

Laboratório de Física Moderna

FÍSICA ONDULATÓRIA COM COMPRIMENTO DE ONDA MACROSCÓPICO

INTERFERÊNCIA COM MICRO-ONDAS (Experiência A.2)

PRINCÍPIOS E OBJETIVOS

Fenômenos óticos de interferência são investigados com uso de feixes de micro-ondas e objetos com dimensões macroscópicas atuando como refletores parciais (semi refletores). Também são investigados a dependência da intensidade da radiação com a distância à fonte e a lei de Malus, simulando ondas planas linearmente polarizadas.

TÓPICOS RELACIONADOS

Geração e detecção de micro-ondas, cavidades de ressonância, interferômetro de Fabry-Perot, interferômetro de Michelson, ondas polarizadas, lei de Malus, variação da intensidade de radiação com a distância.

EQUIPAMENTO

Gerador de micro-ondas linearmente polarizadas, de frequência 10,525 GHz, a partir de diodo Gunn e cavidade ressonante. Detector de micro-ondas com sensor de alta frequência, tipo diodo Schottky. Trilhos óticos lineares com escalas de comprimento de precisão mínima de 1 mm. Metais semi refletores para simulação de interferômetro Fabry-Perot de dimensões macroscópicas. Suportes angulares, para atuação como goniômetros, com regulagem de giro de -90 a 90° , com precisão de 5° .

TAREFAS EXPERIMENTAIS

1. Investigar a variação da intensidade de uma fonte de radiação de micro-ondas em função da distância e verificar o estado de polarização do feixe, com apresentação da lei de Malus.
2. Estudar o interferômetro de Fabry-Perot utilizando radiação de micro-ondas e determinar o comprimento de onda da radiação.

PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO

Familiarização com o equipamento - Medidas iniciais:

1. Com o arranjo experimental esquematizado na Fig. 1(a), é possível o estudo das principais características do sistema no que diz respeito à transmissão e detecção de micro-ondas.
2. O transmissor consiste em um diodo cilíndrico Gunn dentro de uma cavidade ressonante de 10,525 GHz (comprimento de onda $\lambda \approx 2,85$ cm), dando origem a uma radiação coerente com cerca de 15 mW de potência, linearmente polarizada ao longo do eixo do diodo. A Fig. 1(b) mostra a corneta de saída do transmissor, que irradia um intenso feixe de micro-ondas centrado ao

longo do seu eixo de simetria. O projeto da corneta é produzir reflexões em suas faces de forma a transformar frentes de onda cilíndricas em frentes de onda quase planas, na saída da corneta.

- Uma corneta idêntica é ligada ao receptor de micro-ondas, Fig. 1.(b), o qual consiste em um diodo Schottky. O formato da corneta garante focalização máxima do feixe sobre o diodo. Este diodo responde somente à radiação de 10,525 GHz que é polarizada linearmente ao longo do seu eixo, dando origem a uma tensão dc efetiva, cuja magnitude varia de acordo com a intensidade da radiação. A leitura no medidor acoplado ao receptor fornece um valor que, para sinais de baixa amplitude, é aproximadamente proporcional a essa intensidade. (É importante observar que em geral essa leitura não é exatamente proporcional nem à intensidade da onda e nem à amplitude do campo elétrico, devido às características não-lineares dos diodos do transmissor e do receptor. Isso não traz nenhum inconveniente já que todas as medidas são feitas de forma comparativa e não absoluta.) A tensão dc pode alternativamente ser lida diretamente com um voltímetro conectado aos terminais disponíveis no receptor, mas nesse experimento isso não é necessário.

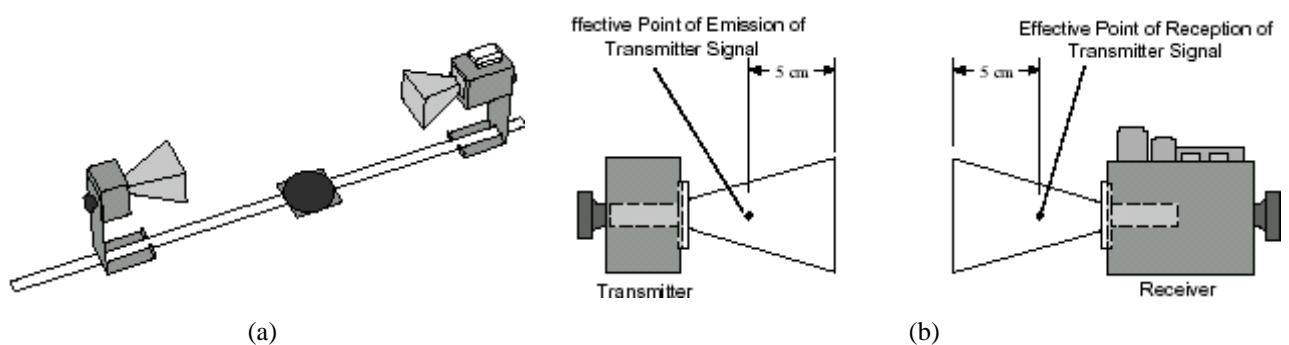


Fig. 1: (a) Arranjo experimental para os testes iniciais. (b) Transmissor e receptor de micro-ondas, com suas cornetas.

