

Experimento 3

POLARIZAÇÃO COM MICRO-ONDAS E LUZ

3.1 OBJETIVOS

Verificar o caráter transversal de uma onda eletromagnética na faixa das micro-ondas, observar e modificar seu estado de polarização.

Relacionar a intensidade da luz plano-polarizada que atravessa dois polarizadores com o ângulo relativo entre eles e enunciar a Lei de Malus a partir do resultado obtido.

Medir a atividade óptica de um meio.

3.2 PARTE TEÓRICA

3.2.1 Polarização da onda eletromagnética

Uma onda eletromagnética é uma onda transversal. Isso significa que os vetores do campo elétrico \mathbf{E} e do campo indução magnética \mathbf{B} oscilam em um plano perpendicular à direção de propagação da onda. Por exemplo, uma onda eletromagnética plana propagando na direção do eixo ox deve ter os campos vetoriais \mathbf{E} e \mathbf{B} oscilando no plano yz (x constante). Além disso, esses dois vetores são mutuamente ortogonais. A direção de propagação é sempre dada pela direção do produto vetorial $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$. Os campos de uma onda plana harmônica propagando ao longo do eixo ox podem, por exemplo, serem tais como

$$\mathbf{E}(x, t) = \mathbf{E}_0 \text{sen}(Kx - \omega t + \phi) \quad (3.1)$$

$$\mathbf{B}(x, t) = \mathbf{B}_0 \text{sen}(Kx - \omega t + \phi) \quad (3.2)$$

onde \mathbf{E}_0 e \mathbf{B}_0 são as amplitudes vetoriais, $K = 2\pi/\lambda$ é o número de onda, λ é o comprimento de onda, ω é a frequência angular e ϕ é a fase inicial.

Definida a direção de propagação e a direção do vetor do campo elétrico \mathbf{E} (chamada de direção de polarização) a direção do vetor do campo indução magnética está definida. Por essa razão, podemos omitir a informação sobre o campo indução magnética e expressar a onda eletromagnética indicando somente o campo elétrico.

Pelo fato de ser um campo vetorial, o vetor \mathbf{E} pode ser decomposto em dois componentes ortogonais *independentes* convenientes. No exemplo acima podemos decompor \mathbf{E} nos componentes \mathbf{E}_y e \mathbf{E}_z tais que

$$\mathbf{E}(x, t) = \mathbf{E}_y(x, t) + \mathbf{E}_z(x, t),$$

$$\mathbf{E}_y(x, t) = E_{y0} \text{sen}(Kx - \omega t + \phi_1) \hat{\mathbf{j}} \quad (3.3)$$

$$\mathbf{E}_z(x, t) = E_{z0} \text{sen}(Kx - \omega t + \phi_2) \hat{\mathbf{k}}. \quad (3.4)$$

Em geral, as amplitudes E_{y0} , E_{z0} e as fases iniciais ϕ_1 , ϕ_2 tem valores distintos uma vez que os componentes são independentes.

Polarização linear

Se as amplitudes dos dois componentes forem apenas constantes, mas as *fases iniciais forem iguais*, digamos $\phi_1 = \phi_2 = \phi_0$, a superposição dos dois componentes resulta em

$$\mathbf{E}(x, t) = (E_{y0} \hat{\mathbf{j}} + E_{z0} \hat{\mathbf{k}}) \text{sen}(Kx - \omega t + \phi_0). \quad (3.5)$$

O vetor do campo elétrico oscila ao longo da reta definida pela direção de

$$E_{y0} \hat{\mathbf{j}} + E_{z0} \hat{\mathbf{k}}$$

e dizemos que a onda é *linearmente polarizada*. Se as amplitudes forem iguais, a reta estará inclinada de $\pi/4$ com relação aos eixos oy e oz . Em qualquer caso, a direção do campo elétrico é mantida fixa no espaço durante a propagação da onda.

Polarização circular

Se as amplitudes dos dois componentes forem iguais $E_{y0} = E_{z0} = E_0$ mas as *fases iniciais diferirem de $\pi/2$* , digamos $\phi_2 = \phi_1 + \pi/2$ teremos

$$\mathbf{E}_y(x, t) = E_0 \text{sen}(Kx - \omega t + \phi_1) \hat{\mathbf{j}}$$

e

$$\mathbf{E}_z(x, t) = E_0 \text{sen}(Kx - \omega t + \phi_1 + \pi/2) \hat{\mathbf{k}}$$

ou

$$\mathbf{E}_y(x, t) = E_0 \text{sen}(Kx - \omega t + \phi_1) \hat{\mathbf{j}}$$

e

$$\mathbf{E}_z(x, t) = E_0 \cos(Kx - \omega t + \phi_1) \hat{\mathbf{k}}.$$

A superposição dos dois componentes resulta em

$$\mathbf{E}(x, t) = E_0 [\text{sen}(Kx - \omega t + \phi_1) \hat{\mathbf{j}} + \cos(Kx - \omega t + \phi_1) \hat{\mathbf{k}}].$$

Essa onda possui um campo elétrico com amplitude E_0 constante. Contudo, a direção do vetor $\mathbf{E}(x, t)$ gira a medida que a onda vai propagando.

