



# UNIVERSIDAD DE GRANADA

**Laboratorio de los 10 experimentos más bellos de la Física**

Física General II - Grado en Física

Miguel A. Rodríguez Valverde (marodri@ugr.es)






# LOS DIEZ EXPERIMENTOS MÁS BELLOS DE LA FÍSICA

*X Semana de la Ciencia*


## X SEMANA DE LA CIENCIA



**Los diez experimentos más bellos de la Física**

¿Cuáles son los experimentos más fantásticos realizados en física a lo largo de la historia? Esta cuestión se planteó en una revista científica electrónica hace ya algún tiempo. Desde el Departamento de Física de la Universidad de Granada, Miguel Cabrera ha propuesto sus diez experimentos favoritos y los va presentar al público con una doble finalidad, dar difusión a importantes avances científicos realizados por el hombre a lo largo de su historia y mostrar de una forma simpática y mágica la, injustamente considerada aburrida, labor de los físicos.

DPTO. FÍSICA APLICADA  
Miguel Cabrera Vilches



# BELLEZA y FÍSICA

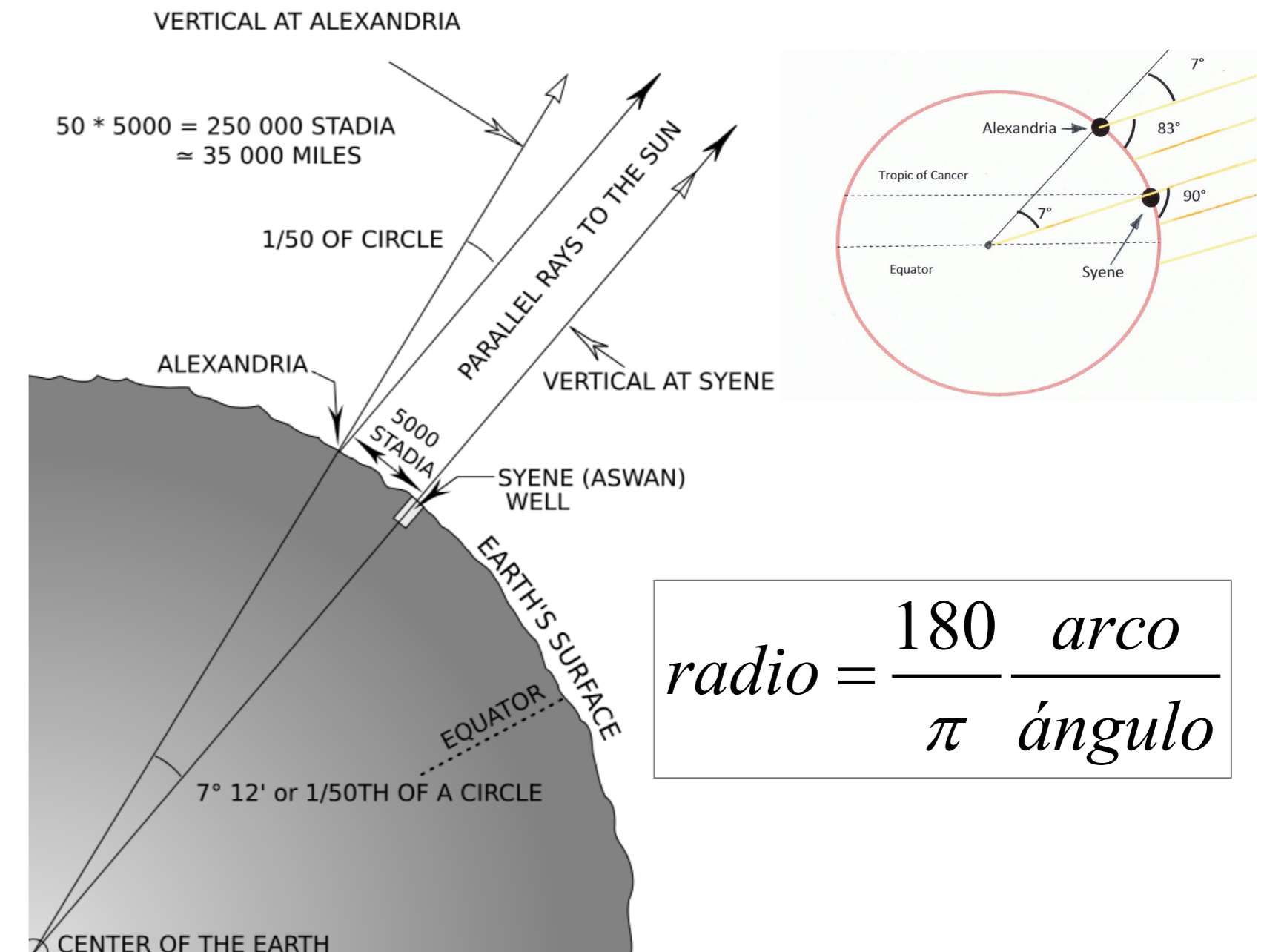
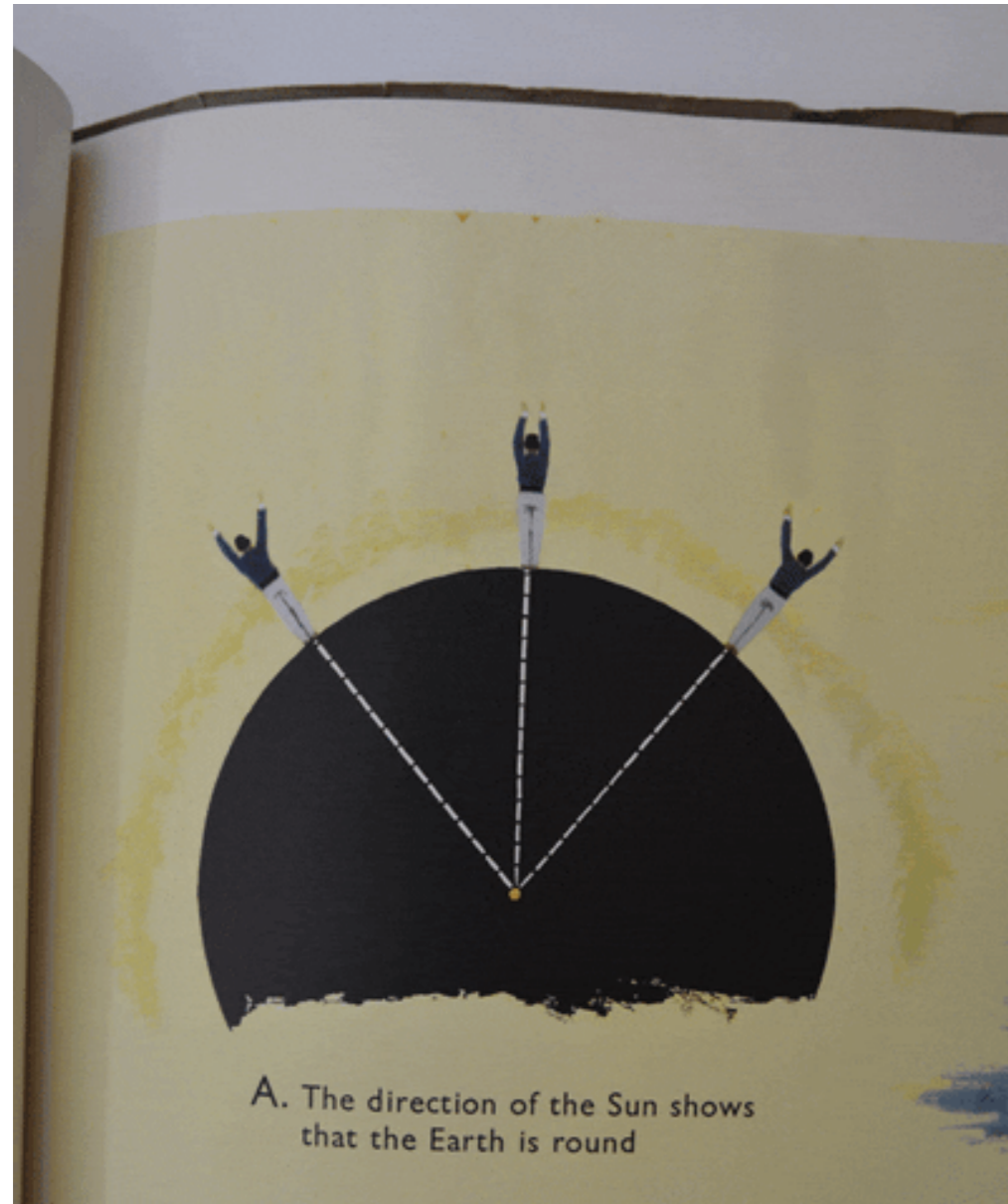
*Experimentos físicos que mejor conjugan el impacto que tuvieron como la elegante (simple, compacta) forma de diseñarlos y realizarlos.*

1. La medición de la circunferencia terrestre (Eratóstenes – siglo III a.C.)
2. El experimento de la torre de Pisa (Galileo – 1589 y 1592?)
3. El experimento del plano inclinado (Galileo – 1632)
4. La descomposición de la luz solar mediante un prisma (Newton -1665)
5. El experimento de la balanza de torsión (Cavendish – 1798)
6. El experimento de la interferencia de la luz (Young – 1801)
7. El péndulo de Foucault (Foucault – 1851)
8. El experimento de la gota de aceite (Millikan - 1909)
9. El descubrimiento del núcleo (Rutherford – 1911)
10. La difracción del electrón en una doble rendija (Jönsson - 1961)

minusvalorar  
regresión  
bondad-de-ajuste  
desviación-estandar  
intervalo-de-confianza  
experimento  
valor-nominal  
cifras-significativas  
incertidumbre  
aleatorio  
reproducibilidad  
instrumento  
unidades  
barras-de-error  
lineal  
modelo-físico  
exactitud  
dispersión  
sistemático  
precisión  
redondeo  
correlación  
medida  
sensibilidad  
errores  
tolerancia  
resolución

# La medición de la circunferencia terrestre (Eratóstenes – siglo III a.c.)

La Tierra se mide su propia cintura.



