

## 1329 – Medida da velocidade da luz



Roteiro elaborado com base na documentação que acompanha o conjunto por:  
*Otávio A.T. Dias e Elias da Silva – PUC-SP*

### Tópicos Relacionados

Índice de refração, comprimento de onda, frequência, fase, modulação, campo elétrico constante, campo magnético constante.

### Princípios e objetivos

Modula-se a intensidade da luz e compara-se a relação entre os sinais de transmissor e receptor. A velocidade da luz é calculada através da relação entre as mudanças na fase e no trajeto da luz.

### Equipamentos

	127 V	220 V	
Cabo blindado, BNC, l 1500 mm	07542.12	07542.12	2
Aparato de medida da velocidade da luz, LED vermelho	11224.98	11224.93	1
Osciloscópio, 20 MHz, 2 canais	11454.98	11454.94	1

### Problemas

1. Determinar a velocidade da luz no ar.
2. Determinar a velocidade da luz na água e na resina sintética e calcular os seus índices de refração.

### Montagem e procedimentos

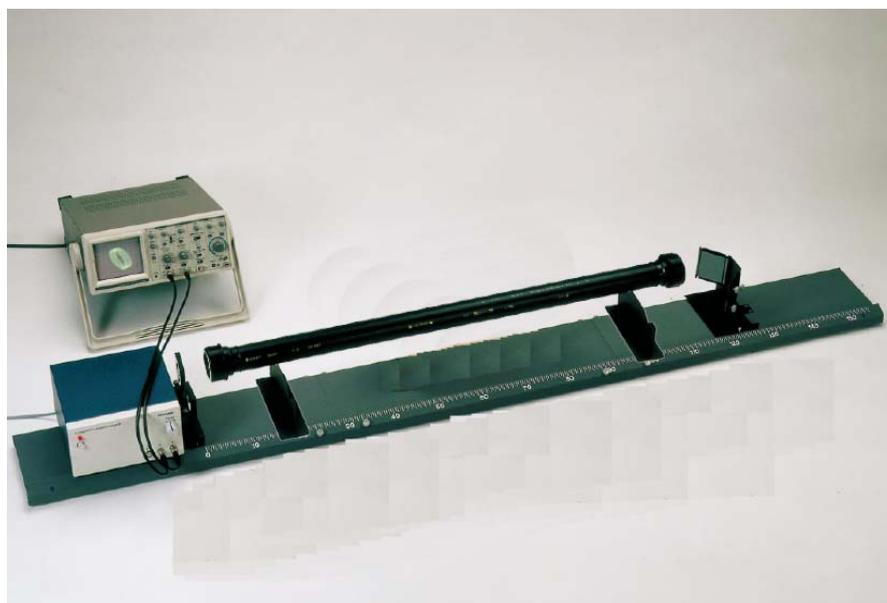
O espelho de desvio e as lentes devem ser montadas de forma que os raios de luz incidentes e emergentes fiquem paralelos à base (Fig.1) e um sinal de máximo chegue no diodo receptor (detalhes das direções podem ser encontradas nas instruções de operação)

A frequência de modulação de 50,1 MHz (quartz estabilizado) é reduzida a aproximadamente 50 kHz, de forma que os sinais do transmissor e do receptor possam ser exibidos no osciloscópio.

1. Primeiramente, o espelho é colocado o mais próximo possível da unidade de operação (o ponto zero da escala). Uma figura de Lissajous aparecerá no osciloscópio (operação em x-y) e após ajustada com o botão de fase do osciloscópio, se transformará em uma linha reta. Desliza-se o espelho ao longo da escala graduada, até que a fase tenha sido mudado, por um valor  $\pi$ , i.e até que se obtenha a linha reta deslizando até a direção oposta.  
Mede-se o deslocamento do espelho  $\Delta x$ ; as medidas devem ser feitas diversas vezes.
2. O tubo cheio de água é colocado na direção do raio, de modo que as faces das extremidades fiquem perpendiculares ao eixo óptico; o

## 1329 – Medida da velocidade da luz

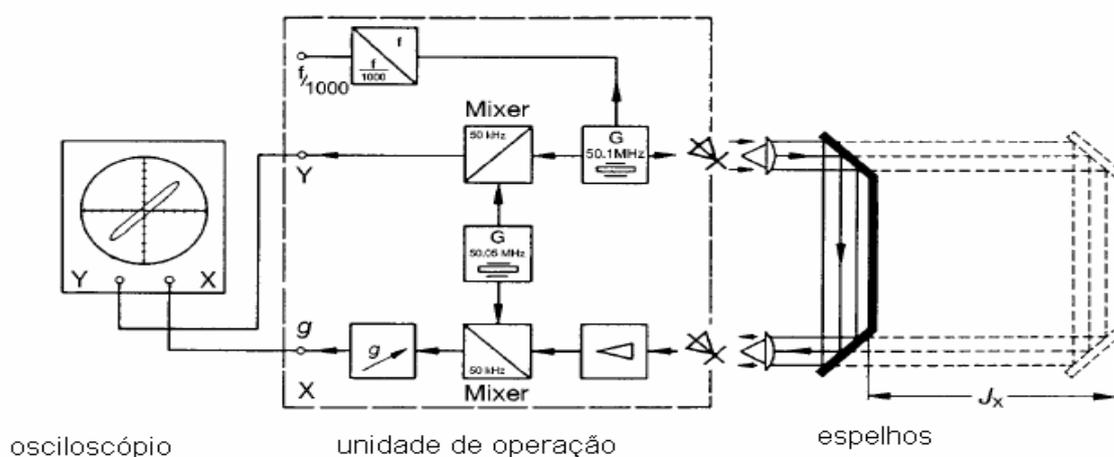
espelho é colocado diretamente atrás deles (alto da Fig. 3). Um bloco de suporte pode ser usado com o bloco de resina de modo que a luz o atravesse em ambas as direções.



