

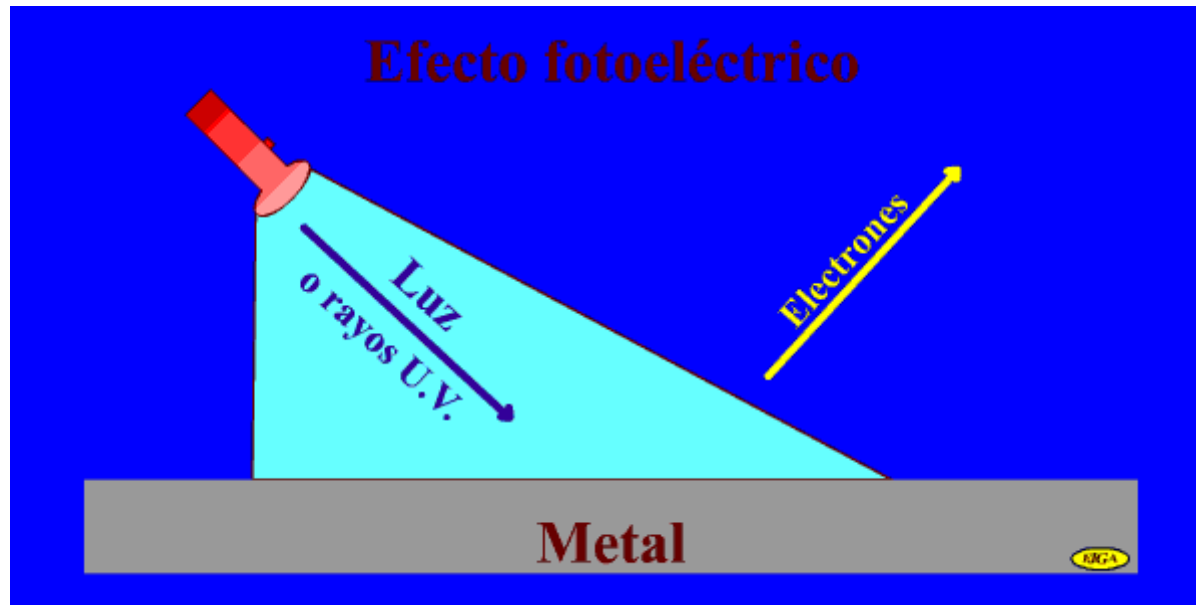


# Física III (sección 3) (230006-230010) Ondas, Óptica y Física Moderna

Profesor: M. Antonella Cid  
Departamento de Física, Facultad de Ciencias  
Universidad del Bío-Bío

**Carreras:** Ingeniería Civil Civil, Ingeniería Civil  
Mecánica, Ingeniería Civil Industrial

# Efecto fotoeléctrico



Los metales iluminados con radiación de una determinada frecuencia emiten “fotoclectrones”  
Esto fue observado a finales del siglo XIX por Hertz y Hallwachs.



# Efecto fotoeléctrico

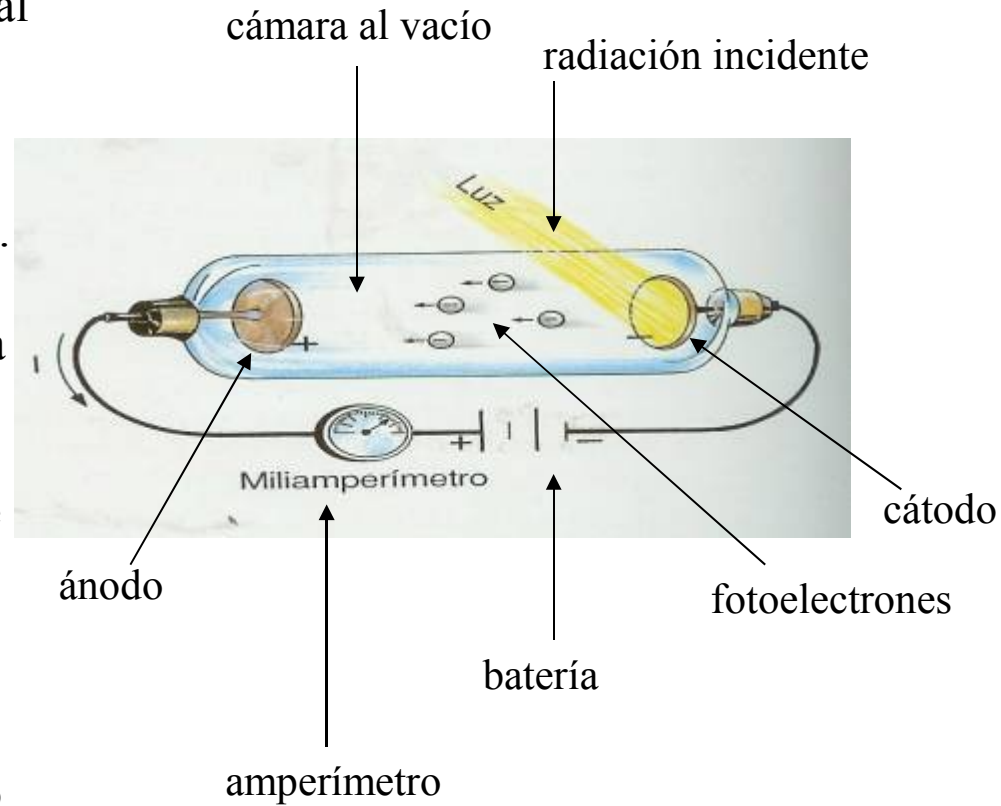
Dos placas metálicas a diferente potencial son colocadas en un tubo al vacío.

