

# Pré-Prática

## Velocidade da Luz

Edmur C. Neto - 12558492  
Rafael F. Gigante - 12610500

Instituto de Física de São Carlos  
Universidade de São Paulo

10/04/2024

# INTRODUÇÃO

- **Galileu Galilei (séc. XVII):** Experimento das duas lanternas separadas por uma grande distância;
- Resultados inconclusivos.



Galileu Galilei



Experimento das lanternas



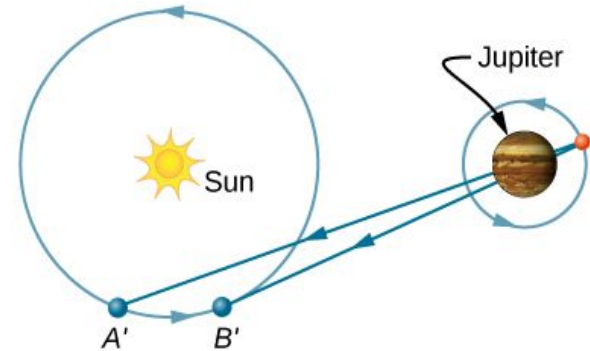
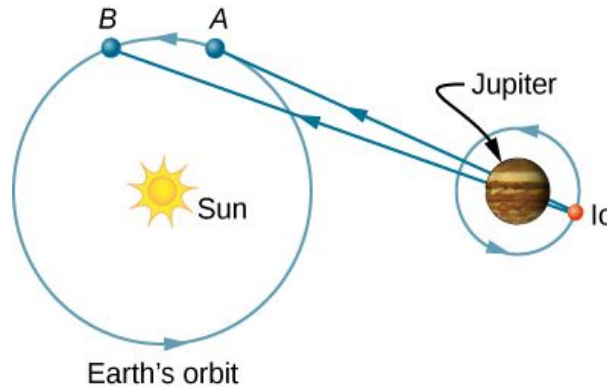
UNIVERSIDADE  
DE SÃO PAULO  
Instituto de Física de São Carlos

# INTRODUÇÃO

- **Ole Romer (1676):** Observação das luas de Júpiter;
- Obteve  $c = 2.20 \times 10^5 km/s$ .



Ole Romer



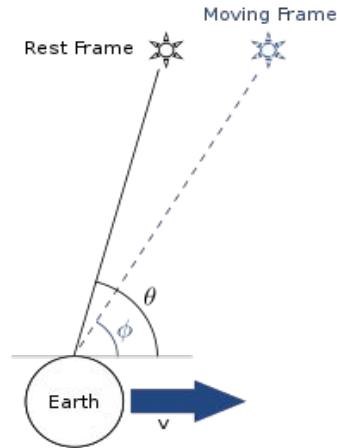
Eclipse da lua de Júpiter  
observada em diferentes épocas

# INTRODUÇÃO

- **James Bradley (1729):** Aberração da luz;
- Obteve  $c = 3.01 \times 10^5 km/s$ .



James Bradley



Source's rest frame



Observer's rest frame

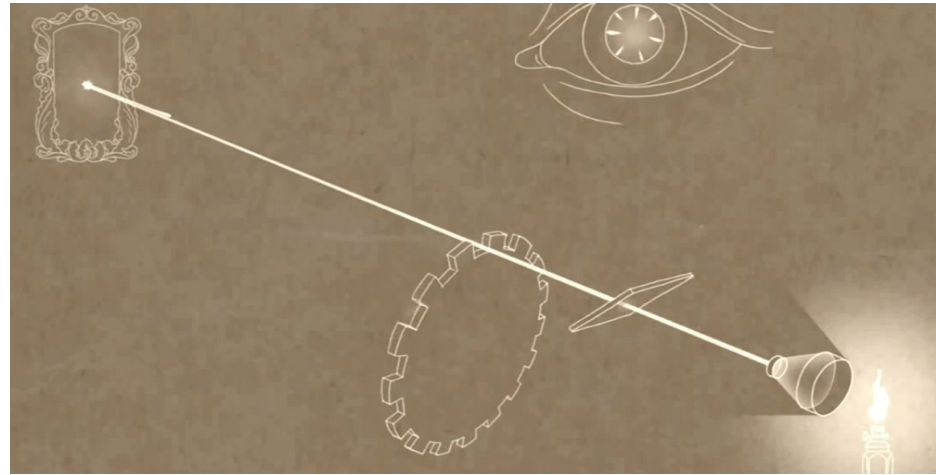


# INTRODUÇÃO

- **Hippolyte Fizeau (1849):** Experimento da Roda Dentada;
- Obteve  $c = 3.15 \times 10^5 km/s$  .



