

TEMA 25

Ones Electromagnètiques

Origen i propietats

Energia i quantitat de moviment

Espectres electromagnètics

Aplicacions

Mesures de protecció

25.1 Equacions de Maxwell. Ones electromagnètiques en el buit

25.1.1 Ones electromagnètiques en el buit

25.1.2. Ones planes. Característiques de les ones electromagnètiques

- Les ones electromagnètiques són ones transversals
- El camp elèctric i magnètic d'una ona electromagnètica són perpendiculars.

25.2 Equacions de Maxwell en termes del potencial elèctric i el potencial vectorial. Solucions generals de les equacions de Maxwell amb corrents i càrregues.

25.2.1 Solucions generals de les equacions de Maxwell en termes dels potencials

25.3 Energia i moment de les ones electromagnètiques

25.3.1. Conservació de l'energia i electromagnetisme

25.3.2 Densitat d'energia i flux d'energia en el camp electromagnètic

25.3.3 Moment del camp electromagnètic. Pressió de radiació

25.4 Espectre electromagnètic. Aplicacions

25.4.1 Longituda d'ona molt llargues (> 1Km)

25.4.2 Radiofreqüència: (10^3 - 10^9 Hz) (Km-0,3m).

25.4.3 Microones: (10^9 - $3 \cdot 10^{11}$ Hz)(30cm-1mm):

25.4.4 Infraroig: ($3 \cdot 10^{11}$ - $4 \cdot 10^{14}$ Hz). Es subdivideix en quatre regions:

25.4.5 Visible: ($3,84 \cdot 10^{14}$ Hz- $7,69 \cdot 10^{14}$ Hz)(622-390nm)

25.4.5 Ultravioleta: ($8 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{17}$ Hz):

25.4.6 Raigs X ($3 \cdot 10^{17}$ - $5 \cdot 10^{19}$ Hz) ($1,2 \cdot 10^3$ eV- $2,1 \cdot 10^5$ eV).

25.4.7 Raigs Gamma ($5 \cdot 10^{19}$ - 10^{27} Hz)(10^4 eV- 10^9 eV).

25

*Ones Electromagnètiques. Origen i propietats. Energia i quantitat de moviment. Espectres electromagnètics. Aplicacions. Mesures de protecció***25.1 Equacions de Maxwell. Ones electromagnètiques en el buit**

Les equacions de Maxwell es poden escriure com un conjunt de quatre equacions diferencials:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ c^2 \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0}\end{aligned}$$

25.1.1 Ones electromagnètiques en el buit

Considerem ara una regió de l'espai lliure de corrents i càrregues. Podrem escriure:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= 0 & \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} & c^2 \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

Si utilitzem l'operador rotacional sobre la segona equació obtenim:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \mathbf{B})$$

recordant que $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E}$ i utilitzant la primera i la quarta equació de Maxwell podem escriure:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0$$

Aquesta és l'equació d'ones elèctrica i ens indica l'existència d'ones que viatgen a la velocitat de la llum c .

Anàlogament, apliquem l'operador rotacional sobre la quarta equació de Maxwell obtenim l'equació d'ones pel camp magnètic:

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0$$

25.1.2. Ones planes. Característiques de les ones electromagnètiques

Acabem de demostrar l'existència d'ones electromagnètiques que es desplacen a la velocitat de la llum. Anem a estudiar ara com estan relacionats el camp elèctric i el camp magnètic en aquestes ones.

Estudiarem el cas més senzill: suposarem que tenim un camp electromagnètic que només depèn de la coordenada z i del temps.

Les ones electromagnètiques són ones transversals

Aleshores la segona equació de Maxwell ens diu que:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{E}_z}{\partial y} - \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial z} &= -\frac{\partial B_x}{\partial t} & \frac{\partial \mathcal{E}_x}{\partial z} - \frac{\partial \mathcal{E}_z}{\partial x} &= -\frac{\partial B_y}{\partial t} \\ \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \mathcal{E}_x}{\partial y} &= -\frac{\partial B_z}{\partial t} \end{aligned}$$

Agafem també la primera i tercera equació de Maxwell i la component z de la quarta equació de Maxwell. Obtenim:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{E}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{E}_y}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{E}_z}{\partial z} &= 0 & c^2 \frac{\partial \mathcal{B}_y}{\partial x} - c^2 \frac{\partial \mathcal{B}_x}{\partial y} &= -\frac{\partial \mathcal{E}_z}{\partial t} \\ \frac{\partial \mathcal{B}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{B}_y}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{B}_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned}$$

doncs que tant E_z com B_z són constants o els considerem inexistents. Tindrem doncs que les ones electromagnètiques son **ones transversals**.

