

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
FIS 124 - FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL IV / LABORATÓRIO
PROF.: *José Fernando*
Turma: Teórica/ Prática T: P: 13 Data: 13/09/2002
Aluno: *Adriano L. do Valle*



INTERFERÊNCIA DE MICROONDAS
(RELATÓRIO / EXPERIÊNCIA 11)

I - OBJETIVOS

*Estudar a interferência de microondas
Medir o comprimento de onda de microondas*

II - INTRODUÇÃO

Neste experimento vamos efetuar algumas medidas relacionadas a fenômenos elétricos, magnéticos e ondulatórios.

- *Interações eletromagnéticas*
- *Interferência*
- *Refração*
- *Reflexão*

As grandezas físicas lidas diretamente no espectrômetro são:

- *Corrente elétrica*
- *Medidas de comprimento*
- *Medidas de ângulos*

As grandezas físicas determinadas indiretamente são:

- *Comprimento de onda.*
- *Diferença de fase*

III - PARTE TEÓRICA

III. 1- Ondas eletromagnéticas

A interação eletromagnética pode ser descrita a partir de dois campos vetoriais, O campo elétrico E e o campo magnético B , de modo que uma carga na presença destes campos sofre a ação de uma força $F = q (E + v \times B)$. As fontes dos campos E e B são cargas e correntes elétricas.

A partir das Equações de Maxwell e das observações experimentais de Hertz, o caráter transversal de propagação dos campos elétricos e magnéticos e sua velocidade de propagação igual a $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s, permitiram reconhecer a luz como uma onda eletromagnética e considerar a ótica como uma parte do eletromagnetismo.

Os campos E e B são tais que o produto $\vec{E} \times \vec{B}$ indica a direção de propagação do campo eletromagnético e satisfazem uma equação de onda.

$$E_{(x,t)} = E_0 \cos(kx - \omega t + \varphi) \hat{j}$$

$$B_{(x,t)} = B_0 \cos(kx - \omega t + \varphi) \hat{j}$$

onde:

- E_0 e B_0 são as amplitudes dos campos com $\frac{E_0}{B_0} = c$
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (onde λ é o comprimento de onda)
- $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (onde T é o período de uma oscilação)

III. 2 – Interferência de ondas eletromagnéticas

A superposição de uma onda é uma onda. Considere duas ondas harmônicas esféricas elétricas de mesma frequência.

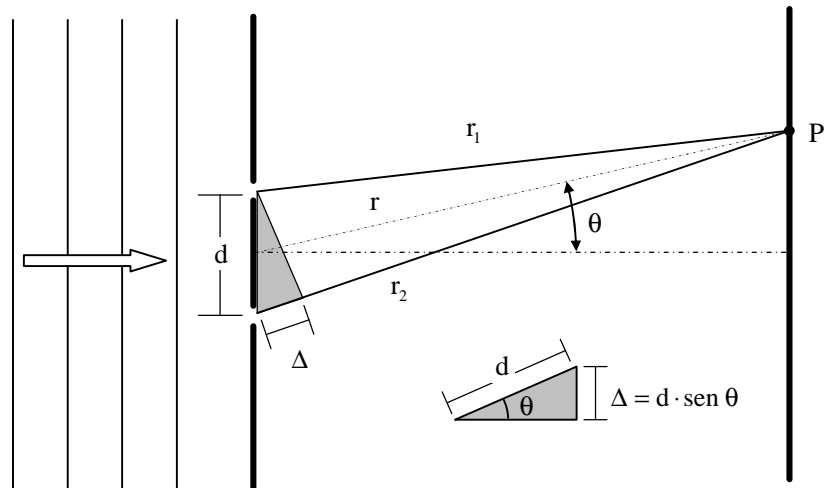
$$E_{1(r,t)} = E_{10(r)} \cos(k_1 r - \omega t + \phi_1)$$

$$E_{2(r,t)} = E_{20(r)} \cos(k_2 r - \omega t + \phi_2)$$

com $k_1 = k_2$, campo elétrico resultante E é então, $E_{(r,t)} = E_{1(r,t)} + E_{2(r,t)}$.

