

Ondas electromagnéticas

Introducción. Ecuaciones de Maxwell

Ondas electromagnéticas planas senoidales

Energía y momento

Ondas electromagnéticas en la materia.

El espectro electromagnético

Generación de ondas electromagnéticas

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Ecuaciones de Maxwell

Formulación integral

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_A \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da$$

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} da = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da = 0$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 (I + I_D) = \mu_0 \int \left(\mathbf{j} + \epsilon_0 \frac{d\mathbf{E}}{dt} \right) \cdot \mathbf{n} da$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

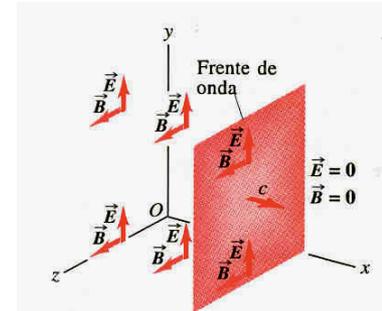
Onda plana y ecuaciones de Maxwell

Propagación dirección x

Comprobación ley Gauss

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} da = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da = 0$$



33-2 Frente de onda electromagnética. El plano que representa al frente de onda se desplaza hacia la derecha con una rapidez c . Los campos \vec{E} y \vec{B} son uniformes en la región que se encuentra detrás del frente de onda, pero son cero delante de éste.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

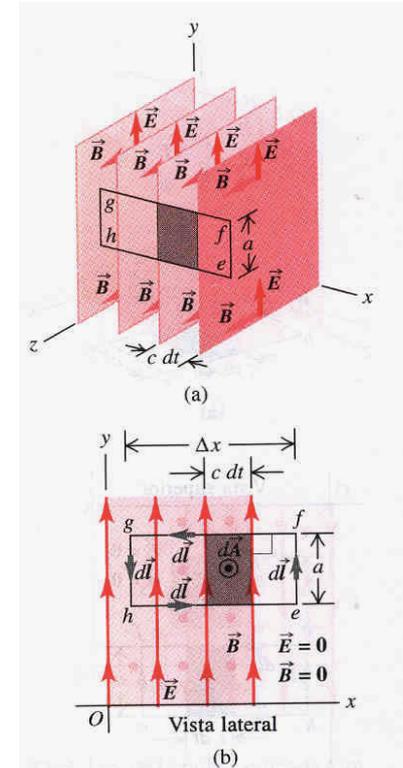
ambos cero.

Onda plana y ecuaciones de Maxwell

Comprobación ley Faraday

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_A \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} da$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -Ea; \frac{d\phi_B}{dt} Bac; -Ea = -Bac; c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$



33-4 Aplicación de la ley de Faraday a una onda plana. En el tiempo dt , el frente de onda se...

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$d\Phi_B = Bac dt.$$

Cartagena99

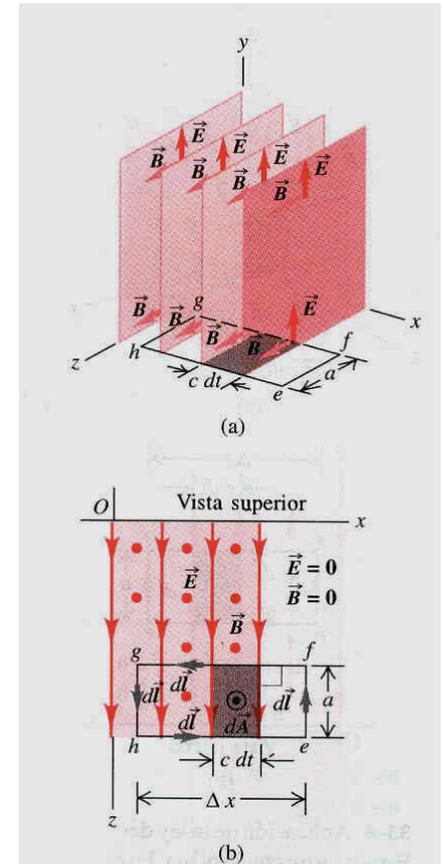
Onda plana y ecuaciones de Maxwell

Comprobación ley Ampère

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 (I + I_D) = \mu_0 \int_A \left(\mathbf{j} + \epsilon_0 \frac{d\mathbf{E}}{dt} \right) \cdot \mathbf{n} da$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = Ba; \frac{d\phi_E}{dt} = Eac; Ba = \epsilon_0 \mu_0 Eac;$$

$$B = \epsilon_0 \mu_0 cE \Rightarrow c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



33-5 Aplicación de la ley de

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

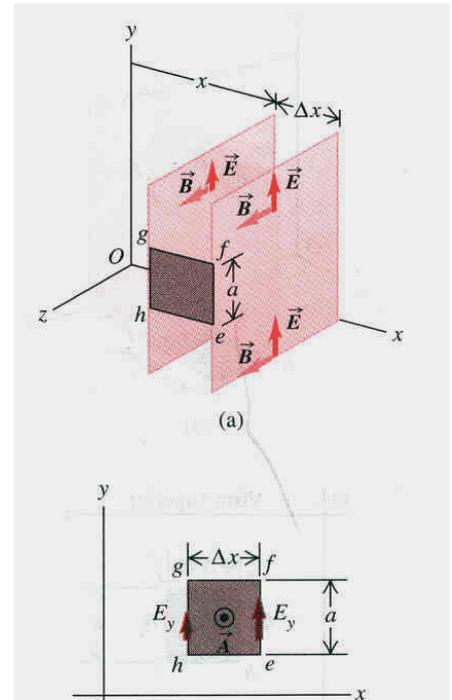
Ecuación de onda

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -E_y(x, t)a + E_y(x + \Delta x, t)a = a[E_y(x + \Delta x, t) - E_y(x, t)]$$

$$\frac{d\phi_B}{dt} = \frac{\partial B_z(x, t)}{\partial t} a \Delta x$$

$$a[E_y(x + \Delta x, t) - E_y(x, t)] = -\frac{\partial B_z}{\partial t} a \Delta x$$

$$\frac{E_y(x + \Delta x, t) - E_y(x, t)}{\Delta x} = -\frac{\partial B_z}{\partial t}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