El camp elèctric i magnètic d'una ona electromagnètica són perpendiculars.

Anem a veure quin aspecte tenen les solucions. En particular per a E_x ha de verificar l'equació d'ones:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) E_x = 0$$

Si factoritzem el parèntesi podem escriure:

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \right) \cdot \left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \right) E_x = 0$$

Per tant podem escriure $E_x = E_{1x}(z - ct) + E_{2x}(z + ct)$. La primera component es mou en la direcció $+z$ i l'altre en direcció $-z$.

Imaginem ara que tenim $\mathbf{E} = E_x(z-ct)\hat{\mathbf{i}} + E_y(z+ct)\hat{\mathbf{j}}$. La segona equació de Maxwell ens diu que:

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} = \frac{\partial B_x}{\partial t} \quad \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\frac{\partial B_y}{\partial t}$$

Fixem-nos en que:

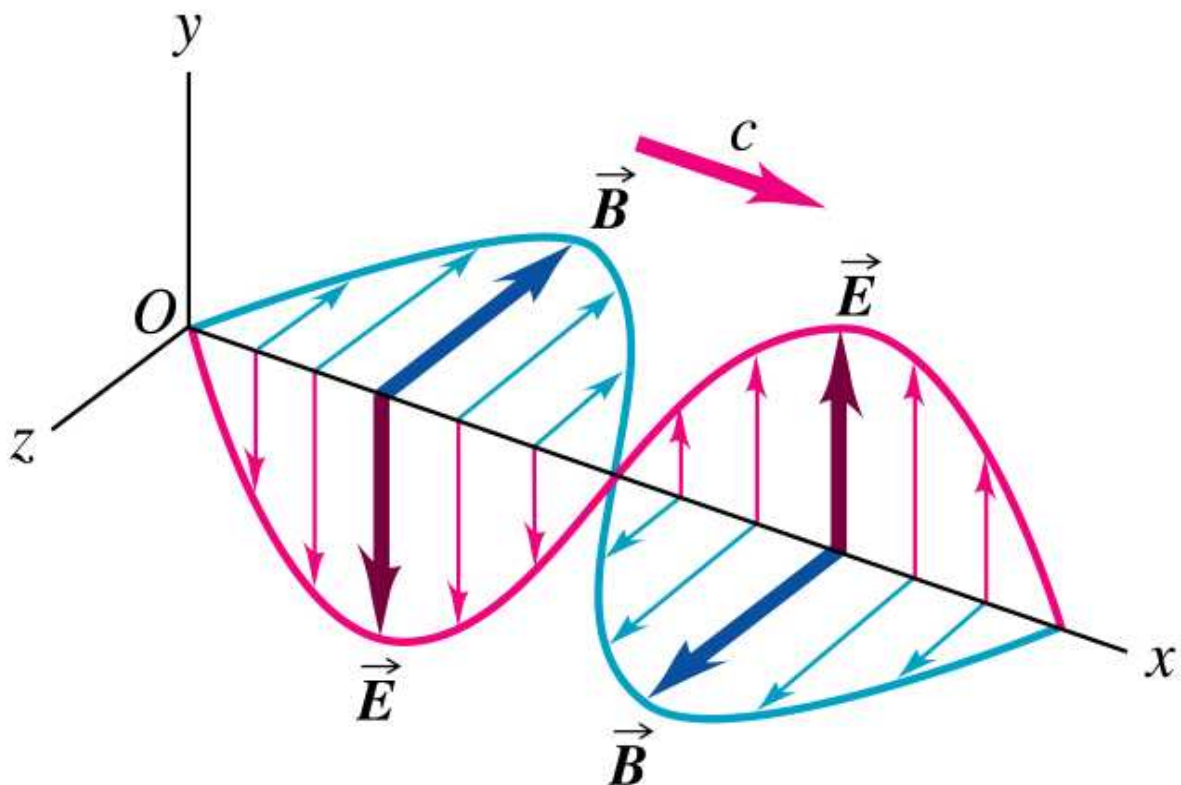
$$\frac{\partial E_y}{\partial z} = -\frac{1}{c} \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial B_x}{\partial t} \quad \frac{\partial E_x}{\partial z} = -\frac{1}{c} \frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{\partial B_y}{\partial t}$$

Per tant integrant respecte del temps tenim:

$$E_x = cB_y \quad E_y = -cB_x$$

i per tant $\mathbf{E} \cdot \mathbf{B} = 0$, és a dir, els camps elèctric i magnètic d'una ona electromagnètica són perpendiculars entre si i a la direcció de propagació. A més:

$$\frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{B}|} = c$$



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

25.2 Equacions de Maxwell en termes del potencial elèctric i el potencial vectorial. Solucions generals de les equacions de Maxwell amb corrents i càrregues.

