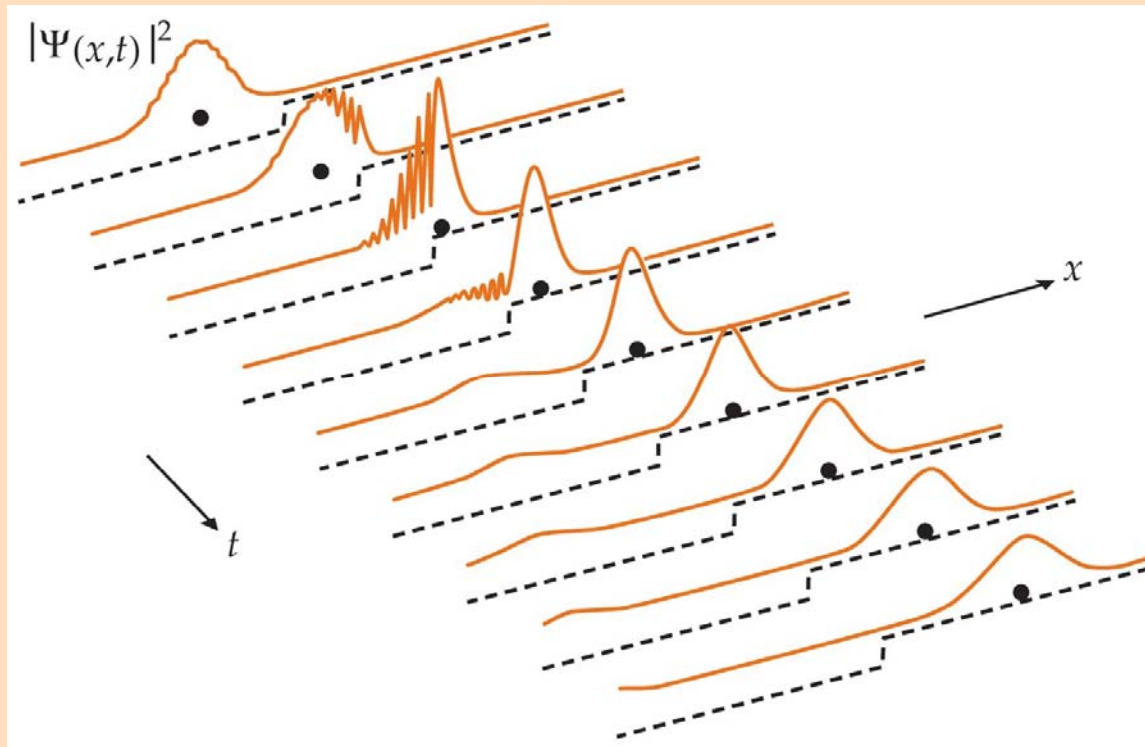


Epílogo:

Fotones

El nacimiento de una nueva Física



La física hacia 1900:

Partículas y Ondas

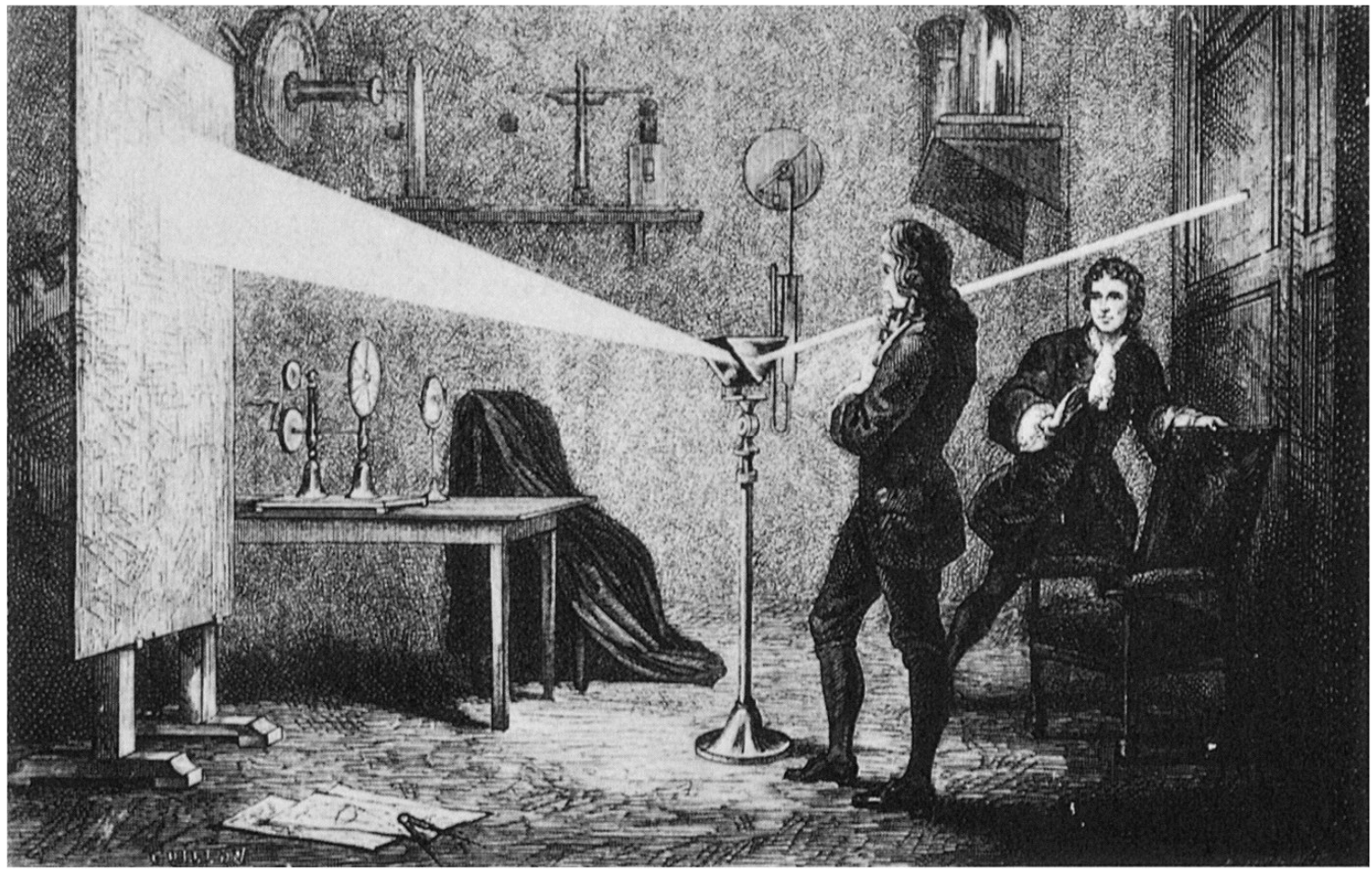
PARTICULAS

- Localizadas en el espacio
- Parámetros característicos:
Posición y
Velocidad bien
definidos

ONDAS

- Deslocalizadas en el espacio
- Parámetros característicos:
Longitud de onda
(λ) o Frecuencia (ν)

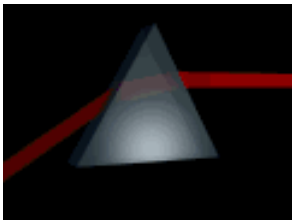
Breve historia de la luz



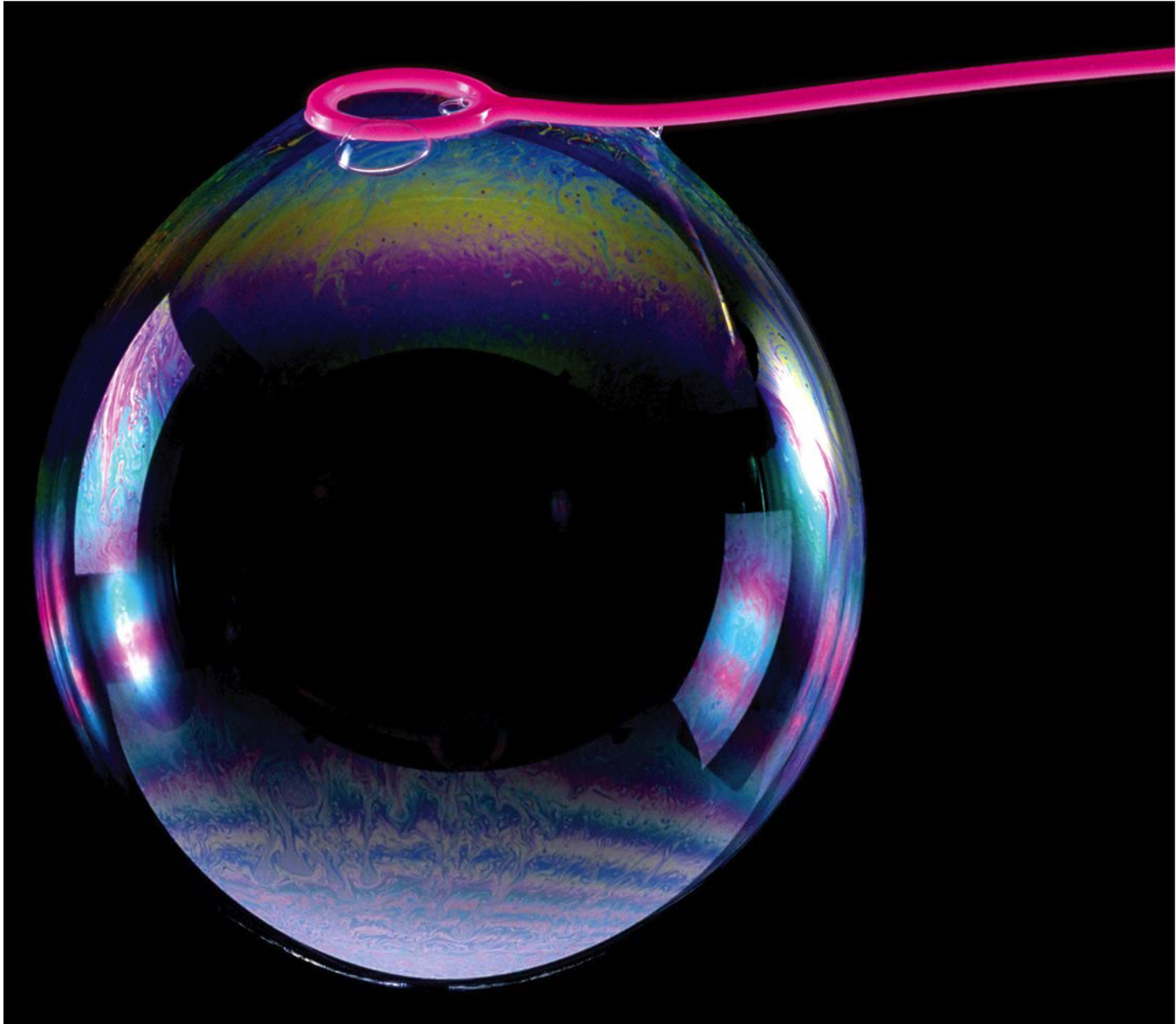
Sir Isaac Newton (1643-1727)



En 1667, publica su primer trabajo sobre la descomposición de la luz.



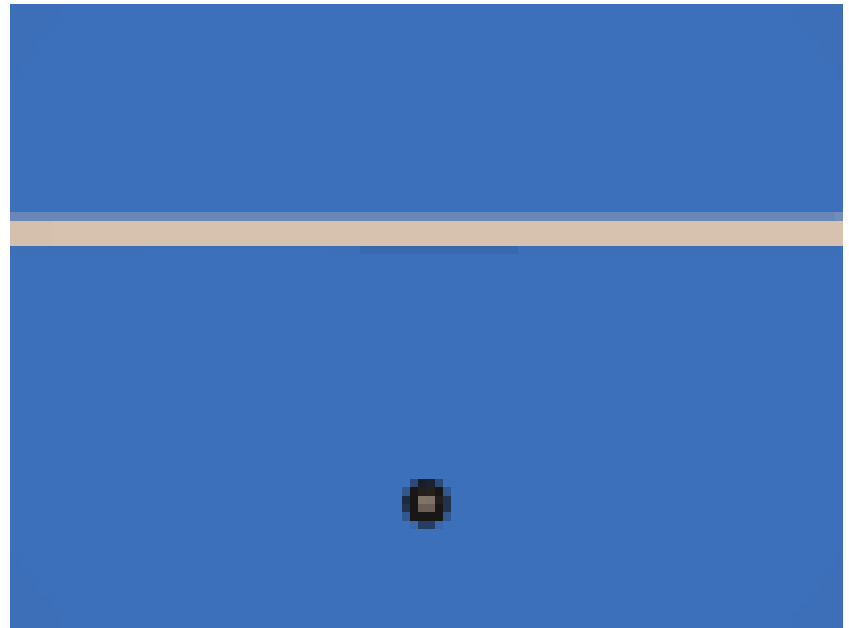
Elabora una Teoría Corpuscular de la Luz (Antecesoros: Lucrecio, Gassendi, etc)...



