

Física III

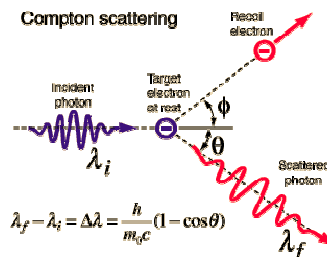
clase 21 (07/06/2011)

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

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

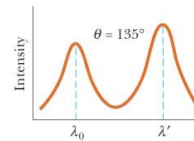
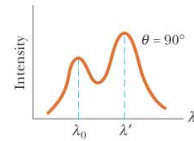
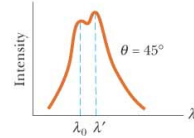
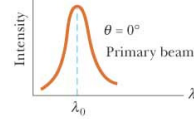
Efecto Compton

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



Efecto Compton

- 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 $\theta=180^\circ$.



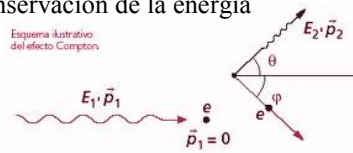
Efecto Compton

Desplazamiento de la longitud de onda incidente al ser dispersada por un electrón

$$\lambda' - \lambda_0 = \underbrace{\frac{h}{m_e c}}_{= 0.00243 \text{ [nm]}} (1 - \cos \theta) \quad \text{Ecuación de desplazamiento de Compton}$$

Si la masa del electrón es reemplazada por la masa de una partícula en el núcleo, el desplazamiento de Compton es despreciable

La deducción considera una colisión elástica entre un fotón y un electrón, es decir, conservación del momentum y conservación de la energía



Relatividad Especial

- Postulados de Einstein:
 - Principio de relatividad: la física es la misma para todos los SRI
 - La rapidez de la luz es constante, para todos los observadores es c
- Consecuencias:
 - Transformaciones de Lorentz

$$x'(t) = \gamma(x - vt); \quad t' = \gamma(t - vx/c^2); \quad \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$$

- Dilatación del tiempo y contracción de longitudes
- La energía y el momentum son ahora:

$$E = \gamma mc^2; \quad p = \gamma mv$$

En. Cinética $K = (\gamma - 1)mc^2$

$$\Rightarrow E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{energía en reposo } (p=0) \\ \text{momentum para fotones } (m=0) \end{array} \right.$$

Longitud de onda de De Broglie

$$\left. \begin{array}{l} \text{Einstein: } E = pc \\ \text{Planck: } E = hf \end{array} \right\} \lambda = \frac{h}{p}$$

De Broglie sugirió que las partículas materiales que tengan una cantidad de movimiento p tienen una longitud de onda característica, la longitud de onda de De Broglie

$$\lambda_{dB} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

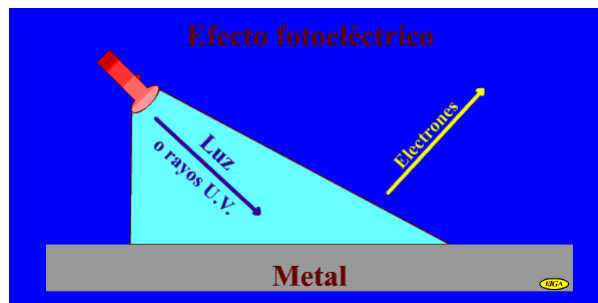
La hipótesis de De Broglie fue comprobada en el experimento de Davisson-Germer

Ejemplo

- Una partícula con carga q y masa m ha sido acelerada desde el reposo hasta una rapidez no relativista a través de una diferencia de potencial ΔV . Encuentre una expresión para su longitud de onda de De Broglie
- Un electrón (no relativista) tiene una energía cinética de 3 [eV]. Determine su longitud de onda. Si un fotón tiene una energía cinética de 3 [eV] ¿cuál sería su longitud de onda?



Efecto fotoeléctrico



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



El efecto fotoeléctrico

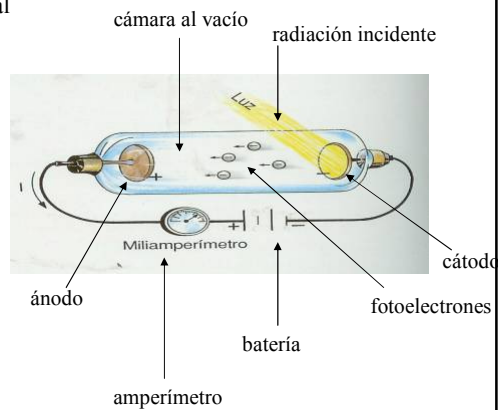
Dos placas metálicas a diferente potencial son colocadas en un tubo al vacío.

