

Os números dos capítulos, das seções e dos exercícios são os da 12ª edição dos livros Física IV de Sears e Zemansky. Os números entre parênteses se referem aos capítulos, às seções e aos exercícios correspondentes da 10ª edição.

Capítulo 35(37): Interferência

- **Número de aulas:** 3 aulas de 12/9 a 20/9
- **Seções do livro texto:** 35.1 *Interferência e Fontes Coerentes*; 35.2 *Interferência da Luz Produzida por Duas Fontes*; 35.3 *Intensidade das Figuras de Interferência*; 35.4 *Interferência em Películas Finas* e 35.5 *O Interferômetro de Michelson* (37.1 a 37.6)
- **Exercícios sugeridos:** 35.9(37.11), 35.11(37.9), 35.18(37.8), 35.23(37.13), 35.27(37.19), 35.32(37.26), 35.36(37.24), 35.37(37.27), 35.44(37.38), 35.52(37.46), 35.54(37.46), 35.58(37.50).

Seção 33.7(34.8): Princípio de Huygens e Capítulo 36(38): Difração

- **Número de aulas:** 3 aulas de 21/9 a 29/9
- **Seções do livro texto:** 33.7(34.8) *Princípio de Huygens* e 36.1 *Difração de Fresnel e Difração de Fraunhofer*; 36.2 *Difração Produzida por uma Fenda Simples*; 36.3 *Intensidade na Difração Produzida por uma Fenda Simples*; 36.4 *Fendas Múltiplas*; 36.5 *Rede de Difração*; 36.6 *Difração de Raios X* e 36.7 *Orifícios Circulares e Poder de Resolução* (38.1 até 38.8)
- **Exercícios sugeridos:** 36.18(38.12), 36.21(38.15), 36.25(38.19), 36.36(38.22), 36.45(38.35), 36.53(38.39), 36.67(38.51), 36.62(38.52), 36.69(38.53), 36.72(38.58).

Capítulo 38(40): Fótons, Elétrons e Átomos

- **Número de aulas:** 2 aulas de 3/10 a 6/10
- **Seções do livro texto:** 38.8(40.9) *Espectro contínuo* e 38.2(40.3) *O Efeito Fotoelétrico*
- **Exercícios sugeridos:** 38.42(40.36), 38.77(40.65), 38.4(40.2), 38.12(40.8), 38.13(40.7), 38.14(40.9), 38.18(40.12), 38.55(40.47).

P2 em 11 de outubro às 13:10

INTERFERÊNCIA

84

O que é interferência?

É a superposição de duas ou mais ondas na mesma região de espaço.

A onda resultante é determinada pelo princípio de superposição.

A seguir (a menos que se diga explicitamente o contrário) consideramos ondas eletromagnéticas.

- monocromáticas (= ondas senoidais com uma frequência ou "cor" fixa)
- por consequência, mesmo comprimento de onda ($\lambda = v/f$)
- mesma polarização
- diferença de fase fixa (dizemos que as fontes são coerentes) *Elas podem ser abstratas*
- amplitude igual

Supomos que temos fontes que emitem esféricamente ou cilindricamente. Podemos representar as cristas (= máximas) que são separados de λ

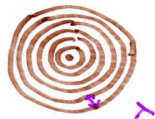
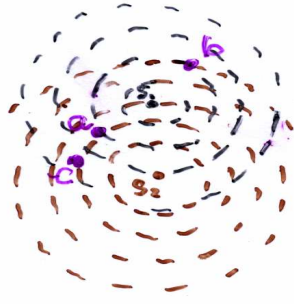


Imagem para um instante fixo

FOTOCOPIADORA P&B IMPRIMIR NO OUTRO LADO
FILIPAPER
FOTOCOPIADORA P&B IMPRIMIR NO OUTRO LADO
FILIPAPER
FOTOCOPIADORA P&B IMPRIMIR NO OUTRO LADO
FILIPAPER
FOTOCOPIADORA P&B IMPRIMIR NO OUTRO LADO
FILIPAPER
FOTOCOPIADORA P&B IMPRIMIR NO OUTRO LADO

Condição de interferência em termo de caminho percorrido



Supomos S_1 e S_2 em fase.
 a está equidistante de S_1 e S_2 \Rightarrow as ondas saem de S_1 e S_2 em fase e chegam em a em fase
 \Rightarrow as ondas se somam em a e a amplitude resultante é o dobro da amplitude de S_1 e S_2 .

