Propagación y Transmisión Inalámbrica

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad Carlos III de Madrid

Luis Inclán Sánchez
linclan@tsc.uc3m.es 4.2A04

Fundamentos y conceptos básicos de radiación

- Introduction to electromagnetic radiation
- The short dipole

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Algunos tipos de antenas

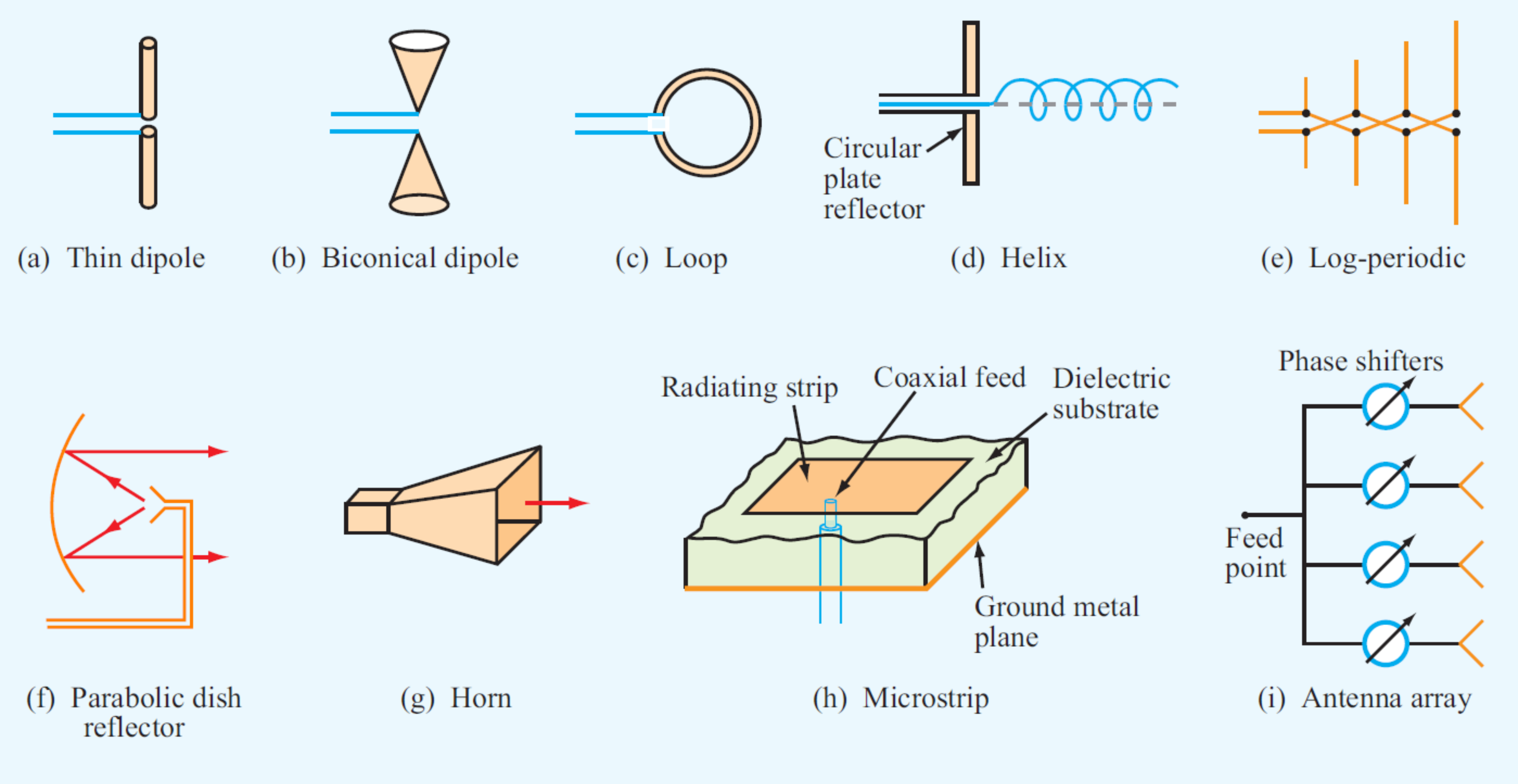
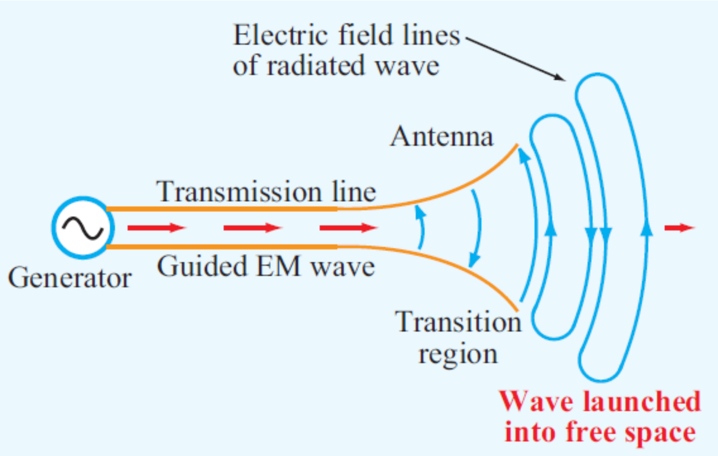


