

## Física III - Química (2018)

### Práctica 9

#### Efectos fotoeléctrico y Compton. Radiación de cuerpo negro

1. El potencial de frenado para fotoelectrones emitidos desde una superficie iluminada con luz de longitud de onda  $\lambda_0 = 4910 \text{ \AA}$  es 0.71 V. ¿Cuál es la función trabajo del material? Cuando se cambia la longitud de onda incidente, se encuentra que el potencial de frenado es 1.43 V. ¿Cuál es la nueva longitud de onda incidente?
2. Sobre una lámina metálica inciden rayos X con  $\lambda = 0.71 \text{ \AA}$ , extrayendo fotoelectrones. Los electrones describen órbitas circulares de radio máximo  $r$  en una región de inducción magnética  $B$ . Los experimentos muestran que  $rB = 1.88 \times 10^{-4} Tm$ .
  - (a) Encontrar la energía cinética máxima de los fotoelectrones.
  - (b) Calcular el trabajo mínimo hecho al remover un electrón de la lámina.
3. Se utilizan dos fuentes luminosas en un experimento fotoeléctrico para determinar la función trabajo de una superficie de metal determinada. Cuando se utiliza luz verde de una lámpara de mercurio ( $\lambda=546.1\text{nm}$ ), un potencial de frenado de 0.376V reduce la corriente de fotoelectrones a cero.
  - (a) Basándose en esta medida, ¿cuál es la función trabajo de este metal?
  - (b) ¿Qué potencial de frenado es necesario cuando se usa luz amarilla de una lámpara de descarga de helio ( $\lambda=587.5\text{nm}$ )?
4.
  - (a) Se ilumina una muestra de potasio con luz ultravioleta de  $2500 \text{ \AA}$ . Si la función trabajo para este material es  $\omega_0 = 2.22 \text{ eV}$ . ¿Cuál es la máxima energía cinética que pueden tener los electrones emitidos?
  - (b) Si la intensidad de la luz ultravioleta es de  $2 \frac{W}{m^2}$  calcular el número de electrones emitidos por unidad de tiempo por unidad de área, suponiendo que cada fotón que llega libera un electrón.
5. Se tiene un haz de rayos X con  $\lambda_X=1 \text{ \AA}$  incidiendo sobre una placa metálica, y se observa la radiación dispersada por los electrones de la misma a  $90^\circ$ .
  - (a) ¿Cuál es el corrimiento en la longitud de onda de la radiación dispersada a  $90^\circ$ ?
  - (b) ¿Cuál es la energía cinética que le otorga el haz al electrón de retroceso en este caso?
  - (c) ¿Qué porcentaje de la energía de los fotones incidentes se pierden en la colisión?
  - (d) ¿En qué cambian las respuestas anteriores si en vez de rayos X se utilizan rayos  $\gamma$  con  $\lambda_\gamma=1.88 \times 10^{-2} \text{ \AA}$ . ?
6. Usando la ley de Stefan y la ley de Wien explique cualitativamente lo que ocurre con la intensidad y color de la luz emitida por un objeto metálico al ser calentado progresivamente.
7. Suponga que la superficie de las estrellas se comporta como un cuerpo negro:
  - (a) Usar la ley de Wien para calcular la temperatura del Sol y la de Ácrux (en la cruz del sur) cuyas longitudes de onda máximas de la radiación son  $5100 \text{ \AA}$  y  $1200 \text{ \AA}$ , respectivamente.
  - (b) Usar la ley de Stefan para determinar la potencia irradiada por  $m^2$  en cada superficie estelar.
  - (c) La estrella Antares se ve rojiza mientras que la estrella Sirio azulada, ¿Cuál está a mayor temperatura?
8. Usando la ley de Wien, determine el pico de longitud de onda radiado por el cuerpo humano, tomando su temperatura como  $37^\circ C$ . ¿A qué zona del espectro electromagnético corresponde?
9. La temperatura del universo fue medida en el año 1950, reportando un valor cercano a los 3 K. ¿Cómo interpretaría esa temperatura? ¿Cómo la mediría? ¿Cuál es la densidad total de energía de esta radiación?

