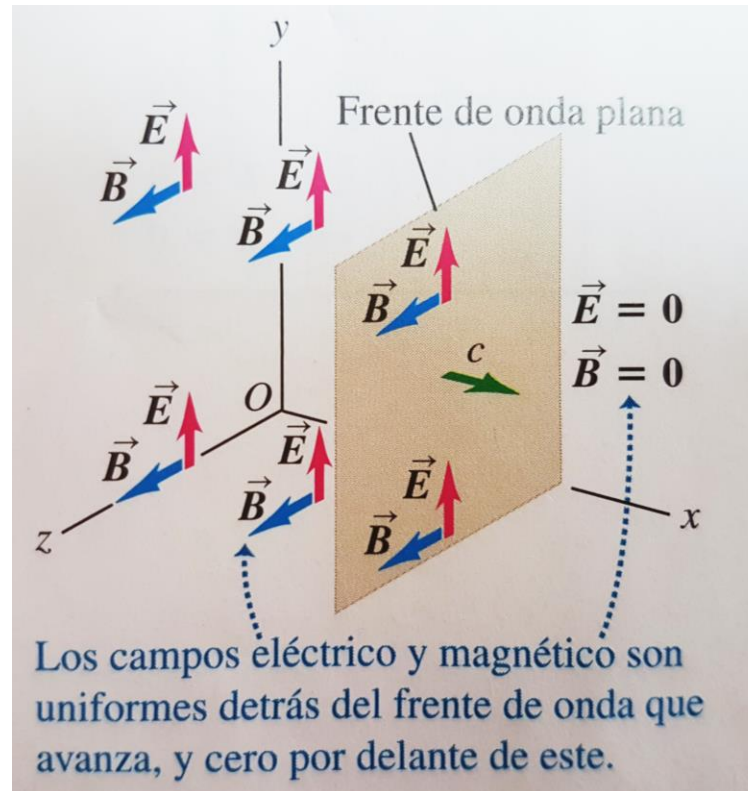


Módulo III

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PLANAS

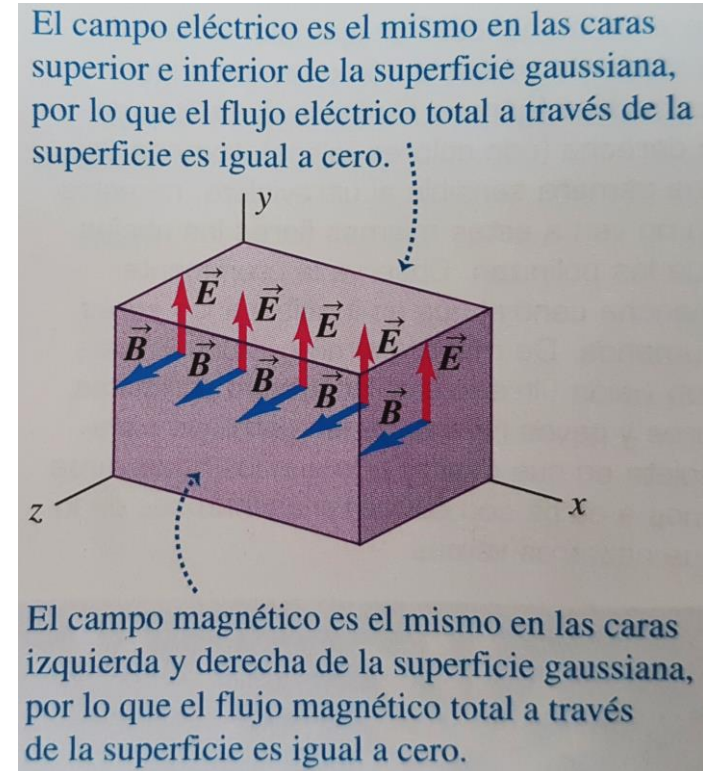
Ondas Electromagnética Plana Simple



El plano que representa el frente de onda se mueve hacia la derecha (en la dirección positiva del eje x) con rapidez c .

