

FÍSICA IV

AULA 04: AS EQUAÇÕES DE MAXWELL; ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

TÓPICO 01: AS EQUAÇÕES DE MAXWELL

VERSÃO TEXTUAL

Neste exato momento em que você estuda esta aula, seu celular pode começar a tocar. Você sabia que enquanto fala ao celular, você usa uma aplicação das ondas eletromagnéticas?

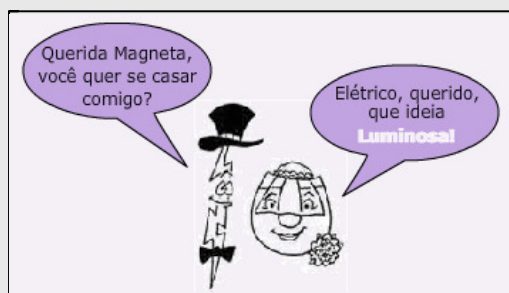
As ondas eletromagnéticas são utilizadas em todos os ramos da ciência e graças a Maxwell podemos compreender esse tópico da Física tão importante na nossa vida cotidiana.

QUEM FOI MAXWELL?



James Clerk Maxwell [2]

James Clerk Maxwell desenvolveu um conjunto de equações que descrevem os fenômenos eletromagnéticos (elétricos e magnéticos) unindo a eletricidade, o magnetismo e a ótica. Desde quando foram formuladas, há mais de um século, essas equações passaram, com louvor, pelos mais severos testes experimentais e são sem dúvida um dos pilares da Física. Em homenagem a Maxwell elas são chamadas Equações de Maxwell. Maxwell, que é considerado como um dos pais do Eletromagnetismo, tem o mérito de ter reunido a Eletricidade e o Magnetismo que até suas contribuições, eram considerados como dois ramos separados da Física. Maxwell compreendeu, dos trabalhos de Faraday, que o Magnetismo e a Eletricidade, eram na verdade, dois lados da mesma moeda. Podemos dizer que Maxwell promoveu o casamento entre a Eletricidade e o Magnetismo.



LEITURA COMPLEMENTAR

Para conhecer essa figura ímpar do Eletromagnetismo, [clique aqui \[3\]](#).

NOTA HISTÓRICA

A descoberta das ondas eletromagnéticas foi, sem dúvida, o mais belo acontecimento da história da Física. O inglês James Clerk Maxwell, (1831 – 1879), percebeu que Faraday tinha sido o primeiro homem a

compreender corretamente os fenômenos elétricos e magnéticos. Mas o longo trabalho de Faraday tinha sido exclusivamente experimental. Jamais ele se preocupou em colocar em forma matemática os fenômenos que observava. Maxwell então, se propôs a completar a obra de Faraday, e expor matematicamente os conhecimentos de eletricidade e magnetismo da época.

Maxwell reuniu suas conclusões num Tratado de Eletricidade e Magnetismo, publicado em 1873. Esse livro, além de resumir tudo o que se conhecia sobre o assunto, marcou uma época na história da Eletricidade, porque fixou um verdadeiro método de analisar matematicamente os fenômenos elétricos e magnéticos. Desenvolvendo as ideias de Faraday Maxwell, em 1865, concluiu que deveriam existir as ondas eletromagnéticas. E concluiu também que a luz deveria ser uma onda eletromagnética.

A conclusão de Maxwell era muito arrojada e, inicialmente suas ideias não foram aceitas, mesmo pelos grandes físicos da época. Tanto que, em 1867, a Academia de Ciências de Berlim ofereceu um prêmio a quem conseguisse demonstrar experimentalmente que as ondas eletromagnéticas existiam.

Doze anos mais tarde, em 1879, o físico alemão Heinrich Hertz conseguiu prová-lo, com o oscilador descrito no "Oscilador de Hertz".

Fonte [4]

AS EQUAÇÕES DE MAXWELL

As equações de Maxwell são um conjunto de quatro equações, todas elas já vistas e estudadas por você, em Física III e agora em Física IV. Veja só:

LEI DE GAUSS-COULOMB

Cargas elétricas exercem forças umas sobre as outras, ou seja, cargas elétricas dão origem a campos elétricos.

POLOS MAGNÉTICOS

Exercem forças uns sobre os outros, mas NÃO existem polos magnéticos isolados, ou seja, não é possível separar os polos de um ímã.

LEI DE AMPÈRE

Uma carga elétrica em movimento gera magnetismo, ou seja, uma carga elétrica em movimento cria um campo magnético.

LEI DE FARADAY

Magnetismo variável gera eletricidade, ou seja, um fluxo magnético variável cria um campo elétrico.

A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL

Um dos resultados mais importantes da formulação de Maxwell para o eletromagnetismo é a existência de ondas eletromagnéticas, que são campos elétricos e magnéticos que se propagam no espaço e no tempo.

A contribuição importante de Maxwell, foi a reformulação da Lei de Ampère, que na forma que você estudou na Aula 2, só se aplicaria aos casos de campos uniformes no tempo.

Não fique pensando que Maxwell apenas fez uma pequena modificação no trabalho de outro cientista. Toda a Teoria Eletromagnética pode ser sintetizada nestas quatro equações, que de tão básicas, são consideradas as mais importantes de toda a história da humanidade.

A aplicação dessa teoria tornou possível o desenvolvimento de equipamentos eletro-eletrônicos, linhas de transmissão (energia conduzida ou irradiada), e outros inúmeros desenvolvimentos tecnológicos. As Equações de Maxwell descrevem o comportamento dos campos elétrico e magnético, bem como suas interações com a matéria.

I – LEI DE GAUSS DA ELETROSTÁTICA:

$$\oint_{\text{superfície}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Se você puder associar a carga elétrica q , envolvida pela superfície gaussiana, com uma densidade volumétrica de carga, você terá:

$$\rho = \frac{dq}{dV} \Rightarrow dq = \rho dV \therefore q = \int_{\text{volume}} \rho dV$$

Assim a Lei de Gauss será escrita como:

$$\oint_{\text{superfície}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_{\text{volume}} \rho dV$$

II – LEI DE GAUSS DA MAGNETOSTÁTICA

Você se lembra da Aula 1, quando aprendeu que não pode separar os polos de um ímã? A formulação matemática dessa lei da natureza é:

$$\oint_{\text{superfície}} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

III – LEI DE FARADAY

Na Aula 3, você estudou a Lei de Faraday: A variação do fluxo magnético, dá origem a uma força eletromotriz induzida, o que proporciona o surgimento de uma corrente induzida.

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

A fem, pode ser escrita em termos do campo elétrico não eletrostático e o fluxo, em termos do campo de indução magnética, como você já viu.

$$\mathcal{E} = \oint_{\text{contorno}} \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

$$\Phi = \int_{\text{superfície}} \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Assim a Lei de Faraday pode ser re-escrita como:

$$\oint_{\text{contorno}} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = \int_{\text{superfície}} \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

IV – LEI DE AMPÈRE-MAXWELL

A Lei de Ampère você aprendeu na Aula 2, Tópico 3. **APROVEITE AGORA E ESTUDE MAIS UM POUQUINHO ESSE ASSUNTO.**

A Lei de Ampère que você viu é esta:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 i$$

A corrente i pode ser escrita em termos da densidade de corrente J , conforme você já aprendeu em Física III. **APROVEITE AGORA E FAÇA UMA REVISÃO DESSE ASSUNTO.**

$$J = \frac{di}{dA} \Rightarrow i = \int_{\text{superfície}} \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

Com isso a Lei de Ampère que você conhece fica assim:

$$\oint_{\text{contorno}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \int_{\text{superfície}} \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

Maxwell descobriu que esta expressão para a Lei de Ampère só estava correta para os casos em que o campo magnético não variava no tempo. A sua grande contribuição foi inserir na Lei de Ampère um termo que a torna completamente geral, valendo tanto para os casos estáticos, quanto dinâmicos.