- Aproximación paraxial de rayos solares (¿verano o invierno?)
- Incidencia normal (¿con precisión?)
- Distancia “geodésica” y latitudes a igual longitud (muy precisas)

**Radio=6.406 km**

Radio=6.371 km

<https://eratosthenes.ea.gr>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0315086084900259>



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

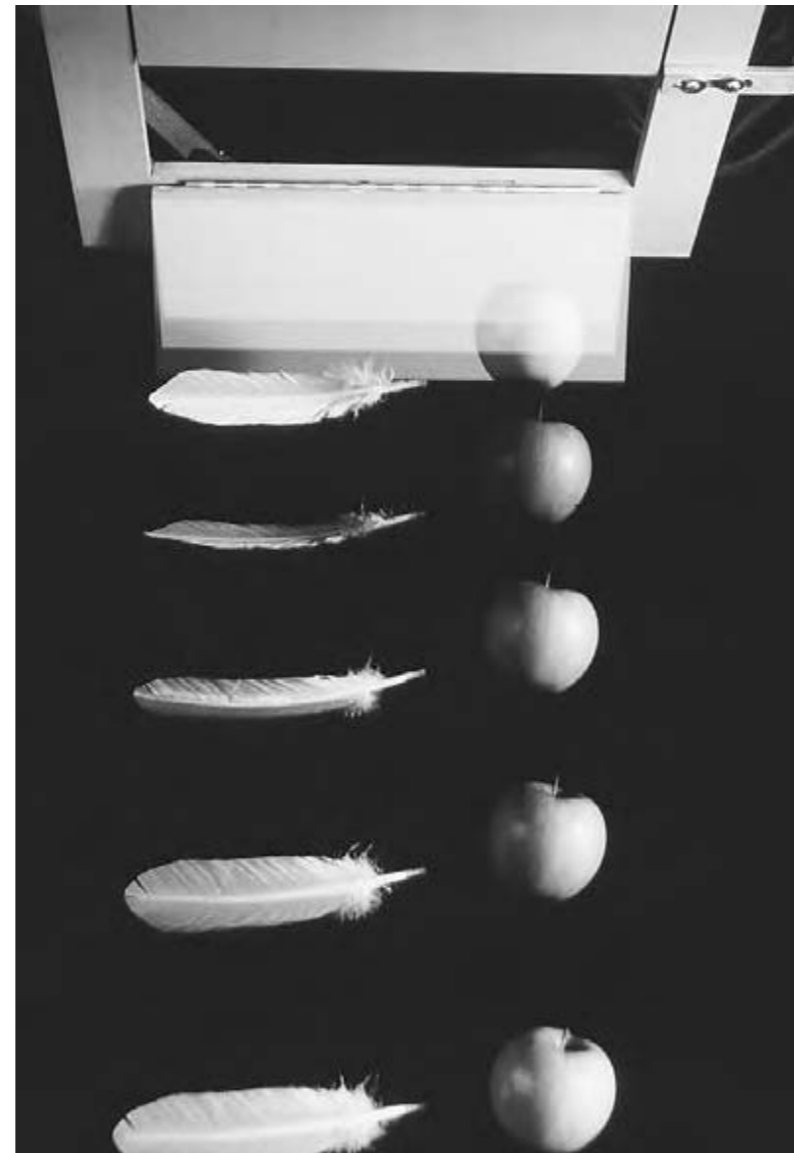


Using a video camera to measure the radius of the Earth. Physics Education, 48(6), pp. 731-735.

# El experimento de la torre de Pisa (Galileo – 1589 y 1592?)

La ley de caída de los graves (y leves)

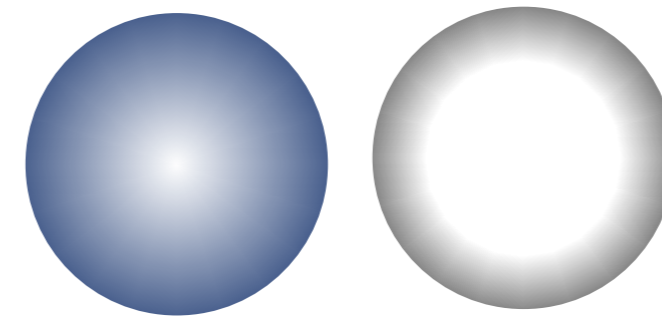
“Una bola de hierro de cien libras de peso, que cae de cien codos de altura, llega al suelo antes que una pelota de una libra que haya caído de un codo”. Aristóteles



$$v \propto m?$$

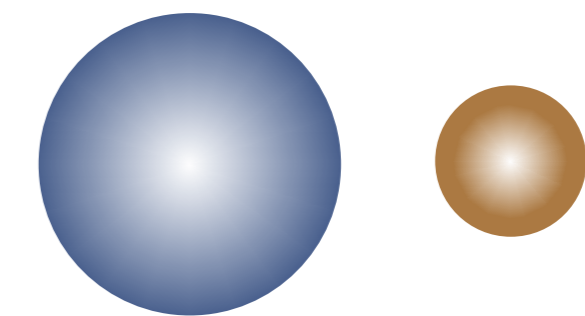
$$h = cte$$

$$m_1 > m_2$$



$$0 < t_1 - t_2 \ll t_1, t_2$$

$$m_1 \quad m_1$$



$$t_1 - t_2 \approx 0$$

- Método científico (igualdad de condiciones)
- Caída realmente libre (velocidad inicial nula)
- Efecto aire (resistencia): forma/tamaño, altitud, temperatura
- Medida precisa de lapso de tiempo (salida-llegada)

$$a_{caída} = cte$$



## Ley de Stokes

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg - b \frac{dz}{dt} \quad b = 6\pi\eta_{\text{aire}} R \quad v(t) = \frac{mg}{b} \left( e^{-bt/m} - 1 \right) \quad z(t) = z_0 + \frac{m^2 g}{b^2} \left( 1 - \frac{b}{m} t \right) - \frac{m^2 g}{b^2} e^{-bt/m}$$

$$t \ll m/b \quad e^{-bt/m} \approx 1 - \frac{b}{m} t \quad e^{-bt/m} \approx 1 - \frac{b}{m} t + \frac{b^2}{2m^2} t^2$$

## Arrastre Viscoso

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -mg - b \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 \quad b = 2\pi C_D \rho_{\text{aire}} R^2 \quad v(t) = -\sqrt{\frac{mg}{b}} \tan \left( \sqrt{\frac{bg}{m}} t \right) \quad z(t) = z_0 + \frac{m}{b} \ln \left( \cos \left( \sqrt{\frac{bg}{m}} t \right) \right)$$

$$t \ll \sqrt{m/(bg)} \quad \tan \left( \sqrt{\frac{bg}{m}} t \right) \approx \sqrt{\frac{bg}{m}} t \left( 1 + \frac{bg}{3m} t^2 \right) \quad \ln \left( \cos \left( \sqrt{\frac{bg}{m}} t \right) \right) \approx \left( 1 - \frac{bg}{2m} t^2 \right) - 1$$

$$v(t) \approx -gt$$

$$z(t) \approx z_0 - \frac{g}{2} t^2$$



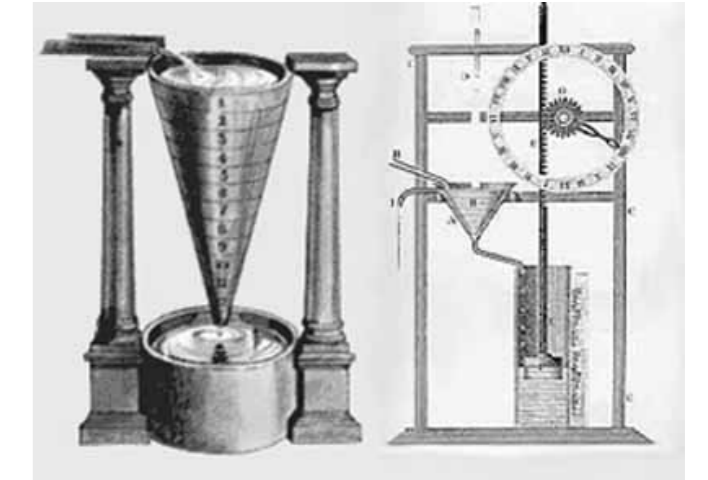
# El experimento del plano inclinado (Galileo – 1632)

Discorsi e dimostrazioni matematiche : intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & movimenti locali

*"We always found that the spaces traversed were to each other as the squares of the times, and this was true for all inclinations of the plane" Galileo Galilei*



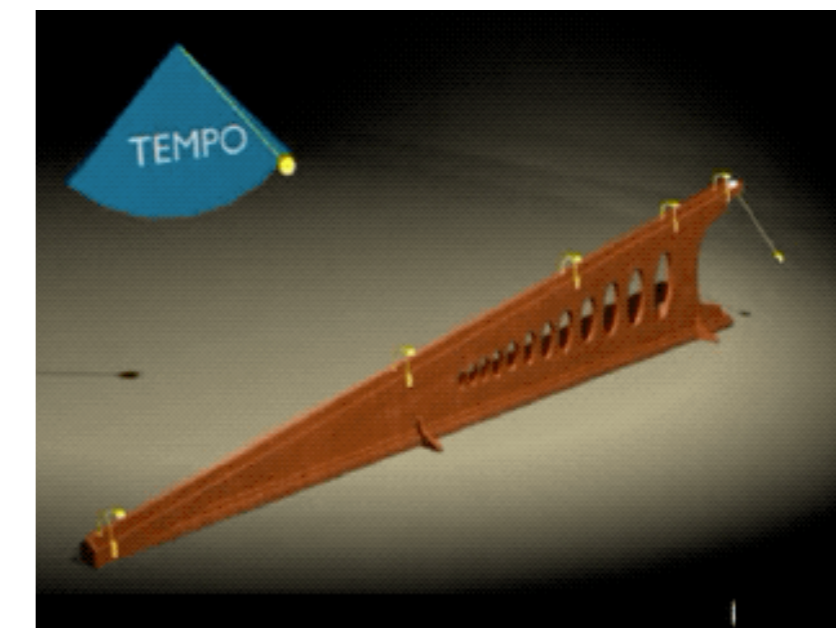
$$\Delta t_i = cte$$



$$\frac{\Delta s_1}{l} = 1; \frac{\Delta s_2}{l} = 3; \frac{\Delta s_3}{l} = 5; \frac{\Delta s_4}{l} = 7; \frac{\Delta s_5}{l} = 9$$

