

Aula 3: Ondas e Ondas Eletromagnéticas

Física para Farmácia – 1º semestre de 2013

Monitor: Alysson F. Moraes [afmoraes (em) if.usp.br]

Dado um perfil, ou seja, alguma função que descreve algum contorno, podemos fazer esse perfil caminhar no tempo. Para isso, se a função do perfil é $f(x)$, basta trocar x por $x - vt$ se queremos que o perfil se desloque no sentido positivo do eixo x , ou por $x + vt$ se queremos que o perfil se desloque no sentido negativo de x . Esse “perfil caminhante” é chamado de onda. A onda com perfil caminhante $f(x)$ pode ser escrita, portanto, como: $g(x, t) = f(x \pm vt)$. A figura abaixo descreve bem o que queremos dizer com “perfil caminhante”: o perfil $f(x) = 3x$ se desloca com velocidade $v = 4$ m/s na direção e sentido do eixo x . Nessa figura estão graficadas as funções $g(x, t = 0s) = f(x) = 3x$, $g(x, t = 1s) = f(x - 4m) = 3(x - 4m)$ e $g(x, t = 2s) = f(x - 8m) = 3(x - 8m)$, que correspondem, respectivamente, ao perfil $f(x)$ nos tempos 0s, 1s e 2s.

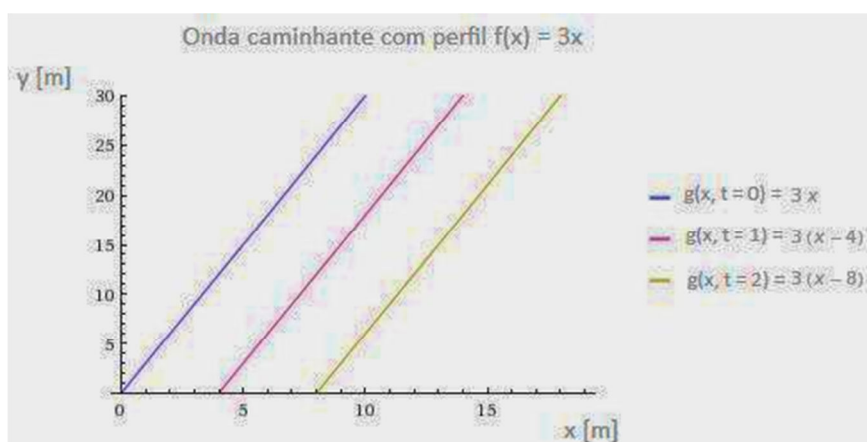


Figura 1: Exemplo de um perfil caminhante

A tabela abaixo também contém alguns exemplos de como conseguir ondas caminhanes com alguns perfis.

Perfil	Direção de propagação	Sentido	Perfil caminhante
$y(x) = \text{sen}(2\pi x)$	$\hat{x}$	$+\hat{x}$	$y(x, t) = \text{sen}[2\pi (x - vt)]$
$y(x) = x^2$	$\hat{x}$	$-\hat{x}$	$y(x, t) = (x + vt)^2$
$z(y) = y^2 \sqrt{3y}$	$\hat{y}$	$-\hat{y}$	$z(y, t) = (y + vt)^2 \sqrt{3(y + vt)}$

Um perfil caminhante importante é o de uma onda senoidal (ou harmônica):

$$y(x, t) = y_o \text{sen}[k(x - vt)] \quad (\text{Eq. 1})$$

Essas ondas senoidais têm algumas características especiais e que estão exemplificadas na figura abaixo:

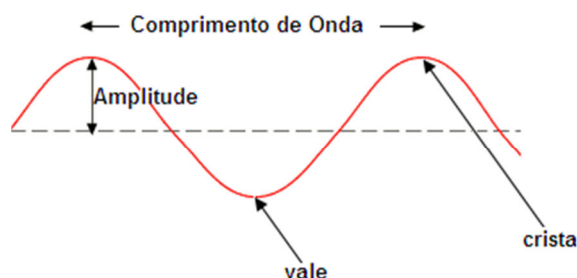


Figura 2: Características de uma onda harmônica

O motivo para que as ondas harmônicas sejam estudadas separadamente é que qualquer onda pode ser escrita como uma soma de ondas harmônicas. Na figura abaixo está mostrado um exemplo dessa decomposição em ondas harmônicas.

