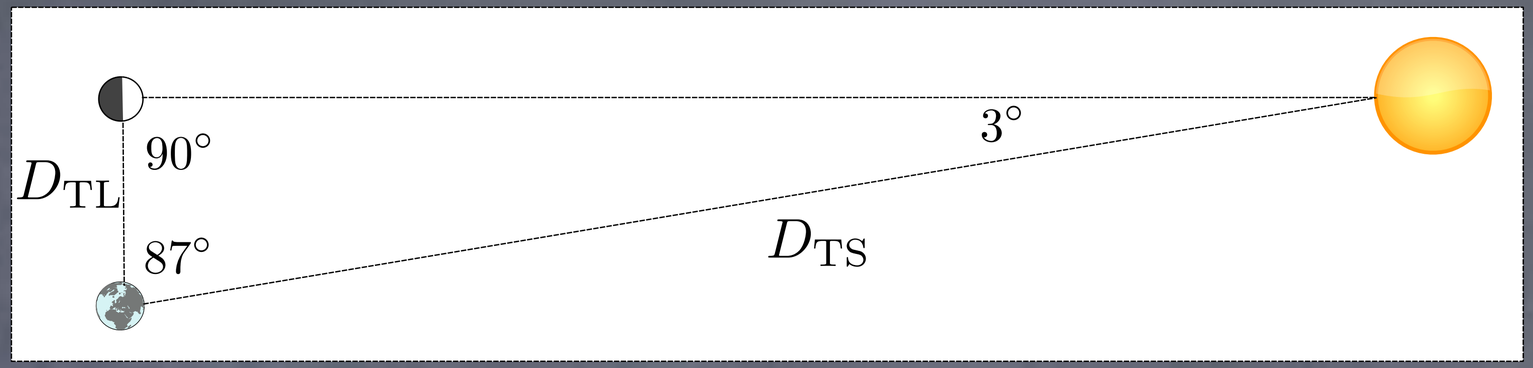
Cuando la mitad de la Luna es visible desde la Tierra, el vector Tierra-Luna es perpendicular al vector Luna Sol. Entonces, la Tierra, la Luna y el Sol se encuentran en los vértices de un triángulo rectángulo.

Aristarco de Samos. Distancia al Sol y a la Luna



F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos. Ed. Catarata. Madrid. 2015.

Aristarco de Samos. Distancia al Sol y a la Luna



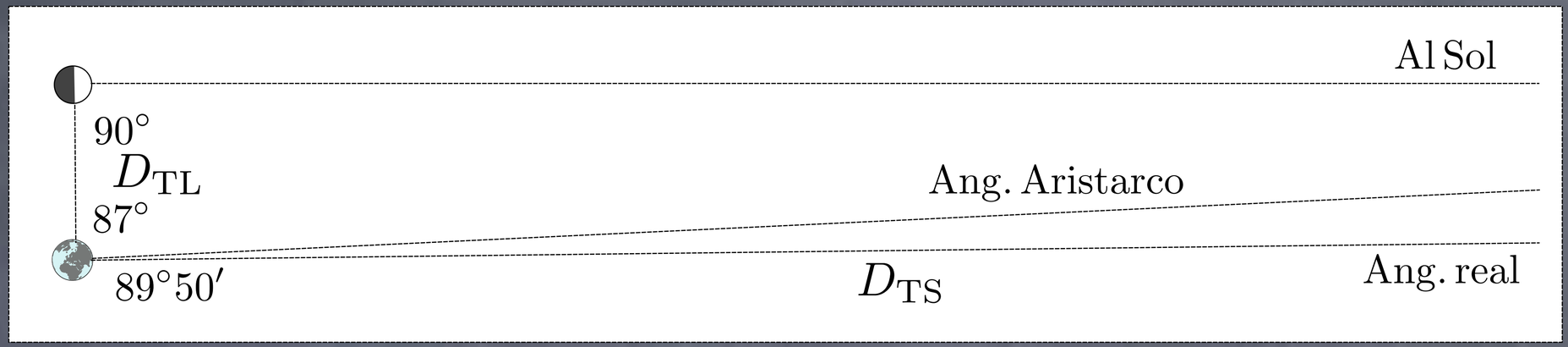
$$\frac{D_{\mathrm{TL}}}{D_{\mathrm{TS}}} = \operatorname{sen} 3^\circ$$

$$\operatorname{sen} 3^\circ \approx 2\pi \frac{3}{360} \approx \frac{1}{19}$$

El Sol se encuentra 19 veces más lejos de la Tierra que la Luna

F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos.

Aristarco de Samos. Distancia al Sol y a la Luna



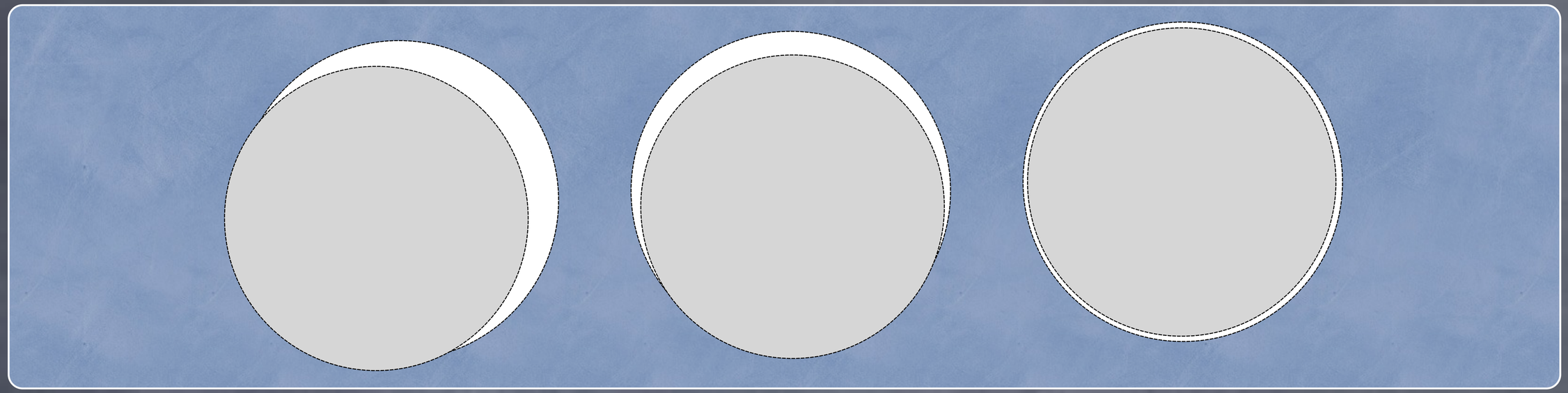
$$\frac{D_{\mathrm{TL}}}{D_{\mathrm{TS}}} = \operatorname{sen} 10'$$

$$\operatorname{sen} 10' \approx 2\pi \frac{10}{360 \cdot 60} \approx \frac{1}{400}$$

El Sol se encuentra unas 400 veces más lejos de la Tierra que la Luna

F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos. Ed. Catarata. Madrid. 2015.

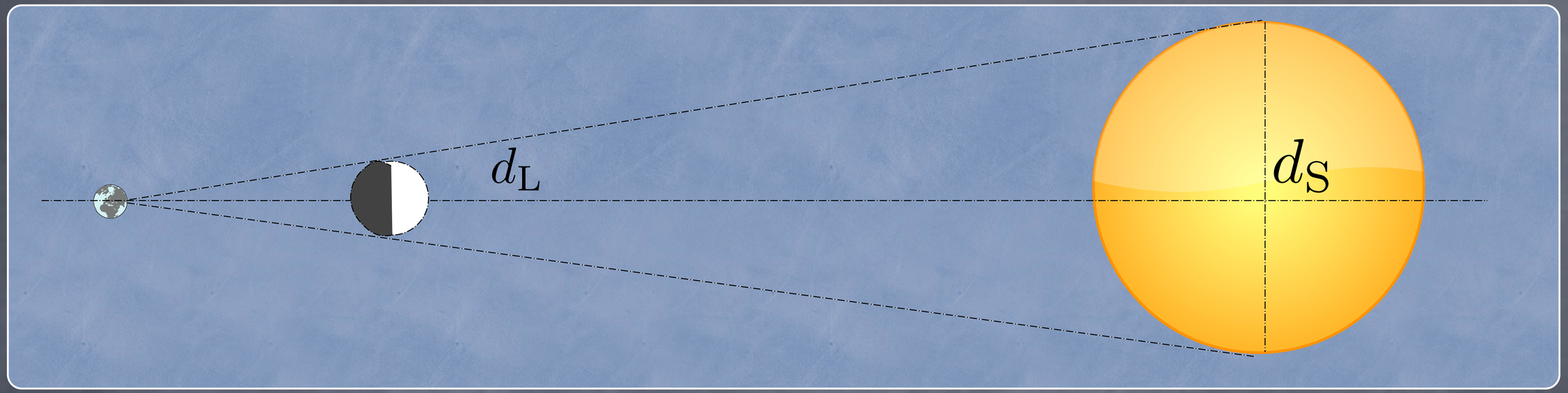
Aristarco de Samos. Tamaños del Sol y de la Luna



En un eclipse total de Sol, los tamaños aparentes de la Luna y del Sol parecen iguales

F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos. Ed. Catarata. Madrid. 2015.