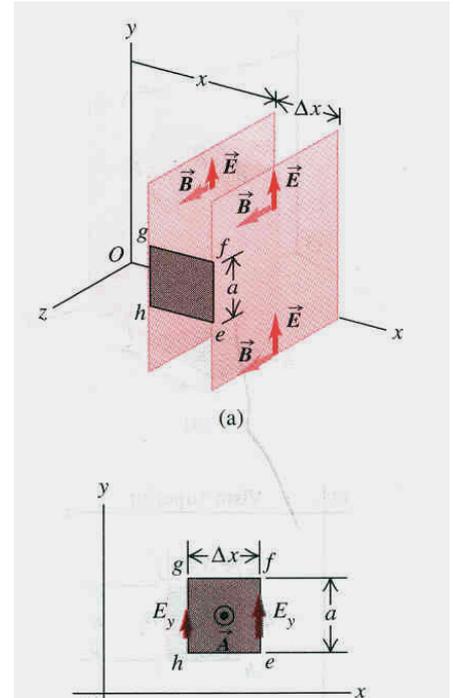
Ecuación de onda

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = -B_z(x + \Delta x, t)a + B_z(x, t)a$$

$$\frac{d\phi_E}{dt} = \frac{\partial E_y(x, t)}{\partial t} a \Delta x$$

$$a[-B_z(x + \Delta x, t) + B_z(x, t)] = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_y(x, t)}{\partial t} a \Delta x$$

$$-\frac{\partial B_z(x, t)}{\partial x} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_y(x, t)}{\partial t}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ecuación de onda

$$\frac{\partial E_y(x,t)}{\partial x} = - \frac{\partial B_z(x,t)}{\partial t}$$

$$- \frac{\partial B_z(x,t)}{\partial x} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_y(x,t)}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial x^2} = - \frac{\partial^2 B_z(x,t)}{\partial x \partial t}$$

$$- \frac{\partial^2 B_z(x,t)}{\partial x \partial t} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial t^2}$$

Cartagena99

$\partial^2 E_y(x,t)$

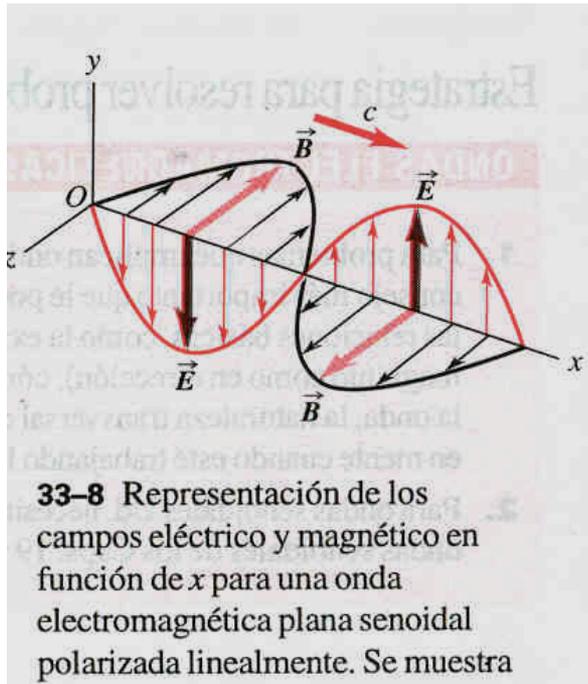
$\partial^2 E_y(x,t)$

1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Ondas senoidales



$$E(x, t) = E_0 \operatorname{sen}(kx - \omega t);$$

$$\mathbf{E}(x, t) = E_0 \mathbf{u}_y \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

$$B(x, t) = B_0 \operatorname{sen}(kx - \omega t);$$

$$\mathbf{B}(x, t) = B_0 \mathbf{u}_z \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

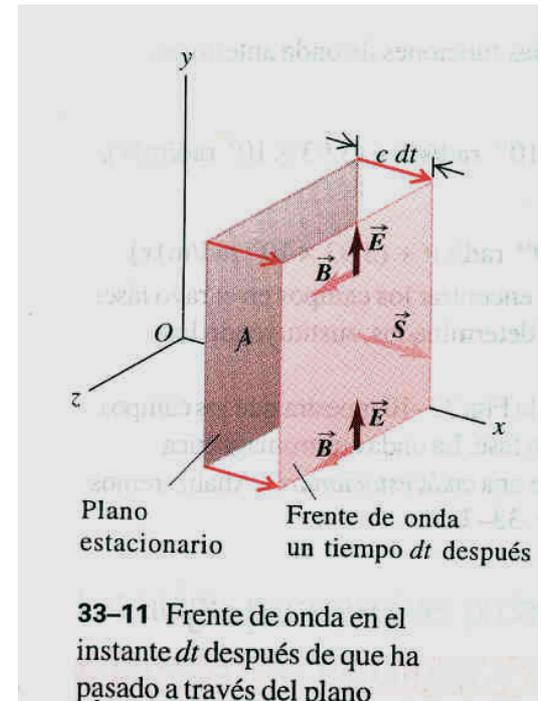
sólo para puntos a lo largo del eje x .