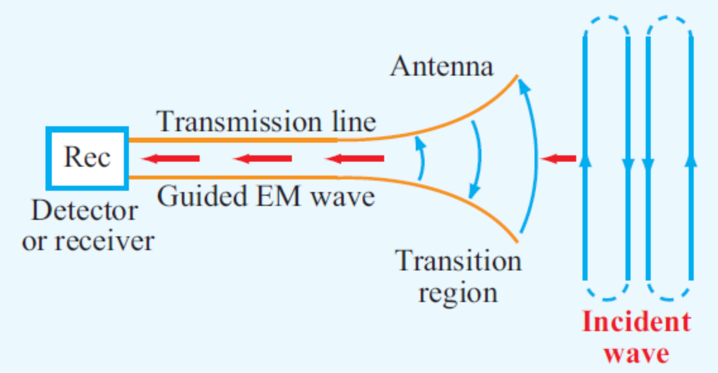
Figura del libro de Ulaby:

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

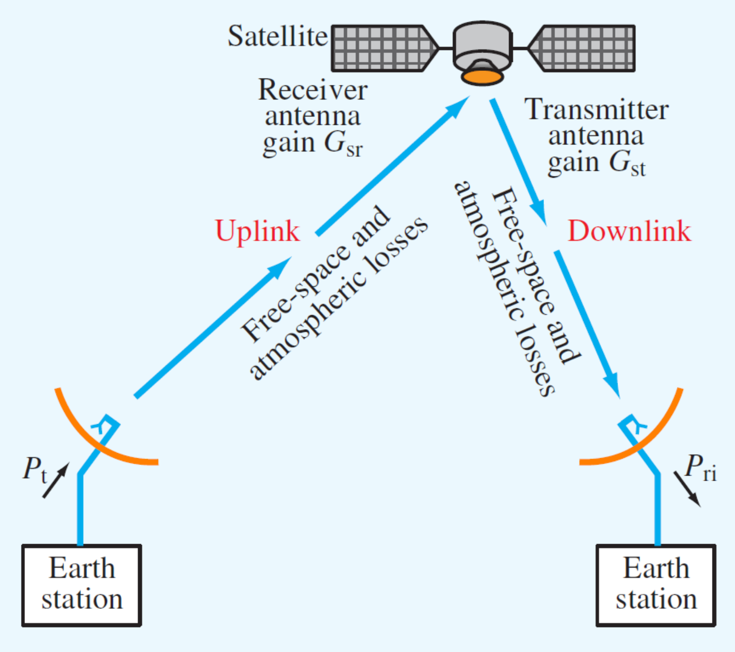
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

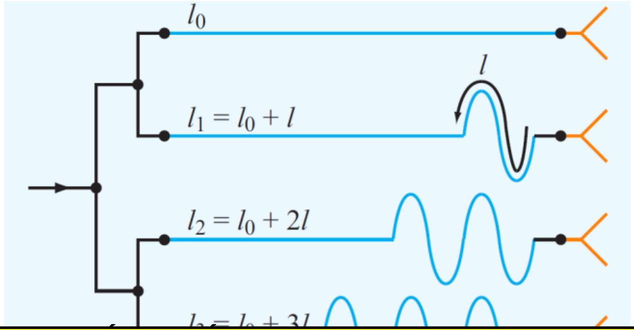


(a) Transmission mode



(b) Reception mode





Figuras del libro de Ulaby:

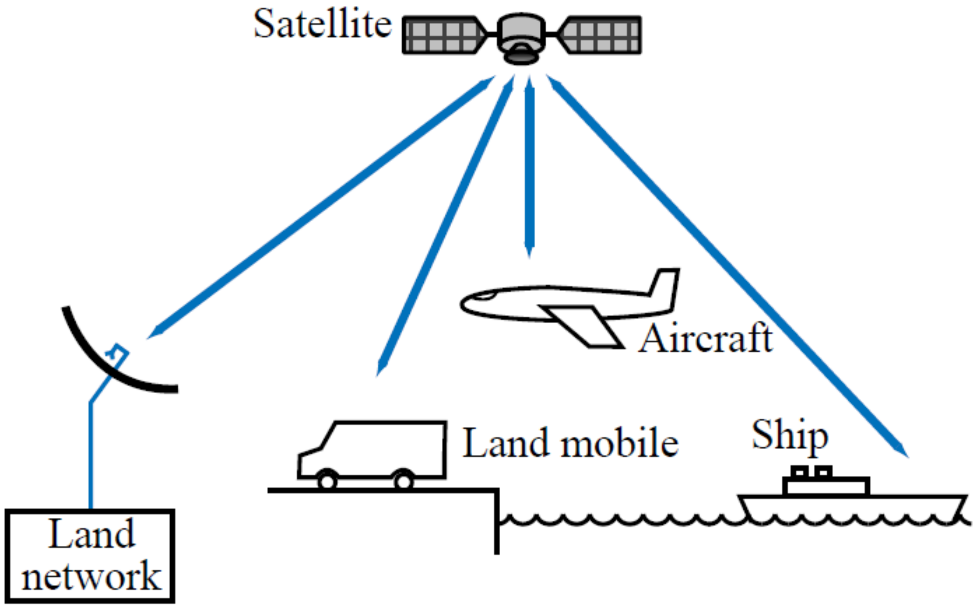
F.T.Ulaby , U.Ravaioli: “Fundamentals of Applied