Hippolyte Fizeau



Experimento da roda dentada

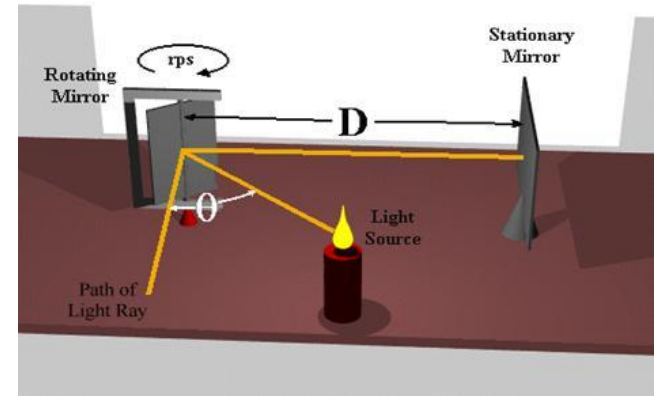
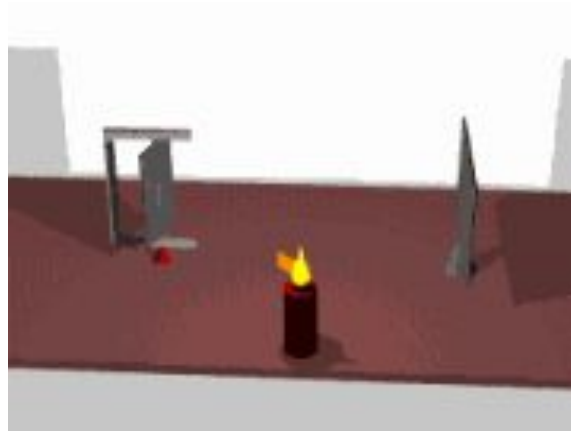


# INTRODUÇÃO

- **Léon Foucault (1862):** Experimento do espelho giratório;
- Obteve  $c = 2.98 \times 10^5 km/s$ .



Léon Foucault



Experimento do espelho giratório

# INTRODUÇÃO

- **Rosa&Drosey (1906):**  $(\mu_0\epsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$ ,  $c = 2.99710 \times 10^5 km/s$  ;
- **Albert Michelson (1878):** espelho giratório,  $c = 2.99796 \times 10^5 km/s$  ;
- **Essen&Gordon-Smith (1950):** cavidade ressonante,  $c = 2.99792 \times 10^5 km/s$  ;
- **Froome (1958):** interferometria com ondas de rádio,  $c = 2.99792 \times 10^5 km/s$  ;
- **Evenson & Colab (1972):** interferometria laser,  $c = 2.99792 \times 10^5 km/s$  ;
- **Valor atualmente aceito:**  $c = 299792.458 \text{ km/s}$ .

# INTRODUÇÃO

- Importância da Medida da Velocidade da Luz
  - Determinação de unidades SI (m);
  - Sistemas de Comunicação (Fibra óptica);
  - Sistemas de Localização (GPS)



# OBJETIVOS

- Experimento 1 (Espelho giratório):
  1. Familiarizar-se com técnicas de alinhamento óptico;
  2. Utilização do conjunto fotodetector-osciloscópio para determinar a velocidade de rotação do espelho giratório;
  3. Determinar experimentalmente a velocidade da luz e comparar com o resultado esperado;

