INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

LABORATÓRIO DE FÍSICA

ELECTROMAGNETISMO

Trabalho prático nº 2b

Velocidade da luz
e
distanciometria óptica

Guia de Laboratório

ISEC
2005

1 Objectivo

Pretende-se neste trabalho abordar experimentalmente a possibilidade de medida da velocidade das ondas electromagnéticas por meios electrónicos e abordar o problema inverso, da medida de distâncias (distanciometria) por meios opto-electrónicos.

2 Introdução

A primeira estimativa da velocidade da luz foi obtida por métodos astronómicos por Olaf Roemer (1644-1710). A primeira medida terrestre foi realizada por Fizeau em 1849 utilizando meios mecânicos, obtendo o valor de 313.300 km/s. Para mais detalhes ver por exemplo http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica5/leituras/vluz.htm.

Por redefinição do metro[1], em 1983 a velocidade da luz no vazio foi definida como tendo o valor exacto de $c = 299\ 792\ 458\ m/s$ [2]. Para mais informações sobre a realização física moderna do metro ver por exemplo http://www.mel.nist.gov/div821/museum/length.htm.

2.1 A medida da velocidade da luz (do metro…)

Define-se velocidade (instantânea) como a razão entre a distância ds percorrida por alguma entidade física num intervalo de tempo infinitesimamente pequeno dt

$$v = \frac{ds}{dt} \tag{1.1}$$

Para velocidades constantes, como se sabe ser o caso, a velocidade instantânea v é igual à velocidade média $< v >$ medida a partir de distâncias e intervalos de tempo macroscópicos Δs e Δt:

$$v =< v >= \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1.2}$$

A velocidade da luz é medida recorrendo à medida do tempo de propagação ao longo duma distância conhecida. Uma medida de extrema precisão pode ser obtida por meios opto-electrónicos[3].

2.2 Distanciometria óptica

Podemos medir distâncias simplesmente medindo o tempo que a luz demora a percorrer a distância que se pretende medir:

$$\Delta s = c\Delta t \tag{1.3}$$

Este mesmo princípio é utilizado no famoso sistema de localização geográfica GPS, mas funcionando com ondas de rádio e não com luz.

[1] O metro é o comprimento do trajecto percorrido pela luz no vazio, durante um intervalo de 1 / 299 792 458 do segundo.

[2] No ar será menor em cerca de 300 partes por milhão (depende ligeiramente da temperatura e da pressão atmosférica).

[3] O método utilizado neste trabalho não é de todo o mais preciso. Foi escolhido por ser simples e intuitivo.

2.3 Tratamento de erros

Toda a medida é afectada de erros vários e frequentemente é necessário estimar e avaliar o seu impacto no resultado final.

Existem muitos tipos de erros e muitas formas de lidar com estes. O tratamento dos erros deve ser feito da forma adequada ao tipo de medida e ao tipo de erros esperados, não existindo uma prescrição universal para este fim, mas devendo imperar o bom-senso. Frequentemente este tratamento pode ser extremamente complexo.

Existe um procedimento padrão no caso simples de se pretenderem determinar os erros associados a uma quantidade, digamos f, que é calculada através de uma fórmula[4] a partir de medidas x e y

$$f = f(x, y) \tag{1.4}$$

afectadas por erros ε_x e ε_y de tal modo que se estime que x está entre os limites $x = \overline{x} \pm \varepsilon_x$ ($\overline{x}$ é o valor mais provável de x) e que $y = \overline{y} \pm \varepsilon_y$. Admitindo que os erros nas medidas são independentes, o erro em f, ε_f, é estimado como

$$\varepsilon_f^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \varepsilon_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \varepsilon_y^2 . \tag{1.5}$$

Se existirem mais variáveis afectadas de erro serão somados mais termos idênticos. Naturalmente, o resultado do procedimento será indicado como $f = \overline{f} \pm \varepsilon_f$, com $\overline{f} = f(\overline{x}, \overline{y})$.

