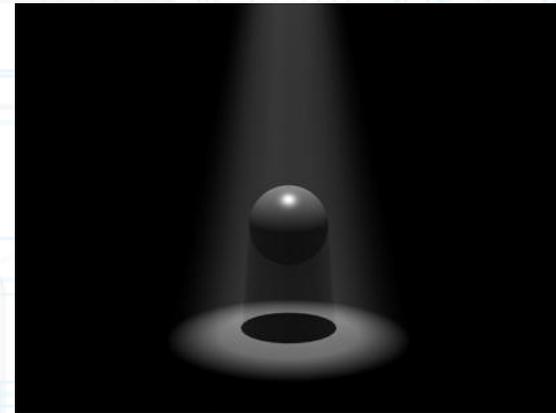


Cap. 22 – Óptica Ondulatória

- Objetivos
 - Usar o modelo de onda luminosa
 - Reconhecer as evidências da natureza da onda luminosa
 - Calcular padrões de interferência produzido por fendas duplas e redes de difração
 - Compreender como a luz se difrata em termos de fendas simples e circulares
 - Compreender o funcionamento de interferômetros

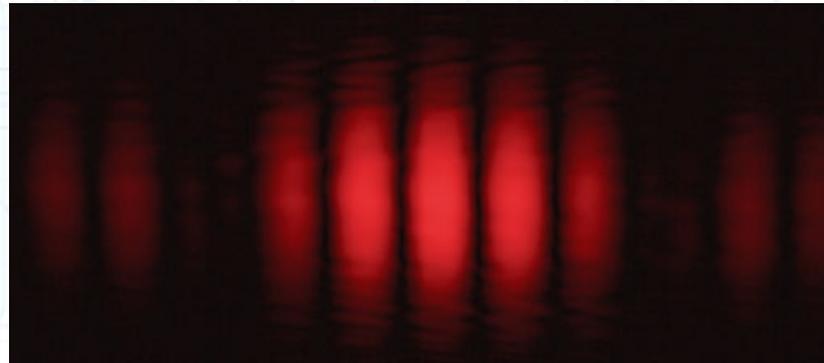
Óptica Ondulatória

- O que é luz?
 - A luz consiste de partículas leves, rápidas e muito pequenas, chamadas de corpúsculos



Óptica Ondulatória

- O que é luz?
 - Experimento da fenda dupla de Young mostra a interferência entre duas ondas luminosas → luz com comportamento ondulatório!
 - Mas se a luz é onda, o que está oscilando?



Óptica Ondulatória

- O que é luz?
 - Numa visão moderna, luz possui características de partículas E de onda. Denominamos então de **fóton**.
- Modelos da luz
 - **Modelo ondulatório (esse capítulo)**
 - Modelo de raios
 - Modelo de fótons

Óptica Ondulatória

- Características de ondas
 - Princípio da superposição
 - Interferência construtiva e destrutiva
 - Difração

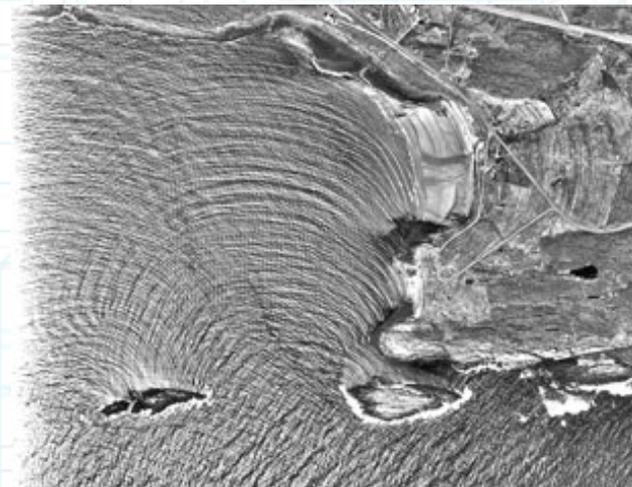
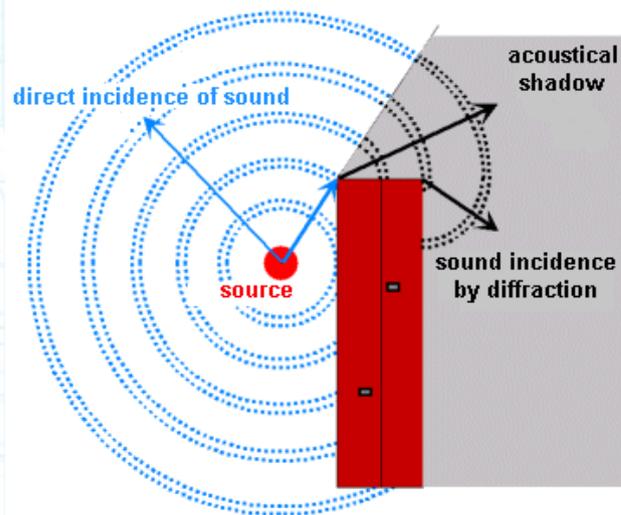
Mas o quê é difração???



