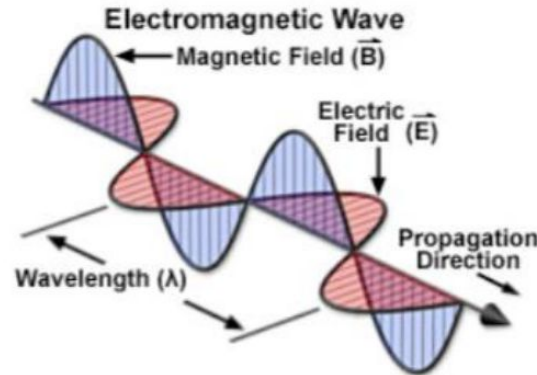


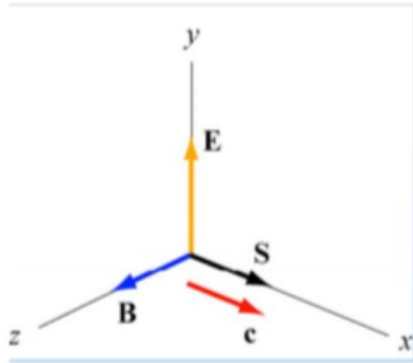
Propriedades das Ondas Eletromagnéticas

- Os campos **E** e **B** são perpendiculares à direção de propagação da onda (onda transversal);
- O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético;
- O produto vetorial **E** \times **B** aponta no sentido de propagação da onda;
- Os campos variam senoidalmente, com a mesma frequência e estão em fase.



Transporte de Energia de uma Onda Eletromagnética

A taxa de transporte de energia por unidade de área por parte de uma onda eletromagnética é descrita por um vetor S , conhecido por vetor de Poynting.



$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$$

Aponta na direção de propagação

$$|\mathbf{S}| = \frac{1}{\mu_0} EB = \frac{1}{c\mu_0} \mathbf{E}^2$$

Fluxo instantâneo de energia

no SI:

$$S = \left(\frac{\text{energia/tempo}}{\text{area}} \right)_{\text{instantanea}} = \left(\frac{\text{potencia}}{\text{area}} \right)_{\text{instantanea}} = \frac{W}{m^2}$$

Na prática, a grande utilidade é o valor médio de \mathbf{S} , também conhecido como intensidade I da onda.

$$I = S_{med} = \langle S \rangle = \frac{1}{c\mu_0} \langle E^2 \rangle$$

para:

$$\mathbf{E} = E_m \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

logo,

$$I = \frac{1}{c\mu_0} \langle E_m^2 \cdot \text{sen}^2(kx - \omega t) \rangle = \frac{1}{c\mu_0} E^2$$

$$\langle \text{sen}^2 x \rangle = \frac{1}{2} \quad \text{sen}^2 x + \text{cos}^2 x = 1 \quad E_m^2 = 2E^2$$

Ondas eletromagnéticas esféricas

$$P_f = \frac{dU}{dt}$$

Transporte de energia

Se a potência fornecida pela fonte é P_f temos

$$I = \langle S \rangle$$

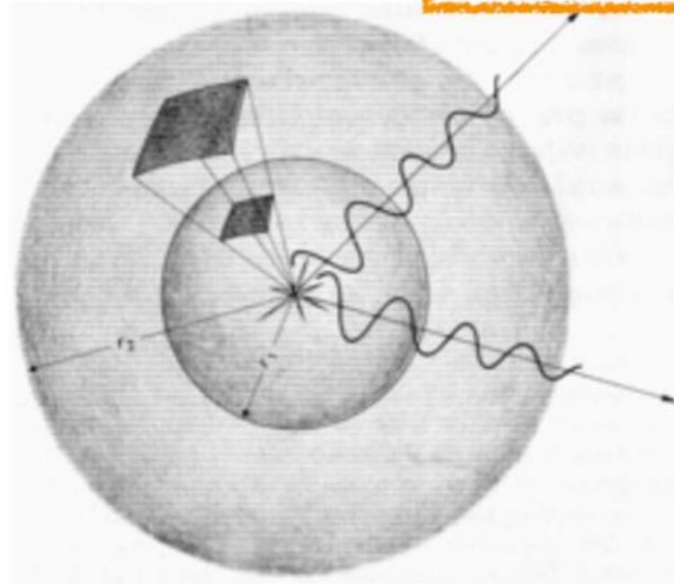
$$P_f = \int_A \vec{S} \cdot \hat{n} da$$