# Experimento

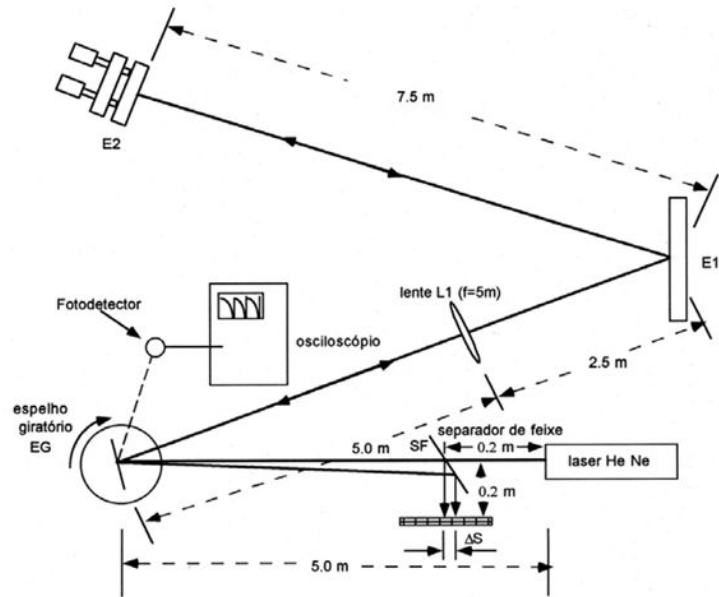


Diagrama da montagem experimental

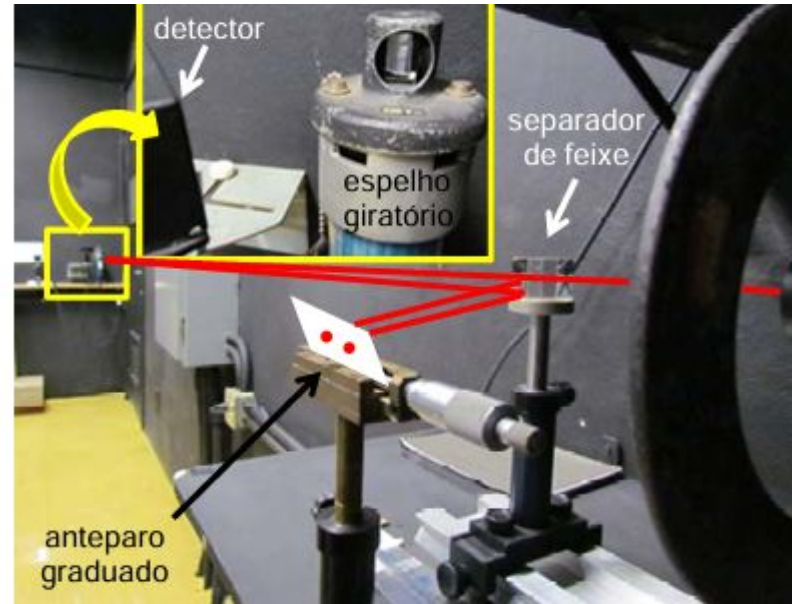


Foto-montagem do experimento

# Experimento

- Tempo de vôleo do pulso ( $\sim \mu s$ ):

$$\omega t = \phi \Rightarrow t = \frac{\phi}{2\pi f}$$

- Separação dos pulsos:

$$\Delta S = 2\phi R$$

- Velocidade da luz:

$$v = \frac{2d}{t} \Rightarrow v = \frac{8\pi R f d}{\Delta S}$$

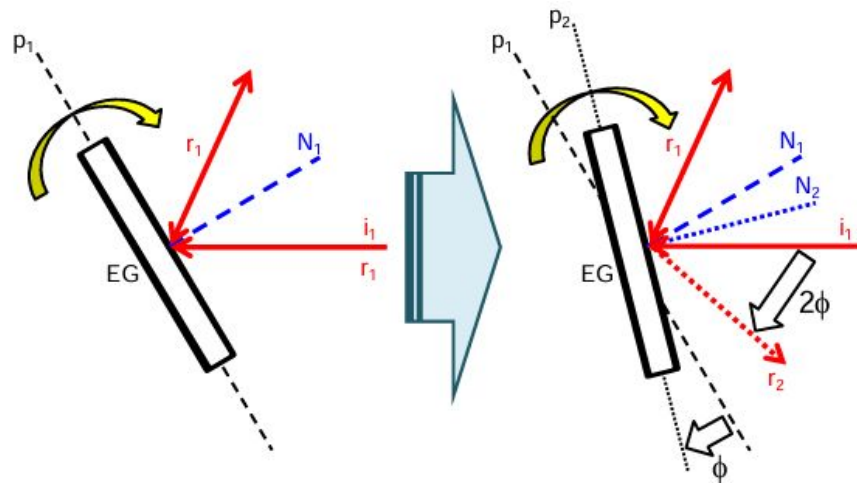


Diagrama dos espelhos girantes

# Resultados esperados

- Espera-se obter que  $\Delta S \propto f$ ;
- Análise dos dados experimentais:
  1. Determinar a velocidade da luz a partir de um gráfico de  $\Delta S$  em função de  $f$ ;
  2. Determinar a velocidade da luz através de um histograma das velocidades obtidas com cada valor de  $\Delta S$  e  $f$ .

$$c_0 = 2.988 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$c_{ar} = 2.987 \times 10^8 \text{ m/s}$$

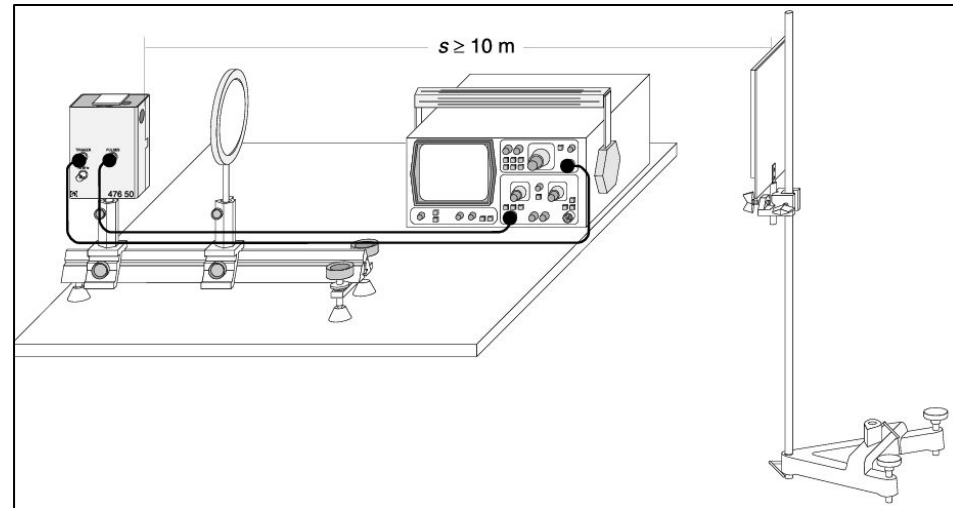
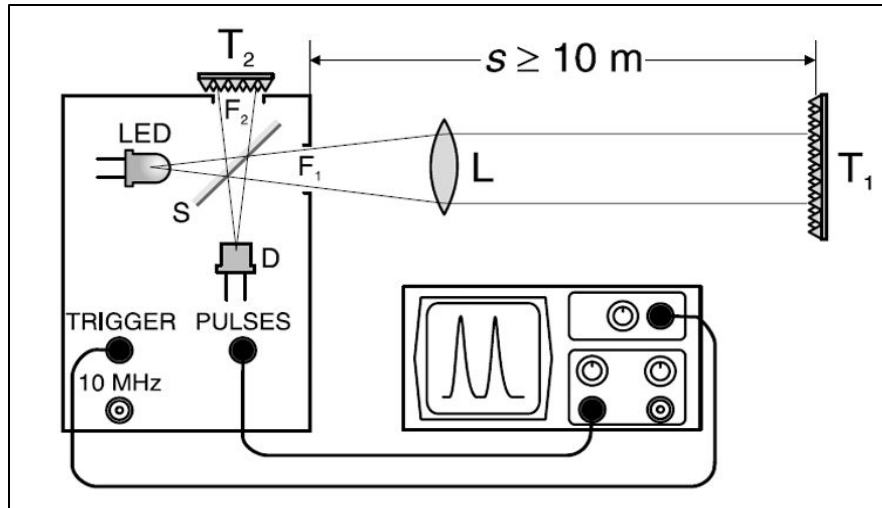