Óptica Ondulatória

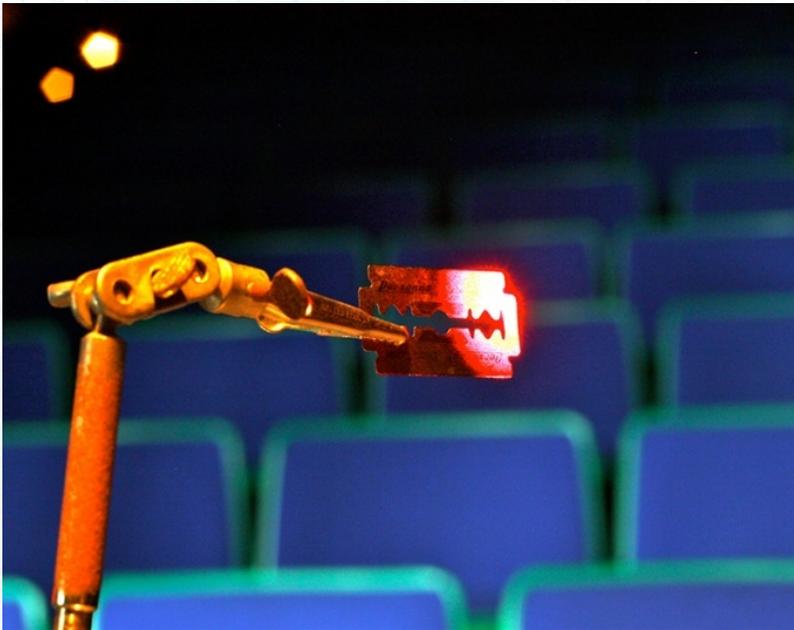
- **Difração:**

- é o fenômeno que ocorre quando uma onda contorna a borda de um objeto ou atravessa um orifício.
- As dimensões características devem ser da ordem do comprimento de onda



Óptica Ondulatória

- Se a luz é uma onda....
 - Então devemos observar o fenômeno de difração



Como será a imagem projetada num anteparo atrás da lâmina?

Óptica Ondulatória

- Se a luz é uma onda....
 - Então devemos observar o fenômeno de difração

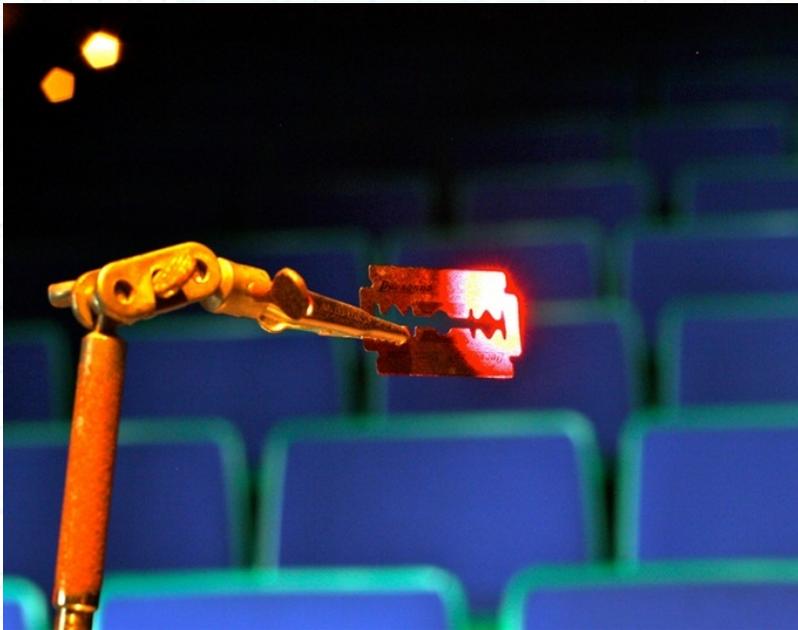
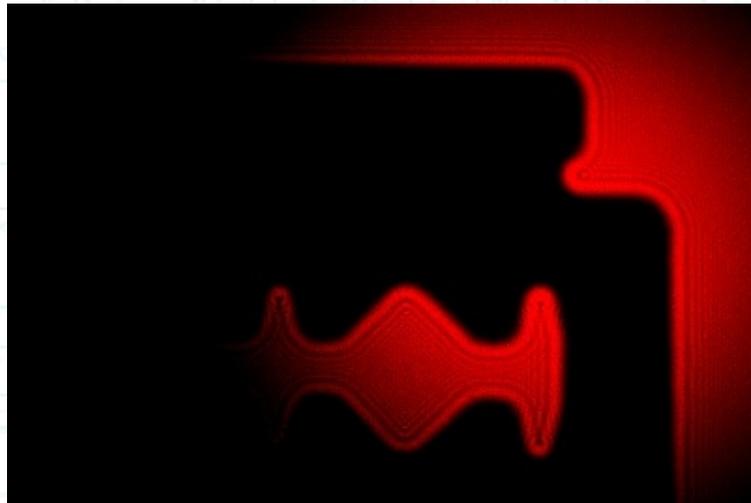
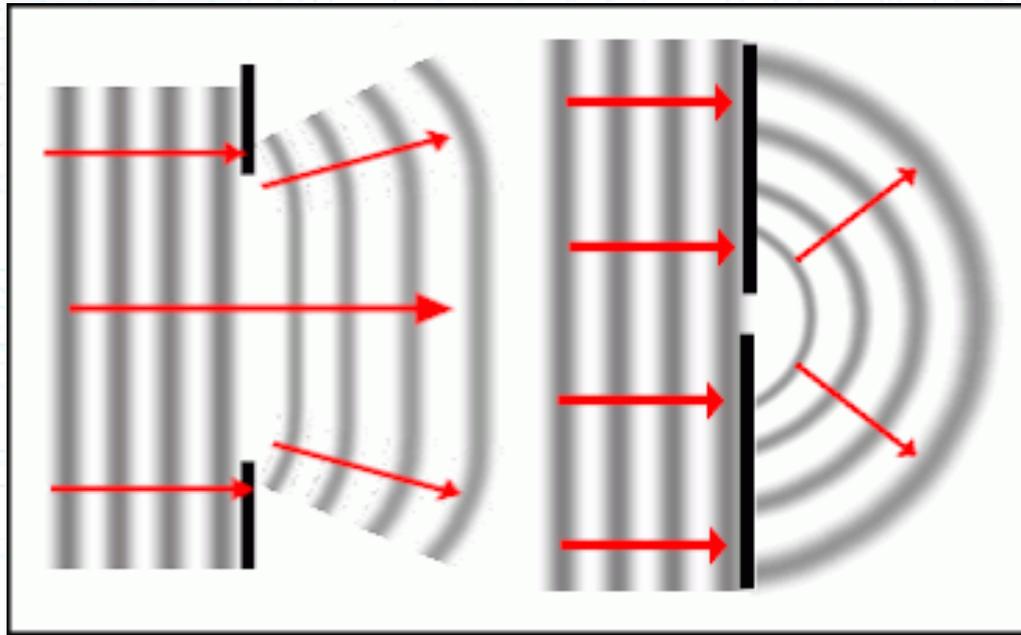


Imagem projetada no anteparo



Óptica Ondulatória

- Difração por uma fenda (introdução)
 - Qual a diferença da difração nos 2 casos?