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Why do we need antennas? Motivation I

- Satellite Communication Systems



http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/03/Artist_s_impression_of_Sentinel-1A

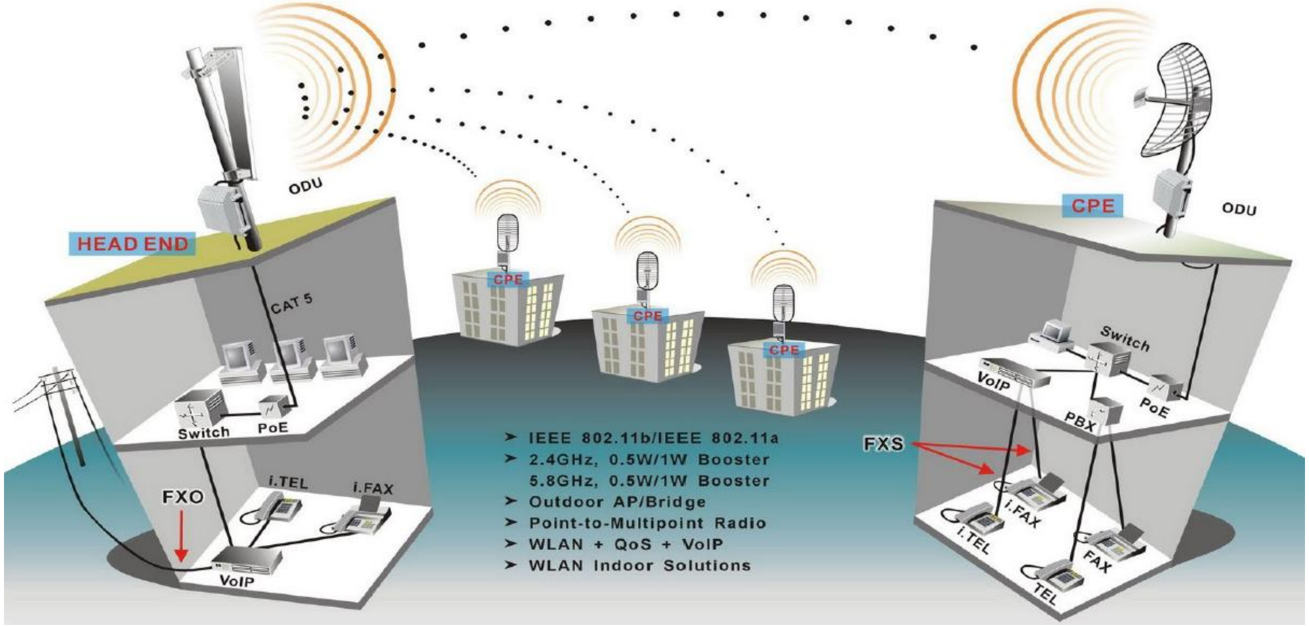
Vast communication network…voice, data, video services….

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Why do we need antennas? Motivation II

- Wireless systems….mobile terminals



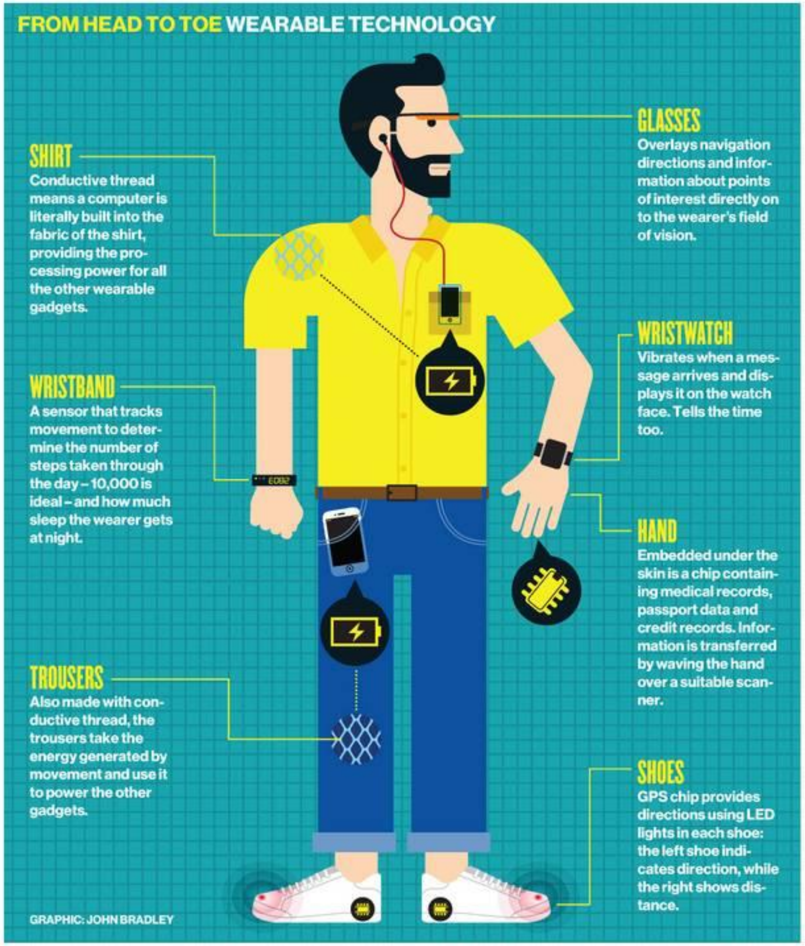
Antennas are needed and used in wireless systems…