# OBJETIVOS

➤ Experimento 2 (Pulsos):

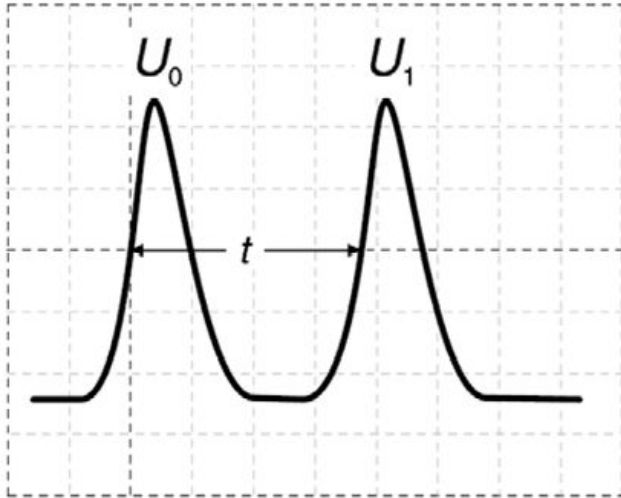
1. Familiarizar-se com técnicas de alinhamento óptico;
2. Utilização de um osciloscópio para medir o tempo gasto por um pulso para percorrer uma distância pré-estabelecida;
3. Determinar experimentalmente a velocidade da luz e comparar com o resultado esperado.