- O receptor possui um seletor de ganhos fixos (“INTENSITY”) com quatro opções (1×, 3×, 10× e 30×). Esses valores indicam o fator pelo qual a leitura do medidor deve ser multiplicada para normalizar as medidas efetuadas em diferentes escalas, contanto que o controle contínuo de sensibilidade (“VARIABLE SENSITIVITY”) não seja alterado de uma escala para outra. Deixe, inicialmente, o seletor fixo em 30× e o controle contínuo no mínimo (totalmente sentido anti-horário).
- Posicione a corneta receptora orientada paralelamente à corneta transmissora, verificando os ângulos correspondentes que medem a orientação relativa das duas cornetas para uma leitura de 90° (veja que na Fig. 1(a) as cornetas estão a 0°).
- Posicione as cornetas na menor distância possível entre elas, algo como 30 cm. Ajuste os controles de sensibilidade para que o medidor forneça a leitura máxima, 1,00 (a escala é graduada com intervalos de 0,02) e com o conveniente fator de escala multiplicativo. Anote na folha de dados.
- Verifique como varia a intensidade da radiação detectada em função da distância entre o transmissor e o receptor. Para isso, meça a intensidade detectada mantendo o transmissor fixo e variando a posição do receptor a cada 10 cm. Quando o transmissor fixo chegar no fim da régua que determi-

- na a distância, varie a posição do transmissor de 10 em 10 cm, completando a tabela de dados. Observe que você deve evitar usar variações múltiplas do comprimento de onda (entre 2 e 3 cm) por causa do efeito de cavidade ressonante causado por reflexões indesejadas nas duas cornetas.
8. Meça agora como varia a intensidade da radiação detectada em função do ângulo entre as cornetas de transmissão e recepção. Esse procedimento, servirá para investigar o estado de polarização do feixe de micro-ondas utilizado, pois se estará aproveitando da geometria cilíndrica dos diodos transmissor e receptor, cujo campo elétrico oscila ao longo de eixo do transmissor. Qualquer alteração no ângulo da corneta do transmissor terá efeito equivalente a girar a direção de polarização em um plano perpendicular à direção de propagação do feixe de micro-ondas. Mantenha umas das cornetas fixas e gire a outra, registrando a intensidade a cada ângulo de giro de 10° .

Interferômetro de Fabry-Perot:

9. O arranjo experimental encontra-se esquematizado na Fig. 2. Duas placas não-metálicas (feitas de aglomerado de polpa de madeira), fazendo papel de refletores parciais para uma cavidade ressonante, são posicionadas paralelamente entre o transmissor e o receptor. Essa configuração é chamada de interferômetro Fabry-Perot. Para se tornar um instrumento prático, seletor de comprimentos de onda, é necessário variar lentamente a posição de uma placa em relação à outra.
10. Os feixes oscilam na cavidade Fabry-Perot, e podem interferir construtiva ou destrutivamente ao chegarem ao receptor, dependendo da posição das placas. Conecte o transmissor à fonte de alimentação e ajuste os controles do receptor de modo que um sinal com intensidade razoável seja observável no medidor (acima da metade da escala do mostrador de leitura), para interferência construtiva (ajuste inicialmente a posição de uma das placas para obter o resultado desejado).
11. Mantenha fixo o refletor mais próximo do transmissor, já que também há ondas estacionárias nessa região com intensidade apreciável, e ajuste lentamente a distância movendo o outro refletor e observe os máximos (ou mínimos, de acordo sua conveniência) de intensidade apresentados. Anote a posição do refletor próximo ao receptor para cada posição de máximo (ou mínimo) observado, até obter em torno de 20 posições diferentes. Anote a posição do outro refletor.
12. Repita as medidas acima pelo menos em mais duas séries, modificando um pouco (em torno de 4 a 5 cm) a posição inicial do refletor próximo ao transmissor, anotando todos os valores de posição correspondente a máximos (ou mínimos) do outro refletor.

