

**MANUAL DE ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS DO
SISTEMA BÁSICO DE ÓPTICA
MODELO WA-9314B**



PASCO

J. ROMA, Lda.

INTRODUÇÃO

Existem muitas vantagens no estudo de fenómenos ópticos na frequência das microondas. Usando um comprimento de onda de uma microonda de 2,85 cm transforma a escala das experiências. Microns transformam-se em centímetros e variáveis observadas em pequena escala em sistemas de óptica tradicionais podem ser mais facilmente observadas e manipuladas. O Sistema de Microondas da Pasco Scientific, modelo WA-9314B inclui um transmissor capaz de gerar um comprimento de onda de 2,85 cm e um receptor com um amplificador interno (capaz de amplificar entre 1x e 30x o sinal). São igualmente incluídos um conjunto de acessórios necessárias á execução das experiências. Este manual descreve as actividades experimentais e a manutenção necessária para realizar uma grande variedade de actividades.

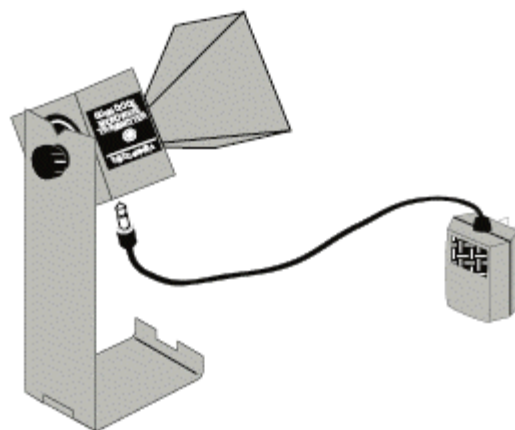
EQUIPAMENTO

Canhão diodo transmissor

Mais à frente neste manual referido apenas como transmissor, trata-se de um dispositivo capaz de gerar uma saída de microondas coerente de 15 mW, polarizada linearmente, com um comprimento de onda de 2,85 cm. A unidade consiste num canhão diodo embutida numa cavidade ressonante de 10,525 GHz, um cone para direccionar o sinal de saída e ainda um suporte de 18 cm de altura para minimizar os efeitos provocados pelo tampo da mesa de trabalho.

O transmissor pode ser alimentado directamente a partir dos 230 V usando o transformador de corrente fornecido com o sistema. Possui um LED indicador de alimentação eléctrica e uma escala rotativa para permitir medidas fáceis do ângulo de polarização.

O canhão diodo actua como uma resistência não linear que oscila na banda das microondas. A saída é polarizada linearmente ao longo do eixo do diodo e o cone embutido radia um feixe forte de radiação microondas centrada ao longo do eixo do cone.



Como trabalhar com o transmissor

Basta ligar à corrente através do transformador de corrente fornecido. Acende-se um LED indicando que a unidade está ligada.

CUIDADO: a potência de saída do transmissor está em conformidade com as normas de segurança internacionais. No entanto, nunca deverá observar a pequena distância e directamente para o interior do cone quando o transmissor está ligado.

Especificações de alimentação:

Transformador de corrente de 9 V / 500 mA

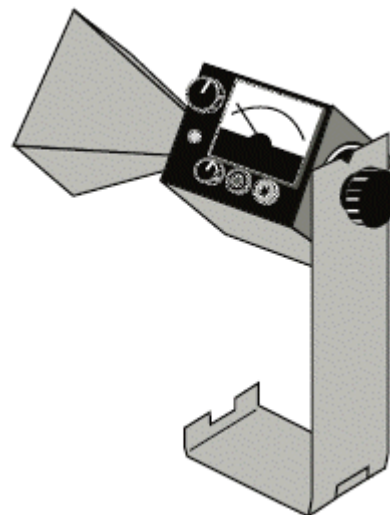
Receptor de microondas

O receptor está equipado com um medidor analógico que, a sinais de baixa amplitude, é aproximadamente proporcional à intensidade do sinal de microondas incidente. Um cone de microondas idêntico ao transmissor recebe o sinal gerado por este e canaliza o sinal para um díodo de Schottky numa cavidade de ressonância de 10,525 GHz. O díodo apenas responde à componente do sinal de microondas polarizado ao longo do eixo do díodo, produzindo uma tensão de corrente contínua que varia com a magnitude do sinal de microondas.

O receptor inclui quatro níveis de amplificação (1 a 30x) e ainda por um potenciómetro que permite um ajuste fino da amplificação em cada gama. Por outro lado o receptor possui ainda um terminal de saída que pode ser usado para um exame mais detalhado do sinal através, por exemplo, de um osciloscópio. O receptor é alimentado por uma pilha e possui igualmente um LED indicando que está ligado. Tal como o transmissor, possui um suporte de 18 cm de altura que minimizam os efeitos provocados pelo tampo da mesa de trabalho. Pode igualmente rodar em torno de um eixo e desse modo modificar o ângulo de polarização.

Um segundo terminal numa das faces do receptor, permite que lhe seja ligada uma sonda opcional (modelo Pasco Scientific WA-9319). Essa segunda sonda opcional funciona do mesmo modo que o receptor, excepto no facto de não ter um cone. Essa sonda pode ser particularmente útil para estudo de padrões de ondas em que o cone ou não permite a sua detecção ou pode servir de obstrução às medidas. Um exemplo da utilidade desta sonda opcional é dado na experiência 3 deste manual.

No entanto para a maioria das experiências o receptor por si só é o suficiente para realizar todas as actividades experimentais deste manual.



NOTA: os díodos do receptor não são dispositivos lineares. Isto no entanto não vai criar problemas nas experiências e nos resultados obtidos. No entanto é importante ter em conta de que os valores no medidor não directamente proporcionais ao campo eléctrico (E) ou à intensidade (I) da microonda incidente. Em vez apenas apresenta um valor intermédio.

Como trabalhar com o receptor

NOTA: antes de usar o equipamento deverá colocar a pilha de 9 V no receptor, incluída com o sistema.

1. Rode o selector de intensidade (INTENSITY) da posição OFF para 30x, o valor mais baixo de amplificação. Deverá ligar o LED de indicação de que a unidade está alimentada electricamente pela pilha de 9 V (caso contrário deverá substituir a pilha).

NOTA: a selecção de intensidade (30x, 10x, 3x e 1x) são valores pelo qual deve multiplicar para obter valores do medidor e para normalizar as suas medidas. Por exemplo, 30x significa que deve multiplicar a leitura do medidor por 30 para obter o mesmo valor que iri ter se estivesse a medir um sinal com selecção de intensidade de 1x. Obviamente isto só se aplica se não alterar a posição da variação de sensibilidade (VARIABLE SENSITIVITY) antes de cada medida.

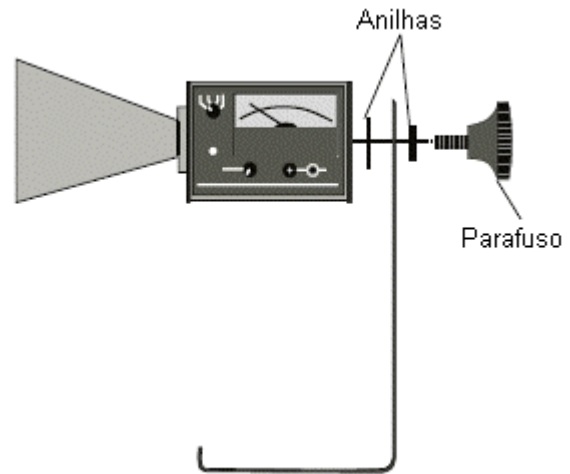
2. Direcione o cone para o sinal incidente. A não ser que estejam a ser estudados efeitos provocados pela polarização, ajuste o ângulo de polarização do transmissor e do receptor para a mesma orientação (ou seja, ambos os cones devem estar na horizontal ou na vertical).
3. Ajuste o potenciómetro de sensibilidade para obter uma medida mais ao menos a meio da escala. Se não ocorrer deflexão no medidor, aumente a amplificação rodando o potenciómetro de INTENSITY. Lembre-se que deverá multiplicar o valor de amplificação ao valor lido no medidor de modo a ter resultados quantitativos a diferentes intensidade.

MONTAGEM INICIAL

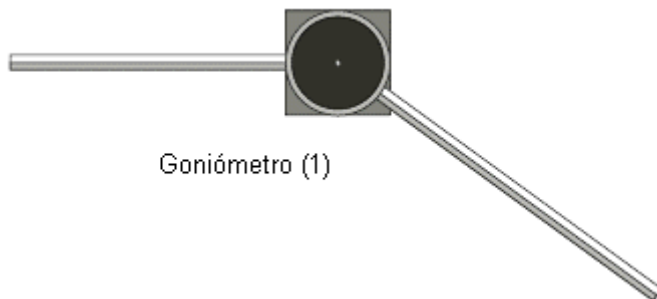
Para fixar o receptor e o transmissor aos respectivos suportes, deverá primeiramente:

1. Remover o parafuso na parte traseira de ambas as unidades;
2. Tornar a colocar o parafuso nas nos suportes adequados, tal como mostra a figura ao lado.

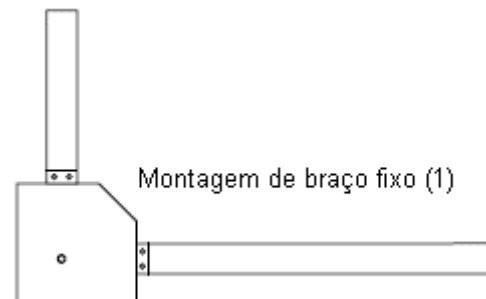
3. **Para ajustar o ângulo de polarização do transmissor e do receptor** deverá soltar ligeiramente esse parafuso e rodar a unidade tornando de seguida a apertar bem o parafuso. Note que na parte traseira de cada unidade encontra-se uma escala graduada de modo a poder ler os ângulos de polarização. Tenha no entanto em conta de que a maior parte das experiências descritas neste manual o transmissor e o receptor irão trabalhar com o mesmo ângulo de polarização, estando estes frente a frente na montagem experimental. Se rodar uma das unidades num determinado ângulo de polarização, deverá rodar a outra unidade no mesmo sentido e na mesma grandeza.