$$a = cte \Rightarrow s \propto t^2$$

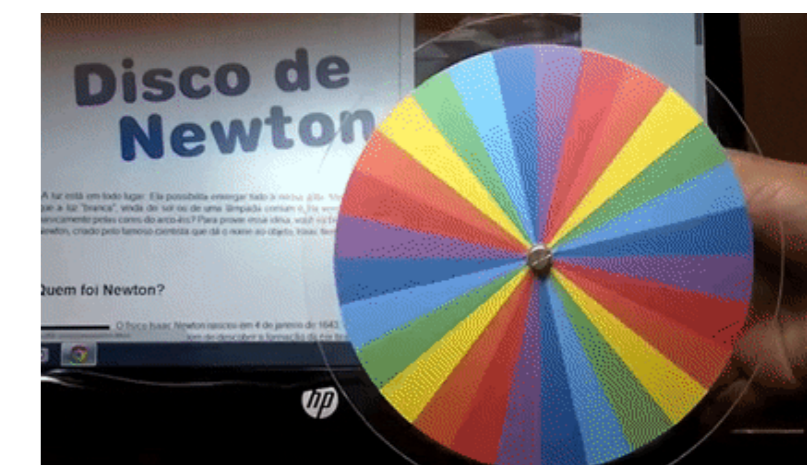
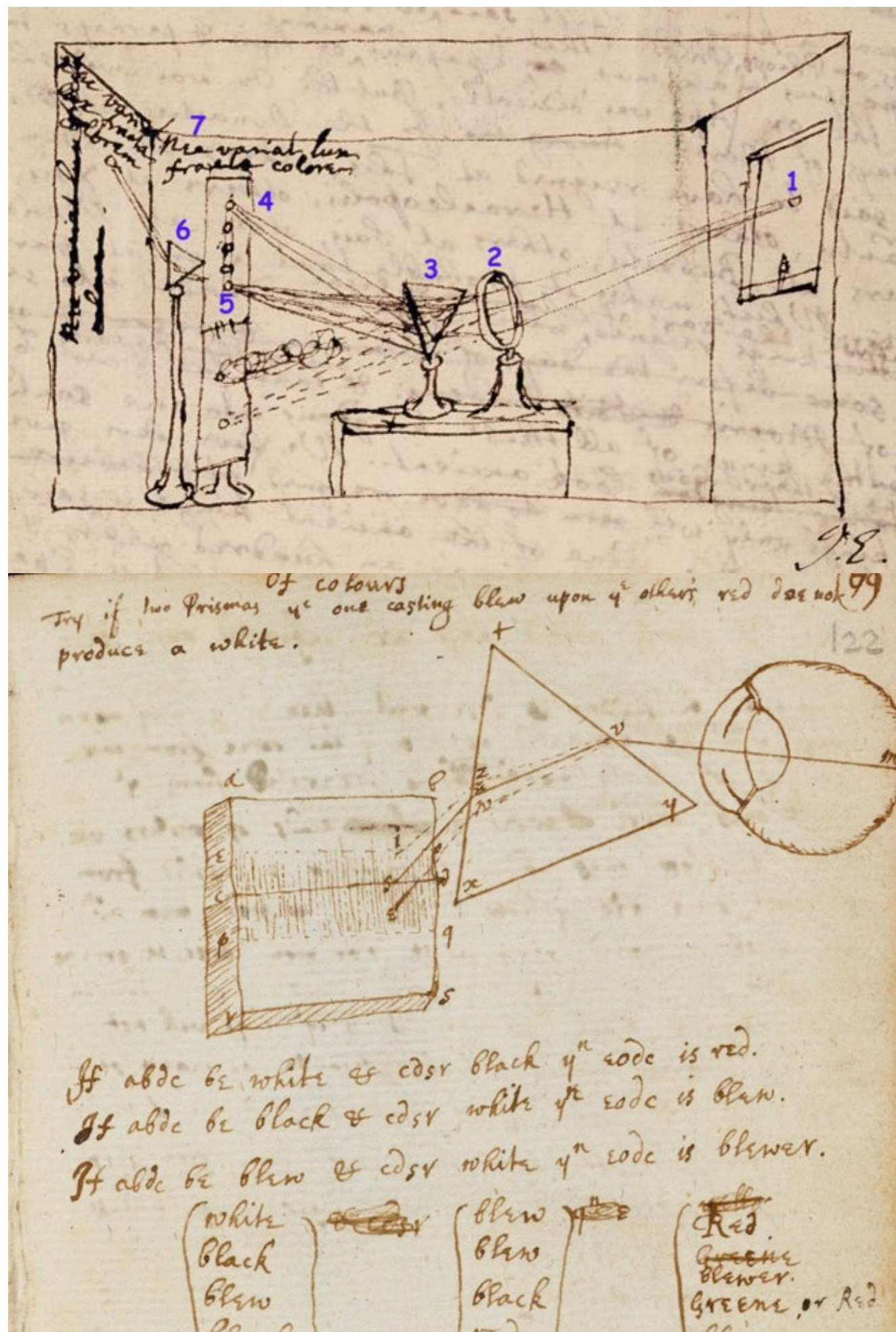
- Cinemática sin derivadas (integrales)
- Método científico (control de la aceleración por inclinación)
- Rodadura (mínimo rozamiento, aceleración diferente)
- Medida precisa de lapso de tiempo (tramos isocronicos)





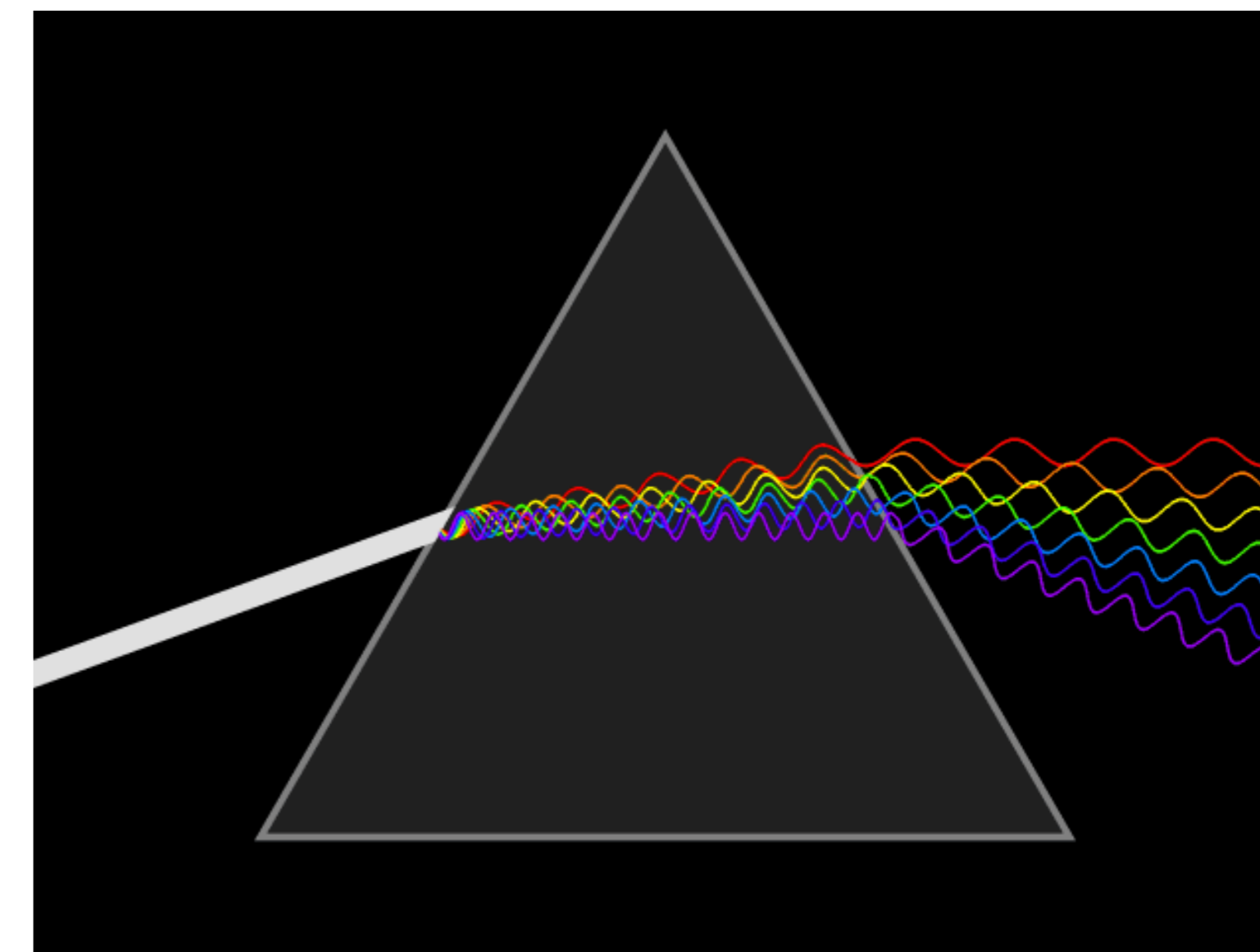
# La descomposición de la luz solar mediante un prisma (Newton -1665)

Opticks: or, A treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light



Suma "sustractiva"

- La luz es una ONDA
- Refracción de la luz
- Dispersión de la luz en el vidrio
- La luz blanca contiene todos los colores pero éstos no se suman como 1+1