Wireless ground-based telecommunication systems

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

❑ Why do we need antennas? Motivation III


FROM HEAD TO TOE WEARABLE TECHNOLOGY

SHIRT Conductive thread means a computer is literally built into the fabric of the shirt, providing the processing power for all the other wearable gadgets.

WRISTBAND A sensor that tracks movement to determine the number of steps taken through the day – 10,000 is ideal – and how much sleep the wearer gets at night.

TROUSERS Also made with conductive thread, the trousers take the energy generated by movement and use it to power the other gadgets.

GLASSES Overlays navigation directions and information about points of interest directly on to the wearer's field of vision.

WRISTWATCH Vibrates when a message arrives and displays it on the watch face. Tells the time too.

HAND Embedded under the skin is a chip containing medical records, passport data and credit records. Information is transferred by waving the hand over a suitable scanner.

SHOES GPS chip provides directions using LED lights in each shoe: the left shoe indicates direction, while the right shows distance.

GRAPHIC: JOHN BRADLEY

Galileo is Europe's own global navigation satellite

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

❑ What is an antenna?

- All oscillating electric and magnetic fields propagate
- All circuit that create AC electric field and currents will radiate to some extent
- Antennas are devices to optimize and control the emitted radiation so you can couple electrical energy from a circuit to free space and back again

Antenna Design factor

❑The strength of the radiated field in different direction (antenna pattern)
❑The total power radiated compared to the driving power
❑The impedance of the antenna to match it to transmission lines
❑The radiation as a function of frequency (bandwidth)

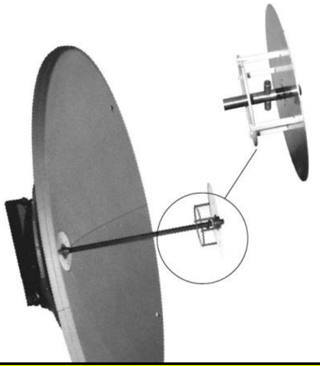
Cartagena99

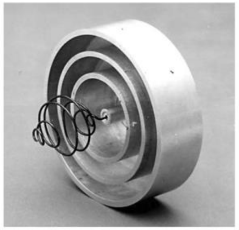
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

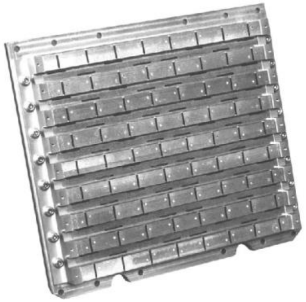
- Potentially any conducting or dielectric structure can serve as an antenna…
- An antenna is designed to radiate or receive electromagnetic energy

  But it is necessary
  - To design the antenna with **directional and polarization** properties suitable for the intended **application**
  - To **minimize energy reflection** in the transmission line-antenna juncture (to match the antenna impedance to the line Z_0)
  - The approppiate properties for the antenna are governed by its **shape and size** and the **material** of which it is made
- Key design factor
  - Radiation Pattern
  - Directivity
  - Efficiency/ Gain
  - Bandwidht