Óptica Ondulatória

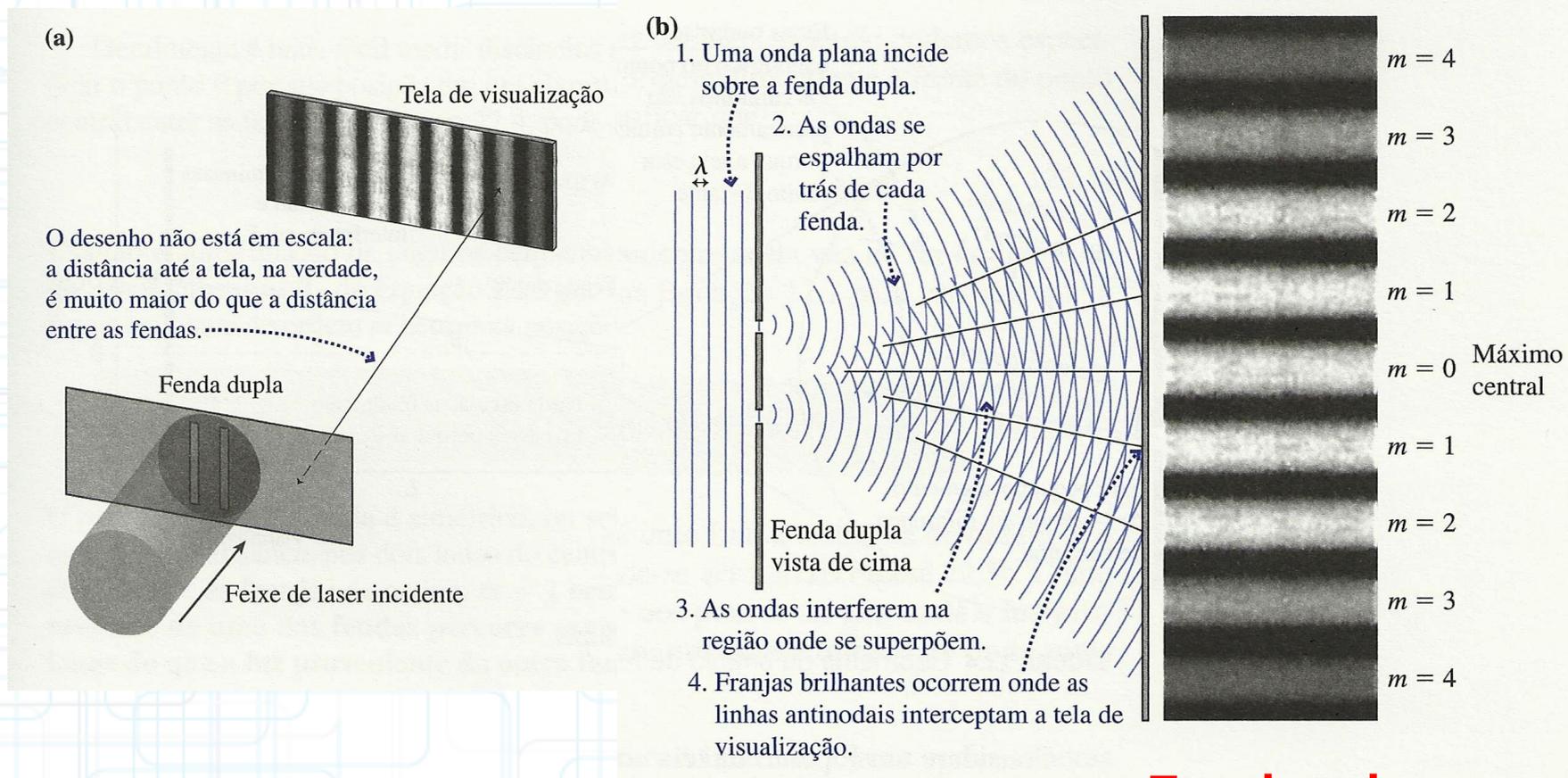
- Simulação de interferência e difração:

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference>

- A luz atravessa uma fenda de largura (d) menor que o comprimento de onda da luz (λ)?
- Existe difração para $d > \lambda$?
- O que acontece se tivermos 2 fendas?

