
Este ser é até o momento o único terrestre que distingue luz polarizada circularmente. Ele é o camarão gafanhoto. Ele consegue distinguir 100.000 cores diferentes 10 vezes mais que o homem.
Alexandre Suaide
Ed. Oscar Sala
sala 246
ramal 7072
Física Experimental IV - 12ª aula
http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/

Polarização da luz

- Objetivos – Estudar o fenômeno de polarização da luz
  - Aula 1 – Métodos de polarização
    - Lei de Malus
    - Lei de Brewster
  - Aulas 2+3 – Fenômenos ópticos de polarização da luz
    - Alteração do estado de polarização da luz
    - Atividade óptica de elementos
    - Estudo da birrefringência – placas de onda

Datas

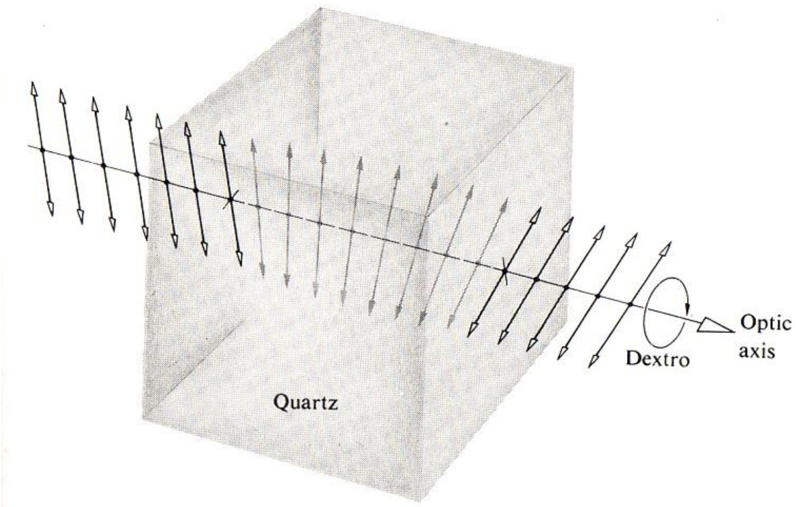
- Dia 16/6 – discussão da síntese 1

- Dia 22/6 – entrega da síntese 2
- Dia 23/6 – discussão da síntese 2

- Dia 29/6 – re-entrega de uma das sínteses, opcional
- Dia 30/6 – apresentação experiência III.

Atividade óptica

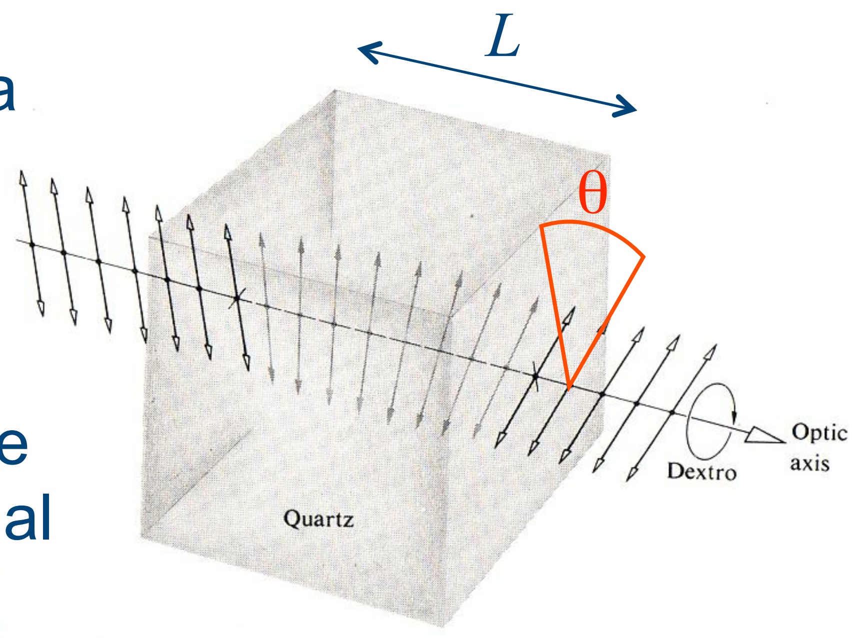
- Foi descoberto pelo físico francês D. F. J. Arago em 1811 que o plano de vibração de um feixe de luz polarizada sofria uma rotação constante à medida que se propagava dentro de um cristal de quartzo.
- Alguns materiais (incluindo cristais e soluções líquidas) têm a propriedade de induzir a rotação contínua da polarização da luz
  - Chamada atividade óptica
  - Dextro-rotatória
    - Para a direita
  - Levo-rotatória
    - Para a esquerda



Atividade óptica

- Seja um material de espessura L.
- Qual o ângulo θ de giro da polarização?
- Sendo β (rad/cm) a capacidade de rotação da polarização (constante)

$$\theta = \beta L$$



  - A constante β depende da estrutura do material

Atividade óptica

- Fresnel explicou (1825) o efeito através de um modelo fenomenológico
- Seja uma onda linearmente polarizada

$$\vec{E} = E_0 \cos(kx - \omega t)\hat{i}$$

- Podemos escrever esta onda como sendo a superposição de duas ondas circularmente polarizadas

$$\vec{E} = \frac{E_0}{2}\left[\begin{array}{l}\cos(kx - \omega t)\hat{i} + \sin(kx - \omega t)\hat{j} + \\ \cos(kx - \omega t)\hat{i} - \sin(kx - \omega t)\hat{j}\end{array}\right]$$

Atividade óptica

- Ou seja, podemos descrever o campo elétrico como

$$\vec{E} = \frac{E_0}{2}\left[\vec{d} + \vec{e}\right]$$

- Onde os vetores d e e representam ondas circularmente polarizadas para a direita e esquerda
- Fresnel propôs que estes materiais possuem índice de refração diferentes para cada sentido de polarização.

$$n_d = \frac{c}{v_d} \qquad n_e = \frac{c}{v_e}$$

Atividade óptica

- Ou seja, podemos descrever o campo elétrico como

$$\vec{E} = \frac{E_0}{2}\left[\vec{d} + \vec{e}\right]$$

- Neste caso, a velocidade de propagação diferente para cada polarização acarretaria em um atraso de uma onda em relação a outra, dependendo da espessura, L, do material
  - Isto provocaria a rotação contínua da polarização da onda.
  - Ver o livro Optics de E. Hecht para demonstração deste modelo.