Comprobación de la Primera y Segunda Ecuaciones de Maxwell (Leyes de Gauss de los Campos Eléctricos y Magnético)

1. Consideramos una Superficie Gaussiana (caja rectangular) con lados paralelos a los planos coordenados xy , xz y yz .
2. La caja no encierra cargas eléctricas.
3. Los flujos eléctrico y magnético totales a través de la caja son iguales a cero, aun si parte de la caja está en la región en la que $E=B=0$. **No es el caso si \vec{E} o \vec{B} tuvieran una componente x paralela a la dirección de propagación.**



Comprobación de Ley de Faraday

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$\vec{E} = 0$ a lo largo del lado ef .

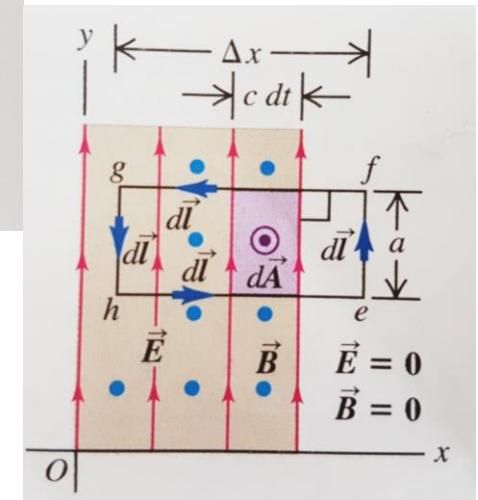
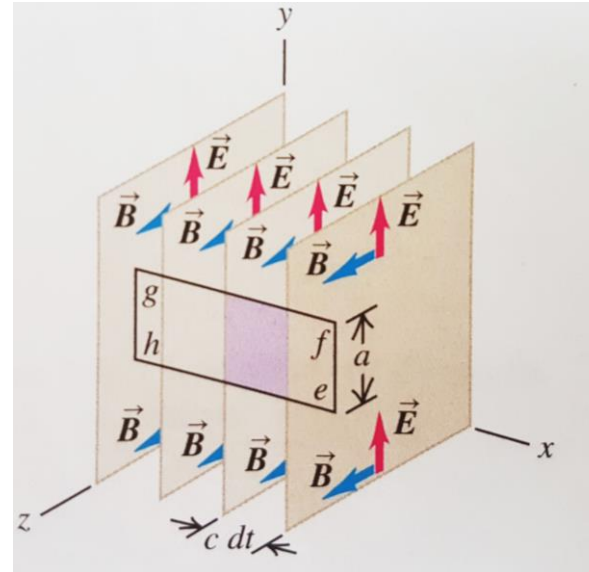
$d\vec{A}$ del rectángulo $efgh$ está en la dirección $+x$.

Se requiere integrar $\vec{E} \cdot d\vec{l}$ en *sentido antihorario* del rectángulo.

$\vec{E} = 0$ o perpendicular a $d\vec{l}$ en cada punto de los lados fg y he .

Sólo el lado gh contribuye a la integral (\vec{E} y $d\vec{l}$ son opuestos):

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -Ea$$



Comprobación de la Ley de Faraday

Para satisfacer la Ley de Faraday:

Debe haber una componente de \vec{B} en la dirección z (perpendicular a \vec{E}). → Flujo magnético Φ_B distinto de cero en el rectángulo $efgh$ y una derivada $d\Phi_B/dt$ diferente de cero.

Comprobación:

Durante un intervalo de tiempo dt , el frente de onda se desplaza una distancia $c dt$ hacia la derecha, y recorre un área $ac dt$ del rectángulo → Flujo magnético Φ_B se incrementa en $d\Phi_B = B(ac dt)$.

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = Bac$$

$$\therefore \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt} = -Ea = Bac$$

$$E = cB \text{ (onda electromagnética en el vacío)}$$

Comprobación de la Ley de Ampere

No hay corriente de conducción ($i_c = 0$)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