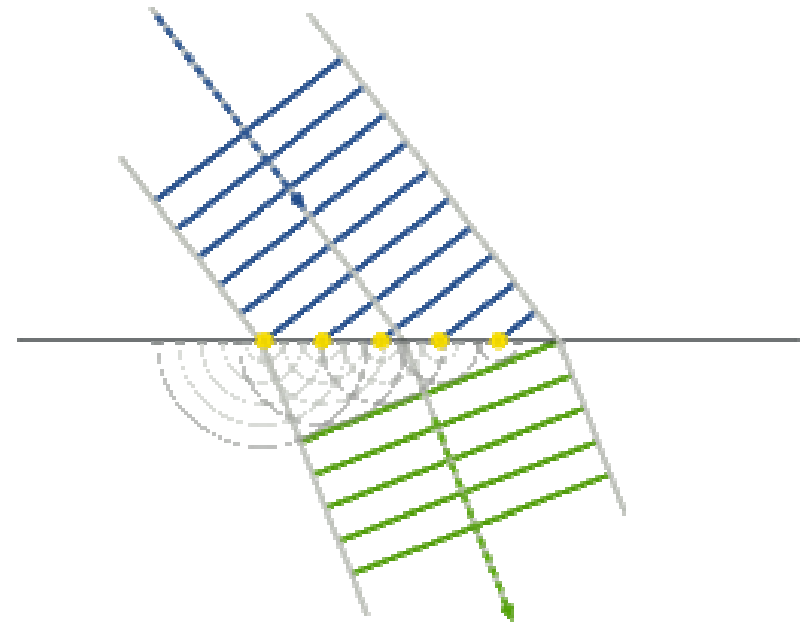
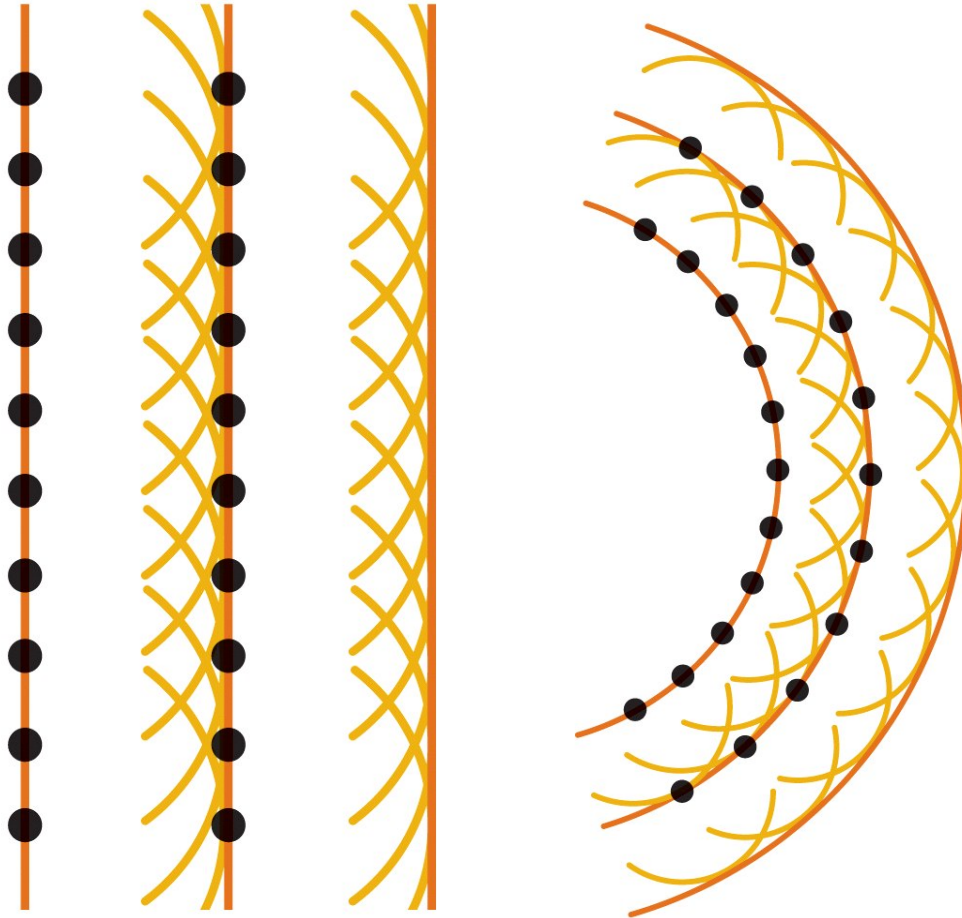
Christian Huygens (1629-1695)



**Teoría ONDULATORIA de la Luz
(1678)(Antecesoros: Descartes, Hooke, etc)**



Principio de Huygens: cada punto luminoso de un frente de ondas puede considerarse una nueva fuente de ondas.



Thomas Young (1773-1829)

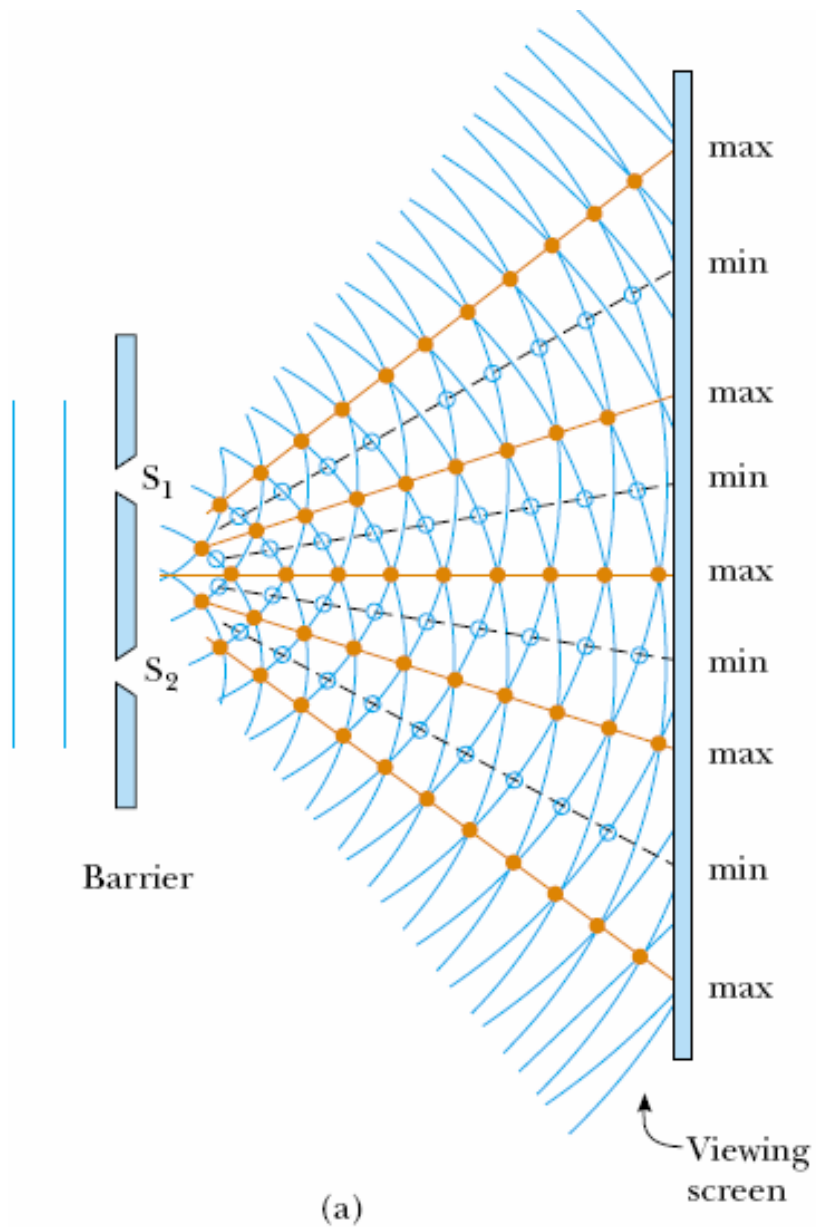


Físico (...pero también médico...y egiptólogo!)

Experiencia de la Doble Rendija
(1801):

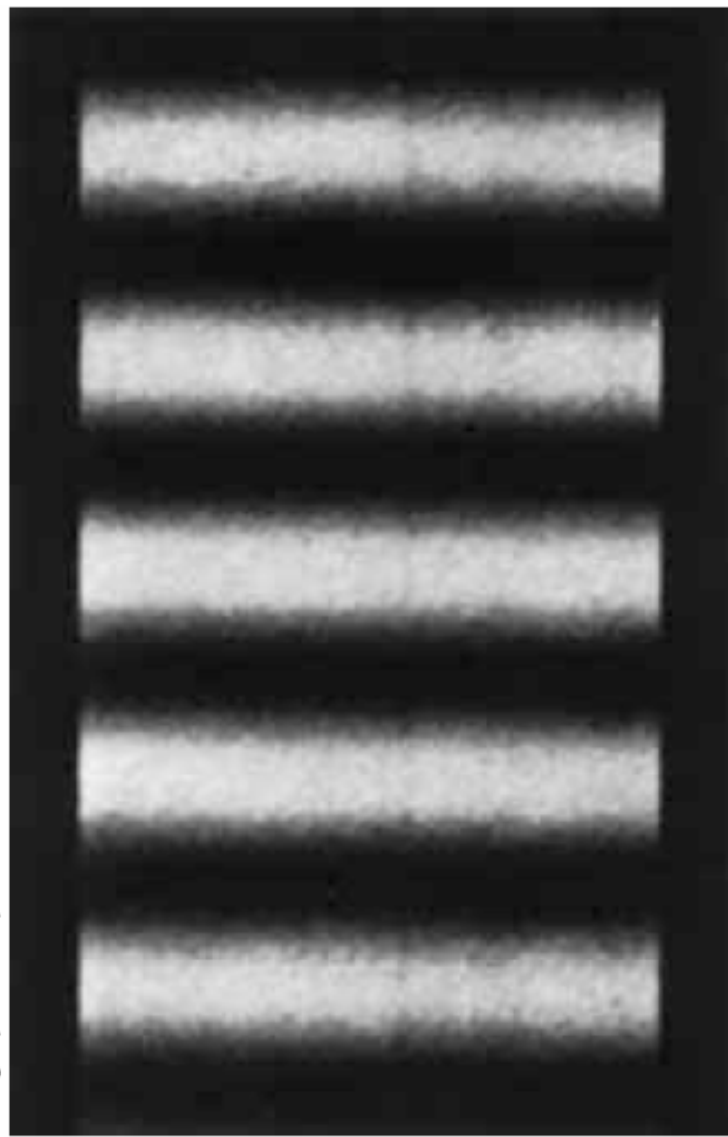
La Luz presenta aspectos de ONDA!



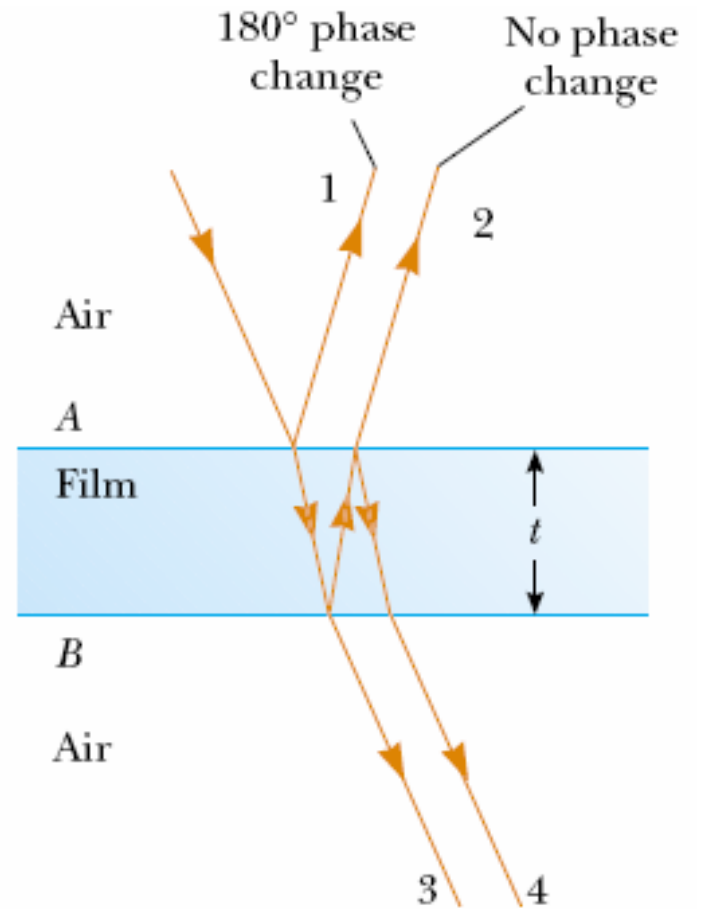


(a)

M. Cagnet, M. Francon, J. C. Thier



(b)

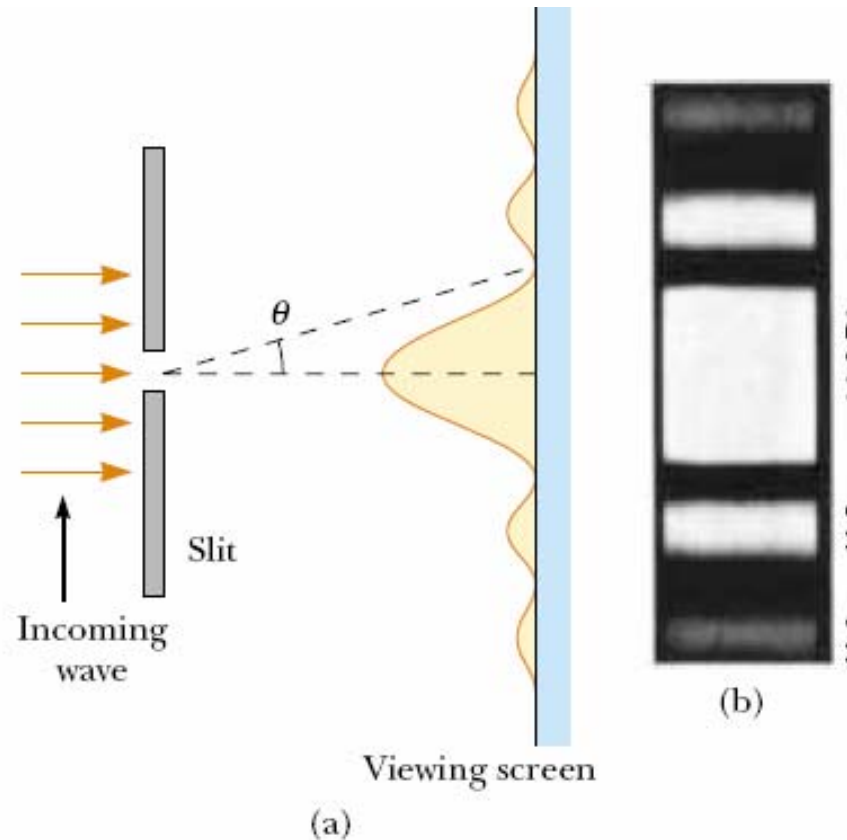
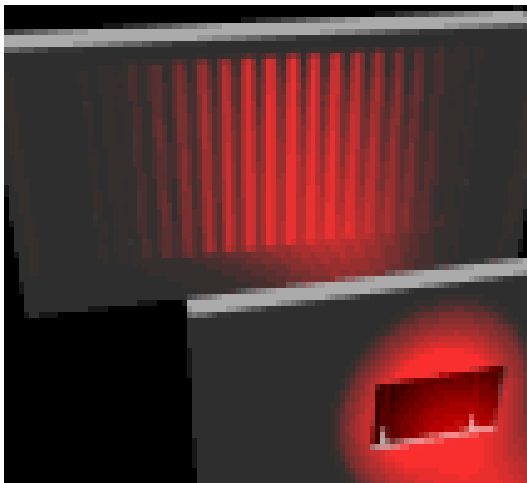