Anem a veure com es poden calcular els camps elèctrics i magnètics de les ones electromagnètiques en presència de càrregues i corrents dependents del temps.

25.2.1 Solucions generals de les equacions de Maxwell en termes dels potencials

Per a poder escriure el camp elèctric i el camp magnètic en termes de la densitat de càrrega i del vector densitat de corrent el primer que farem és escriure les equacions de Maxwell d'una manera formalment més senzilla.

Comencem amb la tercera equació. El fet que la divergència del camp magnètic sigui sempre zero permet escriure el camp magnètic en termes de la rotacional d'un camp vectorial anomenat vector potencial \mathbf{A} de la forma:

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$$

Sabem que aquesta solució no és única perquè si considerem $\mathbf{A}' = \mathbf{A} + \nabla \psi$ (on ψ és un camp escalar arbitrari) \mathbf{A}' també verifica l'equació anterior.

Si considerem ara la segona equació de Maxwell i utilitzem $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$, tot tenint en compte que podem invertir l'ordre de les derivades parcial, obtenim:

$$\nabla \times \left(\mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \right) = 0$$

Com que la rotacional de $\mathbf{E} + \partial \mathbf{A} / \partial t$ és zero això implica que ho podem escriure com el gradient d'un escalar que anomenem potencial elèctric:

$$\mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = -\nabla \phi$$

Fixem-nos que si res depengués del temps recuperem el cas electrostàtica en que el camp elèctric es pot escriure en termes del gradient del potencial elèctric. Escrivim doncs :

$$\mathbf{E} = -\nabla \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$$

Ja em solucionat dos equacions de Maxwell en termes de quatre funcions: una funció potencial elèctric i tres funcions corresponents a cada component espacial del potencial vectorial.

El que farem ara és utilitzar dues equacions de Maxwell que ens queden per a poder escriure les funcions potencial en termes de la densitat de corrent i la densitat de càrrega. Substituïm l'expressió del camp elèctric a la primera equació de Maxwell i obtenim:

$$-\nabla^2\phi - \frac{\partial}{\partial t}\nabla\cdot\mathbf{A} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Finalment, substituint a la quarta equació de Maxwell obtindrem:

$$c^2\nabla\times(\nabla\times\mathbf{A}) + \frac{\partial}{\partial t}\nabla\phi - \frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0}$$

Utilitzant la identitat $\nabla\times(\nabla\times\mathbf{A}) = \nabla(\nabla\cdot\mathbf{A}) - \nabla^2\mathbf{A}$ obtindrem:

$$c^2\nabla(\nabla\cdot\mathbf{A}) - c^2\nabla^2\mathbf{A} + \frac{\partial}{\partial t}\nabla\phi - \frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0}$$

Com que tenim llibertat per a escollir la divergència de \mathbf{A} podem simplificar aquesta expressió escrivint:

$$\nabla\cdot\mathbf{A} = -\frac{1}{c^2}\frac{\partial\phi}{\partial t}$$

Si ara escrivim les expressions pel potencial elèctric i el per al potencial vector obtenim dues equacions separades:

$$\nabla^2\phi - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla^2\mathbf{A} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2} = -\frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0 c^2}$$

Les solucions de les equacions anteriors es poden escriure com:

$$\phi(\mathbf{1}, t) = \int \frac{\rho(\mathbf{2}, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 r_{12}} dV_2$$

$$\mathbf{A}(\mathbf{1}, t) = \int \frac{\mathbf{j}(\mathbf{2}, t - r_{12}/c)}{4\pi\epsilon_0 c^2 r_{12}} dV_2$$

A partir dels potencials es pot aleshores calcular el camp elèctric i el camp magnètic:

$$\mathbf{E} = -\nabla\phi - \frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}$$

$$\mathbf{B} = \nabla\times\mathbf{A}$$

25.3 Energia i moment de les ones electromagnètiques

25.3.1. Conservació de l'energia i electromagnetisme

Anem a escriure la llei de conservació de l'energia per l'electromagnetisme. Sigui u la densitat d'energia del camp (quantitat d'energia per unitat de volum) i \mathbf{S} el vector que representa el flux d'energia per unitat de superfície i temps. La llei de conservació de l'energia, sense presència de càrregues es pot escriure com:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{S}$$