A Lei de Ampère-Maxwell, envolvendo o termo acrescentado por Maxwell, é esta:

$$\oint_{\text{contorno}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \int_{\text{superfície}} \vec{J} \cdot d\vec{A} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{\text{superfície}} \vec{E} \cdot d\vec{A} \right)$$

As Equações de Maxwell são mostradas na tabela abaixo:

As equações de Maxwell na forma integral		
$\int_{\text{superfície}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_{\text{volume}} \rho dV$	Lei de Gauss da eletrostática	Cargas elétricas dão origem a campos elétricos.
$\int_{\text{superfície}} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$	Lei de Gauss da magnetostática	Polos de uma imã não podem ser separados.
$\oint_{\text{contorno}} \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{\text{superfície}} \vec{B} \cdot d\vec{A} \right)$	Lei de Faraday	Campos magnéticos variáveis no tempo dão origem a

		campos elétricos.
$\oint_{\text{contorno}} \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \int_{\text{superfície}} \vec{J} \cdot d\vec{A} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{\text{superfície}} \vec{E} \cdot d\vec{A} \right)$	Lei de Ampère-Maxwell	Campos elétricos variáveis no tempo dão origem a campos magnéticos.

FONTES DAS IMAGENS

1. <http://www.adobe.com/go/getflashplayer>
2. http://img1.wikia.nocookie.net/__cb20090911034325/science/el/images/thumb/b/b3/Physicists-Maxwell-goog.gif/500px-Physicists-Maxwell-goog.gif
3. http://pt.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell
4. http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/nota_historica/
5. <http://www.denso-wave.com/en/>



Responsável: Prof. João Milton Pereira Junior
 Universidade Federal do Ceará - Instituto UFC Virtual



FÍSICA IV

AULA 04: AS EQUAÇÕES DE MAXWELL; ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

TÓPICO 02: ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Você sabia que a todo instante você está irradiando ondas eletromagnéticas? É a radiação infravermelha que você emite devido ao calor de seu corpo.

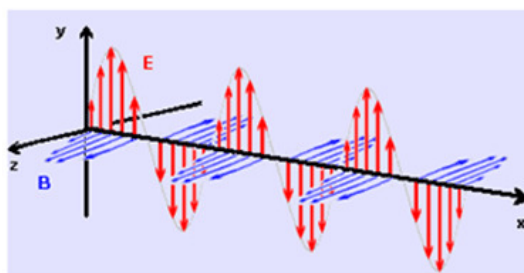
As ondas eletromagnéticas estão tão presentes em nossa vida, que vale a pena conhecer esse assunto tão interessante e de tão largas aplicações no nosso dia a dia.



PARADA OBRIGATÓRIA

Uma onda eletromagnética é uma perturbação que se propaga pelo espaço, como resultado das variações de campos elétricos e magnéticos. A variação de cada um dos campos dá origem ao outro, criando uma perturbação autossustentável.

A figura abaixo, que representa uma onda eletromagnética, nos mostra os campos elétrico e magnético perpendiculares entre si e, na simulação sugerida, vê-se a direção de propagação da onda eletromagnética perpendicular aos dois campos, uma característica de uma onda transversal.



Fonte: [1]



DICA

[Clique aqui \[2\]](#) para ver uma simulação de uma onda eletromagnética se propagando. Este aplicativo mostra as relações entre o campo elétrico e o campo magnético quando uma onda eletromagnética se propaga pelo espaço.

Qual é a conexão entre as ondas eletromagnéticas e as Equações de Maxwell, você pode estar se perguntando.

A solução das Equações de Maxwell, que está fora do escopo desta disciplina, mostra que os campos elétrico e magnético obedecem a uma equação que os caracteriza como uma onda, uma onda eletromagnética.



OLHANDO DE PERTO

A solução das equações de Maxwell descreve a radiação eletromagnética como uma onda transversal, isto é, uma onda que se propaga na direção perpendicular à vibração dos campos elétrico e magnético.

UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA PODE SE PROPAGAR NO VÁCUO

Como exemplo de ondas eletromagnéticas, podemos citar as ondas de rádio, as ondas de televisão, as ondas luminosas, as micro-ondas, os raios X e outras. Essas denominações são dadas de acordo com a fonte geradora dessas ondas e correspondem a diferentes faixas de frequências.



PARADA OBRIGATÓRIA

Todas as ondas eletromagnéticas têm a mesma velocidade no vácuo que vale aproximadamente **300.000 km/s**. Este é o maior valor de velocidade que a ciência conhece hoje.

A velocidade da onda no meio depende das propriedades elétricas e magnéticas do meio. Pode-se escrever a velocidade da onda assim:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}},$$

No vácuo temos

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



DICA

A velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo é representada pela letra *c*.

O símbolo *C* que representa a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo, vem da palavra latina "celeritas", que significa "celeridade" ou "ligeireza".

$$c = 300.00 \text{ KM/S}$$



OLHANDO DE PERTO

Em uma onda eletromagnética não há partículas materiais vibrando.

As oscilações são dos campos elétrico e magnético.

Uma onda eletromagnética, como qualquer outra onda, transporta energia.

ENERGIA DA ONDA ELETROMAGNÉTICA

Quando você estava estudando os Capacitores em Física III, você foi apresentado ao conceito de densidade de energia. **APROVEITE PARA FAZER UMA REVISÃO DESSE ASSUNTO.**

Você viu que a densidade de energia, ou seja, a quantidade de energia armazenada em um volume do espaço aonde existe um campo elétrico é:

$$u_E = \frac{1}{2} \varepsilon E^2$$

Se o meio for o vácuo, então teremos:

$$u_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$$

onde ε_0 é a constante de permissividade elétrica do vácuo.

Se também está presente um campo magnético, como é o caso da onda eletromagnética, a energia deverá apresentar tanto a contribuição do campo elétrico quanto do magnético, portanto a densidade de energia, no vácuo é dada por:

$$u = u_E + u_B$$

$$u = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo.

Nasimulação da propagação da onda eletromagnética [3], você pode perceber que a onda se propaga pelo espaço “arrastando” os campos elétricos e magnéticos, isto é, os campos avançam se deslocando para uma região aonde antes eles não existiam. Isso significa que as energias associadas a estes campos devem se propagar pelo espaço da mesma maneira, o que implica em um fluxo de energia eletromagnética sendo transportado através de um volume qualquer.



PARADA OBRIGATÓRIA

O transporte de energia em uma onda eletromagnética é representado por uma entidade matemática denominada vetor de Poynting, **S**, cujo módulo é igual à uma certa quantidade de energia propagada (dU) por unidade de área (A) por unidade de tempo (dt). O sentido do vetor S estabelece o sentido da propagação da energia.

O vetor de Poynting pode ser interpretado com uma densidade de potência.

