Óptica Ondulatória

1. Introdução

1.1. Ondas Electromagnéticas

As ondas estão presentes por todo o lado na Natureza: luz, som, ondas de rádio, raios-X, etc. No caso da luz visível temos ondas electromagnéticas, ou seja, em que a grandeza cuja oscilação se propaga é o campo eléctrico (e o campo magnético, claro!). A expressão que descreve o campo eléctrico de uma onda plana monocromática a propagar-se segundo a direcção x, é do tipo:

$$\vec{E}(x,t) = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t + \varphi),$$

em que ω é a frequência angular (ω=2πf=2π/T, em que f e T são, respectivamente, frequência (Hz) e período (1/s)), k é o vector de onda, ou frequência angular espacial (k=2π/λ, em que λ é o comprimento de onda, espaço ao fim do qual a forma da onda se repete), e φ é a fase inicial, que depende do ponto que tomamos como origem de xx, e do instante em que consideramos t=0.
As frequências angulares estão relacionadas entre si:

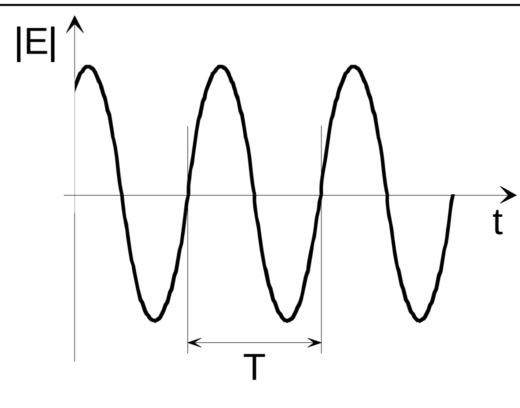

Fig. 1 - Módulo do campo eléctrico em função do tempo num dado ponto do espaço

$$k = \frac{\omega}{c},$$

em que c é a velocidade de propagação da onda.

Se fixarmos x=x_0 (o que corresponde a observar a variação do campo eléctrico num ponto do espaço) vem:

$$\vec{E}(x_0,t) = \vec{E}_0 \cos\left[\ -\omega t + (kx_0 + \varphi)\ \right]$$

O modulo de $\vec{E}$ é, então, uma sinusoide no tempo (ver Fig. 1).
Se fixarmos o tempo t=t_0 , que corresponde a "tirar uma fotografia" no instante t_0,obtemos:

$$\vec{E}(x,t_0) = \vec{E}_0 \cos\left[\ kx + (-\omega t_0 + \varphi)\ \right]$$

O modulo de $\vec{E}$ é, agora, uma sinusoide no espaço (ver Fig. 2).

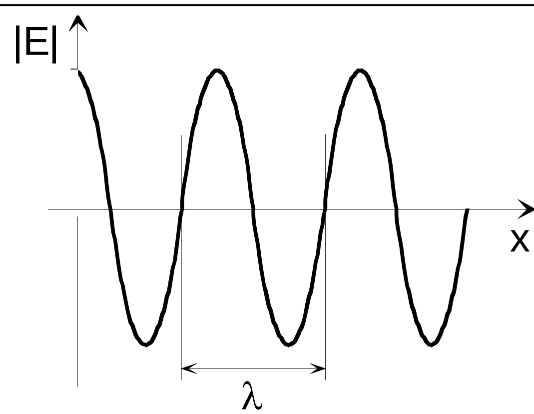

Fig. 2 – Módulo do campo eléctrico em função do espaço num dado instante de tempo

1.2. Interferências

Imaginemos uma onda plana que incide sobre uma superfície plana com dois orifícios. Estes orifícios vão funcionar como fontes de luz pontuais sincronizadas (princípio de Huygens). Quando as ondas de luz provenientes destes orifícios atingem um ponto no espaço, o campo eléctrico resultante vai ser a soma, em cada instante, dos campos eléctricos associados a cada uma das ondas. Estas ondas vão chegar a cada ponto com um desfasamento que depende da diferença das distâncias percorridas por cada uma delas. As duas situações extremas que podem ocorrer são quando (ver Fig. 3):

- As ondas chegam em fase. Isto acontece quando a diferença das distâncias percorridas corresponde a um múltiplo inteiro do comprimento de onda, ou seja, $\Delta d=n\lambda$ (em que n é um número inteiro). Neste caso, somamos sinusoides em fase, o que resulta no valor máximo possível da soma (*interferência construtiva*).

