

Física III - Química (2018)

Práctica 6

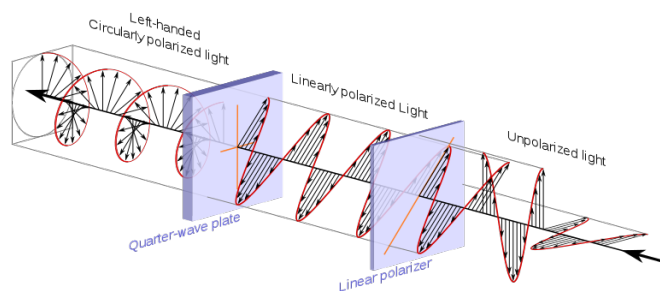
Ondas Electromagnéticas

1. Escribir las expresiones de los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética plana linealmente polarizada propagándose en el vacío con las siguientes características: la dirección de polarización yace en el plano yz formando un ángulo de 30° con el eje z , la dirección de propagación es el eje x , la longitud de onda es $2\mu\text{m}$ y el campo eléctrico posee una amplitud de $E_0 = 3\text{V/m}$. A partir de los campos hallar el valor medio del vector de Poynting y calcular la energía total promedio.
2. La componente x del campo eléctrico puede escribirse como función de la coordenada x y el tiempo t como $E_x(\mathbf{r}, t) = f(z \pm ct)$, donde f es una función arbitraria y $c^2 = 1/\epsilon_0\mu_0$
 - (a) Mostrar que f es una solución de la ecuación de onda derivada de las ecuaciones de Maxwell en el vacío para la componente x del campo eléctrico.
 - (b) ¿En qué sentido se desplazan una onda descrita por $f(z - ct)$ y una descrita por $f(z + ct)$?
 - (c) Mostrar que $\cos(kz)\cos(kct)$ es solución de esta ecuación de onda, a pesar de que no se escribe como $f(z + ct)$ ni como $f(z - ct)$. ¿Cómo llamamos a este tipo de ondas?
 - (ch) Ver que $f(r \pm ct)/r$ es solución de la ecuación de ondas en coordenadas esféricas. ¿Qué relación tiene esta dependencia con la observada para el dipolo eléctrico oscilante a grandes distancias? ¿Qué relación guarda con la conservación de la energía radiada?
3. Verifique si el campo eléctrico dado por

$$\mathbf{E}(x, y, z, t) = e^{-a^2t^2 - b^2z^2 + 2abzt} \mathbf{i}$$

corresponde al de una onda electromagnética. En caso afirmativo:

- (a) Determine las condiciones que deben cumplir las constantes a y b .
 - (b) Calcule el campo magnético.
 - (c) ¿Qué forma tiene la onda y qué tipo de polarización posee?
4. *Polarización.* Un retardador o lámina de onda es un dispositivo óptico que altera el estado de polarización de una onda de luz viajando a través de él. Por ejemplo, una lámina de cuarto de onda introduce un desplazamiento de un cuarto de onda o 90 grados, y puede transformar la polarización lineal en polarización circular y vice versa. Esto se hace ajustando el plano de la luz incidente de modo que forme un ángulo de 45° con el eje rápido (sin retardo), dando así igual amplitud para las componentes a lo largo de ambos ejes (ver figura).



Suponiendo un haz totalmente polarizado y disponiendo de un polarizador y una lámina cuarto de onda (cuyo eje rápido está perfectamente localizado),

- (a) Indicar como puede determinarse el sentido de giro del estado de polarización del haz. Es decir, conocer si el haz esta polarizado a derecha o a izquierda.
- (b) Estudiar los tres tipos posibles de polarización : lineal, circular y elíptica.

Ayuda: para determinar el sentido de polarización circular, piense como construir un polarizador circular de ambos tipos utilizando la lámina de cuarto de onda y el polarizador lineal.

5. En esencia, una antena es un alambre de longitud z_0 en el cual se mantiene una corriente oscilante de amplitud $I_0 = q\omega$. Este sistema puede modelarse como un dipolo eléctrico oscilante $\Pi = \Pi_0 \text{sen}\omega t$, para el cual la energía irradiada por unidad de tiempo se calcula según $\frac{dE}{dt} = \frac{\Pi_0^2 \omega^4}{12\pi\epsilon_0 c^3}$.
 - (a) ¿Qué relación debe cumplirse entre z_0 y ω para que resulte válido el modelado como dipolo eléctrico?
 - (b) Determine una expresión para la *resistencia de radiación de la antena* R
 - (c) Calcule $\frac{dE}{dt}$ y R para una antena de 30 m de longitud que irradia ondas de 500 kHz mediante una corriente de 20 A de amplitud. Analice la validez del tratamiento.

Preguntas conceptuales

1. ¿Por qué decimos que las ondas electromagnéticas son ondas transversales?
2. Probar que los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética propagándose en el vacío son perpendiculares y están en fase.
3. Enumere algunas diferencias entre una onda radio y una de sonido.
4. Cómo utilizaría un polarizador para saber si una onda está polarizada linealmente? ¿Qué sucederá si expone a un polarizador lineal una onda circularmente polarizada?
5. ¿Cuál es el significado físico del vector de Poynting?
6. ¿Qué principio físico establece el teorema de Poynting?
7. Explique por qué es esperable desde el principio de conservación de la energía, que el campo eléctrico de una onda esférica decazca con la distancia con la inversa del radio.
8. Escriba y resuelva la ecuación de ondas en coordenadas esféricas. Sugiera una explicación al hecho de que la solución diverge para $r = 0$.
9. ¿Puede hablarse de radiación electromagnética cada vez que el vector de Poynting es no nulo? De ejemplos/contraejemplos.
10. ¿Cómo son los campos electromagnéticos de una carga moviéndose a velocidad constante? Si existe un vector de Poynting, interprete su significado. De argumentos a favor o en contra de la posibilidad de que haya radiación emitida.
11. Una carga se mueve a velocidad constante durante un tiempo prolongado; en $t = 0$ experimenta una súbita aceleración, luego de la que vuelve a desplazarse con velocidad constante. Realice un esquema de los campos electromagnéticos para un tiempo $t > 0$. Explique que ocurre en este caso con los argumentos a favor o en contra de la posibilidad de que haya radiación emitida. ¿Espera que se cumpla el teorema *trabajo-energía cinética*?
12. De algunos ejemplos de radiación dipolar eléctrica. Describa los campos (eléctrico y magnético) cercano y lejano. (¿Qué significa lejano y cercano?). Explique si en alguna situación el campo lejano se asemeja a una onda plana linealmente polarizada.
13. En el caso anterior, ¿en qué dirección la intensidad de radiación es mayor, tomando como referencia la aceleración de las cargas? Compare con el caso anterior de la carga acelerada. Realice un correlato entre los distintos momentos del dipolo (valor máximo, cero y mínimo) y la distribución espacial de las líneas de campo.