Aristarco de Samos. Tamaños del Sol y de la Luna

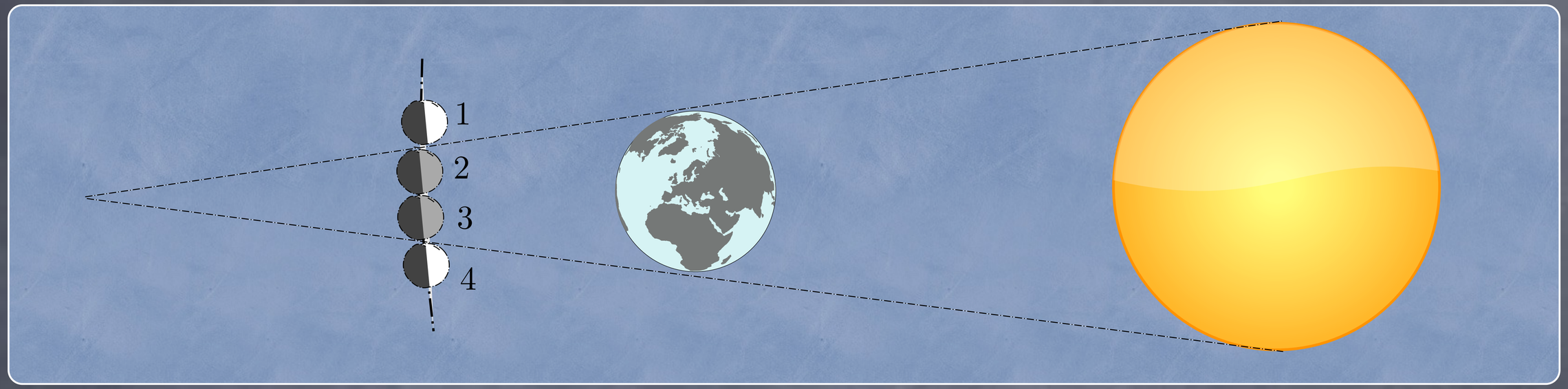


$$\frac{d_{\mathrm{S}}}{d_{\mathrm{L}}} = \frac{D_{\mathrm{TS}}}{D_{\mathrm{TL}}}$$

El Sol es unas 19 veces mayor que la Luna
(El Sol es unas 400 veces mayor que la Luna)

F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos. Ed. Catarata. Madrid. 2015.

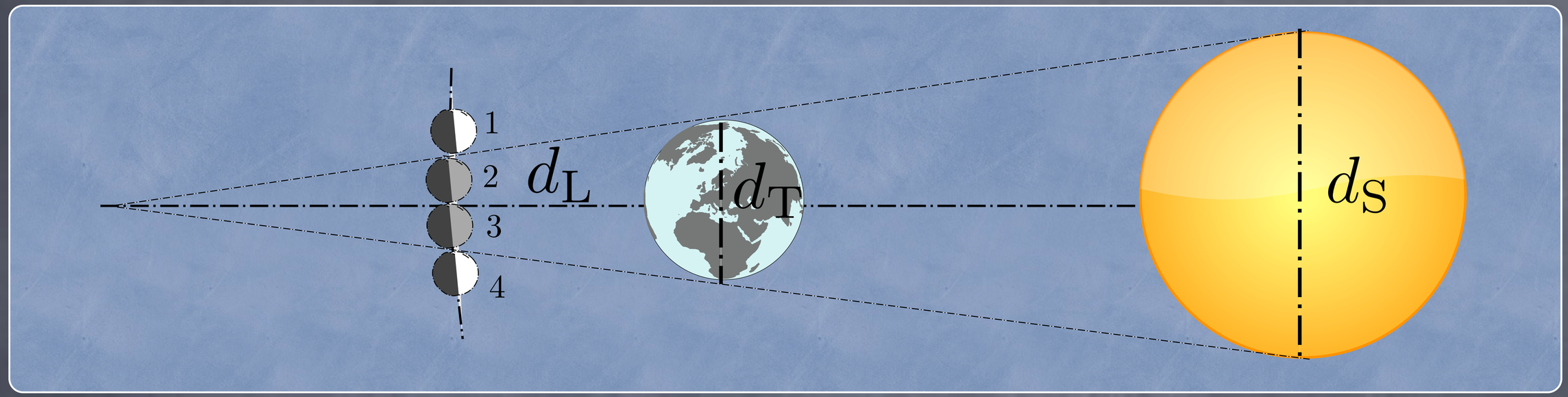
Aristarco de Samos. Tamaños de la Tierra y de la Luna



1. Momento en que el eclipse comienza
2 y 3. La Luna está oscurecida del todo
4. Momento en el que el eclipse termina

F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos. Ed. Catarata. Madrid. 2015.

Aristarco de Samos. Tamaños de la Tierra y de la Luna



F Álvarez, O. Martín, C. Pareja. La Lengua de la Matemáticas y otros Relatos Exactos. Ed. Catarata. Madrid. 2015.

Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra

En el día del Solsticio de verano, en Sienne, Alto Egipto, la luz del Sol llegaba al mediodía hasta el fondo de un pozo profundo y los obeliscos no tenían sombra.

El mismo día y a la misma hora, los rayos del Sol no llegaban al fondo de los pozos en el delta del Nilo y los obeliscos allí sí tenían sombra.

Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra

Si la Tierra fuera plana, y suponiendo que el Sol se encuentra muy lejos y sus rayos viajan paralelos, pozos y obeliscos se comportarían igual tanto en el Alto como en el Bajo Egipto.

Luego el comportamiento diferente respecto de la sombra en estos diferentes lugares implicaba, según Eratóstenes, que la tierra era esférica.

Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra

$$\theta \approx 7^\circ$$

$$\theta \approx \frac{2\pi}{50}$$

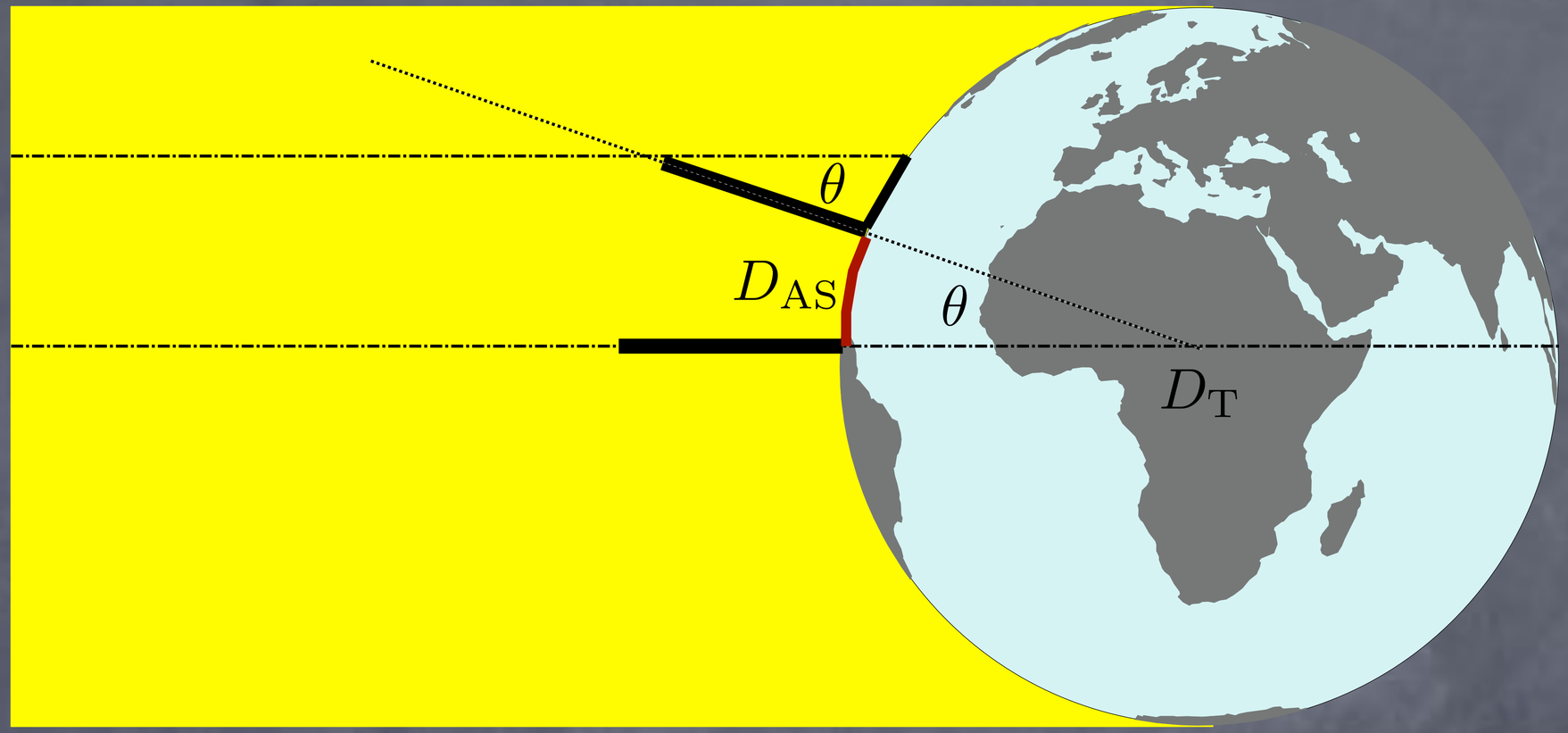
$$D \approx 800 \text{ km}$$

$$L_\text{T} \approx 40.000 \text{ km}$$

$$R_\text{T} \approx 6.500 \text{ km}$$

Carl Sagan. Cosmos. Método de Eratostenes para determinar el radio de la Tierra (supuesta esférica).