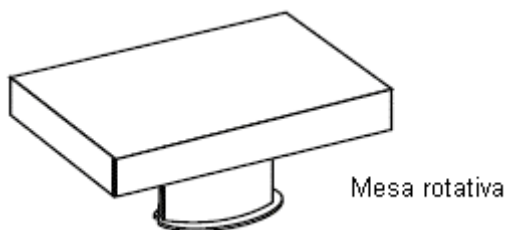
ACESSÓRIOS INCLUÍDOS



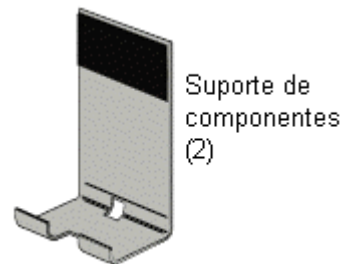
Goniómetro (1)



Montagem de braço fixo (1)



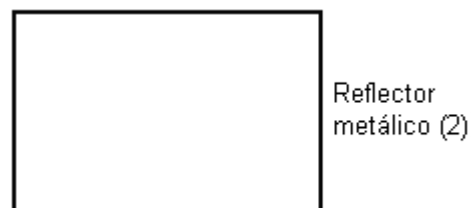
Mesa rotativa



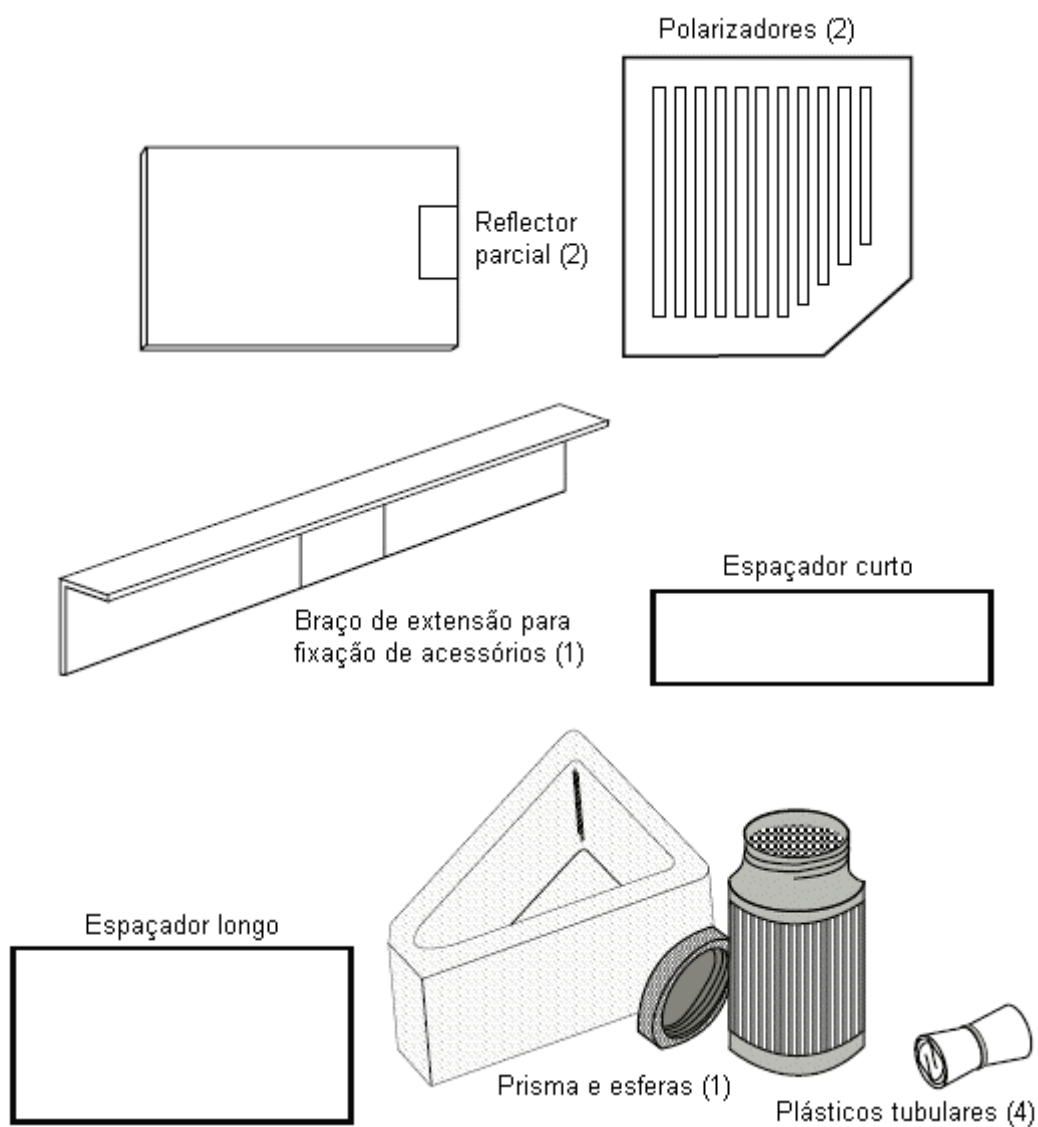
Suporte de componentes (2)



Suporte de componentes rotativo (1)



Reflector metálico (2)

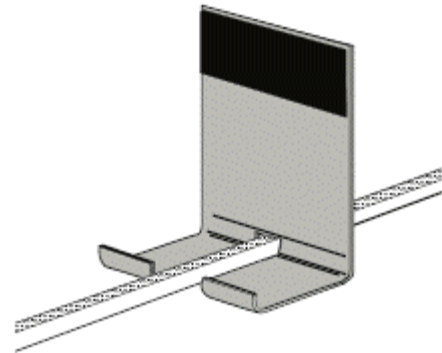


MONTAGEM PARA REALIZAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS

Os braços do goniómetro permitem o deslocamento dos acessórios de suporte de componentes. Para ajustar qualquer componente nos braços do goniómetro, basta o deslocar ao longo do braço para a posição desejada.

Na maior parte das experiências tem maior vantagem colocar o transmissor no braço mais comprido do goniómetro e o receptor no mais curto sendo este braço mais curto que deve rodar estando o outro na mesma posição. Deste modo mantêm-se uma relação fixa entre o feixe de microondas e os componentes que estejam a ser utilizados. Por outro lado o receptor move-se com maior facilidade estando montado no braço mais curto.

Os acessórios como os reflectores, os reflectores parciais, os polarizadores, os espaçadores de fendas e o braço de extensão fixam-se magneticamente aos suportes de componentes. Quer os braços do goniómetro quer o disco central encontram-se graduados para mais fácil leitura durante a realização das experiências. Quando move um dos braços do goniómetro, com a outra mão mantenha bem estável o outro braço.



NOTAS IMPORTANTES

1. **CUIDADO:** em algumas circunstâncias as microondas podem interferir com dispositivos médicos, tais como *pacemakers*. Verifique sempre se a frequência de 10,525 GHz não afectam esses dispositivos.
2. Monte sempre o equipamento para a experiência que vai realizar tendo sobre a mesa apenas e só o que de facto necessita para a sua realização. Objectos “estranhos” a essa experiência, particularmente objectos metálicos, podem afectar os resultados obtidos.

SOBRE AS EXPERIÊNCIAS

As experiências descritas neste manual incluem algumas considerações teóricas muito breves sobre a experiência a realizar. É da competência do professor que inclua outra literatura adicional para complementar os aspectos teóricos de cada experiência.

Caso não lhe tenha ainda sido fornecido, solicite à J. ROMA, Lda. o ficheiro em formato Word para que possa fazer as alterações ou cópias que achar necessárias fazer a este manual para uma melhor adaptação aos seus métodos de ensino (na última página deste manual encontrará os contactos da J. Roma, Lda. para mais informações).

EXPERIÊNCIA 1: INTRODUÇÃO AO SISTEMA

Equipamento necessário:

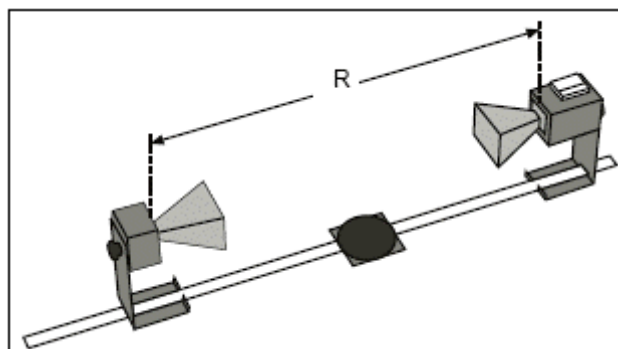
- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- 1 Reflector

OBJECTIVO

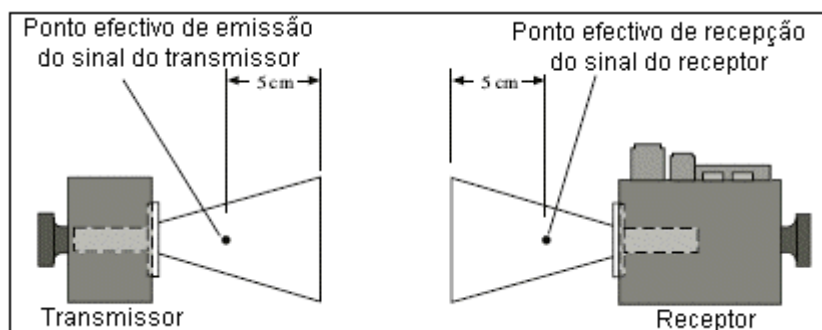
Esta experiência permite-lhe uma introdução sistemática ao sistema de óptica de microondas. Esta experiência irá lhe permitir uma melhor compreensão para as actividades experimentais descritas neste manual e na compreensão na significância das medidas efectuadas com este sistema. Não é no entanto um pré-requisito para as experiências seguintes

PROCEDIMENTO

1. Coloque o transmissor e o receptor tal como mostra a figura ao lado, estando o transmissor fixo ao braço de suporte. Tenha a certeza que ajusta ambas as unidades na mesma polaridade – os cones deverão ter a mesma orientação, tal como mostra a figura.
2. Ligue o transmissor e rode o selector de intensidade do receptor de OFF para 10x (deverão ligar-se os LEDs de ambas as unidades).