Emissão isotrópica

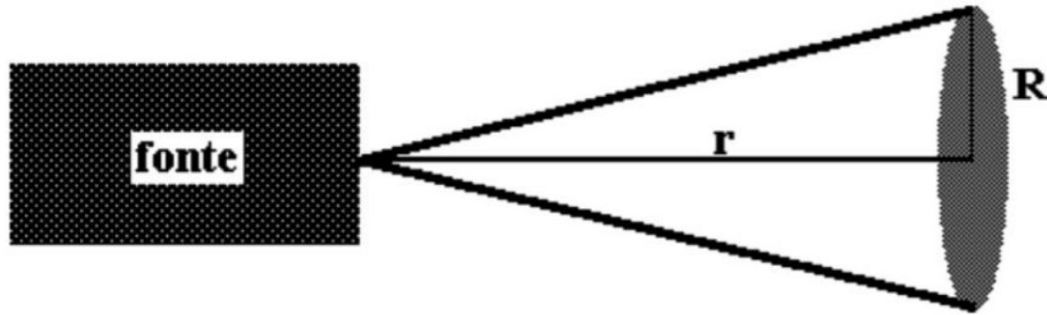
$$\vec{S} \cdot \hat{n} = \vec{S} \cdot \hat{r} = S$$



$$I = \frac{dU/dt}{4\pi \cdot r^2}$$



Fonte anisotrópica



Uma fonte envia ondas através de um feixe que se espalha sob a forma de um cone com seção transversal circular.

$$I = \frac{\textit{energia/tempo}}{\textit{area}} = \frac{dU/dt}{\pi \cdot R^2}$$

$$I = \frac{dU/dt}{\pi (\textit{tg}\theta)^2 r^2}$$

$$R = r \textit{tg}\theta$$

I - OBJETIVOS

- Determinar a dependência da intensidade luminosa em função da distância entre a fonte de luz e o detector.

II - INTRODUÇÃO

Raios de luz emitidos de uma fonte pontual, se propagam uniformemente em todas as direções, como vemos na Fig. 1. Se uma dada superfície recebe luz proveniente de uma fonte, diz-se que esta superfície está iluminada. De modo análogo ao vetor de Poynting, a intensidade luminosa (I) observada em uma dada área (A), situada a uma distância (r) da fonte de luz, é definido como a taxa de energia transportada (dU/dt) por unidade de área (A):

$$I = \frac{dU/dt}{A} \quad (1)$$

Uma fonte pontual irradia luz isotropicamente em todas as direções. Tomando-se uma superfície esférica de raio r , centrada nesta fonte pontual, teremos uma intensidade luminosa uniforme em qualquer ponto desta superfície. Neste caso, a intensidade em qualquer região desta superfície é dada por:

$$I = \frac{dU/dt}{4\pi r^2} \quad (2)$$

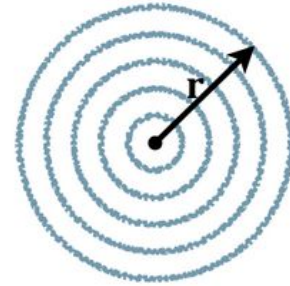


Fig.1 - Fonte luminosa pontual emitindo luz em todas as direções.

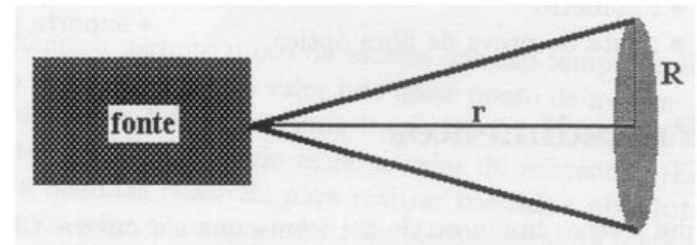


Fig.2 - Uma fonte emite luz através de um feixe que se espalha sob a forma de um cone com seção transversal circular.

$$I = \frac{dU/dt}{\pi R^2} \quad (3)$$

onde R é o raio da seção transversal da área A . Como $R = r \tan \theta$ teremos:

$$I = \frac{dU/dt}{\pi r^2 (\tan \theta)^2} \quad (4)$$

Este fato nos mostra que, tanto no caso de fontes isotrópicas como também no caso de fontes anisotrópicas, temos que a intensidade luminosa é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre fonte e observador, ou seja,

$$I \propto \frac{1}{r^2} \quad (5)$$

Este é justamente o resultado que queremos confirmar experimentalmente.