Se observarmos um ponto fixo no espaço ($x = \text{constante}$) a ponta do vetor \mathbf{E} descreve um círculo com o passar do tempo. Basta lembrar que

$$E_y^2 + E_z^2 = E_0^2[\cos^2\theta + \sin^2\theta] = E_0^2$$

é a equação de um círculo, daí o nome *polarização circular*.

A ponta do vetor \mathbf{E} descreve uma hélice (uma trajetória helicoidal) quando observamos o campo elétrico em um determinado instante de tempo em cada ponto do eixo ox (Fig. 3.1).

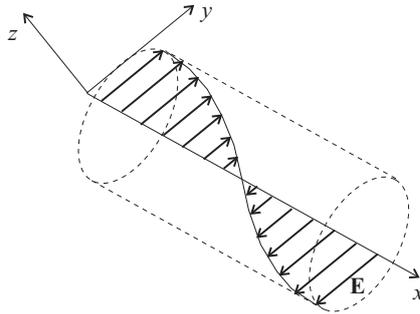


Figura 3.1: Helicóide descrita pelo vetor \mathbf{E} em função da variável espacial para um tempo fixo .

A onda vista na figura é uma onda polarizada à direita ou dextrógira vista por um observador que vê a onda se afastar.

É importante ressaltar que uma onda linearmente polarizada pode ser obtida pela superposição de duas ondas de mesma amplitude polarizadas circularmente, uma à direita (dextrógira) e a outra à esquerda (levógira). Por exemplo, a soma das ondas cujos campos elétricos são \mathbf{E}' e \mathbf{E}'' dados por

$$\mathbf{E}'(x, t) = E_0[\sin(Kx - \omega t + \phi_1)\hat{\mathbf{j}} + \cos(Kx - \omega t + \phi_1)\hat{\mathbf{k}}]$$

e

$$\mathbf{E}''(x, t) = E_0[\sin(Kx - \omega t + \phi_1)\hat{\mathbf{j}} - \cos(Kx - \omega t + \phi_1)\hat{\mathbf{k}}]$$

resulta em uma onda linearmente polarizada na direção do eixo oy .

Polarização elíptica

Se as amplitudes dos dois componentes forem diferentes $E_{y0} \neq E_{z0}$ ou se as diferenças entre as fases iniciais assumir um valor entre 0 e $\pi/2$ (ou o equivalente nos outros quadrantes) a ponta do vetor \mathbf{E} descreve uma elipse em cada ponto fixo do espaço à medida que o tempo passa, daí o nome *polarização elíptica*. Esse é o caso mais geral de polarização, as polarizações linear e circular são casos particulares da polarização elíptica. A elipse degenera-se em uma reta quando seu eixo menor é zero e degenera-se em um círculo quando o eixo menor é igual ao eixo maior.

De modo geral, uma onda eletromagnética monocromática, plana e harmônica pode ser sempre decomposta em dois componentes com campos ortogonais à direção de propagação.

Por exemplo, em cada ponto fixo do espaço, podemos escrever os componentes como

$$\mathbf{E}_1 = E_0 \sin(Kx - \omega t)\hat{\mathbf{j}} \quad (3.6)$$

$$\mathbf{E}_2 = E_0 \sin(Kx - \omega t + \phi)\hat{\mathbf{k}}. \quad (3.7)$$

A diferença de fase entre eles não depende do tempo e os dois componentes \mathbf{E}_1 e \mathbf{E}_2 são ditos coerentes entre si. A depender do valor dessa diferença de fase, a polarização pode ser linear ($\phi = n\pi$, n inteiro), circular ($\phi = (2n + 1)\pi/2$) ou elíptica (para todos os outros valores de n). veja a figura (Fig. 3.2).