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

Para determinadas frecuencias esta placa emite electrones.

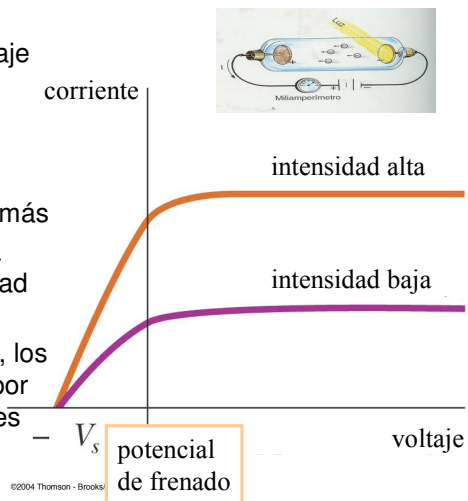
Debido a la diferencia de potencial entre las dos placas metálicas, los electrones son acelerados hacia la placa positiva.

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



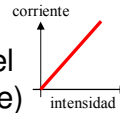
Efecto fotoeléctrico

- Para valores grandes del voltaje la corriente alcanza un valor máximo, todos los electrones emitidos por una placa son recolectados en la otra, la corriente no puede aumentar más
- La corriente máxima aumenta conforme aumenta la intensidad de la luz incidente
- Cuando el voltaje es negativo, los fotoelectrones son repelidos por la placa, sólo los fotoelectrones con suficiente energía logran llegar



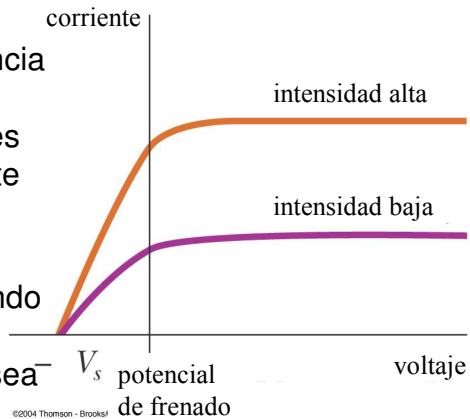
Efecto fotoeléctrico

- Existe una **frecuencia de corte**: 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 (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

- El valor del potencial de frenado 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 e- + energía cinética del e-

- 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: $hf = W + K_{max}$
- 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.
- Con el tiempo se alcanza una frecuencia para la cual los electrones apenas escapan (energía cinética cero) y $hf_{corte} = W + 0J$
- 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.

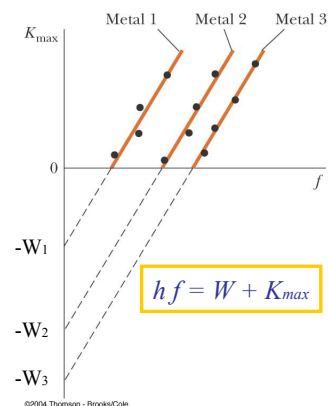


Efecto fotoeléctrico cuántico

- 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:

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

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





Ejercicios

- Un láser de Helio-neón de baja energía tiene una potencia de salida de 1 [mW] de luz cuya longitud de onda es de 632.8 [nm]
 - Calcule la energía de cada fotón
 - Determine el número de fotones emitidos por el láser cada segundo
- El hierro tiene una función de trabajo de 4,7 [eV]. Calcule la longitud de onda de corte correspondiente para el efecto fotoeléctrico en este metal
- Luz UV de 200 [nm] incide sobre una superficie de hierro recién pulida. Encuentre:
 - La energía cinética máxima de los electrones liberados
 - El potencial de frenado
 - La velocidad de estos electrones



Ejercicio

- La función de trabajo del tungsteno es de 4.58 [eV]. Encuentre:
 - La frecuencia umbral y la longitud de onda umbral para el efecto fotoeléctrico.
 - La energía cinética máxima de los electrones y el potencial de frenado si la longitud de onda de la luz incidente es de 200 [nm].