El camp elèctric fa un cert treball per unitat de temps sobre les càrregues que es pot escriure com $\mathbf{E} \cdot \mathbf{j}$, ja que la força sobre una càrrega es pot escriure com $\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$, el treball per unitat de temps és $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v}$ i si hi ha N càrregues per unitat de volum aleshores $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{E} \cdot (Nq\mathbf{v}) = \mathbf{E} \cdot \mathbf{j}$. Per tant podem completar la nostra llei de conservació de l'energia i escriure-la com:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{S} + \mathbf{E} \cdot \mathbf{j}$$

25.3.2 Densitat d'energia i flux d'energia en el camp electromagnètic

Per tal de determinar u i \mathbf{S} intentarem rescriure el producte $\mathbf{E} \cdot \mathbf{j}$ de manera que esdevingui la suma de dos termes: un que sigui una derivada respecte del temps i un altre que sigui la divergència d'un camp vectorial. De la quarta equació de Maxwell podem escriure:

$$\mathbf{j} = \epsilon_0 c^2 \nabla \times \mathbf{B} - \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Podem escriure $\mathbf{E} \cdot \mathbf{j}$ com:

$$\mathbf{E} \cdot \mathbf{j} = \epsilon_0 c^2 \mathbf{E} \cdot (\nabla \times \mathbf{B}) - \epsilon_0 \mathbf{E} \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

El segon terme ja es pot escriure com una derivada temporal. Ara doncs haure de transformar la primera part en una divergència. Per fer-ho reescribim el primer terme utilitzant els operadors ∇_E i ∇_B , que només actuen sobre el camp indicat. Això permet utilitzar la igualtat $(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} = \mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c})$ fàcilment:

$$\epsilon_0 c^2 \cdot (\nabla \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{E} = \epsilon_0 c^2 \nabla_B \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E})$$

Fixem-nos que:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) &= \nabla_E \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) + \nabla_B \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) & \nabla_B \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) &= \nabla \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) + \nabla_E \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{B}) \\ \nabla_B \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) &= \nabla \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) + (\nabla_E \times \mathbf{E}) \cdot \mathbf{B} \end{aligned}$$

I utilitzant la segona equació de Maxwell:

$$\nabla_{\mathbf{B}} \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) = \nabla \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{E}) - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot \mathbf{B}$$

Per tant obtenim finalment:

$$\mathbf{E} \cdot \mathbf{j} = -\varepsilon_0 c^2 \nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{B}) - \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\varepsilon_0 c^2}{2} \mathbf{B}^2 + \frac{\varepsilon_0}{2} \mathbf{E}^2 \right)$$

Podem escriure doncs:

$$u = \frac{\varepsilon_0}{2} \mathbf{E}^2 + \frac{\varepsilon_0 c^2}{2} \mathbf{B}^2$$

$$\mathbf{S} = \varepsilon_0 c^2 \mathbf{E} \times \mathbf{B}$$

Per tant tenim una expressió per a la densitat d'energia que és la suma de la densitat d'energia elèctrica més la densitat d'energia magnètica. També em trobat una expressió per al vector flux d'energia del camp electromagnètic; aquest vector rep el nom de vector de Poynting, en honor al seu descobridor.

25.3.3 Moment del camp electromagnètic. Pressió de radiació

Hi ha un teorema molt important en mecànica que diu que si tenim un flux d'energia qualsevol, aleshores aquesta energia que flueix per unitat d'àrea i per unitat de temps, quan es multiplica per $1/c^2$ s'obté el moment per unitat de volum a l'espai. En el cas particular de l'electrodinàmica, obtenim que el moment per unitat de volum \mathbf{g} es pot escriure com:

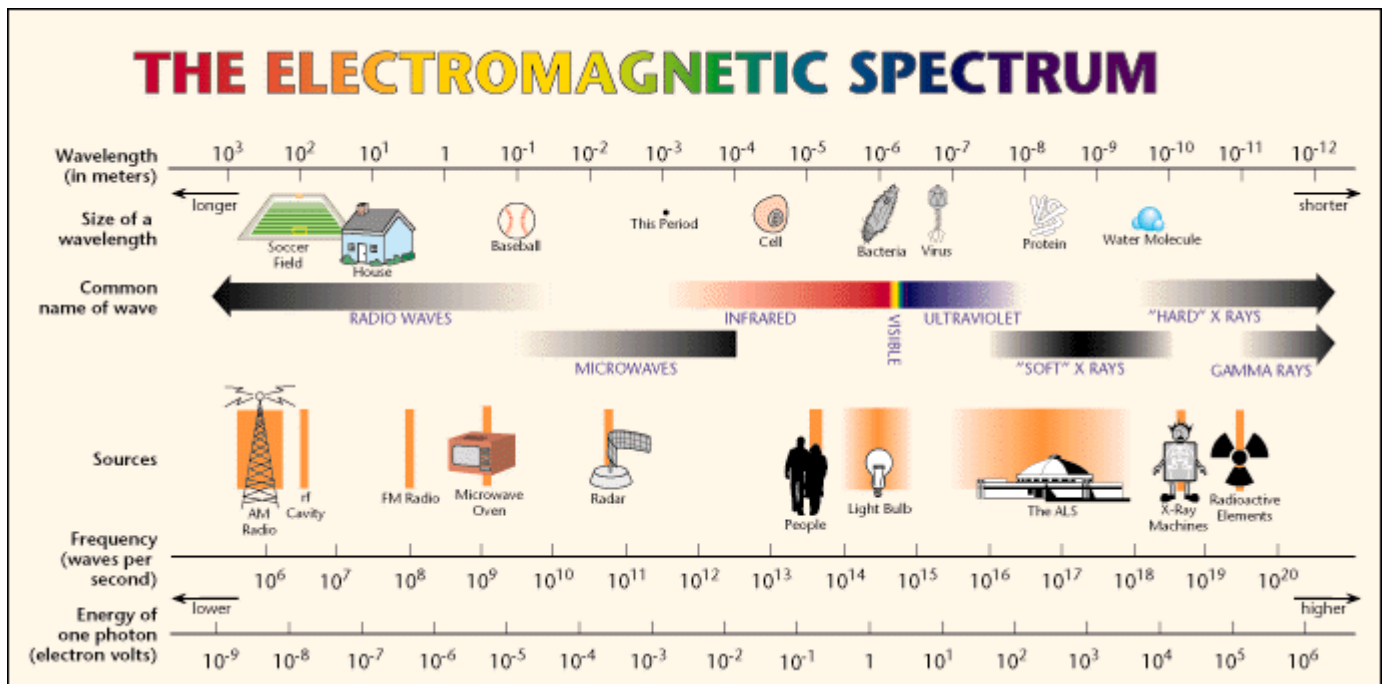
$$\mathbf{g} = \frac{1}{c^2} \mathbf{S}$$

Pressió de radiació. Suposem una superfície A que absorbeix totalment la radiació incident. Aleshores la quantitat de moviment absorbida durant el temps Δt serà $\mathbf{g} \cdot \mathbf{A} \cdot c \Delta t$ i per tant la quantitat de moviment absorbida per unitat de temps i de superfície, és a dir, la pressió de radiació es podrà escriure com:

$$\wp = g c = \frac{S}{c}$$

25.4 Espectre electromagnètic. Aplicacions

En la teoria que em desenvolupat no hi ha cap restricció quan a la freqüència de les ones electromagnètiques que es poden generar. Això dóna lloc a un espectre molt ampli que es divideix en diverses parts segons la freqüència de la radiació:



25.4.1 Longituda d'ona molt llargues (> 1Km)

Utilitat i Generació

Electric power covers the **low-frequency, long-wavelength end of the spectrum**. The radiation is usually ducted along 2-wire and 3-wire transmission lines and sent to various devices besides antennas. **At zero frequency the energy is emitted by batteries and DC power supplies**, while at **50 Hz and 60 Hz it is produced by rotary magnetic generators and ducted through the international power grids**. At frequencies between **20 Hz to 30 kHz the EM energy is translated to and from acoustic energy and is distributed over telephone lines**, as well as being used to operate loudspeakers for public address or in music systems. Note that other than its frequency, there is no physical difference between the VHF energy guided along a television coaxial cable, versus the 60 Hz travelling along the cord leading to a light bulb. When connected to the appropriate antenna, both will radiate into space.

Bandes

Band name	Abbr	ITU band	Frequency	Wavelength
			< 3 Hz	> 100,000 km
Extremely low frequency	ELF	1	3–30 Hz	100,000 km – 10,000 km
Super low frequency	SLF	2	30–300 Hz	10,000 km – 1000 km
Ultra low frequency	ULF	3	300–3000 Hz	1000 km – 100 km
Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100 km – 10 km
Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10 km – 1 km

Perills i Precaucions

Large doses of radio waves are believed to cause **cancer**, leukaemia and other disorders. Some people claim that the very low frequency field from overhead power cables near their homes has affected their health.

25.4.2 Radiofreqüència: (10^3 - 10^9 Hz) (Km-0,3m).

Utilitat i Generació

S'utilitza en telecomunicacions: radio i televisió. **Refers to that portion of the electromagnetic spectrum in which electromagnetic waves can be generated by alternating current fed to an antenna.** Such frequencies account for the following parts of the spectrum:

Bandes

Band name	Abbr	ITU band	Frequency	Wavelength
Medium frequency	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
High frequency	HF	7	3–30 MHz	100 m – 10 m
Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz	10 m – 1 m
Ultra high frequency	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm

Perills i Precacions

Large doses of radio waves are believed to cause **cancer**, leukaemia and other disorders. Some people claim that the very low frequency field from overhead power cables near their homes has affected their health.

