



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de Lorena – EEL

“PPE6408 – Tópicos Especiais de Física”

Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)

Escola de Engenharia de Lorena (EEL)

Universidade de São Paulo (USP)

Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6 - Lorena, SP 12600-970

durval@demar.eel.usp.br

www.eel.usp.br – Comunidade – Alunos (Página dos professores)

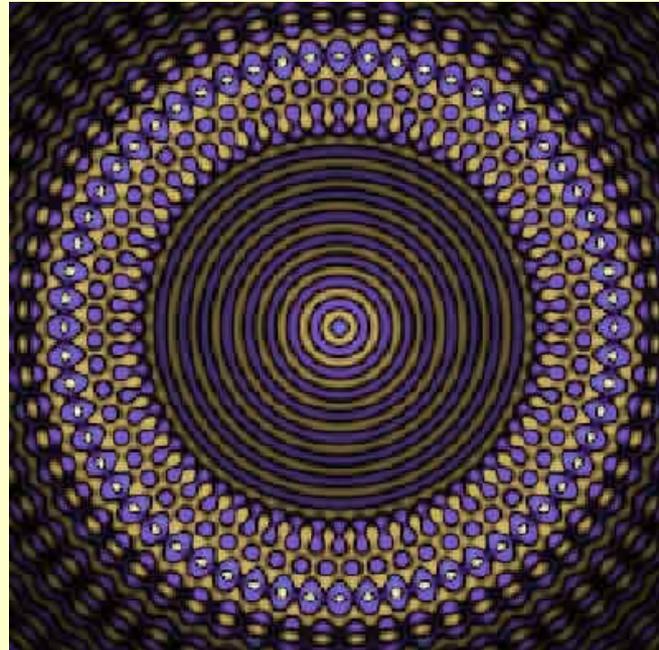
Área I
Rodovia Itajubá-Lorena, Km 74,5
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Tel. (12) 3159-5007/3153-3209

USP Lorena
www.eel.usp.br

Área II
Polo Urbo-Industrial Gleba AI-6
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Tel. (12) 3159-9900

UNIDADE 5 -

Interferência



Interferência

- Princípio de Huygens
- A Lei da Refração
- Difração
- O Experimento de Young
- Intensidade das Franjas de Interferência
- Interferência em Filmes Finos
- O Interferômetro de Michelson

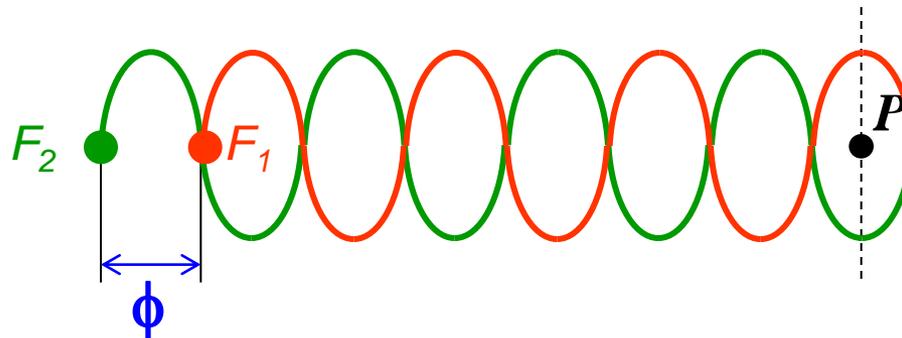
Interferência

A Luz como uma Onda

Diferença de Fase ou Defasagem (ϕ)

- É a diferença em graus ou em comprimentos de onda que existe entre duas ondas no momento do encontro entre as mesmas. Observe o esquema a seguir:

- ❖ Levando a onda para iniciar em F_1 ao invés de F_2 , obtém-se a figura a seguir:

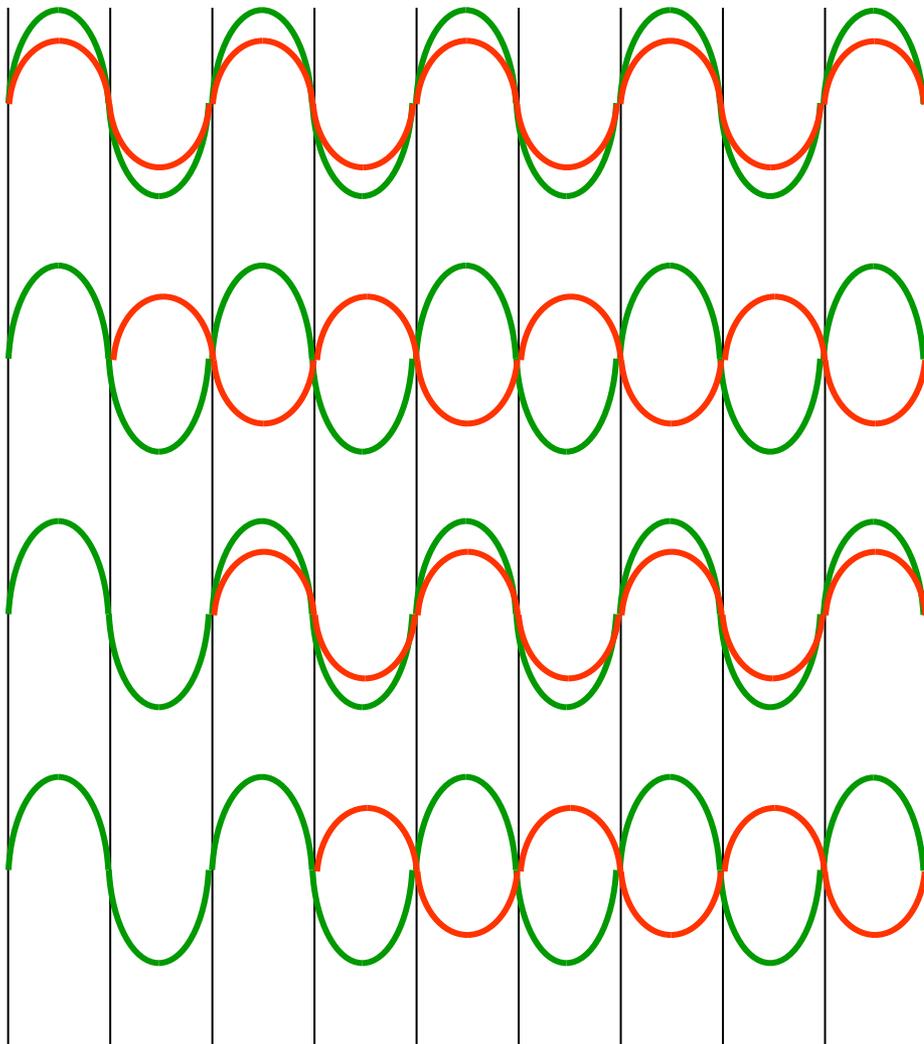


Interferência destrutiva em P (defasagem ϕ)

Capítulo 35: Interferência

35-2 | A Luz como uma Onda

Exemplos de Defasagem (ϕ)



$$\phi = 0 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

ou

$$\phi = 0^\circ$$

→ ITC

Ondas em fase

$$\phi = 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

ou

$$\phi = 180^\circ$$

→ ITD

Ondas em
oposição de fase

$$\phi = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

ou

$$\phi = 360^\circ$$

→ ITC

Ondas em fase

$$\phi = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

ou

$$\phi = 540^\circ$$

→ ITD

Ondas em
oposição de fase

ITC = Interferência Totalmente Construtiva

ITD = Interferência Totalmente Destrutiva

Interferência

A Luz como uma Onda

Utilização da Defasagem para determinar a interferência

- Pelos exemplos anteriores, podemos concluir que:

$$\phi = m \frac{\lambda}{2}$$

Esse “m” é o número de “meios comprimentos de onda” em que as ondas estão defasadas.

Para *m*

- Par ➔ Interferência Construtiva
- Ímpar ➔ Interferência Destrutiva

Thomas Young (1773-1829)

Young lia em Inglês aos 2 anos, Latim aos 6 anos, e aprendeu outras línguas, dominando 10 idiomas com apenas 16 anos.

Físico e médico inglês, estudou a sensibilidade do olho humano às cores. Propôs a existência de três cones diferentes que têm sensibilidade para as cores vermelho, azul e verde: o princípio usado na TV colorida.