Objetivos da aula de hoje

- Estudar a atividade óptica de uma solução de açúcar

$$\theta = \beta L \quad \Rightarrow \quad \beta = \alpha C^{\gamma} \quad \Rightarrow \quad \theta = \alpha C^{\gamma} L$$

- No caso da solução de açúcar, a atividade óptica depende fortemente da concentração de açúcar na água

Objetivos (I) da aula de hoje

- Mostrar que a mudança na direção da polarização de um feixe linearmente polarizado depende:

$$\theta = \alpha C^{\gamma} L$$

  - Linearmente da concentração de açúcar ($\gamma = 1$)
  - Linearmente do comprimento de solução (L)
  - Obter a constante de proporcionalidade (α)

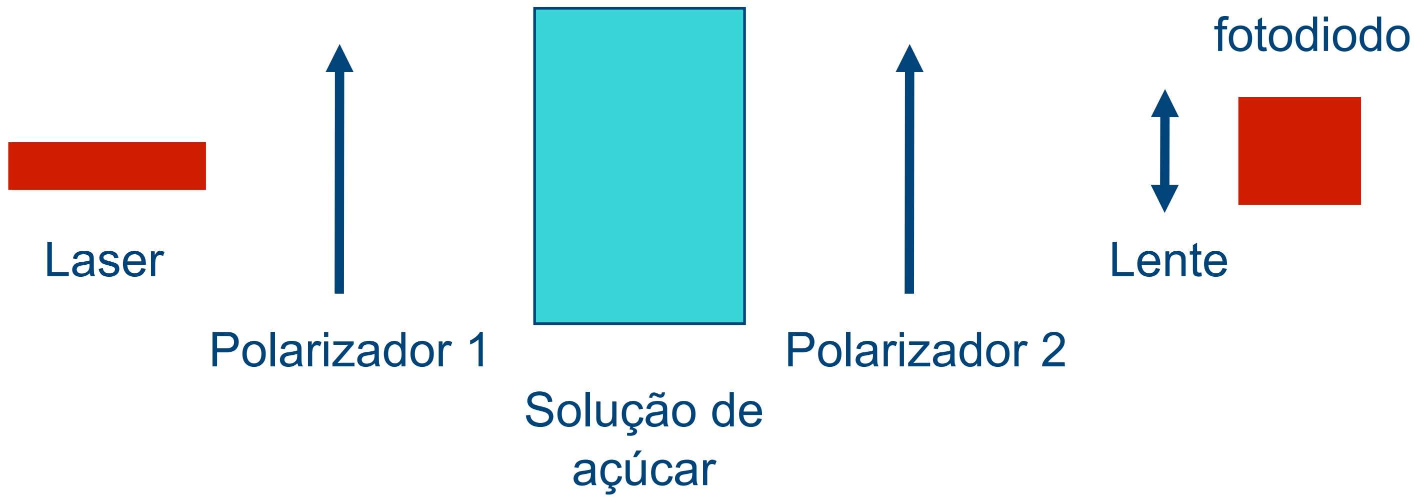
Solução de
açúcar

Arranjo experimental

- Montar o arranjo do laser + polarizador 1 + polarizador 2 + fotodiodo
- Girar o polarizador 2 até a intensidade no fotodiodo ser mínima (90º)

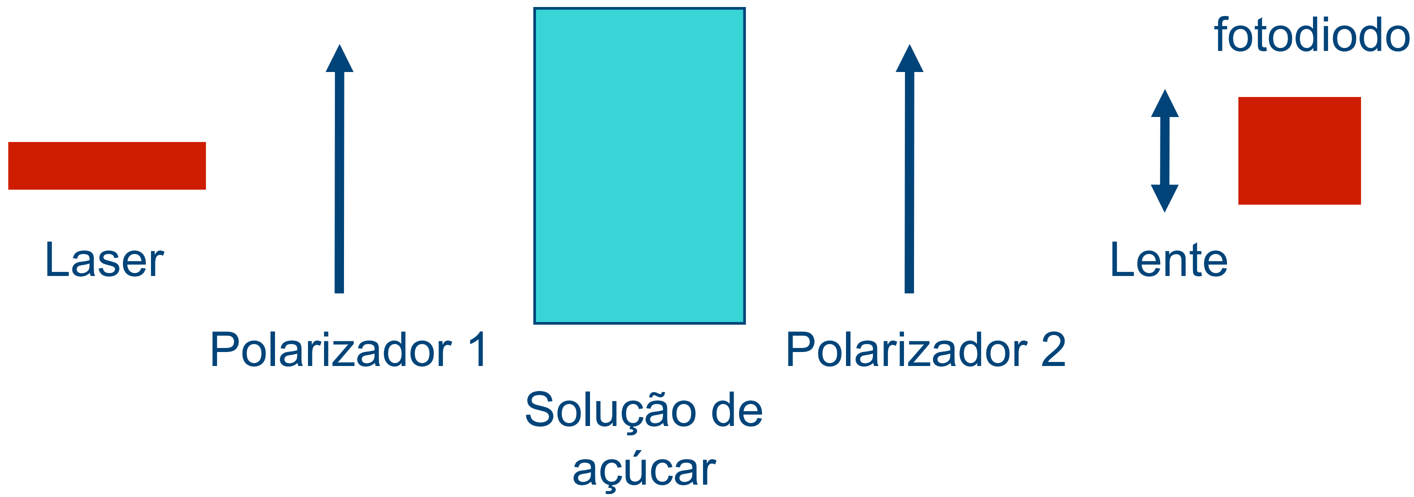
Arranjo experimental

- Colocar a solução de açúcar
- Como a solução alterou a polarização, a intensidade no fotodiodo muda



Arranjo experimental

- Girar o polarizador 2 até que a intensidade volte a ser mínima
- Medir o quanto precisou girar o polarizador 2. Este é o ângulo θ.