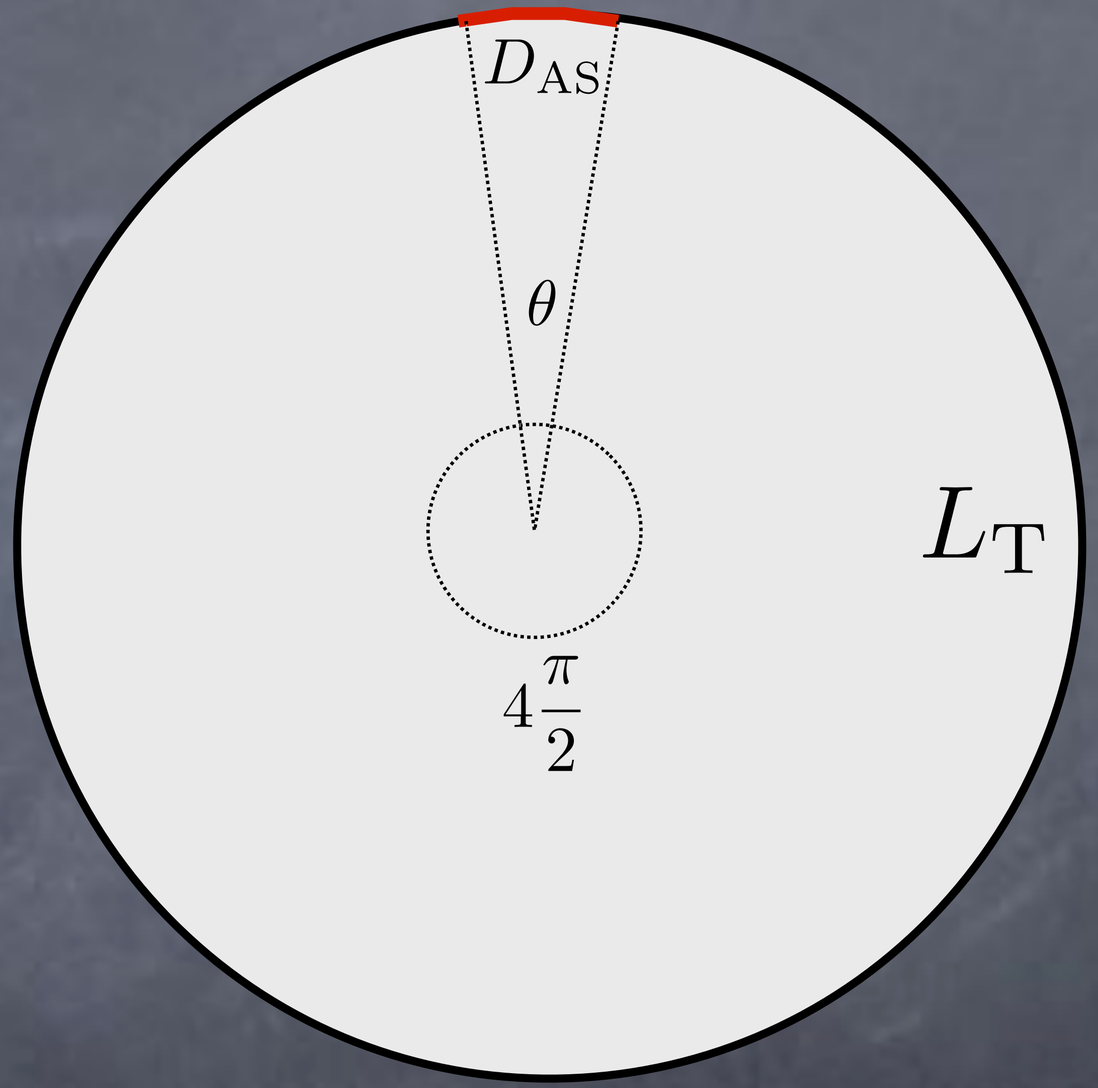
Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra



Si se mide el ángulo de la sombra que da un obelisco en Alejandría el día del Solsticio de verano al mediodía y se mide la distancia Alejandría Siena, se podrá determinar el radio de la Tierra.

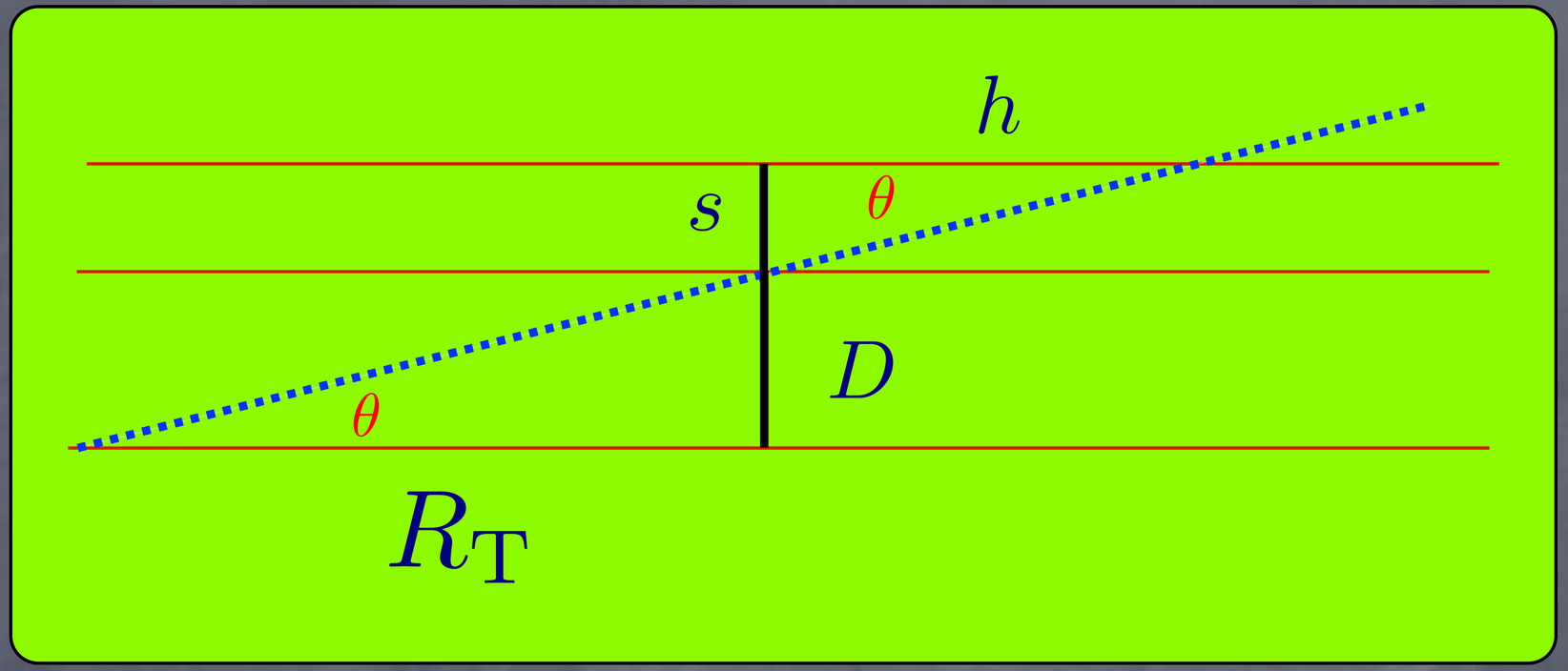
Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra

$$\frac{L_{\mathrm{T}}}{D_{\mathrm{AS}}} = \frac{2\pi}{\theta}$$



Relación de ángulos y distancias

Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra



$$\text{tg}\theta = \frac{s}{h} = \frac{D}{R_T} \approx \text{sen}\theta$$

Con la ayuda de un palo vertical, un árbol o un obelisco, colocado al mediodía del Solsticio de Verano en el Bajo Egipto, se puede determinar el ángulo . Si, a su vez, se puede determinar la distancia D entre Sienne y la lugar del Bajo Egipto, se podrá medir el radio de la Tierra.