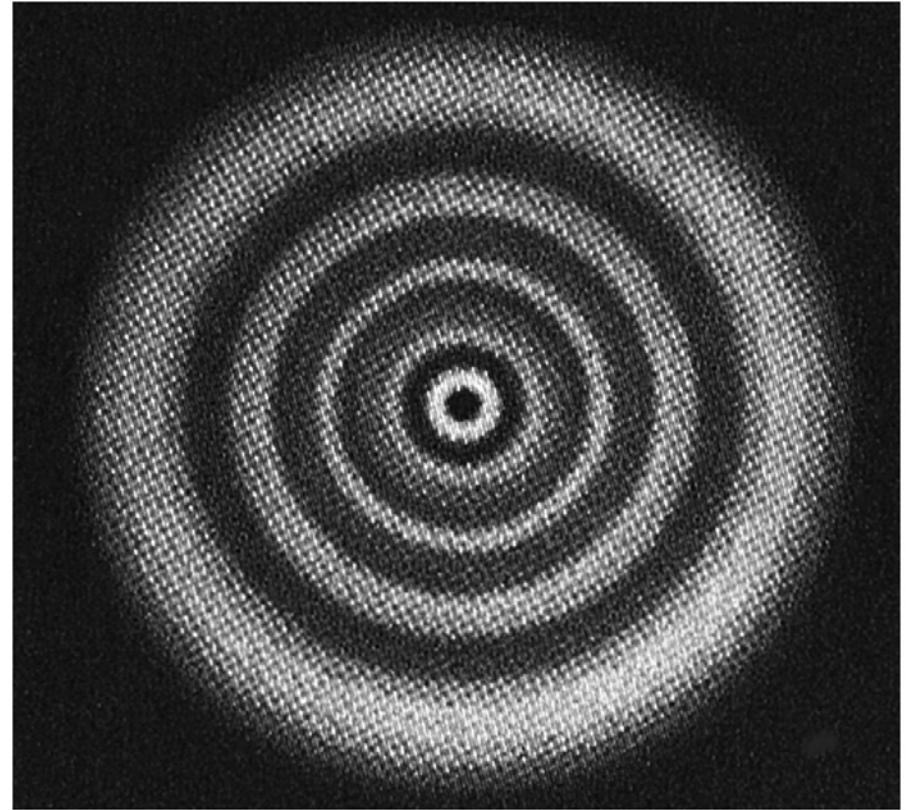
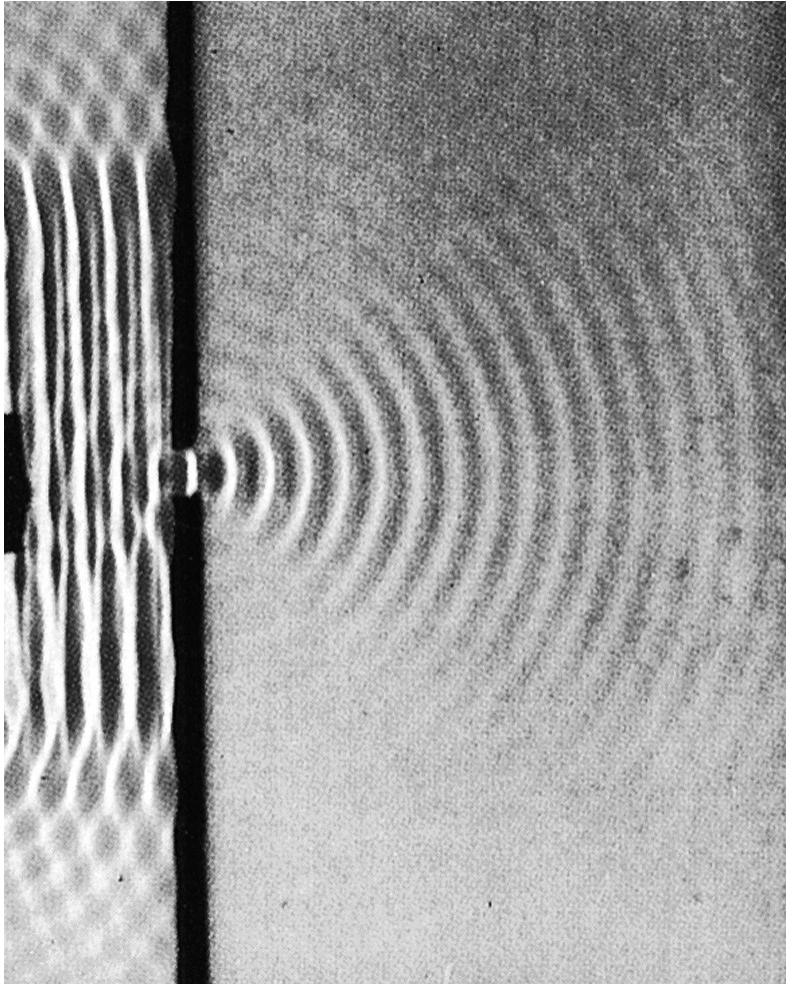
Augustin Fresnel (1788-1827)

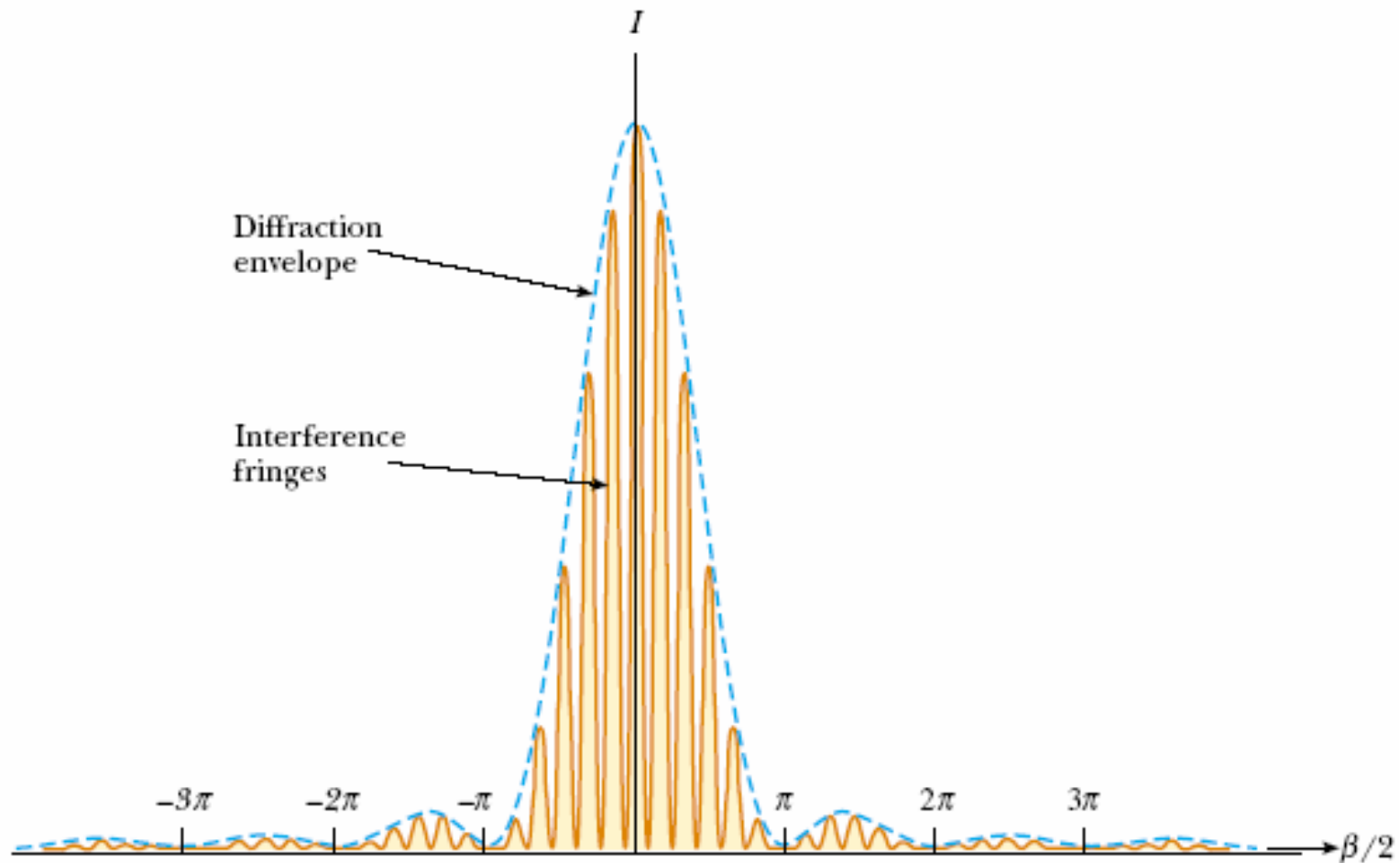


Interferencia y Difracción

Bases matemáticas de la teoría ondulatoria







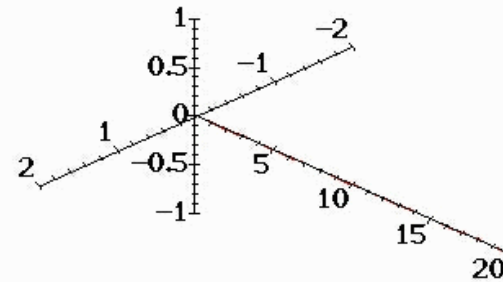
Courtesy of Central Scientific Company



James Maxwell (1831- 1879)

En 1865, Maxwell demuestra que la Luz...

...es una *onda electromagnética!*



En 1887, Hertz
descubre las “Ondas
Hertzianas”!



La Física hacia 1900

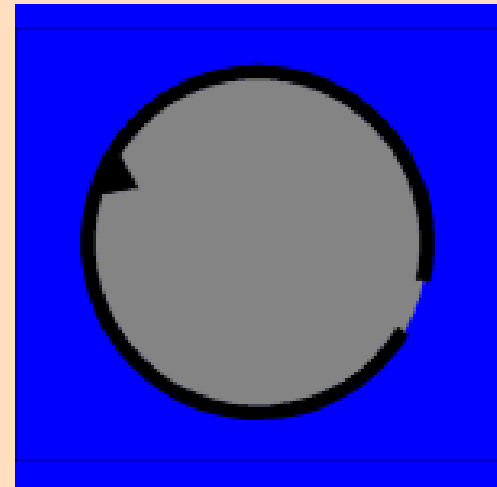
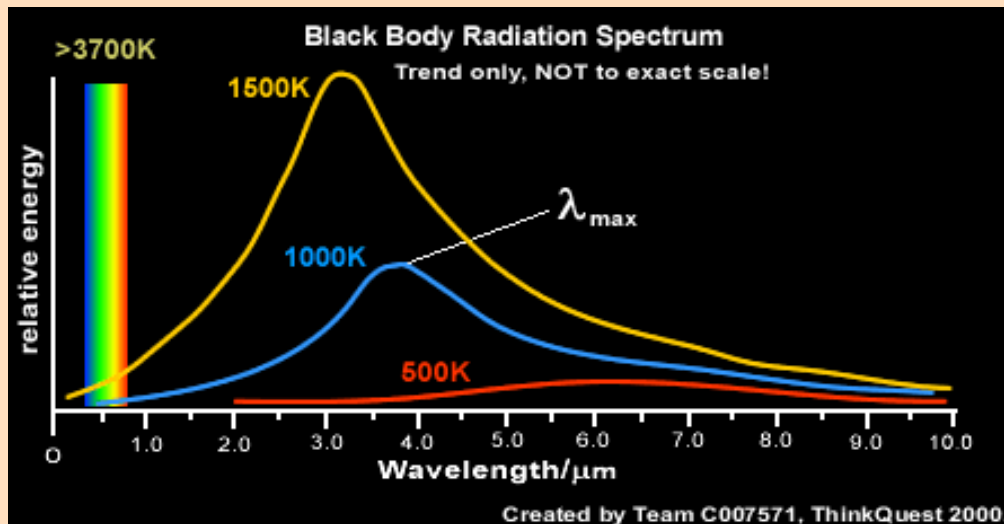
- **Mecánica (leyes de Newton)**
- **Electromagnetismo (Ecs. de Maxwell)**
- **Termodinámica clásica (Principio de conservación de la energía y otros)**

Explican CASI todos los fenómenos conocidos...

EXCEPTO...



Radiación del cuerpo negro

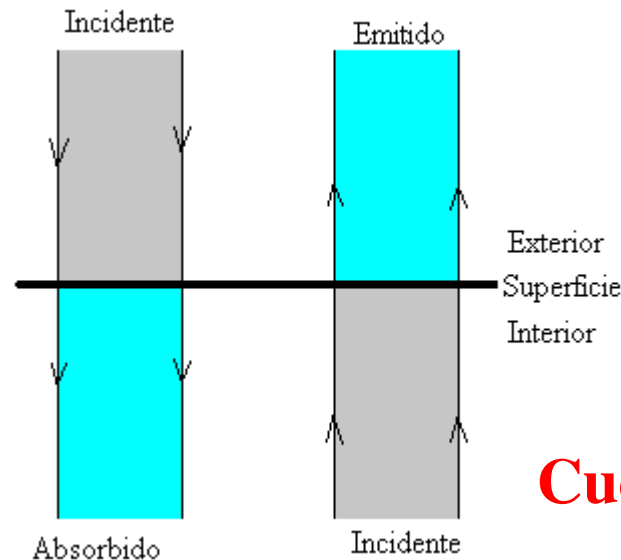
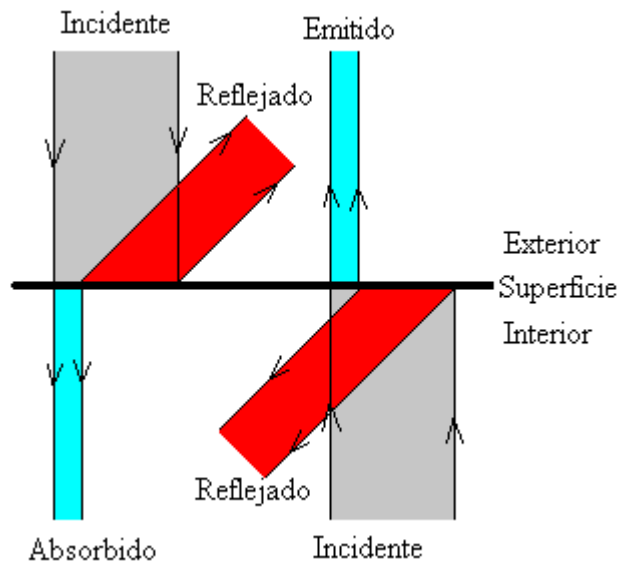


Radiación térmica \Rightarrow **Radiación emitida por un cuerpo como consecuencia de su temperatura**

El espectro de radiación térmica emitida por un cuerpo depende de la composición del mismo.