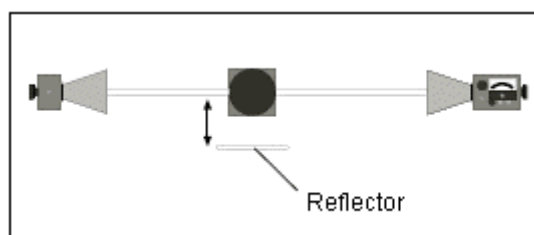
3. Ajuste o transmissor e o receptor a uma distância um do outro de 40 cm tendo ainda em conta os pontos efectivos de emissão e de recepção de ambas as unidades tal como mostra a figura ao lado. Os díodos estão localizados nos pontos do transmissor e do receptor com as letras



- “T” e “R” na base. Ajuste a intensidade e o comutador de variação de sensibilidade no receptor de modo a ter uma leitura de 1.0 no medidor (escala total).
4. Para cada distância **R** indicada na tabela 1 registre o valor dado pelo medidor (não ajuste os controlos do receptor entre as medidas). Após cada medida, realize os cálculos da tabela 1.
5. Coloque a distância **R** entre 70 e 90 cm. Enquanto observa o medidor, lentamente diminua a distância entre o transmissor e o receptor. A deflexão no medidor aumenta de modo uniforme enquanto a distância diminui?

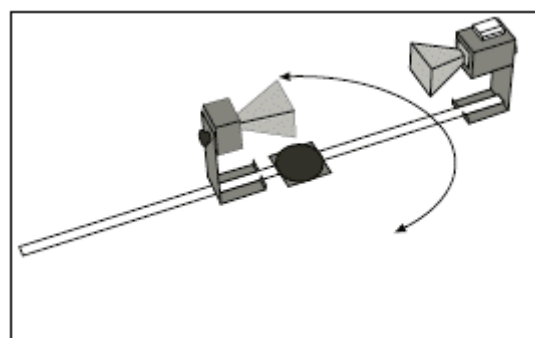
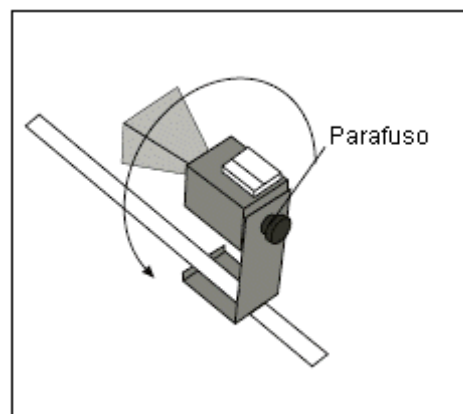
R (cm)	Leitura no medidor (M)	M x R (cm)	M x R ² (cm)
40	1.0	40	1600
50			
60			
70			
80			
90			
100			

6. Coloque a distância **R** entre 50 e 90 cm. Mova um reflector, com o seu plano paralelo com o eixo do feixe de microondas, para a frente e para trás no eixo do feixe, tal como mostra a figura ao lado. Observe as leituras do medidor. Pode explicar as observações nos passos 5 e 6? Não se preocupe se não consegue essa explicação, irá mais tarde ter oportunidade para uma investigação mais detalhada deste fenómeno. Por enquanto esteja atento às leituras.



IMPORTANTE: objectos próximos, como a mesa de trabalho, livros, etc. podem afectar os resultados. Para reduzir esses efeitos, execute todas as actividades experimentais descritas neste manual numa mesa completamente livre de qualquer objecto não necessário à experiência, principalmente objectos metálicos.

7. Solte ligeiramente o parafuso localizado na parte traseira do receptor e rode-o tal como mostra a figura ao lado. Isto irá variar a polaridade nas deflexões máximas. Observe o medidor ao longo de um ângulo de 360°. A que polaridade o receptor não detecta qualquer sinal? Tente rodar o transmissor do mesmo modo. Quando terminar este teste, coloque ambas as unidades, receptor e transmissor na mesma polaridade (isto é, ambos os cones na horizontal ou ambos os cones na vertical).
8. Posicione o transmissor de modo a que a superfície de saída do cone esteja directamente centrado com o braço do goniómetro (ver figura ao lado). Com o receptor virado directamente para o transmissor e o mais longe possível do goniómetro, ajuste os controlos do receptor para um valor de 1.0. De seguida rode o braço do goniómetro tal como mostra a figura. Posicione o ângulo de rotação (medido relativamente a um ponto de 180° da escala) para cada valor tal como mostra a tabela 2 e registre os valores.



Ângulo do receptor	Leitura do medidor	Ângulo do receptor	Leitura do medidor	Ângulo do receptor	Leitura do medidor
0°		70°		140°	
10°		80°		150°	
20°		90°		160°	
30°		100°		170°	
40°		110°		180°	
50°		120°			
60°		130°			

QUESTIONÁRIO

1. O campo eléctrico de uma onda electromagnética é inversamente proporcional à distância da fonte ($E = 1/R$). Use os dados do passo 4 da experiência para determinar se as leituras do receptor são directamente proporcionais ao campo eléctrico da onda.
2. A intensidade de uma onda electromagnética é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte ($I = 1/R^2$). Use os dados do passo 4 para determinar se as leituras do receptor são directamente proporcionais à intensidade da onda.
3. Considerando os resultados do passo 7, quando pode ser considerada a saída do transmissor uma onda esférica? E uma onda plana?

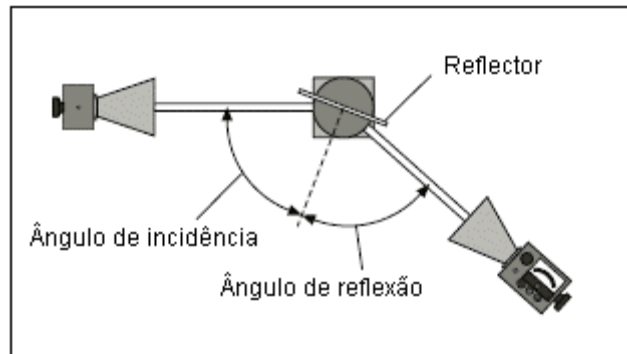
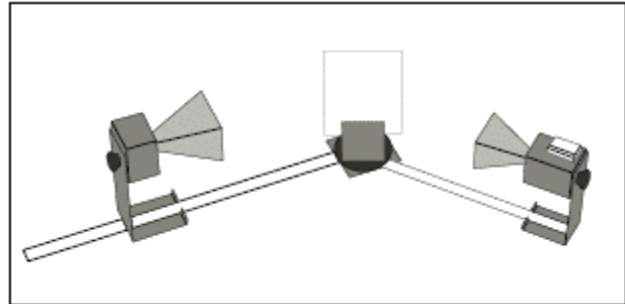
EXPERIÊNCIA 2: REFLEXÃO

Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- 1 Reflector metálico
- Suporte rotativo

PROCEDIMENTO

1. Monte o equipamento tal como mostra a figura ao lado com o transmissor fixo ao braço de suporte do goniómetro. Certifique-se de que quer o transmissor quer o receptor têm a mesma polaridade, devendo os cones estar ajustados tal como mostra a figura.
2. Ligue o transmissor e coloque a intensidade do receptor na posição de 30x.
3. O ângulo entre a onda incidente do transmissor e a normal ao plano do receptor é chamado de **ângulo de incidência**. Ajuste o suporte rotativo para um ângulo de incidência de 45°.
4. Sem mover o transmissor ou o reflector, rode o braço do goniómetro até obter um valor máximo no medidor. O ângulo entre os eixos do cone do receptor é chamado de **ângulo de reflexão**.
5. Meça e registe o ângulo de reflexão para cada ângulo de incidência na tabela 1.



NOTA: a vários ângulos receptor tanto detecta as ondas reflectidas como as ondas que vêm directamente do transmissor, dando assim resultados errados. Determine os ângulos pelos quais isto é verdade e marque na tabela com um asterisco “*”).

Ângulo de incidência	Ângulo de reflexão
20°	
30°	
40°	
50°	
60°	
70°	
80°	
90°	

QUESTIONÁRIO

1. Qual a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão? Esta relação é a mesma para todos os ângulos de incidência?
2. Nas medidas do ângulo de reflexão, mediu o ângulo pelo qual o valor no medidor é máximo. Pode explicar porque algumas ondas são reflectidas em diferentes ângulos? Como é que isso afecta a resposta da questão 1?
3. Idealmente esta experiência deverá ser realizada com uma onda plana perfeita, de modo a que toda a radiação chegue ao receptor no mesmo ângulo de incidência. A onda do transmissor é perfeitamente plana (ver na experiência 1, o passo 7)? Seriam de esperar resultados diferentes se fosse uma onda plana perfeita? Explique.

QUESTIONÁRIO PARA EXPERIÊNCIA ADICIONAL

1. Como é que a reflexão afecta a intensidade da microonda? Será toda a energia reflectida recebida pelo reflector? A intensidade do sinal varia o sinal reflectido com o ângulo de incidência?
2. O metal é um bom reflector de microondas. Investigue as propriedades reflectivas de outros materiais. Como reflectem elas? Passa através do material alguma da energia? O material absorve alguma energia? Compare as propriedades reflectivas de materiais condutores e não condutores.