Sobre la placa metálica conectada a la terminal positiva se hace incidir REM.

Para determinadas frecuencias esta placa emite electrones.

Debido a la diferencia de potencial entre las dos placas metálicas, los electrones son acelerados hacia la placa positiva.

Esta corriente de electrones es detectada por el amperímetro conectado al circuito



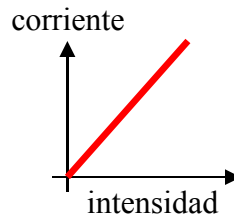
# Efecto fotoeléctrico

Existe una **frecuencia de corte o frecuencia umbral**: si la frecuencia de la radiación incidente es menor no se liberan electrones de la placa (el amperímetro marca 0), independiente de la intensidad incidente. **No ocurre el efecto fotoeléctrico.**

Si la frecuencia es mayor que la frecuencia de corte, el número de electrones liberados por segundo (la corriente) es proporcional a la intensidad de la radiación incidente

Para una frecuencia dada, si la diferencia de potencial en el circuito se incrementa no hay incremento de la corriente.

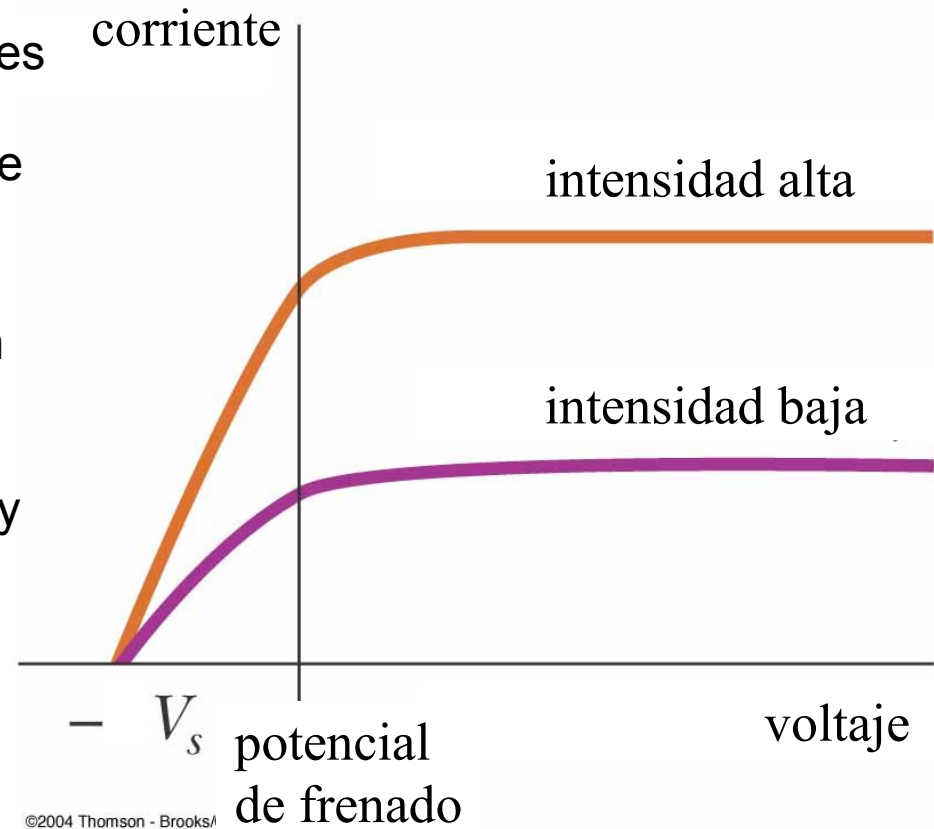
Si se invierte la polaridad de la batería, conforme aumenta el valor de la diferencia de potencial, la corriente en el circuito disminuye a cero. Esta observación indica que la carga liberada es negativa y que los electrones tienen una variedad uniforme de energías cinéticas