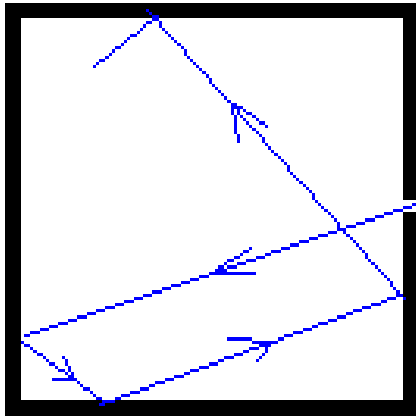
Cuerpo Negro \Rightarrow

emiten espectros térmicos de características universales

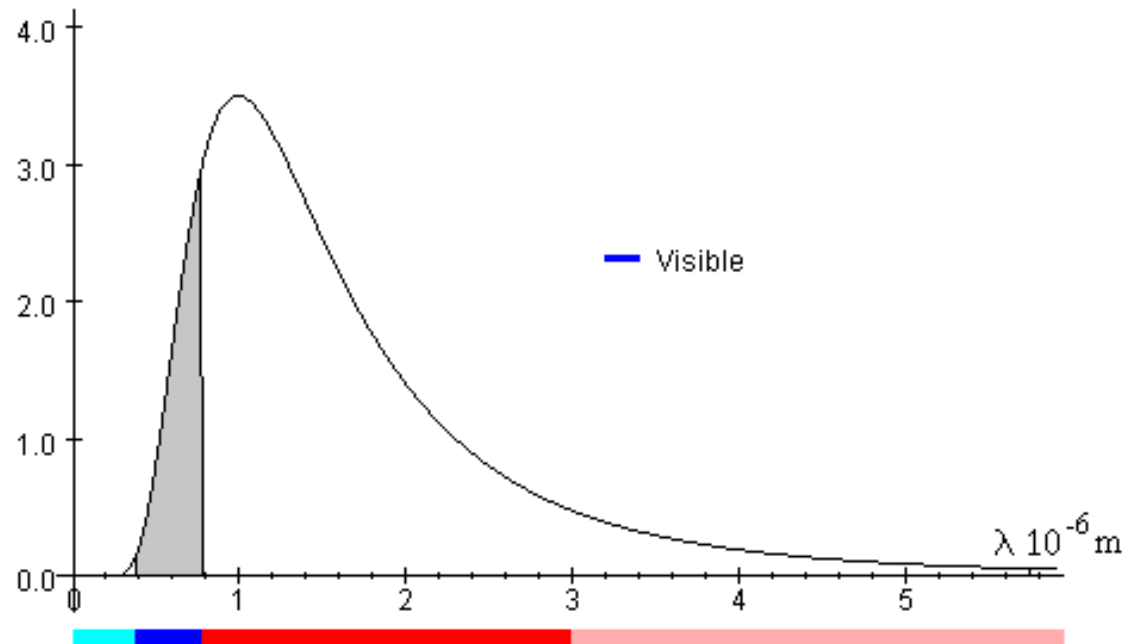


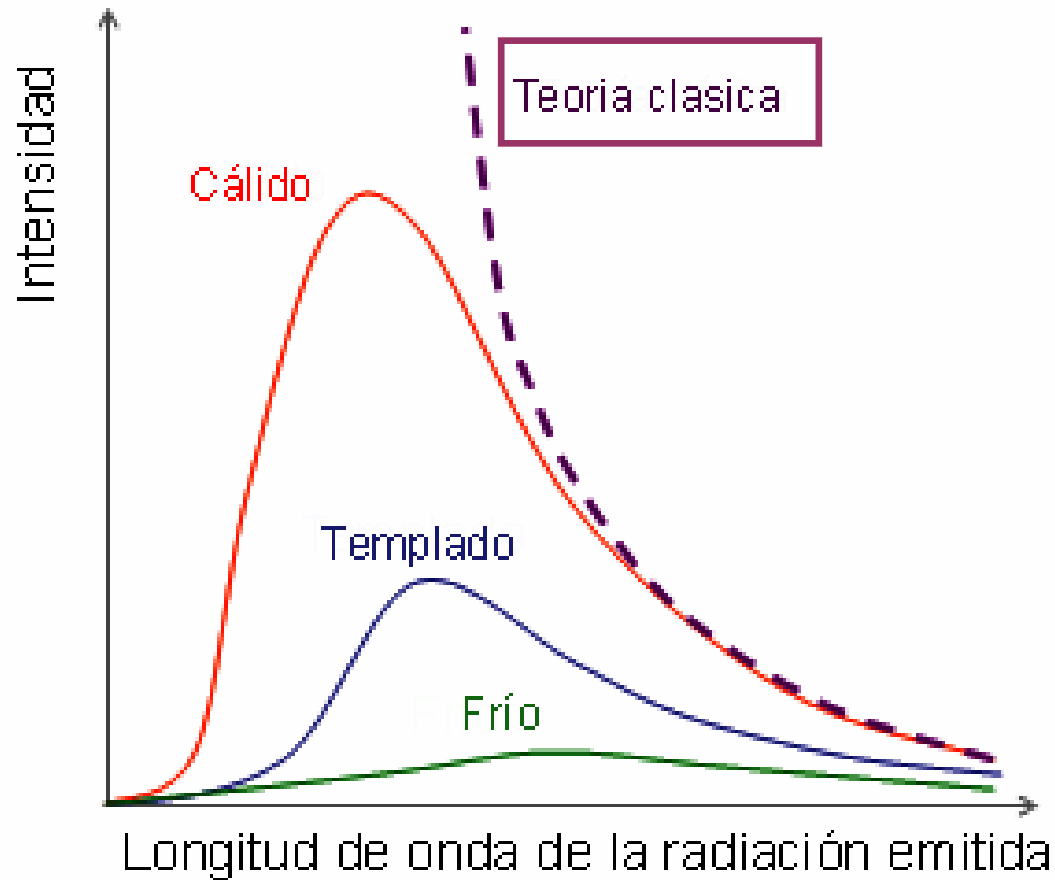
Cuerpo Negro

No existe en la naturaleza un cuerpo negro, incluso el negro de humo refleja el 1% de la energía incidente. Sin embargo, un cuerpo negro se puede sustituir con gran aproximación por una cavidad con una pequeña abertura.



T

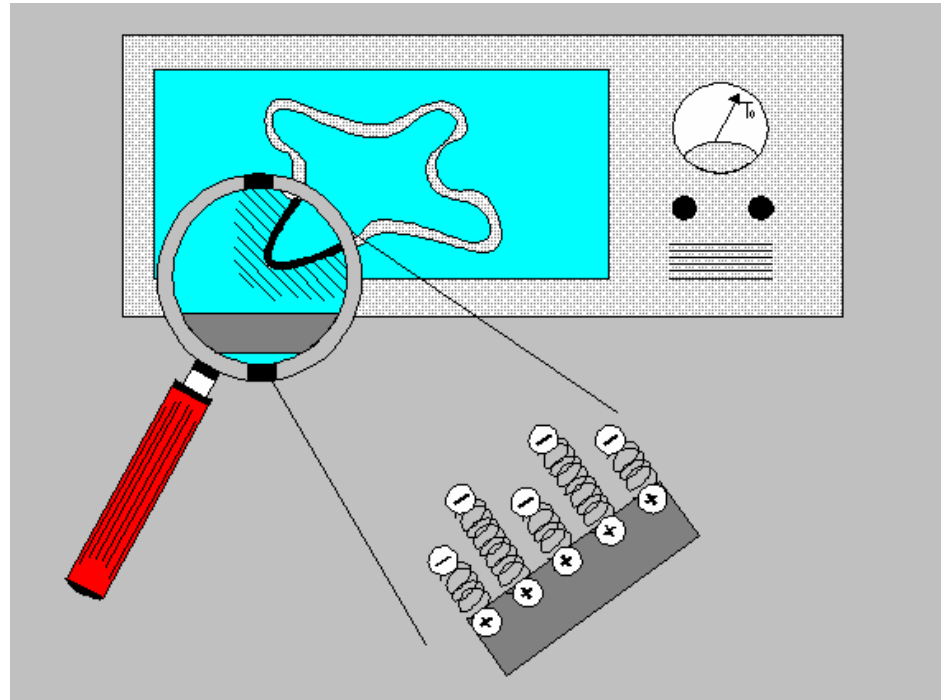




Catástrofe Ultravioleta

Max Planck (1858-1947)

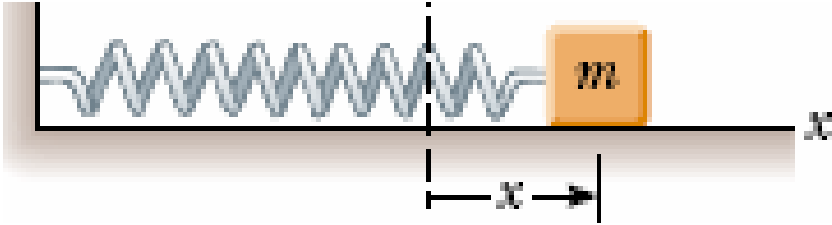
Hipótesis Cuántica (1900)