EXPERIÊNCIA 3: ONDA ESTACIONÁRIA – MEDIDA DE COMPRIMENTO DE ONDA

NOTA: Esta experiência é melhor realizada se usar a sonda adicional modelo ME-9319 da Pasco Scientific, tal como descrito no método A. No entanto se não tem essa sonda, use o método B, apesar de neste método o valor de λ não poder ser medido directamente a partir de um padrão de onda estacionária

Equipamento necessário

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- 1 Reflector metálico
- Suporte de componentes (2)
- Sonda de detecção de microondas (modelo ME-9319 – opcional)

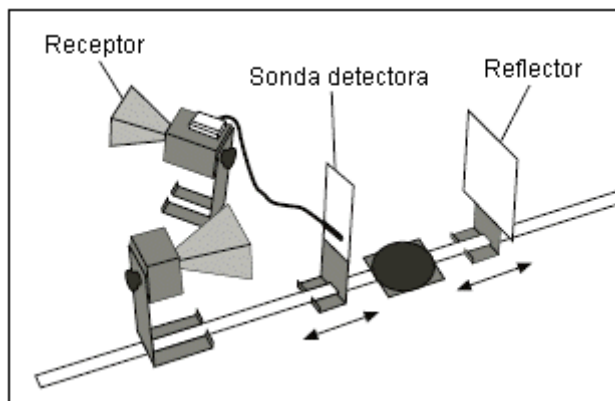
INTRODUÇÃO

Quando duas ondas electromagnéticas se encontram no espaço, elas sobrepõem-se. Logo, o campo eléctrico total em qualquer ponto é a soma dos campos eléctricos criados por ambas as ondas nesse ponto. Se duas ondas viajam a uma mesma frequência mas em direcções opostas elas formam uma onda estacionária. Os nodos onde os campos das duas ondas se anulam e os antinodos onde se sobrepõem os campos oscilantes num máximo e num mínimo. A distância entre nodos numa onda estacionária é $\frac{1}{2}$ do comprimento de onda (λ) de duas ondas.

PROCEDIMENTO

MÉTODO A

Nesta experiência, irá reflectir a onda do transmissor contra ele próprio, criando uma onda estacionária. Medindo a distância entre nodos e multiplicar por 2, poderá determinar o comprimento de onda da radiação de microondas.



1. Monte o equipamento tal como mostra a figura ao lado.
2. Ligue a sonda detectora ao receptor. Afaste o receptor da montagem de modo a que nenhum sinal de microondas entre no seu cone. Ajuste o controlo do receptor de modo a obter uma leitura máxima.
3. Deslize a sonda ao longo do braço do goniómetro (mas não mais do que 1 cm ou 2) até o medidor mostrar um valor máximo. De seguida deslize o reflector (também não mais do que 1 cm ou 2) de modo a encontrar um valor máximo. Continue lentamente a ajustar ligeiramente a posição da sonda e do reflector até obter as maiores leituras possíveis no medidor.
4. Encontre agora o nodo da onda estacionária ajustando a sonda até a leitura do medidor ser mínimo. Registe a posição da sonda na escala métrica do goniómetro.
Posição inicial: _____
5. Enquanto observa o medidor, deslize a sonda ao longo do braço do goniómetro até a sonda passar pelo menos por 10 antinodos e retomar a um nodo. Registe a nova posição da sonda e número de antinodos que foram atravessadas.
Antinodos atravessados: _____
Posição final da sonda: _____
6. Use os dados para calcular λ , o comprimento de onda da radiação de microondas.
 $\lambda =$ _____

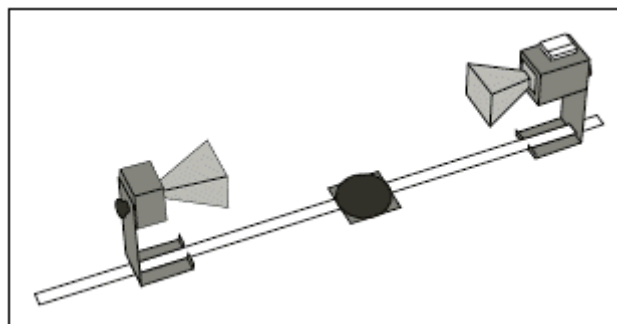
7. Repita as suas medidas e volte a calcular o valor de λ
 Posição inicial da sonda: _____
 Antinodos atravessados: _____
 Posição final da sonda: _____
 $\lambda =$ _____

QUESTIONÁRIO

1. Use a relação da velocidade = λv para calcular a frequência do sinal da microonda (assumindo que a velocidade de propagação no ar é de 3×10^8 m/s).
 (v - frequência esperada da radiação da microonda – 10,525 GHz).

MÉTODO B

1. Monte o equipamento tal como mostra a figura ao lado. Ajuste os controlos do receptor para uma medida total da escala no medidor com o transmissor e o receptor perto um do outro o máximo possível. Lentamente mova o receptor ao longo do braço do goniómetro, afastando-se do transmissor. Como é afectada a leitura no medidor? Os cones não são colectores perfeitos da radiação de microondas. Em vez disso, eles actuam como reflectores parciais, de modo que a radiação do transmissor reflecte para trás e para a frente entre os cones do transmissor e do receptor, diminuindo em amplitude a cada passo. No entanto se a distancia entre o transmissor e o receptor for igual a $n\lambda/2$ (em que n é um inteiro e λ o comprimento de onda da radiação) então todas as ondas múltiplas reflectidas que entram no cone do receptor estarão em fase com a onda primária transmitida. Quando isso ocorre, a leitura no medidor irá ser máximo (a distancia entre posições adjacentes de modo a ver um máximo é assim de $\lambda/2$).



2. Deslize o receptor 1 ou 2 cm ao longo do braço do goniómetro e observe a leitura máxima no medidor. Registe a posição do receptor.
 Posição inicial do receptor: _____
3. Enquanto observa o medidor, deslize o receptor afastando-o do transmissor. Não pare até o receptor passar por 10 posições em que no medidor observa uma leitura mínima e que retorne a uma posição em que o valor é máximo. Registe a nova posição do receptor e número de mínimos observados.
 Mínimos observados: _____
 Posição final do receptor: _____ -
4. Use os dados recolhidos para calcular o comprimento de onda da radiação da microonda.
 $\lambda =$ _____
5. Repita as medidas e torne a calcular o valor de λ .
 Posição inicial do receptor: _____
 Mínimos detectados: _____
 Posição final do receptor: _____
 $\lambda =$ _____ -

QUESTIONÁRIO

1. Use a relação da velocidade = λv para calcular a frequência do sinal da microonda (assumindo que a velocidade de propagação no ar é de 3×10^8 m/s).
 (v - frequência esperada da radiação da microonda – 10,525 GHz)

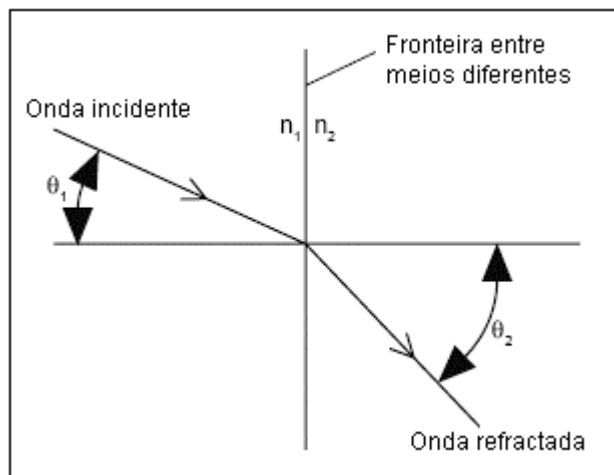
EXPERIÊNCIA 4: REFRAÇÃO ATRAVÉS DE UM PRISMA

Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Mesa rotativa
- Prisma
- Esferas
- Transferidor

INTRODUÇÃO

Uma onda electromagnética usualmente viaja numa linha recta. Quando atravessa uma fronteira entre dois meios diferentes, a direcção de propagação altera-se. Esta alteração é chamada de refacção e é sumariamente dada pela relação matemática conhecida como Lei da Refracção (também conhecida como Lei de Snell):



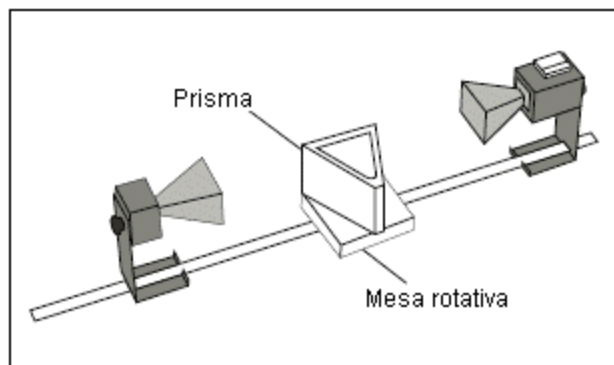
$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$$

Em que θ_1 é o ângulo entre a direcção de propagação da onda incidente e a normal da fronteira entre os dois meios, e θ_2 é o ângulo correspondente para a onda refractada. Cada material pode ser descrito como um número n , chamado de índice de refração. Este número indica a taxa entre a velocidade da onda electromagnética no vácuo e a velocidade da onda no material, também chamado de meio. Em geral, o meio de ambos os lados da fronteira irão ter diferentes índices de refração. Aqui serão designados como n_1 e n_2 . É a diferença entre os dois índices de refração (e a diferença entre velocidades de onda que isso implica) que chamamos de "desvio" ou refração de uma onda enquanto atravessa uma fronteira entre dois meios distintos.

Nesta experiência, irá usar a lei da refração para medir o índice de refração das esferas.