Óptica Ondulatória

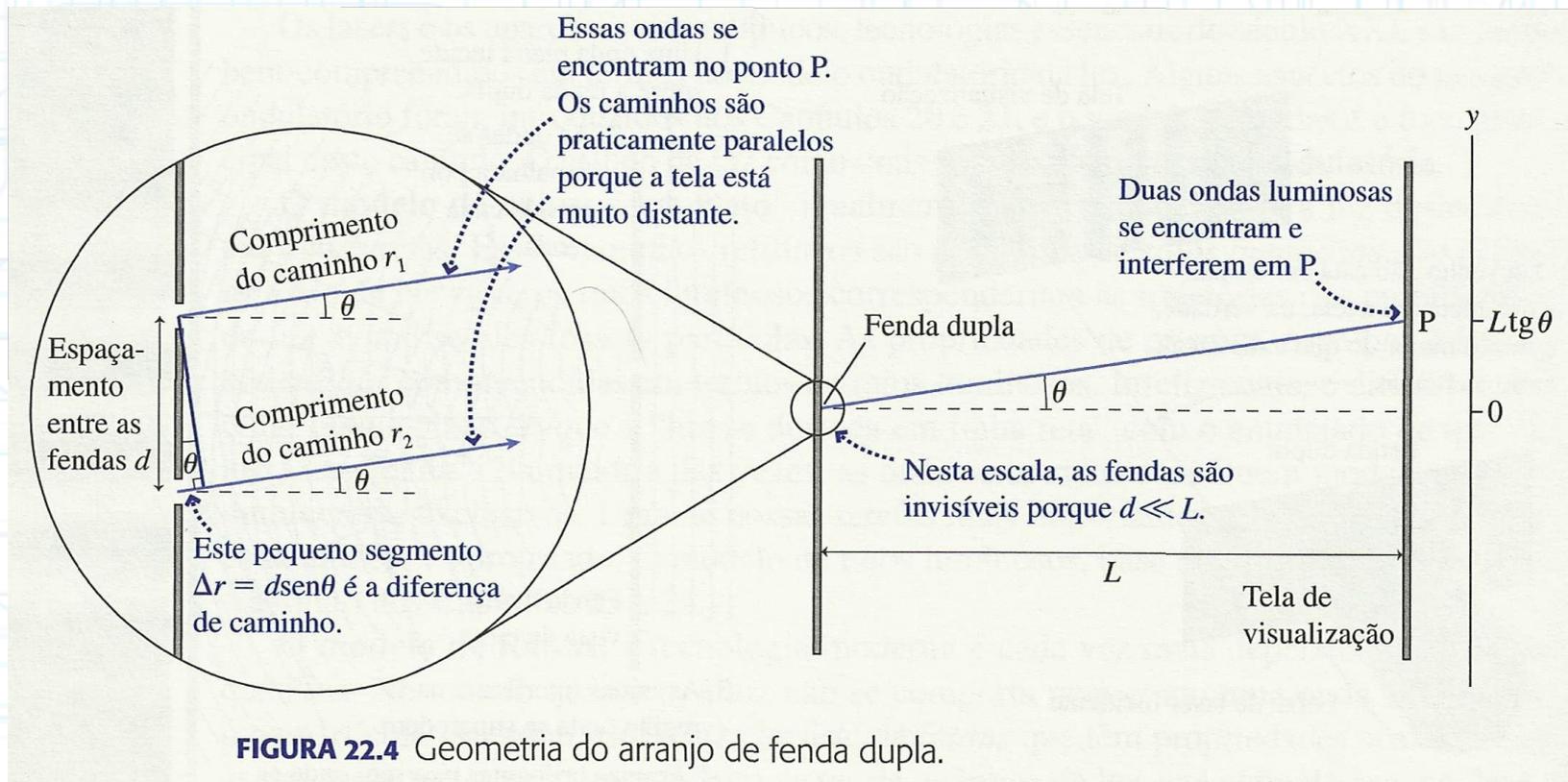
- O experimento da fenda dupla de Young



Franjas de interferência

Óptica Ondulatória

- Análise do experimento de Young
 - Qual é a condição para que P seja um ponto de interferência construtiva?



Óptica Ondulatória

- Deduções...

ângulos de **interferência construtiva**
(franjas brilhantes)

$$\theta = m \frac{\lambda}{d} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

e

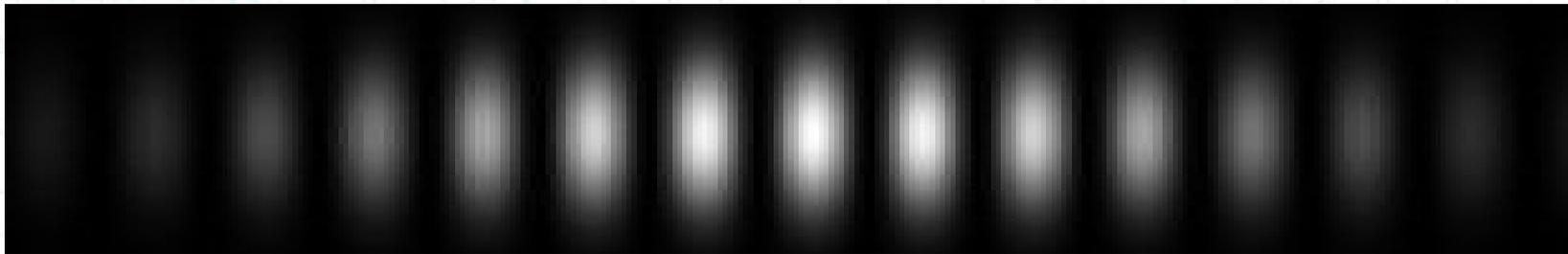
$$y_m = \frac{m \lambda L}{d} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

Óptica Ondulatória

Posições das franjas escuras

$$y'_m = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{d} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

- ATENÇÃO! O primeiro mínimo não é em $y = 0$!