Energía

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2; B = \frac{E}{c} = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} E$$

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} (\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} E)^2 = \epsilon_0 E^2$$

$$dU = udV = (\epsilon_0 E^2) (Ac dt)$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Vector de Poynting

Intensidad y potencia

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{E} \times \mathbf{B})$$

$$P = \int_A \mathbf{S} \cdot \mathbf{n} dA$$

Valores instantáneos y medio

$$S(x, t) = \frac{E(x, t)B(x, t)}{\mu_0} = \frac{E_0 B_0}{\mu_0} \text{sen}^2(kx - \omega t)$$

$$\langle S \rangle = I = \frac{E_0 B_0}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_0^2$$

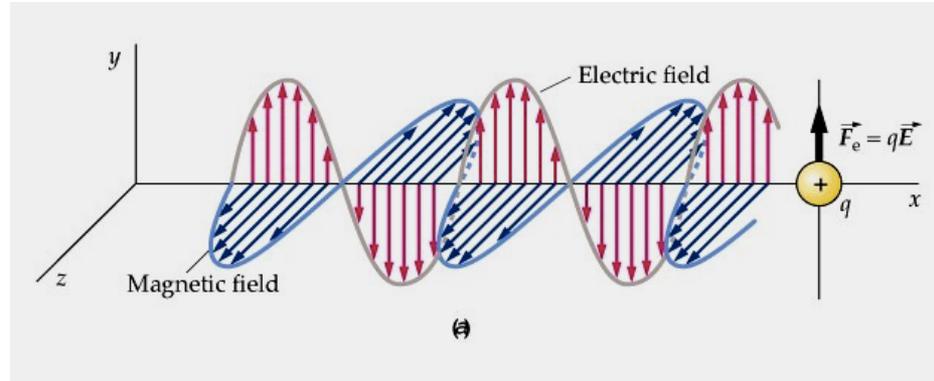
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

INSTITUTO VASCO DE LECTURA Y DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS Y LETRAS

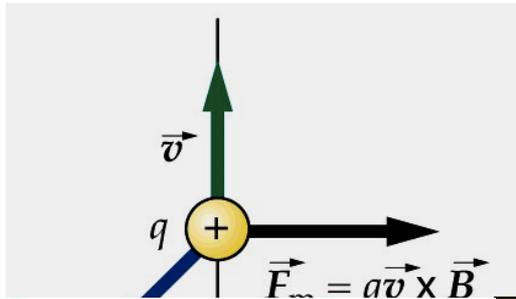
Momento



$$v_y = at = \frac{qE}{m} t$$

$$E_c = \frac{1}{2} m v_y^2 = \frac{1}{2} \frac{m q^2 E^2 t_1^2}{m^2} = \frac{1}{2} \frac{q^2 E^2}{m} t_1^2$$

$$\mathbf{F}_m = q \mathbf{v} \times \mathbf{B} = \frac{q^2 E B}{m} t \mathbf{u}_x$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

P =

6

Presión de radiación

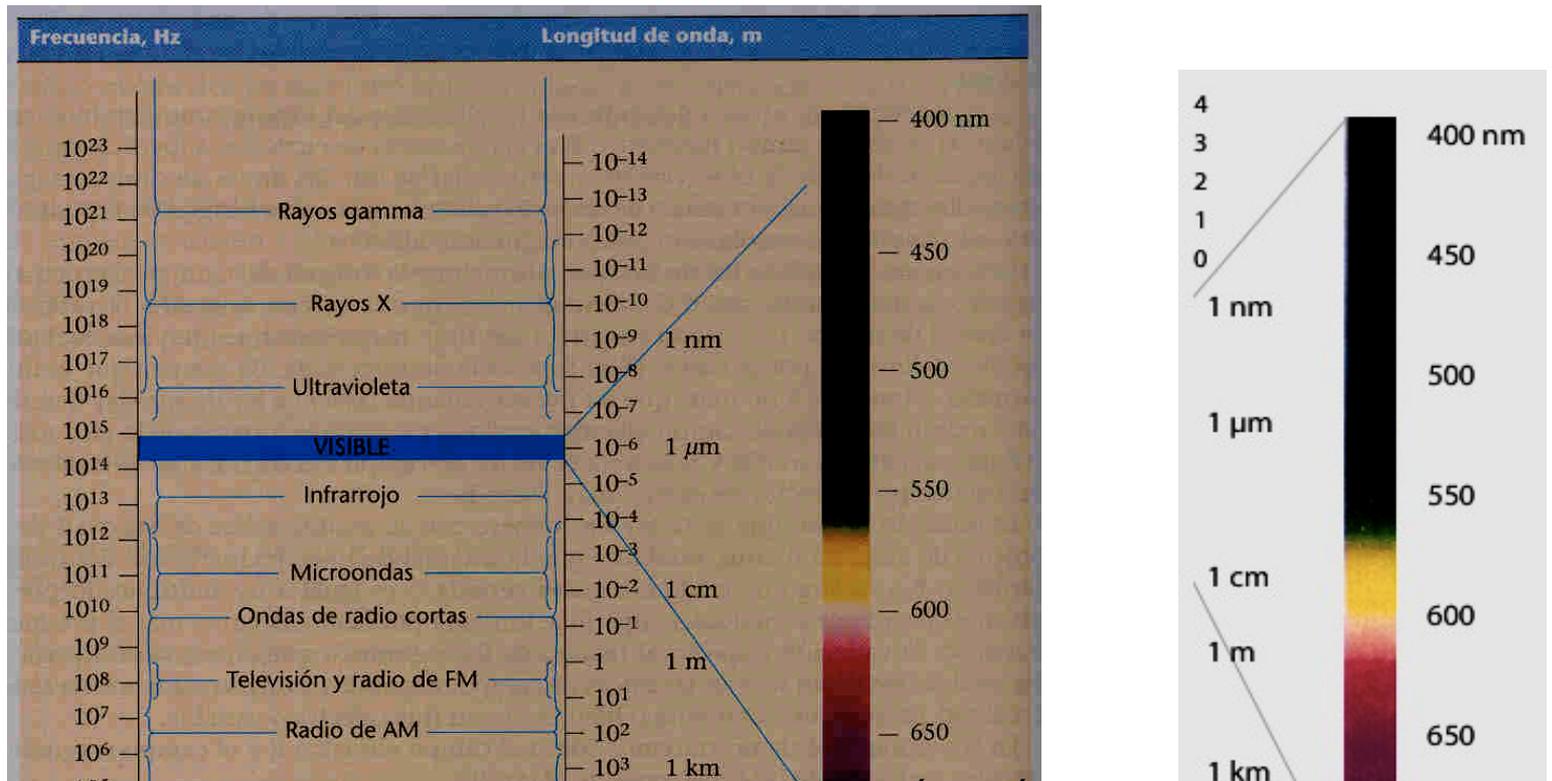
$$p_r = \frac{I}{c} = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c^2} = \frac{B_0^2}{2\mu_0}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Espectro electromagnético