O vetor de Poynting :

$$S = \frac{dU}{A dt}$$

$$\frac{dU}{dt} = P \quad (\text{potência}) \quad \therefore$$

$$S = \frac{P}{A}$$

OLHANDO DE PERTO

O vetor de Poynting está relacionado com os campos elétrico e magnético e o seu módulo, considerando que os vetores campo elétrico e magnético são perpendiculares entre si, é dado por:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

O módulo do vetor de Poynting mede a intensidade de uma onda eletromagnética que passa por uma determinada área.

O nome vetor de Poynting é uma homenagem a John Henry Poynting [4] (1852 – 1914).

A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende das propriedades características do meio:

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

No vácuo temos $c = 300.000$ km/s para todas as ondas eletromagnéticas.

Propagando-se em um meio qualquer que não o vácuo, as ondas eletromagnéticas podem interagir com os átomos e moléculas do meio. A interação da radiação eletromagnética com a matéria, por sua vez, depende da frequência da radiação incidente. Por exemplo, a luz visível que se propaga através do vidro e da água, não consegue passar através de uma folha de papelão. Já os raios X, de frequência muito mais alta, passariam com a maior facilidade através do papelão, mas seriam barrados por uma folha de chumbo. Isso significa que, ao se propagar entre diferentes meios a onda eletromagnética altera sua velocidade de propagação.

Em um meio qualquer a velocidade é dada por:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

A relação entre a velocidade no vácuo e em um meio qualquer é dada por:

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \\ v &= \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{c}{v} = \frac{1/\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}{1/\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$
$$\frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = \sqrt{\frac{\epsilon \cdot \mu}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

No estudo dos capacitores, em Física III (**NÃO DEIXE DE FAZER UMA REVISÃO**), foi definida a constante dielétrica de um meio, k :

$$k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

A constante dielétrica, que é adimensional, também pode ser chamada de permissividade elétrica relativa: a permissividade do meio em relação ao vácuo.

Também podemos definir uma permeabilidade magnética relativa:

$$k_m = \frac{\mu}{\mu_0}$$

A velocidade da onda em um meio qualquer ficará:

$$\frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\epsilon \cdot \mu}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = \sqrt{k \cdot k_m}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{k \cdot k_m}}$$

Em geral a constante k_m é aproximadamente igual a 1, assim a velocidade fica dada como:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}}$$

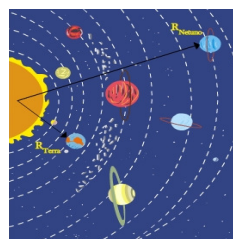
A velocidade de propagação da onda eletromagnética em um meio é **SEMPRE** menor do que c , a velocidade da onda no vácuo: constante dielétrica k é sempre maior do que 1, uma vez que a velocidade v é dada em termos de c por:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}}$$

Você sabe que no sistema solar, o planeta Mercúrio, por ser o mais próximo do Sol é também o mais quente, enquanto Netuno, por exemplo, que fica bem mais distante, é bem mais frio e a Terra tem a temperatura certa para abrigar a vida na forma que a conhecemos. O que as ondas eletromagnéticas têm a ver com isso?

POR QUE CHEGA MAIS ENERGIA DO SOL NA TERRA DO QUE EM NETUNO?

O vetor de Poynting explica porque a energia do Sol chega para nós na Terra com uma intensidade muito maior do que chega a Netuno, por exemplo.



INSTITUTO UNIVERSIDADE VIRTUAL

O sol emite ondas eletromagnéticas com uma potência P em todas as direções.

A intensidade (o módulo do vetor de Poynting)

é:

$$S = \frac{P}{A}$$

A área é dada por: $A = 4\pi R^2$.

As intensidades que chegam, respectivamente na Terra e em Netuno são dadas por:

$$S_{Terra} = \frac{P_{Sol}}{4\pi R_{Terra}^2} \quad e \quad S_{Netuno} = \frac{P_{Sol}}{4\pi R_{Netuno}^2}$$

Netuno está muito mais distante do Sol do que a Terra, portanto $R_{Netuno} > R_{Terra}$.

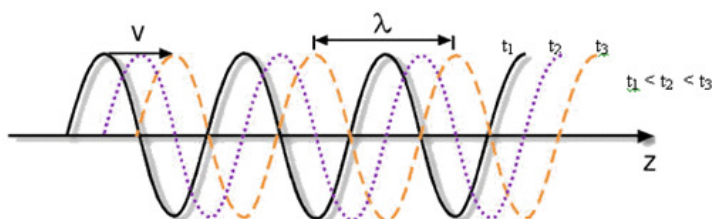
$$R_{Netuno} > R_{Terra} \Rightarrow S_{Netuno} < S_{Terra}$$

O que implica em uma menor intensidade de energia chegando em Netuno.

UMA ONDA UNIDIMENSIONAL

Uma onda se propagando em uma dimensão pode ser representada pela figura abaixo em que vemos a evolução no espaço e no tempo (três instantes diferentes) de uma onda harmônica. À medida que o tempo passa, a onda se propaga para a direita com velocidade constante v .

Se essa figura representar uma onda eletromagnética no vácuo, sua velocidade $v = c$.



Fonte [5]

Vale a pena relembrar os conceitos de amplitude, comprimento de onda, período, frequência e velocidade da onda que você aprendeu em Física II. **NÃO DEIXE DE FAZER UMA REVISÃO DESSE ASSUNTO**



CURIOSIDADE

VOCÊ SABIA?

As ondas eletromagnéticas podem vencer vários obstáculos físicos dependendo da sua frequência. A luz, por exemplo, não consegue atravessar uma parede, mas, atravessa facilmente a água, o ar atmosférico, um vidro transparente. Já uma onda de rádio pode atravessar uma parede e o raio-X atravessa o nosso corpo.



PARADA OBRIGATÓRIA

A frequência de uma onda não se altera quando ela se propaga de um meio para outro. A frequência depende apenas da fonte que deu origem à onda.

INTERFERÊNCIA DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS



Fonte [6]

POR FAVOR, DESLIGUE O SEU CELULAR.

Nos aviões uma das primeiras recomendações que recebemos é: **MANTENHA O SEU CELULAR DESLIGADO DURANTE O VOO.**

A explicação que embasa essa recomendação é o fenômeno da **INTERFERÊNCIA.**

INTERFERÊNCIA

O fenômeno de interferência é o resultado da superposição de duas ou mais ondas. A resultante é simplesmente a soma (algébrica) das amplitudes das ondas. O resultado pode ser um máximo de amplitude, o que caracteriza uma interferência construtiva, um mínimo de amplitude (pode ser inclusive zero) o que caracteriza uma interferência destrutiva ou valores intermediários de amplitude entre o máximo e o mínimo.

O estudo da interferência das ondas é muito importante para as telecomunicações, uma vez que este fenômeno é um dos responsáveis pelas limitações no tráfego de informações.

Em um avião, durante o voo, são muitas as comunicações necessárias entre os pilotos e os vários controles de aterrissagem, de tráfego aéreo, unidades de radar com informações sobre o clima, etc. Todas essas comunicações ocorrem com o uso das ondas eletromagnéticas que podem sofrer interferência com as ondas eletromagnéticas com as quais o aparelho de celular opera. Com a interferência, a recepção das mensagens entre o avião e torres de controles podem ser perturbadas de modo que as informações sejam deturpadas.