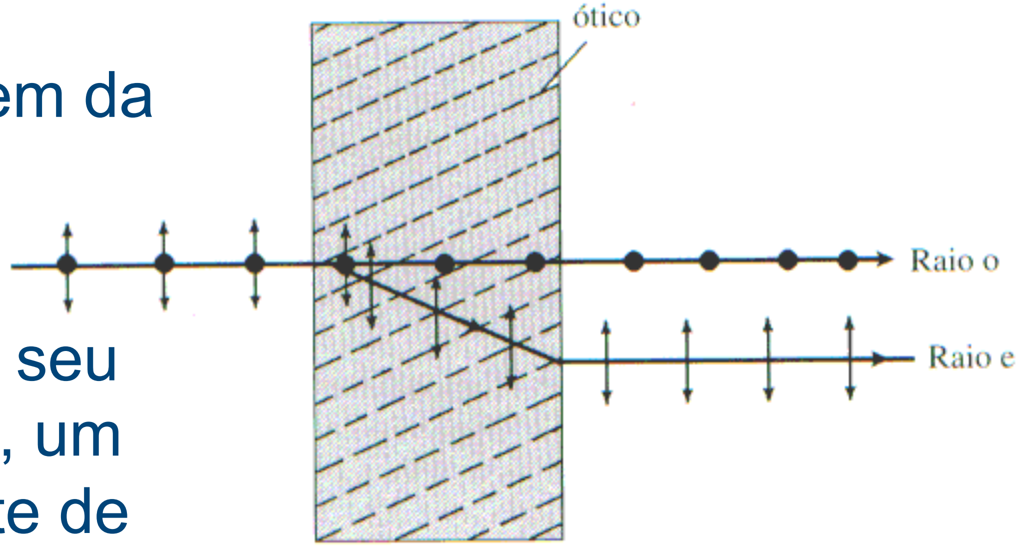
Realize as medidas necessárias para:

- Mostrar que o ângulo θ varia linearmente com o comprimento L.
- Mostrar que o ângulo θ varia linearmente com a concentração da solução de açúcar (obter a constante γ).
- Obter o valor da constante α para o açúcar.
- Porque ajustar o polarizador 2 para o mínimo e não para o máximo? Existe diferença?

- Vocês têm à disposição vários tubos contendo soluções com diferentes soluções de açúcar
  - Combine estes tubos em seqüência para simular diferentes comprimentos, por exemplo

birrefringência

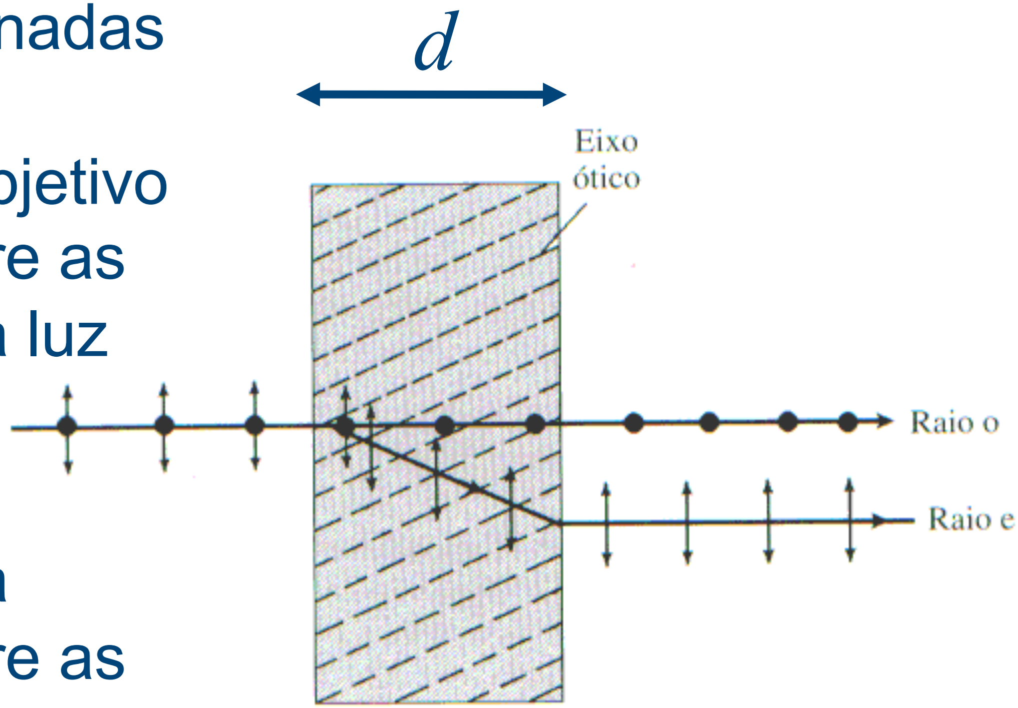
- Alguns materiais, principalmente cristais, possuem índices de refração que dependem da polarização da luz.



- Assim, uma luz tem o seu feixe dividido em dois, um para cada componente de polarização

Placas de onda

- São placas confeccionadas a partir de materiais birrefringentes cujo objetivo é alterar as fases entre as componentes o e e da luz incidente
- Seja uma placa de espessura d. Qual é a diferença de fase entre as duas componentes após sair da placa?



Placas de onda

- Índice de refração para cada componente:

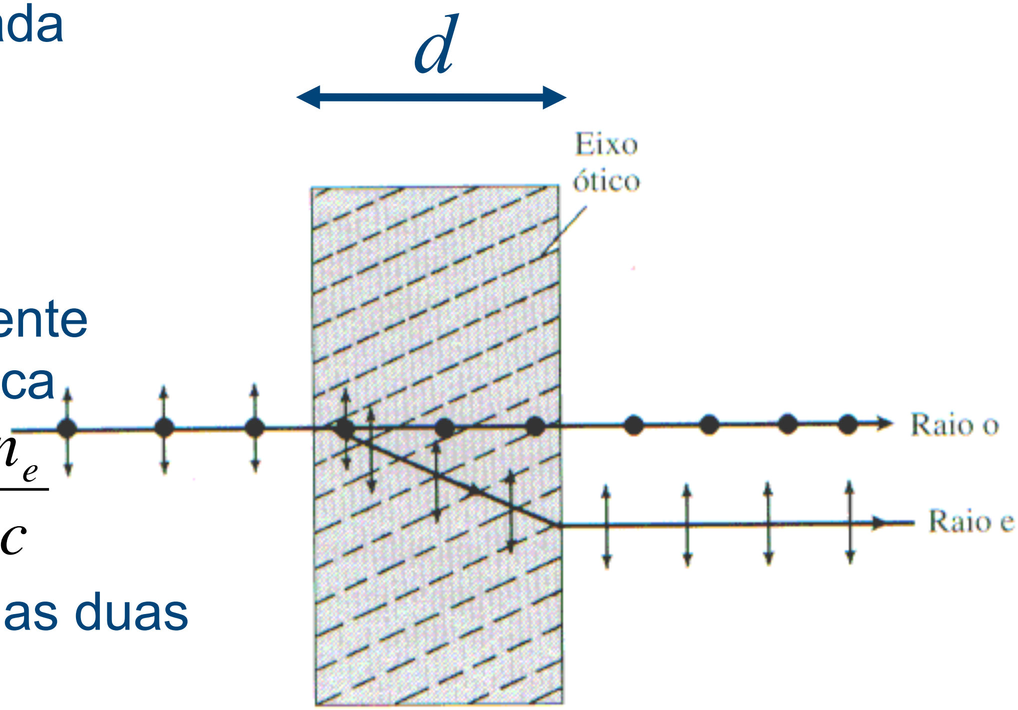
$$n_o = \frac{c}{v_o} \qquad n_e = \frac{c}{v_e}$$