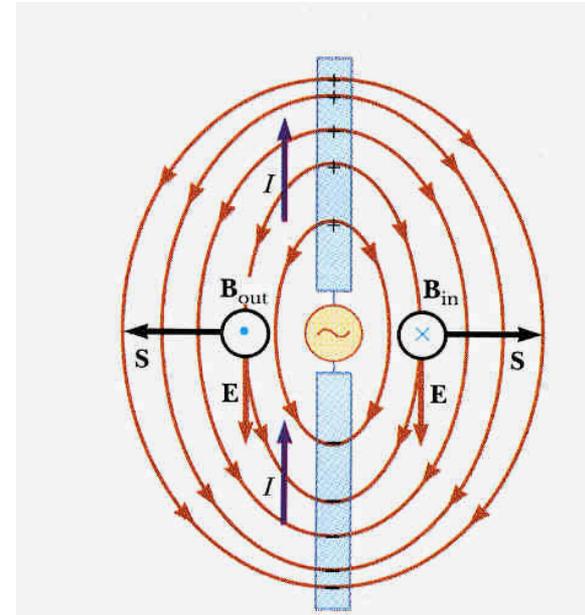
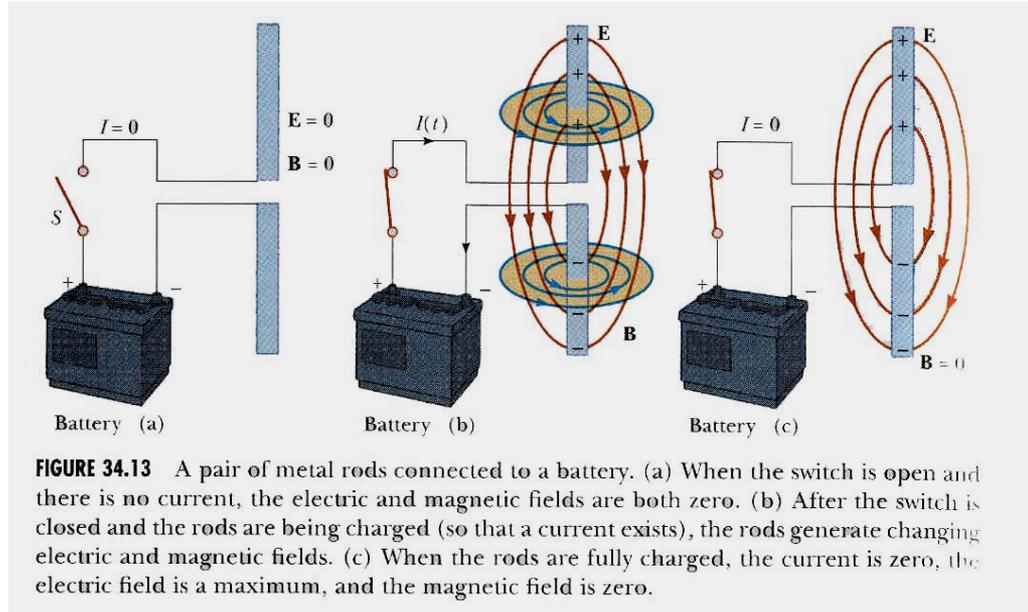