- As ondas chegam em oposição de fase. Isto acontece quando a diferença das distâncias percorridas corresponde a um múltiplo ímpar de metade do comprimento de onda, ou seja, $\Delta d=n\lambda+\lambda/2$ (em que n é um número inteiro). Neste caso, somamos sinusoides em oposição de fase, que se anulam (*interferência destructiva).*

Admitindo que a distância "a" entre os orifícios é pequena em relação à distância D da superfície ao alvo, podemos dizer que $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx \alpha$, e assim vem:

$$\Delta d = a \sin \alpha$$

Desta forma, observaremos interferência construtiva sempre que:

$$a \sin \alpha = n\lambda$$

e interferência destrutiva sempre que:

$$a \sin \alpha = n\lambda + \frac{\lambda}{2}$$

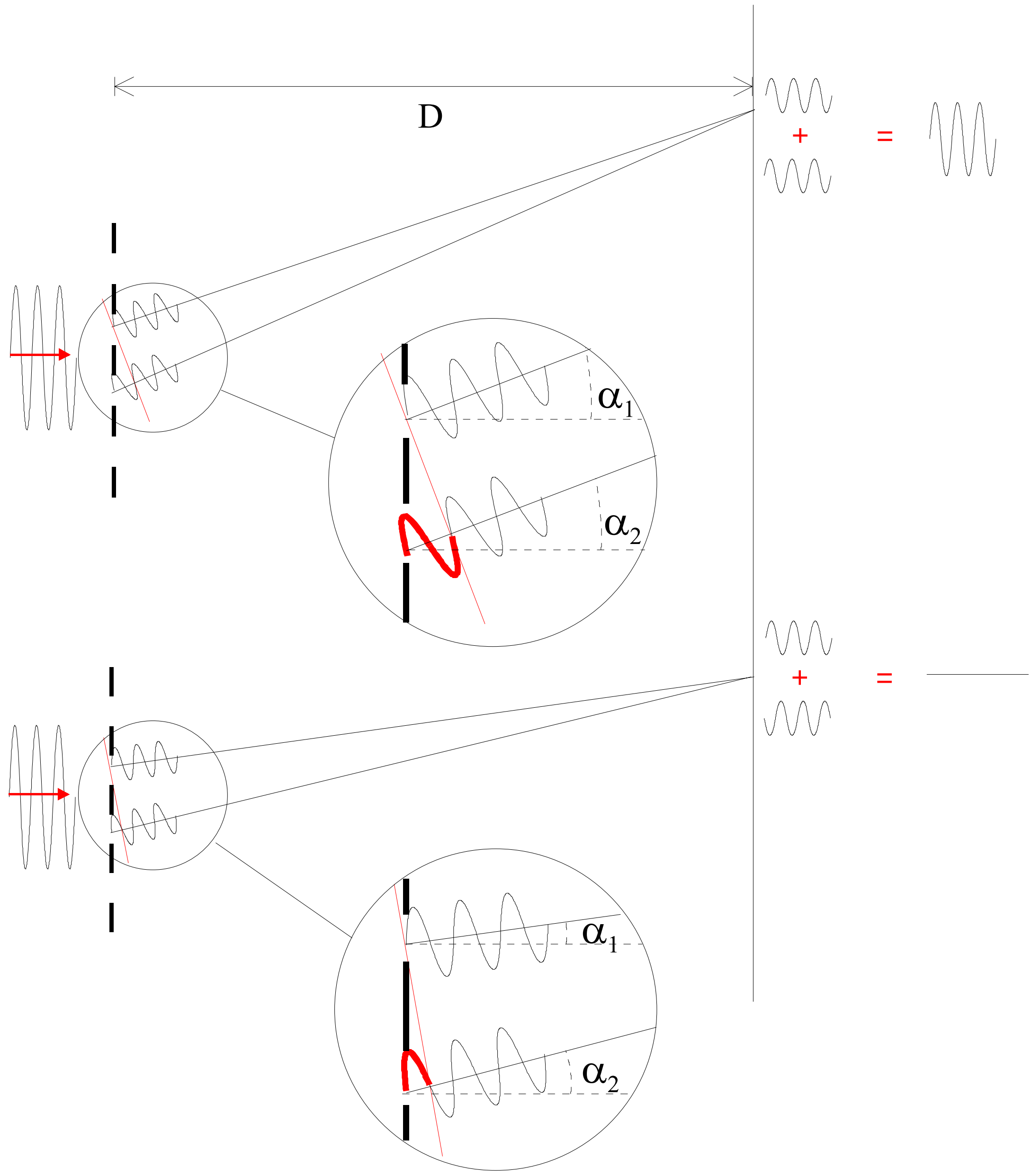

Fig. 3 – Interferências construtiva e destrutiva

2. Procedimento Experimental

2.1. Determinação do comprimento de onda (λ) de um feixe de luz LASER

Coloque o laser numa extremidade da calha óptica, e o ecran na outra. Coloque o suporte com a rede de difracção de 300 linhas/mm a uma distância de 20 a 30cm do ecran (Fig.4). Aponte o laser de forma a que o feixe incida sobre a rede de difracção e a atravesse. Meça a distância entre