

Ecuațiile lui Maxwell in forma locala

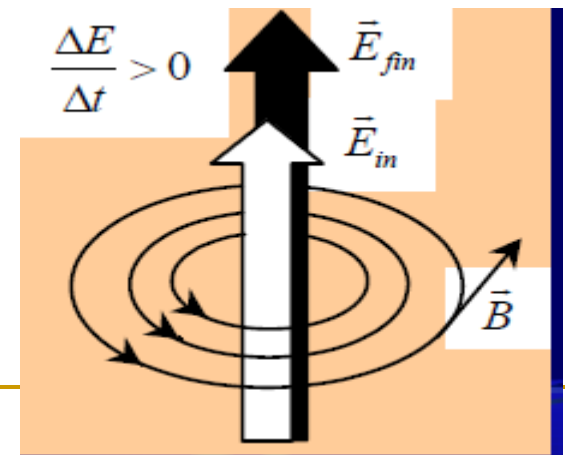
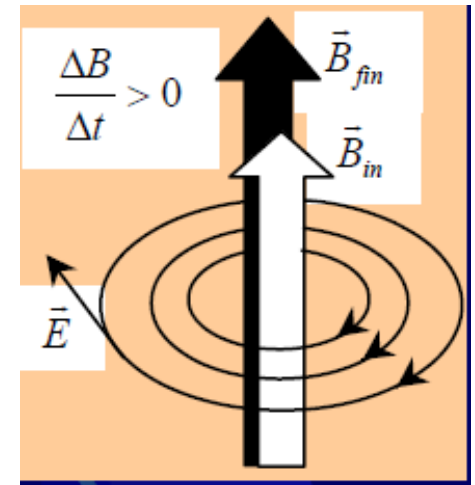
Ansamblul câmpurilor electric și magnetic, variabile în timp, care se generează reciproc, constituie un câmp electromagnetic.

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j}_c + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$



Unde electromagnetice

O perturbație a câmpului electromagnetic (adică, în ultimă instanță, modificarea în timp a vectorilor de câmp) se propagă în mediul ambient cu o viteză finită , sub formă de *unde electromagnetice*.

Pentru a deduce proprietățile specifice ale undelor electromagnetice, din punct de vedere practic, ne interesează să studiem (să măsurăm) câmpul electromagnetic într-un spațiu lipsit de surse de câmp, adică de densități de sarcini $\rho = 0$ și densități de curent $\vec{j} = 0$

precum și în medii omogene și izotrope, deci unde vectorii inducție sunt coliniari cu vectorii intensitate.

În aceste condiții, ecuațiile lui Maxwell se simplifică în felul următor :

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \qquad \nabla \times \vec{H} = -\varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\nabla \vec{H} = 0 \qquad \nabla \vec{E} = 0$$

Unde electromagnetice

Vom obține, după câteva calcule, două ecuații matematice identice pentru vectorii intensitate a câmpului electromagnetic:

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \qquad \Delta \vec{H} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0$$

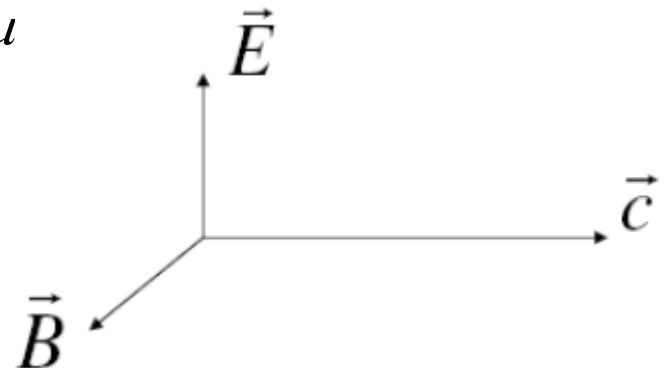
unde viteza de propagare a undelor electromagnetice într-un mediu oarecare cu permitivitatea dielectrică $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ și permeabilitatea magnetică $\mu = \mu_r \mu_0$ este:

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

respectiv :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4\pi} \frac{1}{9 \cdot 10^9} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c este viteza luminii în vid.