# Experimento



Diagramas da montagem experimental

# Resultados esperados



Pulsos observados no osciloscópio

$$c_0 = 2.988 \times 10^8 \text{ m/s}$$

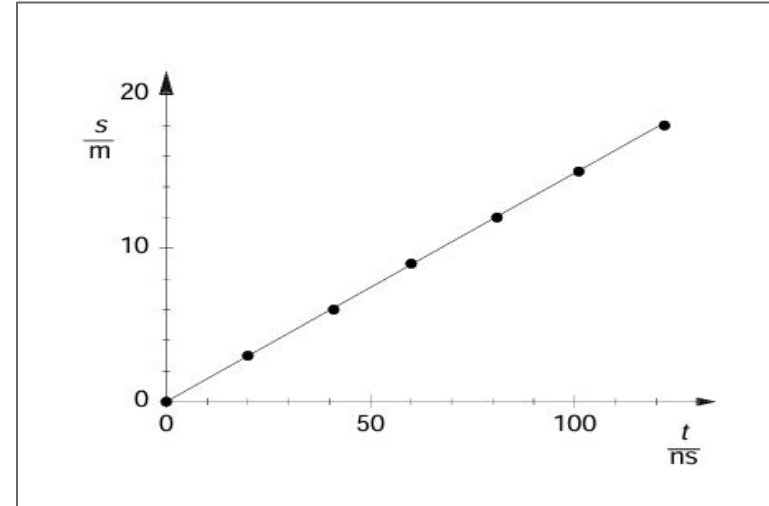


Gráfico esperado, onde o coeficiente angular é a velocidade da luz

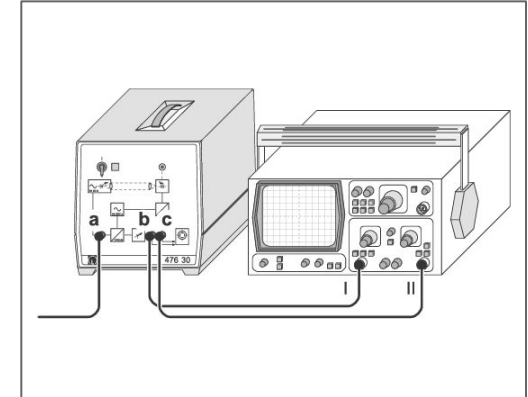
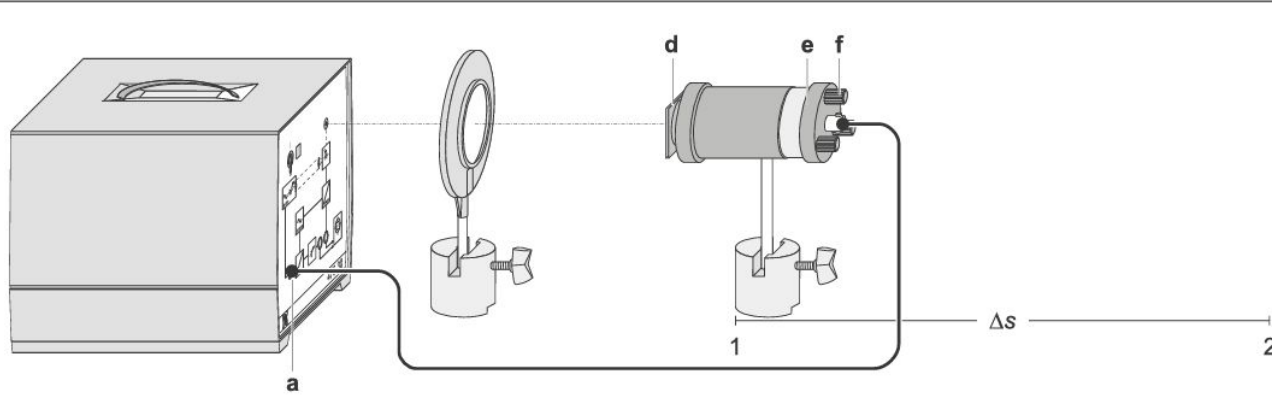
$$c_{ar} = 2.987 \times 10^8 \text{ m/s}$$

# OBJETIVOS

- Experimento 3 (Modulação temporal):
  1. Medir a diferença de fase  $\Delta\varphi$  de um sinal periódico baixo em um pequeno caminho  $\Delta S$  e determinar a velocidade da luz;
  2. Determinar a velocidade da luz e o índice de refração de diferentes meios: água, líquido orgânico e vidro.



# Experimento



Diagramas da montagem experimental

# Experimento

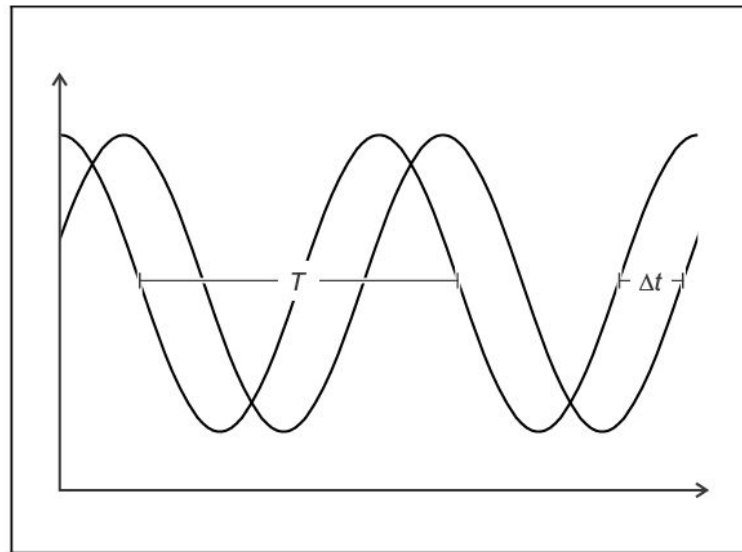
- Sinal emitido:  $I = I_0 + \Delta I_0 \cos(2\pi\nu t)$
- Sinal recebido:  $U = A \cos(2\pi\nu t)$
- Afastando o emissor do receptor por  $\Delta S$  geramos um atraso no sinal:

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{c} \Rightarrow \Delta \varphi = 2\pi\nu \Delta t$$

$$U = A \cos(2\pi\nu t - \Delta \varphi)$$

- Juntando as equações, obtemos:

$$c = \frac{\Delta S}{\Delta \varphi} 2\pi\nu$$



Sinal emissor e receptor atrasado por  $\Delta t$



# Experimento

- Misturamos dois sinais:

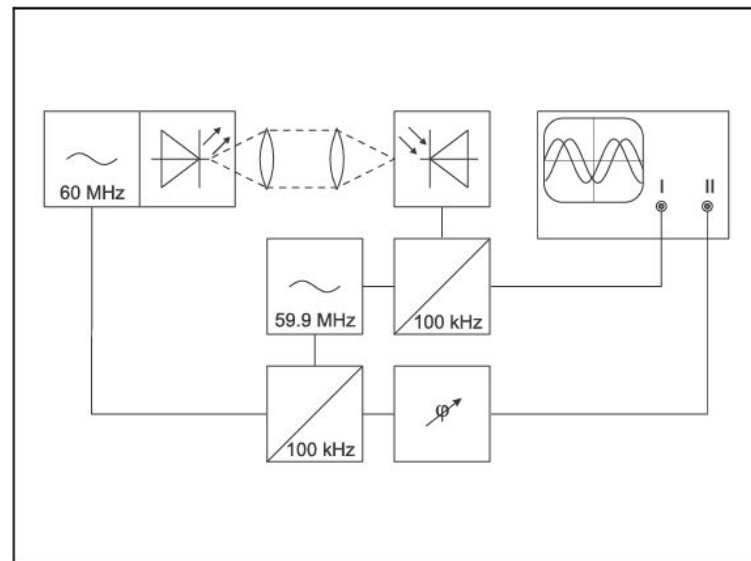
$$\nu = 60 \text{ MHz} \qquad \nu' = 59.9 \text{ MHz}$$

$$U = A \cos(2\pi\nu t - \Delta\varphi) \cos(2\pi\nu' t)$$

- Resulta em um sinal alto e um sinal baixo, filtramos apenas o sinal baixo:

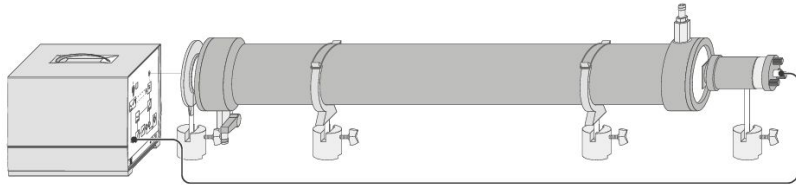
$$U_1 = \frac{1}{2} A \cos(2\pi(\nu - \nu')t - \Delta\varphi)$$

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta t_1}{T_1} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta t_1}{T_1 \nu} \Rightarrow \boxed{c = \frac{\Delta S}{\Delta t_1} T_1 \nu}$$



Esquema do equipamento  
modulador de frequência

# Experimento



➤ Tubo com água;

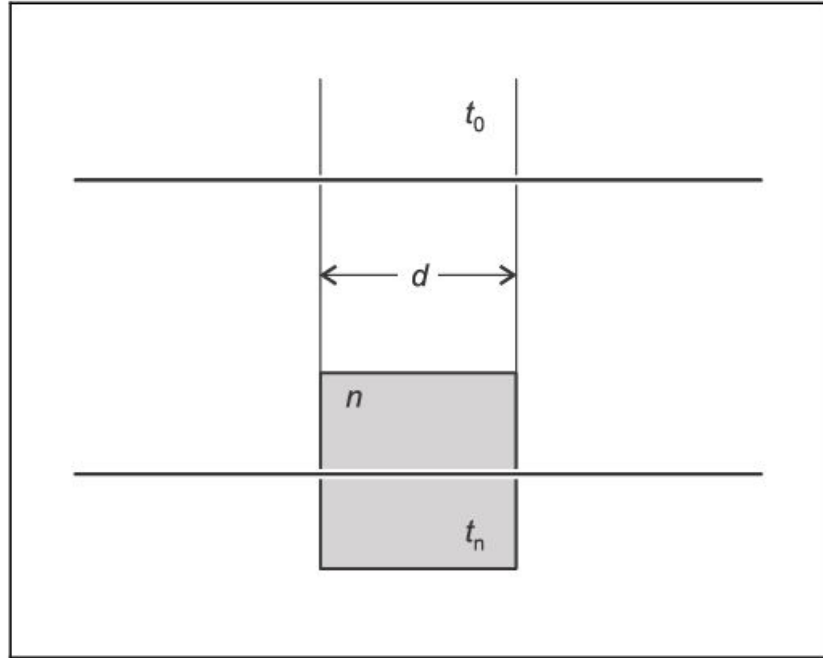
➤ Cilindro com líquidos orgânicos:  
etanol e glicerina;