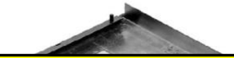




Spiral wire antenna on corrugated disk



Waveguide slot antenna array



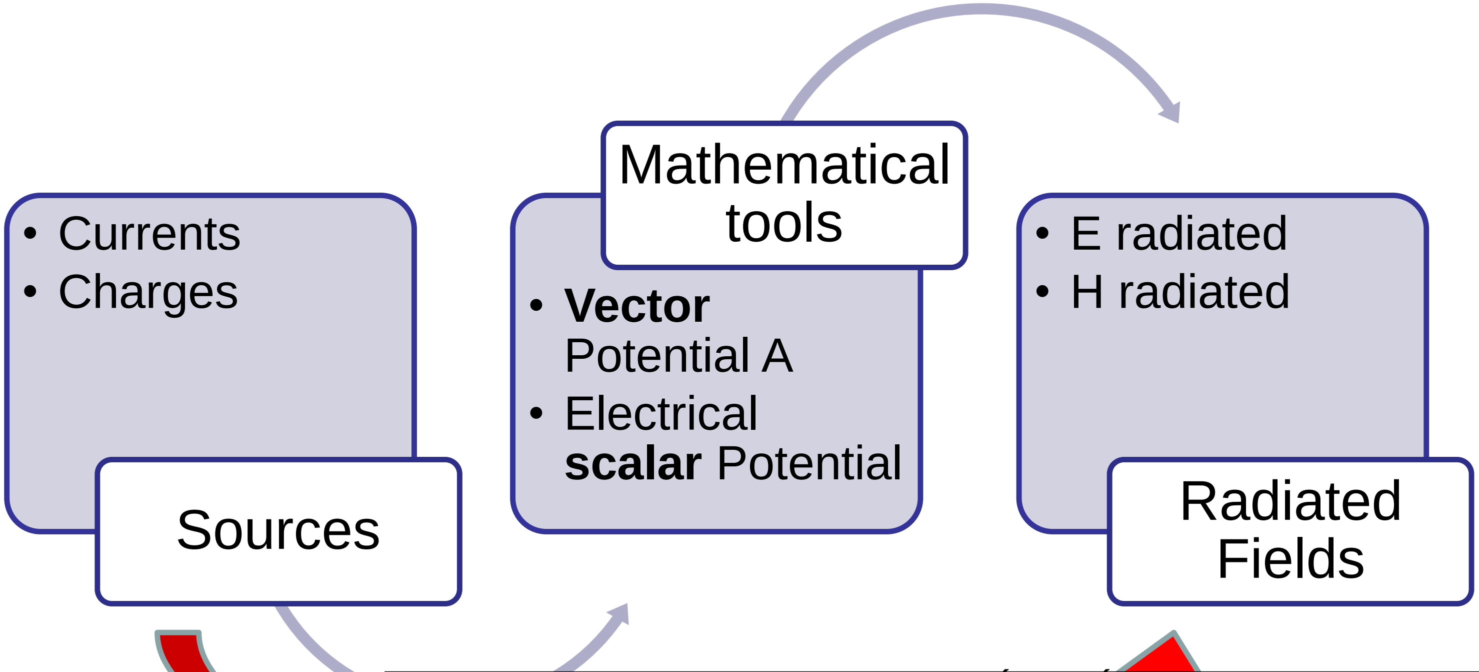
Cartagena99

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- How we can obtain the radiated field?
  - Not easy to solve (no simple wave equation)
  - It is necessary to take into account the sources
- Firs solution of Maxwell equations with sources:

Radiated waves



Sources
- Currents
- Charges

Mathematical tools
- **Vector** Potential A
- Electrical **scalar** Potential

Radiated Fields
- E radiated
- H radiated

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

The vector potential **A** for an electric current source **J**

We start from the Maxwell equation $$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Therefore, it can be represented as the curl of another vector $$\nabla \cdot \nabla \times \vec{A} = 0$$

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \qquad \text{or} \qquad \vec{H}_{\boxed{A}} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A}$$

A indicates the field due to **A** potencial

Substituting into Faraday's equation $$\nabla \times \vec{E}_A = -j\omega\mu\vec{H}_A$$

$$\left.\begin{array}{l} \nabla \times [\vec{E}_A + j\omega\vec{A}] = 0 \\ \nabla \times [-\nabla\Phi] = 0 \end{array}\right\} \quad \vec{E}_A + j\omega\vec{A} = -\nabla\boxed{\Phi}$$

Scalar function that represents an arbitrary **electric scalar potential**

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

How **A** is related to the sources?

$$\vec{E}_A = -\nabla\Phi - j\omega\vec{A}$$
$$\vec{B} = \nabla\times\vec{A}$$

$$\nabla\times\vec{H}_A = \vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E}_A$$

By replacing E and H in Maxweel equations by the former expressions,

…and using $\nabla\times\nabla\times\vec{A} = \nabla(\nabla\cdot\vec{A}) - \nabla^2\vec{A}$

we obtain:

⇒ $$\nabla^2\vec{A} + \omega^2\mu\epsilon\vec{A} = -\mu\vec{J} + \nabla\left(\mu\epsilon j\omega\Phi + \nabla\cdot\vec{A}\right)$$

We need now to impose a condition to have a particular solution

$$\boxed{j\omega\mu\epsilon\Phi + \nabla\cdot\vec{A} = 0}$$

LORENTZ's condition or radiation condition

Finally

$$\boxed{\nabla^2\vec{A} + k^2\vec{A} = -\mu\vec{J}}$$

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

How **ϕ** is related to the sources?

In the same way we can obtain for the potential **ϕ**

$$\nabla^2\Phi + k^2\Phi = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\nabla^2\vec{A} + k^2\vec{A} = -\mu\vec{J}$$

How are the solutions for these differential equations?

$$\vec{J} = J_z \qquad \nabla^2 A_z + k^2 A_z = 0$$

homogeneous potential
Wave equation

$$\frac{d^2A_z(r)}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{dA_z(r)}{dr} + k^2A_z(r) = 0$$

Since in the limit the source is a point, **A**z is not a function of direction (**θ** and **ϕ)**

Has two independent solutions

$$A_{z1} = C_1\frac{e^{-jkr}}{}$$

traveling waves solutions

$$A_{z2} = C_2\frac{e^{+jkr}}{}$$

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Relation between sources and potentials

Electric current with harmonic time variation…

with sources… $\nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = -\mu \vec{J}$

inhomogeneous
Wave equation

$$\vec{J} = J_z \qquad \nabla^2 A_z + k^2 A_z = -\mu J_z$$

$$A_z = \frac{\mu}{4\pi} \int_V J_z \frac{e^{-jkr}}{r} \quad dv'$$

The sum of contribution of incremental **Jz** sources to the potential

$$\left.\begin{array}{l} \nabla^2 A_x + k^2 A_x = -\mu J_x \\ \nabla^2 A_y + k^2 A_y = -\mu J_y \\ \nabla^2 A_z + k^2 A_z = -\mu J_z \end{array}\right\} \quad \nabla^2 \vec{A} + k^2 \vec{A} = -\mu \vec{J}$$