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Antena dipolar



$$E = \frac{pk^2}{4\pi\epsilon_0 r} \frac{\sin\theta}{\sin(kr - \omega t)}$$

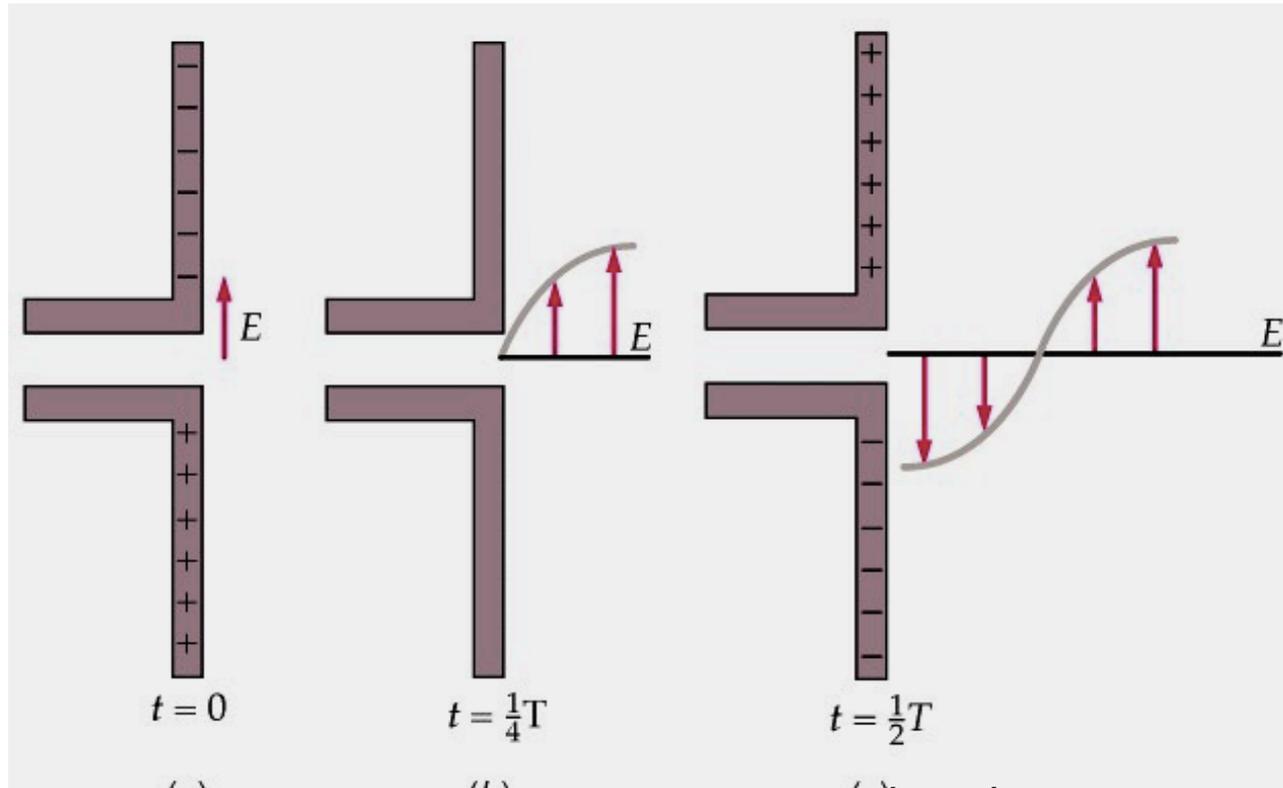
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TICOC