III. 2.1 – A dupla fenda de Young

Uma onda plana incide perpendicularmente ao plano das fendas. Cada fenda atua como fonte emissora de ondas secundárias. Em um ponto P de um anteparo, queremos determinar a superposição de ondas emitidas pelas duas fendas.



As duas ondas podem ser escritas na forma

$$E_{1(r,t)} = E_{10(r)} \cos(k_1 r - \omega t)$$

$$E_{2(r,t)} = E_{20(r)} \cos(k_2 r - \omega t)$$

onde $k_1 r = k r_1$ e $k_2 r = k r_2$. A diferença de fase entre as duas ondas, no ponto P , é escrita como

$$\delta = k \cdot (r_1 - r_2) = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

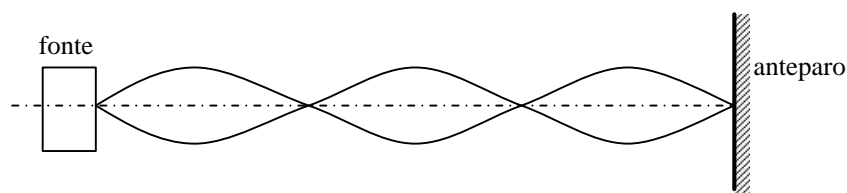
E da condição de máximos e mínimos da intensidade podem ser encontradas

$$\text{Máximo: } \Delta = m \lambda \quad \text{P } d = 2m p$$

$$\text{Mínimo: } \Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad \text{P } d = (2m + 1)p, \text{ com } m = 0, 1, 2, 3, \dots \text{ nas duas expressões.}$$

III. 2.2 – Ondas estacionárias

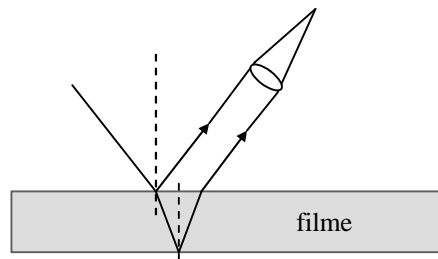
Uma outra situação na qual há interferência entre duas ondas, é quando uma onda atinge perpendicularmente um anteparo e é refletida. A superposição das duas ondas produzirá uma onda estacionária. O campo elétrico de uma onda estacionária é dado por $E = 2E_0 \sin kx \times \sin \omega t$.



Movimentando-se o anteparo na direção da linha que o une à fonte, um ciclo é completado a cada meio comprimento de onda percorrido pelo anteparo. Deste modo a distância entre dois mínimos (ou dois máximos) é igual a meio comprimento de onda.

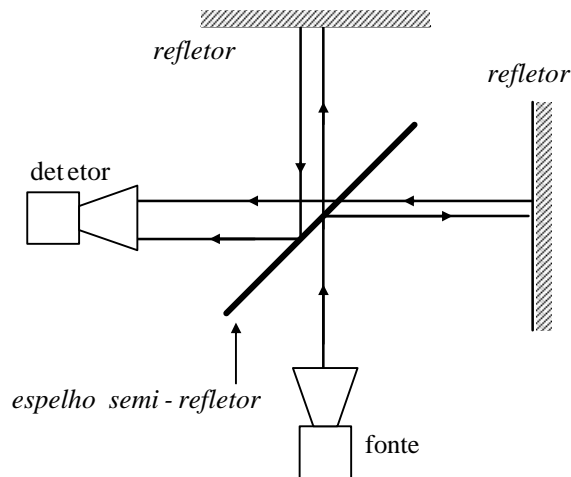
III. 2.3 – Interferência por filmes finos

O filme é uma película fina e transparente de modo que a onda incidente é refletida nas suas duas interfaces. A diferença de caminho óptico percorrido e as características da reflexão nas duas interfaces modificarão a fase relativa entre as duas ondas.