CURIOSIDADE

A partir da dissertação de mestrado desenvolvida pela tecnóloga em saúde Suzy Cristina Cabral, defendida na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Unicamp, é bem provável que médicos e enfermeiros ou pelas pessoas que ingressam na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) de um hospital para visitar um parente devam manter seus celulares desligados. De acordo com o estudo, pioneiro na área no Brasil, um dos poucos feitos na América Latina, as ondas eletromagnéticas emitidas pelos telefones móveis podem interferir no funcionamento dos equipamentos médicos, o que pode representar um risco aos pacientes. Para saber mais acesse:

Jornal da UNICAMP [7].

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS ESTACIONÁRIAS

As ondas eletromagnéticas podem ser refletidas na superfície de um condutor (uma lâmina metálica polida) ou na superfície de um dielétrico (uma placa de vidro).



PARADA OBRIGATÓRIA

A superposição das ondas incidentes e refletidas forma uma onda estacionária.

Um forno de micro-ondas produz ondas estacionárias com comprimento de onda $\lambda = 12,2$ cm.

Como você aprendeu quando estudou ONDAS em Física II, uma onda estacionária tem pontos chamados nodos (ou nós), onde a amplitude é zero e pontos chamados antinodos (ou antinós), onde a amplitude é máxima. Cada nodo (antinodo) está separado do seu vizinho consecutivo por $\lambda/2$.

No caso do forno de micro-ondas, como $\lambda = 12,2$ cm, a distância entre os nodos é de 6,1. O alimento deve então girar durante a operação do forno. Se não girar, as partes do alimento que ficam sobre os nodos da onda, permanecerão frias já que nesses pontos a amplitude é zero.

DIFRAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Difração: é o fenômeno que ocorre quando uma onda incide em um obstáculo e consegue ultrapassá-lo, contornando-o ou penetrando por alguma fenda e recompondo-se mais à frente. Esse fenômeno permite a recepção dos sinais de rádio e TV nas grandes cidades, apesar dos edifícios. As ondas eletromagnéticas podem contorná-los.



DICA

Para que você entenda bem esta aula sobre ondas eletromagnéticas é aconselhável que você reveja algumas ideias ligadas ao conceito de onda aprendidas em **FÍSICA II**.



MULTIMÍDIA

Entre neste site:

[Radio Waves & Electromagnetic Fields \[8\]](#) para ver uma simulação de uma onda de rádio, resultante da oscilação de uma carga elétrica, tal como ocorre nas antenas de TV, por exemplo. A simulação mostra as posições no transmissor e no receptor.

E neste [Microwaves \[9\]](#), você poderá ver uma simulação que mostra como o micro-ondas aquece o seu café. Ajuste a frequência e a amplitude das micro-ondas. Você verá as moléculas de água girando e saltando ao redor. A simulação exhibe o campo de micro-ondas como uma onda, uma única linha de vetores, ou todo o campo.

Procure a versão traduzida (Translated Versions).

FONTES DAS IMAGENS

1. http://to.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTGwffUobBf6Jk6zvkJEdD9mPC1t8zqdQNJ_9WHNnsSGydKOYAto_A
2. <http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/emWave/emWave-port.html>
3. <http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/emWave/emWave-port.html>
4. http://pt.wikipedia.org/wiki/John_Henry_Poynting
5. <http://cepa.if.usp.br/e-fisica/imagens/optica/universitario/cap04/figura42.gif>
6. <http://pindaibo.files.wordpress.com/2011/08/ceelular.jpg>
7. http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/julho2004/ju258pag5a.html
8. http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Radio_Waves_and_Electromagnetic_Fields
9. <http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Microwaves#versions>
10. <http://www.denso-wave.com/en/>



Responsável: Prof. João Milton Pereira Junior
Universidade Federal do Ceará - Instituto UFC Virtual



FÍSICA IV

AULA 04: AS EQUAÇÕES DE MAXWELL; ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

TÓPICO 03: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



Arco-íris [1]



Raio-x [2]



Micro-ondas [3]



Ondas de rádio [4]



Televisão [5]

À primeira vista pode parecer que as figuras mostradas acima nada têm em comum. Afinal as situações relacionadas com cada uma, apresentam propriedades muito diferentes; Mas o estudo das radiações eletromagnéticas nos diz que a luz do belo arco-íris, os raios X que permitem ver o interior de nosso corpo, as ondas do micro-ondas, tão útil na cozinha e as ondas de rádio e TV que permitem a recepção de vozes, música e imagens, são da mesma natureza.

O conjunto de todos os comprimentos de onda e frequência recebe o nome de espectro eletromagnético.



PARADA OBRIGATÓRIA

A energia das ondas eletromagnéticas depende somente da frequência, sendo diretamente proporcional a ela:

$$E = hf$$

h é uma constante universal chamada constante de Planck e seu valor é $6,63 \times 10^{-34}$ J.s

VELOCIDADE DA ONDA

A onda eletromagnética anda no vácuo com velocidade c .

Você aprendeu em Física II que um período T é o tempo necessário para uma onda se deslocar exatamente de uma distância que é o seu comprimento de onda λ .

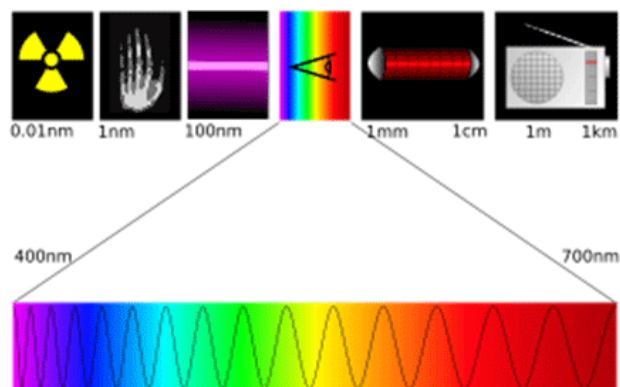
Da definição de velocidade você tem:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$
$$\text{Se } \Delta t = T \Rightarrow \Delta s = \lambda$$
$$v = \frac{\lambda}{T}, \text{ mas } \frac{1}{T} = f, \text{ então:}$$
$$v = \lambda \cdot f$$

Agora a energia pode ser dada também em termos do comprimento de onda:

$$E = hf \text{ ou } E = \frac{hc}{\lambda}$$

As ondas eletromagnéticas cobrem uma faixa extremamente grande de comprimentos de onda e frequências que vai da região das ondas de rádio até os raios gama.



Fonte [6]

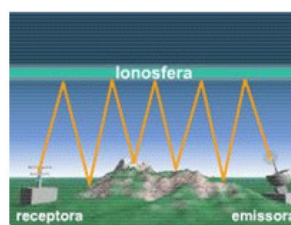
VEJA AGORA A DESCRIÇÃO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO, DE ACORDO COM CADA FAIXA DE FREQUÊNCIA:

AS ONDAS DE RÁDIO

Uma onda de rádio é uma onda eletromagnética na faixa de comprimento de onda 10^4 m (10 km) a 10^{-1} m (10 cm).