Óptica Ondulatória

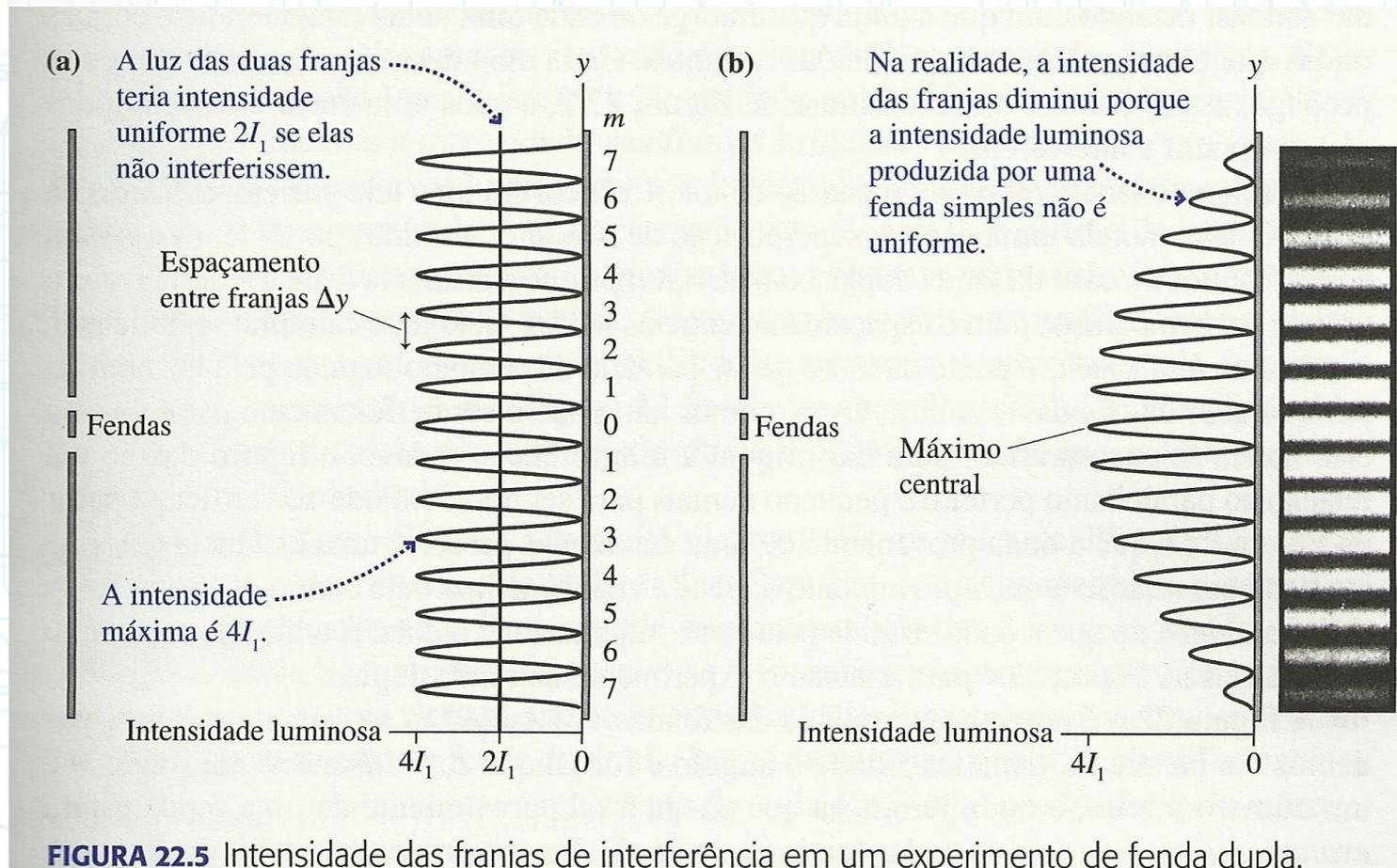
- Intensidade na interferência de fenda dupla
 - No capítulo anterior foi demonstrado que

$$A(x) = 2a \cos\left(\frac{\pi \Delta r}{2\lambda}\right)$$

- Intensidade de uma onda é proporcional ao quadrado da amplitude

$$I_{dupla} = 4I_o \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda L} y\right)$$

Óptica Ondulatória



Padrão de intensidades devido à interferência.

- Se a luz fosse partícula, o que seria observado na tela?

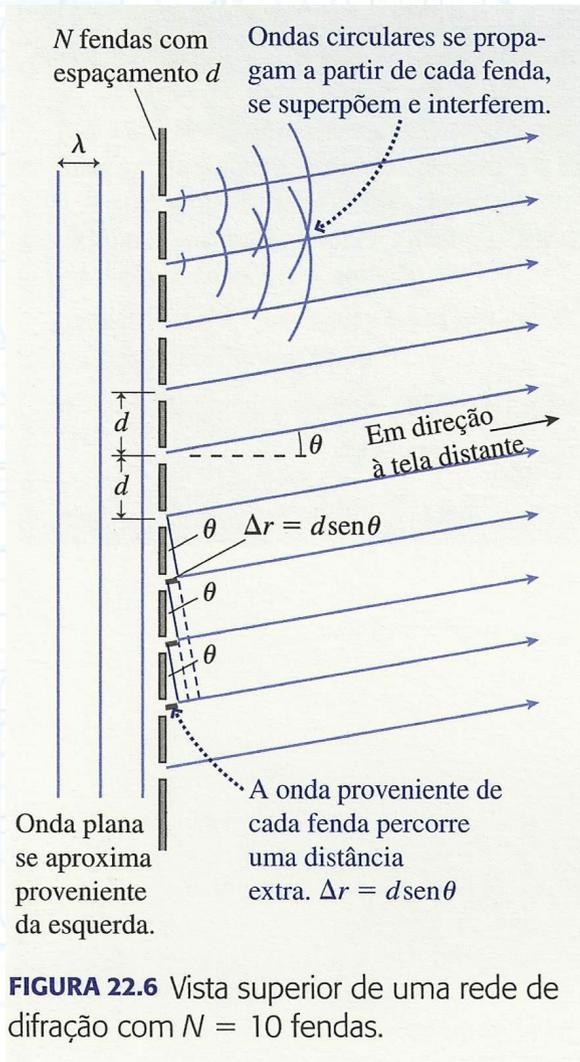
Óptica Ondulatória

$$I_{dupla} = 4I_o \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda L} y \right)$$

- A intensidade é 4 vezes a intensidade de uma das fendas nos pontos brilhantes!
- **E a conservação de energia!? Como é maior a intensidade!?**

Óptica Ondulatória

- Rede de Difração



Suponha agora que substituimos a fenda dupla por N fendas igualmente espaçadas

– **Rede de difração**: dispositivo com N fendas

FIGURA 22.6 Vista superior de uma rede de difração com $N = 10$ fendas.

