

# El Efecto Fotoeléctrico

## Fundamentos de la Física Cuántica

Ingeniería en Nanotecnología

Universidad Tecnológica de Querétaro

Cuatrimestre Mayo - Agosto 2025

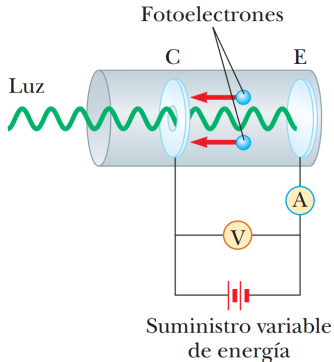
# Objetivos de Aprendizaje

- ▶ Explicar el fenómeno del efecto fotoeléctrico y su importancia para la física cuántica
- ▶ Comparar las predicciones clásicas con los resultados experimentales
- ▶ Aplicar la ecuación de Einstein para resolver problemas de efecto fotoeléctrico
- ▶ Relacionar el efecto fotoeléctrico con aplicaciones tecnológicas modernas
- ▶ Comprender cómo el efecto fotoeléctrico evidencia la naturaleza corpuscular de la luz

# Contexto Histórico

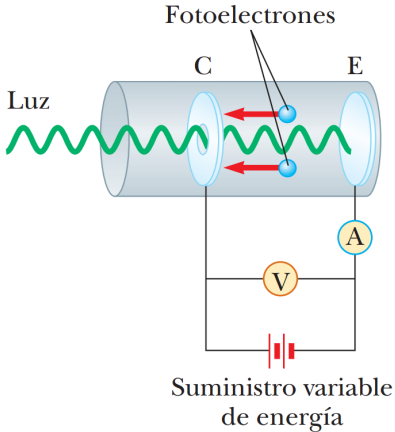
- ▶ Descubierto por Heinrich Hertz (1887) mientras estudiaba ondas electromagnéticas
- ▶ Investigado sistemáticamente por Philipp Lenard (Premio Nobel 1905)
- ▶ Explicado teóricamente por Albert Einstein (1905)
- ▶ Premio Nobel de Física a Einstein (1921) por "sus servicios a la Física Teórica y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico"
- ▶ Proporcionó evidencia crucial para la teoría cuántica naciente

# El Fenómeno del Efecto Fotoeléctrico



- ▶ Luz incidente sobre una superficie metálica provoca emisión de electrones
- ▶ Los electrones emitidos se denominan **fotoelectrones**
- ▶ La energía cinética de los fotoelectrones puede medirse experimentalmente

## Montaje Experimental



- ▶ Tubo al vacío con dos placas metálicas
- ▶ Emisor (E): placa metálica expuesta a la luz
- ▶ Colector (C): recoge los electrones emitidos
- ▶ Batería: crea diferencia de potencial entre placas
- ▶ Amperímetro: mide la corriente de fotoelectrones



# Observaciones Experimentales (II)

1. La energía cinética máxima de los fotoelectrones **no depende de la intensidad** de la luz, sino de su **frecuencia**
2. Los electrones son emitidos instantáneamente (sin retraso), incluso a muy baja intensidad
3. No hay emisión de electrones por debajo de cierta **frecuencia de corte** específica para cada metal
4. La emisión de fotoelectrones aumenta con la intensidad de la luz, pero no su energía máxima

# Explicación de Einstein (1905)

- ▶ La luz está compuesta por "cuantos" de energía (fotones)
- ▶ Cada fotón tiene una energía  $E = hf$ , donde  $h$  es la constante de Planck
- ▶ Un fotón transfiere toda su energía a un solo electrón
- ▶ Parte de esta energía se usa para liberar al electrón del metal (función trabajo  $\phi$ )
- ▶ El resto se convierte en energía cinética del electrón

## Ecuación de Einstein para el Efecto Fotoeléctrico

$$K_{max} = hf - \phi \quad (1)$$



# Interpretación de la Ecuación de Einstein

Aquí va una grafica

- ▶  $K_{max} = hf - \phi$
- ▶  $h$  = pendiente de la recta
- ▶  $\phi$  = función trabajo (intercepto)
- ▶ Frecuencia de corte:  $f_c = \frac{\phi}{h}$
- ▶ Longitud de onda de corte:  
 $\lambda_c = \frac{hc}{\phi}$

# Función Trabajo para Diversos Metales

Metal	Función Trabajo $\phi$ (eV)	$\lambda_c$ (nm)
Na	2.46	504
Al	4.08	304
Cu	4.70	264
Zn	4.31	288
Ag	4.73	262
Pt	6.35	195
Fe	4.50	276