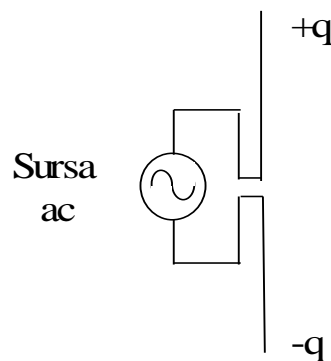
Producerea undelor electromagnetice

■ Antena

Pentru a obține un câmp electromagnetic care se propagă (unde electromagnetice), trebuie realizat un *circuit oscilant deschis* numit și *dipol electric oscilant* sau *antena*.

O antenă dipol oscilant poate fi construită în diferite moduri în funcție de frecvența de lucru.

Un model care funcționează bine în domeniul radiofrecvențelor este constituit din doi conductori rectilinii coliniari conectați la bornele unei surse de tensiune alternativă ca în figura:



Producerea undelor electromagnetice

■ Antena

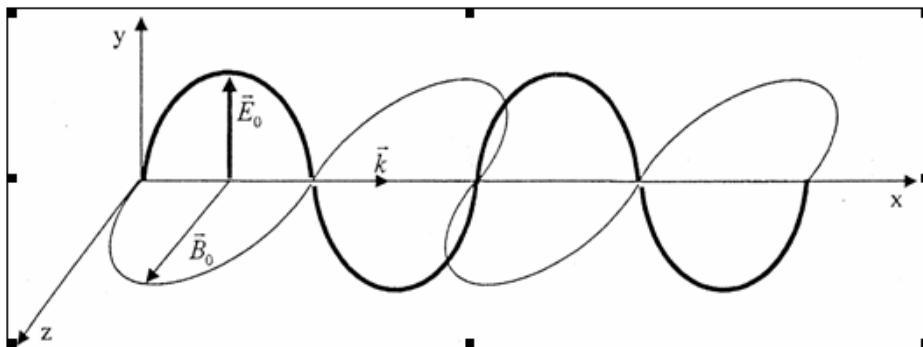
Sarcinile din dipol, $q \sin \omega t$ și $-q \sin \omega t$, produc un câmp electric peste care se suprapune câmpul generat de variația în timp a câmpului magnetic produs de curentul din dipol. Prin suprapunerea acestor două câmpuri rezultă, în momentul când curentul în conductor este zero, un câmp electric cu linii de câmp închise. Acest câmp electric se “desprinde” de dipol și începe să se propage. În semiperioada următoare, procesul se repetă, dar sensul câmpurilor electric și magnetic este inversat.

Distribuția câmpurilor radiației emise de un **dipol electric oscilant** este destul de complexă, dar la distanțe mari de dipol vectori \vec{E} și \vec{B} sunt perpendiculari unul pe celălalt și amândoi sunt perpendiculari pe direcția de propagare a undei, unda electromagnetică este astfel o **undă transversală**.

Dipolul magnetic oscilant funcționează de asemenea ca o sursă de radiație; un exemplu este o buclă circulară parcursă de un curent sinusoidal. În ceea ce privește energia radiată, la frecvențe suficient de înalte, antena dipol magnetic este mai eficientă decât cea dipol electric de dimensiuni comparabile.

Caracteristicile undelor electromagnetice

Într-o undă electromagnetică, vectorii \vec{v} , \vec{E} și \vec{H} sunt reciproc perpendiculari, adică formează, în această ordine, un triedru rectangular drept sau dextrogir (la fel ca și versorii \vec{i} , \vec{j} și \vec{k} ai sistemului cartezian de axe Ox , Oy și Oz).



$$\frac{1}{\omega} \vec{k} = \frac{T}{2\pi} k \vec{n} = \frac{T}{2\pi} \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n} = \frac{T}{vT} \vec{n} = \frac{1}{v} \vec{n} = \frac{1}{v^2} \vec{v} = \epsilon \mu \vec{v}$$

Introducem vectorul lui Poynting electromagnetic, care, la fel ca și cel din teoria undelor elastice, are semnificația unei intensități energetice (energia transmisă în unitatea de timp prin unitatea de suprafață, perpendicular pe această suprafață). Prin definiție, acesta este, în general :

$$\vec{S}_P = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B}$$

Unitatea sa de măsură în SI este :

$$[S_P]_{SI} = [E]_{SI} [H]_{SI} = 1 \frac{V}{m} 1 \frac{A}{m} = 1 \frac{W}{m^2}$$