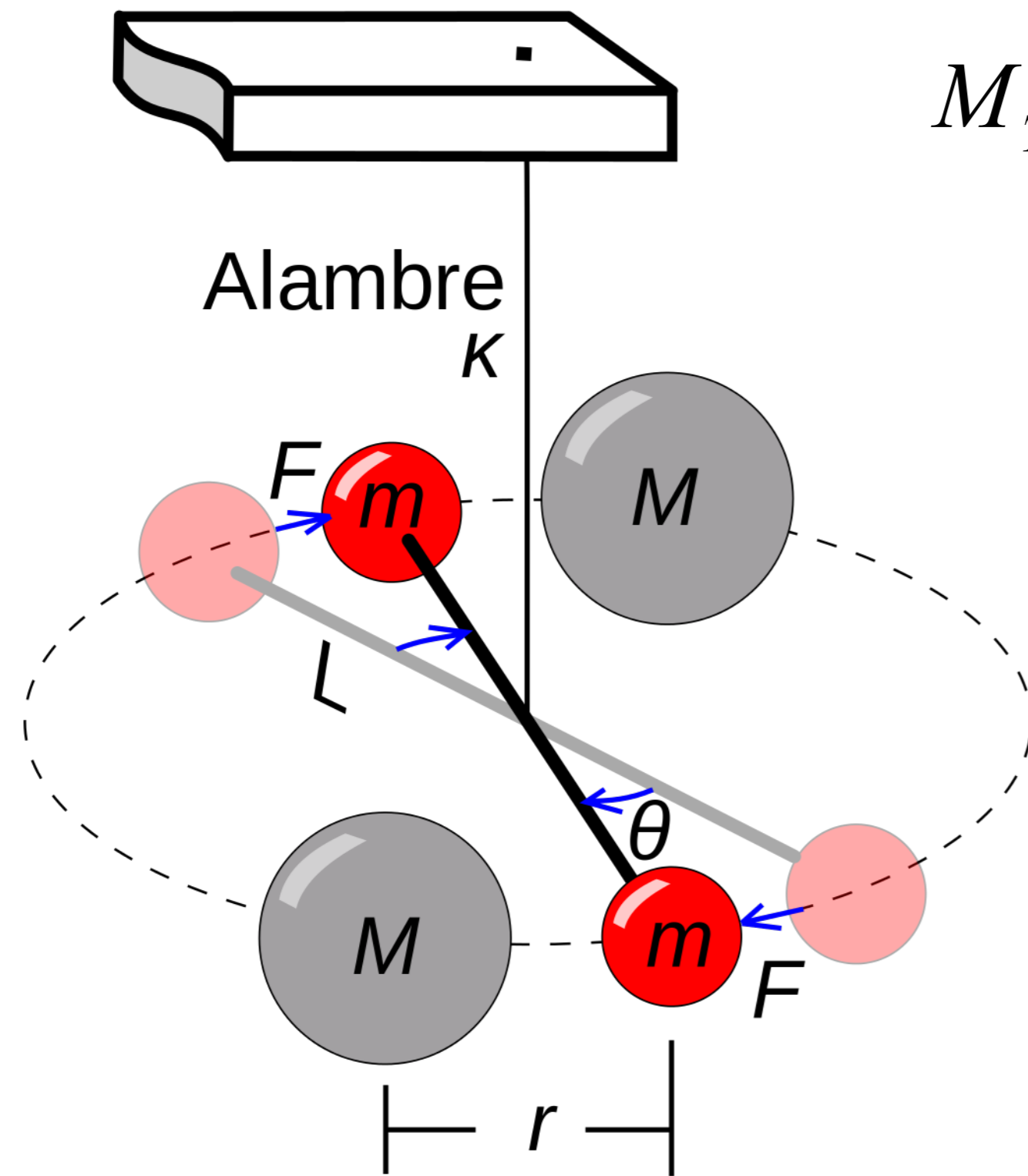


Granada 9-mayo-2021



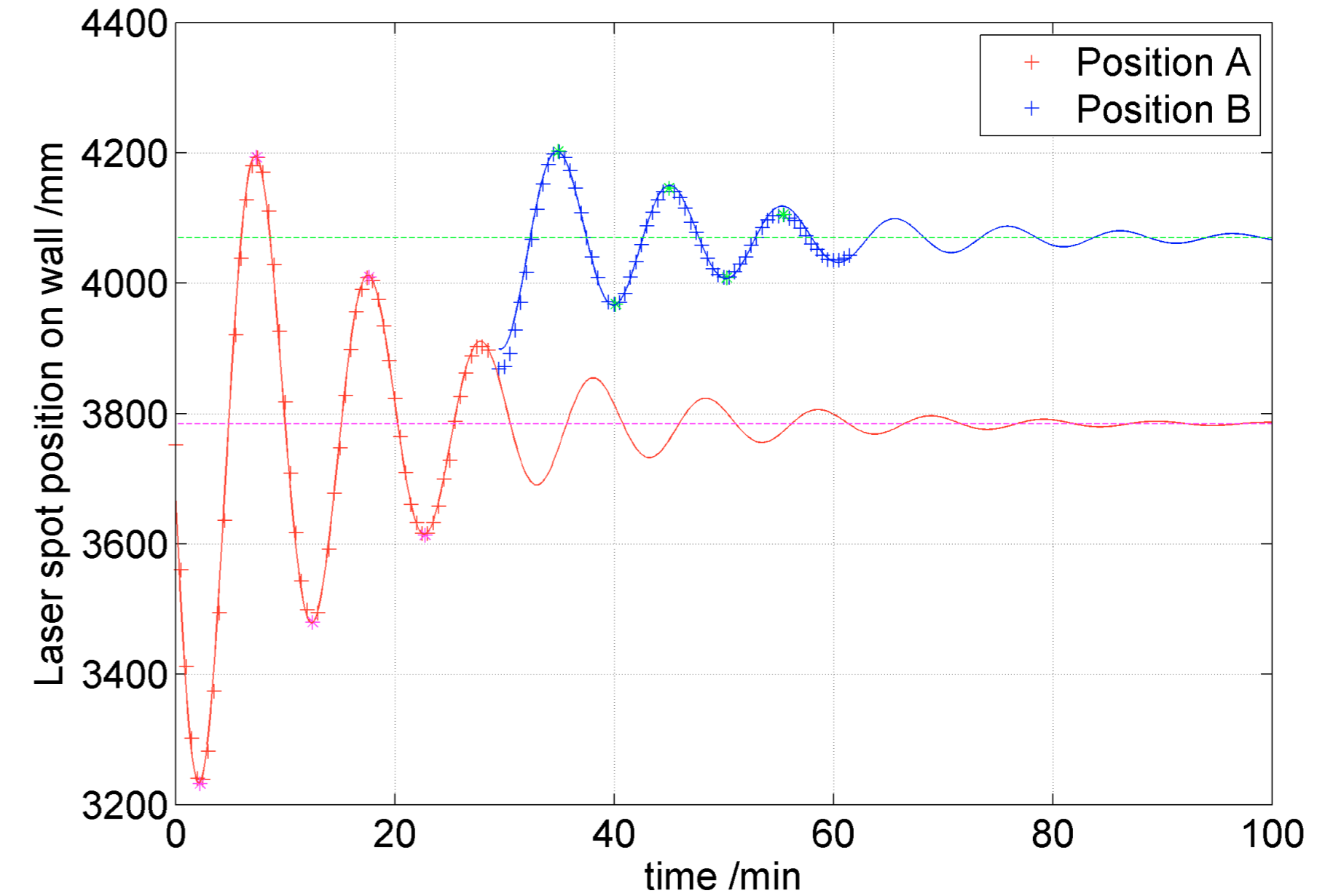
# El experimento de la balanza de torsión (Cavendish – 1798)

Experiments to Determine the Density of the Earth



$$M_T = m_2 \frac{F_{1,T}}{F_{1,2}} \left( \frac{d_{1,T}}{d_{1,2}} \right)^2$$

$$G = \frac{gR_T^2}{M_T} = \frac{g_X R_X^2}{M_X}$$



$$G = 6.74 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

- Fuerza muy débil (vibraciones, equilibrado lento)
- Necesidad de aislamiento eléctrico y humano
- Péndulo de torsión: mayor precisión en la deflexión
- Movimiento oscilatorio amortiguado



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



<https://twitter.com/DocWhalley/status/1368229597943316481>

<https://github.com/ricktjwong/millikan>

Cavendish supuso que la masa inercial (período) coincide con la gravitatoria (Ley de Gravitación)

# Masa, ¿no hay más que una?

9 MAYO, 2020 POR MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VALVERDE

DEJAR UN COMENTARIO

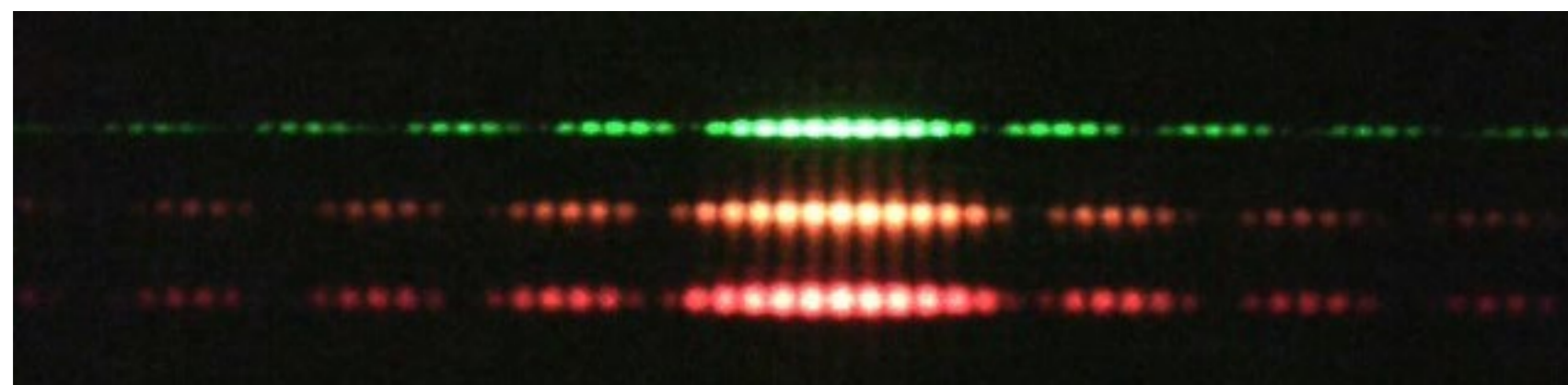
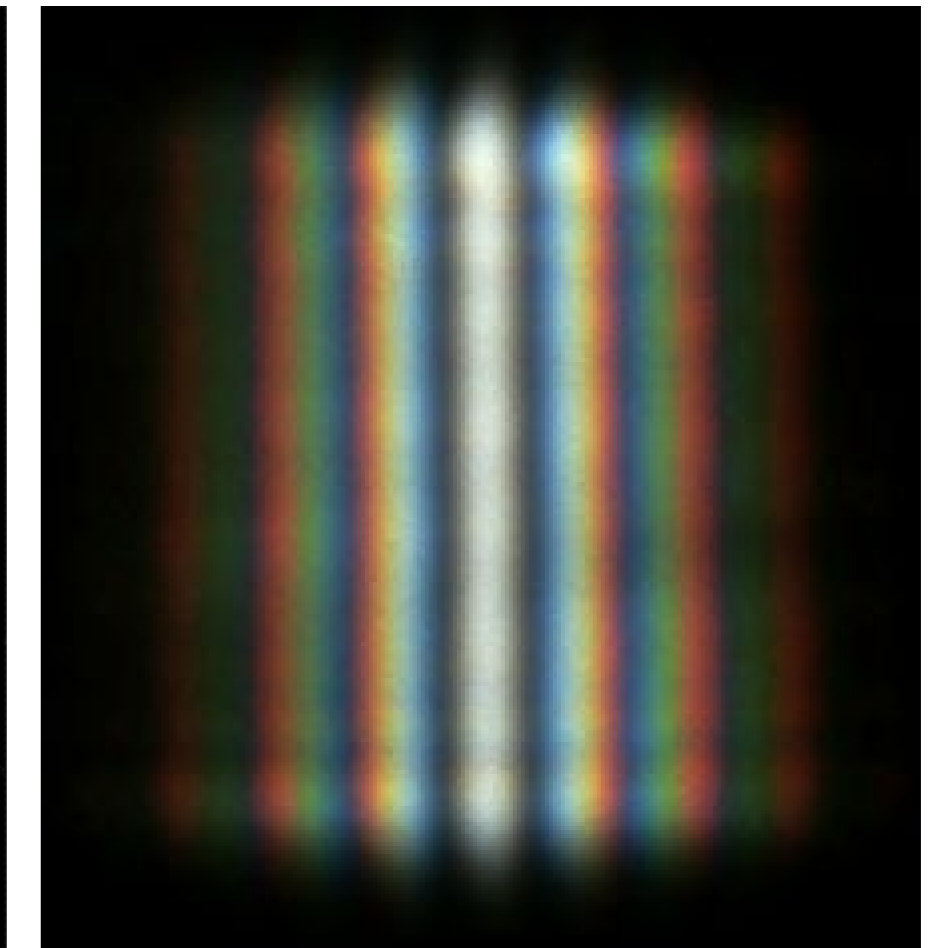
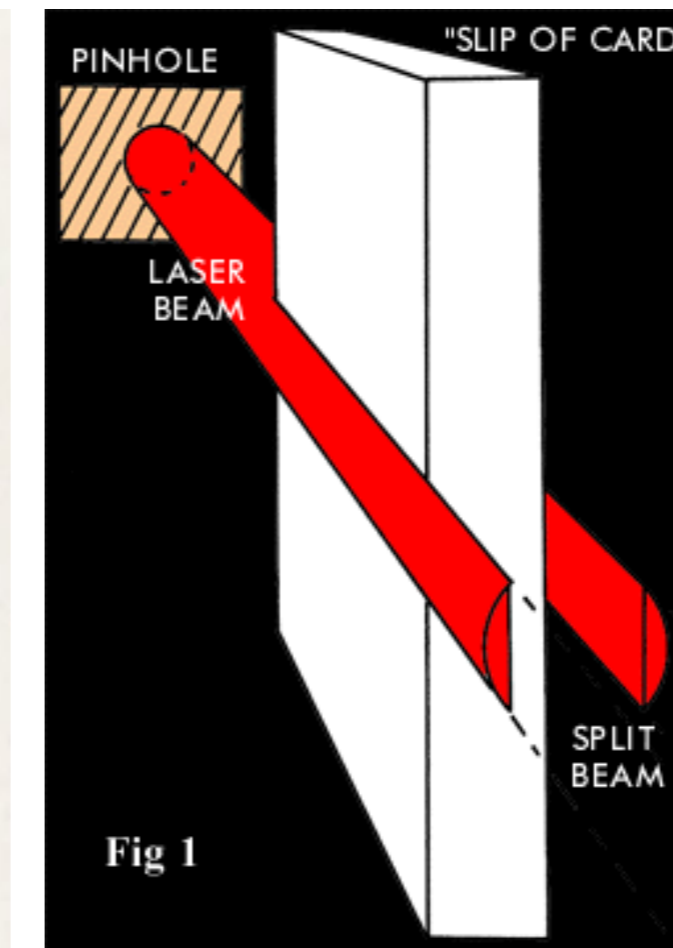
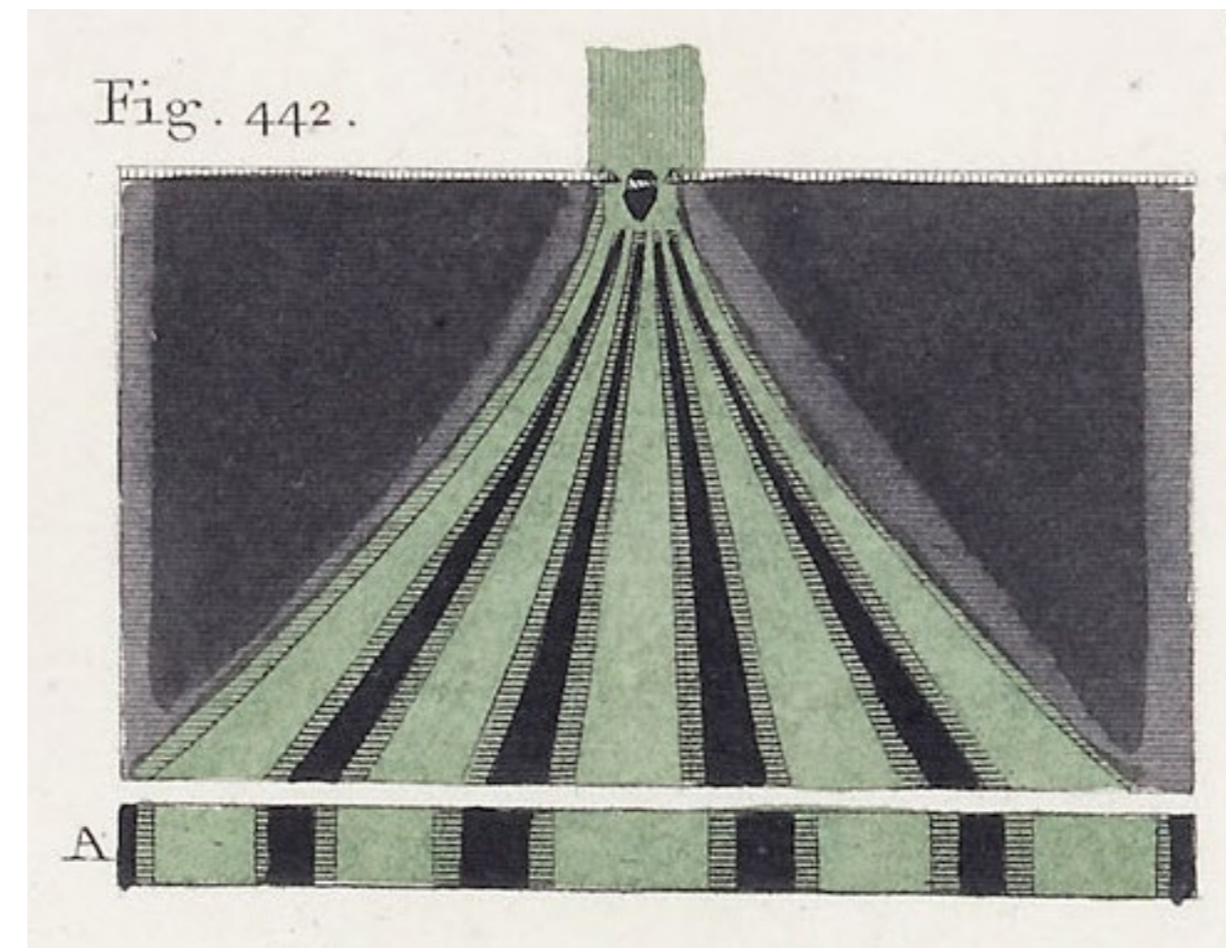
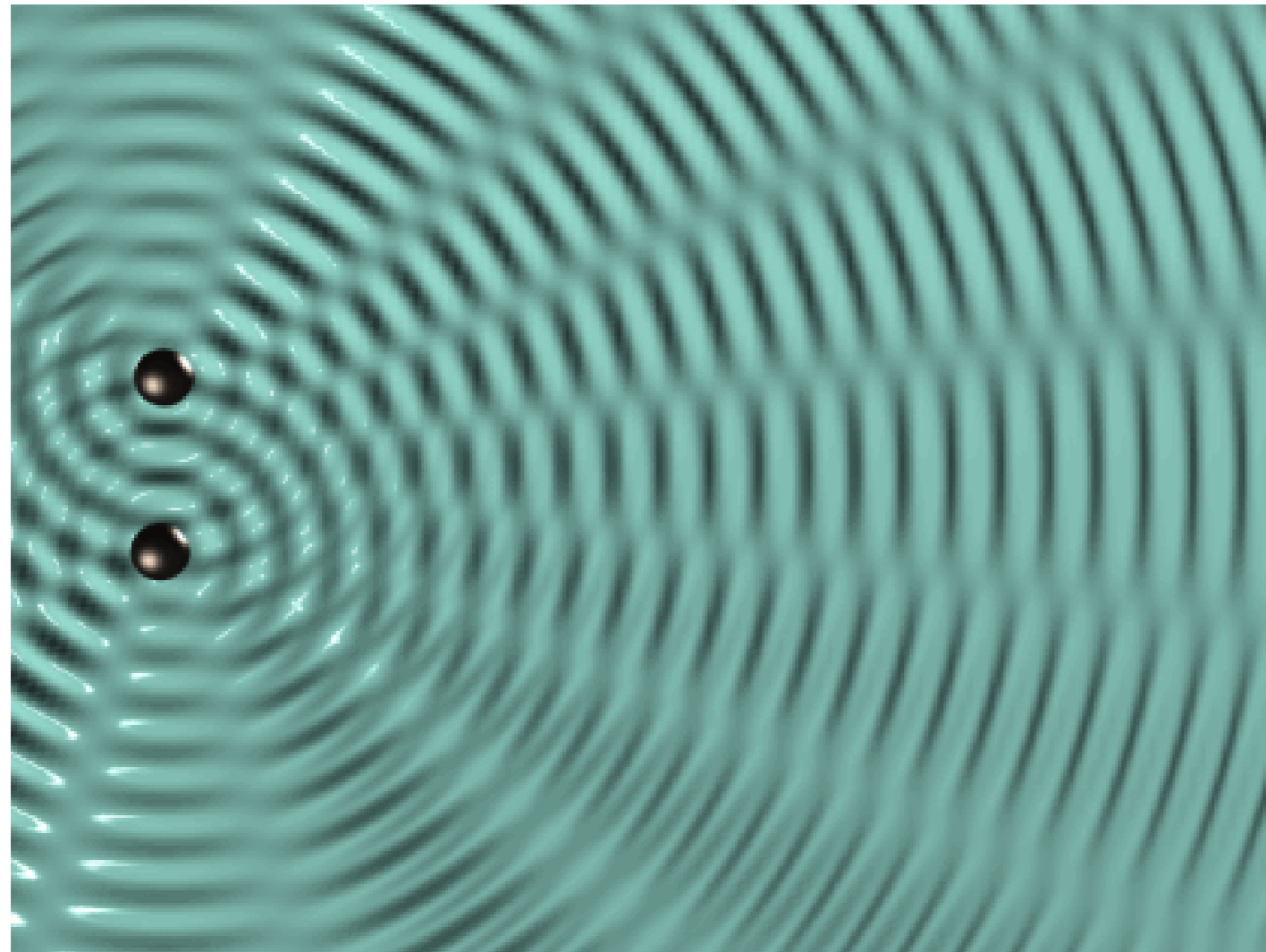
La masa de un cuerpo, como característica intrínseca de la materia que revela su resistencia al cambio de estado de movimiento, parece clara. Pero, ¿la masa inercial (2ª ley de Newton) es igual que la masa gravitatoria que aparece en la Ley de Gravitación Universal? Del mismo modo que la masa “propia” o en reposo no coincide con la masa relativista, podrían existir diferencias entre masa inercial y gravitatoria. La medida de masas se hace extensamente por pesada. Pero también se puede hacer a partir de la resonancia del cuerpo a pesar conectado a un muelle conocido. En ese caso, la masa es inequívocamente la inercial. Esta es la base de las microbalanzas de cuarzo. No obstante existe un única unidad de masa, aunque recientemente se ha redefinido como kilogramo “eléctrico” al basarse en una balanza electromecánica que mide la corriente necesaria para soportar un peso. Si la gravedad no es una fuerza sino una deformación del espacio-tiempo, no parece adecuada como método para medir una propiedad intrínseca de un cuerpo.