➤ Cilindro de acrílico;



# Experimento



Propagação da luz em diferentes meios

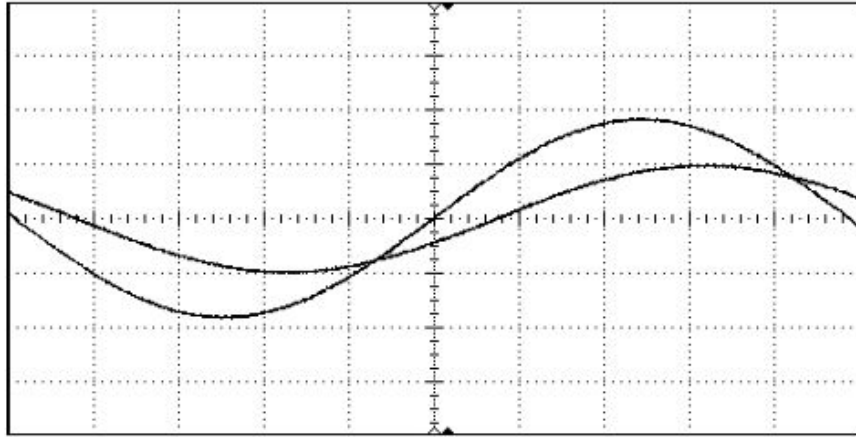
$$c_n = \frac{c_0}{n} \Rightarrow t_n = \frac{d}{c_n}, \quad t_0 = \frac{d}{c_0}$$

$$\Delta t = t_n - t_0 \Rightarrow \boxed{\begin{aligned} c_n &= \frac{c_0}{1 + \frac{\Delta t}{d} c_0} \\ n &= 1 + \frac{\Delta t}{d} c_0 \end{aligned}}$$

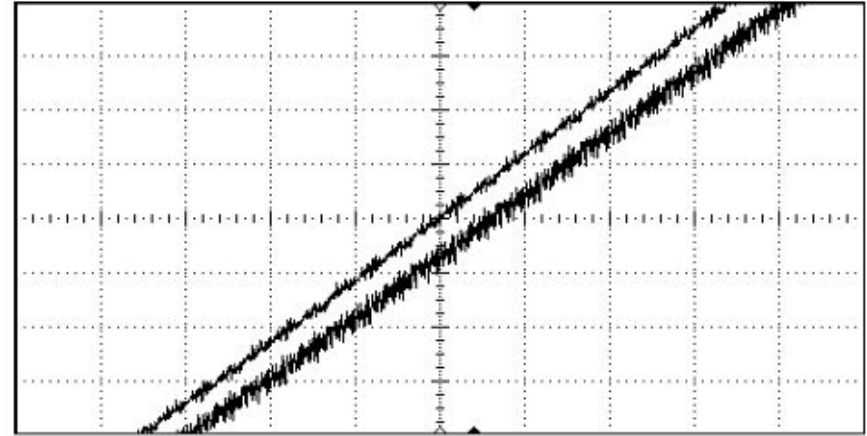
$$\Delta t = \frac{\Delta t_1}{T_1 \nu} \Rightarrow \boxed{\begin{aligned} c_n &= \frac{c_0}{1 + \frac{c_0}{d\nu} \frac{\Delta t_1}{T_1}} \\ n &= 1 + \frac{c_0}{d\nu} \frac{\Delta t_1}{T_1} \end{aligned}}$$



# Resultados esperados



Exemplo de sinal para água



Exemplo de sinal para o acrílico

- Valores da literatura:
- Água:  $n = 1.333$
  - Etanol:  $n = 1.36$
  - Glicerina:  $n = 1.47$
  - Acrílico:  $n = 1.5$