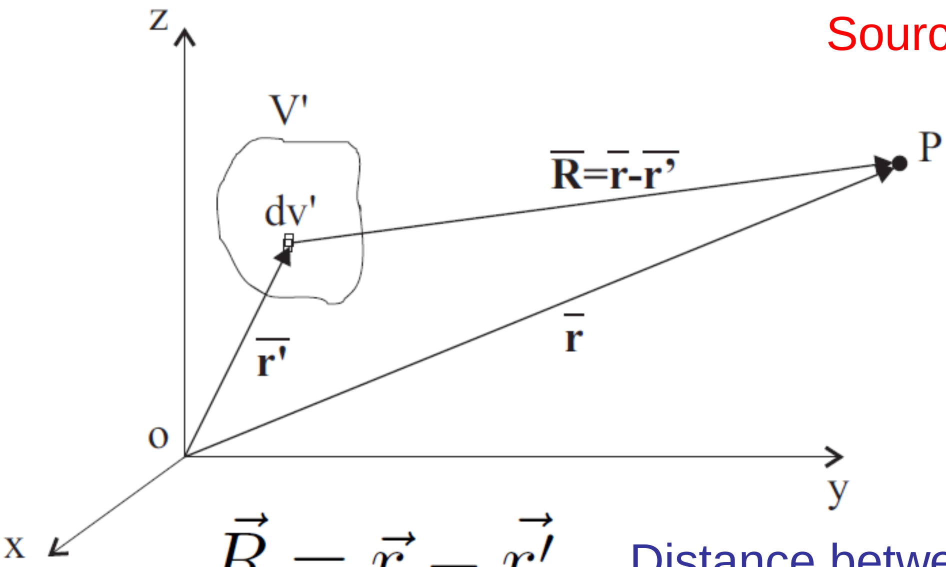
$$\Downarrow$$

we assume the solution

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

ELECTROMAGNETIC RADIATION



Source not at origin, located in a volume V'

$\vec{J}$ Electric courrent source

$\vec{r'}$ Position of the source from the origin

$\vec{r}$ Position of point P from the origin

$\vec{R} = \vec{r} - \vec{r'}$ Distance between the observation point and the source

$$\boxed{\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{V'} \vec{J}(\vec{r'}) \frac{e^{-jkR}}{R} \quad dv'}$$

We must integrate…. The contribution of the J with their directions and amplitudes and the…

e^{-jkR} 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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

In …SUMMARY

we obtain the radiated fields in 3 steps….

1 *Specify the sources J*

$$\vec{J}$$

2 *Find vector potential A*

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi}\int_{V'} \vec{J}(\vec{r'})\frac{e^{-jkR}}{R}\, dv'$$

3 *Find the fields from the potential*

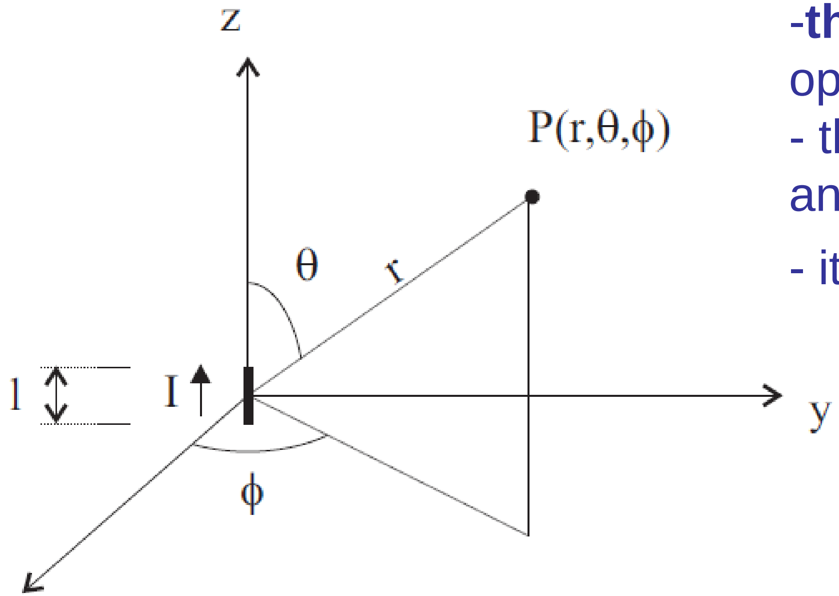
$$\vec{H} = \frac{1}{\mu}\nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E_A} = -j\omega\vec{A} - j\frac{\nabla(\nabla\cdot\vec{A})}{\omega\mu\epsilon}$$

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

CALCULATION OF THE RADIATED FIELDS FROM A SHORT DIPOLE
The Ideal dipole or Hertzian dipole



-**the dipole** a is very short compared to the operating wavelenght
- the element of current is along the z-axis and centered on the coordinate origin
- it is of constant amplitude I_0