Eratóstenes. Medida de la circunferencia de la Tierra

$$\theta \approx 7^\circ$$

$$\operatorname{tg} 7^\circ = 0,122$$

$$R_\mathrm{T} \approx 8,2D$$

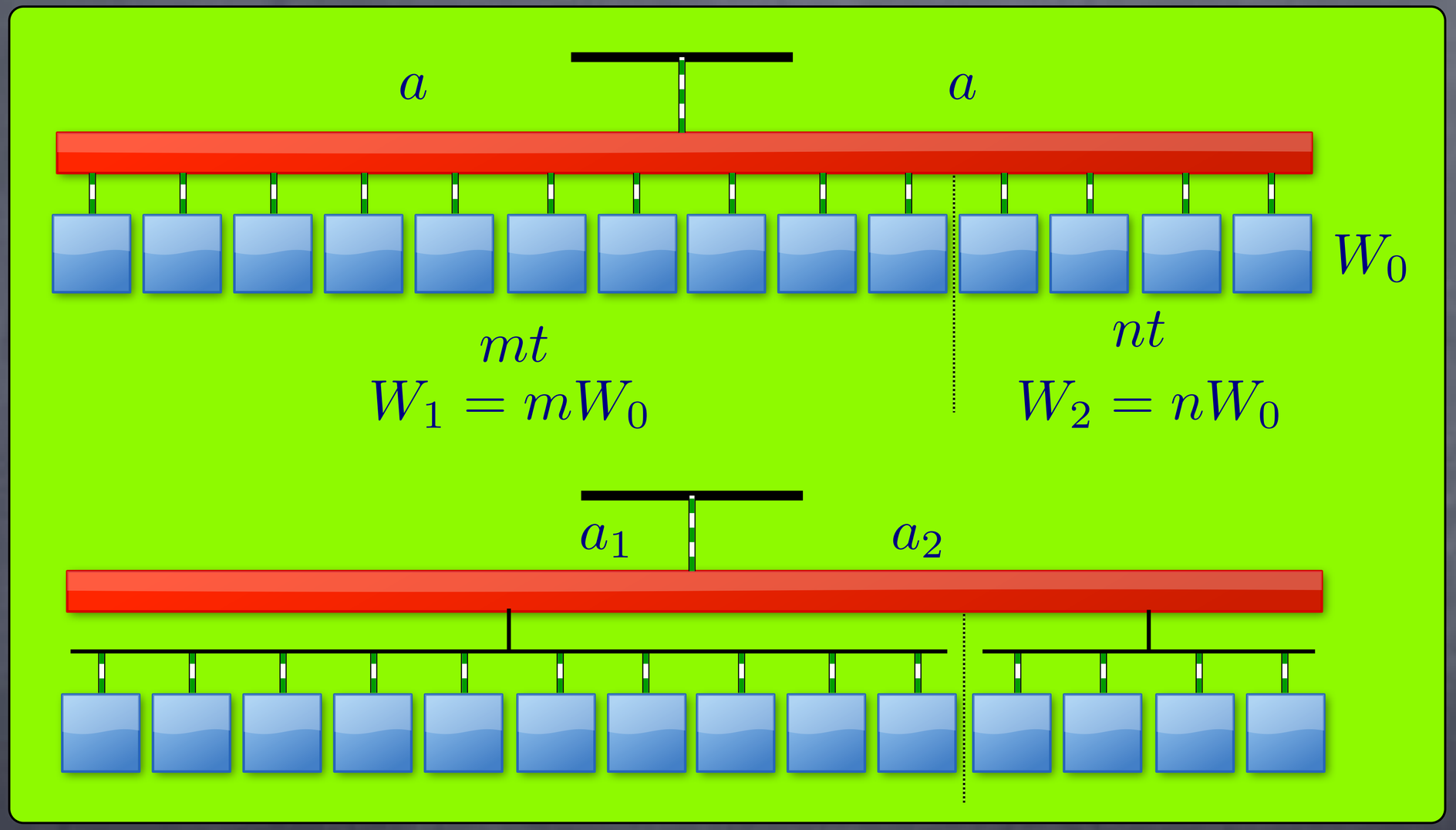
$$50 \text{ dias}$$

$$100 \text{ estadios}$$

$$D \approx 800 \text{ km}$$

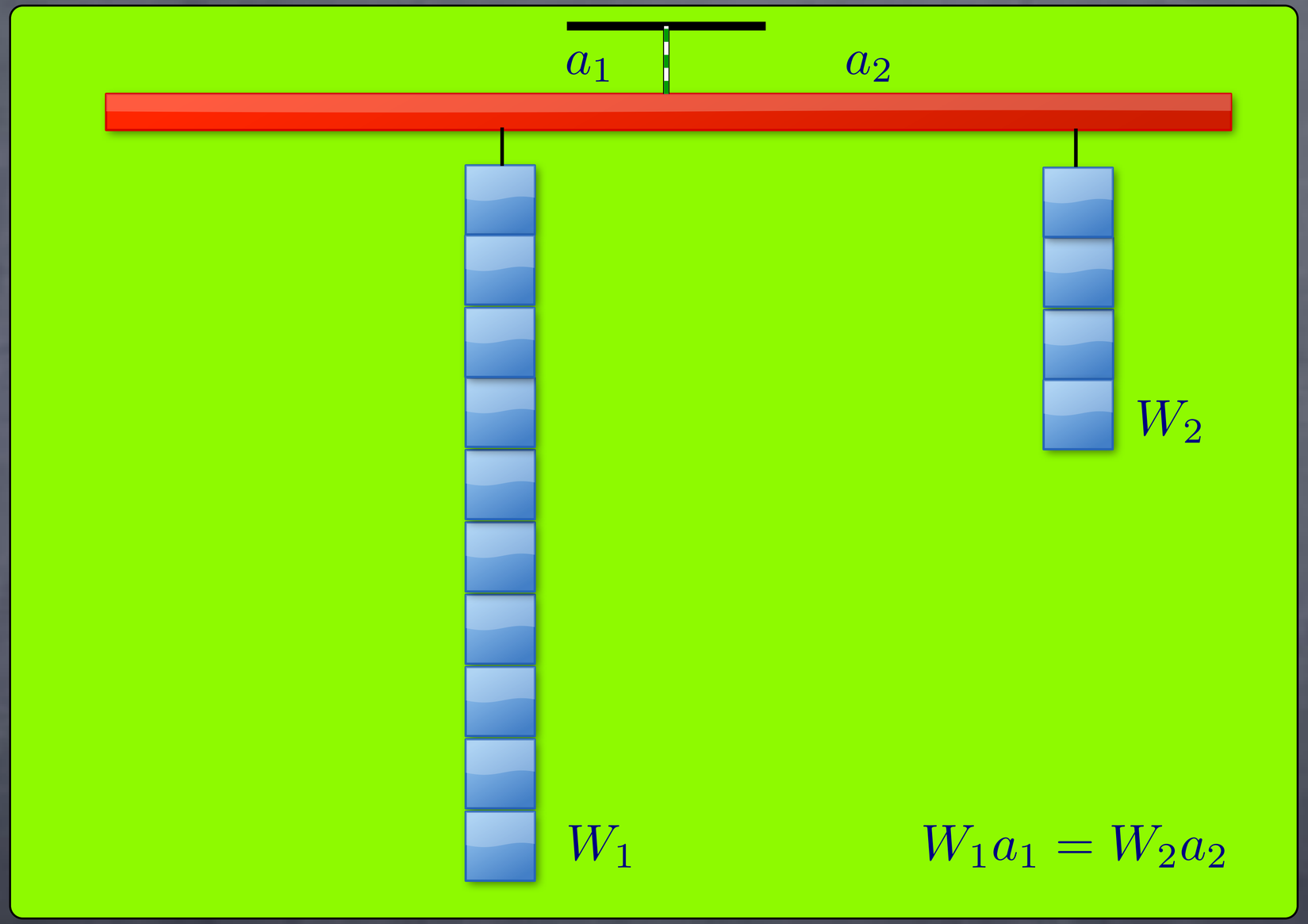
$$R_\mathrm{T} \approx 6.500 \text{ km}$$

Arquímedes: ley de la palanca



Demostración de la Ley de la Palanca

Arquímedes: ley de la palanca

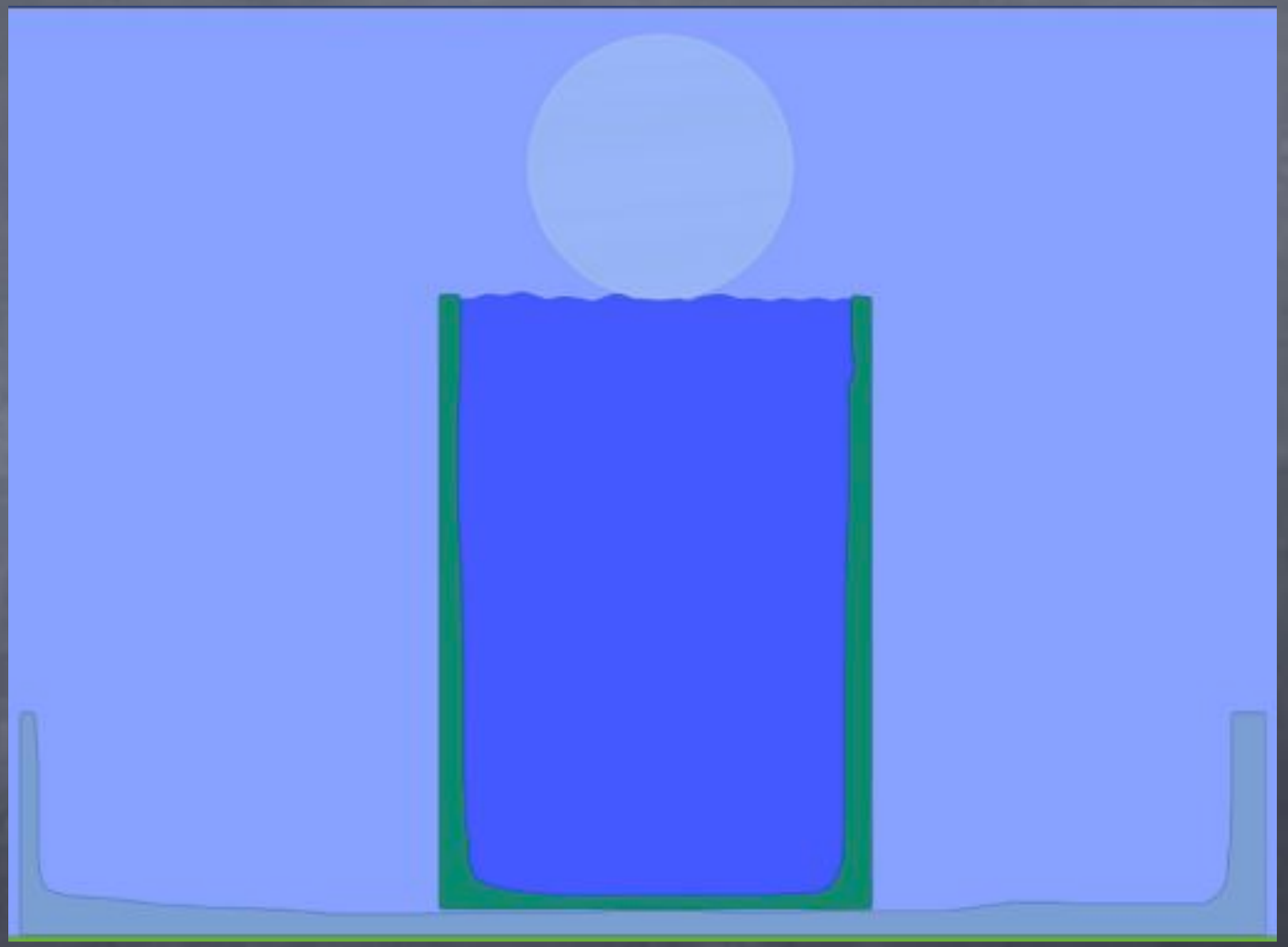


K Simonyi, A Cultural History of Physics, CRC Press 2012

Arquímedes: composición de la corona del rey Hierón

Todo cuerpo sumergido en un fluido desaloja de fluido su propio volumen.

