

# Física Contemporánea

Dr. Víctor H. Cárdenas

Instituto de Física y Astronomía

Universidad de Valparaíso

# 14. Pre-cuántica

- Radiación de Planck
- Interpretación de Einstein
- Efecto fotoeléctrico
- Rayos y partículas

## Radiación de cuerpo negro

$$\rho(f, T) = (8\pi f^2 / c^3) U(f, T)$$

$$\rho(f) = \alpha f^3 e^{-\beta f / T},$$

Luego

$$U(f) = \frac{\alpha c^3 f}{8\pi} e^{-\beta f / T}$$

Y de  $T dS = dE$

$$S = -\frac{U}{\beta f} \left( \ln \frac{8\pi U}{\alpha f c^3} - 1 \right)$$

a partir de la cual

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = -\frac{1}{\beta f U},$$

En 1900 los resultados de Rubens and Kurlbaum muestran que la densidad va con  $f^2$

O sea, la equipartición funciona a baja frecuencia, así  $U = kT$  y como  $dU = TdS$ ,

asi

$$\partial^2 S / \partial U^2 = -k / U^2$$

Planck propuso

$$\partial^2 S / \partial U^2 = -\frac{k}{U(hf + U)}$$

## Radiación de cuerpo negro

Integrando 2 veces  $S = k \left[ (1 + U / hf) \ln(1 + U / hf) - (U / hf) \ln(U / hf) \right]$

luego

$$\frac{dS}{dU} = \frac{k}{hf} \left[ \ln \left( 1 + \frac{U}{hf} \right) - \ln \frac{U}{hf} \right] = \frac{1}{T}, \quad U = \frac{hf}{e^{hf/kT} - 1}.$$

Y la densidad de radiación

$$\rho(f, T) = \frac{8\pi f^2}{c^3} \frac{hf}{e^{hf/kT} - 1}$$

Planck reconoció un cálculo de Boltzmann para N osciladores  $NS = Nk \ln W$

$$W = \frac{(N + M - 1)!}{M!(N - 1)!} \quad \ln N! \cong N \ln N - N$$
$$\ln W = N \left[ (1 + M / N) \ln(1 + M / N) - (M / N) \ln(M / N) \right]$$

$$U/hf = M/N, \text{ or } NU = Mhf.$$

## Interpretación de Einstein

$$\rho(f, T) = \frac{8\pi f^2}{c^3} \frac{hf}{e^{hf/kT} - 1}$$

En marzo de 1905

$$\rho(f, T) = \frac{8\pi f^2}{c^3} kT$$

$$\rho(f, T) df = \frac{8\pi V hf^3 df}{c^3} e^{-hf/kT}$$

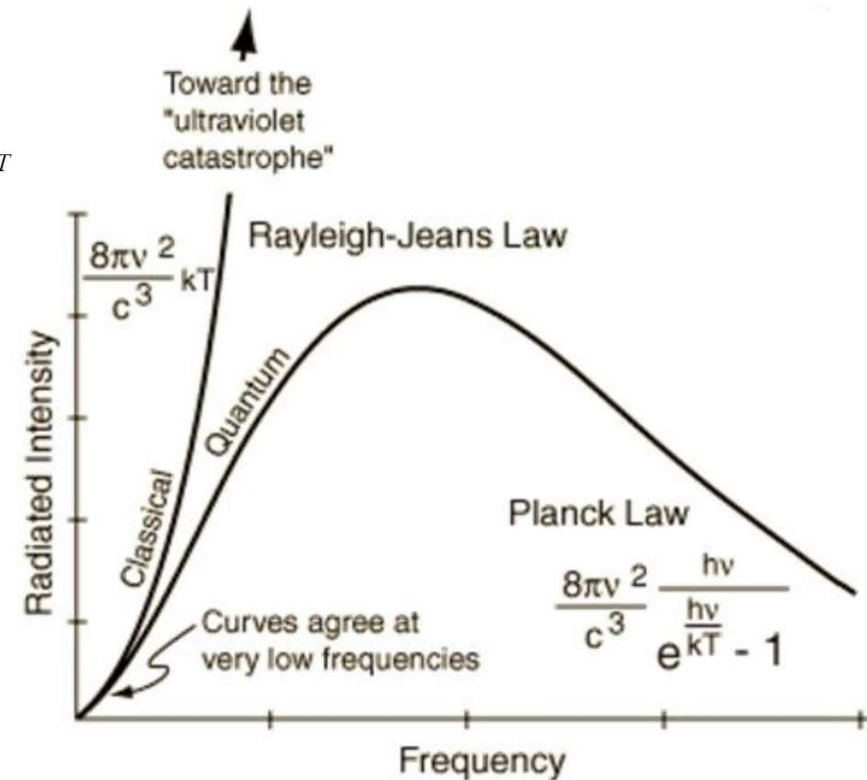
$$hf \gg kT$$

Analogía con un gas

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-E/kT}, \quad f(E) = \left[ 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \right] E e^{-E/kT}$$