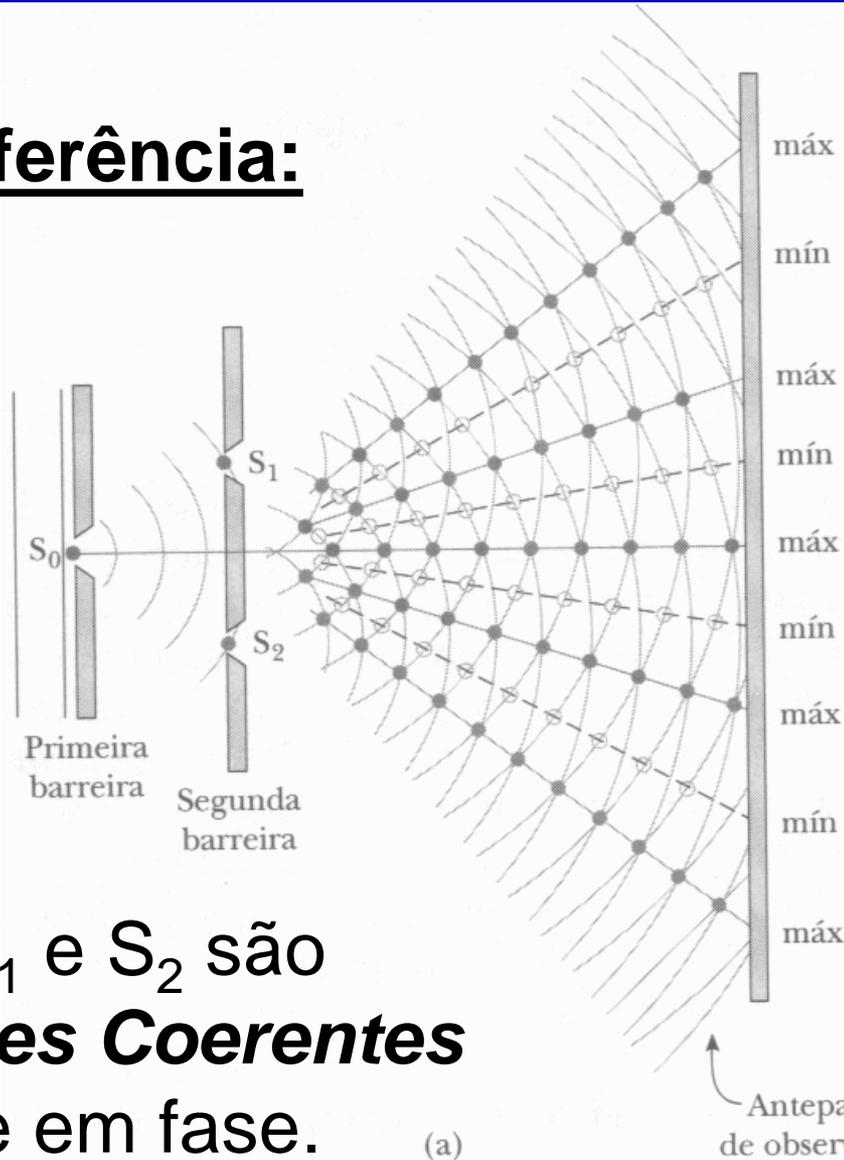
Em 1800, no trabalho *Outlines of Experiments and Enquires Respecting Sound and Light*, comparou os modelos de Newton e Huygens dando suporte à interpretação ondulatória .

Deu contribuições importantes na teoria da elasticidade (módulo de Young), e na egiptologia.