<https://blogs.ugr.es/physics-zip/masa-no-hay-mas-que-una/>

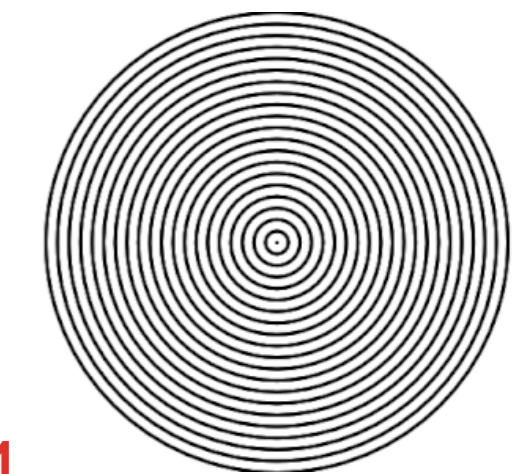


# El experimento de la interferencia de la luz (Young – 1801)

On the Theory of Light and colours

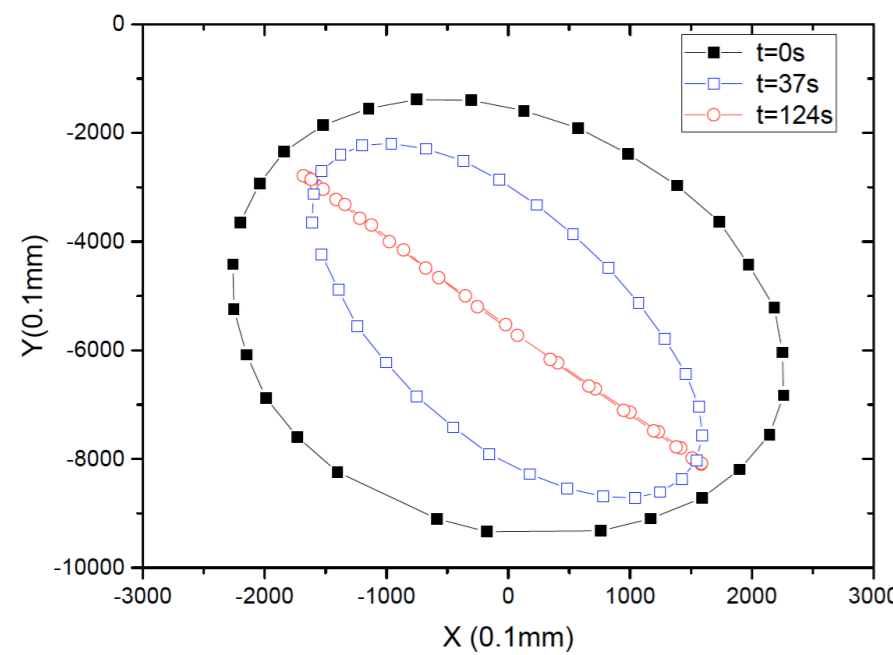
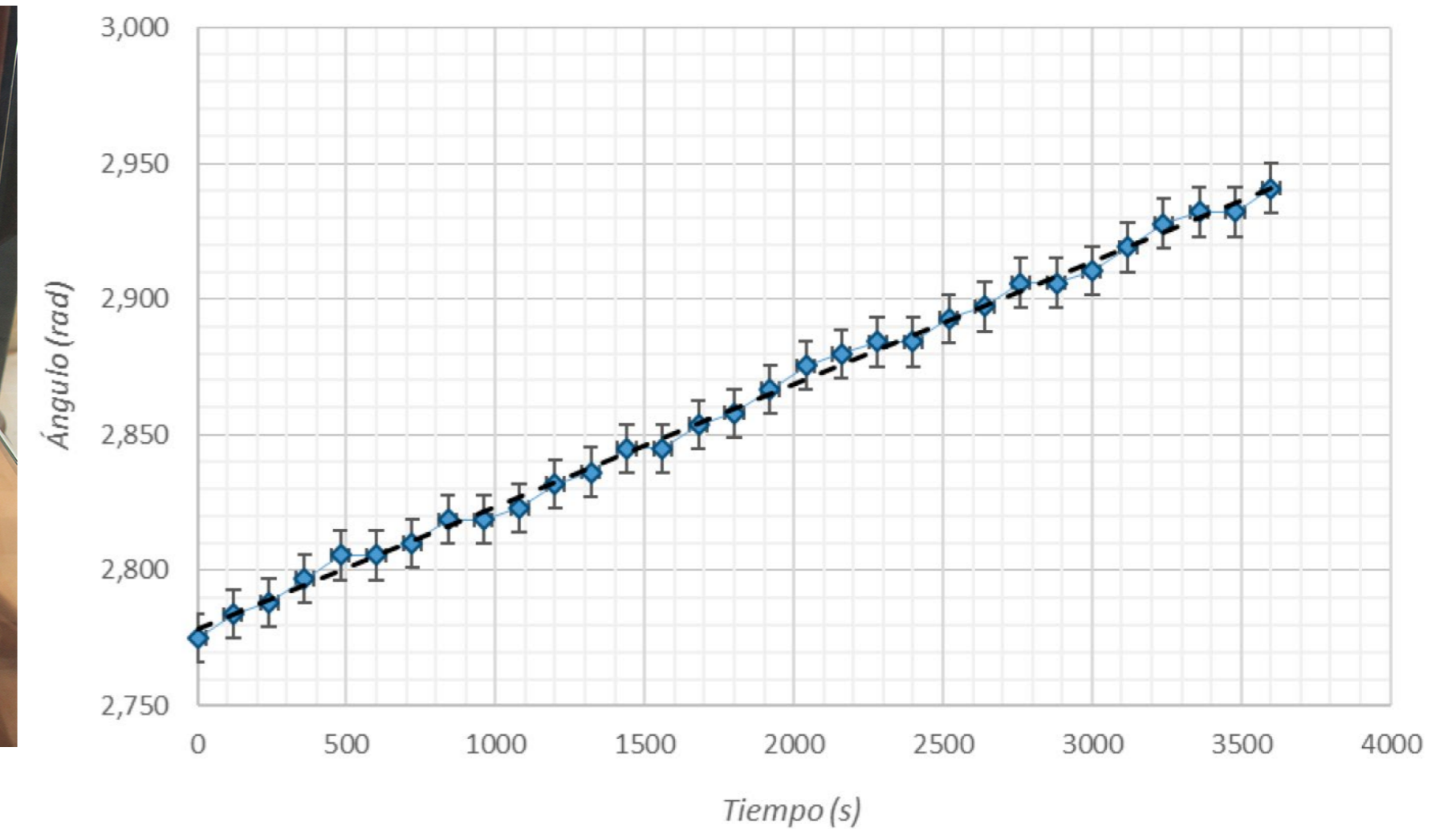