- Tempo que cada componente leva para atravessar a placa

$$t_o = \frac{d}{v_o} = d\frac{n_o}{c} \qquad t_e = d\frac{n_e}{c}$$

- Diferença de tempo entre as duas ondas

$$\Delta t = t_o - t_e = \frac{d}{c}\left(n_o - n_e\right)$$



Placas de onda

- Diferença de tempo entre as duas ondas

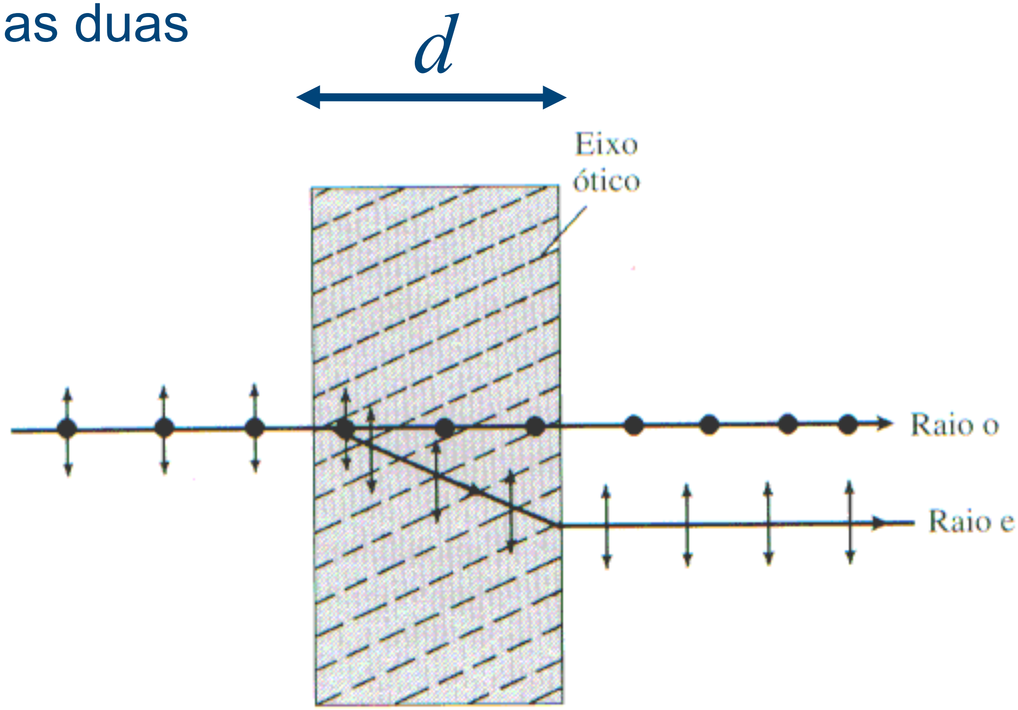
$$\Delta t = t_o - t_e = \frac{d}{c}(n_o - n_e)$$

- Diferença de fase

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T}, \quad T = \frac{\lambda}{c}$$

- Substituindo...

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{d}{\lambda}(n_o - n_e)$$



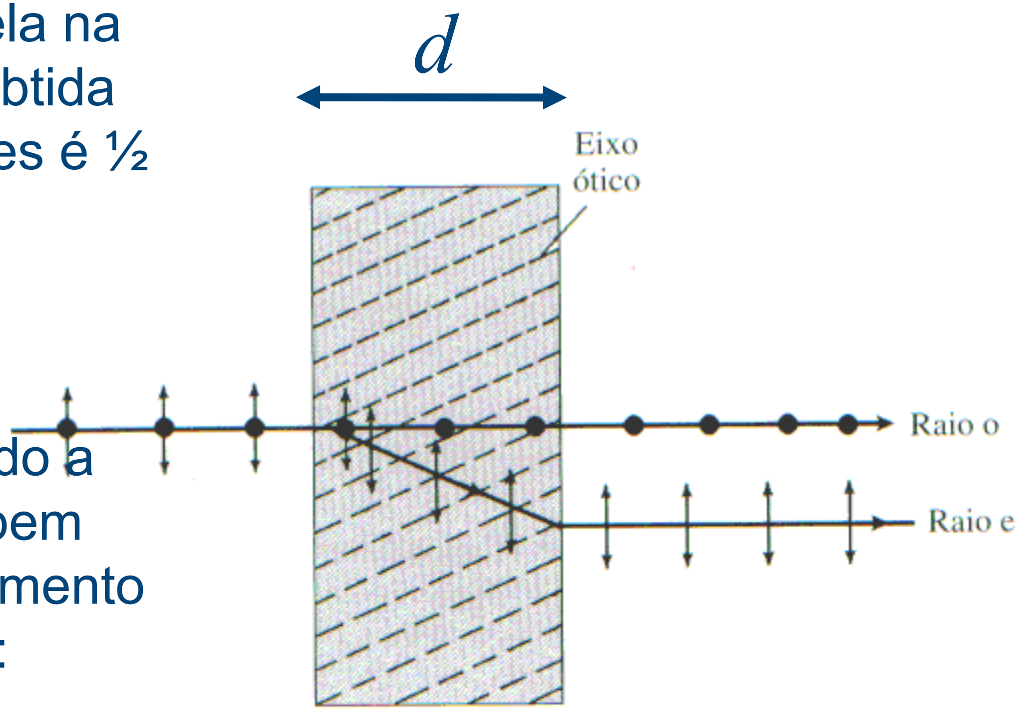
Placas de ½ onda

- A placa de ½ onda é aquela na qual a diferença de fase obtida entre as duas componentes é ½ do período, ou seja, π.

