

# Ondas eletromagnéticas

Flaviano Williams Fernandes

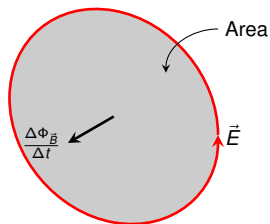
Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

7 de Novembro de 2020

# Sumário

- 1 A teoria do eletromagnetismo
- 2 Ondas eletromagnéticas
- 3 Aplicações
- 4 Apêndice

## Campo elétrico induzido



$\vec{E} \propto -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$   $\Phi_B$ : B por area perpendicular a espira

### Lei de Faraday

A variação do fluxo do campo magnético que atravessa uma espira fechada faz aparecer um campo elétrico induzido ao redor dessa espira.

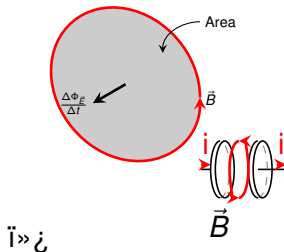
### Corollary

*Ao contrário da corrente induzida, o campo elétrico pode existir na ausência de matéria.*

## Campo magnético induzido

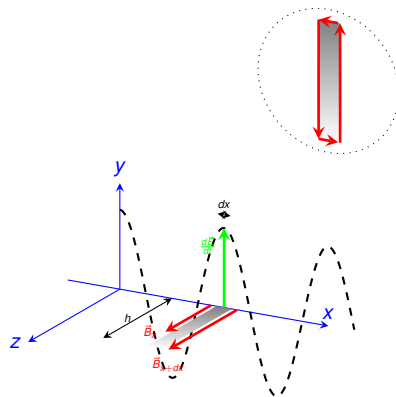
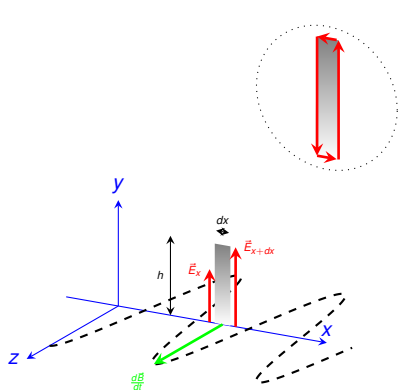
### Simetria dos fenômenos elétricos e magnéticos

Maxwell, usando a idéia de simetria, sugeriu que assim como a variação de um **campo magnético** no espaço pode induzir um **campo elétrico**, a variação do **campo elétrico** também pode induzir um **campo magnético**.



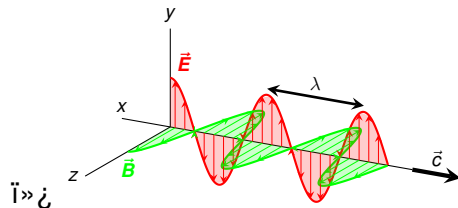
### Lei de Maxwell

A variação do fluxo do campo elétrico que atravessa uma espira fechada faz aparecer um campo magnético induzido ao redor dessa espira,



Campo elétrico induzido pela variação de  $\vec{B}$ . Campo magnético induzido pela variação de  $\vec{E}$ .

A unificação das teorias do eletromagnetismo e a contribuição dada por Maxwell, sugeriu que os campos elétricos e magnéticos deveriam ser representados por funções senoidais, ou seja, tanto o campo elétrico quanto o magnético são ondas que se propagam na mesma direção e sentido e com a mesma velocidade  $c$ .



A intensidade  $I$  da onda, ou seja, energia transportada por área e por tempo, é diretamente proporcional ao quadrado da frequência de oscilação  $f$  dessa onda,

$$I \propto f^2.$$

### Corollary

*Uma onda transporta energia mas não transporta matéria, portanto a onda não possui massa.*

## A velocidade da onda eletromagnética

O campo elétrico é definido como

$$E = K \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2},$$

onde  $\epsilon_0 \approx 8,9 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ .

O campo magnético ao redor de um fio condutor é definido como

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{r},$$

onde  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ .

Pela teoria do eletromagnetismo temos que a velocidade da onda é dado por

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

### Velocidade da onda eletromagnética no vácuo

$$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

## A luz como onda eletromagnética

Maxwell percebeu que a velocidade  $c$  obtida à partir do eletromagnetismo é exatamente idêntica a velocidade da luz, já bem conhecida na época através de diversas técnicas de medição.

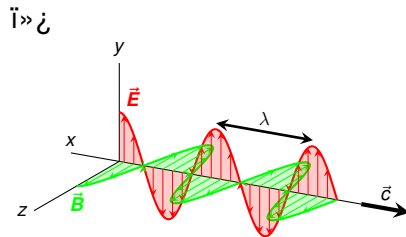
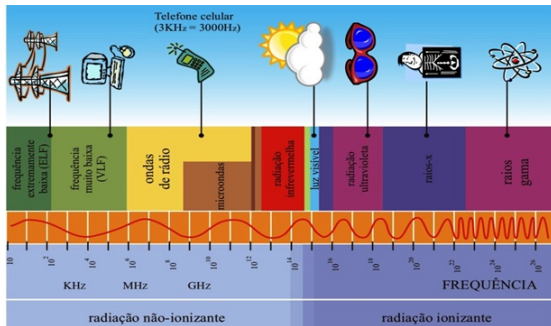
*"A velocidade das ondas transversais em nosso meio hipotético, calculada a partir dos experimentos electromagnéticos dos Srs. Kohrausch e Weber, concorda tão exactamente com a velocidade da luz, calculada pelos experimentos óticos do Sr. Fizeau, que é difícil evitar a inferência de que a luz consiste nas ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenómenos eléctricos e magnéticos."*

