

# Física Moderna A

## La crisis de principios del Siglo XX

Asorey

2017

### 1. Ondas Electromagnéticas:

A partir de la relación  $c = \lambda f$ , donde  $f$  es la frecuencia,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $c = 299792458 \text{ m s}^{-1} \simeq 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  es la velocidad de la luz, complete las columnas 1 o 2 de la siguiente tabla según corresponda:

1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda$	$f$ (GHz)	$E_\lambda$ (J)	$E_\lambda$ (eV)	$B(\lambda, 290 \text{ K})$	$B(\lambda, 5700 \text{ K})$	$B(\lambda, 15000 \text{ K})$	$R(\lambda, 15000)$
78 m							
1 m							
	0.1019						
730 nm							
550 nm							
420 nm							
	$7,3 \times 10^{-4}$						
250 nm							
	$1,58 \times 10^3$						
	$3,29 \times 10^3$						
10 nm						$2,625 \times 10^{-18}$	

### 2. Energía de una onda electromagnética:

Complete las columnas 3 y 4 de la tabla anterior, en joules y en electrón-voltios respectivamente. Para ello, utilice la relación para la energía de un fotón,  $E = hf = hc/\lambda$ , donde  $h$  es la constante de Planck,  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s} = 4,136 \times 10^{-15} \text{ eV s}$ .

### 3. Radiación de Cuerpo Negro:

A partir de la expresión de Planck para la radiancia espectral de un cuerpo negro a temperatura  $T$ ,

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)},$$

complete las columnas 5, 6 y 7 de la tabla del ejercicio 1. Observe que las unidades de la radiancia espectral son las de potencia radiada (W) por unidad de ángulo sólido (sr) por unidad de área ( $\text{m}^2$ ) por unidad de longitud de onda (m). Ayuda 1: Puede utilizar Excel para realizar estos cálculos. Ayuda 2: Como ejemplo,  $B(10 \text{ nm}, 15000 \text{ K}) = 2,625 \times 10^{-18} \text{ W sr}^{-1} \text{ m}^{-3}$ .

4. **Catástrofe ultravioleta:**

Tal como hemos visto en clase, la llamada “catástrofe ultravioleta” se dio al comparar la predicción “clásica” para la radiancia espectral de un cuerpo negro a temperatura  $T$ , dado por la llamada ley de Rayleigh-Jeans,

$$R(\lambda, T) = \frac{2c k T}{\lambda^4},$$

con los datos experimentales. Complete la columna 8 de la tabla del ejercicio 1 con la mencionada ley para un cuerpo negro de  $T = 15000$  K y compárela con la correspondiente radiancia espectral obtenida con la expresión de Planck para un cuerpo negro a la misma temperatura (columna 7). Verifique que las diferencias significativas se dan para longitudes de onda menores al rango visible,  $\lambda \lesssim 430$  nm (catástrofe del ultravioleta).

5. **Lamparita:**

Suponga que una lámpara de 100 W emite toda la potencia consumida en forma de luz monocromática de 530 nm. Calcule la frecuencia, la energía y la cantidad de movimiento ( $p = E/c$ ) de estos fotones, y luego calcule el número de fotones emitidos por la lámpara para cada segundo. Justifique.

6. **Ikaros:**

Investigue el funcionamiento de la sonda espacial IKAROS y discuta la forma de propulsión en el marco de la teoría cuántica para los fotones. Interprete y responda: ¿qué es la presión de radiación?

7. **Efecto fotoeléctrico:**

La longitud de onda umbral para la emisión de fotoelectrones (electrones emitidos por efecto fotoeléctrico) en el cesio (Cs) es 579 nm. Calcule la función trabajo  $\phi$  del Cesio en eV, y luego diga cuál es la energía cinética (en eV) y la velocidad máxima (en m/s) de los electrones emitidos cuando se ilumina una plancha de cesio con radiación electromagnética de  $\lambda = 720$  nm, 579 nm, 480 nm, y 430 nm. Para ello, recuerde que la energía cinética de los electrones emitidos es  $E_K = hf - \phi$  y que los mismos no son relativistas.

8. **Fotómetro:**

¿Cuál debería ser la función trabajo de un material si queremos emplearlo para medir la intensidad de una haz de luz visible,  $400 \text{ nm} \lesssim \lambda \lesssim 700 \text{ nm}$ ?

9. **Emisión fotoeléctrica:**

La longitud de onda umbral de los fotoelectrones en tungsteno (W) es de 272 nm. Calcule la energía cinética máxima de los electrones emitidos al iluminar al metal con radiación UV de  $f = 1,45 \times 10^{15}$  Hz. Expresé la respuesta en electrón-volts.

10. **Efecto Compton:**

El efecto Compton corresponde a la dispersión inelástica de fotones con partículas cargadas libres. Según esto, el fotón incidente de longitud de onda  $\lambda$  es dispersado a un ángulo  $\theta$  respecto a su dirección de propagación original y emerge con una longitud de onda  $\lambda' > \lambda$ , según la siguiente relación:

$$\lambda' - \lambda = \left( \frac{h}{mc} \right) (1 - \cos(\theta)).$$

Al primer factor se lo conoce como longitud de onda Compton de la partícula en cuestión. Verifique que esta expresión tiene unidades de longitud y luego calcule la longitud de onda Compton para el electrón,  $\lambda_e = h/(m_e c)$ , para el muón,  $\lambda_\mu = h/(m_\mu c)$  y para el protón  $\lambda_p = h/(m_p c)$ . Expresé el resultado en picómetros ( $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$ ).

**11. Longitud de onda Compton:**

A partir de la expresión para el cambio de longitud de onda del fotón, obtenga la siguiente relación para las energías del fotón incidente y emitido:

$$\frac{1}{E_{\lambda'}} - \frac{1}{E_{\lambda}} = \frac{1}{mc^2} (1 - \cos(\theta)).$$

La diferencia de energía es transferida a la partícula de masa  $m$ , que adquiere una energía cinética  $E_k = E_{\lambda} - E_{\lambda'}$ .

**12. Retrodispersión Compton:** A partir de la expresión para el cambio de longitud de onda,

$$\Delta\lambda \equiv \lambda' - \lambda = \lambda_e (1 - \cos(\theta)),$$

calcule el  $\Delta\lambda$  para un electrón cuando  $\theta = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi$ . Luego, calcule en cada caso la energía del fotón dispersado y la energía cinética transferida al electrón si el fotón incidente es un rayo X con  $E_{\lambda} = 1 \text{ keV}$ .

**13. Función angular:**

Utilizando Libreoffice calc (o Excel), realice un gráfico de la función  $\Delta\lambda = \lambda_e (1 - \cos(\theta))$  como función de  $\theta$  para un electrón.

**14. Dispersión Compton :**

Un haz de rayos X con energía  $E = 25 \text{ keV}$  es dispersado por Compton. ¿Cuál es la máxima longitud de onda  $\lambda'$  que podrá encontrar en los rayos X dispersados? ¿En qué ángulo? ¿Espera observar rayos X de  $25 \text{ keV}$  entre los dispersados? En caso afirmativo, ¿en qué ángulo? ¿Cuáles son las energías mínimas y máximas que espera observar entre los electrones dispersados?