Óptica Ondulatória

- N ondas luminosas, emitidas por N fendas, estarão em fase entre si quando chegarem a um ponto da tela correspondente ao ângulo θ_m tal que

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda$$

logo $y_m = L \operatorname{tg} \theta$

o nº inteiro m é chamado de ordem de difração

d é o espaçamento entre as linhas

Óptica Ondulatória

Uma rede de difração é caracterizada pelo nº de linhas por milímetro

- A intensidade depende do quadrado da amplitude

$$I_{max} = N^2 I_1$$

- Além disso elas também ficam mais estreitas

$$\sigma \propto \frac{1}{N}$$

Óptica Ondulatória

- Exercícios

4. I Um experimento de fenda dupla é realizado com luz de comprimento de onda igual a 600 nm. As franjas brilhantes de interferência se encontram à distância de 1,8 mm da tela de visualização. Qual será o espaçamento entre as franjas se o comprimento de onda da luz usada for alterado para 400 nm?

6. II A luz proveniente de uma lâmpada de sódio ($\lambda = 589$ nm) ilumina duas fendas estreitas. O espaçamento entre as franjas em uma tela posicionada 150 cm atrás das fendas é de 4,0 mm. Qual é o espaçamento (em mm) entre as duas fendas?

Óptica Ondulatória

- Exercícios

9. I Uma rede de difração de 1,0 cm de largura possui 1000 fendas. Ela é iluminada por luz de comprimento de onda de 550 nm. Quais são os ângulos (em graus) das duas primeiras ordens de difração?

14. II Uma rede de difração com 500 linhas/mm é iluminada por luz de comprimento de onda igual a 510 nm. Quantas franjas brilhantes são vistas em uma tela de 2,0 m de largura posicionada 2,0 m atrás da rede?

Óptica Ondulatória

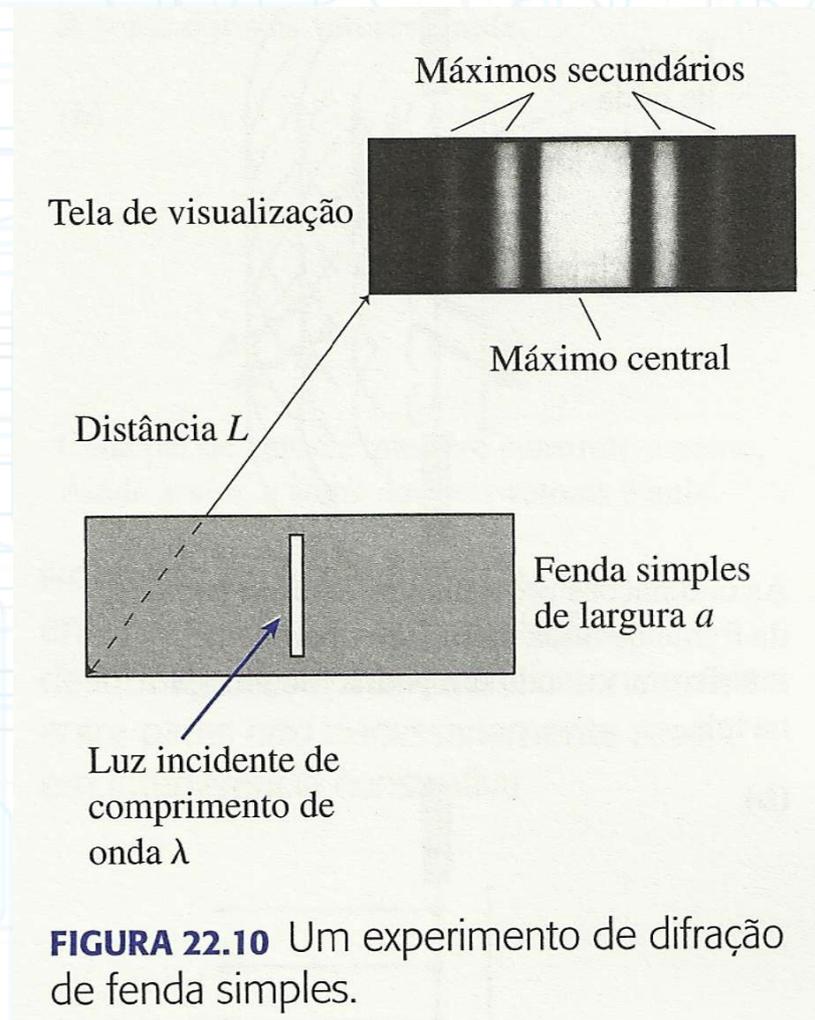
- Considere ainda a rede de difração de 500 linhas/mm. Para a 1ª ordem de difração ($m = 1$), determine os ângulos para os seguintes comprimentos de onda