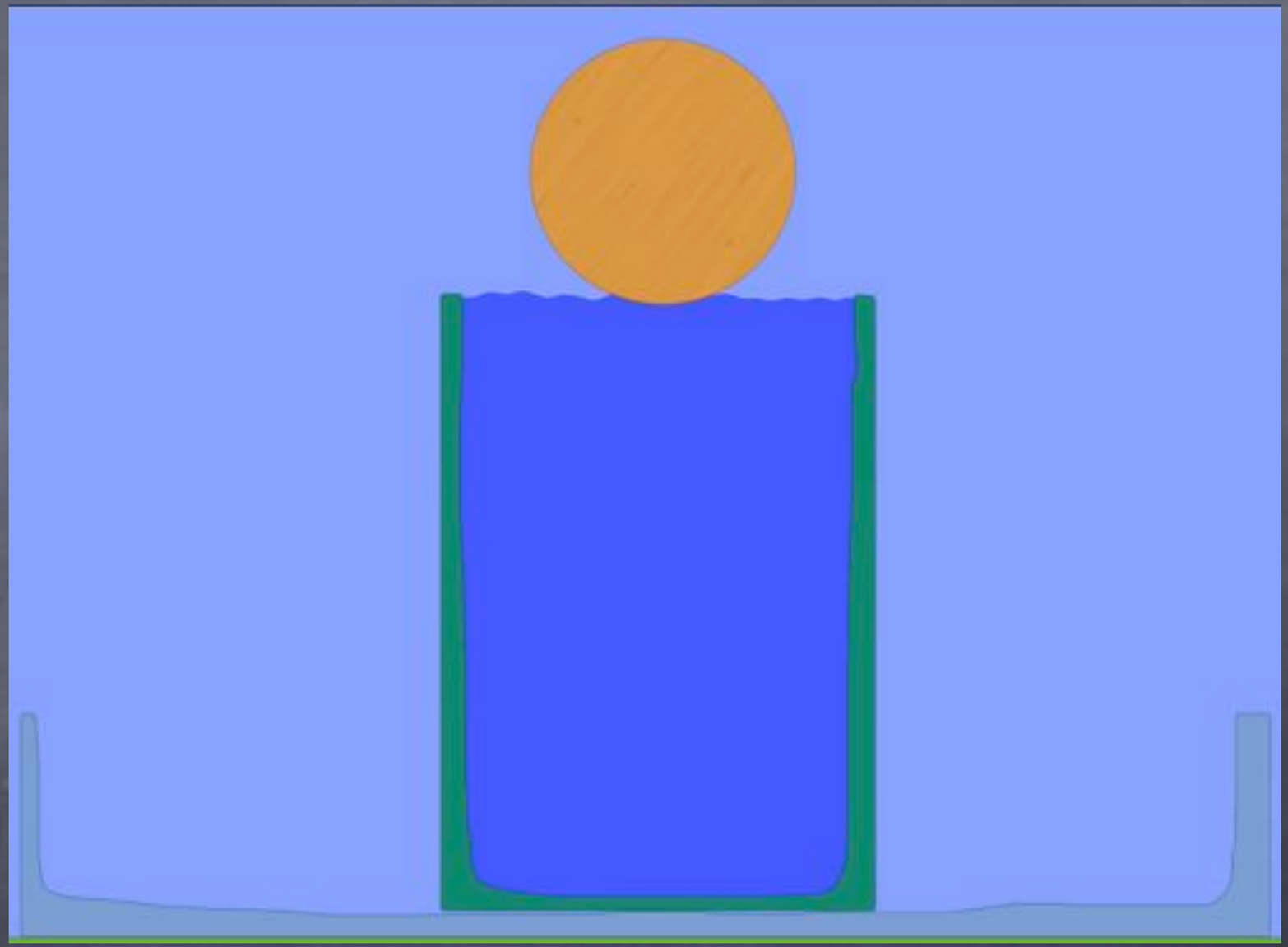
Si el cuerpo tiene una densidad mayor que la del fluido que le rodea, el empuje de Arquímedes sobre él será menor que su propio peso y el cuerpo se hundirá.



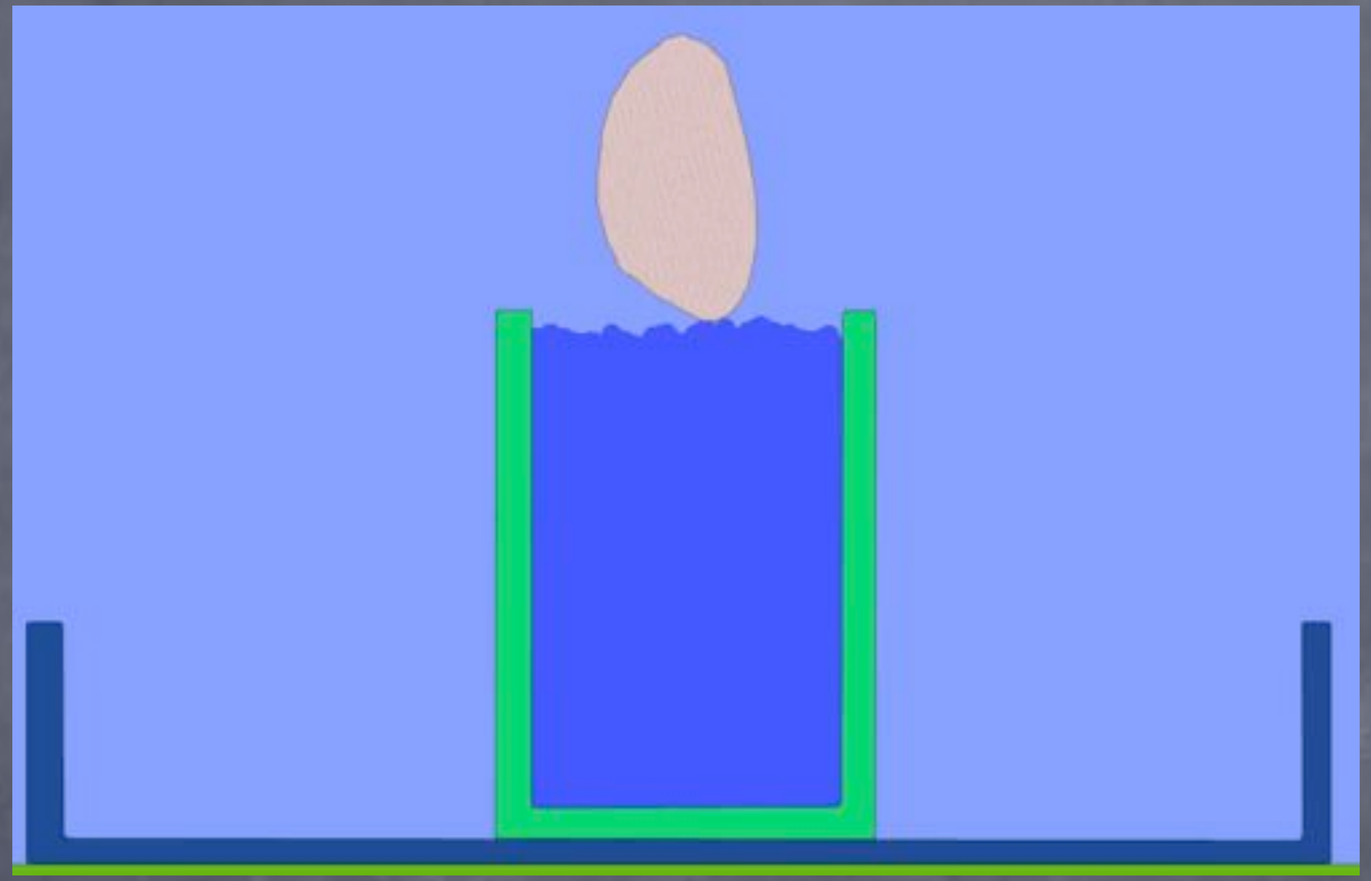
¡ Eureka !

Arquímedes: composición de la corona del rey Hierón

Si la densidad de un cuerpo es menor que la del fluido que le rodea, el cuerpo no se sumergírá´por completo y flotara, desalojando sólo el volumen de fluido cuyo peso iguale el suyo.