- Luz monocromática
- Principio de Huygens (focos simultáneos)
- Rendijas delgadas y cercanas ( $\sim$ longitud de onda)
- Imagen lejana



# El péndulo de Foucault (Foucault – 1851)

Démonstration physique du mouvement de rotation de la terre au moyen du pendule

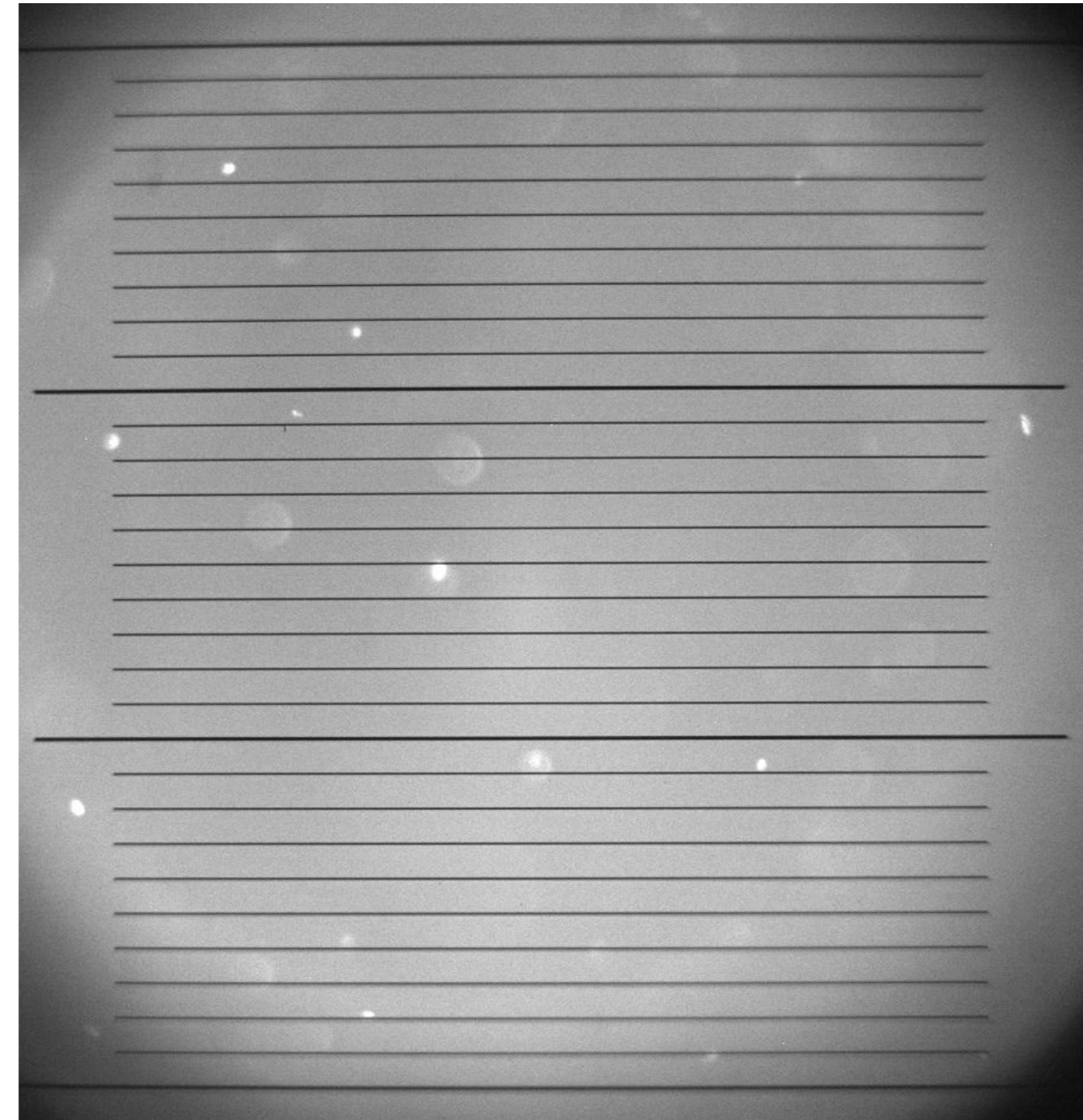


- Cable de longitud suficiente y pequeñas oscilaciones: movimiento de la masa en el plano XY
- Anillo de Charron: oscilación contenida en un plano
- Medida de ángulo –paralaje, escala graduada
- Torsión del cable, condiciones iniciales (desplazar y soltar, percutir desde equilibrio)
- Diferente resolución para cálculo de la latitud y de la velocidad angular



# El experimento de la gota de aceite (Millikan - 1909)

A new modification of the cloud method of determining the elementary electrical charge and the most probable value of that charge



$$q = \begin{cases} 6\pi\eta r \frac{d}{|\Delta V|} (v_{\infty,\downarrow} - v_{\infty,0}) & q_n = \frac{n}{m} \\ 6\pi\eta r \frac{d}{|\Delta V|} (v_{\infty,\uparrow} + v_{\infty,0}) & q_m = \frac{n}{m} \end{cases}$$