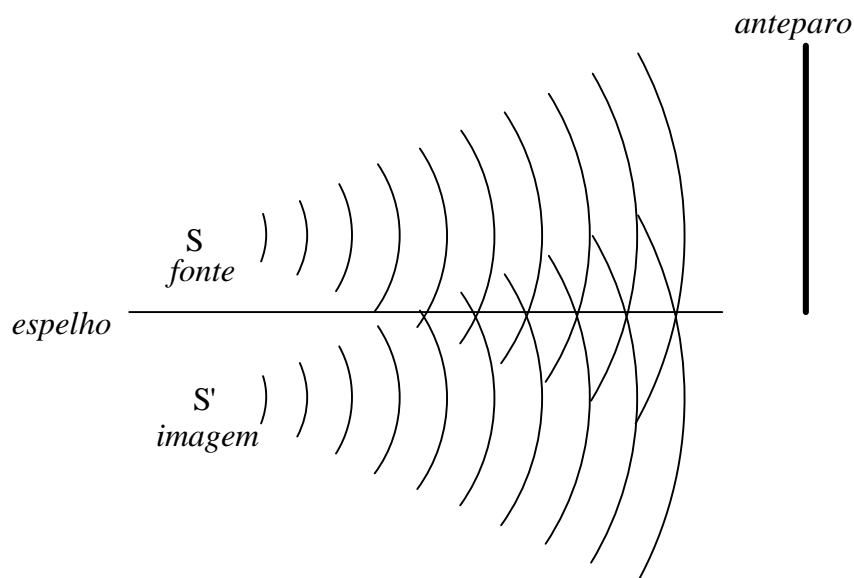
III. 2.4 – Interferência de Michelson

O equipamento utilizado, chamado de interferômetro de Michelson, é visto na figura. Uma onda plana incide num espelho semi-refletor de modo que uma parte da onda é refletida e a outra é transmitida. Como o resultado das duas ondas dirigem-se ao detector. Estas duas ondas irão se superpor e interferirão uma na outra. A diferença de caminhos percorridos pelas duas ondas fará com que a interferência seja construtiva ou destrutiva.



III. 2.5 – O espelho de Lloyd

Considere o dispositivo representado na figura. Uma onda esférica incide sobre o espelho. Em um anteparo colocado perpendicularmente ao espelho observa-se duas ondas, a primeira devido à propagação direta do sinal e a segunda devido à reflexão no espelho. A diferença de caminho óptico e a inversão de fase na reflexão levarão à variação da fase relativa entre as duas ondas e novamente haverá interferência entre as duas ondas. A diferença de caminhos percorridos pelas duas ondas fará com que a interferência seja construtiva ou destrutiva.



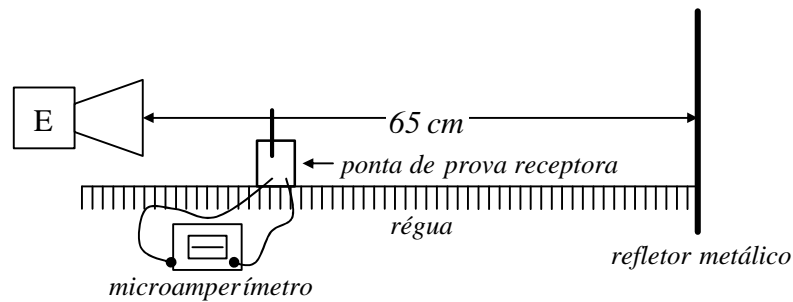
IV - PARTE EXPERIMENTAL

LISTA DE MATERIAL

- Corneta emissora de microondas polarizadas
- Corneta receptora
- Ponta de prova receptora
- Fonte de corrente contínua 10 – 12 V
- Micro-amperímetro
- Anteparo metálico grande (2)
- Anteparo metálico pequeno
- Régua
- Medidor de ângulo
- Placa semi-refletora
- Década de resistores.