Generación de ondas

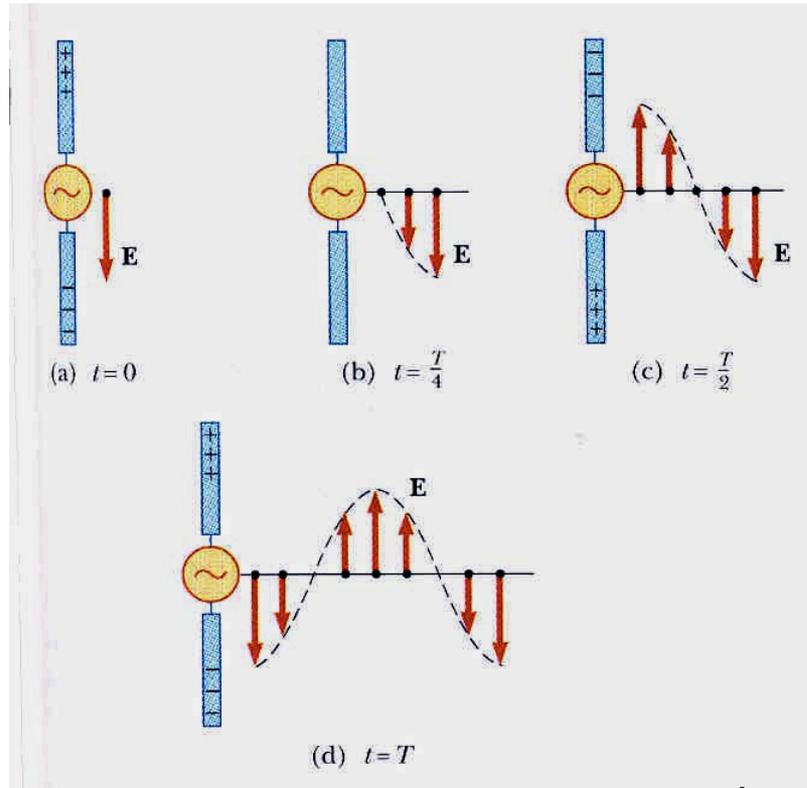


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Antena dipolar eléctrica

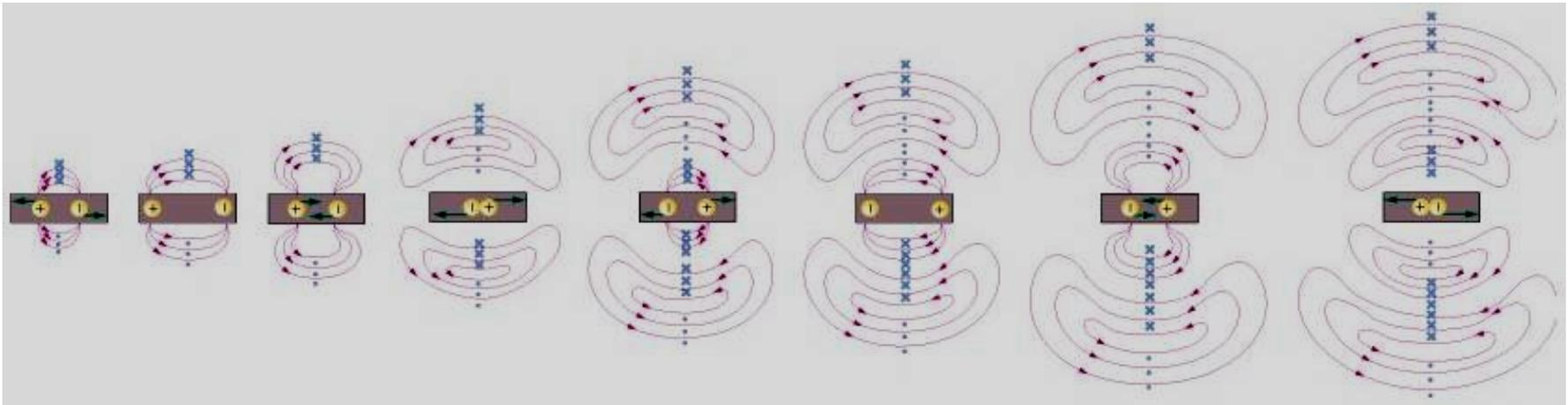


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Generación de ondas

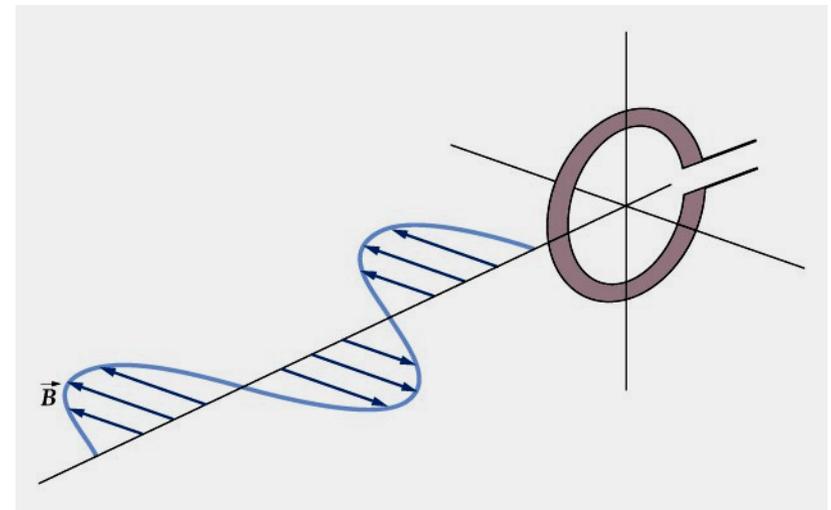
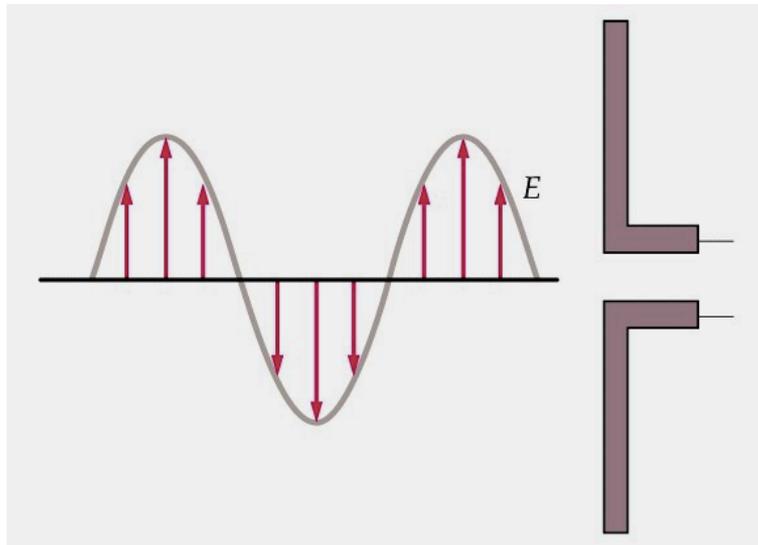