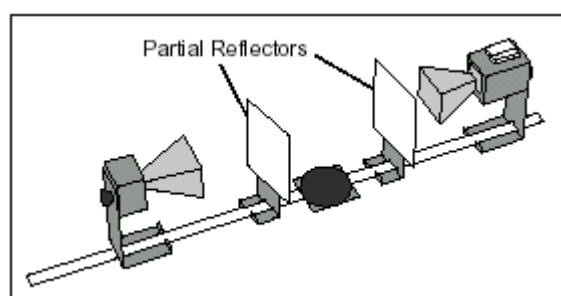


Fig. 2: Arranjo experimental do interferômetro de Fabry-Perot.

CUIDADOS QUE DEVEM SER TOMADOS EM LABORATÓRIO

1. A potência irradiada pelo transmissor de micro-ondas é suficientemente baixa para estar dentro dos níveis padronizados de segurança para o operador. Aqui não há qualquer problema de radiação ionizante. Quanto a aquecimento produzido em tecidos compostos de água, lembramos que a frequência de operação de aparelho de micro-ondas caseiro é limitada a 2,45 GHz e alguns aparelhos chegam a 1.000 W de potência. O fenômeno de aquecimento é gerado pela rotação do dipolo presente na molécula de água. Somente frequências acima de 1.000 GHz é que são capazes de produzir excitações (vibrorrotacionais) ressonantes na molécula de água. Entretanto, por precaução, jamais olhe diretamente para a corneta de transmissão quando o transmissor está ligado.
2. Micro-ondas podem causar interferência em dispositivos médicos eletrônicos, como marcapassos. Caso o operador faça uso de qualquer dispositivo desse tipo, deve-se consultar um médico especialista para avaliar a possibilidade de risco causada pela irradiação de baixa potência do aparelho de micro-ondas na frequência de 10,525 GHz, disponível no laboratório.
3. Mantenha sempre todo o aparato experimental limpo e sobre uma superfície firme, limpa e sem rugosidades. Especial cuidado deve ser tomado com partículas metálicas, que atuam como excelentes refletores de micro-ondas.
4. Também deve ser evitado apor a cabeça, ou braços, no interior do aparato instrumental durante as medidas. O corpo humano é composto de várias moléculas polares e radicais livres que podem apresentar polarizabilidade e/ou condutividade, que certamente afetam as medidas.
5. Certifique-se de que o detector de micro-ondas está desligado após o término do experimento, pois senão as duas baterias de 9 V, razoavelmente caras, se consumirão de um dia para o outro.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. Supondo que a intensidade de radiação se distribua uniformemente através do espaço em esfera de raio r , espera-se que a dependência da intensidade de radiação com a distância seja

$$I(r) = \frac{I_0}{r^2} . \quad (1)$$

2. A lei de Malus, que relaciona a intensidade de radiação como função do ângulo θ entre a direção de polarização do campo incidente em relação à direção de polarização do receptor, é dada por

$$I(r) = I_0 \cos^2 \theta . \quad (2)$$

3. Os máximos de interferência no interferômetro Fabry-Perot ocorrem quando a distância d entre os semi refletores e o comprimento de onda da radiação λ se relacionam com n , um número inteiro representativo da ordem de interferência, através da relação

$$d = n \lambda / 2 . \quad (3)$$

QUESTÕES E CONCEITOS A SEREM PREVIAMENTE COMPREENDIDOS

1. Explique o que você entende por coerência de um feixe de ondas eletromagnéticas e qual a importância da coerência nos fenômenos de interferência.
2. Discuta a lei de Malus, explicando-a detalhadamente, e justifique a dependência da intensidade de radiação em função da distância à fonte.
3. Verifique o valor do comprimento de onda, para a frequência da radiação de micro-ondas usada nesta prática, obtendo seu valor no ar com precisão (consulte o valor do índice de refração n_{ar}).
4. Deduza as condições de máximo no interferômetro de Fabry-Perot, Eq. 3, esquematizando as trajetórias e diferenças de caminhos dos feixes que interferem entre si. Qual espaçamento entre os dois refletores parciais deverá causar um mínimo de interferência?
5. Discuta algumas aplicações práticas de micro-ondas e explique brevemente como funciona um forno de micro-ondas.