Un gas de osciladores con  $E = hf$ ,

$$\begin{aligned} \rho(f, T) &= \frac{8\pi f^2 hf}{c^3} e^{-hf/kT} \\ &= \left[ \frac{8\pi f^2}{c^3} \right] E e^{-E/kT}. \end{aligned}$$



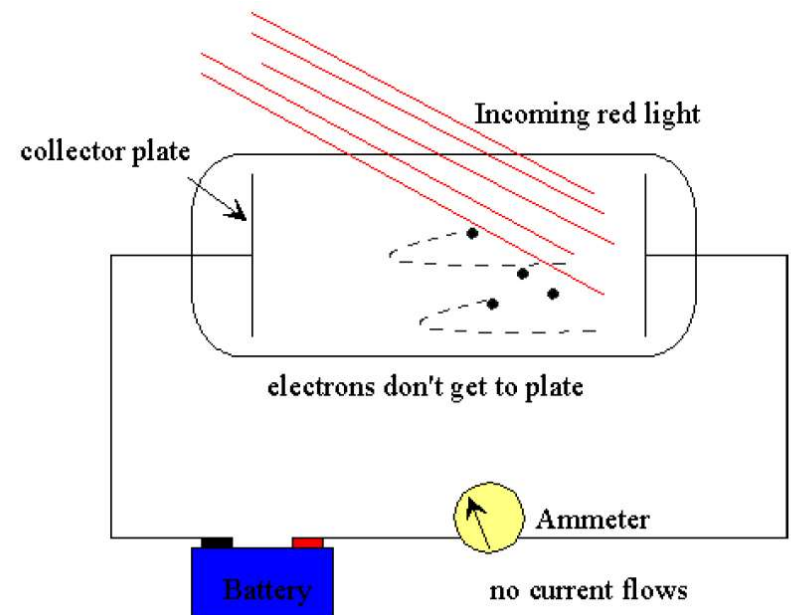
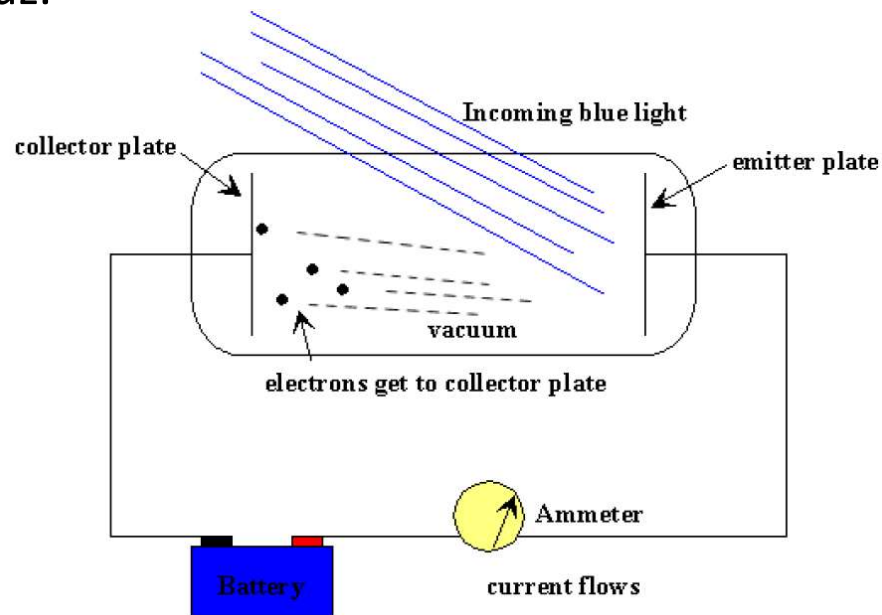
## Efecto fotoeléctrico

En 1886 Hertz genera y detecta ondas electromagnéticas por primera vez.

En 1887 Hertz concluye que la chispa aumenta para luz en el ultravioleta.

En 1888 Hallwach repite el experimento con un electroscope.

En 1902 Lenard estudia la energía de los foto-electrones al variar la intensidad de la luz.



## Efecto fotoeléctrico

En 1905 Einstein ofreció una explicación muy simple: cuantos de luz!