Quando você sintoniza a Rádio Universitária, por exemplo, e o locutor anuncia: "você está ouvindo a FM 107,9 MHz - ZYC 407". Isso quer dizer que você está ouvindo uma estação de rádio transmitida por um sinal FM na frequência de 107,9 megahertz. As letras ZYC são códigos atribuídos pela ANATEL. Megahertz significa "milhões de ciclos por segundo", então "107,9 megahertz" significa que o transmissor da estação de rádio oscila numa frequência de 107.900.000 ciclos por segundo.

NÃO CONFUNDA AS ONDAS DE RÁDIO COM AS ONDAS SONORAS QUE VOCÊ OUVE.



Fonte [7]

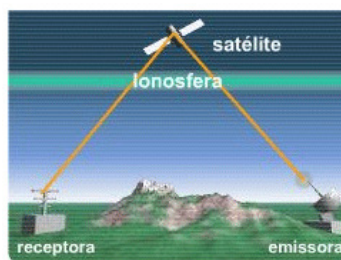
Ondas de rádio de uma certa faixa de frequência (ondas curtas) são facilmente refletidas pela camada ionizada da atmosfera (ionosfera) e por isso podem ser emitidas e captadas a grandes distâncias. De um modo geral, ondas de rádio são produzidas por oscilações de elétrons em antenas metálicas.

As ondas de rádio foram descobertas em 1888 por Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894).

AS MICRO-ONDAS - TV E RADAR

Outra região importante do espectro é a região das micro-ondas, com frequência na faixa de 10^9 Hz. Essa faixa de frequência inclui os sinais de radar, telefones celulares e transmissões via satélite. Essas ondas não são refletidas pela ionosfera, assim podem ser captadas a longa distância.

As micro-ondas, na faixa de 2450 Hz, são também utilizadas para cozinhar e aquecer alimentos nos fornos de micro-ondas.



Fonte [8]

RADIAÇÃO

1 - A RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

2 - A RADIAÇÃO VISÍVEL (A LUZ)

3 - A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

4 - OS RAIOS X

5 - A RADIAÇÃO GAMA

1. A RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Depois da luz visível, a radiação infravermelha foi a primeira a ser descoberta por William Herschell ((Curiosidade: William Herschell tornou-se famoso por ser o descobridor do planeta Urano.)), em 1880.

A região do infravermelho é considerada como a zona compreendida entre os comprimentos de onda entre 700 nm (nanômetro) a 1 mm, com frequência na faixa de 300 GHz (1 GHz = 10⁹ Hz)) a 400 THz (1 THz = 10¹² Hz).

A radiação infravermelha é chamada também de radiação térmica e seu principal efeito é o de aquecer os objetos. Isso é uma consequência do fato da frequência da radiação infravermelha ser da mesma ordem de grandeza da frequência de vibração das moléculas que formam os objetos.

Todos os corpos, animal, vegetal ou mineral, emitem radiação infravermelha devido à agitação térmica de seus átomos e moléculas.



Fonte [9]

O calor que sentimos quando estamos próximos a uma fogueira, é, em grande parte, devido à propagação das ondas infravermelhas: radiação térmica.

Nossos olhos não veem a radiação infravermelha, mas a pele a detecta: Quando nos expomos ao sol, na praia, por exemplo, o ardor que sentimos na pele é a ação da radiação infravermelha.

2. A RADIAÇÃO VISÍVEL (A LUZ)

A luz visível constitui uma estreita faixa do espectro eletromagnético, apresentando comprimentos de onda entre 400 nm (luz violeta) a 700 nm (luz vermelha).

É capaz de excitar os nossos olhos, causando-nos a sensação de visão.

A menor frequência visível nos dá a sensação de vermelho e a maior frequência visível, a sensação de violeta.



Fonte [10]

A luz visível é apenas uma estreita faixa do espectro eletromagnético, mas para nós, humanos é extremamente importante, pois é usada no mecanismo da nossa visão.

A percepção do visível varia muito de uma espécie animal para a outra. Os cachorros e os gatos, por exemplo, não vêem todas as cores, apenas azul e amarelo, mas de maneira geral, em preto e branco numa nuance de cinzas.

Nós humanos vemos numa faixa que vai do vermelho ao violeta, passando pelo verde, o amarelo e o azul. Mesmo entre os humanos pode haver grandes variações.

As cobras veem no infravermelho e as abelhas no ultravioleta, cores para as quais somos cegos.

A frequência da luz visível cresce do vermelho para o violeta, conseqüentemente a energia da radiação também cresce.

A luz violeta por ter o menor comprimento de onda é a mais energética. A luz vermelha, ao contrário, é a menos energética, pois seu comprimento de onda é o maior na faixa do visível.

Não se esqueça, a energia é inversamente proporcional ao comprimento de onda:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

3. A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta é a parte do espectro com comprimentos de onda compreendidos entre 100 nm e 200 nm.

A radiação ultravioleta é classificada em três tipos: radiação ultravioleta A (UVA), radiação ultravioleta B (UVB) e radiação ultravioleta C (UVC).

Denominação	Faixa de comprimento de onda (nm)	Denominação popular
UVA	400 – 315	Luz negra
UVB	315 – 280	Luz eritematogênica
UVC	280 – 100	Radiação germicida

Fonte: Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos, Emico Okuno e Maria Aparecida C. Vilella, Ed. Livraria da Física , 2005

Nosso corpo absorve radiação eletromagnética de todo o espectro, mas em forma e intensidades distintas. As nossas células respondem de forma diversa á cada faixa do espectro eletromagnético.

As células da pele e os nossos olhos são particularmente sensíveis à radiação ultravioleta.

Na pele, um dos efeitos imediatos da radiação ultravioleta são a queimadura solar (eritema) e o bronzeamento (melanogênese). Os efeitos tardios são o fotoenvelhecimento e o câncer de pele.

O câncer de pele pode ocorrer devido a uma mutação num gene em decorrência da absorção da radiação ultravioleta pelo DNA. A mutação causada pela radiação ultravioleta é uma espécie de assinatura, já que ela não é produzida por nenhum agente cancerígeno conhecido.

Quanto mais a pessoa se expõe ao sol, maior o risco, principalmente nos horários de pico da intensidade da incidência da radiação solar, entre 10 horas e 16 horas.

Grande parte da radiação ultravioleta emitida pelo Sol em direção ao nosso planeta é absorvida pela camada de ozônio que envolve a Terra, protegendo-nos assim, da componente mais perigosa da radiação eletromagnética: a radiação UVC.

4. OS RAIOS X

Os raios X foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) em 8 de novembro de 1895.



Fonte [11]

Esse tipo de radiação eletromagnética possui frequências altíssimas (de 10^{17} Hz a 10^{21} Hz), portanto sua energia é maior do que a da radiação ultravioleta.

Os Raios X, assim denominados por Röntgen, que desconhecia inicialmente a natureza daquela radiação, podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico.

O raios X não têm carga elétrica, portanto não são defletidos por campos magnéticos. Isto é, se um feixe de raios X penetrar em uma região onde existe um campo magnético, não sofrerá nenhum desvio.

Os raios X têm a propriedade de atravessar materiais de baixa densidade, como os tecidos musculares, por exemplo, mas são absorvidos por materiais de densidade elevada, como, por exemplo, os nossos ossos.

Essa propriedade foi de imediato utilizada pela Medicina, na obtenção de radiografias.

Nesse site

http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s01.html [12] você poderá conhecer em detalhes, a descoberta dos raios X.