$$E = hf$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

constante de Planck

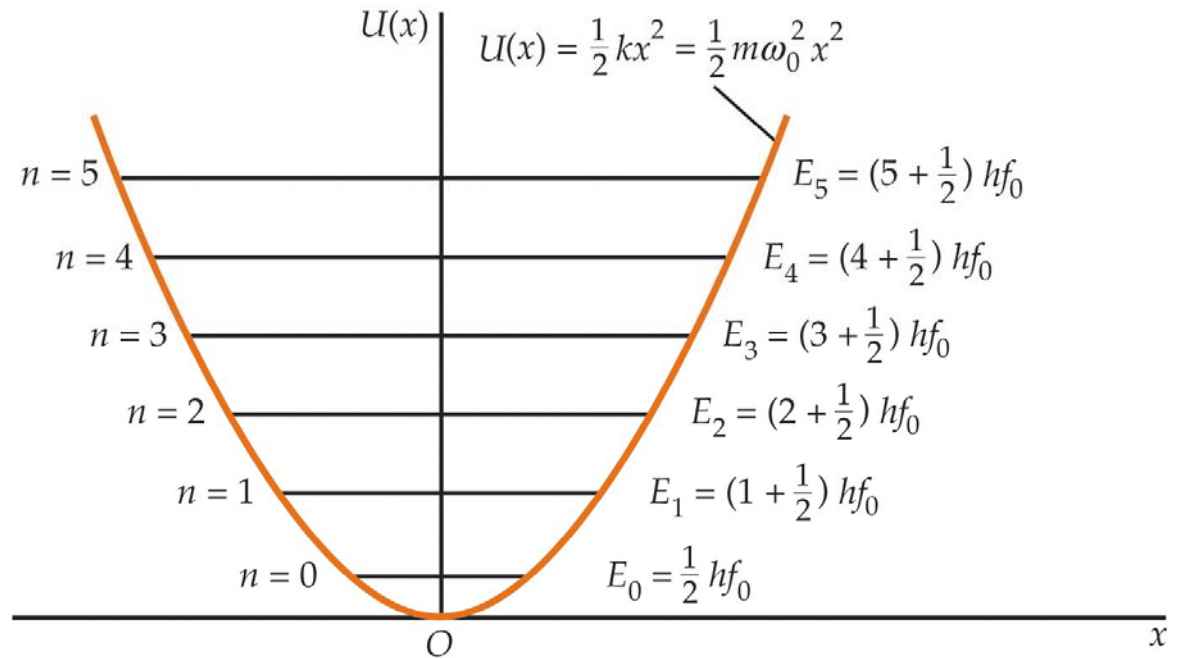


$$\omega = (k/m)^{1/2}$$

$$f = \omega/2\pi$$

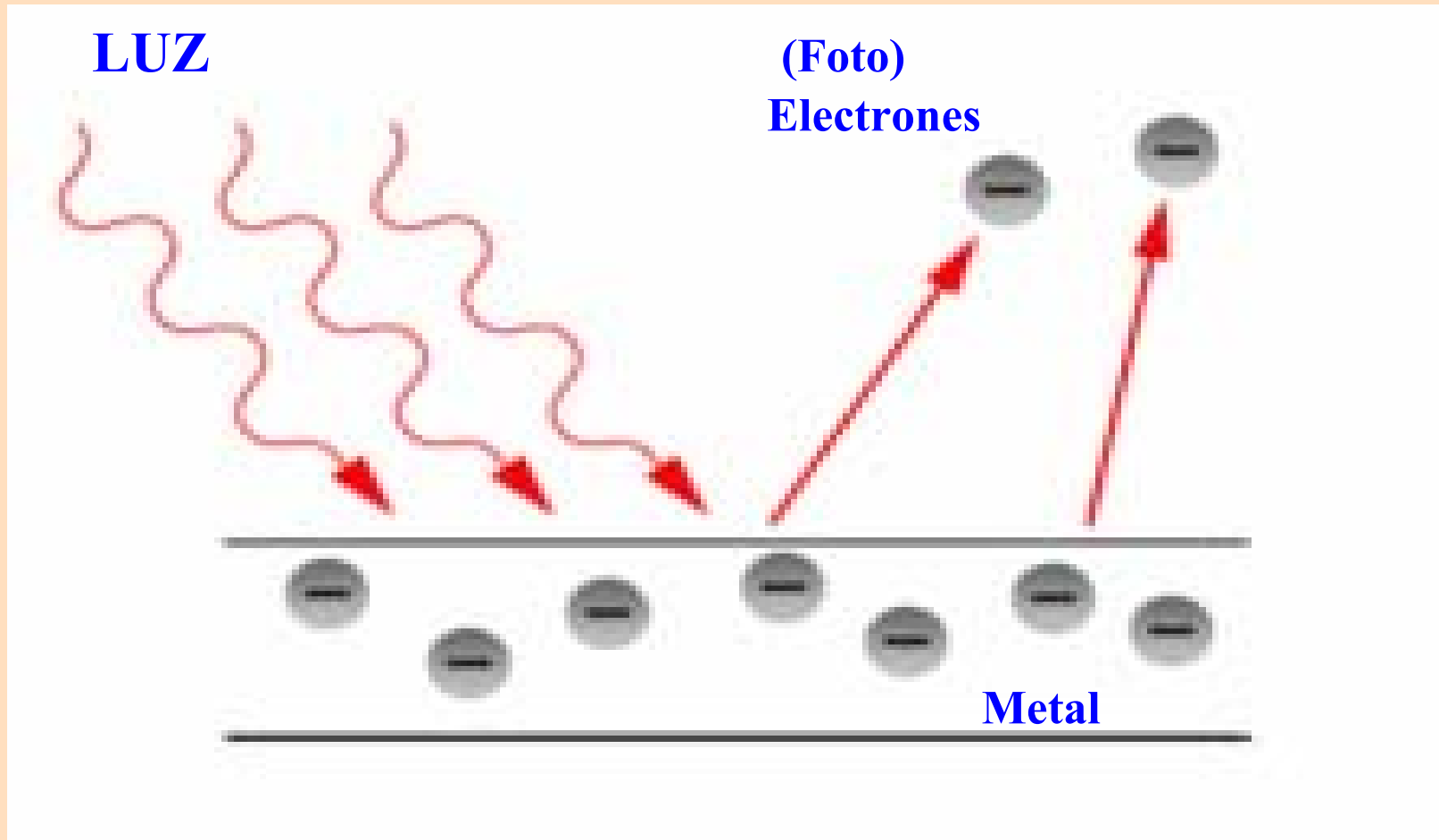
$$E_T = \frac{1}{2} k x^2$$

Planck



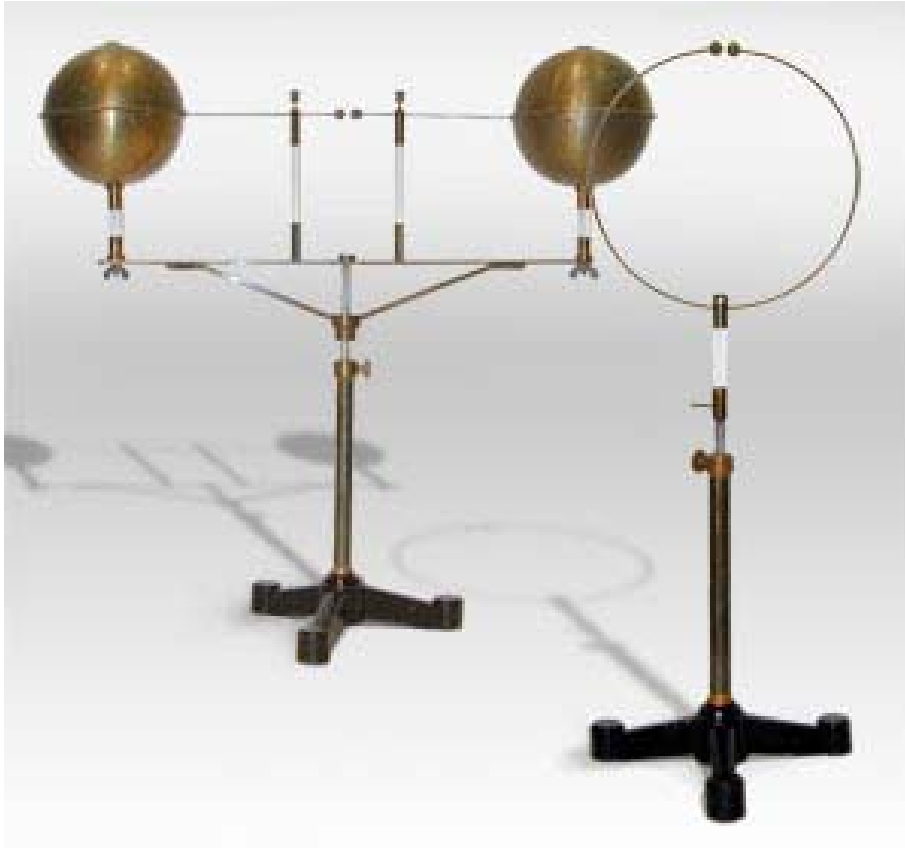
Discretización de la Energía!

Efecto Fotoeléctrico



Emisión de electrones por absorción de Luz

En 1887, Hertz descubre las Ondas EM...

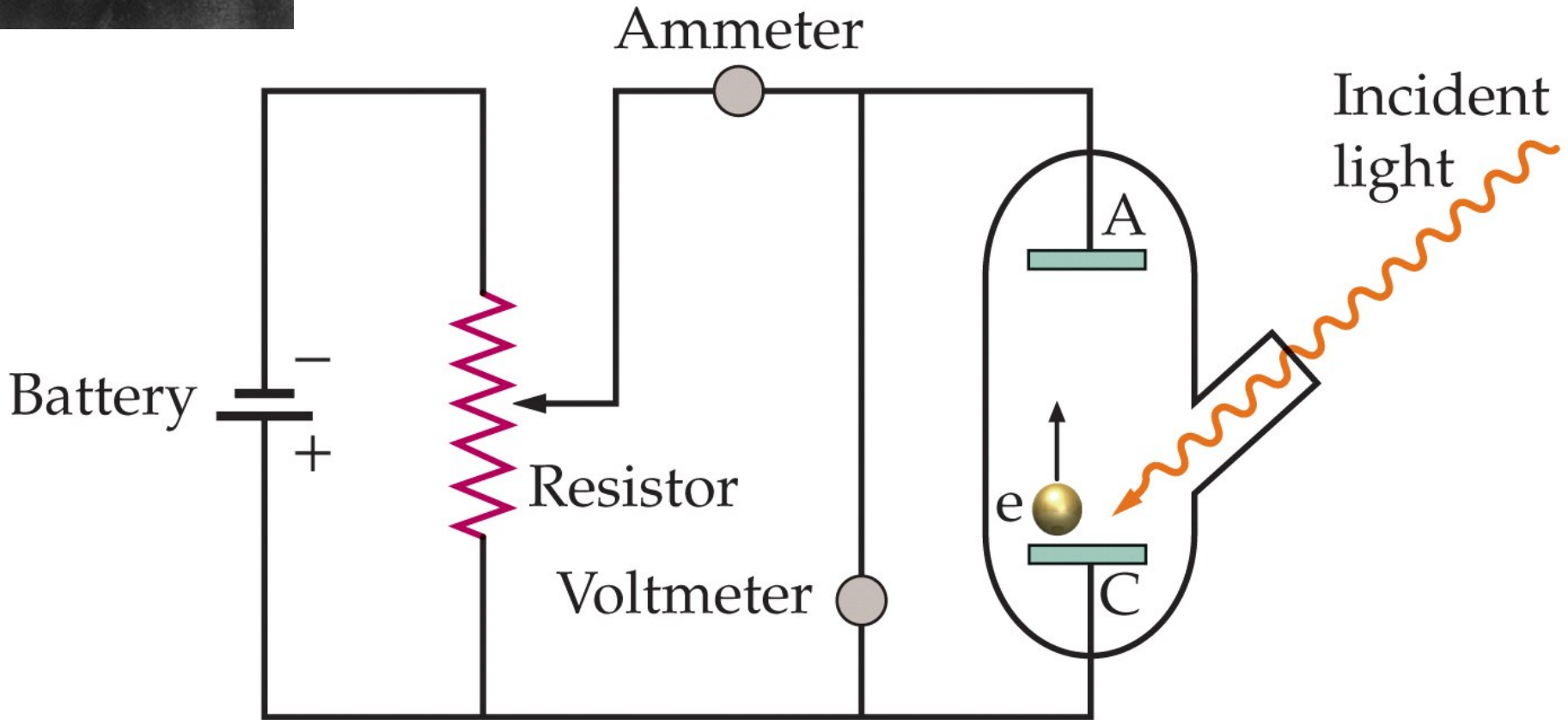


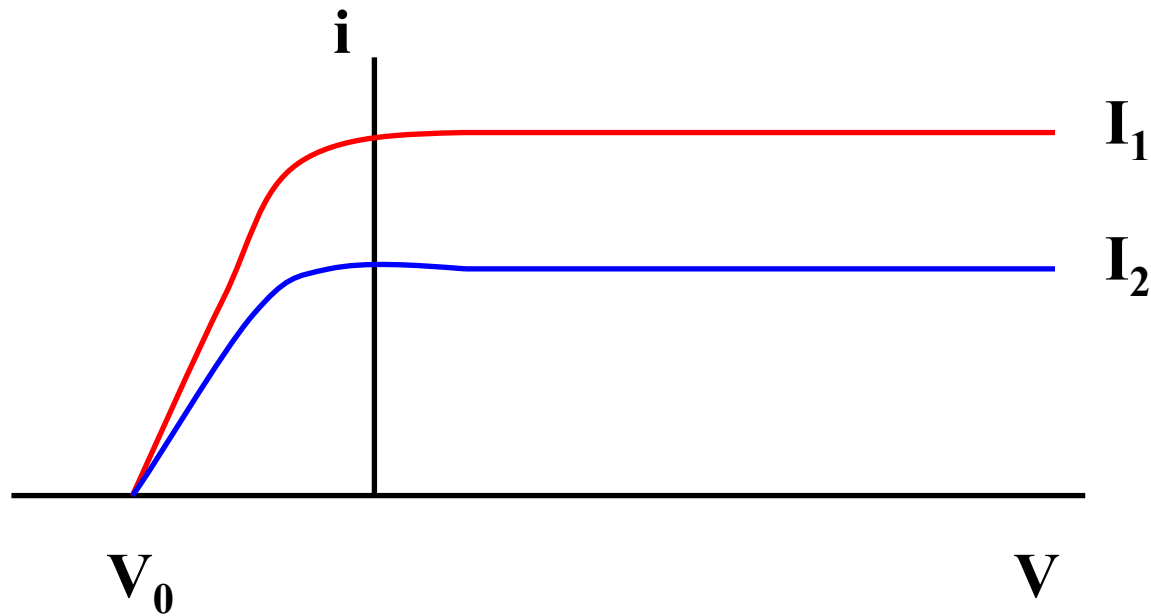
...Y ALGO MAS!

**La chispa del
Receptor es más
intensa cuando éste es
expuesto a la luz UV
del Transmisor!**

Hertz observó también el *EFECTO FOTOELECTRICO!*

Philipp Lenard (1862-1947)





$$K_{\max} = eV_0$$

V_0 : potencial de frenado

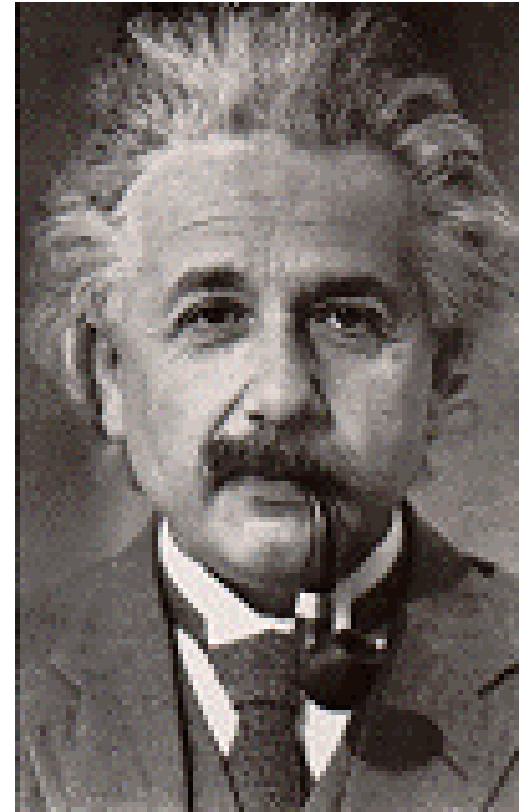
La energía cinética de los fotoelectrones no depende de la intensidad de la luz

Albert Einstein (1905)

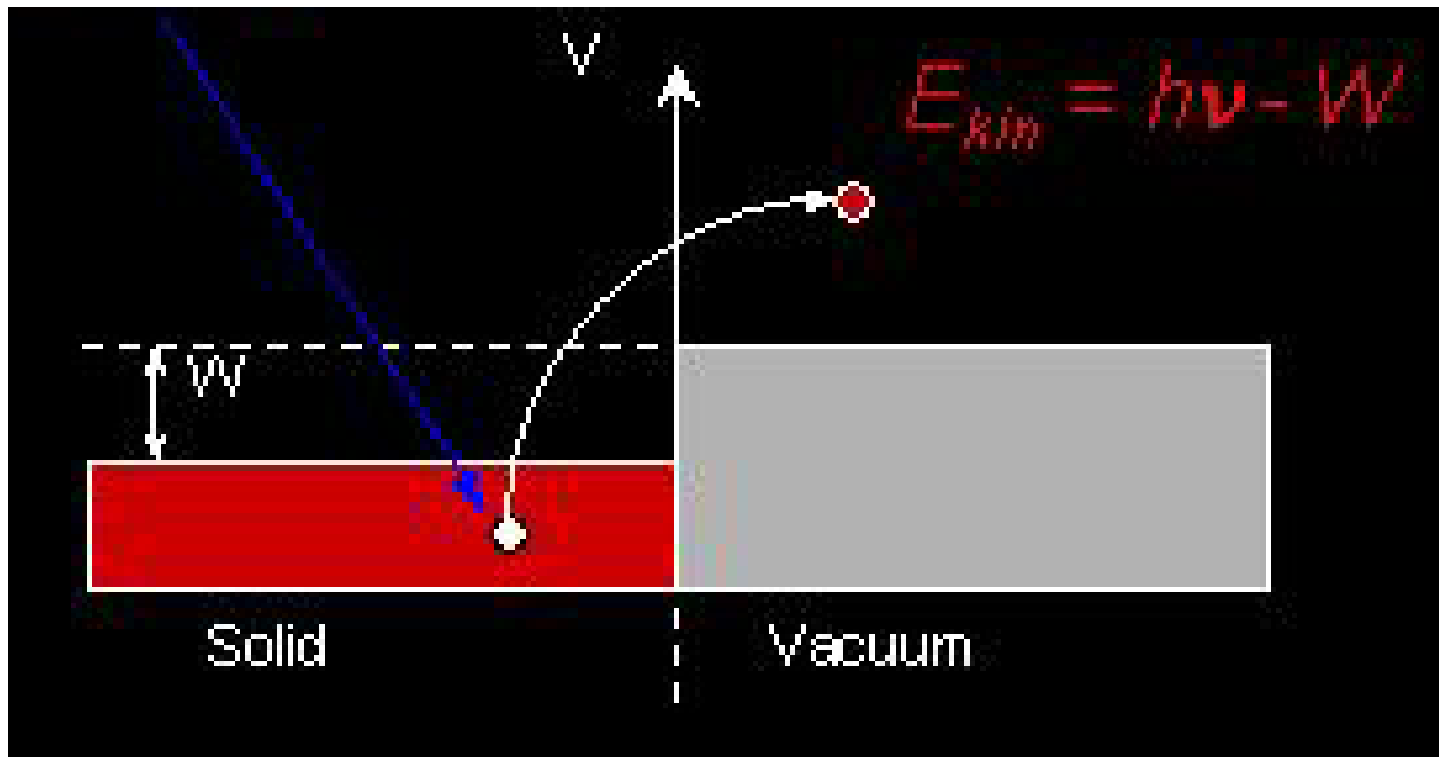
Todo o Nada

La luz está compuesta de “cuantos” (partículas) de energía:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$