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Detección de ondas

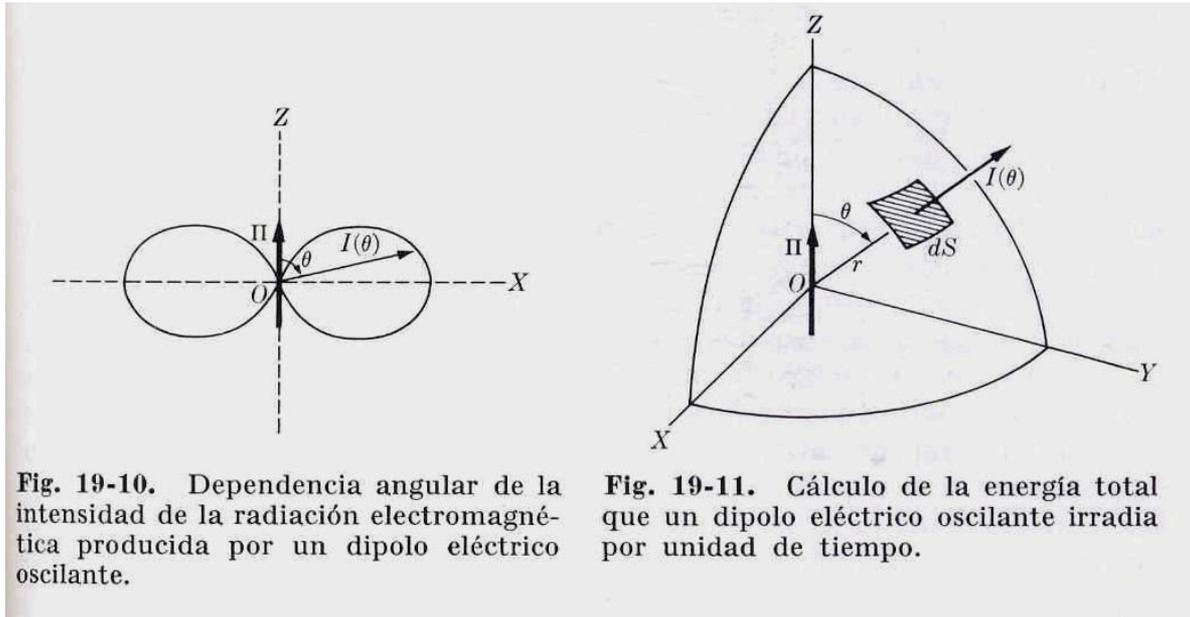


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Radiación dipolar

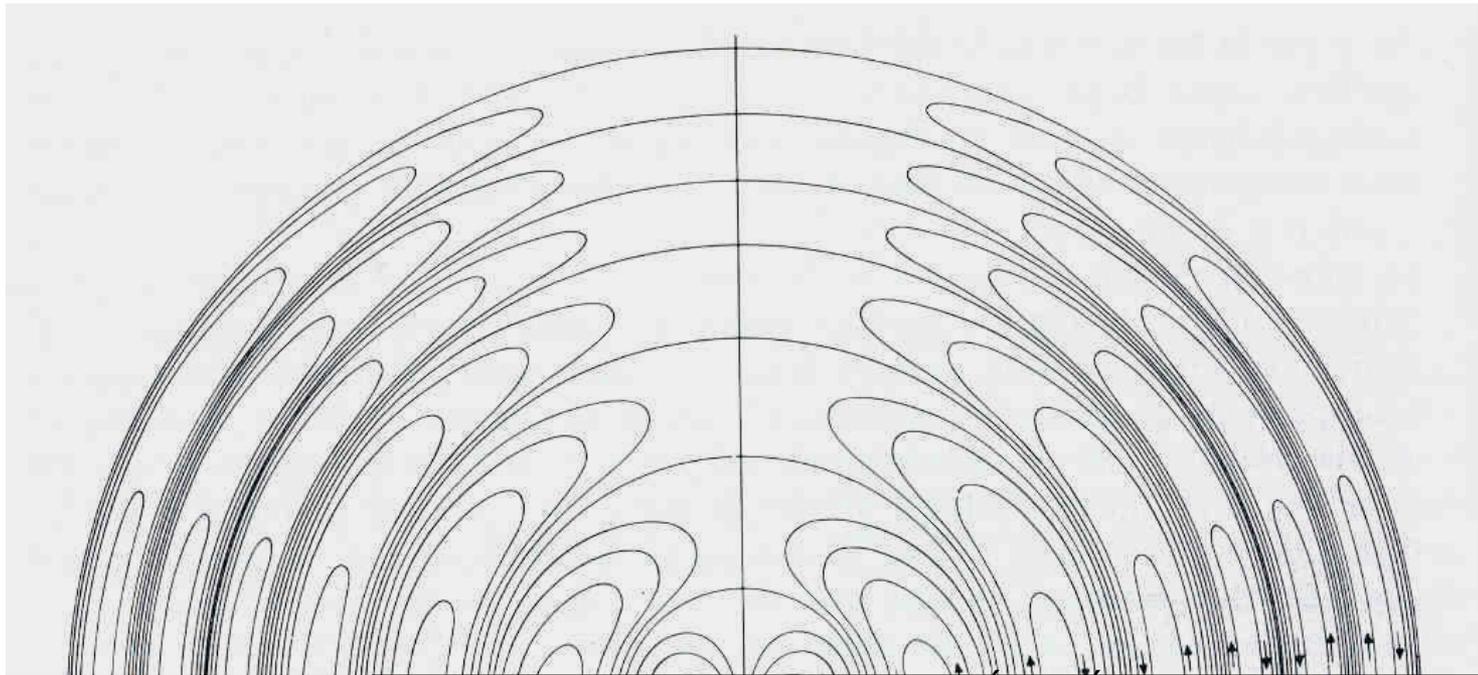


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Diagrama radiación dipolar



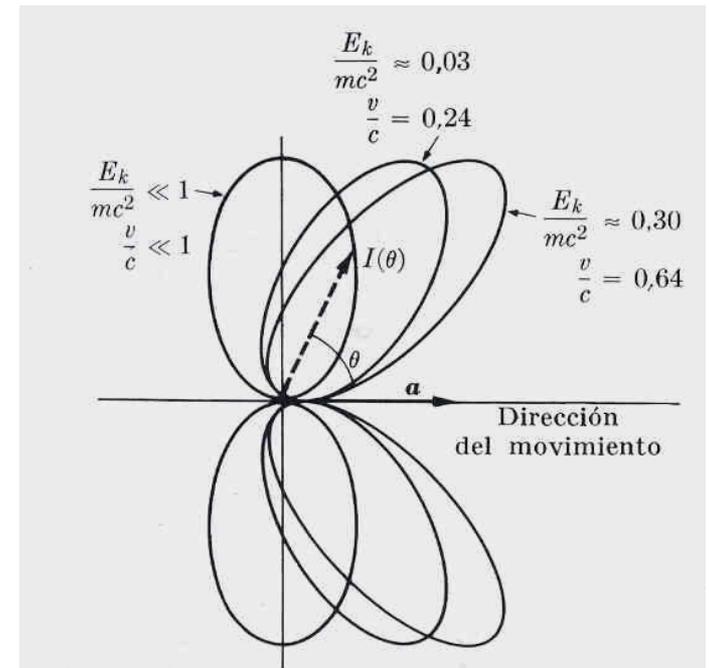
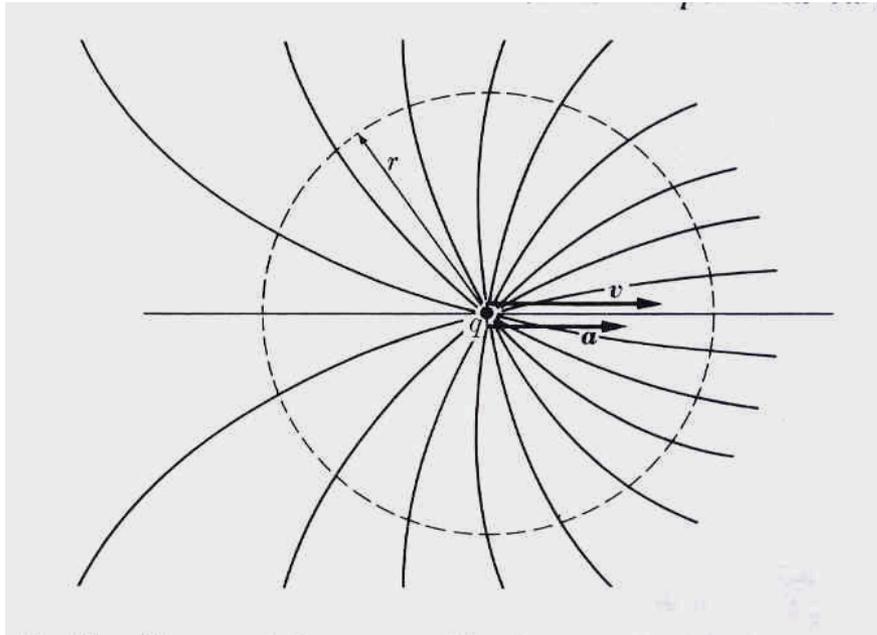
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Fig. 19-9. Líneas del campo eléctrico producido por un dipolo eléctrico oscilante.

Radiación carga acelerada