25.4.3 Microones: (10^9 - $3 \cdot 10^{11}$ Hz)(30cm-1mm):

Utilitat i Generació

Les microones s'utilitzen per a comunicacions amb satèl·lits, telefonia mòbil i en els radars. Els radars es fan servir en aviació, en els vaixells i per a previsió meteorològica.

L'hidrogen neutre emet microones de 21cm, una gran quantitat d'informació sobre l'estructura de les galàxies s'obté mitjançant l'estudi d'aquesta emissió.

In interactions with matter, microwave radiation primarily acts to set produce molecular rotation and torsion, which manifests itself by heat. Molecular structure information can be obtained from the analysis of molecular rotational spectra, the most precise way to determine bond lengths and angles of molecules. Microwave radiation is also used in electron spin resonance spectroscopy.

Microwaves are waves which are typically short enough to employ tubular metal waveguides of reasonable diameter. Microwave energy is produced with Klystron and Magnetron tubes, and with solid state diodes such as Gunn and IMPATT devices. Microwaves are absorbed by molecules that have a dipole moment in liquids. In a

microwave oven, this effect is used to heat food. Low-intensity microwave radiation is used in Wi-Fi.

Currently no efficient sources exist for microwave energy at the high end of the band, sub-millimeter waves or so-called **terahertz waves**, so this portion of the EM spectrum is relatively unused at present.

Band name	Abbr	ITU band	Frequency	Wavelength
Super high frequency	SHF	10	3–30 GHz	100 mm – 10 mm
Extremely high frequency	EHF	11	30–300 GHz	10 mm – 1 mm
			Above 300 GHz	< 1 mm

Note: above 300 GHz, the absorption of electromagnetic radiation by Earth's atmosphere is so great that the atmosphere is effectively opaque to higher frequencies of electromagnetic radiation, until the atmosphere becomes transparent again in the so-called infrared and optical window frequency ranges.

Perills i Precaucions

Prolonged exposure to microwaves is known to cause "**cataracts**" in your eyes, which is a clouding of the lens, preventing you from seeing clearly (if at all!) So don't make a habit of pressing your face against the microwave oven door to see if your food's ready!

Recent research indicates that microwaves from mobile phones can **affect parts of your brain** - after all, you're holding the transmitter right by your head. The current advice is to keep calls short.

People who work on aircraft carrier decks wear special suits which reflect microwaves, to avoid being "cooked" by the powerful radar units in modern military planes.

25.4.4 Infraroig: ($3 \cdot 10^{11}$ - $4 \cdot 10^{14}$ Hz). Es subdivideix en quatre regions:

- Infraroig llunyà: 300 GHz (1 mm) fins 30 THz (10 μ m). This radiation is typically absorbed by so-called rotational modes in gas-phase molecules, by molecular motions in liquids, and by phonons in solids. The water in the Earth's atmosphere absorbs so strongly in this range that it renders the atmosphere effectively opaque. However, there are certain wavelength ranges ("windows") within the opaque range which allow partial transmission, and can be used for astronomy.
- Infraroig intermig: 30-120 THz (10 - 2.5 μ m). Hot objects (black-body radiators) can radiate strongly in this range. It is absorbed by molecular vibrations, that is, when the different atoms in a molecule vibrate around their equilibrium positions. This range is sometimes called the *fingerprint region* since the mid-infrared absorption spectrum of a compound is very specific for that compound.
- Infraroig proper: 120 - 400 THz (2,500 - 750 nm). Physical processes that are relevant for this range are similar to those for visible light.

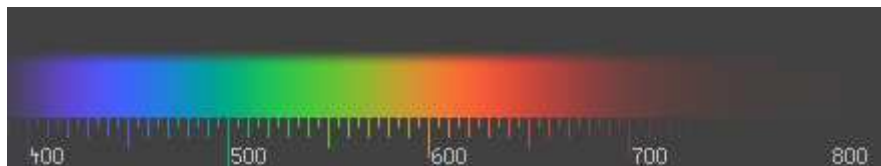
They are used for many tasks, for example, **remote controls for TVs** and video recorders, and physiotherapists use heat lamps to help **heal sports injuries**. **Night sights** for weapons sometimes use a sensitive IR detector. "Passive Infra-Red" (**PIR**)

detectors are used in burglar **alarm systems**, and to control the security lighting that many people have fitted outside their houses. These detect the Infra-Red emitted by people and animals. You've probably seen TV programmes in which **police helicopters** track criminals at night, using cameras which can see in the dark. These cameras use Infra-Red waves instead of "ordinary" light, which is why people look bright in these pictures. Similar cameras are also used by fire crews and other **rescue workers**, to find people trapped in rubble. **Weather forecasters** use satellite pictures to see what's heading our way. Some of the images they use are taken using IR cameras, because they show cloud and rain patterns more clearly.