$$E = h \nu$$

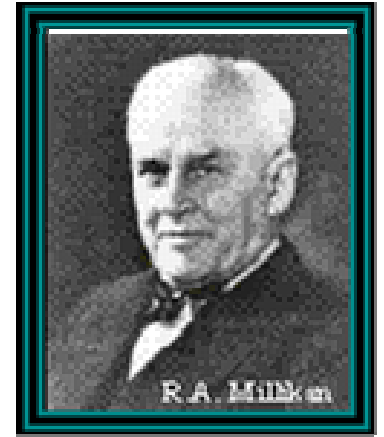


$$K_{\text{max}} = \left(\frac{1}{2} m v^2\right)_{\text{max}} = hf - \phi$$

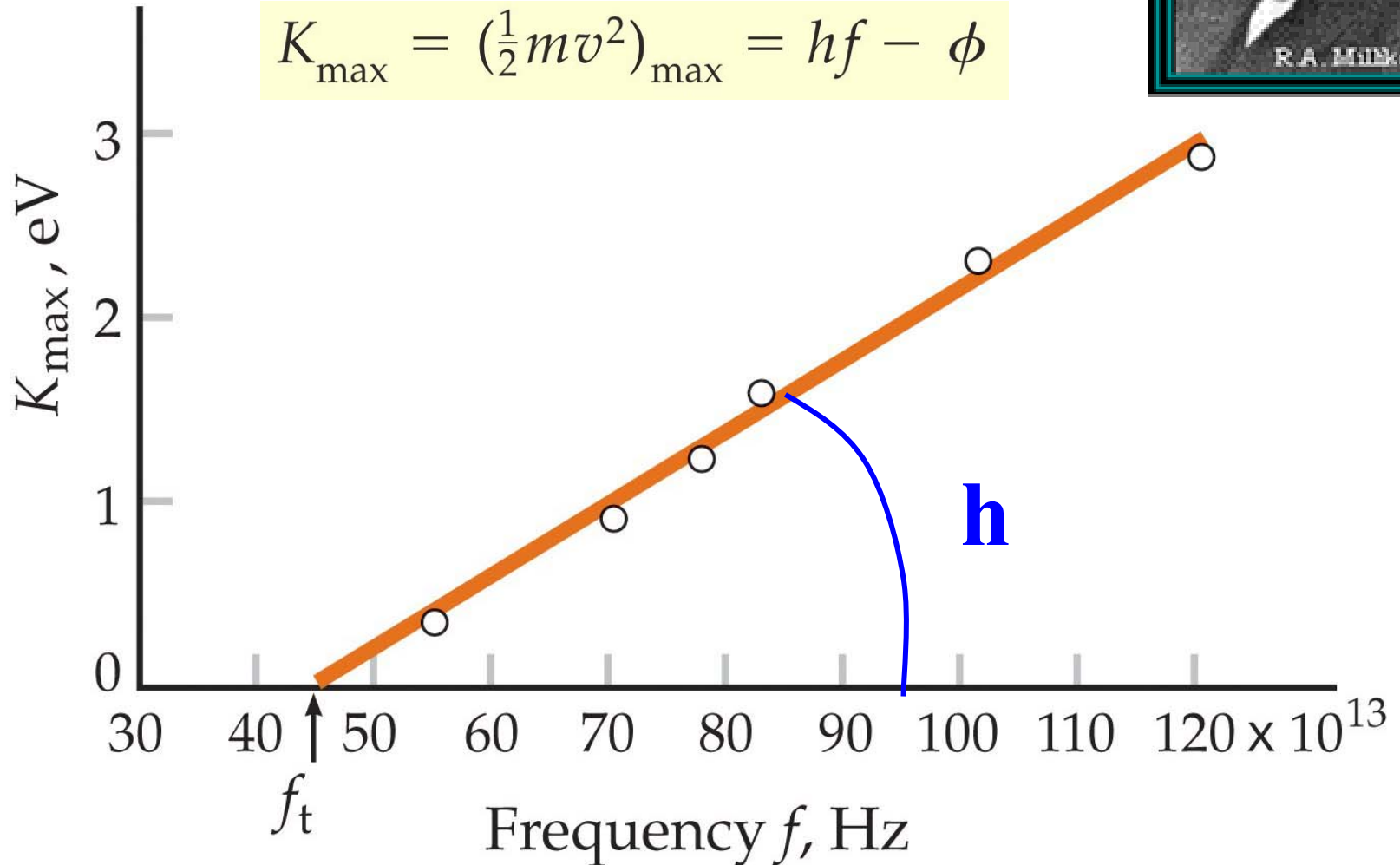
Resistencias

- **En 1906, Millikan inicia una serie de mediciones...para REFUTAR a Einstein!**
- **Max Planck (Discurso de admisión de Einstein a la Academia Prusiana de Ciencias, 1913): “Einstein...a veces pierde el camino en sus especulaciones, como con los Cuantos de Luz”.**
- **En 1916, Millikan (después de 10 años de trabajo experimental!) publica sus resultados que...**

Robert Millikan (1914)



$$K_{\max} = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\max} = hf - \phi$$



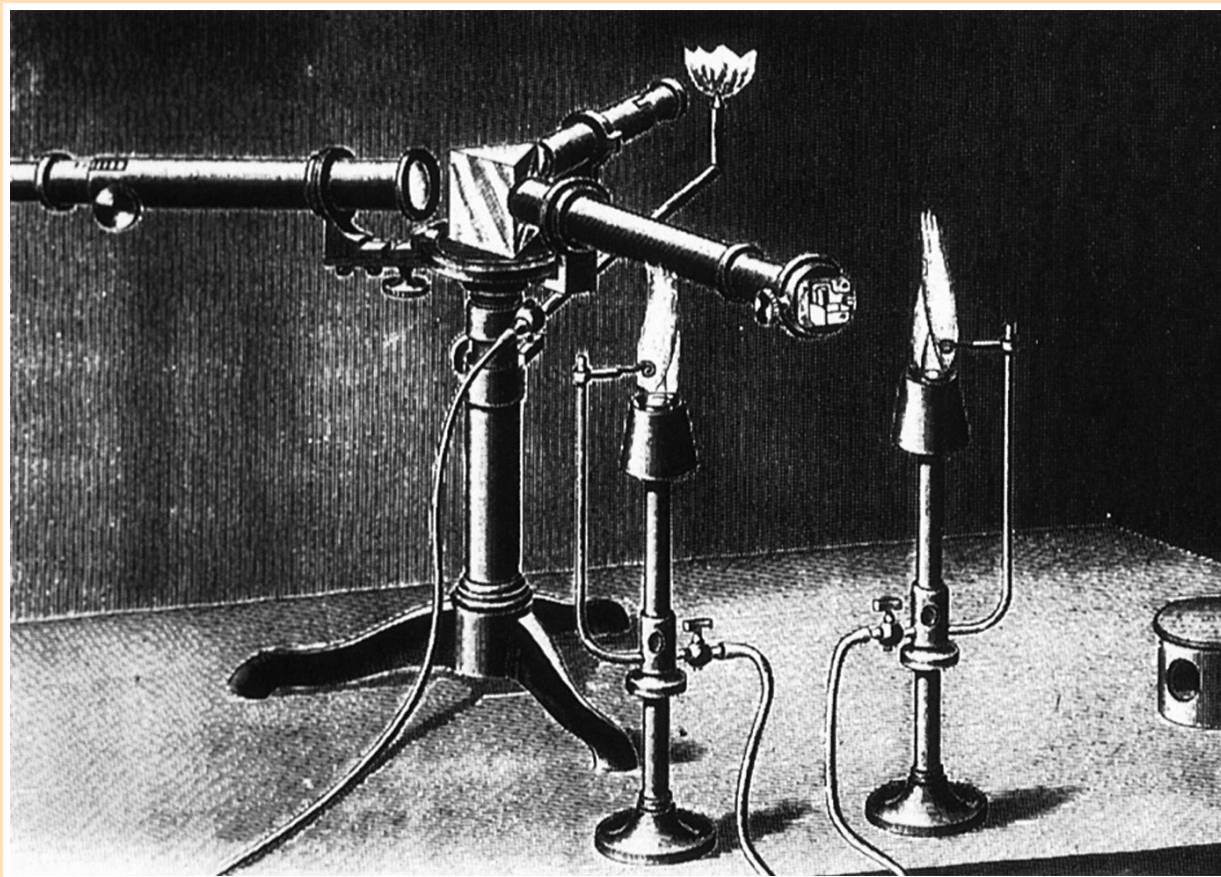
..sin embargo, tanto Millikan como casi toda la comunidad científica ..sigue sin creer en los cuantos de Luz!...Excepto...



Niels Bohr (1885-1962)

El modelo del átomo de
Hidrógeno

Concepción Atómica de la Materia



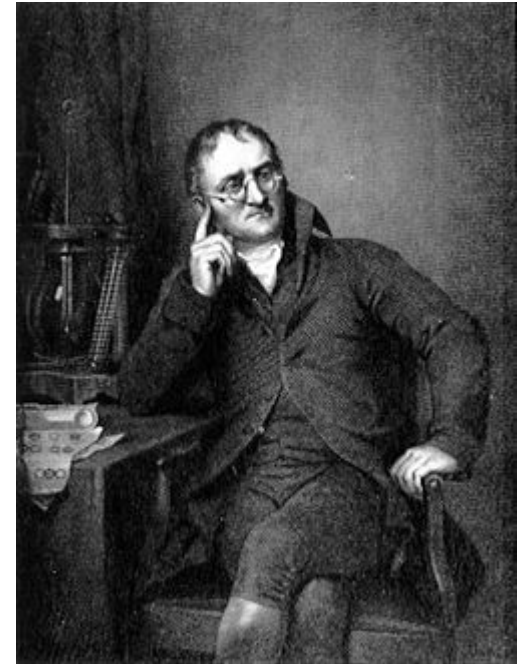
Los primeros atomistas



Antoine Lavoisier
(1743-1794)



Joseph Gay-Lussac
(1778 – 1850)



John Dalton
(1766 -1844)



Amedeo Avogadro (1776 - 1856)



**Ludwig Edward Boltzmann
(1844 – 1906)**

**Descripción matemática del
comportamiento de los gases**

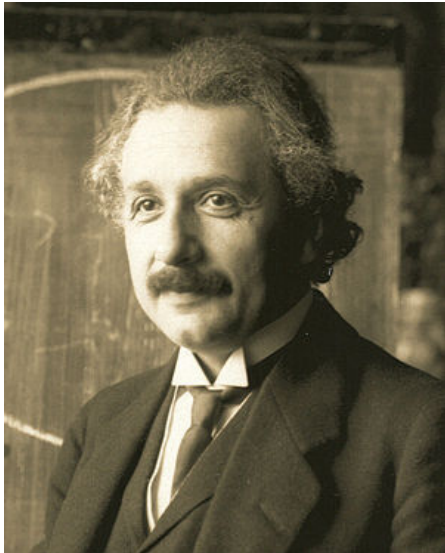
Mecánica Estadística

La dura oposición a su trabajo, la hipótesis de la existencia de átomos, que todavía no estaba demostrada completamente, pudo haber causado trastornos psíquicos que le llevaría al suicidio en 1906.



Movimiento Browniano

Robert Brown (1773–1858)



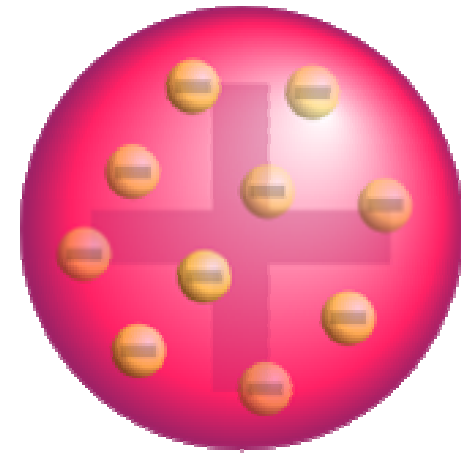
La explicación de Einstein proporcionaba una evidencia experimental incontestable sobre la existencia real de los átomos

1905: Annus Mirabilis

Descubrimiento de las partículas subatómicas

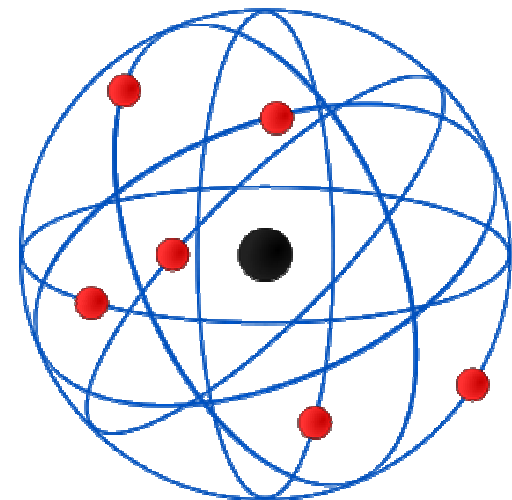
En 1897 J.J. Thomson descubrió el electrón

Modelo atómico de Thomson

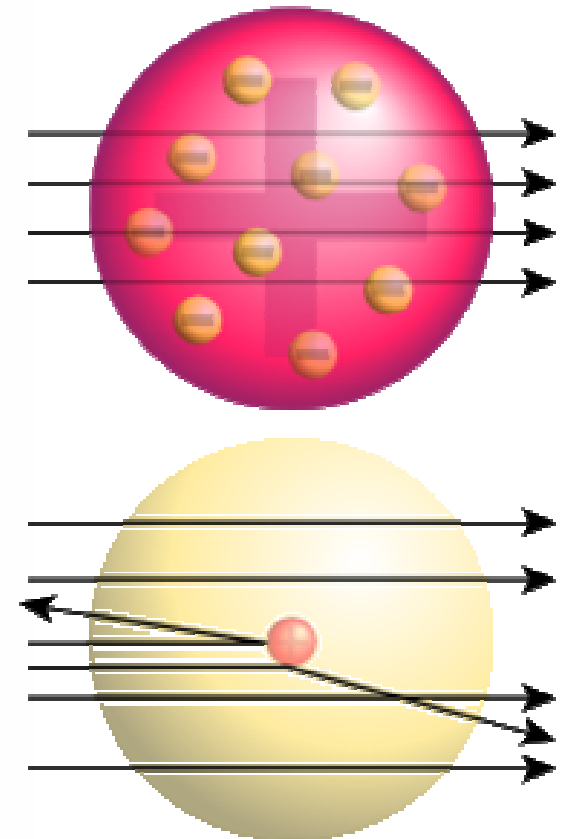
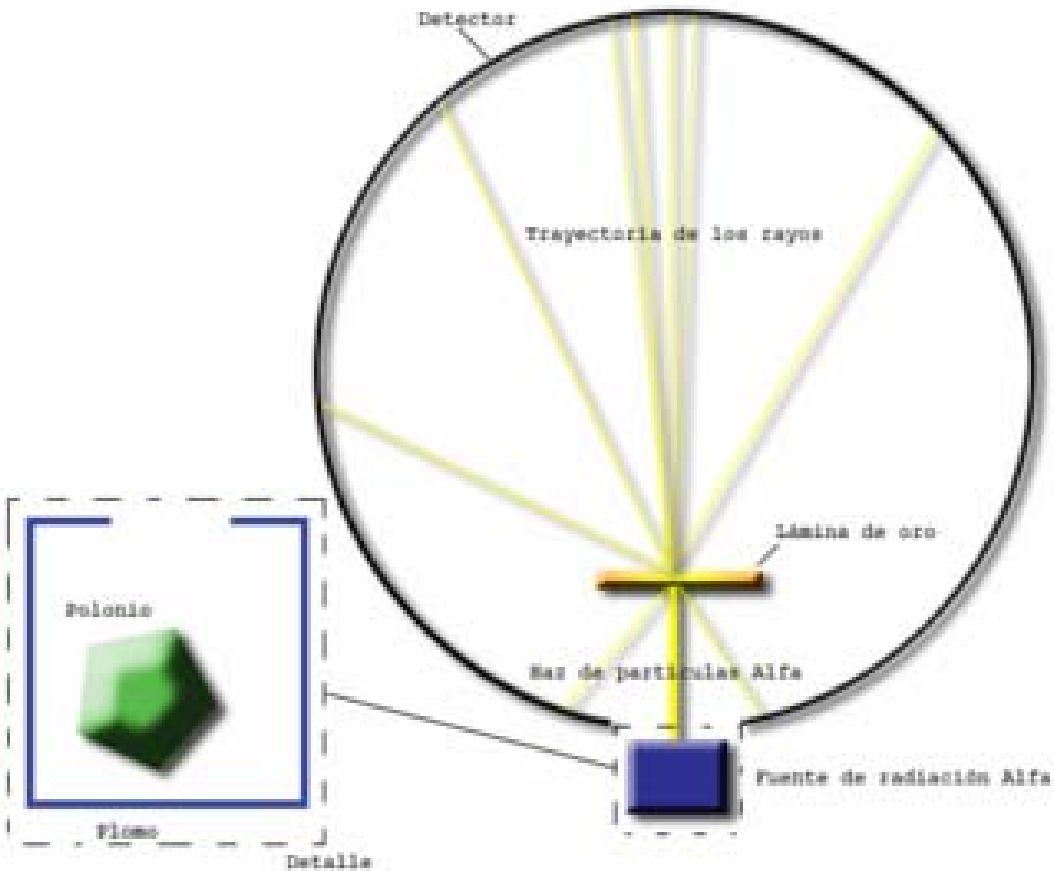