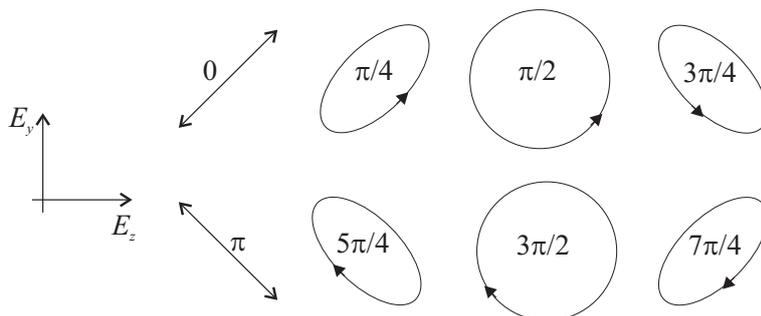


Figura 3.2: Estados de polarização dependentes do valor da diferença de fase ϕ entre duas funções senoidais tomando a referência em E_y e estando E_z defasada.

3.2.2 A luz natural

Uma fonte de luz ordinária consiste em um grande número de emissores atômicos orientados aleatoriamente. Cada átomo excitado irradia um trem de ondas polarizado por aproximadamente 10^{-8} s. Novos trens de ondas são constantemente emitidos por outros átomos com outras fases e direções de polarização de maneira completamente imprevisível. Essas mudanças ocorrem tão rapidamente que não é possível perceber nenhuma polarização resultante e diz-se que a luz natural é não polarizada e incoerente.

3.2.3 Polarizadores

A luz natural, não polarizada, pode-se tornar uma luz linearmente polarizada ao atravessar ou mesmo refletir em um *polarizador*. Um polarizador é um material que possui uma direção preferencial de oscilação para as cargas elétricas que o compõe. Essas cargas podem ser cargas livres como nas hastes de uma grade metálica ou cargas ligadas como nas moléculas polares em muitas substâncias orgânicas. O fato é que, quando uma luz não polarizada incide em um meio polarizador, o campo elétrico da onda incidente põe as cargas do meio para oscilar, preferencialmente, em uma certa direção. Ao oscilar essas cargas elétricas emitem radiação eletromagnética cujo campo elétrico possui a mesma direção da oscilação. Dessa forma, a luz emitida pelo polarizador possui polarização linear ao longo da direção preferencial do polarizador. A figura (Fig. 3.3) mostra um corte da seção de um feixe luminoso que propaga na direção perpendicular ao plano do papel antes e após o processo de polarização.

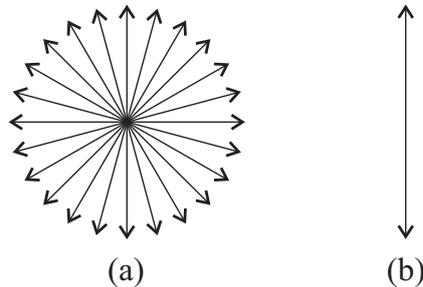


Figura 3.3: Representações das direções de oscilação do vetor \mathbf{E} em uma luz não polarizada (a) e uma luz linearmente polarizada (b).

3.2.4 Exemplos de polarizadores

Na faixa de micro-ondas de 3 cm os polarizadores podem ser construídos com dimensões físicas macroscópicas. Um polarizador simples consiste em uma grade de barras metálicas condutora (arame de pequeno diâmetro) equidistantes com separação menor que um comprimento de onda. Sob incidência da onda eletromagnética, as cargas elétricas superficiais da barra, na superfície frontal à onda, entram em oscilação devido ao campo elétrico oscilante da onda. Ao oscilarem, reemitem radiação polarizada na direção da oscilação. Se a onda incidente for não polarizada ou se for polarizada em uma direção diferente da direção das barras, apenas o componente do campo elétrico paralela à barra é que colocará as cargas em movimento, de forma que a radiação *refletida* pela grade será linearmente polarizada na direção das barras. Por outro lado, o componente do campo perpendicular à direção da barra e que não causa oscilação nas cargas devido ao pequeno diâmetro da barra condutora, atravessará a grade formando a onda *transmitida* linearmente polarizada na direção perpendicular às barras da grade.