PROCEDIMENTO

1. Faça a montagem tal como mostra a figura ao lado. Rode o prisma, ainda vazio, e observe os efeitos na onda incidente. Essa onda é reflectida, refractada ou absorvida?
2. Encha completamente o prisma com as esferas. Para simplificar os cálculos, alinhe a face do prisma de modo que esteja próximo do transmissor e perpendicular com a onda incidente do feixe de microondas.
3. Rode o braço móvel do goniómetro e localize o ângulo θ pelo qual o sinal refractado é um máximo.



NOTA: θ é apenas o ângulo que lê directamente na escala do goniómetro.

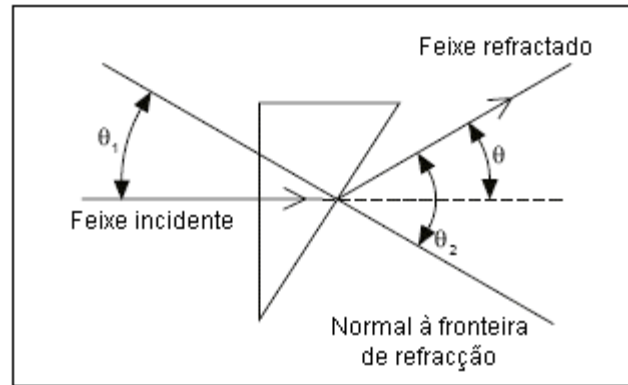
$\theta =$ _____

4. Usando o diagrama ao lado, determine θ_1 e use o valor de θ para determinar θ_2 . (irá necessitar de um transferidor para medir os ângulos do prisma).

$$\theta_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\theta_2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. Use estes valores para calcular a Lei da Refracção para determinar os valores de n_1 / n_2 .
 $n_1 / n_2 = \underline{\hspace{2cm}}$
6. O índice de refração para o ar é igual a 1. Use este facto para determinar n_1 , o índice de refração das esferas.



QUESTIONÁRIO

1. No diagrama anterior, é assumido que a onda não é reflectida quando embate na primeira face do prisma (a um ângulo de incidência de 0°). Isto é uma assunção válida?
2. Usando o equipamento, como pode verificar que o índice de refração do ar é igual a um.
3. É de esperar que o índice de refração das esferas no prisma seja a mesma que um prisma sólido?

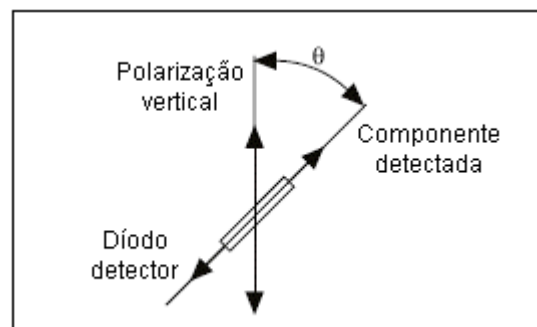
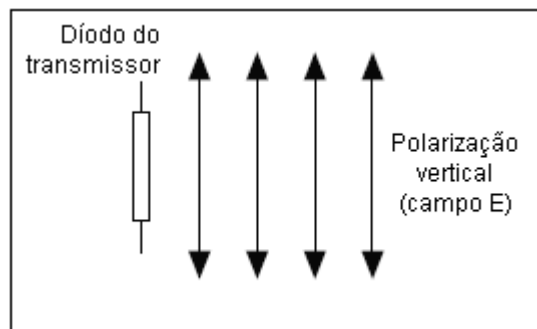
EXPERIÊNCIA 5: POLARIZAÇÃO

Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Polarizador (1)
- Suporte de componentes

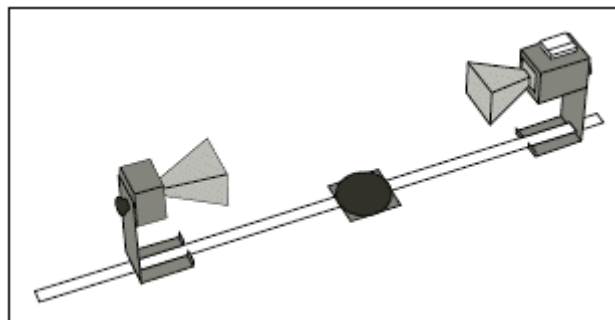
INTRODUÇÃO

A radiação de microondas do transmissor é **linearmente polarizada** ao longo do eixo do transmissor (ou seja, enquanto a radiação se propaga através do espaço, o seu campo eléctrico mantém-se alinhado com o eixo do díodo). Se o transmissor for alinhado verticalmente, o campo eléctrico da onda transmitida deverá estar polarizada verticalmente, tal como mostra a figura. Se o díodo do detector estiver a um ângulo θ relativamente ao díodo do transmissor, tal como mostra a segunda figura, irá ser detectada apenas o componente do campo eléctrico incidente que estiver alinhado com esse eixo. Nesta experiência irá investigar o fenómeno de polarização de descobrir como a polarização pode ser usada para alterar a polarização da radiação de microondas.



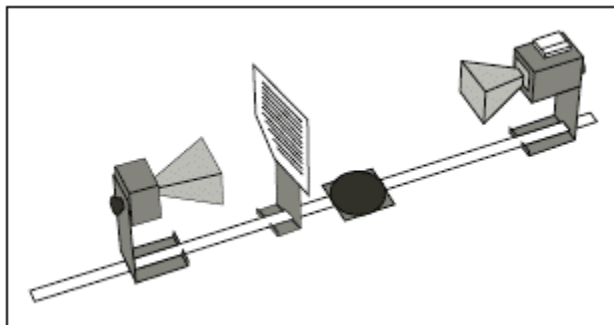
PROCEDIMENTO

1. Monte o equipamento tal como mostra a figura ao lado e ajuste o receptor para uma escala quase total.
2. Solte o parafuso na parte de trás do receptor e rode o receptor em incrementos de 10° . Para cada posição anote o valor do medidor na tabela.
3. O que acontece às leituras do medidor se continuar a rodar o receptor até 180° ?



Ângulo do receptor	Leitura do medidor	Ângulo do receptor	Leitura do medidor	Ângulo do receptor	Leitura do medidor
0°		70°		140°	
10°		80°		150°	
20°		90°		160°	
30°		100°		170°	
40°		110°		180°	
50°		120°			
60°		130°			

4. Altere agora a configuração da montagem do equipamento tal como mostra a figura ao lado. Coloque o receptor a um ângulo de 0° (os cones deverão estar alinhados tal como mostra a figura).
5. Registe o valor do medidor quando o polarizador estiver alinhado a 0° , $22,5^\circ$, 45° , $67,5^\circ$ e 90° relativamente à horizontal.
6. Remova as fendas do polarizador. Rode o receptor de modo a que o eixo do cone esteja a ângulos rectos relativamente ao transmissor. De seguida substitua as fendas do polarizador e registe o valor do medidor com as fendas na horizontal, na vertical e a 45° .



Ângulo de polarização	Leitura no medidor
0° (horizontal)	
$22,5^\circ$	
45°	
$67,5^\circ$	
90° (vertical)	

Ângulo das fendas	Valor do medidor
Horizontal	
Vertical	
45°	

QUESTIONÁRIO

1. Se as leituras do medidor (**M**) do receptor forem directamente proporcionais à componente do campo eléctrico (**E**) ao longo do eixo, o medidor deverá ler uma relação $M = M_0 \cos\theta$ (em que θ é o ângulo entre o detector e o transmissor e M_0 é a leitura do medidor quando $\theta = 0^\circ$). Faça um gráfico dos seus dados a partir do passo 2 da experiência. No mesmo gráfico trace a relação $M_0 \cos\theta$. Compare os dois gráficos.
2. A intensidade de uma onda electromagnética polarizada é directamente proporcional ao quadrado do campo eléctrico (ou seja, $I = KE^2$). Se a leitura do medidor do receptor for directamente proporcional à intensidade da microonda incidente, o medidor irá ler a relação $M = M_0 \cos\theta$. Faça um gráfico desta relação no mesmo gráfico que fez na questão 1. Baseando-se nos seus gráficos, discuta a relação entre as leituras do medidor do receptor, a polarização e a magnitude da microonda incidente.
3. Baseando-se nos dados do passo 5, como é que a polarização afecta a microonda incidente?
4. Pode explicar os resultados do passo 6? Como pode a inserção de um polarizado adicional aumentar o sinal do detector? (**Dica:** elabore um diagrama como mostrado anteriormente no início desta experiência mostrando a onda do transmissor, a onda após ter passado através do polarizador e a componente detectada no detector).

EXPERIÊNCIA 6: INTERFERÊNCIA DE DUPLA FENDA

Equipamento necessário:

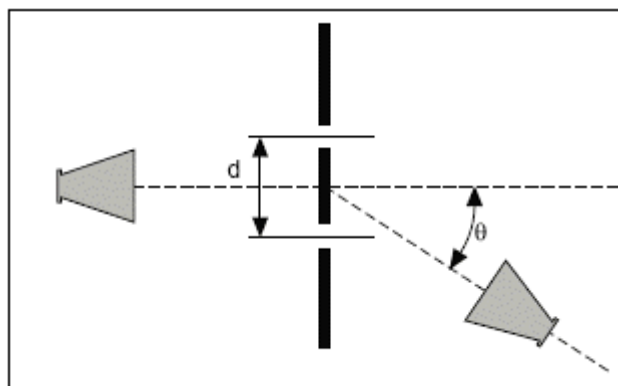
- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Suporte de componentes
- Braço de extensão de fendas
- Espaçador largo
- 2 Reflectores metálicos
- Espaçador curto

INTRODUÇÃO

Na experiência 3, verificou que duas ondas movendo-se em direcções opostas podem-se sobrepor para criar uma onda estacionária. Um fenómeno mais ao menos similar ocorre quando uma onda electromagnética passa através de uma abertura de dupla fenda. A onda difracta em duas ondas que se sobrepõem no espaço por trás das aberturas. Similar a onda estacionária, são pontos no espaço em que se forma um máximo e outros em que se formam mínimos.