Es poden obtenir mitjançant oscil·ladors de microones per a les longituds d'ona grans o fonts incandescent, és a dir, oscil·ladors moleculars. Les molècules aïllades excitades tèrmicament poden emetre IR al voltant de determinades freqüències que depenen de les vibracions i rotacions de les molècules. Les emissions depenen doncs dels enllaços químics involucrats i en permeten l'estudi i l'identificació d'enllaços i substàncies químiques.

L'únic perill és que escalfen la pell i en equantitat excessiva ens podem cremar.

25.4.5 Visible: ($3,84 \cdot 10^{14}$ Hz - $7,69 \cdot 10^{14}$ Hz) (622-390nm)



Utilitat i Generació

After infrared comes visible light. This is the range in which the sun and stars similar to it emit most of their radiation. It is probably not a coincidence that the human eye is sensitive to the wavelengths that the sun emits most strongly.

Es produeix en transicions electròniques dels electrons més exteriors dels àtoms i molècules. Estudiant les línies d'emissió i absorció de l'espectre visible es fa possible l'estudi de la composició dels astres i la identificació de substàncies químiques al laboratori.

Light waves can also be made using a laser. This works differently to a light bulb, and produces "coherent" light. Lasers are used in **Compact Disc players**, where the light is reflected from the tiny pits in the disc, and the pattern is detected and translated into sound or data. Lasers are also used in **laser printers**, and in aircraft **weapon aiming systems**.

Bandes

Color	Wavelength interval	Frequency interval
red	~ 625 to 740 nm	~ 480 to 405 THz
orange	~ 590 to 625 nm	~ 510 to 480 THz
yellow	~ 565 to 590 nm	~ 530 to 510 THz
green	~ 520 to 565 nm	~ 580 to 530 THz
cyan	~ 500 to 520 nm	~ 600 to 580 THz
blue	~ 430 to 500 nm	~ 700 to 600 THz
violet	~ 380 to 430 nm	~ 790 to 700 THz

Continuous spectrumPerills i Precaucions

Too much light can **damage the retina** in your eye. This can happen when you look at something very bright, such as the Sun. Although the damage can heal, if it's too bad it'll be permanent. Cal fer servir ulleres especials sempre que hi hagi el risc d'un excés d'exposició, com quan es treballa amb làsers.

25.4.5 Ultravioleta: ($8 \cdot 10^{14}$ - $3 \cdot 10^{17}$ Hz):Generació i Utilitzats

Es generen en tubs molt semblants als tubs fluorescents utilitzats en il·luminació. El sol també en genera en grans quantitats. Els raigs ultravioleta tenen energies suficients per a ionitzar els àtoms ($3,2 \text{ eV}$ - $1,2 \cdot 10^3 \text{ eV}$). També es poden generar o absorbir en reaccions químiques. Es poden detectar amb pantalles fluorescents, emulsions fotogràfiques i fotocèl·lules.

Uses for UV light include getting a **sun tan**, **detecting forged bank notes** in shops, and hardening some types of dental filling. You also see UV lamps in discos, where they make your clothes glow. This happens because substances in washing powder "fluoresce" when UV light strikes them. When you mark your possessions with a security marker pen, the ink is invisible unless you shine a UV lamp at it. Ultraviolet rays can be used to **kill microbes**. Hospitals use UV lamps to sterilise surgical equipment and the air in operating theatres. Food and drug companies also use UV lamps to **sterilise** their products

Suitable doses of Ultraviolet rays cause the body to produce vitamin D, and this is used by doctors to treat vitamin D deficiency and some skin disorders.

Perills i Precaucions

Large doses of UV can **damage the retina** in your eyes, so it's important to check that your sunglasses will block UV light.

The cheaper sunglasses tend not to protect you against UV, and this can be really dangerous. When you wear sunglasses the pupils of your eye get bigger, because less light reaches them.

This means that if your sunglasses don't block UV, you'll actually get **more** ultra-violet light on your retinas than if you didn't wear them! Large doses of UV cause **sunburn** and even **skin cancer**. Fortunately, the ozone layer in the Earth's atmosphere screens us from most of the UV given off by the Sun. Think of a sun tan as a radiation burn!