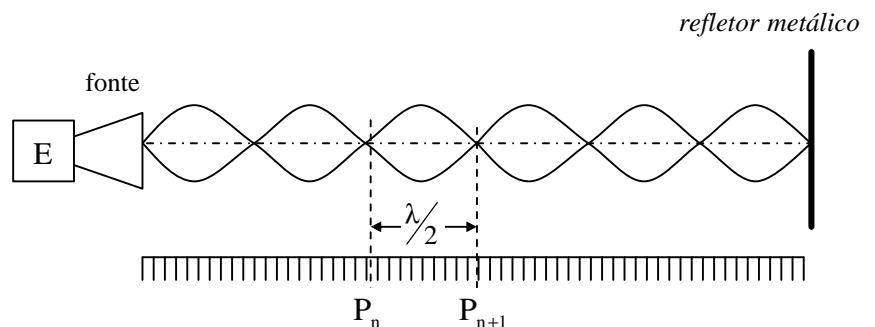
IV. 1 – Ondas estacionárias

Colocamos a corneta emissora e o anteparo metálico conforme o esquema a seguir.



Ligamos a ponta de prova receptora ao micro-amperímetro e a colocamos entre o anteparo e a corneta emissora (no eixo da corneta). Usando a régua como guia, deslocamos a ponta de prova e identificamos dez mínimos de corrente no amperímetro.

P (cm)	1/2 (cm)
21,7	
22,9	1,2
24,2	1,3
25,7	1,5
27,1	1,4
28,5	1,4
29,8	1,3
31,3	1,5
32,7	1,4
34,0	1,3
Média	1,4
Desvio Padrão	0,1

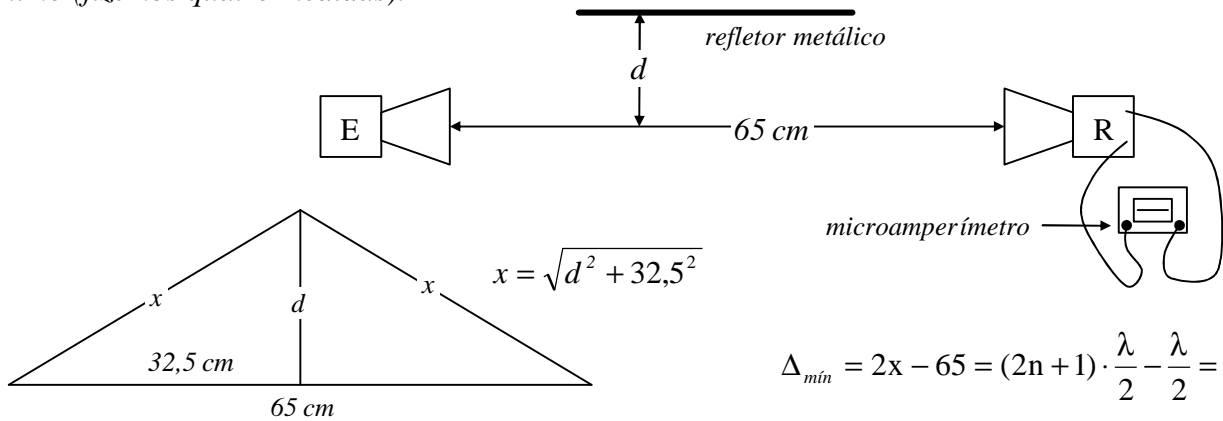


$$P_{n+1} - P_n = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2 \times (1,4 \pm 0,1) = (2,8 \pm 0,2) \text{ cm}$$

IV. 2 – Espelho de Lloyd para microondas

Armamos o dispositivo descrito na figura. Movimentamos o refletor metálico paralelamente ao eixo das cornetas. Medimos a distância d para as quais a corrente indicada no micro-amperímetro é um mínimo (fizemos quatro medidas).