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Ondas electromagnéticas en medios materiales

Medio material: ϵ, μ

$$E = vB; B = \epsilon\mu vB; v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\mu_r \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

Índice de refracción n ($\mu = \mu_0$)

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}; n = \frac{c}{v} \cong \sqrt{\epsilon_r}$$

Energía

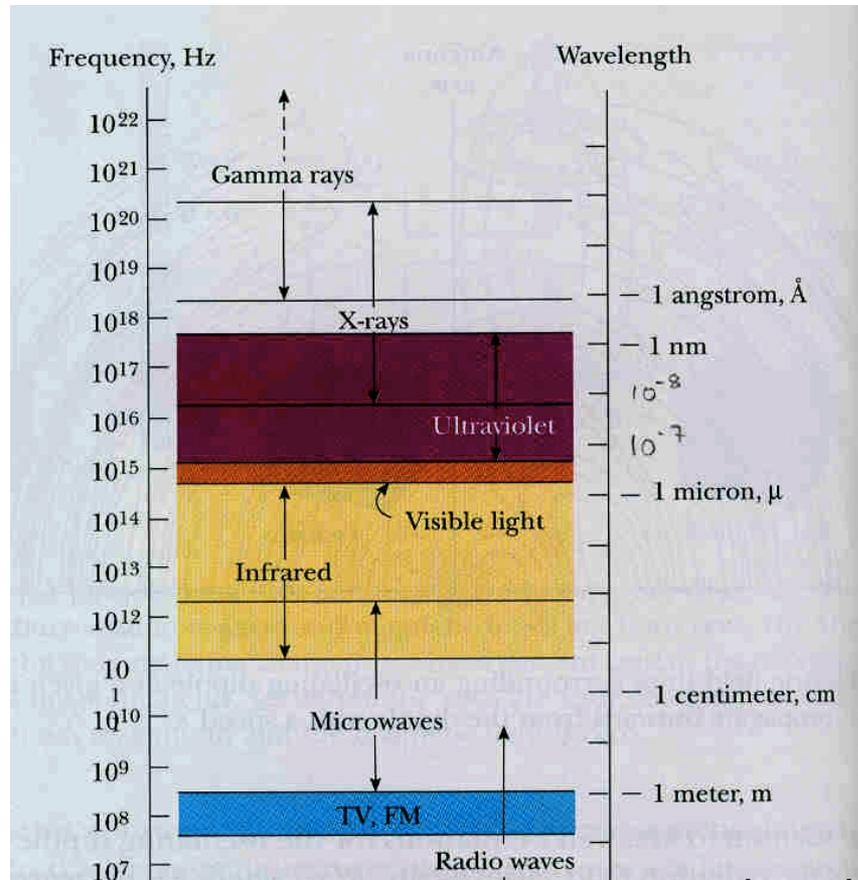
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{\sqrt{\mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{\sqrt{\mu_r}}$$

La luz



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70