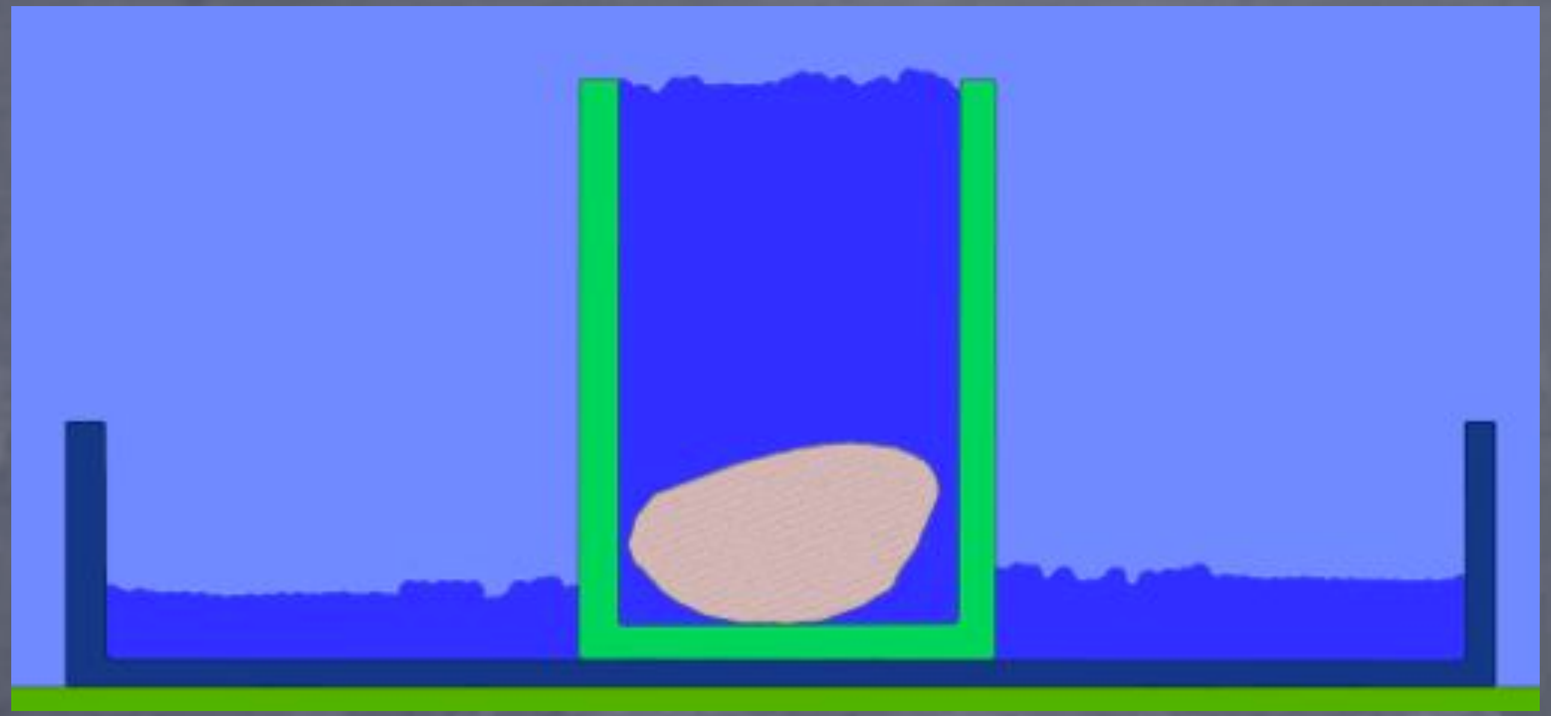


Arquímedes: determinar la densidad de un cuerpo



1. Medir su volumen.
2. Medir su masa midiendo el volumen de agua desalojada.

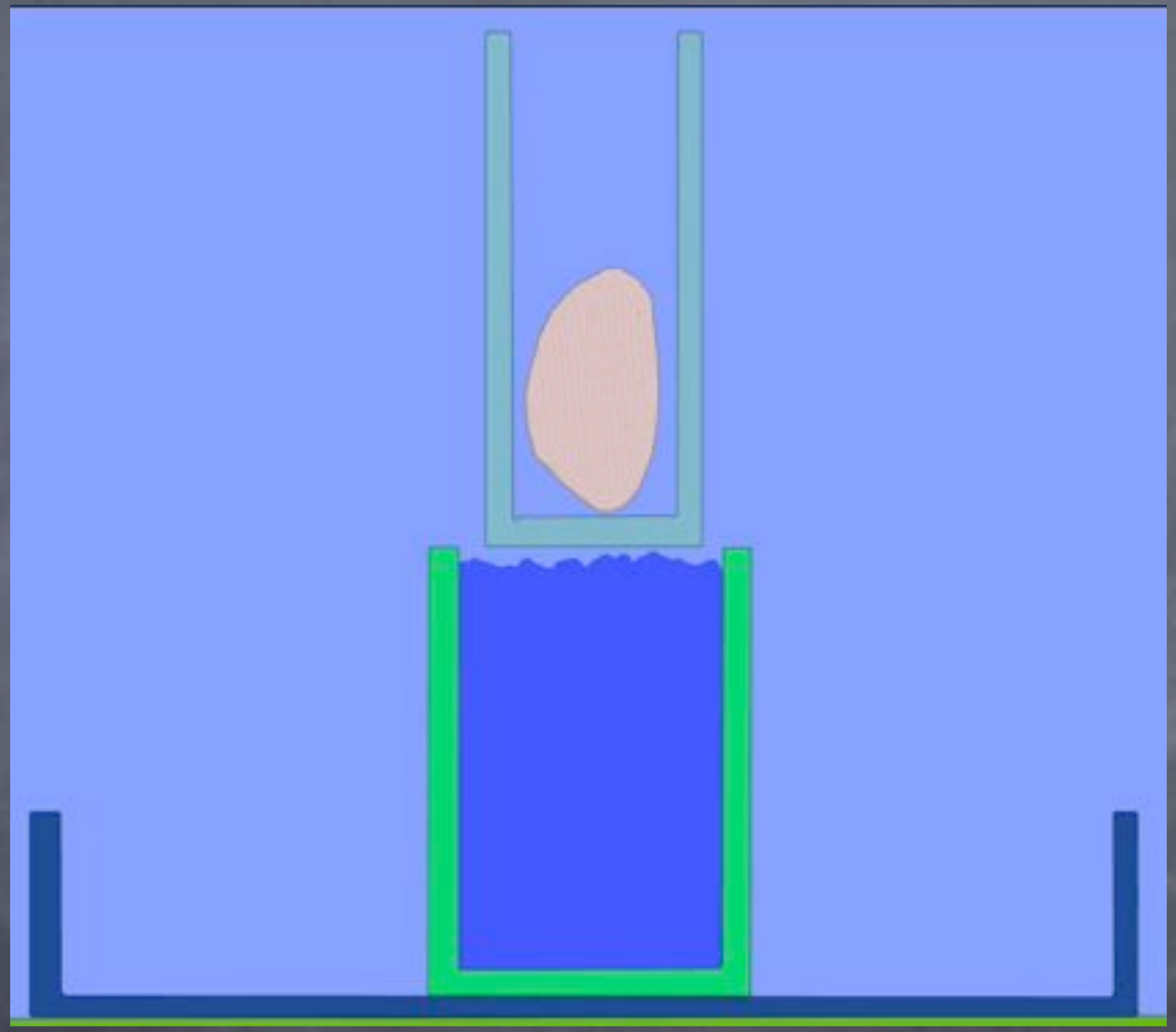
Arquímedes: determinar la densidad de un cuerpo



V_d

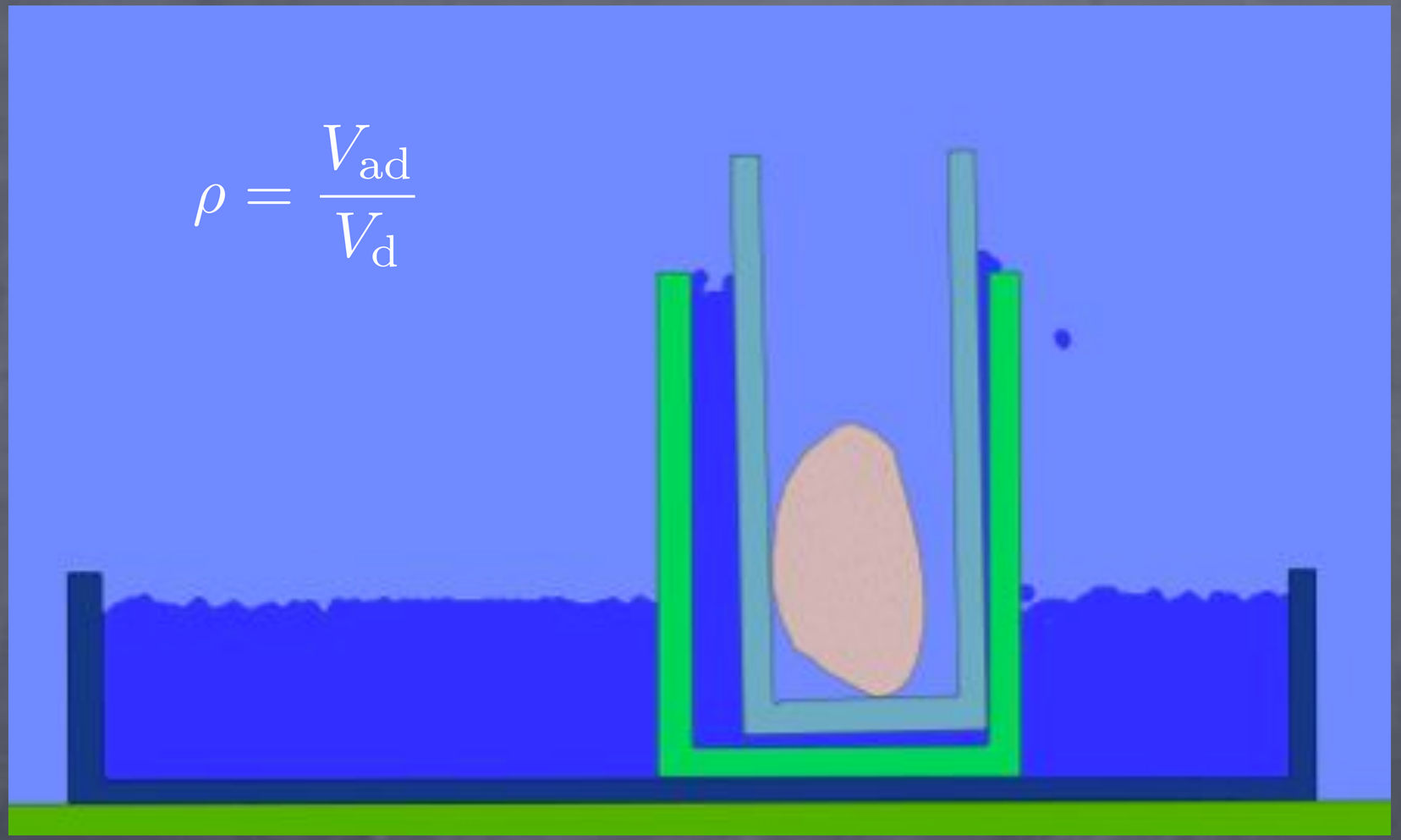
1. Medir su volumen.