5. A RADIAÇÃO GAMA

Ondas eletromagnéticas que apresentam as mais altas frequências (5×10^{19} Hz até aproximadamente 10^{22} Hz) do aspecto eletromagnético onde elas se localizam na faixa de comprimentos de onda entre 6 pm ($1 \text{ pm} = 10^{-12}$ m) até aproximadamente 0,3 fm ($1 \text{ fm} = 10^{-15}$ m.).

Raios Gama, como os Raios X, não têm carga elétrica. São muito penetrantes podendo atravessar todo o nosso corpo e causar danos irreversíveis ao nosso organismo.

A radiação gama é emitida pelos núcleos atômicos dos elementos quando eles se desintegram.

A radiação gama, por ser altamente energética é utilizada no tratamento de tumores cancerígenos, porque destrói as células malignas.

As bombas nucleares lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki em Agosto de 1945, promoveram fortes emissões de radiação gama em virtude dos processos de fissão nuclear envolvidos no processo.



Fonte: [13]



OLHANDO DE PERTO

O espectro eletromagnético também é chamado de arco-íris de Maxwell.



CURIOSIDADE

Você sabia que embora o crédito da invenção do primeiro transmissor de ondas eletromagnéticas, seja dado ao italiano Guglielmo Marconi (1874 – 1937) foi um brasileiro, o Padre Roberto Landell de Moura (1861 – 1928) [14] um dos pioneiros na descoberta do telefone sem fio, ourádio [15] ?

UM BRASILEIRO NAS ONDAS DE RÁDIO



Roberto Landell de Moura [16]

Em 1893, muito antes da primeira experiência realizada por Guglielmo Marconi, o padre gaúcho Roberto Landell de Moura realizava, em São Paulo, do alto da Av. Paulista para o alto de Sant'Ana, as primeiras transmissões de telegrafia e telefonia sem fio, com aparelhos de sua invenção, numa distância aproximada de uns oito quilômetros em linha reta, entre aparelhos transmissor e receptor. Esse feito foi presenciado pelo Cônsul Britânico em São Paulo, C. P. Lupton, autoridades brasileiras, o povo e vários capitalistas paulistanos.

Nas palavras do próprio padre Landell:

“Os americanos, decorridos 17 anos de prazo que marca a lei das patentes, puseram em execução prática as minhas teorias. Não sou menos feliz por isso. Eu vi sempre nas minhas descobertas, uma dádiva de Deus.”

O transmissor de ondas, primeiro invento de Landell de Moura:



Fonte [17]

FONTES DAS IMAGENS

1. <http://www.mestredicas.com/wp-content/uploads/2012/06/arco-iris-lindas-fotos.jpg>
2. [http://www.brasilecola.com/upload/e/raio%20X\(1\).jpg](http://www.brasilecola.com/upload/e/raio%20X(1).jpg)
3. <http://www.brasilecola.com/upload/conteudo/images/microondas.jpg>
4. http://www.camadasatmosfera.xpg.com.br/Figuras/ondas_radio.jpg
5. <http://blog.efacil.com.br/wp-content/uploads/2010/10/tv-led.png>
6. <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/Spectre.svg/300px-Spectre.svg.png>
7. http://4.bp.blogspot.com/_dYkyHOuGzeg/R5PzGQOdFuI/AAAAAAAAA BJw/JaH9JSCXgkM/s200/frecuencias+Radio_AM.jpg

8. [http://2.bp.blogspot.com/_dYkyHOuGzeg/R5PzPwOdFvI/AAAAAAAAA
BJ4/OkufaomsVTs/s200/frecuencias+Radar_e_microondas.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_dYkyHOuGzeg/R5PzPwOdFvI/AAAAAAAAA
BJ4/OkufaomsVTs/s200/frecuencias+Radar_e_microondas.jpg)
9. [http://4.bp.blogspot.com/_1Y45HoyhOtU/TB_hzeVhL8I/AAAAAAAAA
Hs/SSHZijRLMD8/s1600/fogueira.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_1Y45HoyhOtU/TB_hzeVhL8I/AAAAAAAAA
Hs/SSHZijRLMD8/s1600/fogueira.jpg)
10. http://www.las.inpe.br/~cesar/Infrared/gifs/espec_vis.jpg
11. [http://www.dentalpress.com.br/cms/wp-
content/uploads/2008/02/raio-x_450.jpg](http://www.dentalpress.com.br/cms/wp-
content/uploads/2008/02/raio-x_450.jpg)
12. http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/modo6/m_s01.html
13. [http://nautilus.fis.uc.pt/wwwfi/hipertextos/espectro/img/esp_gama_
bomba.gif](http://nautilus.fis.uc.pt/wwwfi/hipertextos/espectro/img/esp_gama_
bomba.gif)
14. http://pt.wikipedia.org/wiki/Roberto_Landell_de_Moura
15. <http://www.aminharadio.com/radio/replica>
16. http://www.oconsolador.com.br/11/padre_landel.jpg
17. [http://www.brasilcultura.com.br/wp-
content/uploads/2009/07/landell5-300x254.jpg](http://www.brasilcultura.com.br/wp-
content/uploads/2009/07/landell5-300x254.jpg)
18. <http://www.denso-wave.com/en/>



Responsável: Prof. João Milton Pereira Junior
Universidade Federal do Ceará - Instituto UFC Virtual



FÍSICA IV

AULA 04: AS EQUAÇÕES DE MAXWELL; ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

TÓPICO 04: APLICAÇÕES NO COTIDIANO

A maioria das invenções que marcaram o século vinte e mudaram muito a nossa vida, como o rádio, a televisão, o telefone, o forno de micro-ondas, o radar, o celular, a Internet, dependem das ondas eletromagnéticas para o seu funcionamento.

Mesmo sem todas essas maravilhas modernas, ainda assim as ondas eletromagnéticas teriam e têm um papel muito importante em nossa vida: o nosso sistema de visão funciona pela detecção de ondas eletromagnéticas (na parte visível do espectro) e, acima de tudo, é por meio das ondas eletromagnéticas que a nossa Terra recebe a energia do Sol.



PARADA OBRIGATÓRIA

Para compreender as aplicações das ondas eletromagnéticas no nosso cotidiano, é preciso compreender a teoria das ondas eletromagnéticas.

É FUNDAMENTAL QUE VOCÊ FAÇA UMA BREVE REVISÃO DOS PRINCIPAIS TÓPICOS DESSA AULA.

REVISÃO

Onda eletromagnética é uma perturbação constituída por campos elétricos e magnéticos variando com o tempo. Essa perturbação se propaga de uma região para outra, mesmo quando não existe matéria nessas regiões. Ou seja, a onda eletromagnética se propaga no vácuo.

Todas as ondas eletromagnéticas têm a mesma velocidade no vácuo que vale aproximadamente 300.000 km/s. Este é o maior valor de velocidade do universo que a ciência conhece hoje.

A velocidade de uma onda é dada por:

$$v = \lambda f$$

Todas as ondas eletromagnéticas têm a mesma natureza e qualquer uma delas é o resultado da vibração de campos elétricos e magnéticos que se propagam no espaço. O que as diferencia é o comprimento de onda (ou a frequência).

A onda eletromagnética é uma onda transversal.

A energia das ondas eletromagnéticas depende somente da frequência:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Onde $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s é uma constante universal chamada constante de Planck.