## Preguntas conceptuales

1. Describa en detalle el dispositivo experimental que permite medir el efecto fotoeléctrico (por un lado), y el efecto Compton (por el otro).
  - a Clásicamente, ¿qué ecuaciones describen la forma en que la radiación interactúa con la materia? ¿qué ecuaciones describen la propagación de esa radiación?
  - b Clásicamente: ¿Cómo espera que cambie el potencial de frenado  $V_0$  con la intensidad  $I$  y con la frecuencia de la radiación  $\nu$ ? ¿Por qué espera observar un retraso entre la llegada de un haz de luz y la emisión de fotoelectrones? Explique de qué manera los experimentos de efecto fotoeléctrico contradicen estas nociones clásicas. Ilustre esta explicación con algunos gráficos esquemáticos de la corriente vs. potencial, y  $V_0$  vs.  $\nu$  obtenidos en los experimentos.
  - c ¿Cómo soluciona cada una de esas contradicciones la teoría de Einstein?
- ch Explicar cómo se modifica el número de fotoelectrones y su energía cinética máxima si:
  - (a) se aumenta la intensidad del haz luminoso;
  - (b) se aumenta la frecuencia de la luz incidente para la misma intensidad y
  - (c) se disminuye la frecuencia de la luz incidente por debajo de la frecuencia umbral del metal.
- d En el contexto del efecto Compton, explique por qué un fotón sólo puede ser absorbido por electrones *ligados*. En base a lo anterior, explique en qué difiere el efecto Compton del efecto fotoeléctrico.
2. En el efecto Compton: ¿se corre la frecuencia de la radiación emergente, o solo su longitud de onda? ¿guarda alguna relación este corrimiento con el retroceso de los electrones con los que interactúa la radiación? En este sentido: explique por qué siempre se observa un pico intenso que no se corre.
3. El corrimiento observado: ¿depende del material que dispersa la onda incidente? ¿depende de la intensidad de la misma? ¿depende de su longitud de onda? ¿de su energía?
4. Una posible explicación del efecto Compton estriba en el efecto Doppler. El cambio en la longitud de onda de las ondas reemitidas se debe a electrones que retroceden luego de absorber impulso de la onda incidente. De dos motivos por los cuales esta explicación falla.
5. ¿Qué condición es necesario imponer a la masa del fotón para obtener la relación entre energía e impulso correcta a partir de la fórmula relativista  $E^2 = (m_0c^2)^2 + (cp)^2$ ? Para una onda electromagnética clásica: ¿cómo se relaciona la densidad de energía por u. de volumen con la correspondiente densidad de cantidad de movimiento lineal?
6. En conexión con algunas preguntas conceptuales anteriores (espejos de rayos x y blindaje de radiación a altas frecuencias): enumere los tres mecanismos por los cuales los fotones interactúan con la materia, y especifique en qué rangos de energía o long. de onda domina cada uno.
- e Explique el experimento de Young. Recree el argumento que muestra que es preciso preservar tanto el aspecto ondulatorio (en cuanto a la propagación) y corpuscular (en cuanto a la interacción) de la radiación electromagnética ¿Por qué la explicación requiere intensidades muy bajas de radiación? Si la descripción debe ser cuántica: i-¿qué lugar ocupa la fuerza de Lorentz en este marco? ¿qué rol juegan las ecuaciones de Maxwell? Ilustre al responder lo siguiente: utilizando las ecuaciones de Fresnel, ¿cuál es la probabilidad de que un fotón, incidiendo normalmente desde el aire sobre la superficie del agua, rebote en la interfase?
- f ¿Qué es un cuerpo negro? ¿Por qué se estudia la termodinámica de la radiación en este tipo de materiales/sistemas? Establezca una analogía entre la radiación de un cuerpo negro y un gas ideal de partículas indistinguibles en equilibrio térmico con un recipiente.(¿Por qué es importante su indistinguibilidad? La respuesta puede elaborarse mejor apoyándose en el ítem siguiente.)

- g ¿Cuál es el análogo de la distribución de velocidades de Maxwell? ¿Cómo puede accederse a esa cantidad? ¿Cómo puede deducirse la ley de Wien y la ley de Stefan a partir de la misma? Realice un gráfico esquemático de la misma, compárela con las predicciones de Rayleigh y Jeans (RJ), y explique qué hipótesis (de origen clásico) fallaba en sus deducciones. ¿Por qué la teoría de RJ sí parece funcionar para frecuencias pequeñas (y en qué sentido son “pequeñas”)?
- h Explicar por qué si todos los objetos emiten radiación no somos capaces de verlos en un cuarto oscuro.
- i Describa en algún detalle alguna de las aplicaciones de la termodinámica de la radiación para termometría. Explique por qué algunos fotómetros en cámaras de fotos convencionales especifican la “temperatura de color” del ambiente, expresada en grados Kelvin.
- j Evidentemente, los cuerpos reales distan de ser cuerpos negros ideales. Explique cómo utilizar la ley de Kirchoff para tratar estos casos. Por ejemplo, explique: ¿cómo espera que sea la absorptividad de un gas de Na para distintos colores? ¿Por qué una cavidad tiene un espectro de emisión similar al de un cuerpo muy opaco? ¿Por qué es buena idea platear el interior de un termo para mejorar su aislación térmica? ¿Qué tan buen emisor será un cuerpo traslúcido?