$$\Delta\phi = (2m+1)\pi$$

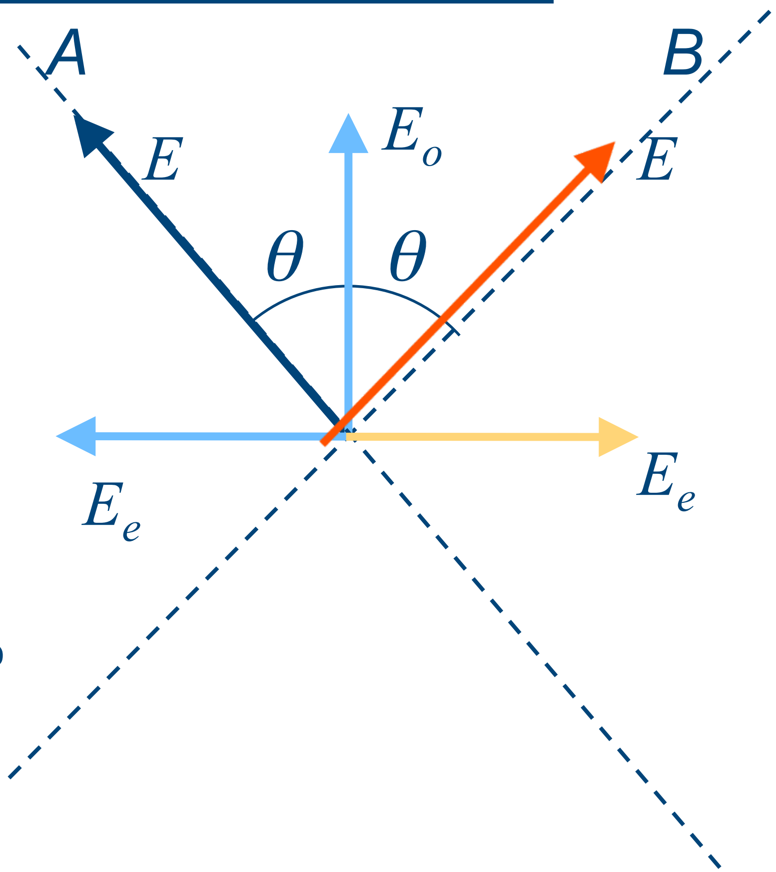
- Isto somente ocorre quando a espessura da placa está bem relacionada com o comprimento de onda, de tal forma que:

$$d = \frac{(2m+1)}{2(n_o - n_e)}\lambda$$



Placas de ½ onda

- Vamos ver as componentes do campo elétrico na entrada da placa
  - O campo elétrico esta sempre oscilando ao longo da linha A
- E na saída a componente e está defasada de meia onda relativamente à componente o.
  - O campo elétrico vai oscilar ao longo da reta B
  - Ou seja, a placa de ½ onda gira o campo elétrico de 2θ.



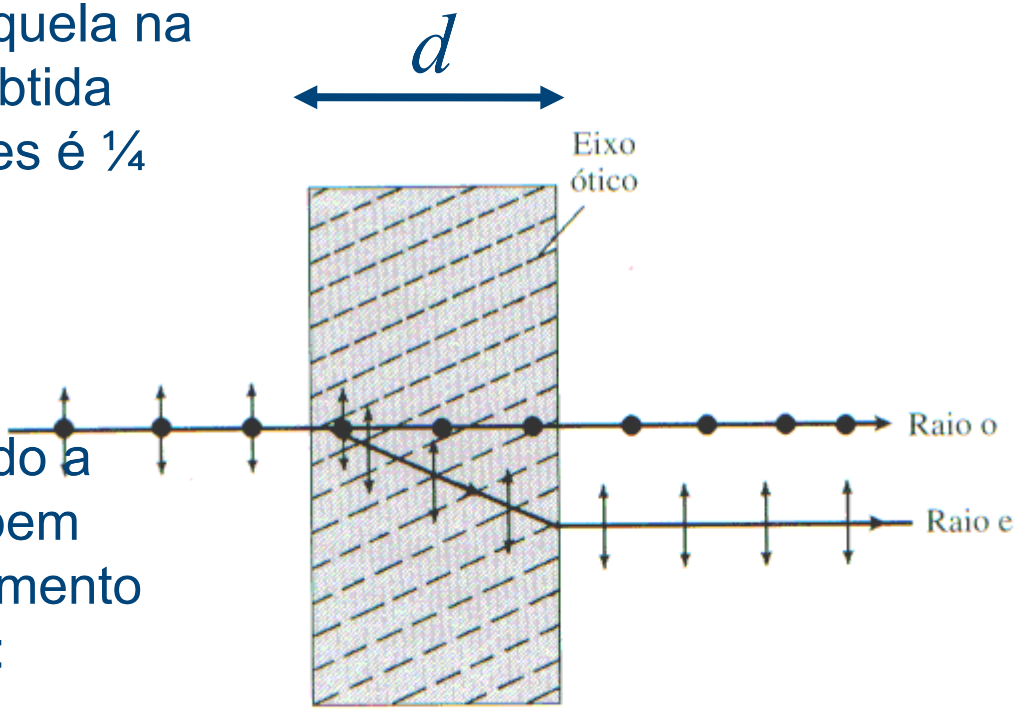
Placas de ¼ de onda

- A placa de ¼ de onda é aquela na qual a diferença de fase obtida entre as duas componentes é ¼ do período, ou seja, $\pi/2$.