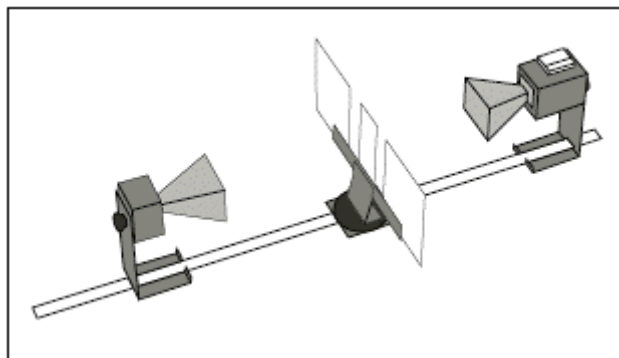
Com uma abertura de dupla fenda, a intensidade da onda por detrás da abertura irá variar dependendo do ângulo de detecção. Para duas

fendas finas separadas por uma distância d , o máximo encontra-se a ângulos tais como $d \sin \theta = n \lambda$ (em que θ é o ângulo de detecção, λ o comprimento de onda da radiação incidente e n um inteiro) Faça uma procura em livros de texto sobre mais informações da natureza da difracção de dupla fenda.



PROCEDIMENTO

1. Monte o equipamento tal como mostra a figura ao lado. Use o braço de extensão para suporte das fendas, dois reflectores e o espaçador curto para construir uma dupla fenda (recomenda-se uma fenda de 1,5 de largo). Seja preciso com os alinhamentos da fenda para ter uma montagem a mais simétrica possível.
2. Ajuste o transmissor e o receptor para uma polarização vertical (0°) e ajuste o receptor para uma leitura com a amplificação o mais baixa possível.
3. Rode o braço do goniómetro (onde está colocado o receptor) lentamente no seu eixo. Observe as leituras no medidor.
4. Torne a colocar o goniómetro de modo a que o transmissor e o receptor estejam frente a frente. Ajuste o receptor para obter uma leitura de 1.0. Seleccione agora um ângulo θ para cada valor indicado na tabela. Anote cada uma das leituras do medidor (se verificar pontos em que as leituras do medidor variam grandemente, procure usar ângulos intermédios).



Ângulo	Leitura do medidor	Ângulo	Leitura do medidor
0°		45°	
5°		50°	
10°		55°	
15°		60°	
20°		65°	
25°		70°	
30°		75°	
35°		80°	
40°		85	

5. Mantenha as fendas na mesma, mas altere a posição da distância entre as fendas usando o espaçador largo em vez do curto. Por causa do espaçador largo ser 50% maior que o outro (90 mm contra 60 mm), mova o transmissor 50% para trás de modo a que a radiação microonda nas fendas tenha a mesma intensidade relativa. Repita as medidas (tente igualmente com outra distancia entre fendas se desejar).

QUESTIONÁRIO

1. A partir dos dados obtidos, faça um gráfico das leituras do medidor em função de θ . Identifique os ângulos que obtêm valores máximo e mínimo em que ocorre interferência.
2. Calcule o ângulo a que ira esperar que ocorram o máximo e o mínimo numa fenda dupla padrão – máximo ocorre onde $d \sin \theta = n\lambda$, e o mínimo ocorre onde $d \sin \theta = n\lambda/2$. Como se comparam com os pontos onde observou o máximo e o mínimo? Pode explicar a discrepância? (que assunções são feitas nas derivações das fórmulas e até onde se aplicam nesta experiência?).
3. Pode explicar a queda relativa na intensidade para o máximo? Considere uma fenda única criada por uma só fenda. Como isso afecta as interferências?

NOTA:

- Comprimento de onda a 10,252 GHz = 2,85 cm;
- O corpo do próprio aluno pode interferir nos resultados.

EXPERIÊNCIA 7: ESPELHO DE LLOYD

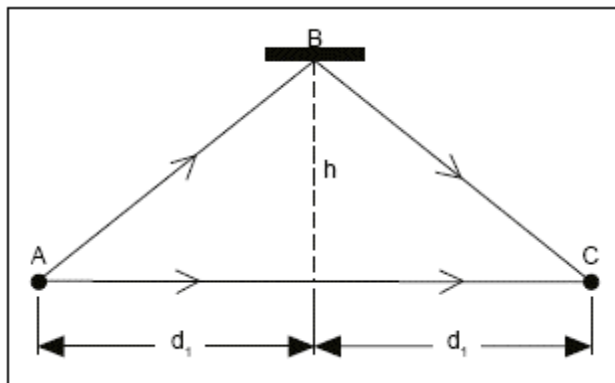
Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Suporte de componentes
- Régua
- Braço de montagem fixa
- Reflector (1)

INTRODUÇÃO

Em experiências anteriores, como na 3 e na 6, observou como uma onda electromagnética pode ser difractada em duas ondas e, quando as duas componentes se juntam de novo, formam um padrão de interferência. O espelho de Lloyd é um outro exemplo deste fenómeno. Tal como outro padrão de interferências observado, esta interferência possibilita um método conveniente para a medida do comprimento de onda da radiação.

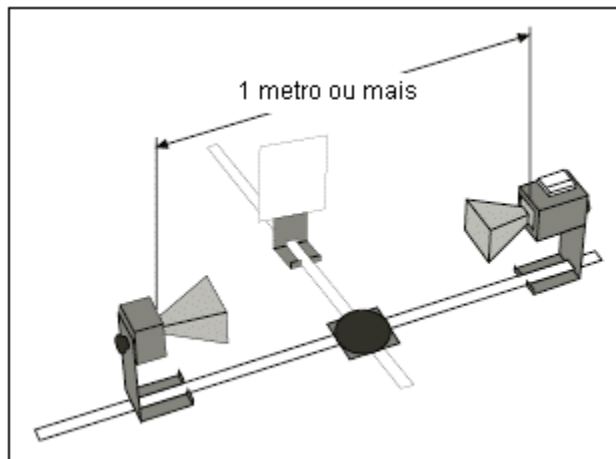
Na figura ao lado está representado o espelho de Lloyd. Uma onda electromagnética de uma fonte pontual A é detectada num ponto C.



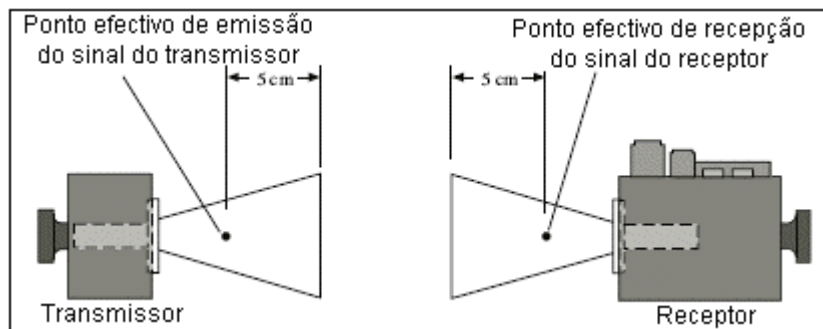
Alguma da onda electromagnética propaga-se directamente entre A e C mas alguma alcança o ponto C após ter reflectido no ponto B. Um valor máximo pode ser detectado quando as duas ondas alcançam o detector em fase. Assumindo que o diagrama mostra a montagem para um sinal máximo, pode ser encontrado um outro máximo quando se move o reflector de modo a que o comprimento do percurso do feixe reflectido seja $AB + BC + \lambda$.

PROCEDIMENTO

1. Monte o sistema tal como mostra a figura ao lado. Para melhores resultados, o transmissor e o receptor deverão estar afastados o máximo possível. Tenha no entanto a certeza de que o transmissor e o receptor se encontram equidistantes (d_1) do centro do goniómetro e que os cones esteja directamente virados um para o outro (ver na figura seguinte para uma localização efectiva dos pontos de transmissão e recepção). Tenha igualmente a certeza que a superfície do reflector está paralelo ao eixo dos cones do transmissor e do receptor.
2. Enquanto observa o medidor do receptor, desloque lentamente o reflector afastando do prato graduado. Note como a leitura no medidor passa por uma série de valores máximo e mínimo.
3. Encontre uma posição do reflector perto do prato graduado que produza um valor mínimo no medidor.
4. Meça e registre h_1 , a distancia entre o centro do prato graduado e a superfície do reflector:
 $h_1 =$ _____
5. Lentamente desloque o reflector afastando-o do prato graduado até a leitura do medidor passe por um máximo e depois retorne a um novo valor mínimo. Meça e registre como h_2 .
 $h_2 =$ _____



6. Meça d_1 , a distancia entre o centro do prato graduado e o transmissor.
 $d_1 =$ _____
7. Use os valores obtidos para calcular λ , o comprimento de onda da radiação microonda.
 $\lambda =$ _____
8. Altere a distancia entre o transmissor e o receptor e repita o procedimento.
 $h_1 =$ _____
 $h_2 =$ _____
 $d_1 =$ _____
 $\lambda =$ _____



QUESTIONÁRIO

1. Qual a vantagem em ter um transmissor e um receptor equidistantes do centro do prato graduado nesta experiência?

NOTA: não se mantenha em frente do sistema enquanto realiza a experiência. O seu corpo actua como um reflector. Logo, tente manter-se afastado do cone.