El átomo nuclear

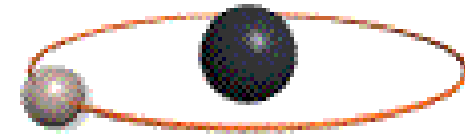
Ernest Rutherford
(1871 – 1937)



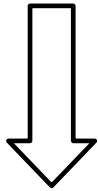
Ernest Rutherford en 1911



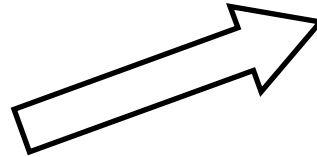
Problema de estabilidad



Los electrones están
acelerados



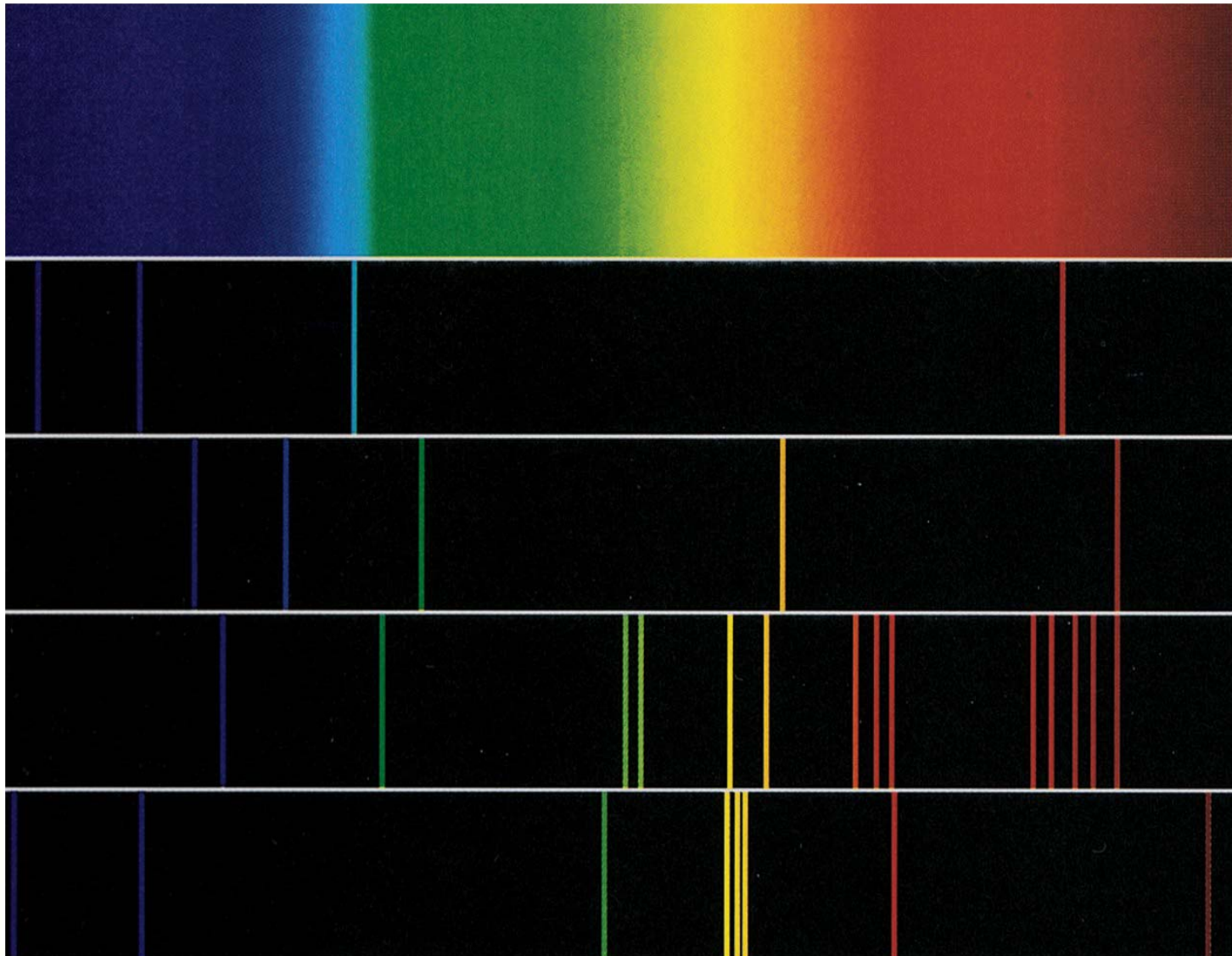
Emiten radiación



Los electrones
pierden energía y
“caen” hacia el núcleo

Los átomos emitirían un espectro
continuo de frecuencias

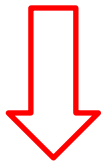
Espectros atómicos



Para superar las dificultades del modelo planetario de Rutherford, Bohr presenta en 1914 su modelo para el átomo de H utilizando las ideas de cuantificación.

$$L = n \frac{h}{2\pi}$$

$$L = n \hbar$$



$$R(n)$$

$$E(n)$$



Spectrum of Electromagnetic Radiation

Region	Wavelength (Angstroms)	Wavelength (centimeters)	Frequency (Hz)	Energy (eV)
Radio	$> 10^9$	> 10	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Microwave	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infrared	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visible	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultraviolet	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
X-Rays	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gamma Rays	< 0.1	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

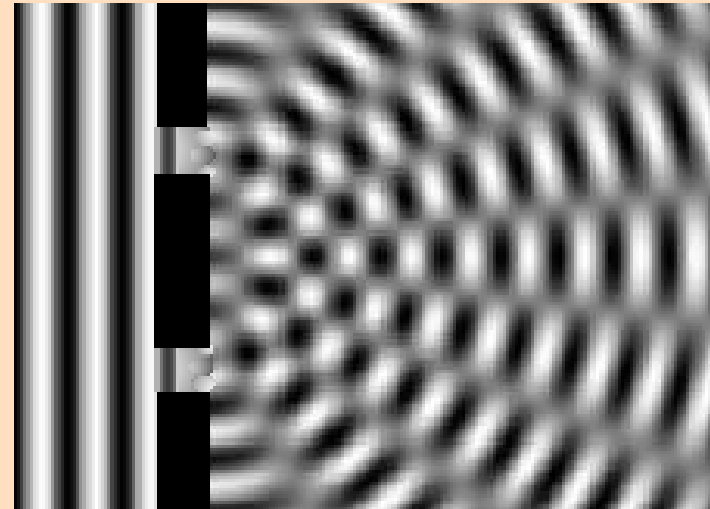
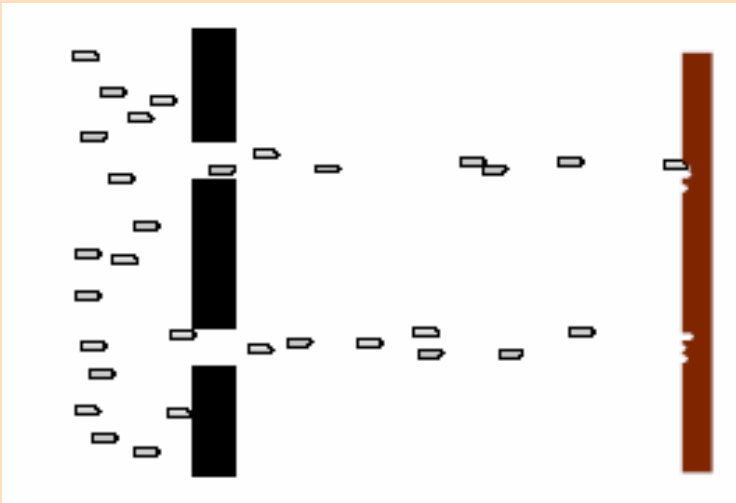


Propagación de la luz \longrightarrow **Prop. ondulatorias**

**Intercambio de energía
luz - materia** \longrightarrow **Prop. corpusculares**

Everything propagates like a wave and exchanges energy like a particle.

Dualidad Onda-Partícula



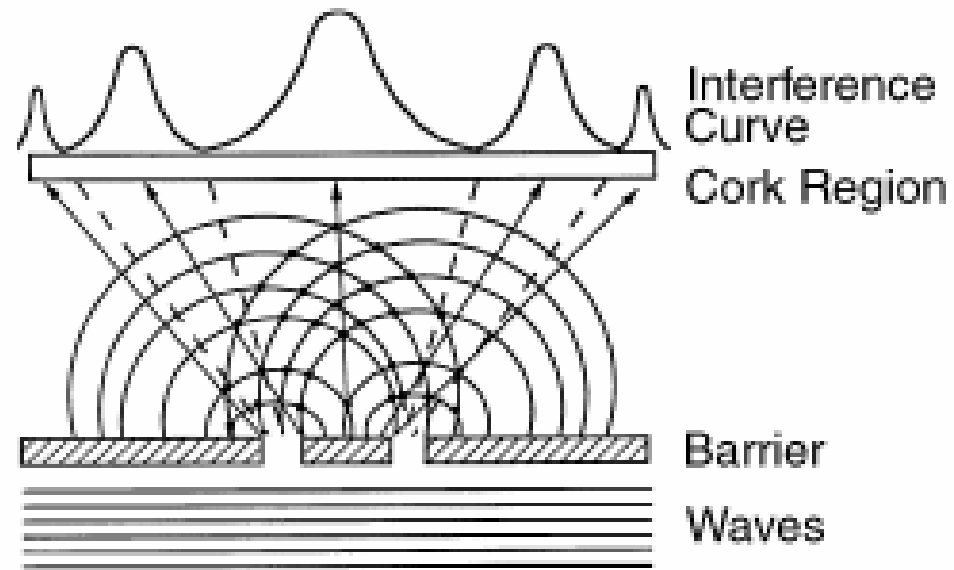
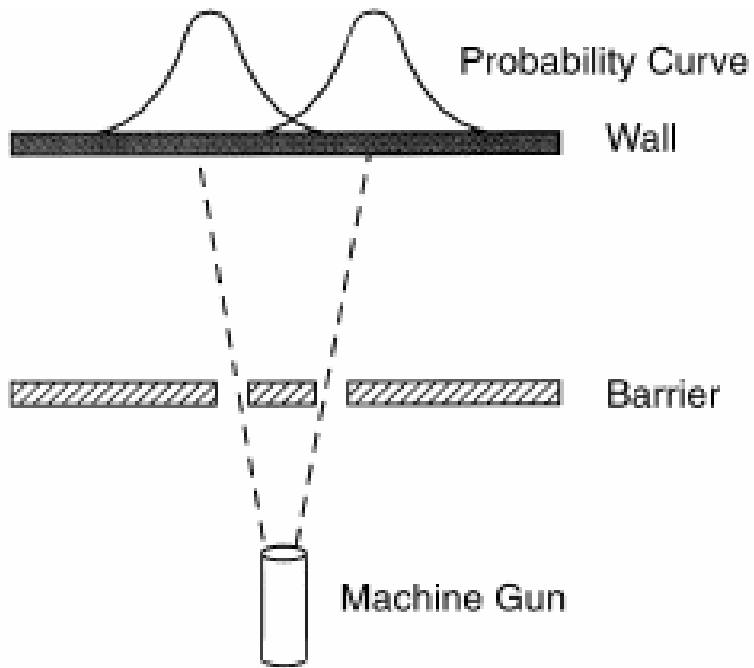


En 1924, Louis de Broglie asigna una longitud de onda al electrón.

$$f = \frac{E}{h}$$

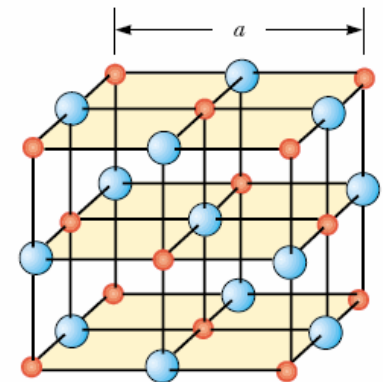
Relación de de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