$$\Delta\phi = (4m+1)\frac{\pi}{2}$$

- Isto somente ocorre quando a espessura da placa está bem relacionada com o comprimento de onda, de tal forma que:

$$d = \frac{(4m+1)}{4(n_o - n_e)}\lambda$$

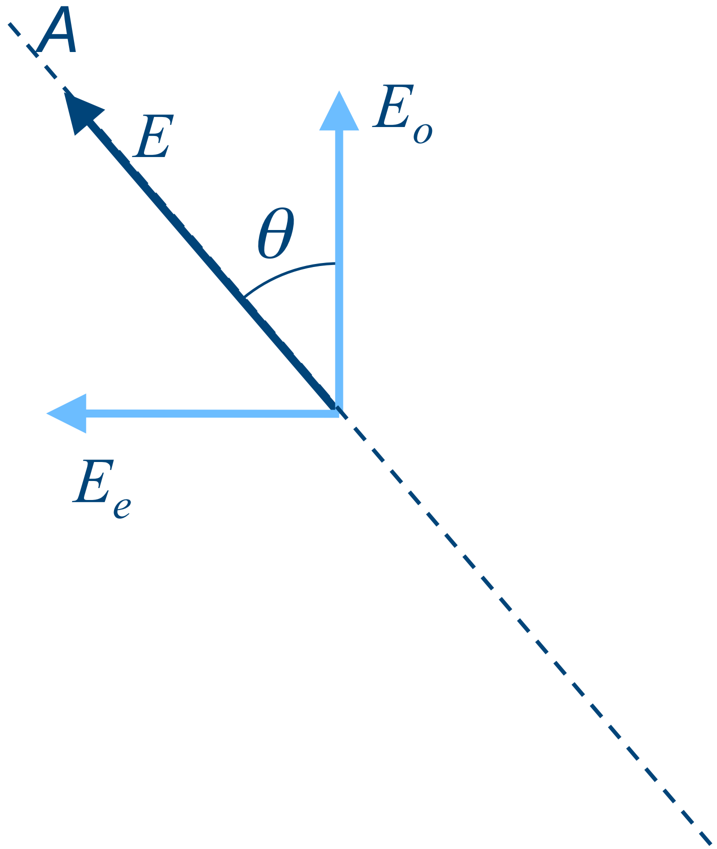


Placas de ¼ de onda

- Vamos ver as componentes do campo elétrico na entrada da placa
  - O campo elétrico esta sempre oscilando ao longo da linha A
  - O campo elétrico pode, em qualquer instante de tempo, ser escrito como:

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \cos(kx - \omega t)\hat{e}$$

- A placa de ¼ onda introduz uma fase de $\pi/2$ na componente e.



Placas de ¼ de onda

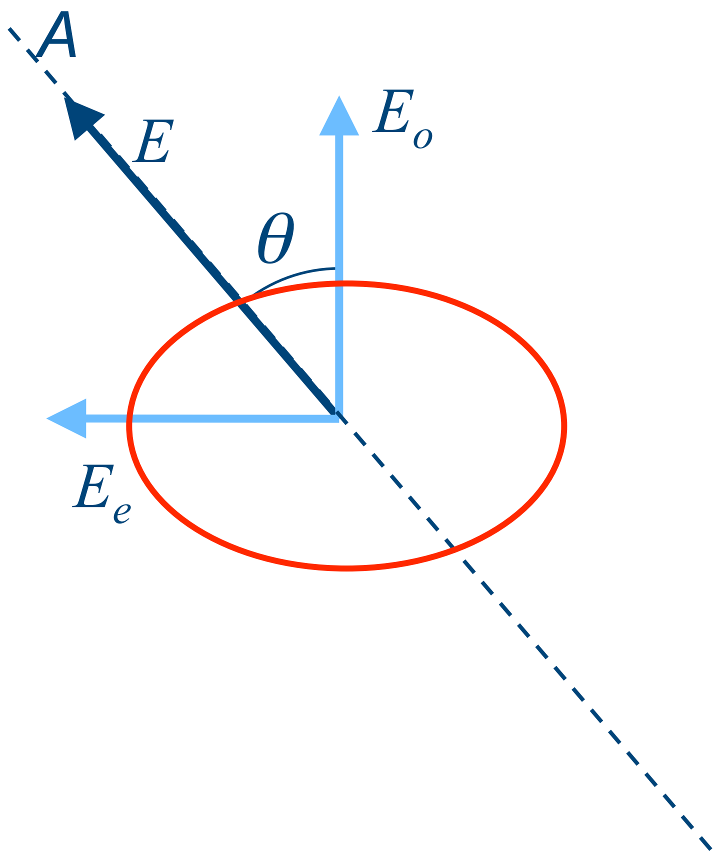
- Assim, o campo elétrico na saída da placa

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \cos(kx - \omega t + \frac{\pi}{2})\hat{e}$$

- Ou seja:

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \sin(kx - \omega t)\hat{e}$$

- A onda que era inicialmente polarizada torna-se elipticamente polarizada



Objetivos (II) da aula de hoje

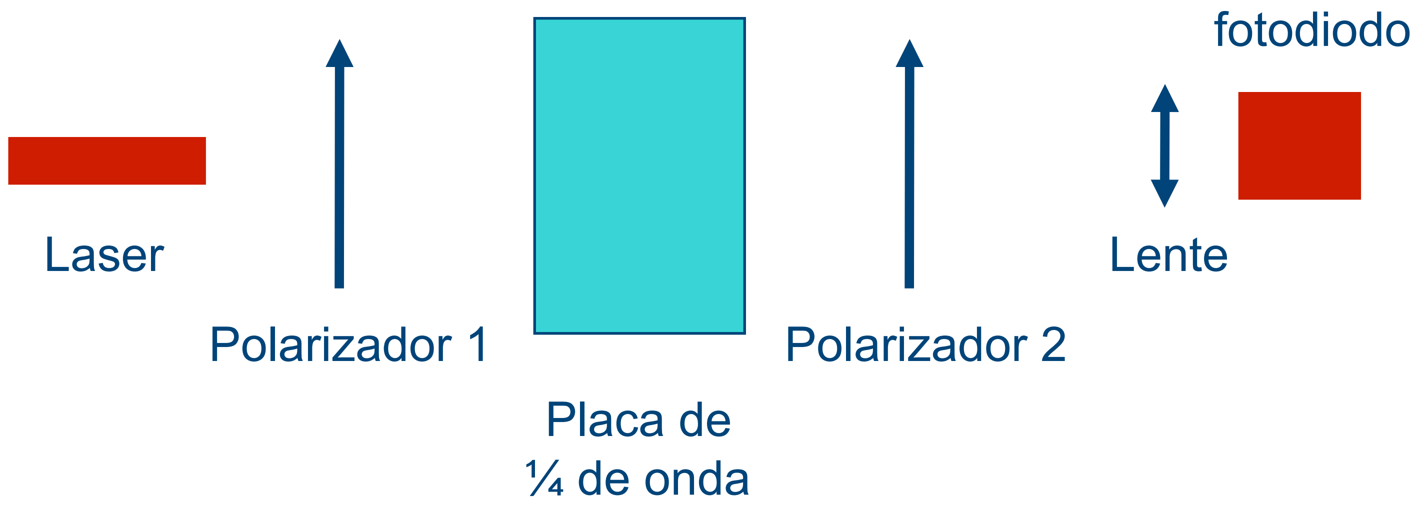
- Verificar se, com uma placa de ¼ de onda, conseguimos transformar uma onda linearmente polarizada em elipticamente (circularmente) polarizada