Um outro polarizador pode ser construído com uma grade e um refletor metálico plano colocados paralelamente um ao outro e separados por uma pequena distância. Considerando uma onda incidente com um campo elétrico inclinado com relação às barras da grade, somente o componente do campo paralelo às barras será refletido pela grade. O componente perpendicular a atravessará e atingirá refletor plano sendo refletido de volta à grade e a atravessará. Temos, portanto, duas ondas refletidas, uma pela grade e outra pelo refletor plano, ambas linearmente polarizadas em direções perpendiculares entre si. A onda refletida pelo refletor plano estará defasada (atrasada) com relação à onda refletida pela grade uma vez que ela percorre a distância que separa a grade do refletor no caminho de ida e de volta. Esse atraso faz com que a superposição das duas ondas refletidas e ortogonalmente polarizadas produza uma onda resultante com polarização *elíptica*. Em particular, se as amplitudes das duas ondas forem praticamente iguais e o atraso corresponder a uma diferença de fase de $\pi/2$ a onda resultante terá uma polarização circular. Esse dispositivo polarizador transforma uma onda linearmente polarizada em uma onda circularmente polarizada.

Atualmente, polarizadores também podem ser construídos com plásticos compostos por moléculas polares. Durante o processo de fabricação, ainda no estado líquido em temperatura elevada, aplica-se um campo elétrico intenso para forçar as moléculas a se alinharem. Este campo é mantido constante enquanto o plástico esfria e solidifica mantendo as moléculas “presas” e alinhadas em uma certa direção. Esses polarizadores são conhecidos

como polaróides.

Um grupo de substâncias conhecidas como *cristais líquidos* possuem a propriedade de se alinhar polarizar a luz quando são submetidos a um campo elétrico. São extensivamente utilizados na atualidade para a construção dos LCD's (liquid crystal display).

3.2.5 A Lei de Malus

Uma lâmina polarizadora ou polaroide é um material, normalmente um plástico, que possui uma *anisotropia* que lhe confere a característica de polarizar a luz que a atravessa. A direção de polarização é representada por uma série de linhas paralelas sobre a lâmina polarizadora na figura (Fig. 3.4).

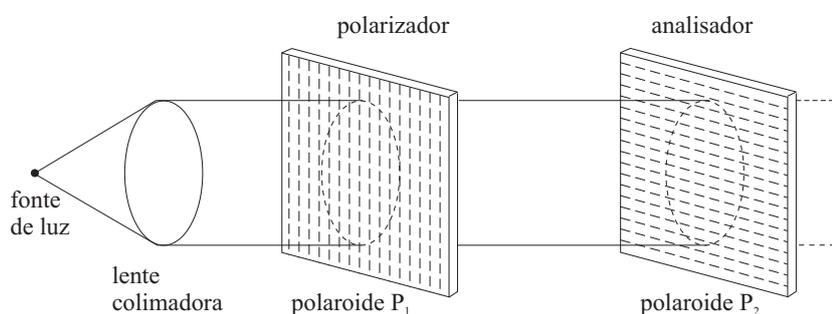


Figura 3.4: Arranjo experimental com lâminas polarizadoras giradas de $\pi/2$.

A lâmina transmite apenas os componentes dos vetores dos campos elétricos dos trens de ondas que vibrem paralelamente a essa direção e absorve aqueles componentes que vibrem perpendicularmente aos primeiros. A luz emergente da placa será, portanto, polarizada.

O arranjo da figura mostra o trajeto luminoso da luz que atravessa duas placas polarizadoras cujas direções de polarização não coincidem. Nessa configuração, a lâmina polarizadora da esquerda é chamada de polarizadora e a da direita é chamada de analisadora. Se giramos P_2 em torno da direção de propagação, há duas posições nas quais a luz transmitida quase se anula; essas posições correspondem à ortogonalidade entre as direções de polarização de P_1 e P_2 . Em outras palavras, a luz não polarizada proveniente da fonte não é transmitida através de dois polarizadores cruzados.

Consideremos uma lâmina polarizadora cuja direção de polarização é mostrada na figura (Fig. 3.5) juntamente com o vetor do campo elétrico \mathbf{E} da onda nela incidente.

Esse vetor do campo pode ser decomposto nos componentes \mathbf{E}_x e \mathbf{E}_y respectivamente perpendicular e paralelo à direção de polarização da lâmina.

$$\mathbf{E}_x = E \sin\theta \quad (3.8)$$

e

$$\mathbf{E}_y = E \cos\theta. \quad (3.9)$$

Nesse caso, o componente que atravessará a lâmina polarizadora é E_y . Lembrando que a intensidade depende do quadrado da amplitude do campo, temos que a intensidade da luz antes de passar pelo polarizador vale $I_0 = E^2$. E a intensidade da luz após passar pelo

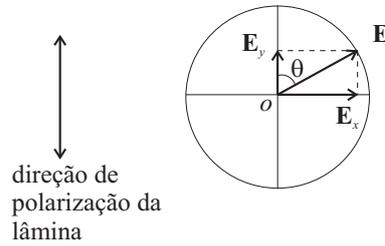


Figura 3.5: Direção de polarização de uma lâmina polarizadora e as projeções do vetor do campo elétrico \mathbf{E} .

polarizador será dada por $I_1 = E_y^2$. Assim, temos a seguinte relação entre as intensidades:

$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta. \quad (3.10)$$

Esta expressão foi enunciada por Étienne-Louis Malus, que viveu entre 1775 e 1812, e ficou conhecida como a Lei de Malus.