EXPERIÊNCIA 8: INTERFERÓMETRO FABRY-PEROT

Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Reflectores parciais (2)
- Suporte de componentes (2)

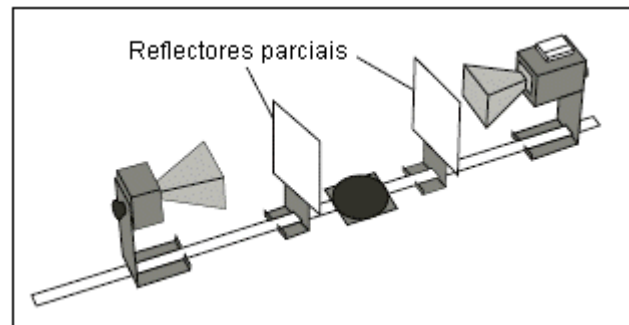
INTRODUÇÃO

Quando uma onda electromagnética encontra um reflector parcial, parte da onda reflecte e parte da onda transmite através do reflector parcial. Um interferómetro Fabry-Perot consiste em dois reflectores parciais posicionados entre uma fonte de ondas e um detector.

A onda da fonte reflecte para trás e para a frente entre os dois reflectores parciais. No entanto, com cada passagem, alguma radiação passa através do detector. Se a distancia entre reflectores parciais for igual a $n\lambda/2$, em que λ é o comprimento de onda da radiação e n um inteiro, então todas as ondas passam através do detector em qualquer instante irão estar em fase. Neste caso, um sinal máximo será detectado pelo receptor. Se a distancia entre reflectores parciais não for múltiplo de $\lambda/2$, então algum grau de interferência destrutiva irá ocorrer e o sinal não será máximo.

PROCEDIMENTO

1. Monte o equipamento tal como mostra a figura ao lado. Ligue o transmissor e ajuste o receptor para uma fácil leitura de sinal.
2. Ajuste a distancia entre os reflectores parciais e observe o máximo e o mínimo relativo.
3. Ajuste a distancia entre reflectores parciais para obter uma medida máxima. Registe o valor de d_1 , a distância entre os reflectores:
 $d_1 =$ _____
4. Enquanto observe o medidor, lentamente mova um reflector afastando do outro. Mova o reflector até a leitura do medidor passar através de 10 mínimos e retomar a um máximo. Registe o número de mínimos detectados. Registe igualmente a distância d_2 , entre os reflectores:
 Mínimos detectados: _____
 $d_2 =$ _____
5. Use os dados para calcular o valor de λ ;
 $\lambda =$ _____
6. Repita as medidas começando com diferentes distâncias entre os reflectores parciais.



QUESTIONÁRIO

1. Qual a distancia entre dois reflectores parciais deverão causar um sinal mínimo no receptor?
2. Num interferómetro óptico de Fabry-Perot a interferencia usualmente aparece como uma série de anéis concêntricos. É de esperar tal padrão neste sistema? Verifique se há algum.

EXPERIÊNCIA 9: INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

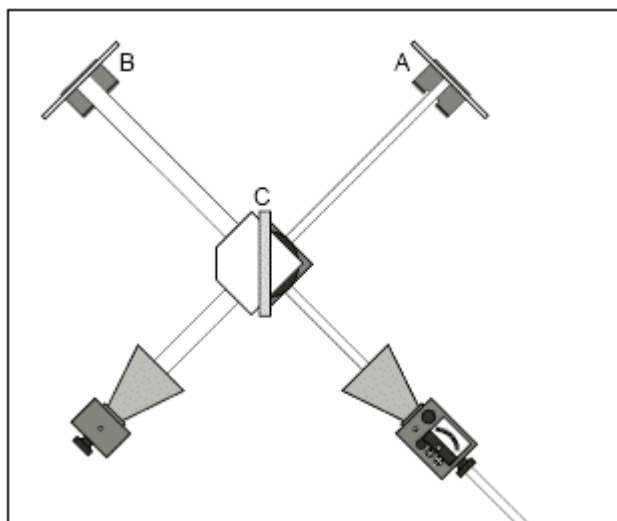
Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Reflector parcial (1)
- Suporte de componentes (2)
- Montagem de braço fixo
- Reflectores (2)
- Placa rotativa

INTRODUÇÃO

Tal como no interferómetro de Fabry-Perot, o interferómetro de Michelson divide uma onda, depois torna a juntar as constituintes da onda de novo de modo a se sobreporem formando um padrão de interferência. A figura ao lado mostra a montagem de um interferómetro de Michelson. **A** e **B** são reflectores e **C**, um reflector parcial. As microondas viajam do transmissor para o receptor através de dois percursos diferentes. Num deles, a onda passa directamente através de **C**, reflecte de novo para **C** a partir de **A** depois retoma a de **C** para o receptor. No outro caminho, a onda reflecte em **C** para **B** e de seguida de **C** para o receptor.

Se duas ondas estiverem em fase quando alcançam o receptor, é detectado um sinal máximo. Movendo um dos reflectores, o comprimento do percurso de uma onda altera-se, e logo altera a fase no receptor não sendo mais detectado um máximo. Uma vez que cada onda passa duas vezes entre o reflector e o reflector parcial, movendo o reflector para uma distância de $\lambda/2$ irá causar uma alteração em 360° na fase de uma onda no receptor. Isto causa uma leitura no medidor de um valor mínimo para um valor máximo.



PROCEDIMENTO

1. Monte o equipamento tal como mostra a figura anterior. Ligue o transmissor e ajuste o receptor para uma leitura fácil.
2. Desloque o reflector A no goniómetro e observe os valores máximo e mínimo relativos no medidor.
3. Coloque o reflector A numa posição que produza um valor máximo no medidor. Registe como x_1 , a posição do reflector no goniómetro.
 $x_1 =$ _____
4. Enquanto observa o medidor, lentamente, mova o reflector A afastando-o do reflector parcial. Mova o reflector até a leitura no medidor passar por 10 mínimos e retomar a um valor máximo. Registe o número de mínimos. Registe ainda x_2 , como a nova posição do reflector A no goniómetro:
Mínimos detectados: _____
 $x_2 =$ _____
5. Use os dados para calcular λ
 $\lambda =$ _____
6. Repita as medidas começando numa posição diferente para o reflector ^a

QUESTIONÁRIO

1. Acabou de usar um interferómetro para medir o comprimento de onda da radiação de microondas. Se já conhecia o comprimento de onda, pode agora usar o interferómetro para medir a distância enquanto move o reflector. Porque é que um interferómetro óptico (um interferómetro de luz visível em vez de microondas) possibilitam um melhor registo da distância que um interferómetro de microondas?

OPCIONAL

Coloque uma caixa de cartão entre o reflector parcial e o reflector A. Mova um dos reflectores até ter um valor máximo no medidor. Lentamente encha a caixa com esferas de plástico enquanto observa os valores no medidor. Na base desta observação, ajuste a posição do reflector A para restaurar o valor máximo original. Meça a distancia enquanto ajusta o reflector. Igualmente meça a distancia percorrida pelo feixe através das esferas. Destes dados, pode determinar o índice de refração das esferas à frequência de microondas? Experimente usar caixas de dimensões diferentes e com enchimentos de diferentes materiais.

EXPERIÊNCIA 10: FIBRA ÓPTICA

Equipamento necessário:

- Transmissor
- Receptor
- Goniómetro
- Esferas de plástico
- Tubos de plástico

INTRODUÇÃO

A luz pode-se propagar através do espaço vazio mas também se pode propagar através de certos materiais, tal como o vidro. Numa fibra óptica, o tubo de vidro flexível funciona como uma linha transmissora para a luz como se fosse um laser, tal como um fio de cobre funciona como transmissor de corrente eléctrica. De algum modo a variação de uma corrente eléctrica transporta informação através do fio de cobre (como por exemplo uma chamada telefónica) a variação de intensidade da luz do feixe de laser pode transportar informação através de um tubo de vidro.

PROCEDIMENTO

1. Alinhe o transmissor e o receptor directamente em frente um ao outro no goniómetro e ajuste o receptor para um valor possível de ler.
2. Enche um tubo plástico com as esferas (ate a extremidade ou use um elástico). Coloque uma extremidade em frente ao cone do transmissor. O que acontece ao valor no medidor? Coloque agora a outra extremidade do tubo no cone do receptor. Como se comporta a intensidade do sinal?
3. Remova o tubo de plástico e rode o goniómetro de modo a não dar nenhum valor no medidor do receptor. Coloque uma extremidade do tubo no cone do transmissor e a outra no cone do receptor. Observe os valores no medidor.
4. Variando o raio de curvatura do tubo de plástico como se comporta o sinal no medidor do receptor? O sinal varia gradualmente quando varia o raio de curvatura ou varia muito subitamente? Encontre o raio de curvatura pelo qual o sinal desce significativamente.

QUESTIONÁRIO

1. Faça uma pesquisa em livros de texto sobre reflexão interna total. Baseando-se no raio de curvatura quando o sinal mostra alguma atenuação, determine o ângulo de reflexão interna das esferas de plástico. Pode usar este valor para determinar o índice de refração das esferas?
2. É de esperar que os tubos de plástico cheios de esferas de plástico se comportam do mesmo modo com a radiação de frequências ópticas? Porque?

GUIA DO PROFESSOR

EXPERIÊNCIA 1: INTRODUÇÃO AO SISTEMA

Notas sobre o procedimento

4. As medidas do medidor não variam com a distância numa forma previsível, uma vez que as microondas formam ondas estacionárias entre o transmissor e o receptor a certas distâncias. Adicionalmente, o medidor não está directamente relacionado nem com o campo eléctrico nem com a intensidade do feixe incidente. O medidor é útil para medidas de intensidades relativas a distâncias constantes, polarização e outros factores.
5. As leituras do medidor oscilam quando aumenta a distância (ver experiência 3, no método B).
6. A presença de um reflector aumenta os valores do medidor;
7. O receptor não detecta sinal quando o transmissor e o receptor estão a 90° em relação um ao outro.
8. O transmissor possui uma saída gaussiana grosseira, com 1/e pontos a cerca de $\pm 20^\circ$

Não existe diferenças significativas entre a saída nas orientações horizontal e vertical.

Respostas ao questionário

1. 2. As leituras do medidor não são proporcionais nem com o campo eléctrico nem com a intensidade;
3. A saída do transmissor é mais aproximada a uma onda plana do que a uma onda esférica, mas ambas possuem as mesmas características.