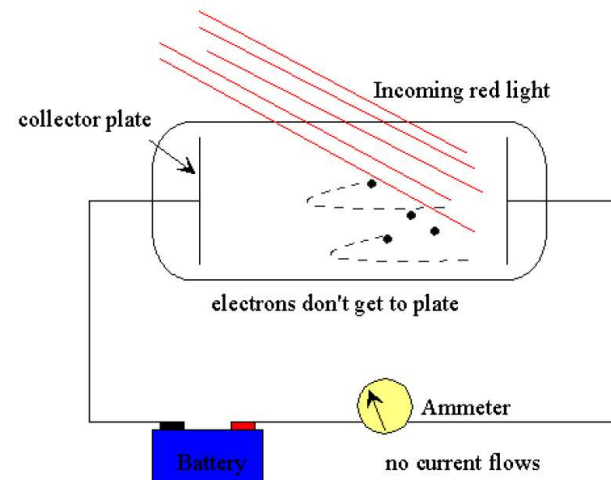
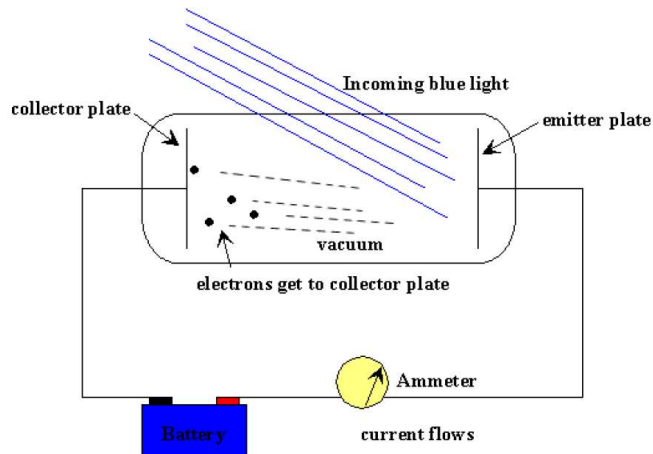
$$E = hf - W,$$

Donde  $W$  es la función trabajo (que depende del material).

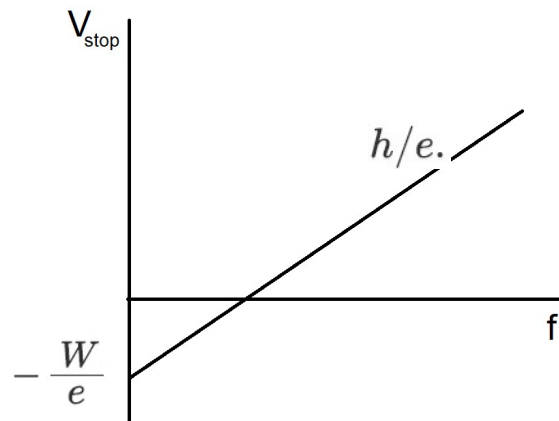
$$hf = V + W_{\text{coll}},$$

$$eV_{\text{stop}} = hf - W_{\text{coll}}.$$

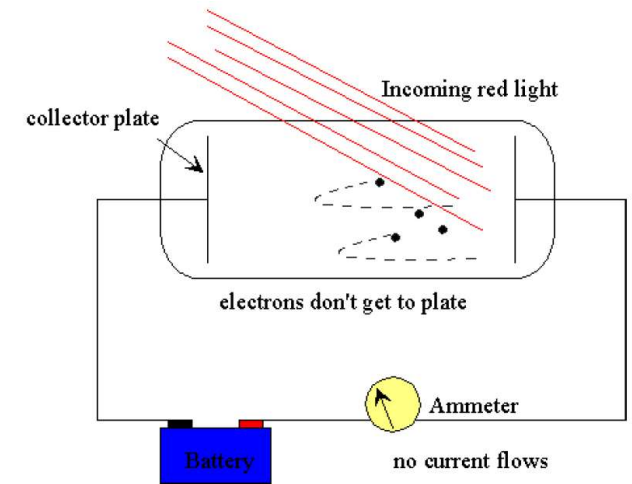
Entonces: variando  $f$  el grafico  $V_{\text{stop}}$  vs  $f$  da una recta con pendiente  $h/e$ .



## Efecto fotoeléctrico



$$eV_{\text{stop}} = hf - W$$



Consider UV light with wavelength  $\lambda = 290\text{nm}$  incident on a metal with work function  $W = 4.05\text{eV}$ . What is the energy of the photo-electron and what is its speed?

$$\hbar c = 197.33 \text{ MeV}\cdot\text{fm}, \quad \hbar \equiv \frac{h}{2\pi},$$

$$E_{\gamma} = h\nu = 2\pi\hbar\frac{c}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot 197.33 \text{ MeV}\cdot\text{fm}}{290 \times 10^{-9}\text{m}} = \frac{2\pi \cdot 197.33}{290} \text{ eV} \approx 4.28 \text{ eV},$$

$$E_{e^-} = E_{\gamma} - W = 0.23 \text{ eV}. \quad 0.23 \text{ eV} = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2}(m_e c^2)\left(\frac{v}{c}\right)^2 \quad m_e c^2 \simeq 511,000 \text{ eV}$$

$$\frac{0.46}{511000} = \left(\frac{v}{c}\right)^2 \rightarrow v \simeq 284.4 \text{ Km/s}.$$