Voltemos à figura 3.4 e consideremos que o analisador (P_2) esteja girado de um ângulo α com relação ao polarizador (P_1). A fonte emite luz não polarizada que chega ao polarizador com intensidade I_0 . Como o vetor do campo elétrico da luz incidente tem direção aleatória com o passar do tempo e apenas o componente paralelo à direção do polarizador o atravessa, após este polarizador a intensidade terá caído à metade, ou seja, $I_1 = I_0/2$. Após o polarizador a luz está linearmente polarizada na vertical e incide no analisador cuja direção de polarização está girada de α com relação à vertical. Portanto, após o analisador, a intensidade I_2 vale

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha. \quad (3.11)$$

A intensidade máxima para a luz transmitida pelo analisador ocorre quando as direções de polarização de P_1 e P_2 forem paralelas, isto é, quando $\alpha = 0^\circ$ ou quando $\alpha = 180^\circ$. Quando $\alpha = 90^\circ$ ou quando $\alpha = 270^\circ$ a intensidade da luz emergente será nula.

Contudo, quando o olho humano é usado para detectar esses pontos de máximo ou de mínimo de intensidade obtém-se pouca precisão porque o olho é pouco sensível para perceber variações absolutas na intensidade. No entanto o olho é bastante sensível para fazer comparações entre duas imagens próximas com diferentes intensidades se as intensidades forem suficientemente baixas. O *polarímetro de penumbra*, que será descrito adiante, é um instrumento que mede a direção de polarização da luz baseado nessa capacidade de comparação do olho humano.

3.2.6 Atividade óptica

O termo atividade óptica refere-se à rotação da direção de polarização da luz linearmente polarizada quando esta atravessa certas substâncias ou mesmo soluções ditas opticamente ativas. O efeito ocorre também para ondas eletromagnéticas de outras faixas de frequências fora da região visível, permanecendo a mesma denominação.

A atividade óptica pode ocorrer em cristais como o quartzo e está associada à estruturas helicoidais (à direita ou à esquerda) do cristal. Pode ocorrer em soluções orgânicas, como de

certos açúcares, e está relacionada com a estrutura assimétrica das moléculas. Em qualquer caso, o ângulo de giro da direção de polarização é proporcional à distância percorrida pela luz ao atravessar a substância.

Em nosso experimento, a atividade óptica será verificada em um meio transparente à radiação na faixa de micro-ondas (isopor) preenchido com pequenas molas (estruturas helicoidais). Em uma situação teremos apenas molas dextrógiras, em outra situação apenas molas levógiras e por fim a mistura de molas dos dois tipos.

3.3 EXPERIMENTO 1: POLARIZAÇÃO COM LUZ - A LEI DE MALUS

3.3.1 Equipamentos

- 1 barramento em aço com escalas milimetradas.
- 1 fonte de luz policromática composta de lâmpada halógena com escala focal linear lateral e objetiva frontal.
- 1 lente de cristal plano-convexa de 50 mm, 4 di
- 1 lente de cristal plano-convexa de 50 mm, 8 di
- 1 diafragma de íris
- 2 conjuntos de filtros de polarização girantes com escala de 0° a 210° .
- 1 medidor de intensidade de iluminação (luxímetro) com fotocélula de silício e display LCD.

3.3.2 Medidas

Posicione os componentes nas posições indicadas na escala I do barramento, conforme e Fig. 3.6. **Manuseie os componentes pelo suporte, não encoste nas lentes nem nos filtros!**

- Lanterna na posição 640 mm.
- Diafragma de íris na posição 590 mm.
- Filtro de polarização girante (polarizador) na posição 520 mm.
- Lente de 8 di na posição 450 mm.
- Lente de 4 di na posição 200 mm.
- Filtro de polarização girante (analisador) na posição 130 mm.
- Sensor de intensidade de iluminação na posição 60 mm.