λ (nm)	θ
400	
500	
600	
700	



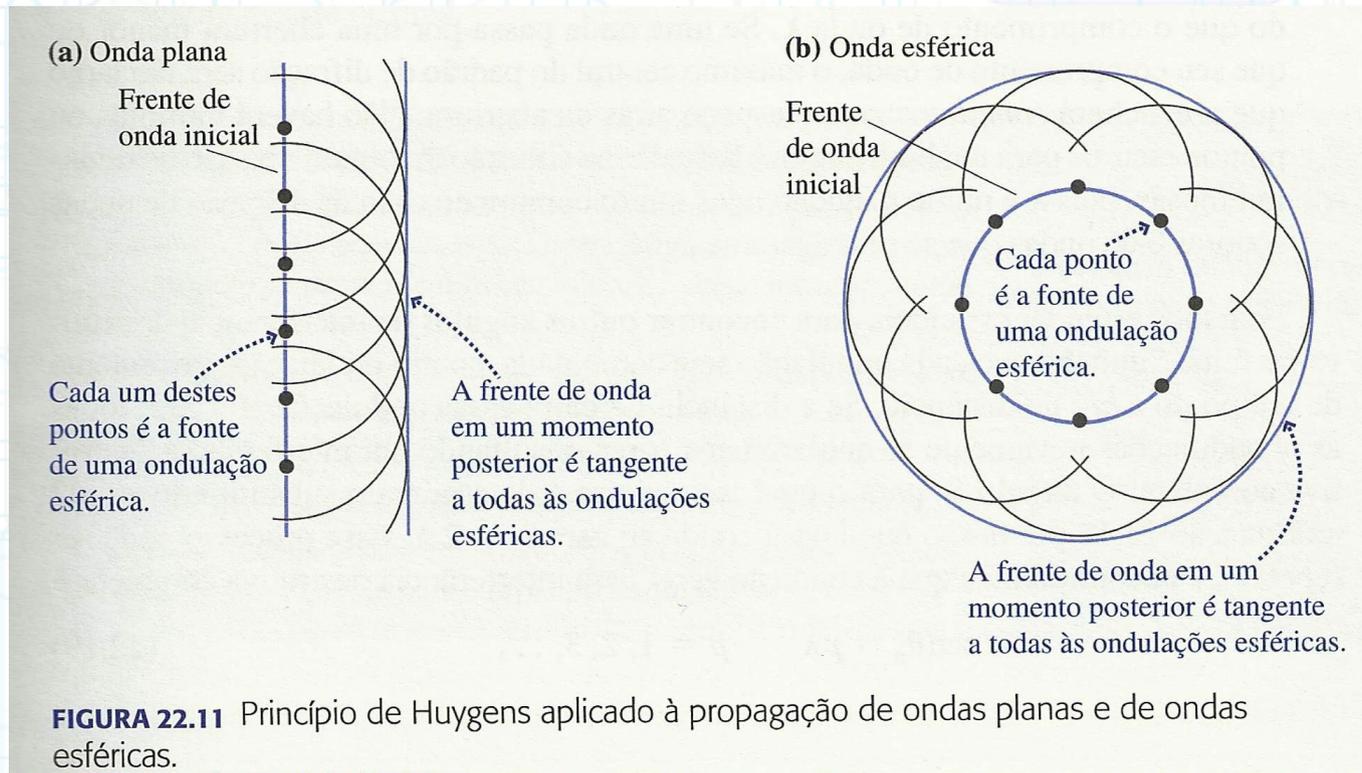
Óptica Ondulatória

- Difração por fenda simples



Óptica Ondulatória

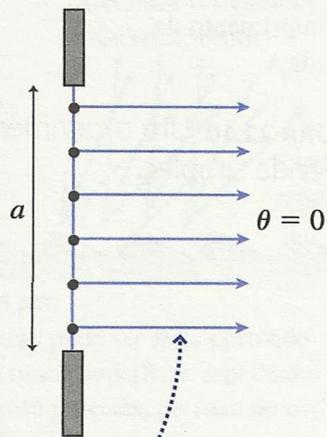
- Princípio de Huygens



Óptica Ondulatória

Análise da difração de fenda simples

(b)

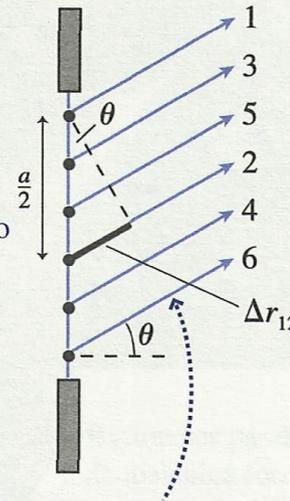


As ondulações que seguem diretamente para a frente percorrem todas a mesma distância até a tela. Assim, elas chegam em fase e interferem construtivamente para produzir ali o máximo central.

central.

(c)

Cada ponto da frente de onda é combinado a outro ponto situado a uma distância de $a/2$.



Todas essas ondulações se encontram na tela segundo o ângulo θ . A ondulação 2 percorre uma distância $\Delta r_{12} = (a/2) \text{sen } \theta$ extra em relação à ondulação 1.

FIGURA 22.12 Cada ponto da frente de onda é uma fonte de ondulações esféricas. A superposição dessas ondulações produz o padrão de difração visto na tela.