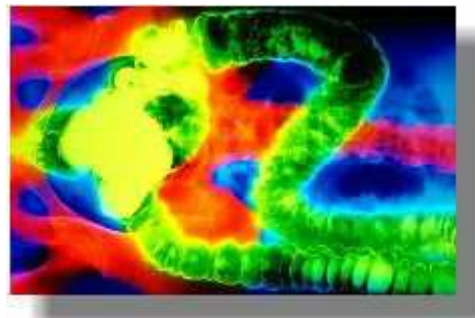
25.4.6 Raigs X ($3 \cdot 10^{17}$ - $5 \cdot 10^{19}$ Hz) ($1,2 \cdot 10^3$ eV- $2,1 \cdot 10^5$ eV).

Generació i utilitats



Els fotons dels raigs X transporten molta energia i són molt penetrants. Corresponen a transicions dels electrons més interns dels àtoms; apareixen també quan una partícula carregada amb alta energia canvia el seu moviment. Hi ha telescopis de raigs X per estudiar el Sol i diverses fonts còsmiques com ara estels i nebuloses. Una aplicació pràctica coneguda són les radiografies, que s'utilitzen en medicina i en l'estudi

de materials. Lower energy X-Rays don't pass through tissues as easily, and can be used to scan soft areas such as the brain. Sometimes a doctor will give a patient a "Barium Meal", which is a drink of Barium Sulphate. This will absorb X-rays, and so the patient's intestines will show up clearly on a X-Ray image. X-Rays are also used in **airport security** checks, to see inside your luggage. They are also used by **astronomers** - many objects in the universe emit X-rays, which we can detect using suitable radio telescopes. La difracció dels raigs X permeten l'estudi d'estructures cristal·lines.



An **X-ray machine** works by firing a beam of electrons at a "target". If we fire the electrons with enough energy, X-rays will be produced.

Perills i Precacucions

X-Rays can cause **cell damage** and **cancers**. This is why Radiographers in hospitals stand behind a shield when they X-ray their patients. Although the dose is not enough to put the patient at risk, they take many images each day and could quickly build up a dangerous dose themselves.

25.4.7 Raigs Gamma ($5 \cdot 10^{19}$ - 10^{27} Hz)(10^4 eV- 10^9 eV).

Generació i utilitat

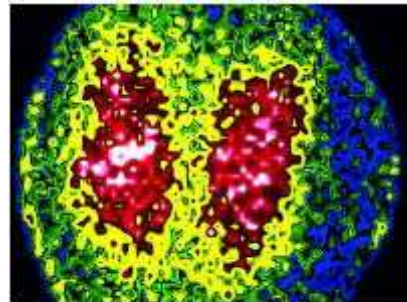
Són emesos durant les transicions energètiques dels nuclis dels àtoms. En els sincrotrons es poden generar raigs gamma de més energia que la corresponent a transicions nuclears. Els raigs còsmics poden tenir encara més energia que la que es pot generar amb els sincrotrons.

Gamma rays are given off by **stars**, and by some **radioactive substances**. They are extremely high frequency waves, and carry a large amount of energy. They pass through most materials, and are quite difficult to stop - you need lead or concrete in order to block them out.

Because Gamma rays can kill living cells, they are used to **kill cancer cells** without having to resort to difficult surgery. This is called "**Radiotherapy**", and works because cancer cells can't repair themselves like healthy cells can when damaged by gamma rays. Getting the dose right is very important! Radioactivity is particularly damaging to rapidly dividing cells, such as cancer cells. This also explains why damage is done by radiotherapy to other rapidly dividing cells in the body such as the stomach lining (hence nausea), hair follicles (hair tends to fall out), and a growing foetus (not because of mutations, but simply major damage to the baby's rapidly dividing cells

Doctors can put slightly radioactive substances into a patient's body, then scan the patient to detect the gamma rays and build up a picture of what's going on inside the patient.

This is very useful because they can see the body processes actually working, rather than just looking at still pictures. Example of a tracer: the picture on the right is a "Scintigram", and shows an asthmatic person's lungs. The patient was given a slightly radioactive gas to breathe, and the picture was taken using a gamma camera to detect the radiation. The colours show the air flow in the lungs. In industry, radioactive "tracer" substances can be put into pipes and machinery, then we can detect where the substances go. This is basically the same use as in medicine.



Gamma rays kill microbes, and are used to **sterilise food** so that it will keep fresh for longer. This is known as "irradiated" food.

Gamma rays are also used to **sterilise medical equipment**.

Perills i Precaucions

Gamma rays cause **cell damage** and can cause a variety of cancers. They cause **mutations** in growing tissues, so unborn babies are especially vulnerable.