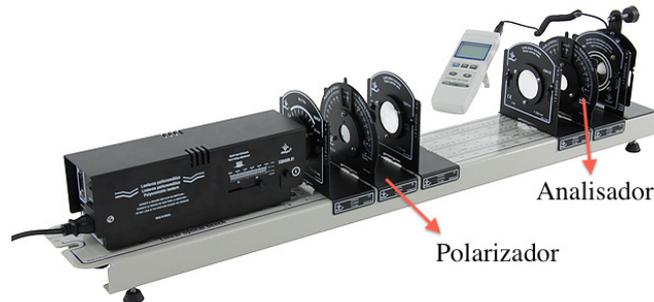


Figura 3.6: Montagem do experimento

Gire os dois polaróides deixando-os na marca de 0° e posicione a íris na marca de 30 mm. Depois ligue a fonte de luz e o luxímetro. Anote a intensidade de iluminação indicada (I_1). Gire o polaróide analisador de 10 em 10 graus (até 180°) e construa uma tabela com os valores do ângulo θ entre o polarizador e o analisador e a intensidade de iluminação I_2 indicada pelo luxímetro.

Comente o que ocorre com o feixe de luz que incide no luxímetro com o analisador em 0° , 90° e 180° . Construa um gráfico de $I_2 \times \cos^2\theta$.

3.4 EXPERIMENTO 2: POLARIZAÇÃO COM MICRO-ONDAS

3.4.1 Equipamentos

- Corneta transmissora de micro-ondas,
- corneta receptora de micro-ondas,
- grade polarizadora,
- placa metálica refletora,
- material opticamente ativo.

3.4.2 Emissão e recepção de micro-ondas

O mecanismo de produção de ondas eletromagnéticas de mais simples visualização é o dipolo elétrico oscilante que consiste em cargas elétricas vibrando ao longo de um pequeno condutor reto criando campos elétrico \mathbf{E} e indução magnética \mathbf{B} oscilantes que propagam no espaço. Além de ser o processo de mais fácil visualização, a radiação de dipolo elétrico

oscilante é o mais importante mecanismo de produção de ondas eletromagnéticas desde a faixa de radiofrequências, micro-ondas, luz visível e radiação ultravioleta, as duas últimas através das transições dipolares dos elétrons de valência em átomos e moléculas.

Devido à elevada frequência (e pequeno comprimento de onda) da micro-onda, a mesma não pode ser gerada pelos processos usuais utilizando circuitos osciladores LC convencionais como é comum em radiofrequências. Para a geração de micro-onda utiliza-se uma válvula termo-iônica especial (Klystron) que acelera o elétron dentro de uma cavidade ressonante e produz a oscilação desejada em uma única frequência. Essa oscilação é acoplada a uma pequena antena no interior de um guia de ondas metálico retangular (tubo de seção retangular) terminado por uma corneta que realiza a transição entre o guia e o espaço aberto. A corneta concentra e direciona a radiação no interior de um determinado ângulo sólido limitando a divergência do feixe no espaço. A onda emitida é *linearmente polarizada* na direção da antena. Convencionaremos a direção vertical como sendo a direção normal, figura (Fig. 3.7). Para mudar a direção de polarização basta girar a corneta emissora em torno do seu eixo.

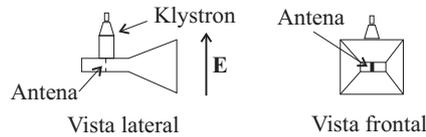


Figura 3.7: Corneta emissora de micro-ondas.

O receptor também possui uma corneta acoplada um guia de ondas que contém uma antena formada por um diodo semiconductor para alta frequência localizado no interior do guia de ondas, na mesma posição do guia do emissor. A onda recebida é guiada até à antena onde o campo elétrico produz uma corrente elétrica oscilante que é retificada pelo diodo e detectada por um microamperímetro em um circuito externo. O vetor densidade de corrente \mathbf{J} na antena é proporcional ao campo elétrico \mathbf{E} que chega à antena ($\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$), portanto, a corrente é proporcional a este campo. Contudo, o campo elétrico que é guiado até à antena é a *projeção do campo elétrico da onda recebida que está na direção da antena*. Se o campo elétrico da onda que chega à boca da corneta for oblíquo com relação a essa direção, apenas o componente paralelo do campo será detectado. A indicação no microamperímetro é *aproximadamente* proporcional à intensidade da onda. Essa aproximação é um tanto grosseira, de forma que esse valor de corrente serve apenas para indicar a presença ou a ausência de um componente do campo elétrico na direção da antena.