Com pouco trabalho podemos calcular casos particulares bastante úteis: na soma de variáveis, somam-se os erros absolutos

$$f = \alpha x + \beta y \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_f^2 = \alpha^2 \varepsilon_x^2 + \beta^2 \varepsilon_y^2 , \tag{1.6}$$

e na multiplicação ou divisão de variáveis, somam-se os erros relativos

$$f = axy \quad \text{ou} \quad f = a\frac{x}{y} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{\varepsilon_f}{\overline{f}}\right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_x}{\overline{x}}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_y}{\overline{y}}\right)^2 . \tag{1.7}$$

Definindo grandezas intermédias, estas regras podem ser encadeadas em expressões mais complexas que envolvam apenas as operações aritméticas.

3 Material

Utilizaremos o dispositivo ilustrado na Figura 3-1, cujo princípio de funcionamento está ilustrado na Figura 3-2.

[4] Ou outro qualquer procedimento a partir do qual seja possível definir derivadas parciais.

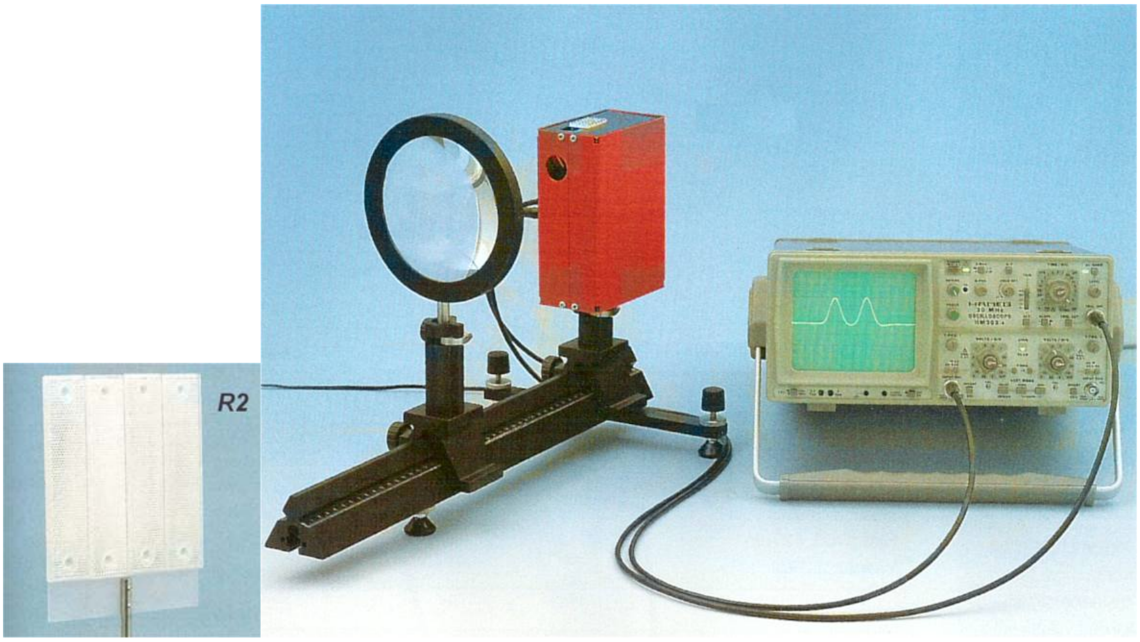

Figura 3-1 – Vista global do dispositivo experimental.

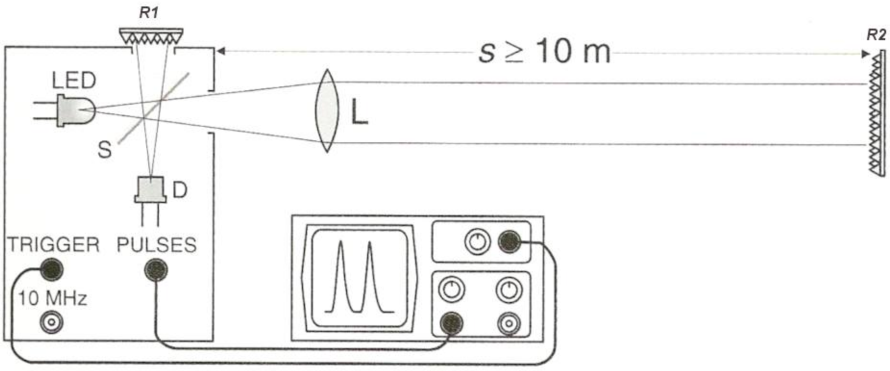

Figura 3-2 – Princípio da medida da velocidade da luz através do atraso entre pares de impulsos luminosos.