Arquímedes: determinar la densidad de un cuerpo



2. Medir su masa midiendo el volumen de agua desalojada.

Arquímedes: determinar la densidad de un cuerpo



V_{ad}

2. Medir su masa midiendo el volumen de agua desalojada.

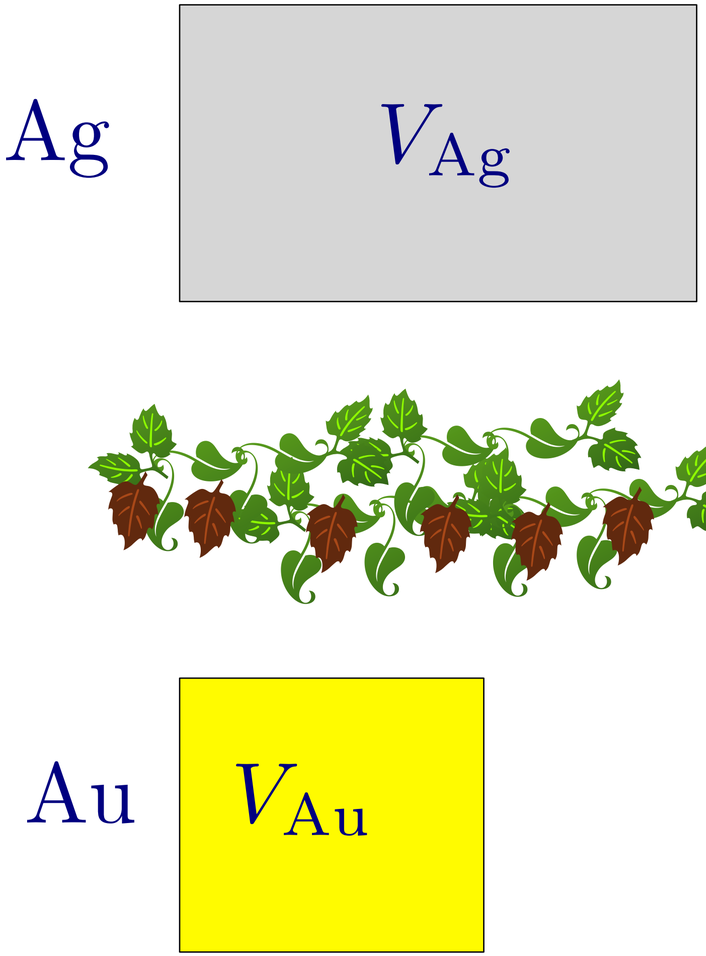
Arquímedes: composición de la corona del rey Hierón

¡Eureka!

Se toma la corona del rey Hierón y se toma una masa igual de oro puro.
Es decir, una masa de oro que equilibre el peso de la corona en una balanza de dos brazos. Se toma otra masa de plata pura que equilibre también el peso de la corona

Se sumerge el bloque de oro puro en un recipiente con agua a rebosar y se mide el volumen de agua desalojada.
Se sumerge el bloque de plata pura en un recipiente con agua a rebosar y se mide el volumen de agua desalojada.

Corona del rey Hierón de Siracusa. Versión de Vitruvio



$$V_{\mathrm{Ag}} = \frac{m_{\mathrm{C}}}{\rho_{\mathrm{Ag}}}$$

$$m_{\mathrm{C}} = m_{\mathrm{Au}} + m_{\mathrm{Ag}}$$

$$V_{\mathrm{C}} = m_{\mathrm{Au}}\rho_{\mathrm{Au}} + m_{\mathrm{Ag}}\rho_{\mathrm{Ag}}$$

$$V_{\mathrm{Au}} = \frac{m_{\mathrm{C}}}{\rho_{\mathrm{Au}}}$$

$$m_{\mathrm{C}} = m_{\mathrm{Au}} + m_{\mathrm{Ag}}$$

$$V_{\mathrm{C}} = \frac{m_{\mathrm{Au}} m_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{Au}}} + \frac{m_{\mathrm{Ag}} m_{\mathrm{C}}}{V_{\mathrm{Ag}}}$$

Proporción de plata en la corona: masa de plata a masa total

$$p = \frac{m_{\mathrm{Ag}}}{m_{\mathrm{C}}} = \frac{V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{Au}}}{V_{\mathrm{Ag}} - V_{\mathrm{Au}}}$$

$$V_{\mathrm{C}} = V_{\mathrm{Au}} \rightarrow p = 0$$

$$V_{\mathrm{C}} = V_{\mathrm{Ag}} \rightarrow p = 1$$

Arquímedes: composición de la corona del rey Hierón

Densidad del oro

$\rho_{\mathrm{Au}} = 20\ \mathrm{gcm}^{-3}$

Densidad de la plata

$\rho_{\mathrm{Ag}} = 10\ \mathrm{gcm}^{-3}$

Volumen de agua desalojado por el oro puro

V_{Au}

Volumen de agua desalojado por la plata pura

V_{Ag}

Volumen de agua desalojado por la corona

V_{C}

Si el volumen de agua desalojado por la corona es el mismo que el volumen desalojado por el bloque de oro, la corona es de oro.
Si el volumen de agua desalojado por la corona es mayor que el desalojado por el bloque, la corona tendrá un cierto porcentaje de plata.

$$p = \frac{m_{\mathrm{Ag}}}{m_{\mathrm{C}}} = \frac{V_{\mathrm{C}} - V_{\mathrm{Au}}}{V_{\mathrm{Ag}} - V_{\mathrm{Au}}}$$

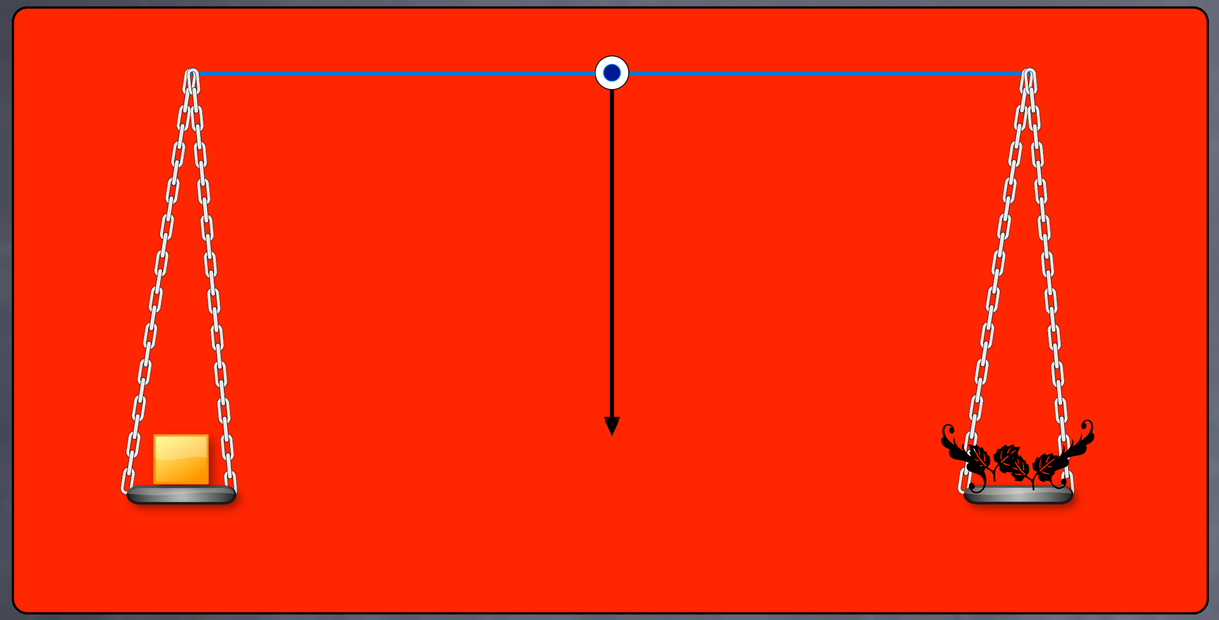
Porcentaje en oro de la corona del rey Hierón de Siracusa