Analogamente a distância de b a S_2 é 3λ maior do que a distância de b a S_1 , que é 2λ
 \Rightarrow uma crista proveniente de S_1 chega em b $\frac{3}{2}$ ciclos ^{antes} que uma crista emitida no mesmo instante em S_2 \Rightarrow as cristas chegam em fase em b \Rightarrow as ondas se somam como no caso anterior.

Quando as ondas provenientes de várias fontes chegam em fase em um ponto, a amplitude resultante é soma das amplitudes individuais. Isto se chama INTERFERÊNCIA CONSTRUTIVA.

Como vimos, isto ocorre quando as diferenças de caminho satisfazem:

$$k(r_2 - r_1) = m 2\pi$$

$$\Downarrow$$

$$r_2 - r_1 = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

interferência construtiva
 as fontes em fase.

Para pontos como c, a diferença de caminho é um número semi-inteiro de $\lambda \Rightarrow$

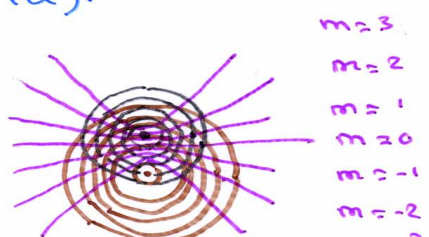
As ondas chegam a e com uma diferença de fase de meio ciclo \Rightarrow uma crista de s_1 chega ao mesmo tempo do que uma crista invertida de $s_2 \Rightarrow$ a amplitude resultante é nula.

$$k(r_2 - r_1) = m\pi + \pi$$

$$r_2 - r_1 = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

interferência destrutiva
pl fontes em fase

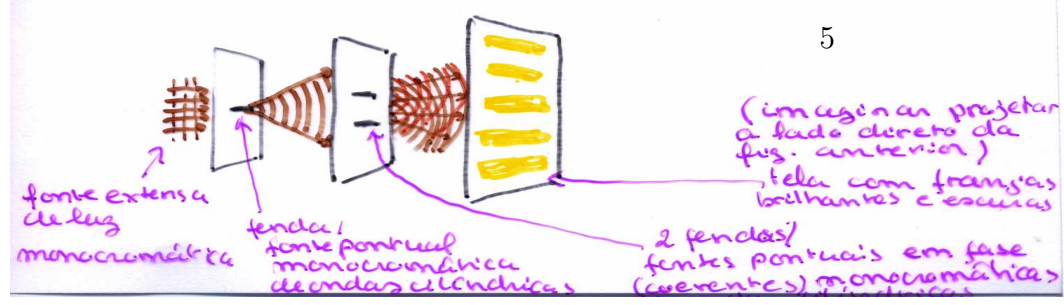
Pode-se representar as curvas onde há interferência construtiva. São chamadas curvas antinodais (mas a onda resultante das ondas emitidas por s_1 e s_2 não é estacionária).



$$s_1 = A(r_1) \cos(kr_1 - \omega t) \quad s_2 = A(r_2) \cos(kr_2 - \omega t)$$

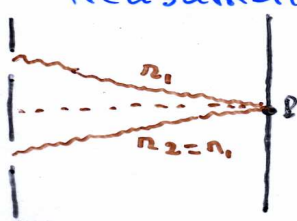
Se $A(r_1) \sim A(r_2) \sim A$: $s = s_1 + s_2 \sim 2A \cos\left[\frac{k(r_1 + r_2)}{2}\right] \cos\left[\frac{k(r_1 - r_2)}{2} - \omega t\right]$
 nós fixos e nos antinós: $s = 2A \cos(kr - \omega t)$ \forall r \Rightarrow interferência construtiva

Experiência de dupla fenda (du de Young)

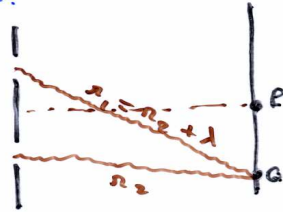


FILIPAPER
 FOTOCOPIADORA P&B
 IMPRIMIR NO OUTRO LADO
 FILIPAPER
 FOTOCOPIADORA P&B
 IMPRIMIR NO OUTRO LADO
 FILIPAPER
 FOTOCOPIADORA P&B
 IMPRIMIR NO OUTRO LADO
 FILIPAPER
 FOTOCOPIADORA P&B
 IMPRIMIR NO OUTRO LADO
 FILIPAPER

60 O fato de ver uma série de franjas e não só 2, correspondendo as 2 fendas não é óbvio. Vem da natureza ondulatória da luz, que permite o fenômeno de interferência. Precisamente:



$r_2 - r_1 = 0 \Rightarrow$ franja brilhante em P

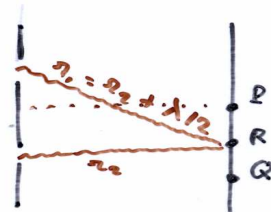


$r_2 - r_1 = \lambda \Rightarrow$ franja brilhante em Q

$$\vec{E}_1(P) \propto \cos(kr_1 - \omega t) \hat{e}$$

$$\vec{E}_2(Q) \propto \cos(kr_2 - \omega t) \hat{e}$$

$$= \vec{E}_1(Q)$$



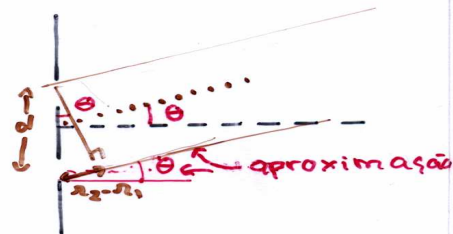
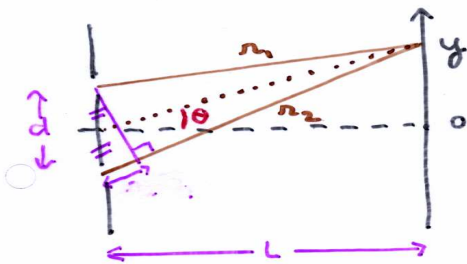
$r_2 - r_1 = \lambda/2 \Rightarrow$ franja escura em R

$$\vec{E}_1(R) \propto \cos(kr_1 - \omega t) \hat{e}$$

$$\vec{E}_2(R) \propto \cos(kr_2 - \omega t + \pi) \hat{e}$$

$$= -\vec{E}_1(R)$$

Vamos re-escrever as condições de interferência construtiva e destrutiva usando a geometria do problema.



Se $L \gg d$, podemos fazer a aproximação de raios paralelos e calcular

$$r_2 - r_1 = d \sin \theta$$

com $\theta =$ ângulo ao horizontal

Se $d \gg \lambda$, temos

$$\sin \theta \sim \tan \theta = \frac{y}{L}$$

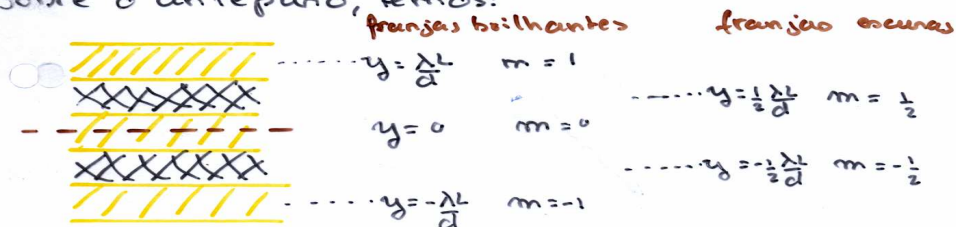
(pois a escala p/ $\sin \theta$ é da ordem λ/d)

* Para ondas esféricas ou cilíndricas, E_m depende de r , mas isto é desprezível.

Podemos usar estas formulas que valem para qualquer n_1 ou n_2 (se $L \gg d$ e $d \gg \lambda$) para localizar as franjas sobre o anteparo:

brilhante:	$n_2 - n_1 = d \sin \theta = d \frac{y}{L}$	$\Leftrightarrow y = \frac{\lambda L}{d} m$
	$= m \lambda$	
escura:	$n_2 - n_1 = d \sin \theta = d \frac{y}{L}$	$\Leftrightarrow y = \frac{\lambda L}{d} (m + \frac{1}{2})$
	$= (m + \frac{1}{2}) \lambda$	

Sobre o anteparo, temos:



[obs.: y em cada caso é o meio da franja]

Exemplo:

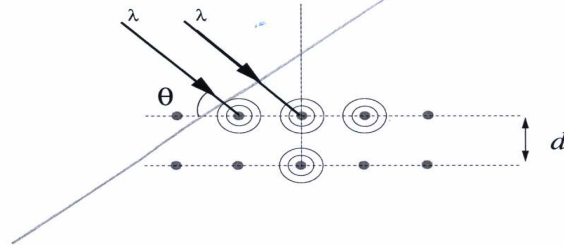
É uma experiência com fenda dupla, a distância entre fendas é $0,20 \text{ mm}$ e a tela está a $1,0 \text{ m}$. A terceira franja brilhante acima da do meio forma-se a $7,5 \text{ mm}$ dela. Qual é o valor de λ ?