O transporte de energia em uma onda eletromagnética é representado pelo vetor de Poynting, S , cujo módulo é igual à energia propagada (dU) por unidade de área (A) por unidade de tempo (dt). O sentido do vetor S estabelece o sentido da propagação energia irradiada. $S = P/A$, onde P é potência.

A superposição das ondas incidentes e refletidas forma uma onda estacionária.

APLICAÇÕES NO COTIDIANO

1 - COMO SE FORMAM OS ARCO-ÍRIS

2 - COMO FUNCIONA O CONTROLE REMOTO PARA A TRAVA ELÉTRICA DE UM CARRO

3 - TELEFONE CELULAR

4 - FORNO MICRO-ONDAS

5 - RAIOS LASER

6 - RADAR

7 - A INTERNET

1. COMO SE FORMAM OS ARCO-ÍRIS

Um dos mais belos espetáculos da natureza, o arco-íris é um exemplo da propagação de ondas eletromagnéticas através de meios diferentes.

Basta uma chuva ocorrendo no lado oposto ao que o Sol se encontra e lá aparece ele: o arco-íris.

Os arco-íris se formam devido à refração da luz no interior de uma gota de água de chuva. A refração é um fenômeno em que um raio de luz se desvia ao mudar do ar para a água (ou qualquer outra substância). Ocorre que esse desvio é diferente para cada cor. Um raio de luz vermelha sofre um desvio menor que um raio de cor verde, que é menor que um de cor azul.

Se quiserem saber todos os detalhes da formação desse fenômeno, acesse [O Arco-Íris – Introdução \[1\]](#).

2. COMO FUNCIONA O CONTROLE REMOTO PARA A TRAVA ELÉTRICA DE UM CARRO

O mecanismo que você usa para travar ou destravar as portas do carro ou para abrir o portão da garagem é um pequeno radiotransmissor, isto é, um transmissor de ondas eletromagnéticas.

Quando você aperta um botão, o transmissor liga e envia um código (um sinal eletromagnético) para o receptor (no carro ou na garagem). Dentro do carro ou da garagem está um receptor de rádio sintonizado na frequência que o transmissor utiliza. Os sistemas modernos utilizam frequências na faixa de 300 MHz a 400 MHz.

3. TELEFONE CELULAR

O telefone celular é um aparelho de comunicação por ondas eletromagnéticas.

Os celulares operam na faixa das ondas de rádio ou radiofrequência e o sistema de funcionamento é formado por três componentes:

- Estação móvel

Estação Móvel é o nome dado ao próprio aparelho, o telefone celular;

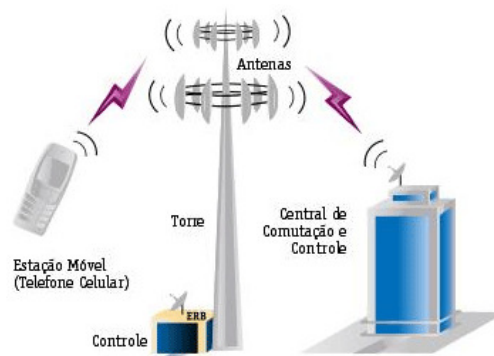
- Estação Rádio - Base

Estação Rádio-Base (ERB) encaminha as ligações para a Central de Comutação e Controle (CCC).

- Central de Comunicação e Controle

A Central de Comutação e Controle (CCC) funciona como o "cérebro" do sistema, ligando-se a todas as Estações Rádio-Base e o Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC), bem como controlando as chamadas.

Quando o telefone celular é usado para originar ou receber chamadas ou para utilizar outros serviços de comunicação, o contato com sua operadora é feito mediante o envio e a recepção de ondas eletromagnéticas para a antena da estação rádio-base (ERB). Esses sinais são recebidos pela ERB e encaminhados para a central de comutação e controle (CCC) da operadora, cuja função é encaminhar as ligações para outras centrais, sejam elas operadoras de telefones fixos ou móveis, completando as ligações.



Fonte [2]

Figura do esquema da transmissão da onda eletromagnética entre o telefone celular e central de controle e vice-versa.

Hoje se fala muito na mídia sobre os efeitos nocivos à saúde que podem resultar do uso dos telefones celulares. Até que ponto a radiação eletromagnética utilizada no seu funcionamento é suficiente para causar algum dano à saúde dos seres humanos? Essa é ainda uma questão bastante controversa. O fato é que o uso do celular bem próximo à cabeça durante o uso, leva a um questionamento se a radiação em contato direto com o tecido da cabeça pode causar algum prejuízo a longo prazo. Mas nada ainda está definido a esse respeito.

4. FORNO MICRO-ONDAS

Objeto de desejo de toda dona de casa, a ideia do forno de micro-ondas surgiu de um mero acidente.

Percy Spencer (1894 -1970), cientista americano que trabalhava na empresa Raytheon, fabricando magnetrons para aparelhos de radar, um dia estava trabalhando num aparelho de radar ativo quando observou uma sensação repentina e estranha, e viu que uma barra de chocolate que tinha no seu bolso tinha derretido.

Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Forno_micro-ondas [3]

O forno de micro-ondas usa micro-ondas para cozinhar ou apenas aquecer os alimentos. As micro-ondas são **ONDAS ELETROMAGNÉTICAS**. Na classificação do espectro as micro-ondas são ondas de rádio com comprimentos de onda variando entre 1 mm e 1 m. O comprimento de onda mais utilizado nos fornos domésticos é de aproximadamente 12 cm, que corresponde a uma frequência de 2,45 GHz. As ondas de rádio nessa frequência são absorvidas principalmente pela água contida nos alimentos.

Saiba mais sobre micro-ondas:

A absorção de energia das micro-ondas provoca um aumento na agitação molecular da água levando ao seu aquecimento. Esse aquecimento se difunde por todo o alimento. Por essa razão, um alimento como o pão, por exemplo, não é aquecido muito bem no micro-ondas: ele é pobre em moléculas de água.

Materiais tais como vidro, papel e plástico não são afetados pelas micro-ondas, por isso, ao aquecermos um determinado alimento num recipiente feito de um desses materiais, notamos que eles permanecem relativamente frios. Mas se a travessa for de metal, você pode ter problemas. Os metais, como você já sabe, possuem elétrons livres que ao serem expostos ao campo elétrico das ondas ficarão sujeitos a uma força (reveja as aulas de Física III) que os forçará a entrar em movimento dando origem a correntes induzidas pelo campo elétrico das micro-ondas.

Essas correntes provocarão o aquecimento do metal por Efeito Joule (reveja esse assunto na aula sobre corrente elétrica em Física III). Esse aquecimento pode produzir faíscas, causando um pequeno “incêndio” no interior do forno que poderá danificá-lo. Esse efeito é particularmente notável se o recipiente tem pequenos detalhes em metal, como aqueles filetes dourados em certas louças, ou se o objeto colocado no micro-ondas tiver pontas, como um garfo, por exemplo. Além disso, o metal pode refletir as micro-ondas e assim o bom funcionamento do aparelho fica prejudicado.

5. RAIOS LASER

LASER é uma sigla formada pelas iniciais das palavras em inglês: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, cuja tradução é: Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação.

Pense um instante só e responda: onde você já viu ou ouviu falar sobre laser?

Provavelmente você vai enumerar uma quantidade enorme de situações aonde se aplica essa maravilha da ciência.