Arquímedes: composición de la corona del rey Hierón

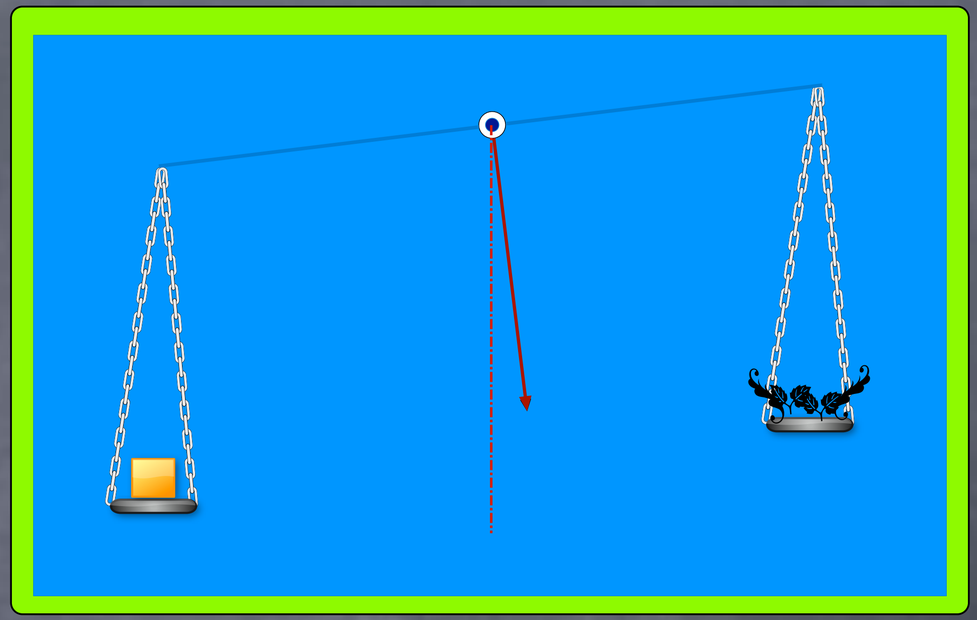
Una corona de unos 800 g de masa hecha de oro puro (se conocen coronas de esa época) tiene un volumen de unos 40 centímetros cúbicos, mientras que una corona de la misma masa pero hecha con un 20% de plata (admitiendo que el orfebre no es muy codicioso) tendría un volumen de unos 48 centímetros cúbicos, por lo que la diferencia en volumen sería de unos 8 centímetros cúbicos, un volumen muy pequeño como para que Arquímedes pudiera medirlo sin error.

$$\Delta V_C = 8 \pm 10\,\mathrm{cm}^3$$

Arquímedes: composición de la corona del rey Hierón



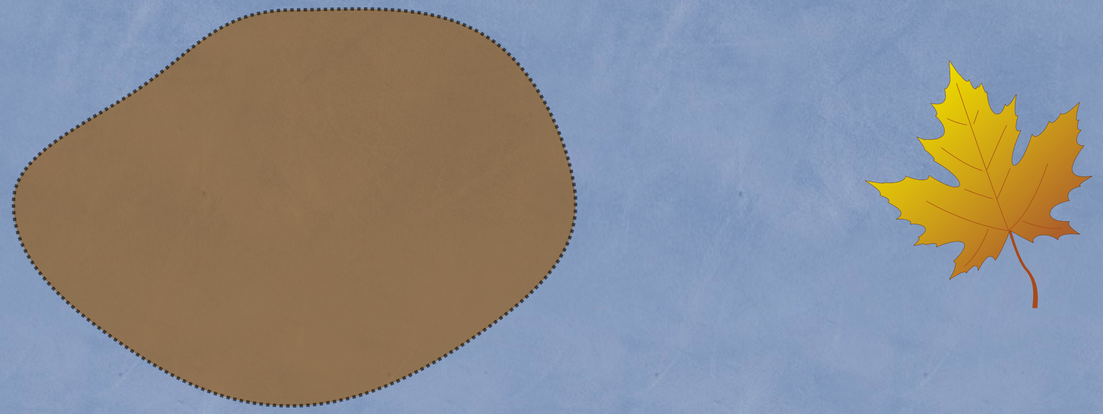
El bloque de oro y la corona equilibran los dos brazos de una balanza

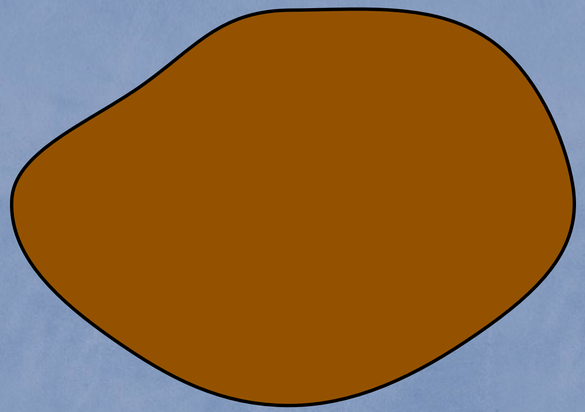


Si el conjunto se sumerge en agua, si la corona no es de oro puro experimentará mayor empuje que el bloque de oro y la balanza se desequilibrará.

Aristóteles: caída de graves

Los cuerpos pesados caen más rápido que los cuerpos ligeros.





Aristóteles: caída de graves

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

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

Teoría sobre el movimiento de los

Aristóteles: caída de graves

Segunda ley de Newton

$$\frac{\text{cambio en velocidad}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{fuerza}}{\text{masa}} \rightarrow \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \approx \frac{F}{m}$$

Caída de graves con rozamiento

$$m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = mg - Rv$$

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g - \frac{R}{m}v$$

Aristóteles: caída de graves

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g - \frac{R}{m}v$$

Integrando

$$v = \frac{mg}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{m}t}\right)$$

$$v = \frac{mg}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \qquad \tau \to \infty \qquad v \to \frac{mg}{R} = \frac{F}{R}$$

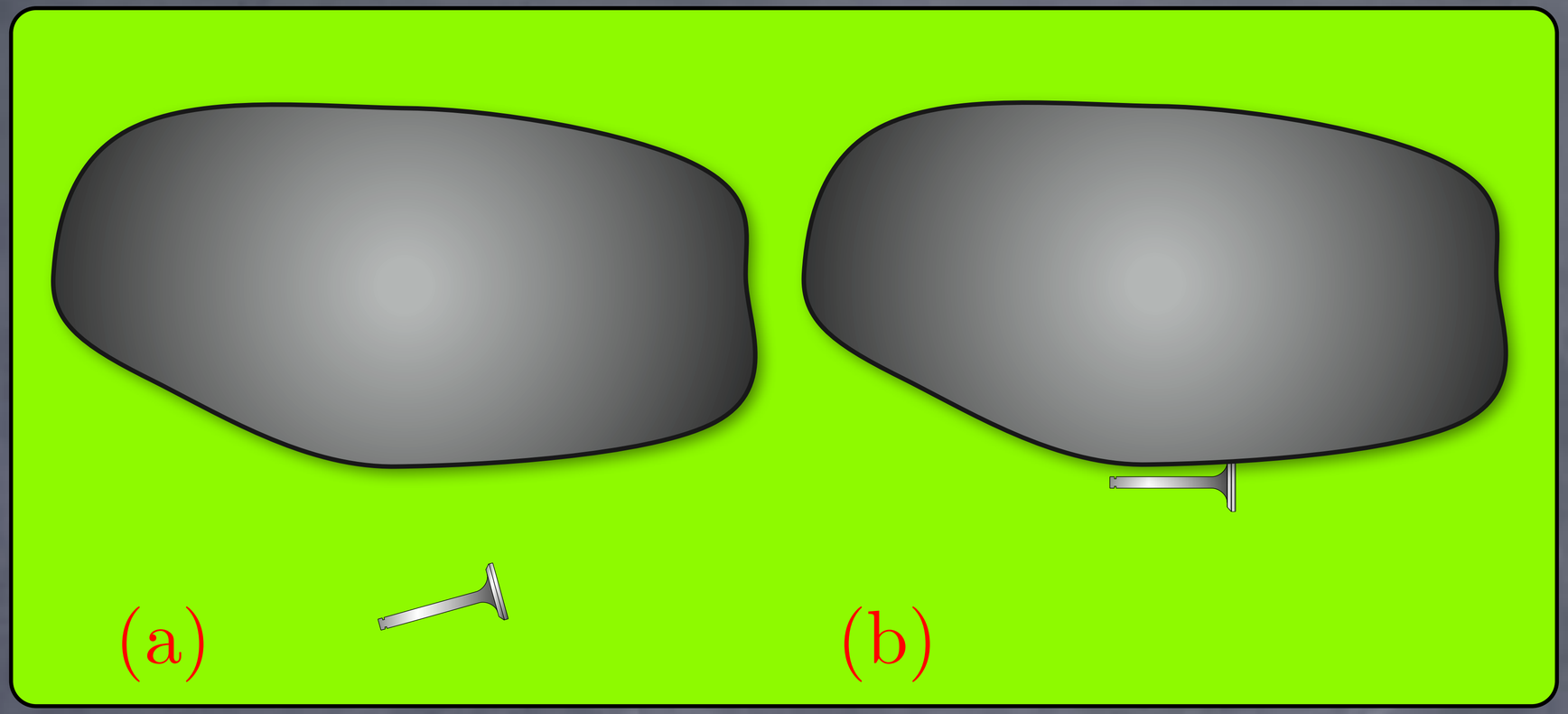
Para cuerpos ligeros moviéndose con rozamiento, se cumple la teoría de Aristóteles

K Simonyi, A Cultural History of Physics, CRC Press

Aristóteles: experimentos de electrostática y magnetismo

Electricidad.
Una barra de ámbar (electros, en griego) frotada previamente con lana, es capaz de atraer cuerpos ligeros como, por ejemplo, una semilla de diente de león, moviéndola contra su tendencia natural que es caer a tierra. Una vez la semilla toca la barra, es repelida y se aleja de la barra.

Aristóteles: experimentos de electrostática y magnetismo



Magnetismo.

Una piedra de mineral de hierro de las minas de Magnesia es capaz de atraer un pequeño clavo de hierro y elevarlo del suelo, desplazándolo en contra de su movimiento natural hacia tierra.

FIN

Experimentos importantes en la Historia de la Física

Grecia clásica

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2017