**Fig.1: Montagem experimental para medida da velocidade da luz na resina sintética.**

Uma linha reta é novamente obtida no osciloscópio com o botão de fase. Retira-se o meio do caminho dos raios e o espelho é movido até que apareça novamente a figura de Lissajous com a mesma diferença de fase.

O deslocamento  $\Delta x$  do espelho é medido diversas vezes.



**Fig.2: Diagrama da montagem experimental para medida da velocidade da luz no ar.**

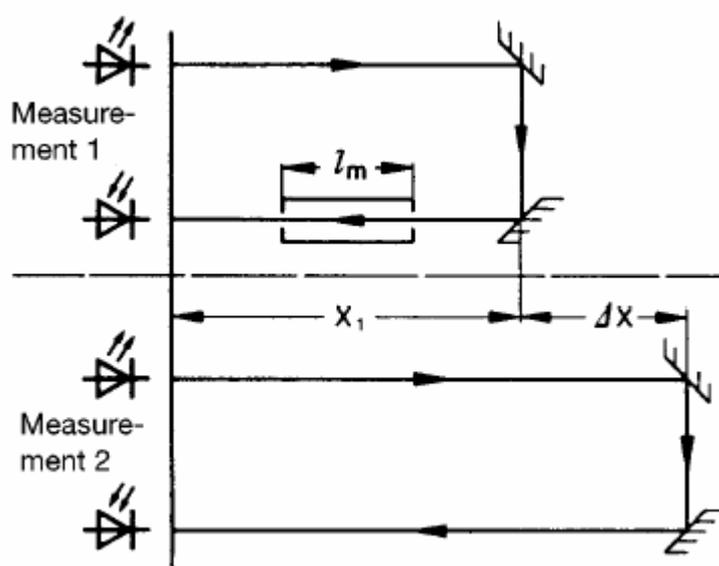
## 1329 – Medida da velocidade da luz

### Teoria e Análise

A velocidade da luz é obtida como segue das equações de Maxwell:

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

onde  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  é a constante do campo elétrico



**Fig.3: Medida da velocidade da luz em outro meio.**

$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$  é a constante do campo magnético,  $\epsilon$  a permissividade relativa do meio e  $\mu$  sua permeabilidade.

O índice de refração de um meio é o quociente da velocidade da luz no vácuo e no meio,

$$n = \sqrt{\epsilon \cdot \mu} \quad (2)$$

$\mu = 1$  para a maioria das substâncias transparentes.

A permissividade relativa e o índice de refração são dependentes da frequência (dispersão) devido à vibração natural dos átomos e moléculas. Uma luz vermelha (LED) é utilizada no experimento. A relação de fase do sinal entre o transmissor e o receptor é representada por uma figura de Lissajous no osciloscópio. Se for uma linha reta, a diferença de fase é nula no caso de uma inclinação positiva e  $\pi$  se a inclinação for negativa.

**1329 – Medida da velocidade da luz**

1. Para medir a velocidade da luz no ar, o caminho de luz é estendido para

$$\Delta l = 2 \cdot \Delta x$$

(Fig. 2), para produzir uma mudança de fase de  $\pi$ : i. e. para percorrer essa distância a luz requer um tempo

$$\Delta t = \frac{1}{2f}$$

onde  $f = 50,1$  MHz, a frequência de modulação.

A velocidade da luz no ar é então expressa por

$$c_L = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \Delta f \cdot \Delta x. \quad (3)$$

A média de 10 medidas foi:

$$c_L = (2,98 \pm 0,01) \cdot 10^8 \frac{m}{s}.$$

O valor tirado da literatura:

$$c_L = 2,998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}.$$

2. A velocidade da luz na água ou resina sintética,  $c_M$ , é medida comparando-a com o valor da velocidade da luz no ar  $c_L$  (Fig. 3).

Na primeira medida (com o meio), a luz viaja uma distância  $l_1$  em um tempo  $t_1$ .

$$l_1 = 2x_1$$

$$t_1 = \frac{1}{c_L} \cdot (l_1 - l_m) + \frac{1}{c_M} \cdot l_m.$$

Na segunda medida (sem meio), a luz percorre uma distância

$$l_2 = l_1 + 2\Delta x$$

em um tempo

**1329 – Medida da velocidade da luz**

$$t_1 = \frac{1}{c_L} (l_1 + 2\Delta x).$$

A relação de fase do sinal entre transmissor e receptor é a mesma em ambos os casos, de modo que

$$t_1 = t_2 + \frac{k}{f}; k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Obtemos assim o índice de refração

$$n = \frac{c_L}{c_M} = 2 \cdot \frac{\Delta x}{l_m} + \frac{k \cdot c_L}{f \cdot l_m} + 1. \quad (4)$$

Na água a distância medida  $l_m = 1$  m, de modo que o termo

$$k \cdot \frac{c_L}{f \cdot l_m} = 6 \cdot k$$

ou, na resina sintética, a distância para uma distância  $m$  de 30 cm, o termo

$$k \cdot \frac{c_L}{f \cdot l_m} = 20 \cdot k.$$

Da magnitude esperada para o índice de refração podemos deduzir que

$$k = 0, \text{ portanto } t_1 = t_2. \quad (5)$$

As medidas na água resultam

$$n_{H_2O} = 1,335 \pm 0,002$$

e

$$c_{H_2O} = (2,23 \pm 0,01) \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$