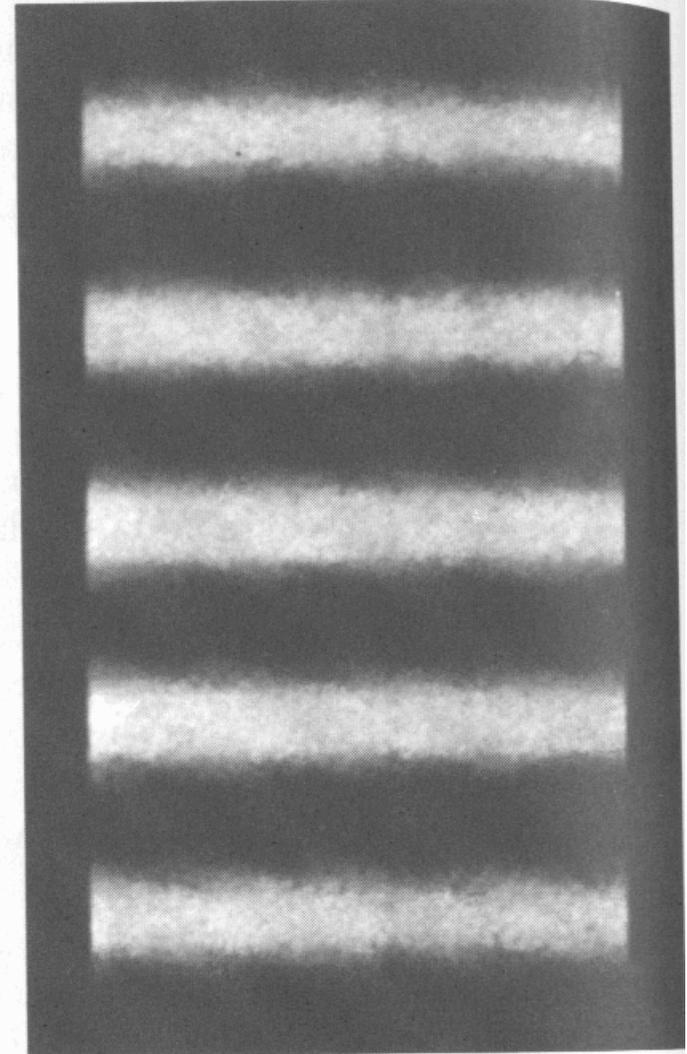


O Experimento de Young (1801)

Interferência:



S_1 e S_2 são
Fontes Coerentes
e em fase.

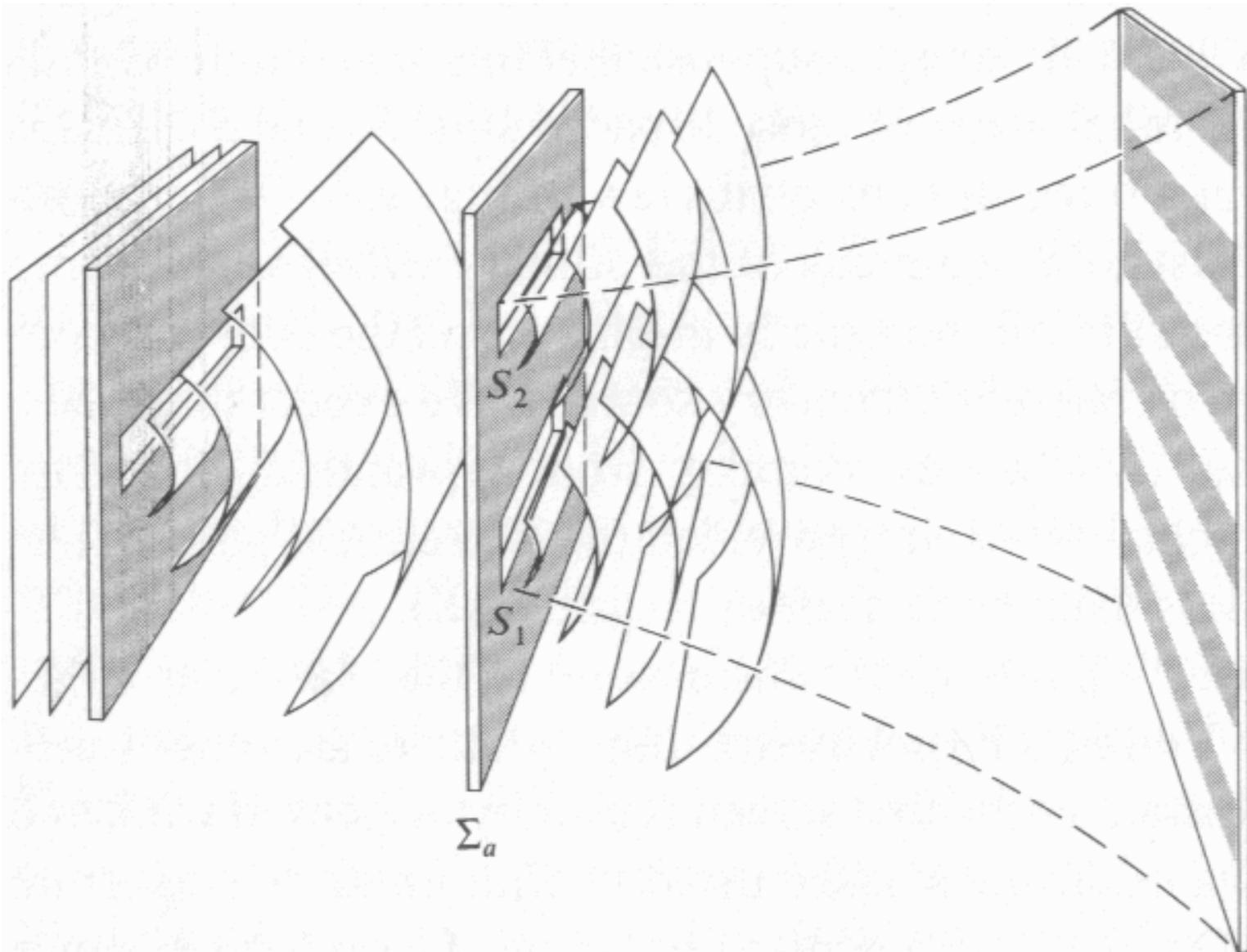


(b)