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi}\int_{V'} \vec{J}\frac{e^{-jkR}}{R}dv' = \frac{\mu}{4\pi}\int_{C} \vec{I}\frac{e^{-jkR}}{R}dl' = \hat{z}\frac{\mu I_o}{4\pi}\frac{e^{-jkr}}{r}\int_{-l/2}^{l/2} dz' = \hat{z}\frac{\mu I_o l}{4\pi r}e^{-jkr}$$

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Transformations Between Coordinate Systems

$$x = r\sin\theta\cos\phi \qquad y = r\sin\theta\sin\phi \qquad z = r\cos\theta$$

$$\hat{\mathbf{r}} = \hat{\mathbf{x}}\cos\phi\sin\theta + \hat{\mathbf{y}}\sin\phi\sin\theta + \hat{\mathbf{z}}\cos\theta$$

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \hat{\mathbf{x}}\cos\phi\cos\theta + \hat{\mathbf{y}}\sin\phi\cos\theta - \hat{\mathbf{z}}\sin\theta$$

$$\hat{\boldsymbol{\phi}} = -\hat{\mathbf{x}}\sin\phi + \hat{\mathbf{y}}\cos\phi$$

Unit vectors

$$\hat{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{r}}\sin\theta\cos\phi + \hat{\boldsymbol{\theta}}\cos\theta\cos\phi - \hat{\boldsymbol{\phi}}\sin\phi$$

$$\hat{\mathbf{y}} = \hat{\mathbf{r}}\sin\theta\sin\phi + \hat{\boldsymbol{\theta}}\cos\theta\sin\phi + \hat{\boldsymbol{\phi}}\cos\phi$$

$$\hat{\mathbf{z}} = \hat{\mathbf{r}}\cos\theta - \hat{\boldsymbol{\theta}}\sin\theta$$

For example, to express the spherical components A_θ, A_ϕ in terms of the cartesian components, we proceed as follows:

$$A_\theta = \hat{\boldsymbol{\theta}} \cdot \mathbf{A} = \hat{\boldsymbol{\theta}} \cdot (\hat{\mathbf{x}}A_x + \hat{\mathbf{y}}A_y + \hat{\mathbf{z}}A_z) = (\hat{\boldsymbol{\theta}} \cdot \hat{\mathbf{x}})\,A_x + (\hat{\boldsymbol{\theta}} \cdot \hat{\mathbf{y}})\,A_y + (\hat{\boldsymbol{\theta}} \cdot \hat{\mathbf{z}})\,A_z$$

$$A_\phi = \hat{\boldsymbol{\phi}} \cdot \mathbf{A} = \hat{\boldsymbol{\phi}} \cdot (\hat{\mathbf{x}}A_x + \hat{\mathbf{y}}A_y + \hat{\mathbf{z}}A_z) = (\hat{\boldsymbol{\phi}} \cdot \hat{\mathbf{x}})\,A_x + (\hat{\boldsymbol{\phi}} \cdot \hat{\mathbf{y}})\,A_y + (\hat{\boldsymbol{\phi}} \cdot \hat{\mathbf{z}})\,A_z$$

The dot products can be read off

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

RADIATED FIELDS FOR THE INFINITESIMAL DIPOLE (II)

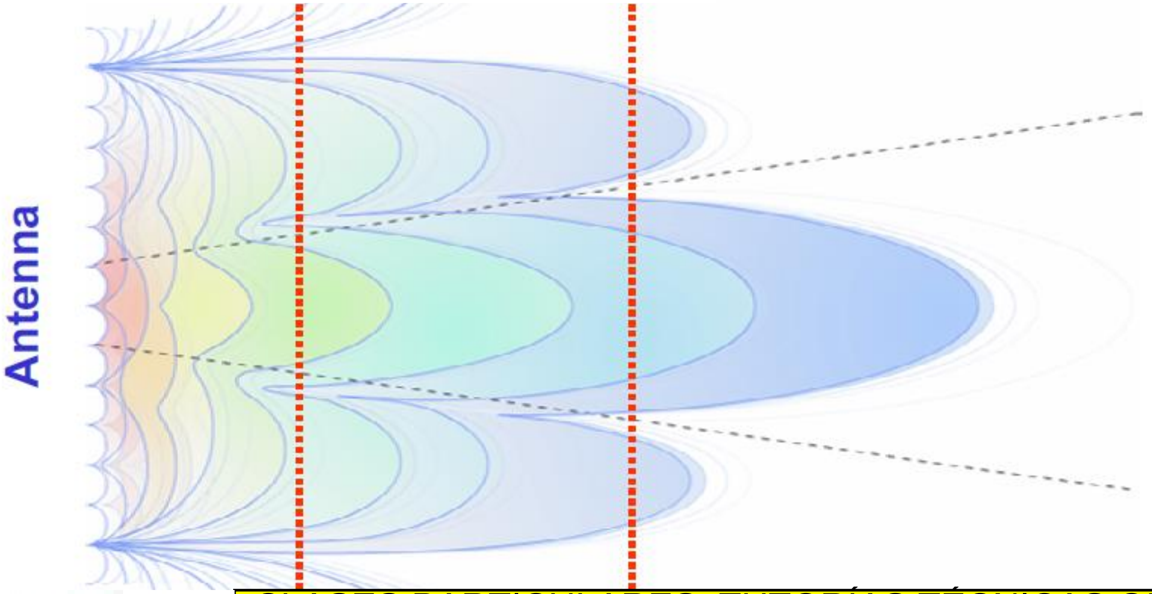
$$E_r = \eta \frac{I_o l \cos\theta}{2\pi r^2}\left[1+\frac{1}{jkr}\right]e^{-jkr}$$