## Nota

$hc \approx 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$  es una combinación útil para cálculos

# Explicación de las Observaciones Experimentales

1.  $K_{max} = hf - \phi$  depende de la frecuencia  $f$ , no de la intensidad
2. La emisión es instantánea porque cada fotón interactúa individualmente
3. No hay efecto por debajo de  $f_c$  porque  $hf < \phi$
4. Mayor intensidad = más fotones = más electrones, pero con la misma energía máxima

## ¡La naturaleza corpuscular de la luz!

El efecto fotoeléctrico demuestra que la luz se comporta como partículas (fotones) al interactuar con la materia, no solo como ondas.

# Ejemplo: Cálculo con Efecto Fotoeléctrico

## Problema

Una superficie de sodio (Na) con función trabajo  $\phi = 2.46$  eV se ilumina con luz de longitud de onda de 300 nm. Determine:

1. La energía de los fotones incidentes
2. La energía cinética máxima de los fotoelectrones
3. El potencial de frenado

## Solución

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{300 \text{ nm}} = 4.13 \text{ eV} \quad (2)$$

$$K_{\max} = hf - \phi = 4.13 \text{ eV} - 2.46 \text{ eV} = 1.67 \text{ eV} \quad (3)$$

$$V_s = \frac{K_{\max}}{e} = 1.67 \text{ V} \quad (4)$$

# Actividad con Simulador PhET

Aquí va una grafica

## Instrucciones

Acceder a: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/photoelectric>

# Aplicaciones Tecnológicas

- ▶ Celdas solares fotovoltaicas
- ▶ Sensores y detectores de luz
- ▶ Tubos fotomultiplicadores
- ▶ Dispositivos de acoplamiento de carga (CCD)
- ▶ Microscopía de fotoemisión
- ▶ Visión nocturna
- ▶ Lectores ópticos y controles automáticos

*Aquí va una grafica*

# Impacto Histórico y Conceptual

- ▶ Primera evidencia experimental directa de la cuantización de la energía
- ▶ Confirmó la hipótesis cuántica de Planck sobre la radiación electromagnética
- ▶ Introdujo el concepto del fotón (partícula de luz)
- ▶ Contribuyó al desarrollo del principio de dualidad onda-partícula
- ▶ Pieza fundamental en la revolución cuántica del siglo XX
- ▶ Transformó nuestra comprensión de la interacción luz-materia

# Resumen: Conceptos Clave

- ▶ El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones cuando la luz incide sobre un metal
- ▶ No puede explicarse mediante la física clásica (modelo ondulatorio)
- ▶ Requiere el modelo corpuscular de la luz (fotones con energía  $E = hf$ )
- ▶ La ecuación de Einstein:  $K_{max} = hf - \phi$  describe correctamente el fenómeno
- ▶ Estableció las bases para el desarrollo de la mecánica cuántica
- ▶ Tiene numerosas aplicaciones tecnológicas en la actualidad



# Conexión con el Siguiente Tema

## Dualidad Onda-Partícula

Si la luz puede comportarse como partícula...  
¿Podría la materia comportarse como onda?

Hipótesis de De Broglie (1924):

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

# Actividades y Evaluación





## Actividades para la próxima sesión

- ▶ Resolver el problema integrador sobre aplicaciones del efecto fotoeléctrico
- ▶ Leer el material sobre la Hipótesis de De Broglie y responder guía de lectura
- ▶ Opcional (puntos extra): Video demostrativo sobre efecto fotoeléctrico

## Evaluación formativa

- ▶ Quiz digital: acceso a través del código QR o enlace en Google Classroom
- ▶ Reporte de la actividad con el simulador PhET
- ▶ Participación en las discusiones de clase

# Referencias y Recursos Complementarios

-  Griffiths, D. (2016). *Quantum Mechanics*. Cambridge University Press.
-  Eisberg, R. & Resnick, R. *Física Cuántica*. Limusa Wiley.
-  Serway, R. A., Moses, C. J., & Moyer, C. A. (2005). *Física Moderna*.
-  Tipler, P. A. (2012). *Física Moderna*. Reverté.

## Videos recomendados

- ▶ "El efecto fotoeléctrico" - Walter Lewin, MIT OpenCourseWare
- ▶ "Explicación del efecto fotoeléctrico" - Khan Academy (español)
- ▶ "Aplicaciones modernas del efecto fotoeléctrico" - SciShow

## ¡Gracias por su atención!

Para dudas adicionales: [correo electrónico del profesor]