- Verificar se, com uma placa de ½ onda conseguimos girar o eixo de polarização da onda incidente em 2θ.

- Para realizar as medidas com placas de onda é necessário que elas existam. Caso não estejam prontas à tempo (semana que vem) esta atividade não será realizada.

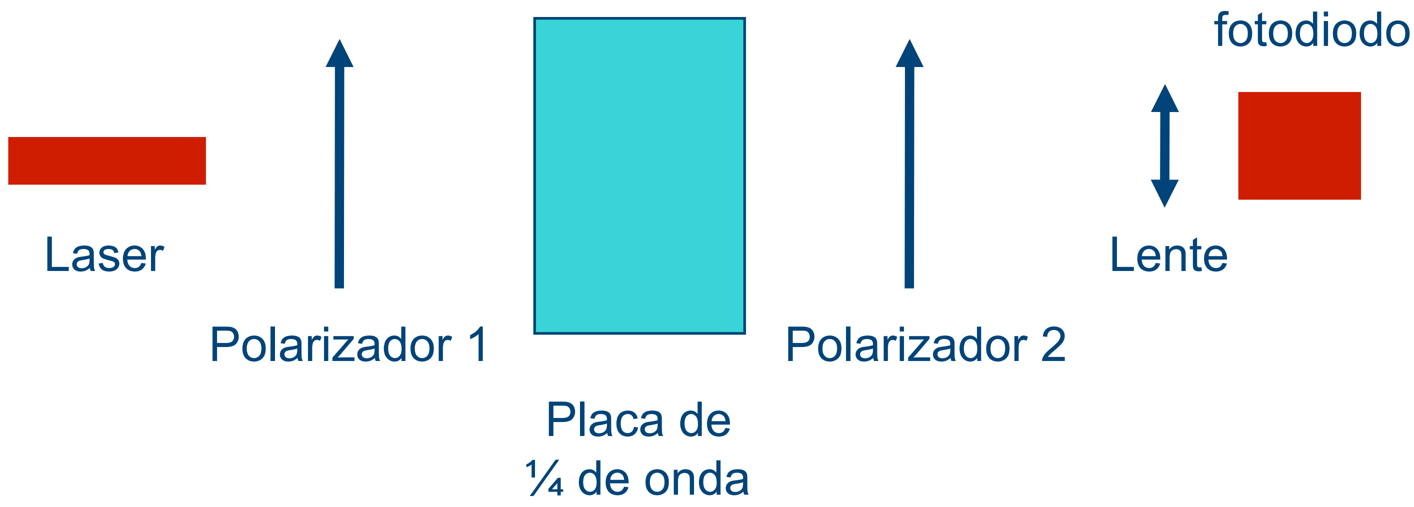
Placa de ¼ de onda

- Montar o arranjo do laser + polarizador + placa de ¼ de onda + polarizador + fotodiodo



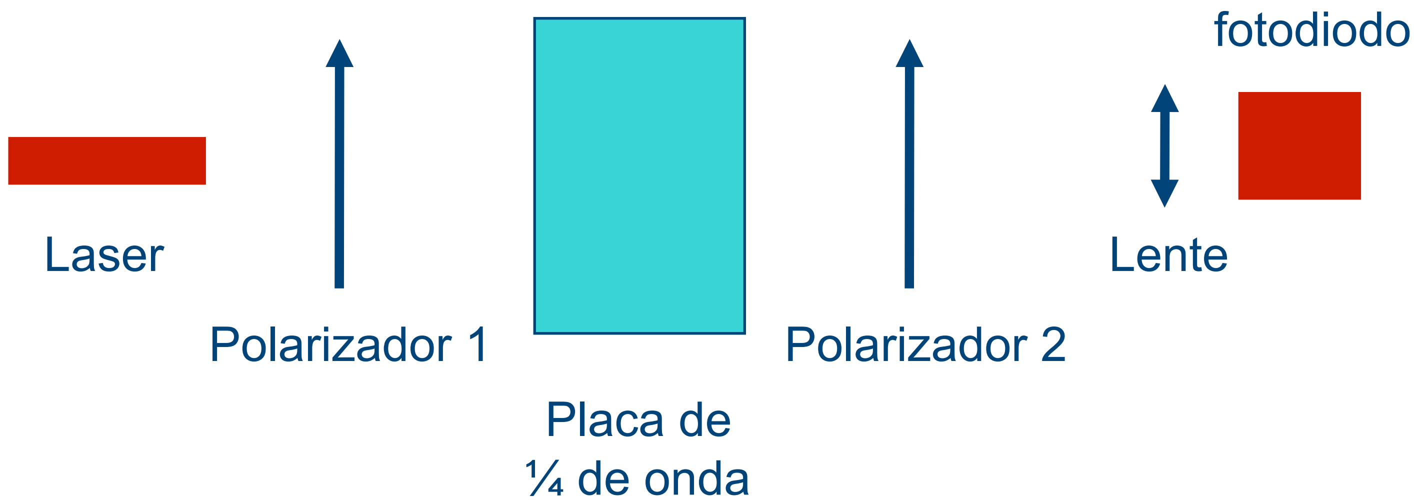
Placa de ¼ de onda

- Ajustar o polarizador 1 para que fique a 45º em relação ao eixo óptico da placa de ¼ de onda
  - Isso garante que as componentes e e o têm a mesma amplitude