Para você não se esquecer de como o laser está presente em nossas vidas, veja aqui alguns exemplos de sua aplicação:

Denominação	Faixa de comprimento de onda (nm)	Denominação popular
UVA	400 – 315	Luz negra
UVB	315 – 280	Luz eritematogênica
UVC	280 – 100	Radiação germicida

O laser é um tipo especial de radiação eletromagnética na faixa do visível. O que torna a luz laser tão especial são as suas propriedades:

A luz laser é monocromática - Isto significa que ela é formada por ondas que apresentam uma única frequência de valor bem determinado.

A luz liberada é coerente - Isto significa que ela é formada por ondas que estão sempre em fase, ou seja, as cristas e os vales dessas ondas são sempre coincidentes: cristas com cristas, vales com vales.

A luz é bem direcionada - Um feixe de luz laser tem intensidade muito elevada, isto significa uma grande concentração de energia em uma pequena área. Por isso os feixes de laser são muito finos. A luz de uma lanterna, por exemplo, libera luz em várias direções, além de a luz ser muito fraca e difusa.

Fonte [4]

Mesmo um laser de potência baixa, em torno de alguns miliwatts (mW) apresenta um brilho muito superior ao de uma lâmpada de 60 W.

Normalmente a luz emitida por uma fonte é composta de várias cores, e, em geral, se espalha em todas as direções. Em 1960, foi inventado um processo, denominado emissão estimulada, por meio do qual se obtém um feixe de luz de uma mesma cor (mesma frequência), concentrado e em fase. A palavra laser é uma abreviação de "light amplification by stimulated emission of radiation" (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação).

Com o laser é possível obter-se uma grande concentração de energia em um estreito feixe de luz. É possível conseguir um raio laser muito fino e de grande intensidade. Essa alta concentração de energia em uma pequena região ocasiona uma alta temperatura; desse modo, uma das aplicações do raio laser é a soldagem e corte de chapas metálicas.

Fonte [5]

6. RADAR

Um radar é um equipamento que, em geral não vemos. Numa estrada, dirigindo a alta velocidade, você poderá notar o radar apenas quando ele já registrou a sua infração.

Mas esse equipamento não tem apenas a utilidade de registrar as nossas infrações de trânsito nas estradas, a utilidade do radar é indiscutível em nossa vida:

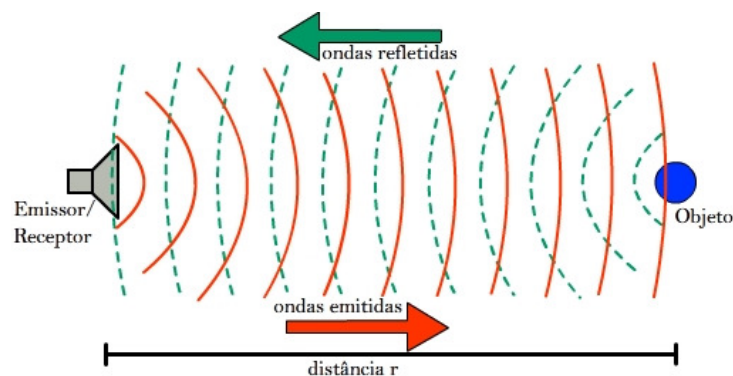
- O controle de tráfego aéreo usa radares para rastrear aviões, além de usá-lo também na hora de orientar os pilotos para que façam pousos suaves.
- A polícia usa o radar com o objetivo de detectar a velocidade dos automóveis.
- A NASA os usa para mapear a Terra e outros planetas, para rastrear satélites e fragmentos espaciais e para ajudar na hora de manobrar suas aeronaves.

- Os militares, por sua vez, usam radares para detectar os inimigos e guiar suas armas até os alvos.
- Os meteorologistas usam radares para rastrear tempestades, furações e tornados.
- No períodos de guerra a utilização do radar é indiscutível.

RADAR: Sigla das palavras em inglês: **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging (Detecção e Telemetria pelo Rádio), é um dispositivo que permite detectar objetos a longas distâncias, calculando com precisão sua posição.

O primeiro Radar foi construído em 1904, por C. Hülsmeyer na Alemanha

O radar emite ondas eletromagnéticas que são refletidas por objetos distantes. A detecção das ondas refletidas permite determinar a localização do objeto.



INSTITUTO UNIVERSIDADE VIRTUAL

7. A INTERNET

Embora pudéssemos ainda listar muitas aplicações das ondas eletromagnéticas no cotidiano, vamos finalizar esta aula mostrando a aplicação mais utilizada por todo o mundo, atualmente e sem a qual esse curso que você faz não seria possível:

A Internet, uma rede mundial de computadores interconectados, é um privilégio da vida moderna para o homem moderno. Ela é o maior repositório de informações acessíveis a qualquer pessoa que a acesse de qualquer parte do mundo.

O mais notável na Internet é que a torna tão diferente das outras invenções humanas é o curtíssimo período de tempo em que ela precisou para se estabelecer.

Algumas invenções e descobertas humanas:

A eletricidade (1873): atingiu 50 milhões de usuários depois de 46 anos de existência.

O telefone (1876): levou 35 anos para atingir esta mesma marca.

O automóvel (1886): 55 anos. O rádio (1906), 22 anos. A televisão (1926), 26 anos. O forno de micro-ondas (1953), 30 anos.

O microcomputador (1975): 16 anos.

O celular (1983): 13 anos.

A Internet (1995), por sua vez, levou apenas 4 anos para atingir 50 milhões de usuários no mundo.

Fonte [6]

Onde está a aplicação das ondas eletromagnéticas na Internet?

A resposta para esta pergunta está em outra pergunta: Como você se conecta à Internet?

Se você se conecta por meio de uma linha telefônica discada ou por conexões de alta velocidade tipo fibra ótica, TV a cabo, satélite, saiba que todos esses tipos de acesso utilizam diretamente a propagação de ondas eletromagnéticas.



ATIVIDADE DE PORTFÓLIO

Baixe aqui o arquivo [PORTFÓLIO -AULA-4.doc](#) (Visite a aula online para realizar download deste arquivo.).

DISCUTA-O, INDIVIDUALMENTE, e coloque as respostas no seu portfólio.



FÓRUM

APROVEITE O QUE VOCÊ APRENDEU NESTA AULA E DISCUTA COM OS SEUS COLEGAS E O SEU PROFESSOR A SEGUINTE QUESTÃO:

Algumas vezes, anúncios de neônio desligados próximos de uma emissora de rádio com potência elevada brilham fracamente durante a noite, mesmo estando desligados. O que produz esse brilho?

FONTES DAS IMAGENS

1. <http://astrosurf.com/skyscapes/otica/arcointr.htm>
2. <http://1.bp.blogspot.com/-EfiDtyKDoDs/Ubp5LUT-oMI/AAAAAAAAAEg/6BhnGwRuDhE/s1600/ERB.jpg>
3. http://pt.wikipedia.org/wiki/Forno_de_micro-ondas
4. http://www.vdl.ufc.br/solar/aula_link/lquim/semestre02/Fisica_Intro_dutoriaII/Aula_06/04_arquivos/exemplo5.htm?keepThis=true&TB_iframe=true&height=160&width=700
5. http://br.geocities.com/radioativa_br/pagina23.htm
6. <http://www.aisa.com.br/oquee.html>
7. <http://www.denso-wave.com/en/>