### Corollary

*A luz é uma onda eletromagnética capaz de se **propagar no vácuo** com a velocidade de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s. Isso é possível, pois podemos ter variações dos campos elétrico e magnético na ausência de matéria.*



# Spectro eletromagnético



## Corollary

*A radiação eletromagnética está presente em todos os lugares do nosso cotidiano.*

## Transformar um número em notação científica

### Corollary

*Passo 1: Escrever o número incluindo a vírgula.*

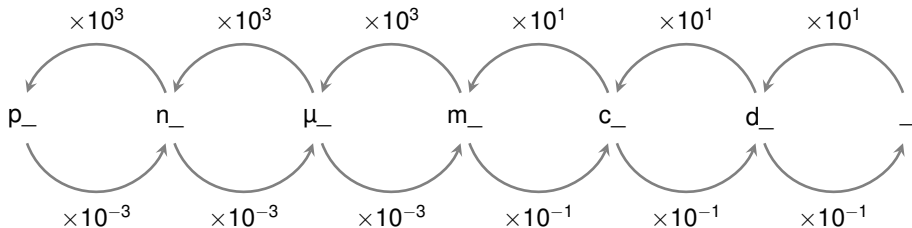
*Passo 2: Andar com a vírgula até que reste somente um número diferente de zero no lado esquerdo.*

*Passo 3: Colocar no expoente da potência de 10 o número de casas decimais que tivemos que "andar" com a vírgula. Se ao andar com a vírgula o valor do número diminuiu, o expoente ficará positivo, se aumentou o expoente ficará negativo.*

### Exemplo

$$6\,590\,000\,000\,000\,000,0 = 6,59 \times 10^{15}$$

## Conversão de unidades em uma dimensão

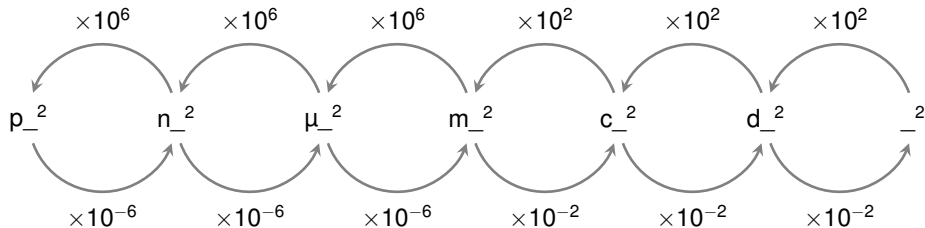


$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{(-1) \times 2} \text{ dm} \rightarrow 1 \times 10^{-2} \text{ dm}$$

$$2,5 \text{ g} = 2,5 \times 10^{(1) \times 3} \text{ mg} \rightarrow 2,5 \times 10^3 \text{ mg}$$

$$10 \mu\text{C} = 10 \times 10^{[(-3) \times 1 + (-1) \times 3]} \text{ C} \rightarrow 10 \times 10^{-6} \text{ C}$$

## Conversão de unidades em duas dimensões

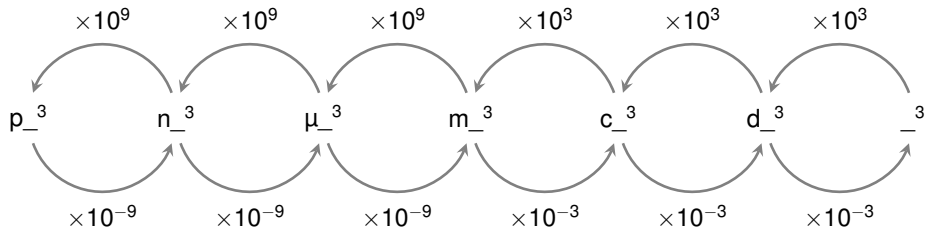


$$1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{(-2) \times 2} \text{ dm}^2 \rightarrow 1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$$

$$2,5 \text{ m}^2 = 2,5 \times 10^{(2) \times 3} \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \mu\text{m}^2 = 10 \times 10^{[(-6) \times 1 + (-2) \times 3]} \text{ m}^2 \rightarrow 10 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

## Conversão de unidades em três dimensões



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{(-3) \times 2} \text{ dm}^3 \rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$2,5 \text{ m}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 3} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$10 \mu\text{m}^3 = 10 \times 10^{[(-9) \times 1 + (-3) \times 3]} \text{ m}^3 \rightarrow 10 \times 10^{-18} \text{ m}^3$$

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$
Beta	$B$	$\beta$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$
Delta	$\Delta$	$\delta$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$
Zeta	$Z$	$\zeta$
Eta	$H$	$\eta$
Teta	$\Theta$	$\theta$
Iota	$I$	$\iota$
Capa	$K$	$\kappa$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$
Mi	$M$	$\mu$

Ni	$N$	$\nu$
Csi	$\Xi$	$\xi$
ômicon	$O$	$o$
Pi	$\Pi$	$\pi$
Rô	$P$	$\rho$
Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Tau	$T$	$\tau$
Ípsilon	$\Upsilon$	$\upsilon$
Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Qui	$X$	$\chi$
Psi	$\Psi$	$\psi$
Ômega	$\Omega$	$\omega$

## Referências

 A. Máximo, B. Alvarenga, C. Guimarães, Física. Contexto e aplicações, v.1, 2.ed., São Paulo, Scipione (2016)

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/education>