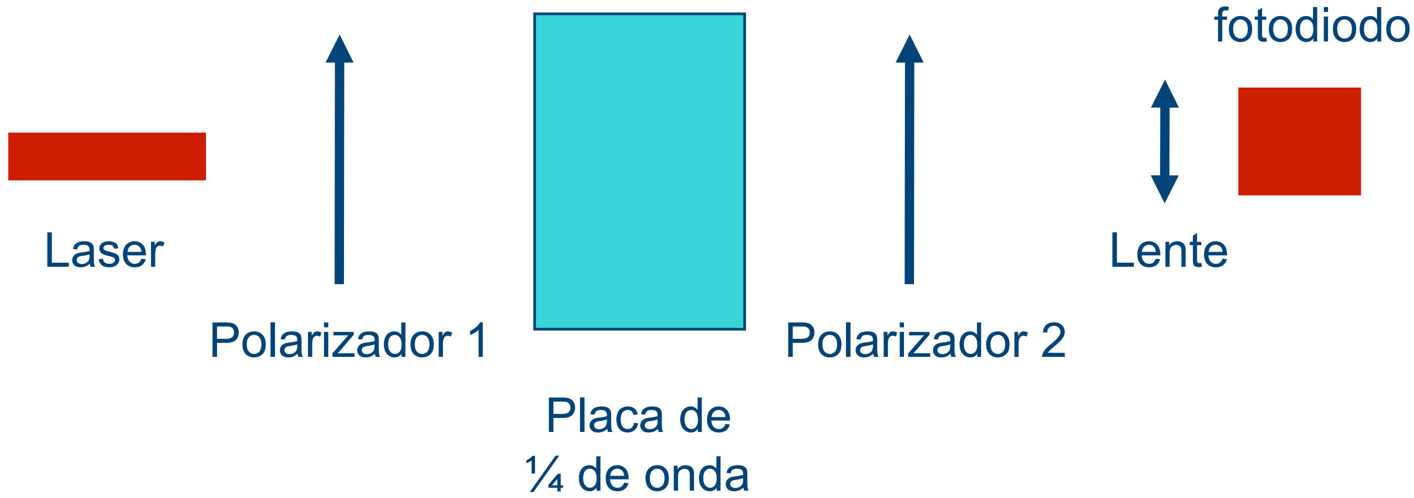
Placa de ¼ de onda

- Se a placa de ¼ de onda funciona, a onda emergente será circularmente polarizada
  - Pois as componentes e e o têm a mesma amplitude na entrada



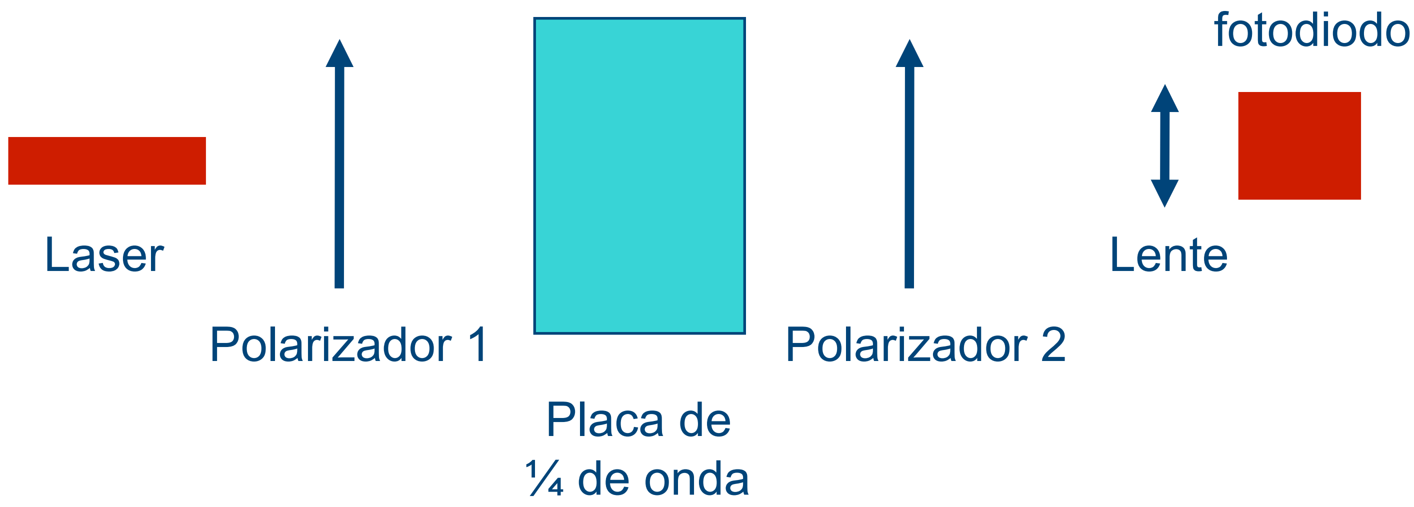
Placa de ¼ de onda

- Se a placa de ¼ de onda funciona, a onda emergente será circularmente polarizada
  - Qualquer que seja a direção do polarizador 2 a intensidade no fotodiodo será a mesma



Placa de ¼ de onda

- Medir a intensidade em função da posição do polarizador 2 no data studio
  - Fazer rápido para não ser influenciado pela variação de polarização e intensidade inicial do laser.



Placa de ¼ de onda

- Mostrar que a onda emergente é circularmente polarizada
- Ou seja, mostrar que a intensidade é independente do ângulo do segundo polarizador
- Faça um modelo simples para tentar ajustar os dados de I x ângulo.
  - Se o polarizador 1 não estiver a 45º do eixo da placa de onda, o que acontece com a intensidade em função do ângulo do polarizador 2? Há como parametrizar isto?

Placa de ½ onda

- Montar o mesmo arranjo da placa de ¼ de onda
- Posicionar o polarizador a um ângulo θ qualquer (próximo de 30-50º).
  - Porque 30-50º? Como isto afeta as incertezas experimentais?
- Verificar se a polarização girou de 2θº.
  - Medir a intensidade com o polarizador 2 em vários ângulos em torno de 2θ e mostrar que o máximo ocorre, de fato, em 2θ.