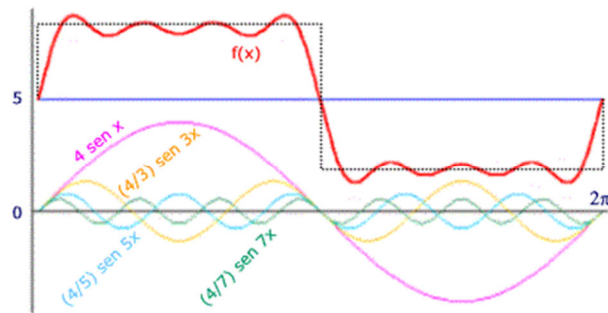


Figura 3: Decomposição em ondas harmônicas da função $f(x)$, mostrada em vermelho

Características de uma onda harmônica:

- (a) Amplitude: a constante y_0 na Eq. 1 é chamada amplitude da onda.
- (b) Vale: é o ponto onde a onda alcança seu mínimo.
- (c) Crista: é o ponto onde a onda alcança seu máximo.
- (d) Comprimento de onda: é a distância entre duas cristas ou dois vales.
- (e) Período: é o tempo gasto pela onda para se deslocar uma distância igual ao seu comprimento de onda (λ).

Para uma onda harmônica, podemos também definir o que se chama de FASE. Essa quantidade é comumente representada pela letra grega ϕ e é definida como sendo:

$$\phi(x, t) = k(x - v t) \quad (\text{Eq. 2})$$

Assim, podemos escrever:

$$y(x, t) = y_0 \sin[\phi(x, t)] \quad (\text{Eq. 3})$$

Nota-se que a fase de uma onda depende da posição e do instante em que queremos calculá-la.

Repare que:

$$\begin{cases} \text{se } \phi = n\pi & \text{teremos} & y = 0 \\ \text{se } \phi = \frac{\pi}{2} + 2\pi n & \text{teremos} & y = +y_0 \text{ (crista)} \\ \text{se } \phi = \frac{3\pi}{2} + 2\pi n & \text{teremos} & y = -y_0 \text{ (vale)} \end{cases}$$

onde $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Sendo assim, a diferença de fase entre duas cristas num mesmo instante t é de 2π . Por outro lado, essa diferença de fase pode também ser calculada (sendo x_0 a posição de uma crista):

$$\phi(x_0 + \lambda, t) - \phi(x_0, t) = k(x_0 + \lambda - vt - x_0 + vt) = k\lambda = 2\pi$$

Portanto:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Temos assim uma interpretação para a constante k (chamada de número de onda) em termos do comprimento de onda.

Equação da onda harmônica:

O que é conhecido como equação da onda harmônica é uma relação entre a velocidade desse tipo de onda com o seu comprimento de onda e sua frequência. Vamos derivar essa equação considerando que uma onda harmônica se desloca uma distância λ (comprimento de onda) num intervalo de tempo T (período). Logo, sua velocidade é dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

onde a constante f é a frequência da onda: $f = 1/T$ e corresponde ao número de oscilações completas que a onda realiza em 1 segundo.

Ondas Eletromagnéticas

Existe um tipo especial de onda, formada pela oscilação conjunta entre os campos elétricos e magnéticos em alguma região do espaço. Essas oscilações são capazes, por exemplo, de movimentar os elétrons de algumas células presentes no olho humano (os cones e bastonetes). Sendo assim a luz é uma onda eletromagnética.

Exemplos de ondas eletromagnéticas: Luz visível, Raios X, Raios Gama, Ondas de Rádio (AM e FM), Micro-ondas.

O caráter ondulatório da luz foi percebido por Heygens e confirmado por Young no seu famoso experimento de fenda dupla. O fato de que a luz é uma onda eletromagnética foi percebido pelo físico inglês J. K. Maxwell, que também derivou suas propriedades, as quais listamos algumas:

- (1) As ondas eletromagnéticas se propagam com velocidade constante no vácuo igual a $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- (2) $\vec{E}$ e $\vec{B}$ perpendiculares;
- (3) $\vec{E}$ e $\vec{v}$ perpendiculares;
- (4) $\vec{B}$ e $\vec{v}$ perpendiculares;
- (5) $\vec{E} \times \vec{B} // \vec{v}$;
- (6) $\vec{B} = \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{E}$;
- (7) $|\vec{B}| = \frac{|\vec{E}|}{c}$;

A figura abaixo é um esquema de uma onda eletromagnética. É um bom exercício verificar que as propriedades de 2 a 5 listadas acima estão reproduzidas nessa figura.

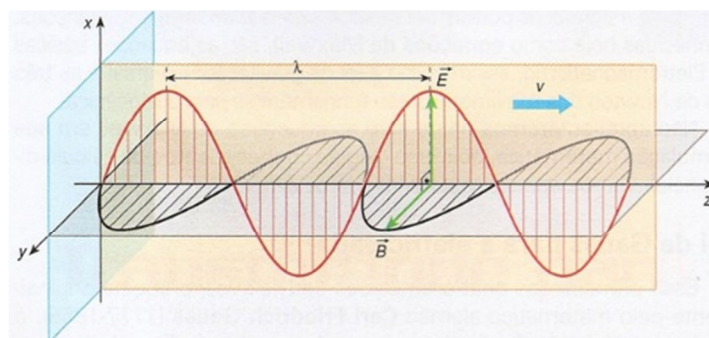


Figura 4: Esquema dos campos elétricos e magnéticos em uma onda eletromagnética e suas propriedades