3.4.3 Meio opticamente ativo para micro-ondas

É possível criar um meio opticamente ativo na faixa de micro-ondas utilizando-se elementos macroscópicos na forma de pequenas espirais de arame (molas) sustentados por um material isolante e transparente (isopor) a esta radiação. Essas pequenas espirais causam rotação na direção de polarização do campo elétrico da micro-ondas de modo completamente análogo à atividade óptica de uma solução de açúcar ou um cristal de quartzo. As espirais são montadas em placas paralelas de isopor em um arranjo repetitivo de modo a simular um cristal (o quartzo por exemplo) ou no interior de esferas de isopor orientadas ao acaso em uma situação que simula as moléculas de açúcar dissolvidas na água. As espirais podem ser

construídas à esquerda ou à direita as quais, individualmente, giram a direção de polarização de modo respectivo. Se todas as espirais forem do mesmo tipo, por exemplo, à direita, o efeito global será de girar a direção de polarização também à direita. Se forem misturadas com as mesmas quantidades não haverá mudança na direção de polarização.

3.4.4 Parte Experimental

Polarização linear

Arme o dispositivo como mostra a figura (Fig. 3.8).

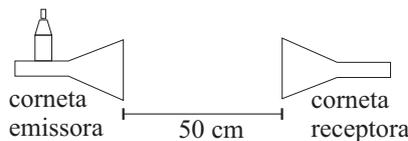


Figura 3.8: Arranjo experimental para verificação da polarização linear da micro-onda.

As cornetas emissora e receptora devem estar com suas antenas na posição normal (vertical). Ligue o emissor e o receptor aguardando dois minutos para o aquecimento da válvula Klystron. Ajuste o botão *Gain* (ganho) no aparelho receptor para uma posição intermediária (aproximadamente metade do giro) e em seguida ajuste o botão *Klystron voltage* procurando a posição em que se observa a máxima deflexão no miliamperímetro do receptor. Se o ponteiro ultrapassar o fundo de escala reduza o ganho do receptor. Você poderá encontrar duas ou mais posições do botão do transmissor que produzirão uma grande deflexão no miliamperímetro, escolha a que produz maior deflexão.

Ajuste o botão de ganho no receptor para 0,8 mA como um valor de referência.

Folgue o parafuso que fixa o eixo da corneta receptora e gire esta corneta em torno de seu eixo e anote o que acontece. **Atenção:** Não force o giro pelo do círculo graduado, gire pelo eixo metálico!

Volte a corneta receptora à posição normal (antena vertical) e aperte o parafuso de fixação. Coloque a grade polarizadora entre as cornetas e gire a grade mantendo seu plano frontalmente às cornetas (mantendo-a perpendicular ao eixo das cornetas) e anote o que ocorre (Fig. 3.9).

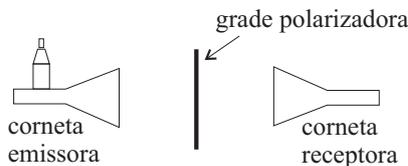


Figura 3.9: Arranjo experimental para verificação do efeito da grade polarizadora na transmissão.

Agora ponha as duas cornetas lado a lado e, à frente destas, a uma distância de aproximadamente 30 cm, uma placa metálica, figura (Fig. 3.10).

Ajuste a posição desses elementos e o ganho do receptor de modo a obter, novamente, aproximadamente 0,8 mA. Substitua a placa pela grade polarizadora com as barras na

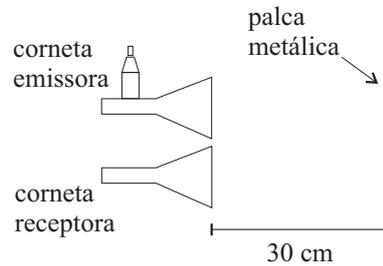


Figura 3.10: Arranjo experimental para verificação do efeito da grade polarizadora na reflexão.

posição vertical e observe o resultado. Gire a grade até as barras ficarem na horizontal e observe. Anote tudo que acontece.

Rotação da direção de polarização

Coloque novamente as cornetas frente a frente, separadas de 50 cm, e ajuste o ganho do receptor novamente para 0,8 mA. Gire a corneta receptora em torno do seu eixo até que nenhuma corrente seja detectada no miliamperímetro. Coloque então a grade entre as cornetas com as barras formando 45° com a direção horizontal. Observe e anote o que ocorre. Pense em uma explicação para o fato observado.

Polarização elíptica e circular

Nesse item vamos verificar como uma onda com polarização linear pode ser transformada em uma onda com polarização elíptica por um processo de reflexão.

Inicialmente, gire a *corneta transmissora* de modo que a direção de polarização (direção da antena interna) forme 45° com a horizontal. O objetivo é gerar um campo elétrico inclinado de modo que possamos trabalhar com os componentes vertical e horizontal deste campo.