o máximo central e os máximos de 1ª e 2ª ordem (x1, x2), e a distância entre a rede de difracção e o ecran (D). Determine o valor de λ (para a difracção de 1ª e 2ª ordem), recordando que $\theta_n = arctg(x_n / D)$. Mude a posição da rede de difracção (mas de forma a manter os máximos de 2ª ordem sobre o ecran). Determine de novo o valor de λ. O que conclui? Qual das duas configurações experimentais lhe parece melhor para a determinação de λ? Porquê?

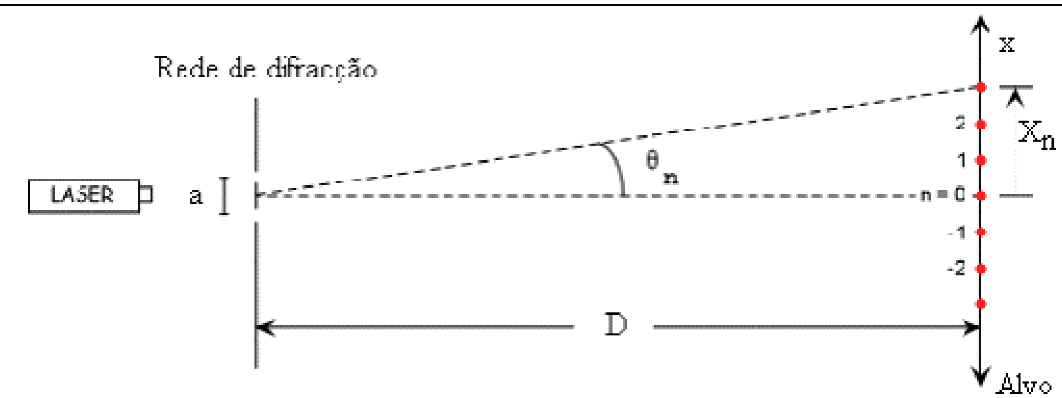

Fig. 4 – Montagem para determinação da frequência da luz de um LASER

2.2. Determinação da banda de comprimentos de onda da luz visível

Substitua o LASER pela fonte de luz branca. Coloque uma lente convergente entre a fonte de luz e a rede de difracção (Fig. 5). Retire a rede de difracção e regule a posição da lente de forma a obter uma imagem nítida do filamento sobre o alvo (feixe de raios paralelos). Volte a colocar a rede de difracção. Determine λ para ambos os extremos do espectro visível (vermelho e violeta). Discuta o erro das medições (note que a imagem do filamento no ecran não é pontual).

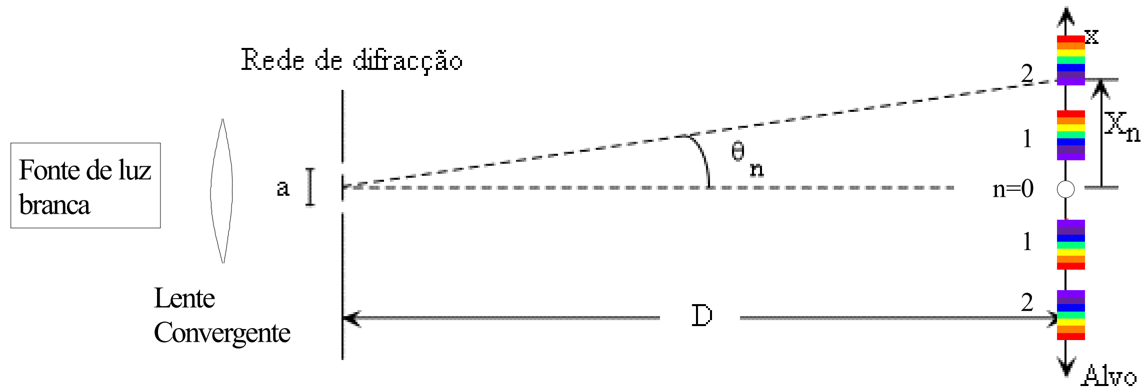

Fig. 5 – Montagem para a determinação da banda de comprimentos de onda da luz visível