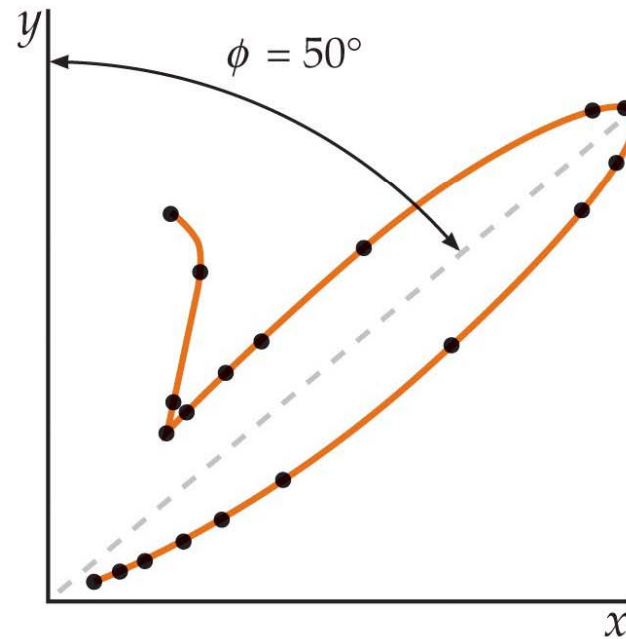
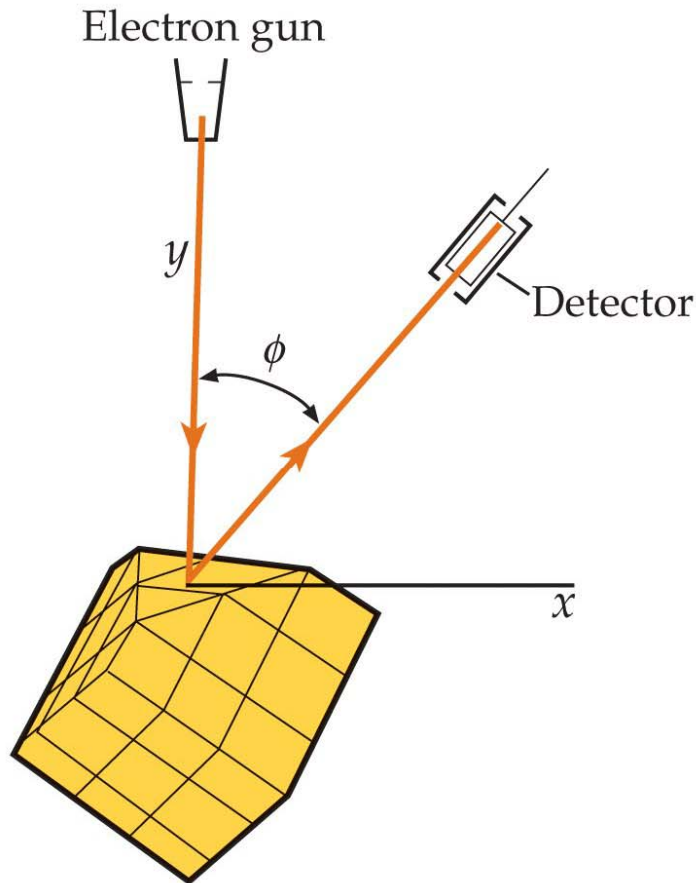


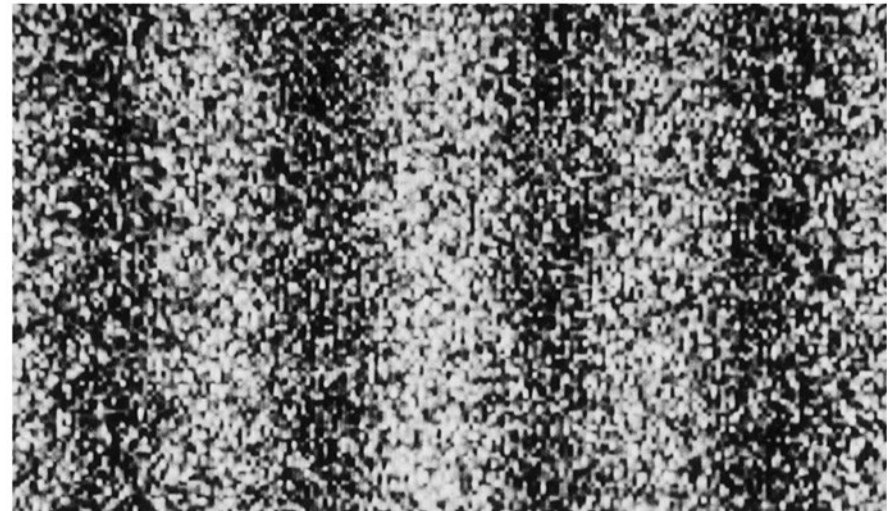
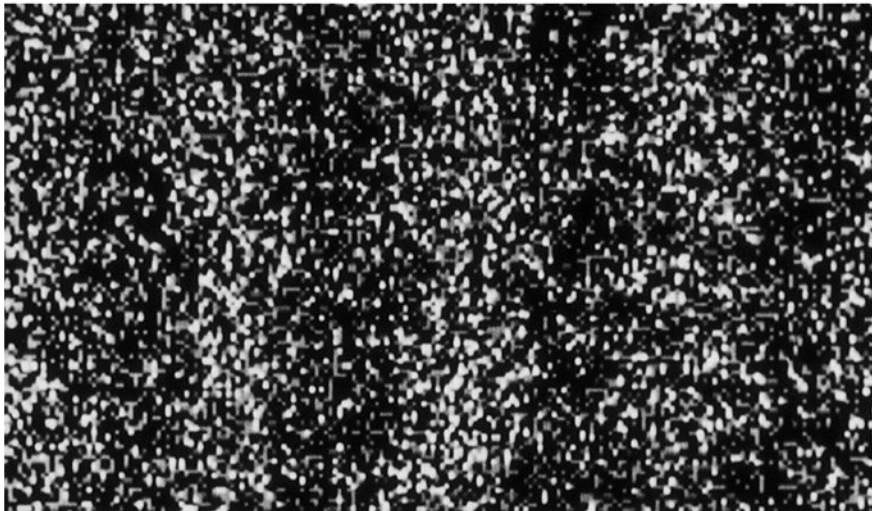
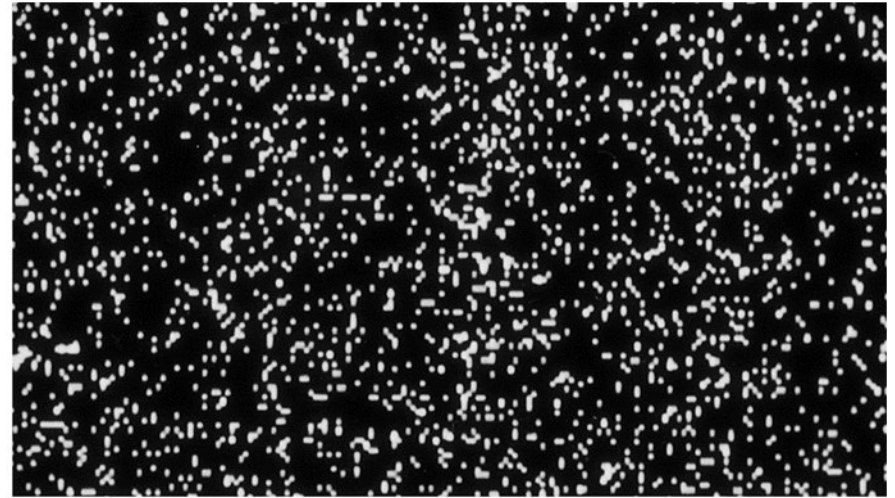
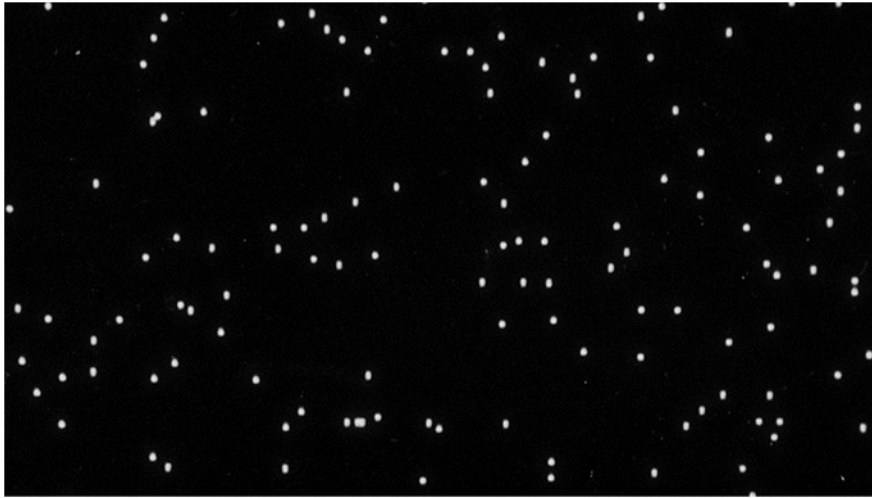
1) Pelota $m = 1 \text{ Kg}$ $v = 10 \text{ m/s}$ $\implies \lambda = 10^{-34} \text{ m} = 10^{-24} \text{ \AA}$

2) Electrón $E_c = 100 \text{ eV}$ $\implies \lambda = 1.2 \text{ \AA}$



Davisson y Germer observan la difracción de electrones por una red cristalina (1929).





Interferencia de electrones a través de una barrera con dos ranuras (100 – 3.000 -20.000 -70.000)

Los Thomson



J.J. (padre)

Nobel 1906

**El electrón es una
partícula**

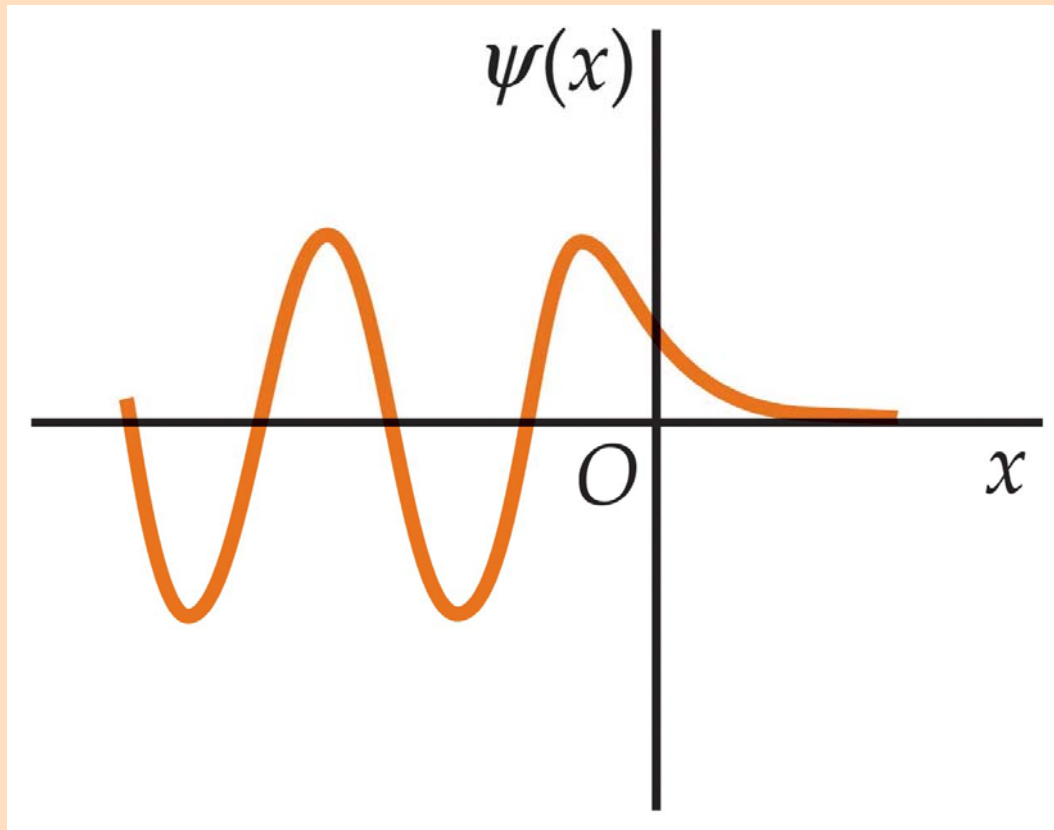


G.P. (hijo)

Nobel 1937

El electrón es una onda

A partir de 1920...desarrollo de la Mecánica Cuántica





Niels Bohr



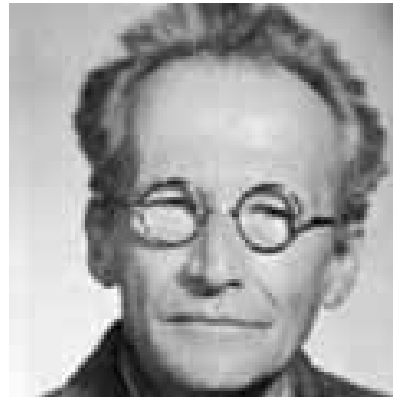
**Werner
Heisenberg**



Max Born



Paul Dirac

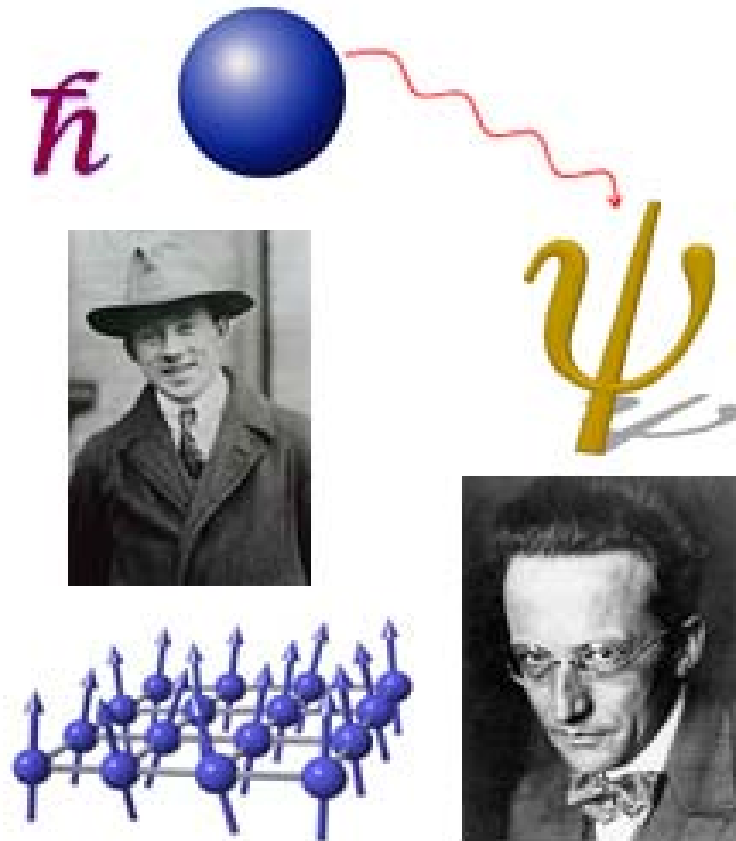


**Erwin
Schrodinger**



**Wolfgang
Pauli**

Algo muy divertido esta por venir!!!!



Fin !!!

34-9

Energy Quantization in
Other Systems