III - MATERIAIS UTILIZADOS

- Fonte Incandescente de Luz
- Fotômetro
- Ponta de Prova de Fibra Óptica
- Banco Óptico
- Suporte para a Ponta de Prova.

IV - PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Alinhamento do Feixe

- a. Alinhe o feixe luminoso de tal forma que ele cubra toda a superfície da ponta de prova tanto na distância mínima, ponto onde se iniciarão as medidas, quanto na distância máxima, ponto onde as medidas terminam.
- b. Não se esqueça que a Eq. (4) é válida apenas para fontes pontuais, então use o diafragma e escolha uma distância mínima tal que possamos considerar a fonte de luz como sendo pontual.

Calibração do Ponto Zero do Fotômetro

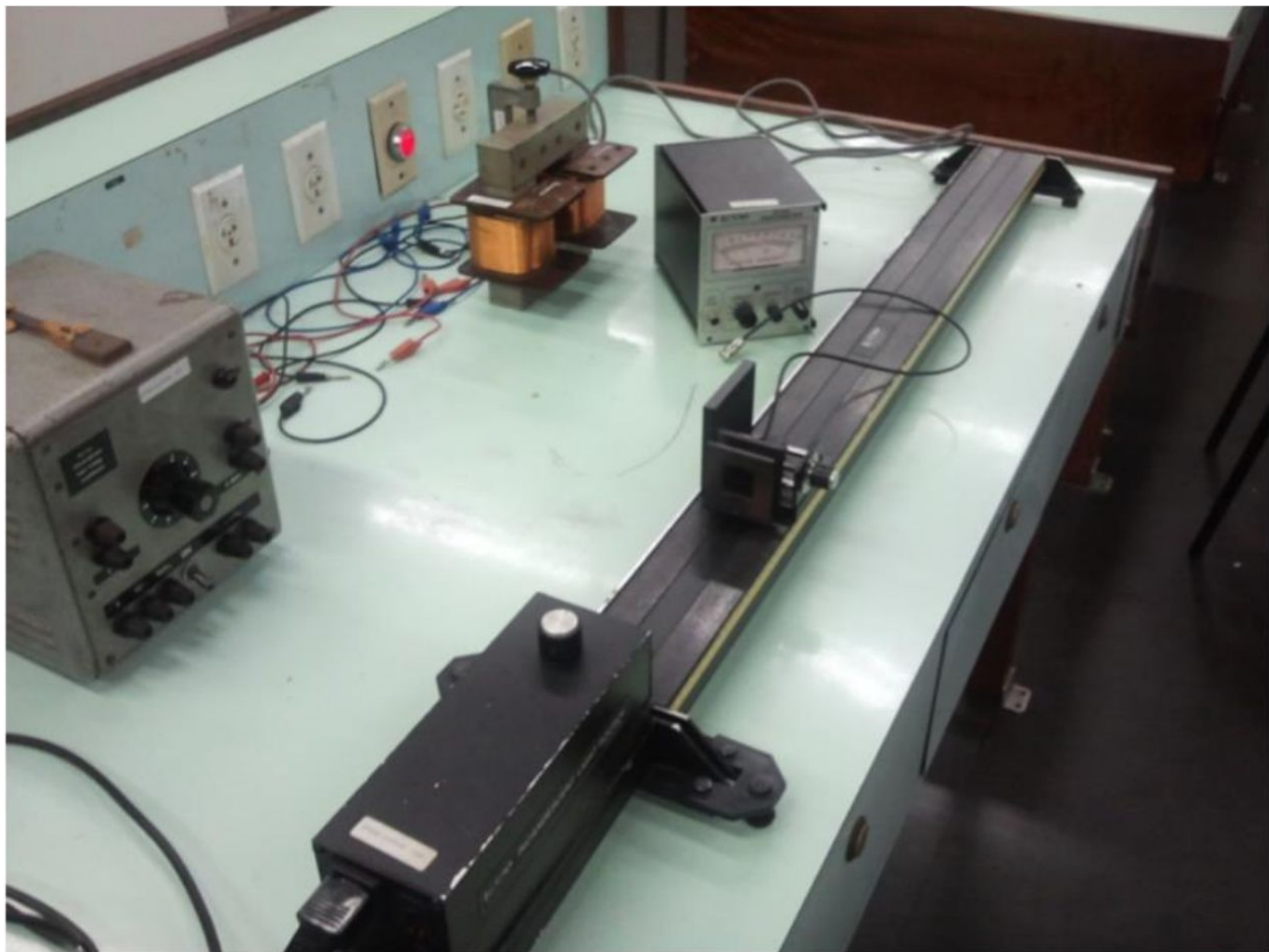
- a. Regule o seletor de sensibilidade do fotômetro (botão *sensitivity*) para a maior escala (escala 1000, menor sensibilidade).
- b. Retire a fibra óptica do fotômetro e cubra a entrada de luz com um objeto preto.
- c. Com a luz da sala apagada, regule o seletor de sensibilidade do fotômetro para a menor escala (escala 0.1, de maior sensibilidade).
- d. Ajuste o botão de ajuste do zero (*Zero Adjust*) de forma que o ponteiro do fotômetro se posicione em cima do zero da escala.
- e. Depois de realizado o ajuste, gire o seletor de sensibilidade até a escala 1000 e então retire o objeto preto do fotômetro.