Com a corneta transmissora nessa posição, arme o dispositivo da figura (Fig. 3.11) dirigindo o sinal transmitido para um refletor metálico com um ângulo de incidência de 45° . Ponha a corneta receptora de forma a captar o sinal refletido a aproximadamente 45° com a superfície refletora (lembre-se que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão).

Gire a corneta receptora em torno de seu eixo até que a corrente indicada no miliamperímetro seja máxima e ajuste o ganho do receptor para que esta corrente seja 0,8 mA.

Gire, agora, a corneta receptora até que a corrente seja nula. Nessa situação, o campo elétrico que chega à corneta receptora está perpendicular à antena receptora desta corneta.

Ponha a grade polarizadora, com as hastes verticais, à frente da placa metálica, sobre os pés de madeira e encostada na placa. Meça a distância entre a placa e a grade e anote este valor. Gire a corneta receptora em torno de seu eixo, anotando, a cada 45° , a corrente. Você deverá perceber uma grande variação na corrente à medida que gira a corneta. Na posição correspondente à máxima corrente, a direção da antena receptora coincide com o eixo maior da elipse de polarização enquanto que, na posição de mínima corrente, a direção da antena receptora coincide com o eixo menor da elipse.

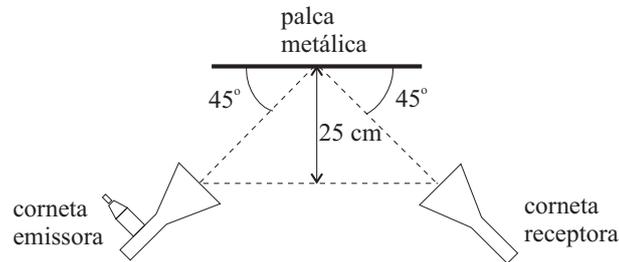


Figura 3.11: Arranjo experimental para geração de uma onda elipticamente polarizada.

Afaste um pouco (≈ 2 mm) a grade com relação à placa mantendo-a paralela, repita o procedimento de giro da corneta receptora e observe a variação. Continue afastando aos poucos e repetindo o giro até encontrar uma posição para a grade em que a variação da corrente seja a mínima possível. Anote a distância entre a grade e a placa em que isso ocorre bem como os valores da corrente. Nesse ponto, a polarização é aproximadamente circular (eixo maior da elipse igual ao eixo menor).

Atividade óptica

Coloque as cornetas frente a frente de modo permitir a introdução, entre elas, das caixas contendo o meio opticamente ativo e ajuste a corrente para 0,8 mA. Utilize o bloco de isopor entre a mesa e a caixa para ajustar a altura da caixa, figura (Fig. 3.12).

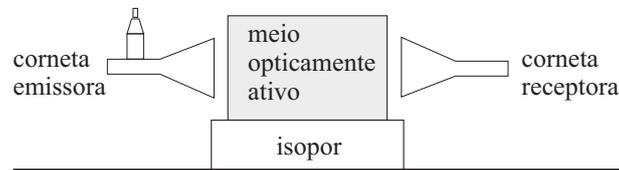


Figura 3.12: Arranjo experimental para verificação da atividade óptica.

Antes de colocar as caixas, gire a corneta receptora até obter corrente mínima no miliamperímetro. Coloque a caixa com as esferas de isopor marcadas de vermelho entre as cornetas e observe o que acontece. A seguir gire um pouco a corneta receptora de modo a restabelecer a corrente mínima, anotando o ângulo de giro e o sentido de rotação necessário para isso. Execute esse procedimento também para o outro meio opticamente ativo com esferas marcadas de preto. Meça e anote o comprimento das duas caixas.

Experimente também com o meio opticamente ativo que simula um cristal. Esse meio contém placas de isopor preenchidas por pequenas molas regularmente espaçadas.

3.5 TRABALHO COMPLEMENTAR

- Interprete o gráfico de $I_2 \times \cos^2\theta$ com base na Lei de Malus. A partir do gráfico, encontre o valor da intensidade incidente no analisador. Compare este resultado com a intensidade I_1 medida.

- Com base na teoria do experimento justifique todos os resultados obtidos nas seções 3.4.4 a 3.4.4;
- das medidas realizadas na seção 3.4.4 calcule a constante de rotação (ângulo de giro dividido pelo comprimento do meio opticamente ativo) para os meios opticamente ativos que você utilizou.

3.6 BIBLIOGRAFIA

[3], [14]