Caracteristicile undelor electromagnetice

Vectorul lui Poynting se poate scrie :

$$\vec{S}_p = \varepsilon E^2 \vec{v} = \mu H^2 \vec{v} = \frac{1}{2} (\varepsilon E^2 + \mu H^2) \vec{v} = w_{em} \vec{v}$$

unde, în ultima egalitate, apare densitatea de energie electromagnetică :

$$w_{em} = \frac{1}{2} (\varepsilon E^2 + \mu H^2)$$

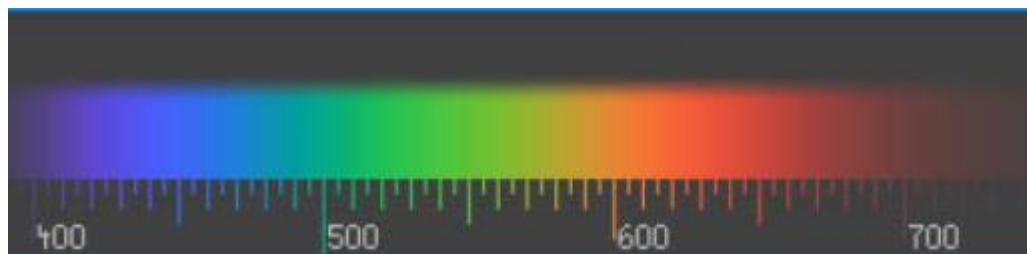
Prin urmare, unda electromagnetică transportă, de-a lungul direcției sale de propagare, o energie electromagnetică de densitate w_{em} și intensitate \vec{S}_p .

Gama undelor electromagnetice

Lungimea de undă (m)	Frecvența (Hz)	Domeniul		
3×10^{-15}	10^{23}	Radiații γ		
—	—			
10^{-12}	10^{20}			
—	—			
10^{-9}	10^{17}	Radiații X		
—	—			
10^{-6} 1 μm	10^{14}	Ultraviolet		
—	—	VIZIBIL		<i>Regiunea optică</i>
—	—	Infraroșu		
10^{-3} 1 mm	10^{11}			
—	—	Microunde		
—	1 GHz			
10^0 1 m	10^8	Ultrascurte		
—	—	Unde scurte	Unde	<i>Unde hertziene</i>
—	1 MHz	Unde medii	radio	
10^3 1 km	10^5	Unde lungi		
—	—			
—	1 kHz			
10^6	10^3			
—	10	Curent alternativ		

Gama undelor electromagnetice

Radiația vizibilă este cuprinsă în domeniul lungimilor de undă:



Culoare	Lungimea de undă
<i>violet</i>	380–450 nm
<i>albastru</i>	450–495 nm
<i>verde</i>	495–570 nm
<i>galben</i>	570–590 nm
<i>orange</i>	590–620 nm
<i>roșu</i>	620–750 nm

Radiația infraroșie cuprinde domeniul de lungimi de undă situat între 10^{-3} m - $7,8 \cdot 10^{-7}$ m. Sunt produse de corpurile încălzite, dar în ultimul timp sau realizat și instalații electronice care generează infraroșii. Sunt folosite la fotografia în întuneric, instalații militare, cercetare.

Radiația ultravioletă este situată în domeniul lungimilor de undă cuprinse între $3,8 \cdot 10^{-7}$ m și $6 \cdot 10^{-10}$ m. Este generată în Soare, lămpile cu vapori de mercur, etc. Ca și lumina vizibilă, radiațiile ultraviolete sunt emise în urma tranzițiilor electronilor periferici din atomi.

Bibilografie selectivă

- [1] Dușan POPOV, Ioan DAMIAN, *Elemente de Fizică generală*, Editura Politehnica, Timișoara, 2001.
- [2] Minerva CRISTEA, Dușan POPOV, Florica BARVINSCHI, Ioan DAMIAN, Ioan LUMINOSU, Ioan ZAHARIE, *Fizică – Elemente fundamentale*, Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
- [3] I. Luminosu, *Fizica – elemente fundamentale*, Editura Politehnica, 2002.
- [4] O. Aczel, *Mecanică fizică. Oscilații și unde*, Ed. Universității Timișoara, 1975.
- [5] A. Hristev , *Mecanică și acustică*, Ed. Did. și Pedag., București, 1982
- [6] H. Kittel, *Cursul de fizică Berkeley*, Vol. I, II, Ed. Did. și Pedag., București, 1982.
- [8] E. Luca, Gh. Zet și alții – *Fizică generală*, Ed. Did. și Pedag., București, 1981.
- [9] T. Crețu – *Fizică generală*, Vol. I și Vol.II, Ed. Tehnică, București, 1984 și 1986.