# Efecto fotoeléctrico

Se denomina potencial de frenado al valor del potencial para el cual la corriente se hace cero, este valor es directamente proporcional a la frecuencia de la radiación incidente para frecuencias mayores que la frecuencia de corte

Los electrones liberados aparecen de inmediato (instantáneamente) cuando se ilumina el metal, aún cuando la luz incidente sea de muy baja intensidad.



# Efecto fotoeléctrico clásico

La energía de una onda es proporcional al cuadrado de su amplitud y frecuencia. Los electrones deben ser capaces de absorber energía de cualquier frecuencia. El efecto fotoeléctrico debe ser independiente de la frecuencia.

Para bajos niveles de intensidad, el electrón tendría que esperar para “acumular” la cantidad de energía necesaria para poder escapar de la superficie metálica. Debería existir un tiempo de retardo medible, que no se observa



# Efecto fotoeléctrico cuántico

En 1905 Albert Einstein fue capaz de explicar el efecto fotoeléctrico, por lo cual recibió el premio Nobel en 1921

Einstein asumió que la luz estaba formada por paquetes de energía denominados fotones.

Cada partícula de luz tenía una energía  $E=hf$  (Planck)

De acuerdo con Einstein, cuando la materia absorbe luz, la partícula de materia absorbe fotones destruyéndolos. La energía se conserva puesto que la partícula de materia tiene ahora la energía del fotón

energía fotón absorbido = trabajo para liberar fotón + energía cinética del electrón

Dependiendo de las circunstancias particulares de un electrón, éste podría ceder parte o toda su energía adquirida intentando salir del metal



# Efecto fotoeléctrico cuántico

Existen algunos electrones para los cuales la pérdida de energía asociada es mínima, ellos corresponden a los electrones con la máxima cantidad de energía cinética en el escape

El trabajo mínimo necesario para liberar un electrón de un metal se llama **función trabajo**  $W$  del metal:  $h f = W + K_{max}$

Si disminuimos la frecuencia de la luz incidente y por consiguiente la energía de los fotones ( $E=hf$ ), también disminuye la energía cinética máxima de los electrones que abandonan el metal.

Eventualmente se alcanza una frecuencia para la cual los electrones apenas escapan (energía cinética cero) y  $h f_{corte} = W + 0J$

Para frecuencias menores que la frecuencia de corte la energía de los fotones que llegan no es suficiente para dar al electrón la energía mínima necesaria ( $W$ ) para escapar del metal.