d (cm)	x_n (cm)	$2x_n$ (cm)	l (cm)
9,6	33,9	67,8	
14,2	35,5	70,9	3,2
17,5	36,9	73,8	2,9
21,0	38,7	77,4	3,6
Média			3,2
Desvio Padrão			0,3

$$\Delta_{\min} = 2x - 65 = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} = n \cdot \lambda$$

$$2x_n - 65 = n \cdot \lambda$$

$$2x_{n+1} - 65 = (n + 1) \cdot \lambda$$

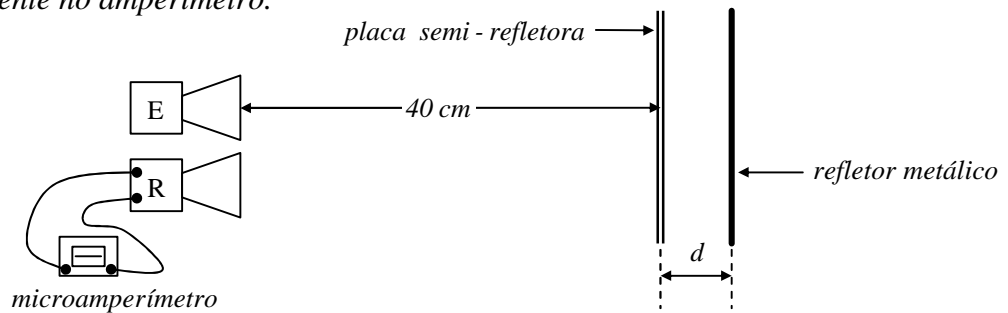
$$2x_{n+1} - 65 - (2x_n - 65) = (n + 1) \cdot \lambda - n \cdot \lambda$$

$$2x_{n+1} - 2x_n = \lambda$$

$$\lambda = (3,2 \pm 0,3) \text{ cm}$$

IV. 3 – Interferência de filme fino

Montamos os equipamentos conforme o esquema. Ligamos a fonte. Colocamos a placa metálica refletora atrás da semi-refletora, inicialmente a uma distância de 5 cm. Afastando a placa metálica (mantendo-a perpendicular ao feixe incidente) anotamos as posições para as quais verificam-se mínimos de intensidade de corrente no amperímetro.



d (cm)	l/2 (cm)
5,0	
6,0	1,0
7,1	1,1
8,0	0,9
9,4	1,4
Média	1,1
Desvio padrão	0,2

$$\Delta_{\min} = 2 \cdot d = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$d_n = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

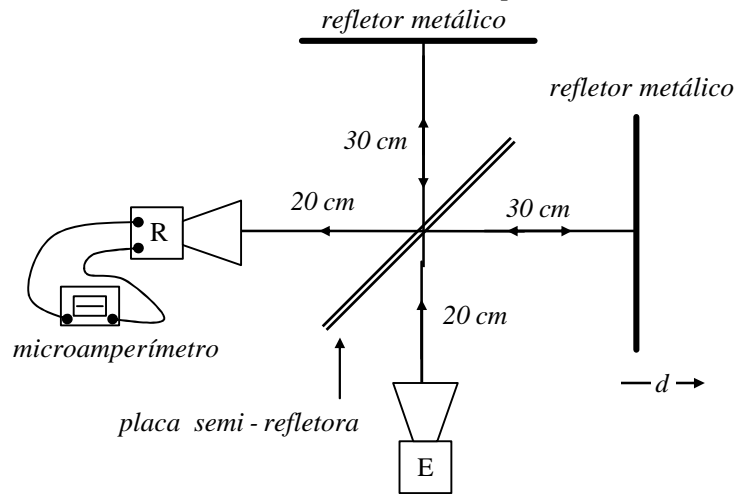
$$d_{n+1} = (2n + 3) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

$$d_{n+1} - d_n = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2 \times (1,1 \pm 0,2) = (2,2 \pm 0,4) \text{ cm}$$

IV. 4 – Interferência de Michelson

Montamos os equipamentos conforme o esquema abaixo. Verificamos o alinhamento dos elementos, Afastando uma das placas metálica (mantendo-a perpendicular ao feixe incidente) anotamos as posições para as quais verificam-se máximos de intensidade de corrente no amperímetro.