$$e = 1,5924(17) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

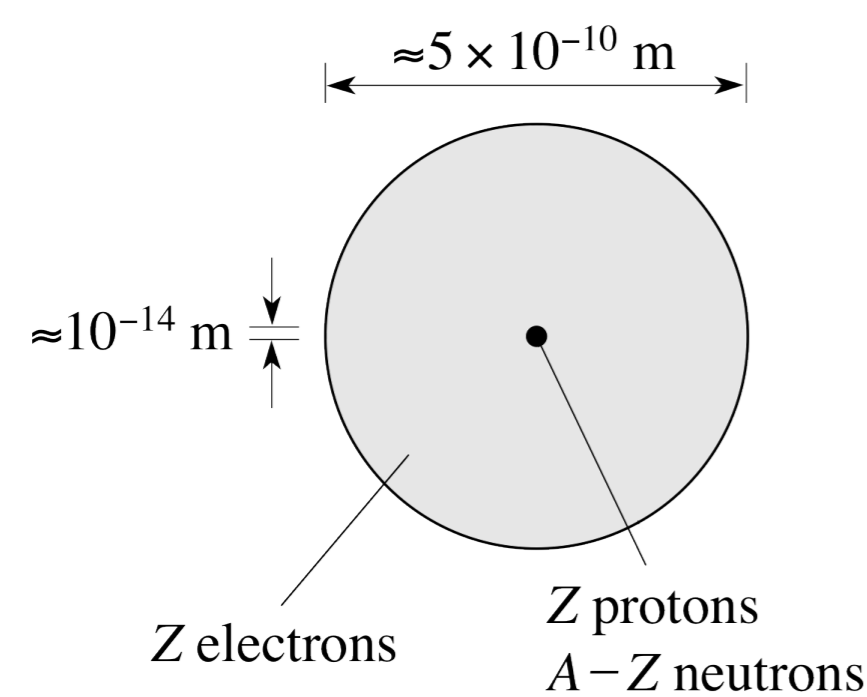
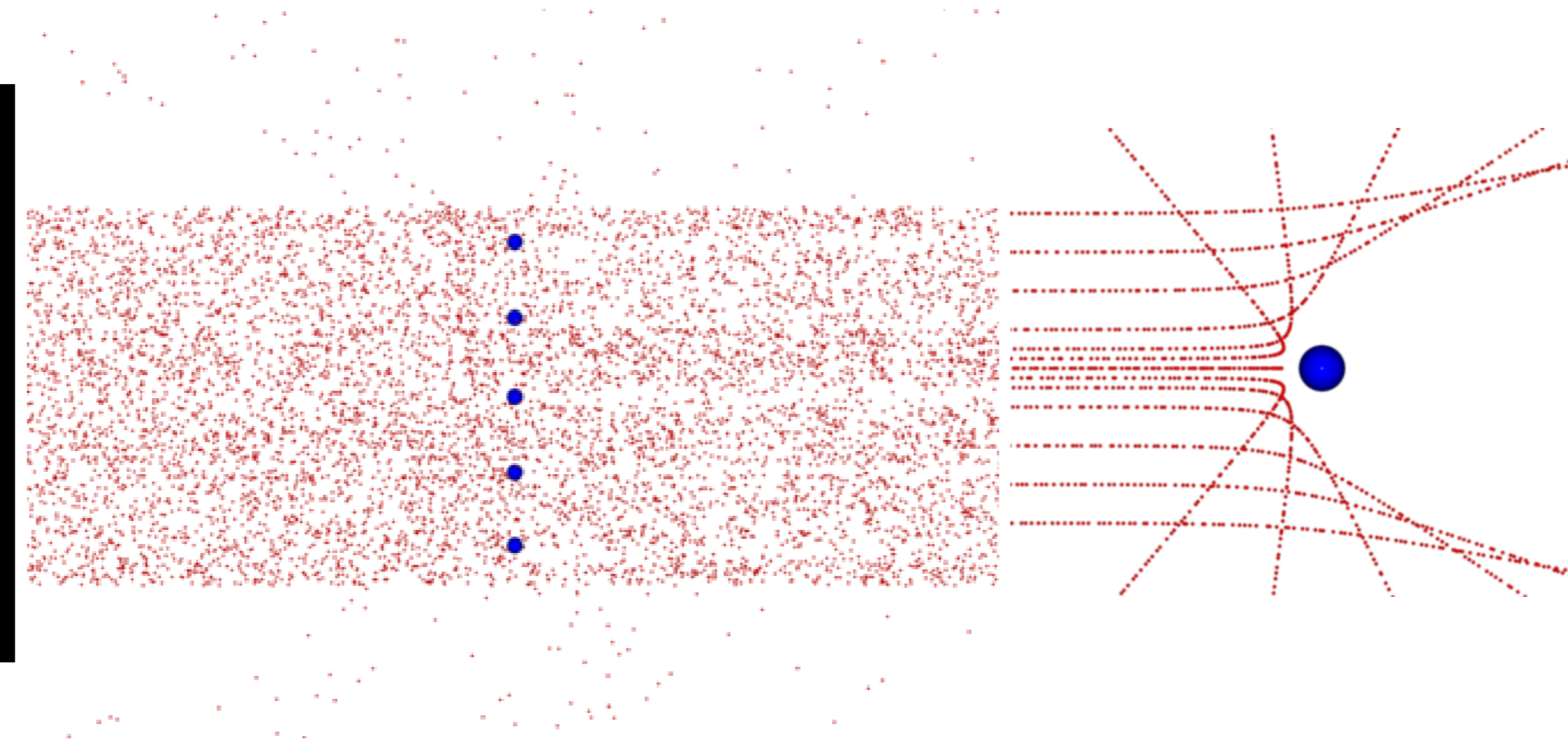
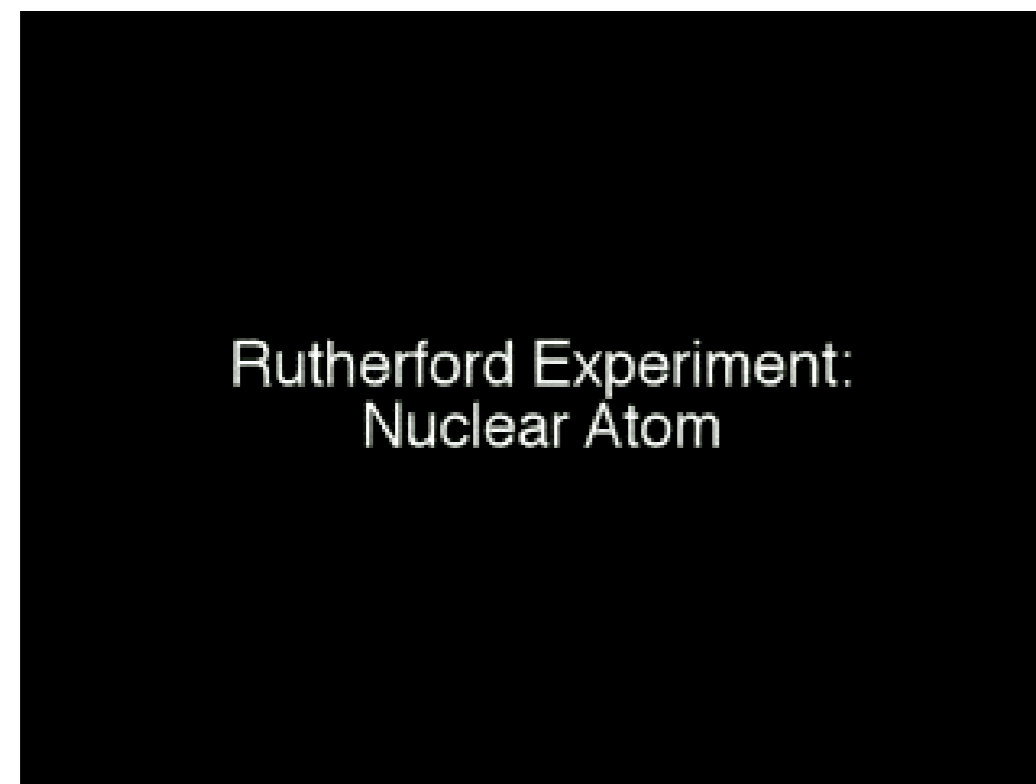
$$e = 1,602176487(40) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- Radiación ionizante para carga superficial de gotas de aerosol
- Velocimetría óptica vs. Doppler
- Tamaño de aerosol (óptica vs. DLS)
- Ley de Stokes (flujo laminar, viscosidad del aire, temperatura, RH)

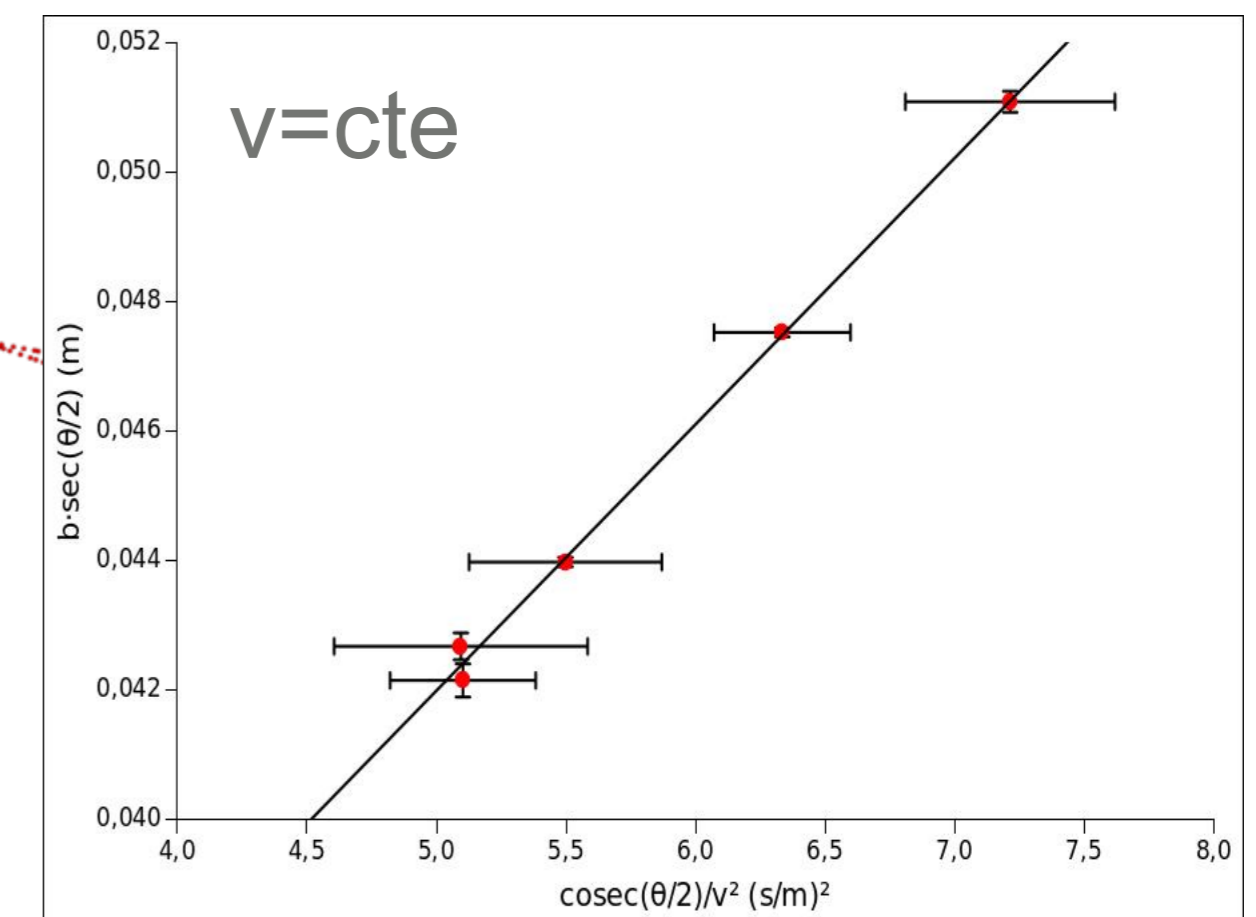
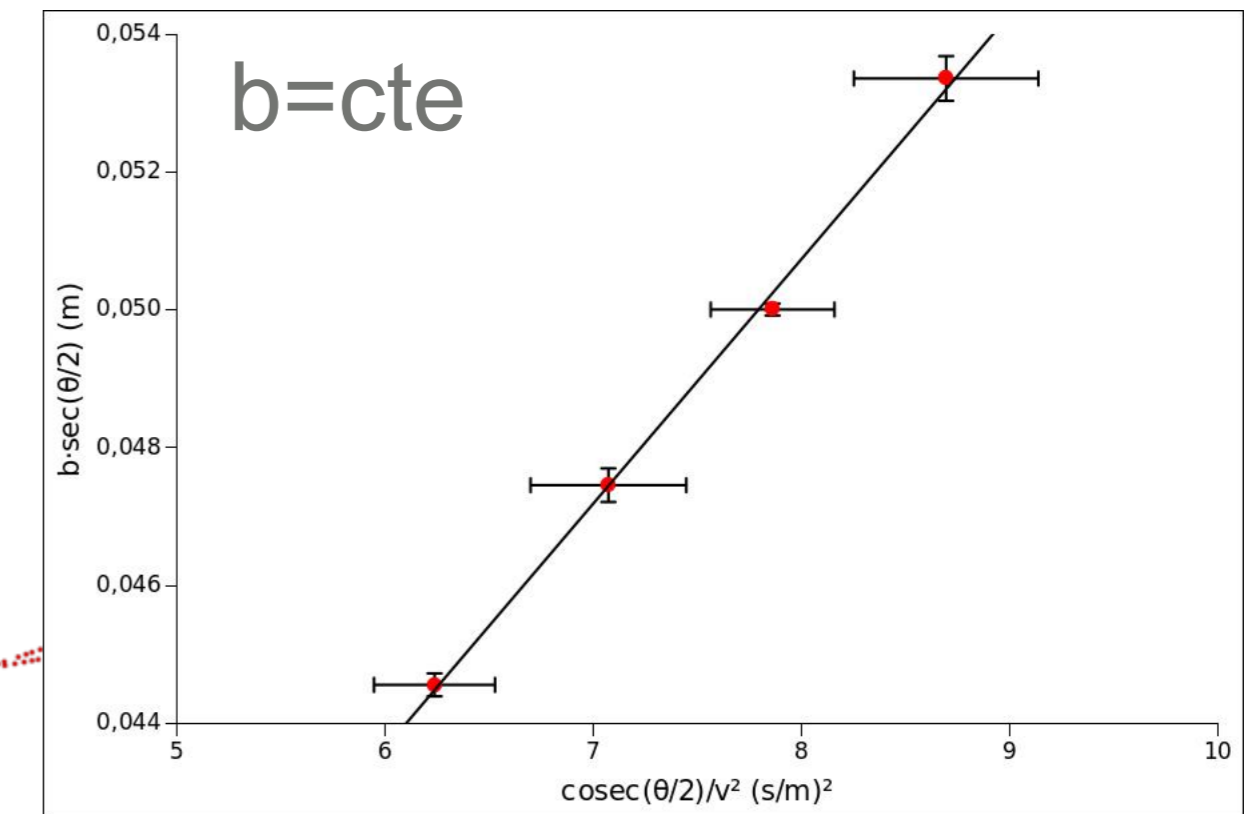


# El descubrimiento del núcleo (Rutherford – 1911)

The scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  particles by matter and the structure of the atom