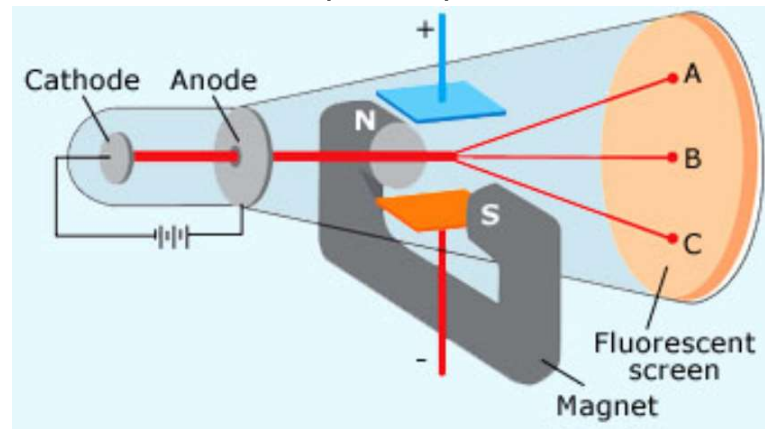
## Rayos y partículas

Faraday en 1830 descubre los rayos en descargas.

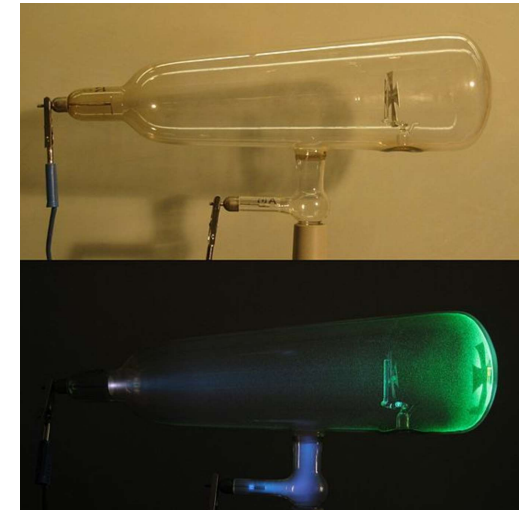
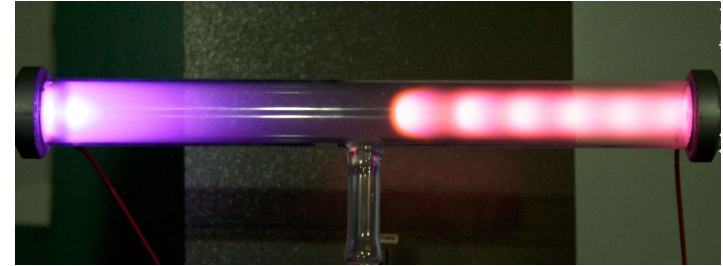
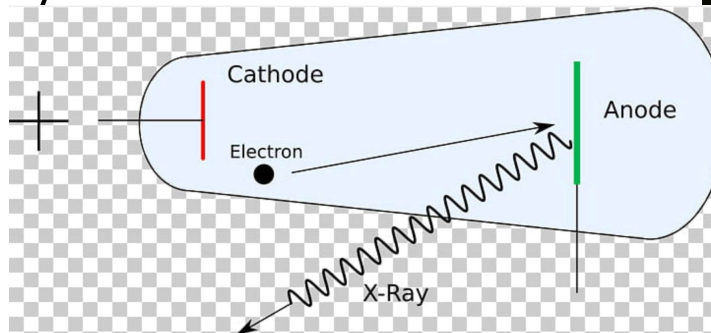
Crookes (1879): son partículas porque viajan recto

Thomson descubre el electrón (1897)

$$eE = evB$$



Roetgen (1895) descubre los rayos X



## Rayos y partículas

Roetgen y Thomson descubren que los rayos x son radiación ionizante.

La producción de rayos x tienen una frecuencia máxima.

$$hf_{\max} = eV$$

Becquerel (1896) descubre radiación fluorescente.

...que tenia trazas de uranio!

Marie Curie descubre que la radiación se origina del átomo de uranio, y la intensidad era proporcional al número de átomos presentes.

En 1897-1899 Ernest Rutherford comienza a estudiar los rayos de Becquerel, y describe los rayos alfa y beta. Siendo los beta 100 veces mas penetrante que los alfas.

Villard descubre los rayos gama.