aquí $m=3$, assim $y = 7,5 \text{ mm} = 3 \frac{\lambda L}{d}$

$$\Rightarrow \lambda = 7,5 \text{ mm} \times \frac{d}{3L} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} \times 0,20 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 1,0} = 500 \text{ nm}$$

Questão 3

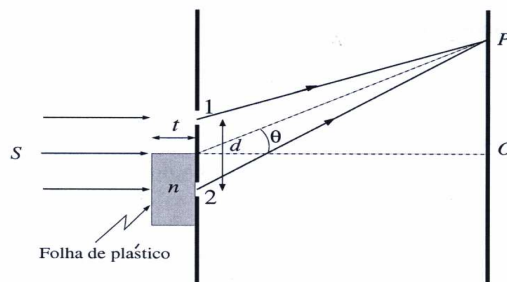
- (I) (1,5 ponto) Numa experiência de Young, duas fendas separadas de 1,5 mm, são iluminadas com luz de comprimento de onda igual a 600 nm. As franjas brilhantes de interferência são observadas em um anteparo a uma distância de 3 m do plano das fendas. Determine o espaçamento entre estas franjas.
- (II) (1,0 ponto) Deduza a condição de interferência construtiva para um raio X de comprimento de onda λ incidindo num cristal formando um ângulo θ com os planos cristalinos espaçados de d , conforme mostra a figura.



Física IV - 4320402
Escola Politécnica - 2010
GABARITO DA P2
19 de outubro de 2010

Questão 1

Uma folha de plástico, com índice de refração n e espessura t , é usada para cobrir uma das fendas em um experimento de Young (fenda 2 na figura). As fendas são iluminadas perpendicularmente com luz monocromática de comprimento de onda λ_0 (valor no vácuo), que parte de uma fonte de luz S pontual muito distante. A tela de observação é paralela e muito distante do anteparo. A largura das fendas é desprezível em relação à distância d entre elas.



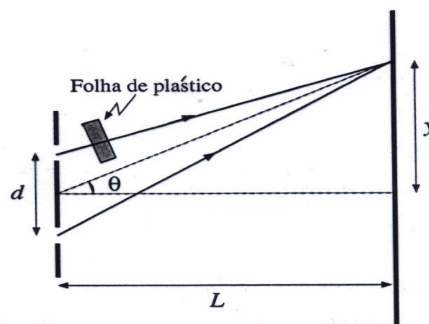
- (a) (1,5 ponto) Determine a diferença de fase $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ entre as ondas que partem da fenda 2 e da fenda 1, contribuindo para a intensidade da luz em um ponto P da tela indicado pela posição angular θ .
- (b) (1,0 ponto) Determine a espessura mínima t_{\min} da folha de plástico para que o ponto O no centro da tela fique escuro (interferência destrutiva).

Física IV

Escola Politécnica - 2008
FAP 2204 - GABARITO DA P2
21 de outubro de 2008

Questão 1

Considere a experiência da dupla fenda. O comprimento de onda da luz utilizada é λ_0 , a separação das fendas é d e a distância à tela é igual a L ($L \gg d$). Uma folha delgada de plástico, com espessura ϵ e índice de refração n , é colocada perto da fenda de cima. Como $L \gg d$ os raios mostrados na figura abaixo são aproximadamente paralelos.



- (a) (1,5 ponto) Deduza a condição para haver interferência construtiva entre as ondas provenientes das duas fendas. Escreva sua resposta em função de d , θ , ϵ , λ_0 , e n .
- (b) (1,0 ponto) Devido à folha de plástico, o máximo central da figura de interferência se desloca de uma distância y para cima. Para $d = 0,3 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ m}$, $\epsilon = 0,05 \text{ mm}$ e $n = 1,5$ calcule a distância de deslocamento (o resultado independe de λ_0).

Questão 2

Uma fonte de luz emite luz com dois comprimentos de onda λ_1 e λ_2 com $\lambda_2 > \lambda_1$. A fonte é usada na experiência de Young de dupla fenda. A distância entre as fendas é d e a observação das franjas de interferência é feita num anteparo a uma distância $L \gg d$ das fendas. Os ângulos de observação das franjas são tais que $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$.

- (0,5 ponto) Faça um esquema da experiência indicando na figura L , d e θ .
- (1,0 ponto) Sabendo que o máximo de terceira ordem da luz com comprimento de onda λ_1 é observado no anteparo num ponto com ordenada y_3 , calcule o comprimento de onda λ_1 .
- (1,0 ponto) Determine a distância de separação no anteparo entre os máximos de segunda ordem correspondentes aos comprimentos de onda λ_1 e λ_2 .