PROCEDIMENTOS E CÁLCULOS A SEREM EFETUADOS NO RELATÓRIO

1. Apresente em uma tabela, e em um gráfico, os resultados de variação da intensidade da radiação detectada em função da distância entre o transmissor e o receptor.
2. Verifique graficamente se a intensidade da radiação detectada varia com o inverso do quadrado da distância entre o transmissor e o receptor. Era de se esperar que fosse essa a forma de variação? Discuta o resultado encontrado. Analise fontes graves de erro nessa parte do experimento.
3. Apresente em uma tabela, e em um gráfico, os resultados de variação da intensidade da radiação detectada em função do ângulo entre as cornetas de transmissão e recepção.
4. Verifique graficamente se a variação da intensidade da radiação detectada em função do ângulo entre as cornetas obedece à lei de Malus. Discuta o resultado encontrado.
5. Apresente em uma tabela os resultados das medidas efetuadas com o Fabry-Perot, em função de um índice sequencial inteiro, começando no valor 1 cada série de medidas
6. Monte gráficos da distância entre os dois refletores parciais no interferômetro de Fabry-Perot, ou da posição apenas do refletor movido, em função do índice de contagem dos máximos de interferência observados. Note que, apesar de não se saber exatamente qual o valor do índice n inicial, a contagem pode ser reiniciado com o valor 1 (um). Explique porque isso não afeta o resultado das declividades dos gráficos.
7. Obtenha, a partir dos coeficientes angulares dos gráficos de cada série de medidas, o valor médio do comprimento de onda da radiação de micro-ondas acompanhado da respectiva incerteza. Compare percentualmente o resultado obtido com o valor esperado.

DISCUSSÕES ADICIONAIS

1. Discuta brevemente como se dão os processos de geração e de emissão de micro-ondas. O que são cavidades de ressonância e qual o seu papel nesses processos?
2. Explique quais as vantagens de se utilizar feixes de micro-ondas, no lugar de luz visível tal como a de um laser, para o estudo de fenômenos óticos como interferência e polarização.
3. Os interferômetros foram usados nesta prática para obtenção do comprimento de onda da radiação de micro-ondas, uma vez medidas as distâncias entre os refletores envolvidos. Uma aplicação no sentido inverso dos interferômetros consiste na obtenção com precisão de distâncias a partir de radiações com comprimentos de onda conhecidos. Estime a distância mínima que um interferômetro é capaz de fornecer com precisão. Faça estimativas numéricas para interferômetros de micro-ondas e interferômetros óticos (operando com luz visível).
4. Discuta algumas aplicações práticas dos interferômetros Fabry-Perot.

BIBLIOGRAFIA

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vol. 4, LTC, 4^a ed., Rio de Janeiro, 1993.
2. J. Smit, Micro-ondas, Livros Érica Editora Ltda, São Paulo, 1987.
3. J. R. Reitz, F. J. Milford, R. W. Christy, Fundamentos da Teoria Eletromagnética, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1982.
4. A. C. Melisinos, Experiments in Modern Physics, Academic Press, New York, 1966.
5. F. A. Jenkins, H. White, Fundamentals of Optics, McGraw Hill, 1976.
6. J. R. Meyer-Arendt, Introduction to Classical and Modern Optics, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
7. Microwave Optics, Manual de instruções – PASCO Scientific, 1991.
8. M. Ferenç Jr., H. B. Lemon, R. J. Stephenson, Curso de Física – Eletrônica e Física Moderna, Edgrad Blücher Ltda.

Redação: Prof. Jair C. C. Freitas e Prof. Rogério N. Suave

FOLHA DE DADOS

Medidas iniciais

(i) INTENSIDADE x DISTÂNCIA

(ii) INTENSIDADE x ÂNGULO

| DISTÂNCIA | |
|-----------|------------|
| r (cm) | I (u.a.) |
| 30,0 | x |
| 40,0 | x |
| 50,0 | x |
| 60,0 | x |
| 70,0 | x |
| 80,0 | x |
| 90,0 | x |
| 100 | x |

| ÂNGULO (horário) | | ÂNGULO (anti-horário) | |
|------------------|------------|-----------------------|------------|
| θ | I (u.a.) | θ | I (u.a.) |
| 0° | x | 0° | x |
| 10° | x | 10° | x |
| 20° | x | 20° | x |
| 30° | x | 30° | x |
| 40° | x | 40° | x |
| 45° | x | 45° | x |
| 50° | x | 50° | x |
| 60° | x | 60° | x |
| 70° | x | 70° | x |
| 80° | x | 80° | x |
| 90° | x | 90° | x |

Interferômetro Fabry-Perot

Posições d (cm) do refletor móvel para _____ (máximos/mínimos) de interferência:

| # | 1ª série | 2ª série | 3ª série | 4ª série |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| 6. | | | | |
| 7. | | | | |
| 8. | | | | |
| 9. | | | | |
| 10. | | | | |
| 11. | | | | |
| 12. | | | | |
| 13. | | | | |
| 14. | | | | |
| 15. | | | | |
| 16. | | | | |
| 17. | | | | |
| 18. | | | | |
| 19. | | | | |
| 20. | | | | |
| Posições do refletor fixo: | | | | |