$$E_\theta = j\eta \frac{k I_o l \sin\theta}{4\pi r}\left[1+\frac{1}{jkr}-\frac{1}{(kr)^2}\right]e^{-jkr}$$

$$E_\phi = 0$$

$$H_r = H_\theta = 0$$

$$H_\phi = j\frac{k I_o l \sin\theta}{4\pi r}\left[1+\frac{1}{jkr}\right]e^{-jkr}$$



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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

RADIATED FIELDS FOR THE INFINITESIMAL DIPOLE (III)

$$r << \lambda$$

We could neglect the terms depending of $\frac{r}{\lambda}$

$$E_r = -j\eta\frac{I_o l\cos\theta e^{-jkr}}{2\pi k r^3}$$

$$E_\theta = -j\eta\frac{I_o l e^{-jkr}\sin\theta}{4\pi k r^3}$$

$$E_\phi = 0$$

Near Field

$$H_r = H_\theta = 0$$

$$H_\phi = \frac{I_o l e^{-jkr}\sin\theta}{4\pi r^2}$$

If $r >> \lambda$ the predominant terms are $\frac{1}{r}$

(The other terms can be neglected)

$$E_r = 0$$

$$E_\theta = j\eta\frac{kI_o l\sin\theta e^{-jkr}}{4\pi r}$$

Far Field zone

$$H_r = 0$$

$$H_\theta = 0$$

$$kI_o l\sin\theta e^{-jkr}$$

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Main remarks

In the Far-Field

- ☐ The **E** and **H** field component **are perpendicular** to each other and **transverse to the** radial **direction of propagation**
- ☐ The **E** and **H** field component are in **time phase**
- ☐ The E and H field component are both varying **inversely with the distance** to the dipole
- ☐ The **spherical wave** can be <u>locally</u> considered as a **plane wave**

with $$\vec{H} = \frac{\hat{r} \times \vec{E}}{\eta}$$ in practice we can assume $$\frac{E_\theta}{H_\phi} \approx \eta$$

We can compute the Poynting vector for this field…

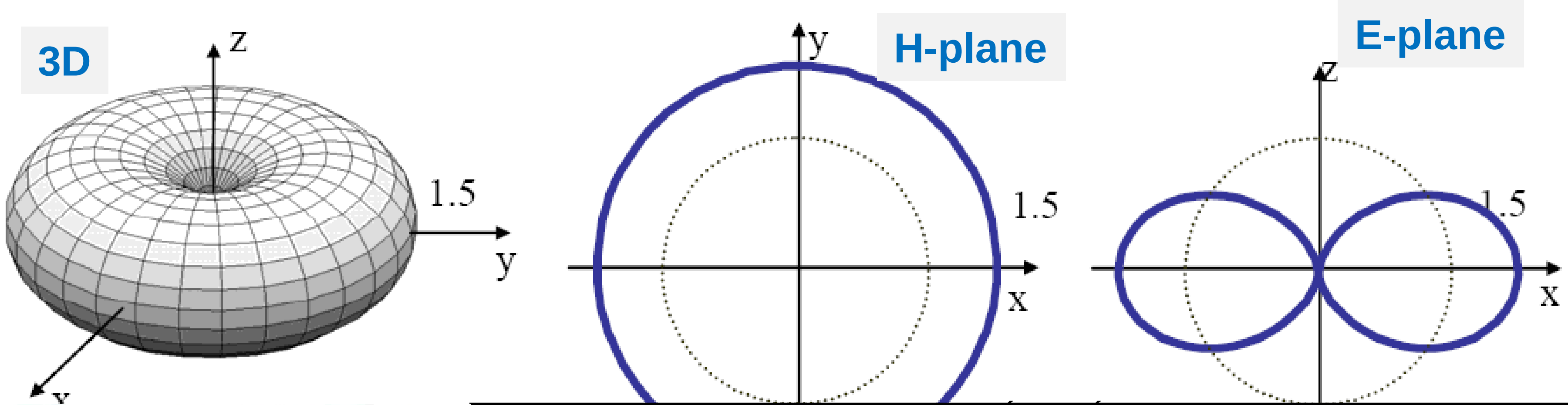
$$\vec{W} = \frac{1}{} Re(\vec{E} \times \vec{H}^*) = \hat{r}\frac{1}{} |E_\theta|^2 = \hat{r}\frac{\eta}{} \left|\frac{kI_o l}{}\right|^2 \frac{\sin^2\theta}{}$$

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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

- Infinitesimal Dipole (short dipole)
- How we can represented the radiated power?
  - It's a function of spatial variables (θ,ϕ)
  - 3D or 2D plots in specific planes
  - No energy is radiated by the dipole along the direction of the dipole axis
  - Maximum radiation occurs in θ=90º (broadside direction)



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

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al
Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002.
Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.