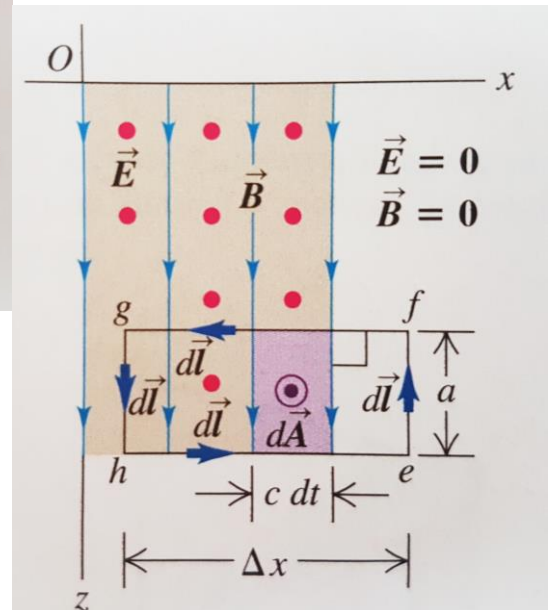
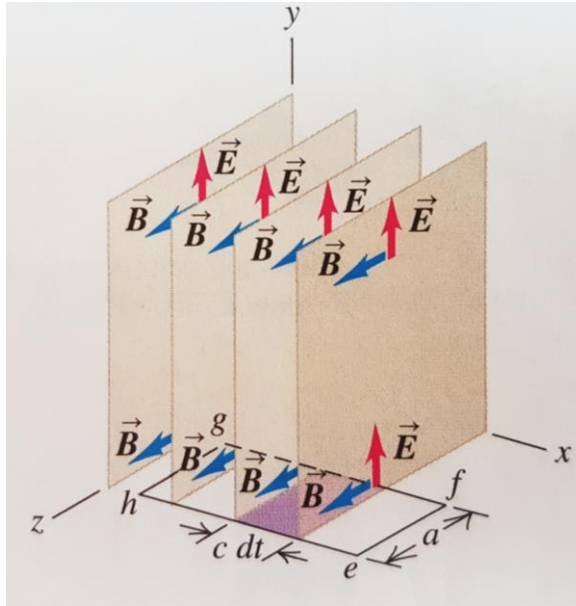
Área vectorial $d\vec{A}$ en la dirección $+y$.

Regla de la mano derecha \rightarrow integración $\vec{B} \cdot d\vec{l}$ en sentido antihorario.

$\vec{B} = 0$ a lo largo del lado ef . En todos los puntos sobre los lados fg y he , y es cero o perpendicular a $d\vec{l}$.

Sólo gh contribuye a la integral ($\vec{B} \cdot d\vec{l}$ son paralelos)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = Ba$$



Comprobación de la Ley de Ampere

Para satisfacer la Ley de Ampere:

Debe haber una componente de \vec{E} en la dirección y (perpendicular a \vec{B}). \rightarrow Flujo eléctrico Φ_E distinto de cero en el rectángulo $efgh$ y una derivada $d\Phi_E/dt$ diferente de cero.

Comprobación:

Durante un intervalo de tiempo dt , el flujo eléctrico Φ_E a través del rectángulo se incrementa en $d\Phi_E = E(ac dt)$.

$$\frac{d\Phi_E}{dt} = Eac$$
$$\therefore \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = Ba = \mu_0 \epsilon_0 Eac$$

$$B = \mu_0 \epsilon_0 cE \text{ (onda electromagnética en el vacío)}$$

Rapidez de las Ondas Electromagnéticas en el Vacío

La onda electromagnética debe obedecer tanto la Ley de Ampere como la de Faraday. Sólo posible cuando:

$$\epsilon_0 \mu_0 c = \frac{1}{c}$$

$$\therefore c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \text{ (Rapidez de las ondas electromagnéticas en el vacío)}$$

Al sustituir:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\left(8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}\right) (4\pi \times 10^{-7} N/A^2)}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Propiedades Clave en las Ondas Electromagnéticas

1. La onda es transversal; tanto como \vec{E} y \vec{B} son perpendiculares a la dirección de la propagación de la onda. Los campos eléctrico y magnético también son perpendiculares entre sí. La dirección de la propagación es la dirección del producto vectorial $\vec{E} \times \vec{B}$.
2. Hay una razón definida entre las magnitudes de \vec{E} y \vec{B} : $E=cB$.
3. La onda viaja en el vacío con rapidez definida e invariable.
4. A diferencia de las ondas mecánicas, que necesitan de partículas oscilantes de un medio, como el agua o aire, para transmitirse, las ondas electromagnéticas no requieren un medio.