$$\Delta_{m\acute{a}x} = 20 + 30 + 2 \cdot d + 30 + 20 - (20 + 30 + 30 + 20) = n\lambda$$

$$2 \cdot d = n\lambda$$

$$d_n = \frac{n\lambda}{2}$$

$$d_{n+1} = \frac{(n+1) \cdot \lambda}{2}$$

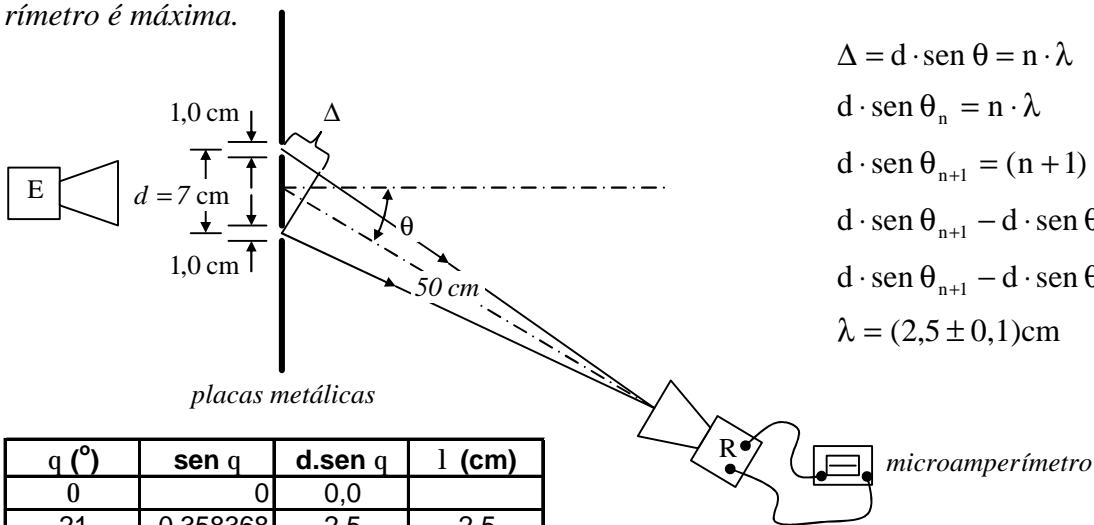
$$d_{n+1} - d_n = \frac{(n+1) \cdot \lambda}{2} - \frac{n \cdot \lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2 \cdot (1,4 \pm 0,2) \text{ cm} = (2,8 \pm 0,4) \text{ cm}$$

d (cm)	l/2 (cm)
0,5	
1,7	1,2
3,2	1,5
4,6	1,4
6,1	1,5
Média	1,4
Desvio padrão	0,2

IV. 5 – A dupla fenda de Young

Usamos duas placas metálicas grandes e uma pequena para fazer o dispositivo de dupla fenda. Movemos a corneta receptora e anotamos os ângulos para os quais a corrente indicada no microamperímetro é máxima.



$$\Delta = d \cdot \text{sen } \theta = n \cdot \lambda$$

$$d \cdot \text{sen } \theta_n = n \cdot \lambda$$

$$d \cdot \text{sen } \theta_{n+1} = (n+1) \cdot \lambda$$

$$d \cdot \text{sen } \theta_{n+1} - d \cdot \text{sen } \theta_n = (n+1) \cdot \lambda - n \cdot \lambda$$

$$d \cdot \text{sen } \theta_{n+1} - d \cdot \text{sen } \theta_n = \lambda$$

$$\lambda = (2,5 \pm 0,1) \text{ cm}$$

q (°)	sen q	d.sen q	l (cm)
0	0	0,0	
21	0,358368	2,5	2,5
45	0,707107	4,9	2,4

Médio 2,5
Desvio Padrão 0,1

V - TRABALHO COMPLEMENTAR

Relacionamos a seguir os valores encontrados para o comprimento de onda da microonda e seus respectivos desvios.

Item	$\bar{\lambda}$ (cm)	$\Delta\lambda$ (cm)
IV - 1	2,8	0,2
IV - 2	3,2	0,3
IV - 3	2,2	0,4
IV - 4	2,8	0,4
IV - 5	2,5	0,1
Valor médio	2,7	0,3

Conclusão

Com este experimento ficamos familiarizados com o fenômeno de interferência (construtiva e destrutiva), e a partir destes princípios conseguimos determinar, com boa precisão, o valor do comprimento de onda de uma microonda, ou seja, conseguimos alcançar os resultados esperados.