EXPERIÊNCIA 2: REFLEXÃO

Notas no procedimento

5.

Ângulo de incidência	Ângulo de reflexão
20°	23°
30°	31°
40°	41°
50°	54°
60°	63°
70°	85° (*)
80°	78° (*)
90°	70° (*)

Os últimos 3 pontos são suspeitos devido ao padrão de saída do transmissor.

Respostas ao questionário

1. O ângulo de incidência iguala ao ângulo de reflexão. Isto é válido para todos os ângulos, apesar de não ser claro nesta experiência devido ao espalhamento do sinal de saída do transmissor.
2. Alguma parte da onda parece reflectir a ângulos diferentes, particularmente quando ângulo de incidência é de 70° ou 90°. Isto +e na realidade um efeito de difracção não de reflexão.
3. O transmissor não produz uma onda plana perfeita e isso afecta os resultados.

Respostas ao questionário adicional

1. A intensidade da reflexão não varia com o ângulo de incidência, podendo-se deduzir a partir disso que o reflector não é 100% eficiente.
2. Em geral os condutores reflectem as microondas de melhor maneira que os não condutores.

EXPERIÊNCIA 3: ONDAS ESTACIONÁRIAS – MEDIDA DE COMPRIMENTO DE ONDA

Método B

Respostas ao questionário

O valores obtidos pelo primeiro método está 1,5% fora e o segundo método 5,6%. Tente obter o maior número possível de pontos de dados para o método B de modo a obter melhores resultados.

EXPERIÊNCIA 4: REFRAÇÃO ATRAVÉS DE UM PRISMA

Notas no procedimento

1. O prisma vazio absorve a radiação numa pequena quantidade.
2. $\theta = 7^\circ (\pm 1^\circ)$;
3. $\theta_1 = 22^\circ$
 $\theta_2 = 29^\circ$
5. 6 Na experiência efectuada pela Pasco Scientific, o valor foi: $n_1 = 1,3 \pm 0,05$

Respostas ao questionário

1. . A assunção é válida. De acordo com a Lei de Snell, se o ângulo de incidência for zero, o ângulo de refração são também zero.
3. O índice do prisma deverá ser maior devido à maior densidade “óptica” de um material sólido.

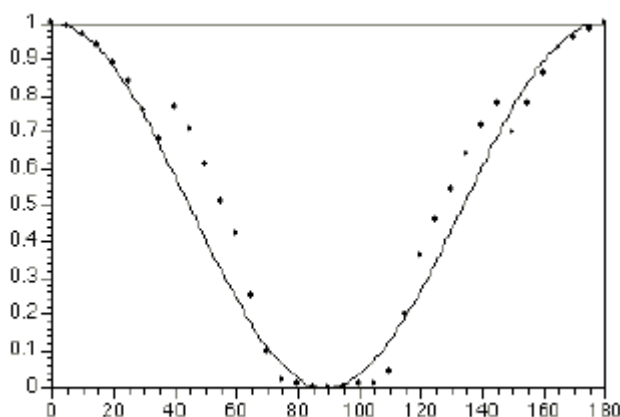
Notas gerais

1. O prisma poderá ser enchido com outros materiais. A Pasco Scientific usou água para esse teste. A água absorve a maior parte da energia de microondas (isto é como um microondas que temos em casa funciona) mas alguma fica fora e que pode ser medida numa escala de baixa sensibilidade do receptor. Na Pasco encontrou-se um valor de $n = 1,4 \pm 0,05$.

EXPERIÊNCIA 5: POLARIZAÇÃO

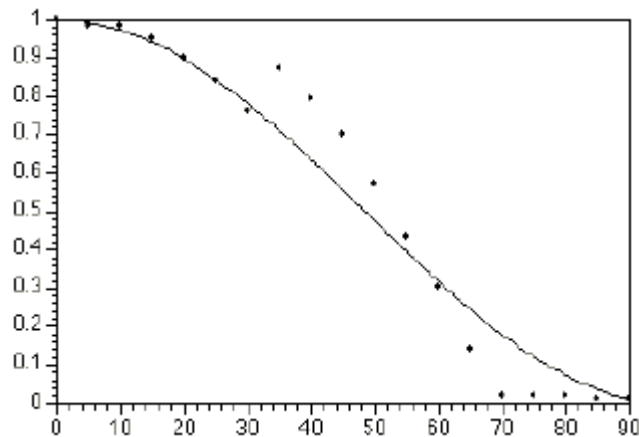
Notas no procedimento

- 2.



NOTA: existe um “erro” consistente nos dados a ângulos de polarização de cerca de 40° e 140° que não é totalmente explicada pela não linearidade do receptor.

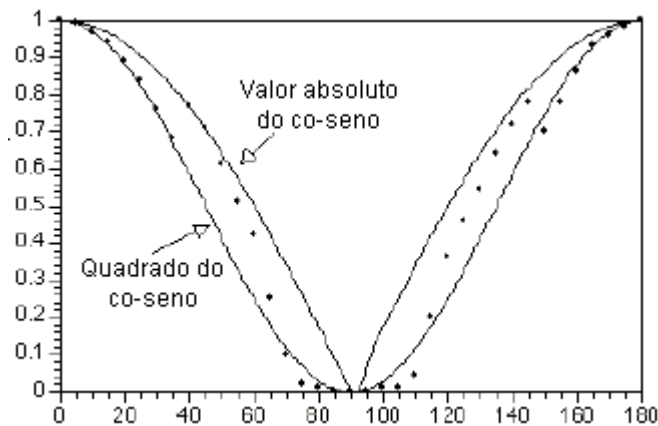
3. Continue a rotação do receptor resulta numa duplicação do padrão seguinte:



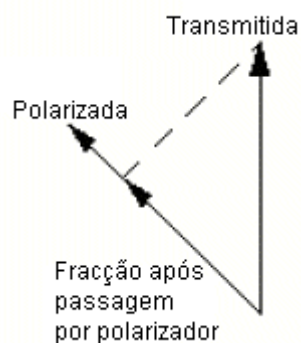
6. A leitura do medidor é zero quando as fendas de polarização são orientadas verticalmente ou horizontalmente. Quando as fendas estão a 45° as leituras do medidor tem cerca de 30% do seu máximo para essa distância.

Respostas ao questionário

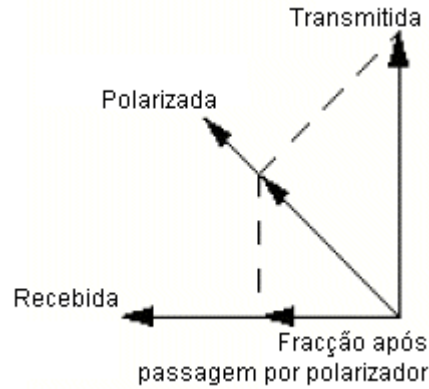
1. 2. As leituras do medidor aproxima-se mais à intensidade do que ao campo eléctrico.



3. O polarizador transmite apenas a componente da onda paralela do polarizador.

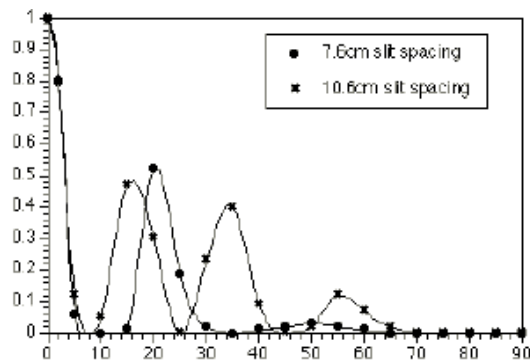


4. Quando o transmissor e o polarizador estão a 90° , a onda está completamente bloqueada. No entanto, colocando o polarizador a 45° , introduz uma componente da onda paralela ao receptor de modo a onda ser detectada.



EXPERIÊNCIA 6: INTERFERÊNCIA DE DUPLA FENDA

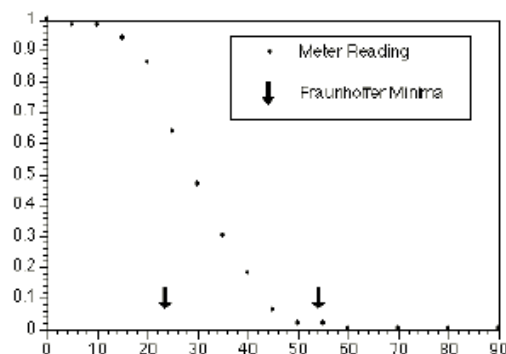
Respostas ao questionário



2. Para uma fenda de 7,6 cm a máxima ocorre a 22° e a 54° .
Para uma distancia de 10,6 cm, a máxima ocorre a 15° , 33° e 54° .
Estes valores teóricos são próximos aos dados experimentais. A teoria assume que a distância entre fendas e o receptor são maiores comparando com espaço da fenda e o comprimento de onda. Estes requerimentos coincidem ligeiramente com a montagem experimental utilizada e pode causar problemas em algumas situações.
3. O padrão de uma fenda (ver experiência 7) actua como um limite superior ao padrão de dupla fenda nesta experiência.

Notas gerais

1. A posição do aluno tem um efeito nas medidas nesta experiência. Experimente encontrar como isto afecta na experiência e obtenha dados de acordo com essa posição.
2. Difracção de uma fenda pode igualmente ser tentada nesta montagem apesar de não ser recomendado. A distância é muito curta, relativamente ao comprimento de onda, de modo que a análise requer uma aproximação de Fresnel / Kirchoff em vez de uma aproximação de Fraunhofer.



PARA MAIS INFORMAÇÕES E ASSISTÊNCIA TÉCNICA CONTACTE

J. ROMA, Lda.
Praça da Figueira, nº 12 – 1º | 1100-241 Lisboa

Humberto Ribeiro: 964404432 ou 218810130 ou humberto@jroma.pt