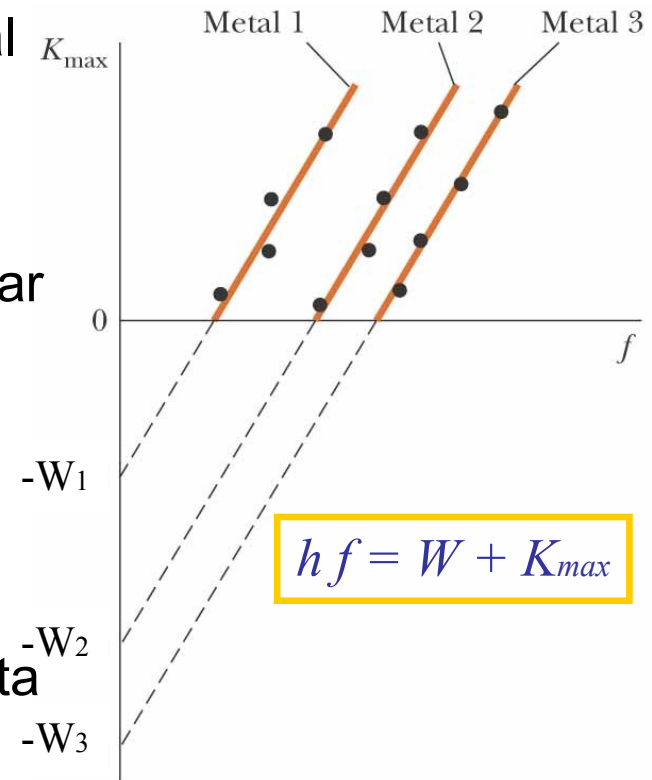
# Efecto fotoeléctrico cuántico

Conforme aumenta la diferencia de potencial desde cero hacia el valor del potencial de frenado, la corriente en el circuito disminuye de manera gradual. Sólo los electrones lanzados con suficiente energía pueden llegar a la placa opuesta

Por conservación de la energía:

$$K_i + U_i = K_f + U_f \quad \Rightarrow \quad K_{max} = eV_s$$

El potencial de frenado es una medida directa de la energía cinética de los electrones liberados más energéticos.



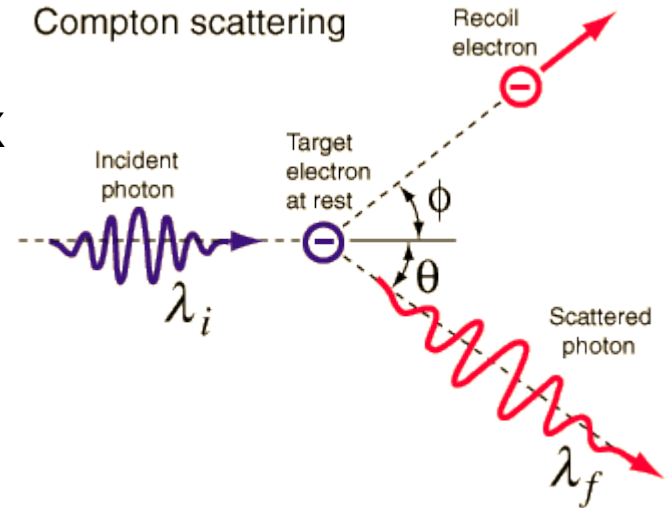
©2004 Thomson - Brooks/Cole

# Efecto Compton

En 1923, Arthur Compton estudiaba la interacción de rayos X con grafito. Él observó que al hacer incidir rayos X sobre grafito, el espectro de rayos X dispersados consistía de dos longitudes de onda, una longitud de onda muy similar a la incidente y una longitud de onda desplazada a un valor mayor

Si se considera el proceso de dispersión como el choque entre un fotón y un electrón, el electrón debería absorber parte de la energía, por consiguiente el fotón dispersado debería tener menor energía (mayor longitud de onda)

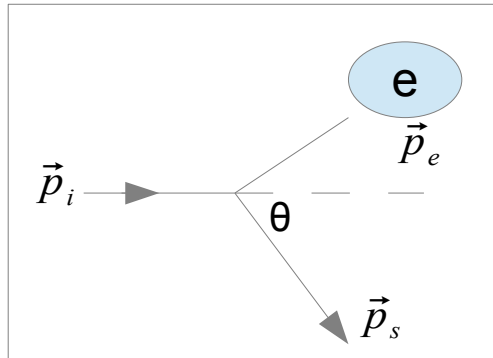
$$\lambda_f - \lambda_i = \Delta \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$



**Ecuación de desplazamiento de Compton**, corresponde al desplazamiento de la longitud de onda incidente al ser dispersada por un electrón



# Efecto Compton



Conservación del momentum

$$\vec{p}_i = \vec{p}_s + \vec{p}_e$$

$$p_e^2 = p_i^2 + p_s^2 - 2p_i p_s \cos \theta$$

Conservación de la energía

$$E_i + E_e^{(i)} = E_s + E_e^{(f)}$$

$$p_i c + m_e c^2 = p_s c + \sqrt{p_e^2 c^2 + (m_e c^2)^2}$$

$$\rightarrow \frac{1}{p_s} - \frac{1}{p_i} = \frac{1}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

$$\leftrightarrow \lambda_s - \lambda_i = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

El corrimiento de la longitud de onda depende del ángulo al cual se observan los rayos X dispersados. No se observa corrimiento si  $\theta=0^\circ$  y el corrimiento es máximo si  $\theta=180^\circ$ .