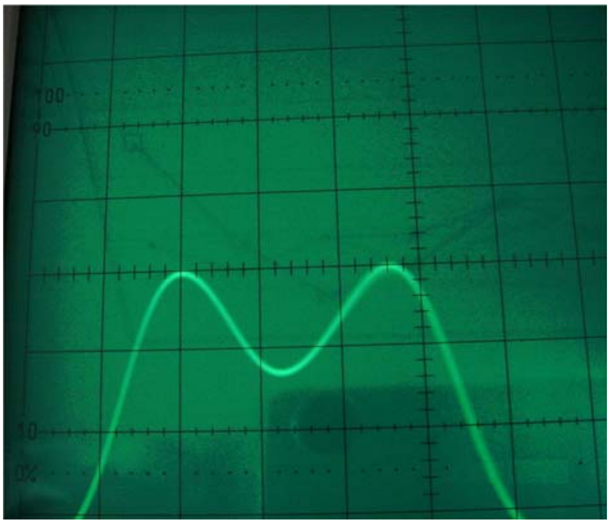

Figura 3-3 - Exemplo de impulsos visualizados no osciloscópio.

O dispositivo luminoso LED emite um curto impulso de luz que é separado em duas partes pelo espelho semi-reflector S. Um dos feixes é reflectido imediatamente pelo retroreflector[5] R_1 e detectado no fotosensor D, marcando o instante de emissão do impulso. A outra parte do impulso luminoso propaga-se pelo espaço até ao retroreflector R_2, regressando e sendo igualmente detectado pelo fotosensor D. Deste modo são produzidos dois impulsos luminosos deslocados por um intervalo de tempo igual ao tempo de propagação da luz no percurso de ida e volta ao reflector R_2 e que são visualizados num osciloscópio.

Na Figura 3-3 podemos observar em detalhe o aspecto destes impulsos quando visualizados no osciloscópio.

4 Execução das medidas

4.1 Velocidade da luz no ar

Para esta medida o reflector R_2 deverá ser colocado a alguns metros do emissor de luz e deve ser estimado um limite superior e inferior para esta distância, de tal modo que se possa dizer com segurança que $s = \overline{s} \pm \varepsilon_s$. Registar estes valores na folha de respostas.

A orientação da calha óptica deve ser ajustada até que o sinal visualizado no osciloscópio se pareça com a Figura 3-3. É importante que a amplitude de ambos os impulsos seja idêntica. Utilizar o varrimento mais rápido e o multiplicador horizontal. Anotar na folha de respostas a escala horizontal resultante.

Ajustar o máximo do primeiro impulso com uma das linhas verticais. Determinar limites superior e inferior ε_{t_0} razoáveis mas sem exagero, de tal modo que se possa dizer com certeza que $t_0 = \overline{t_0} \pm \varepsilon_{t_0}$. Registar estes valores na folha de respostas.

Igualmente determinar limites superior e inferior para o segundo impulso tais que $t_1 = \overline{t_1} \pm \varepsilon_{t_1}$. Registar estes valores na folha de respostas.

Determinar a duração do percurso da luz no ar $\Delta t = t_1 - t_0$ e respectivo erro. Registar estes valores na folha de respostas.

Aplicar a fórmula (1.7) para determinar o erro relativo na medida da velocidade da luz. Qual o erro que domina, o erro na distância ou o erro no tempo. Registar estes valores na folha de respostas.

Determinar o valor experimental da velocidade da luz bem como o seu erro. Registar estes valores na folha de respostas. Comparar com o valor correcto. Comentar.

4.2 Distanciometria óptica

Mover o reflector R_2 para uma distância desconhecida. Efectuar a medida do intervalo de tempo de forma semelhante à efectuada em 4.1 e calcular a distância ao reflector $s = \overline{s} \pm \varepsilon_s$. Medir com a fita métrica essa distância $S = \overline{S} \pm \varepsilon_S$ e comparar com a medida óptica.

Repetir a medida mais duas vezes a diversas distâncias.

Observar o gráfico e comentar.

[5] Constituído por uma matriz de pequenos prismas triédicos com forma correspondente a um "canto de cubo".