Óptica Ondulatória

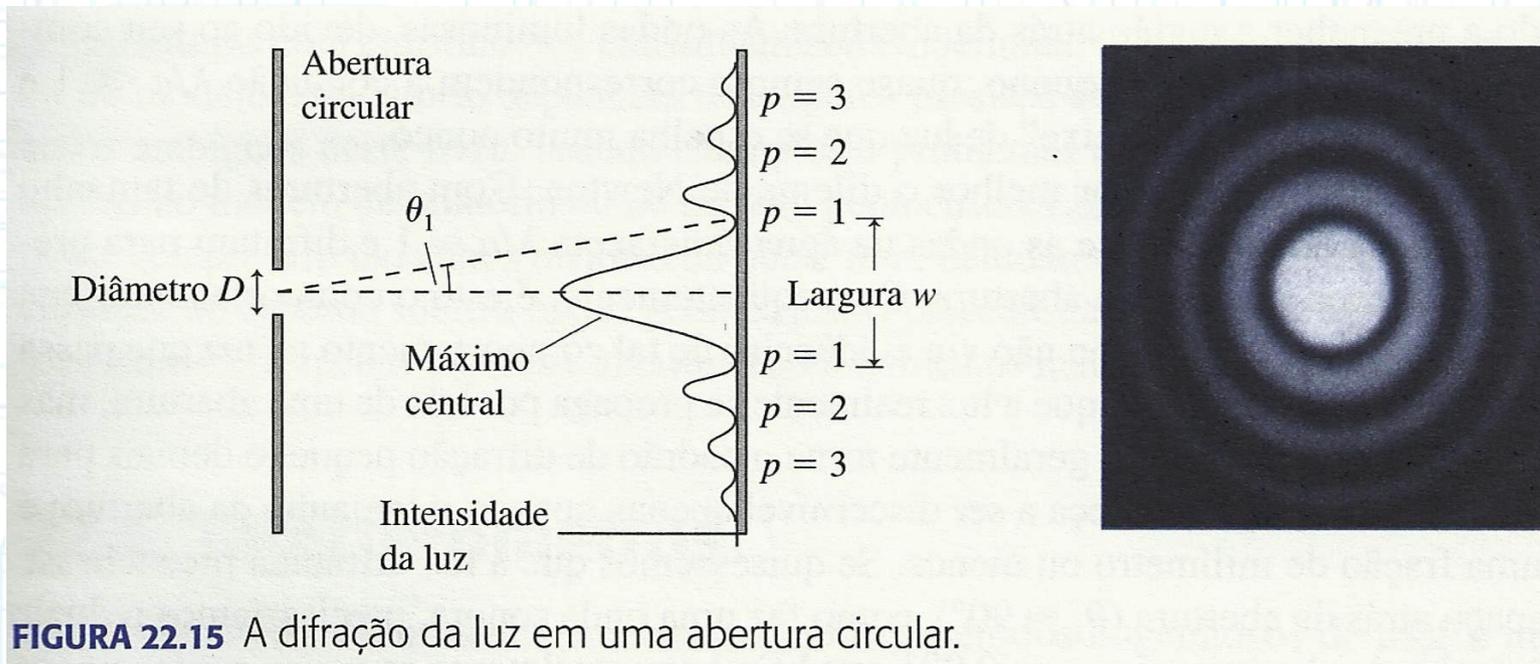
- Os mínimos da difração são dados por:

$$a \operatorname{sen} \theta = p \lambda$$

- O que ocorre se $a < \lambda$??

Óptica Ondulatória

- Difração em aberturas circulares



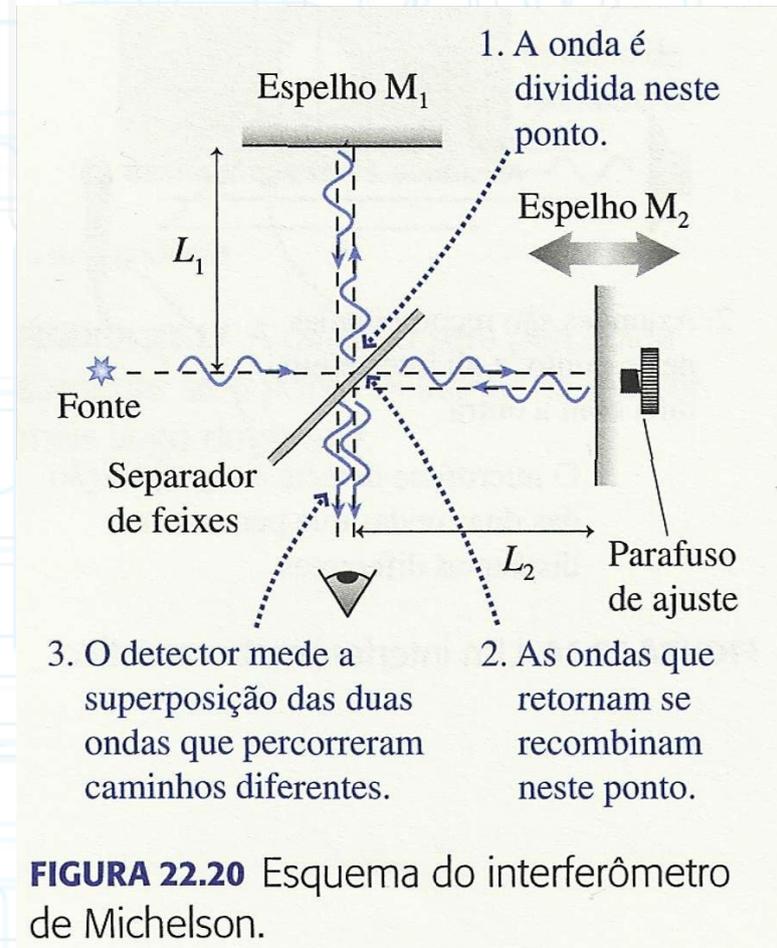
$$\theta = \frac{1.22 \lambda}{D}$$

Óptica Ondulatória

- Interferômetros
 - são dispositivos que fazem uso prático da interferência, utilizando duas ondas com exatamente o mesmo comprimento de onda
 - utilizados para medidas de alta precisão de comprimento e de índices de refração

Óptica Ondulatória

- Interferômetro de Michelson
 - uso de um separador de feixe para gerar 2 ondas idênticas
 - as duas ondas percorrem distâncias r_1 e r_2 e depois se interferem



Óptica Ondulatória

- Interferômetro de Michelson
 - como são geradas pela mesma fonte $\Delta\phi_o = 0$

$$L_2 - L_1 = m \frac{\lambda}{2} \quad \text{construtiva}$$

$$L_2 - L_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} \quad \text{destrutiva}$$

Óptica Ondulatória

- Interferômetro de Michelson
 - a imagem obtida exibe anéis de interferência construtiva e destrutiva (ver video)
 - as eqs. anteriores são válidas para o centro do padrão circular!!

o que acontece se variarmos a distância L_2 por um

ΔL_2 ???

$$\Delta m = \frac{\Delta L_2}{\lambda/2}$$

- Mede-se a variação de comprimento contando o número de novos pontos brilhantes no padrão de interferência! (ver video)

Óptica Ondulatória

- Medindo Índices de Refração com Interferômetro
 - Vamos considerar um recipiente de comprimento d e inicialmente em vácuo