Intensidade Luminosa

- a. Meça pelo menos 15 pontos e não se esqueça de anotar os erros a cada medida. Os intervalos não precisam ser constantes ao longo das medidas.

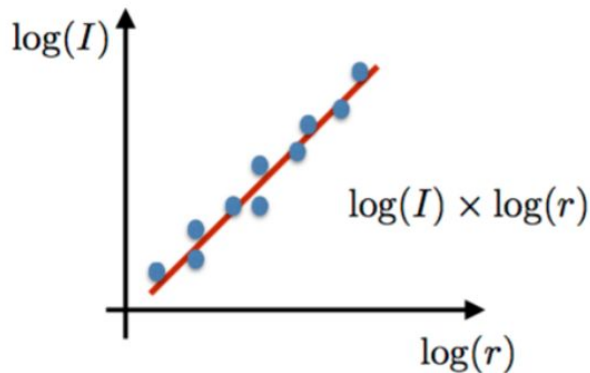
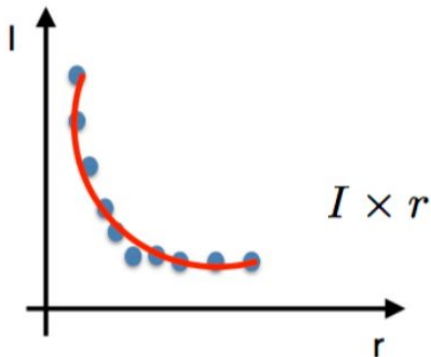
Valor de Referência I_m

- a. Em primeiro lugar, com o detector à distância mínima, ou seja, máxima intensidade que será observada, varie a posição do seletor de sensibilidade até que o ponteiro indique alguma intensidade de luz.
- b. Fazendo um teste com o botão de ajuste de sensibilidade (botão *variable*), procure fazer com que o ponteiro alcance o ponto máximo da escala.
- c. Caso a intensidade que está chegando à ponta de prova não seja suficiente para isto, varie novamente o seletor de sensibilidade e tente novamente ajustar o máximo da escala. O ponto máximo é o valor 3 ou 10, dependendo da escala adotada (*sensitivity*).
- d. Com cuidado, varie a distância no intervalo determinado acima (entre a distância máxima e mínima) para que a tomada de dados de intensidade luminosa possibilite uma verificação correta da lei de variação entre a intensidade e a distância.
- e. Ao medir a distância entre fonte e detector, lembre-se que a lâmpada não se encontra na posição zero da escala.



Para o relatório, após obter as medidas da intensidade luminosa emitida pela fonte I (adimensional por ser Intensidade Relativa) e distância r (variando de 10cm até 28cm; lembrando que o erro de cada medida se refere a metade da menor medida da escala)

Faça dois gráficos:



Determine através do gráfico o coef. angular e linear, entretanto note que:

$$I \propto A \frac{1}{r^2}$$
$$I = Ar^{-n}$$

Aplicando o logaritmo

$$\log(I) = b - n \log(r)$$
$$b = \log(A)$$

No relatório também devem constar discussões das seguintes questões:

1. Uma lâmpada é muito diferente de um ponto. Então, porque podemos considerar a fonte como pontual?
2. Qual o princípio de funcionamento de um fotômetro? (Sugestão: procure entender como funciona uma fotocélula, ou fotodiodo)
3. Por que só podemos fazer medidas relativas de intensidade? Não seria melhor fazer medidas absolutas? Explique.
4. Onde se situa o *ponto de distância zero* da fonte? Qual o valor da intensidade neste ponto?
5. Por que o material é todo preto?
6. Qual a importância do alinhamento do feixe?
7. Na sua opinião, quais as principais fontes de erro neste experimento? Explique

Próxima Aula: 21 de Março
Prática 2: Polarização