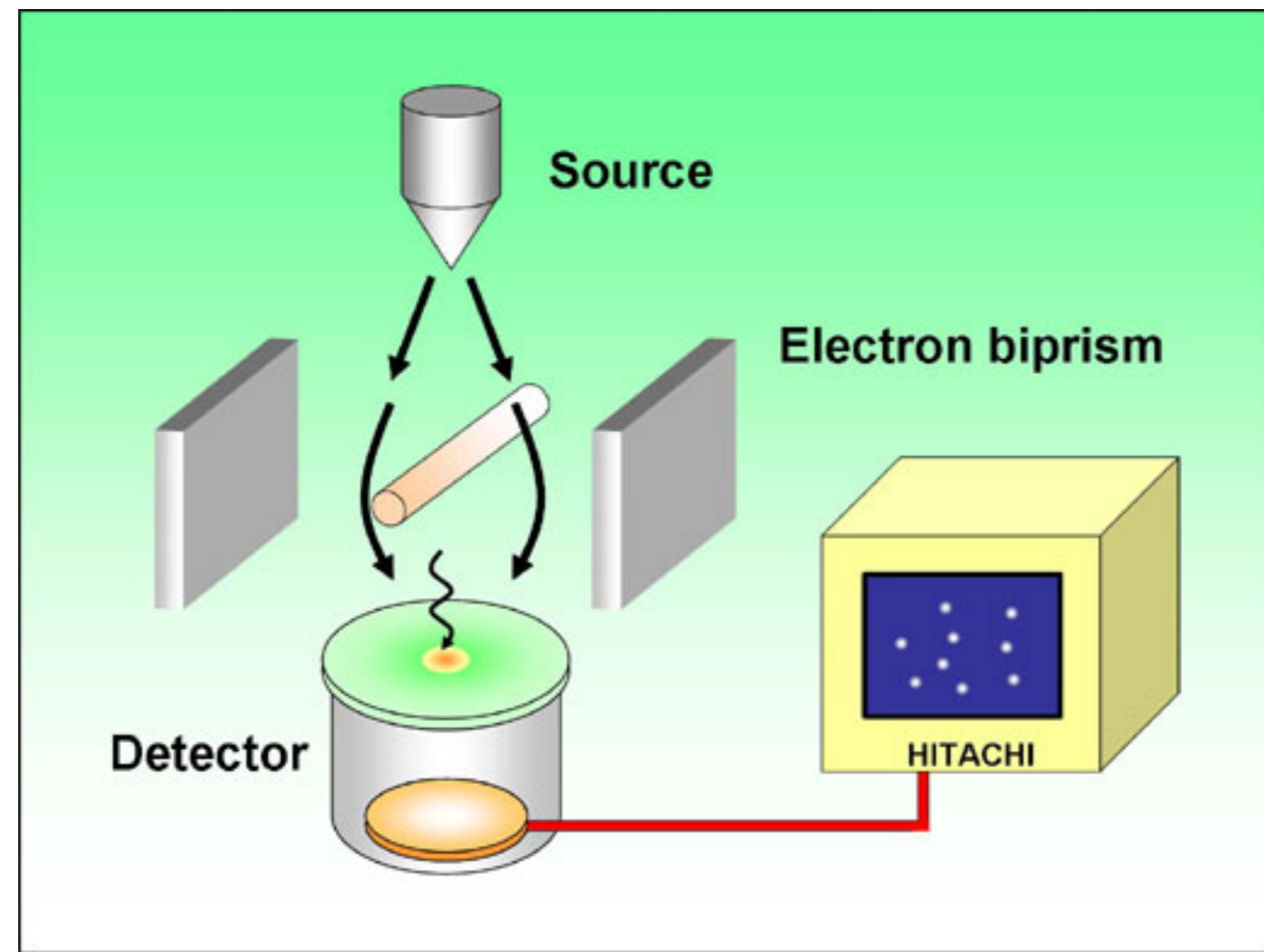
- Fuente radioactiva, lámina delgada, vacío
- Localización del centro de fuerzas (retrodispersión)
- Variación energía incidente vs. Variación parámetro de impacto





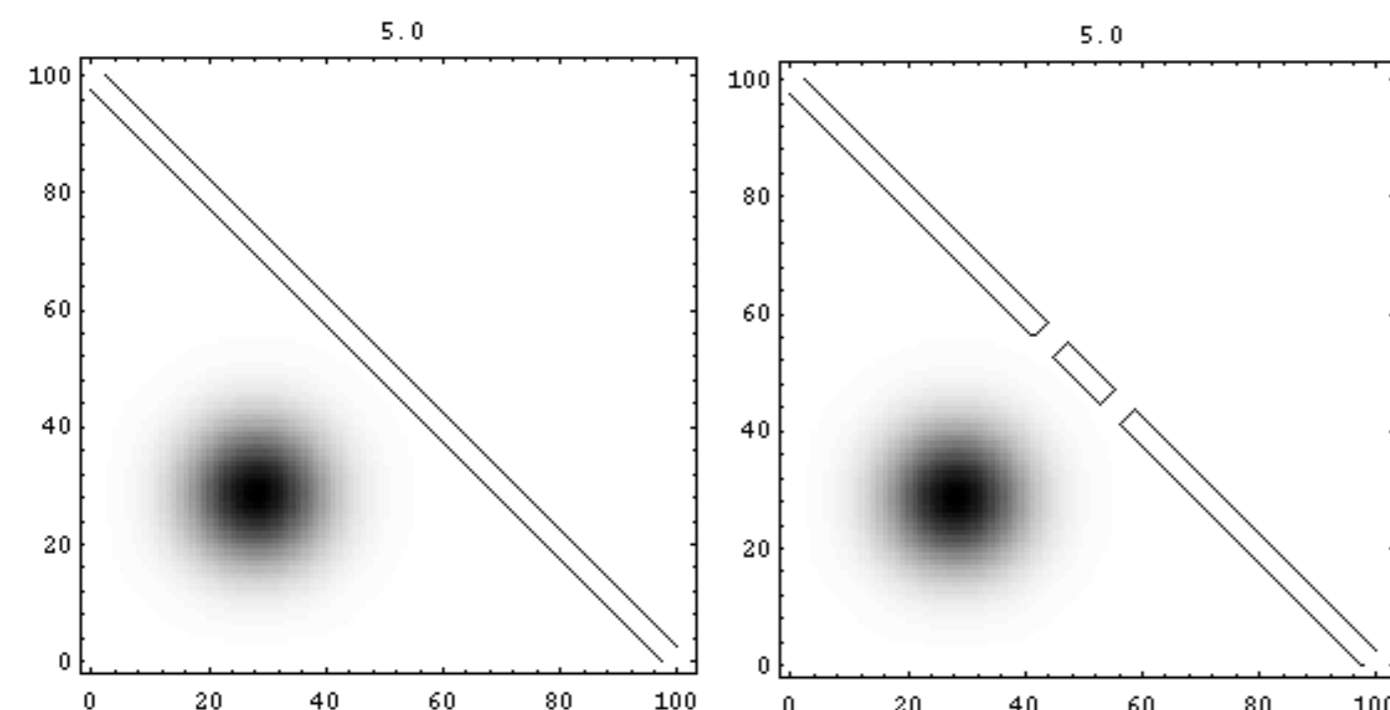
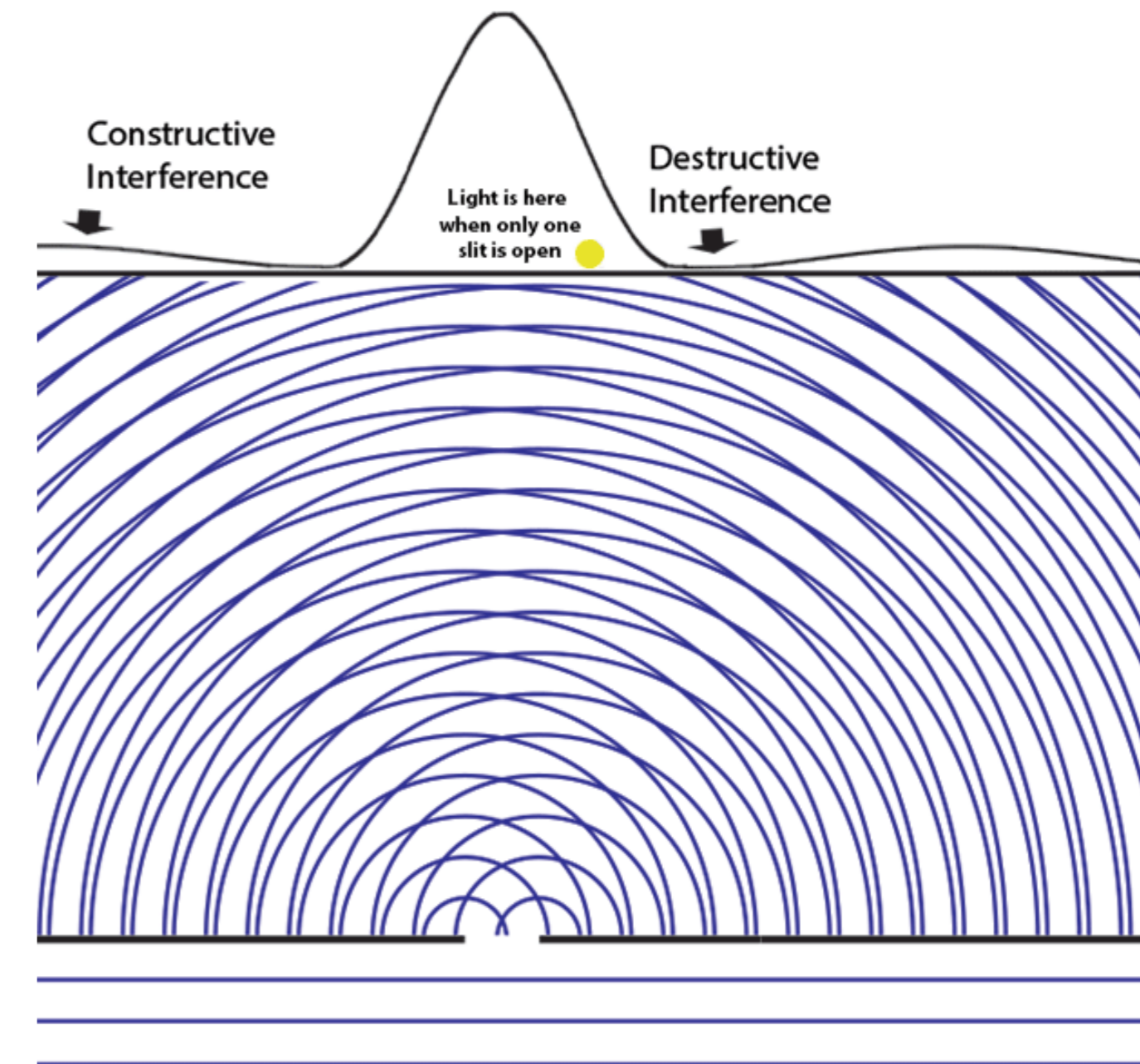
# La difracción del electrón en una doble rendija (Jönsson - 1961)

Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten



Now, we are looking at the detector plane on the monitor. Bright spots appear here and there. These spots indicate individual electrons.

(C)Hitachi, Ltd.



- Control de emisión de electrón individual (alto vacío, alto voltaje)
- Divisor: Filamento de tungsteno (1 micra)
- Fotodetector muy sensible

# Buscad vuestro propio camino



**GRANADA**  
CIENCIA E INNOVACIÓN

Avda del  
Conocimiento

Avda de la  
Investigación



pero sin descuidar la belleza en la  
Física