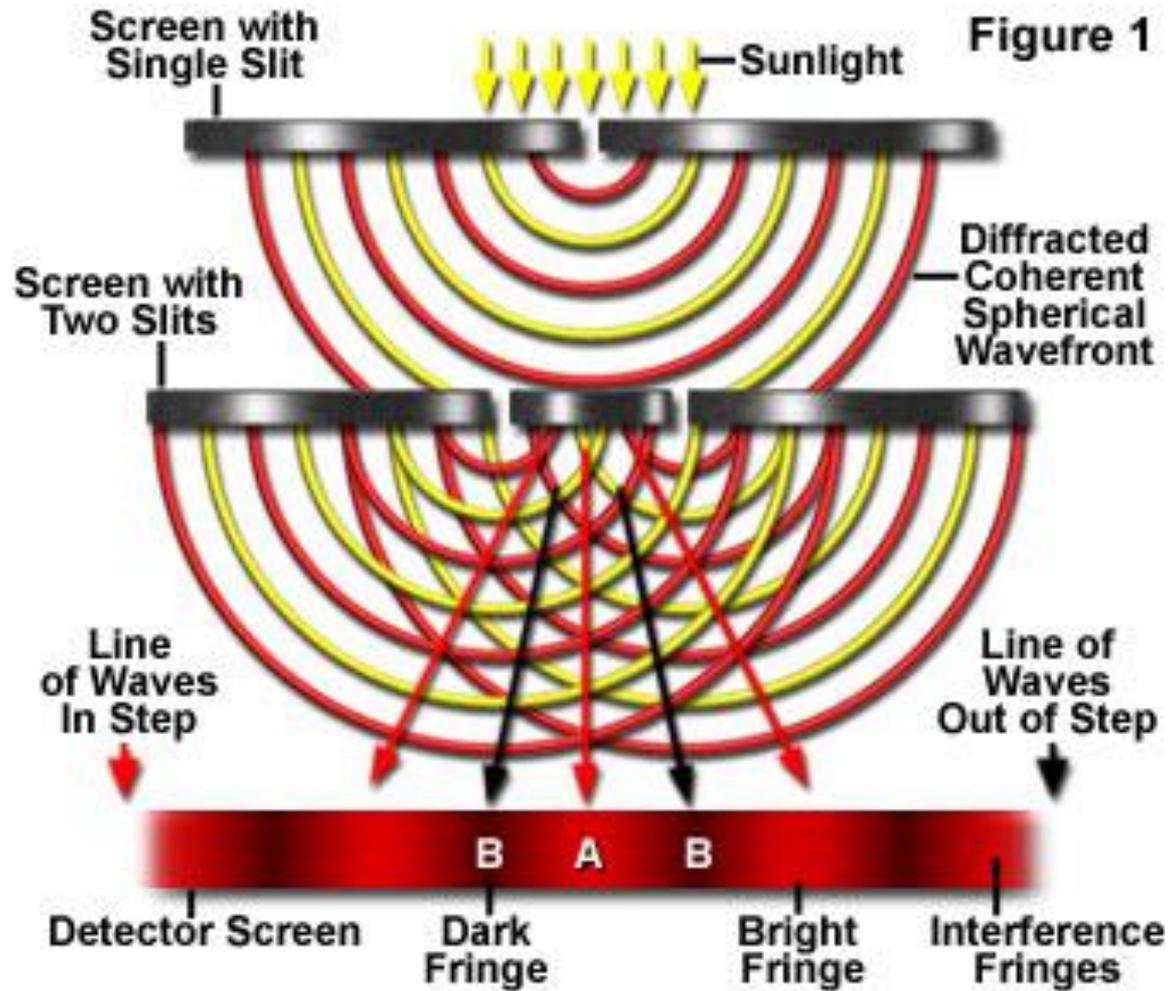
Observações Importantes

- ✓ A diferença de fase entre 2 ondas pode mudar se as ondas percorrem distâncias diferentes.
- ✓ Em um experimento de interferência de dupla fenda de Young, a intensidade luminosa em cada ponto da tela de observação depende da diferença ΔL entre as distâncias percorridas pelos dois raios que chegam em cada ponto da tela.

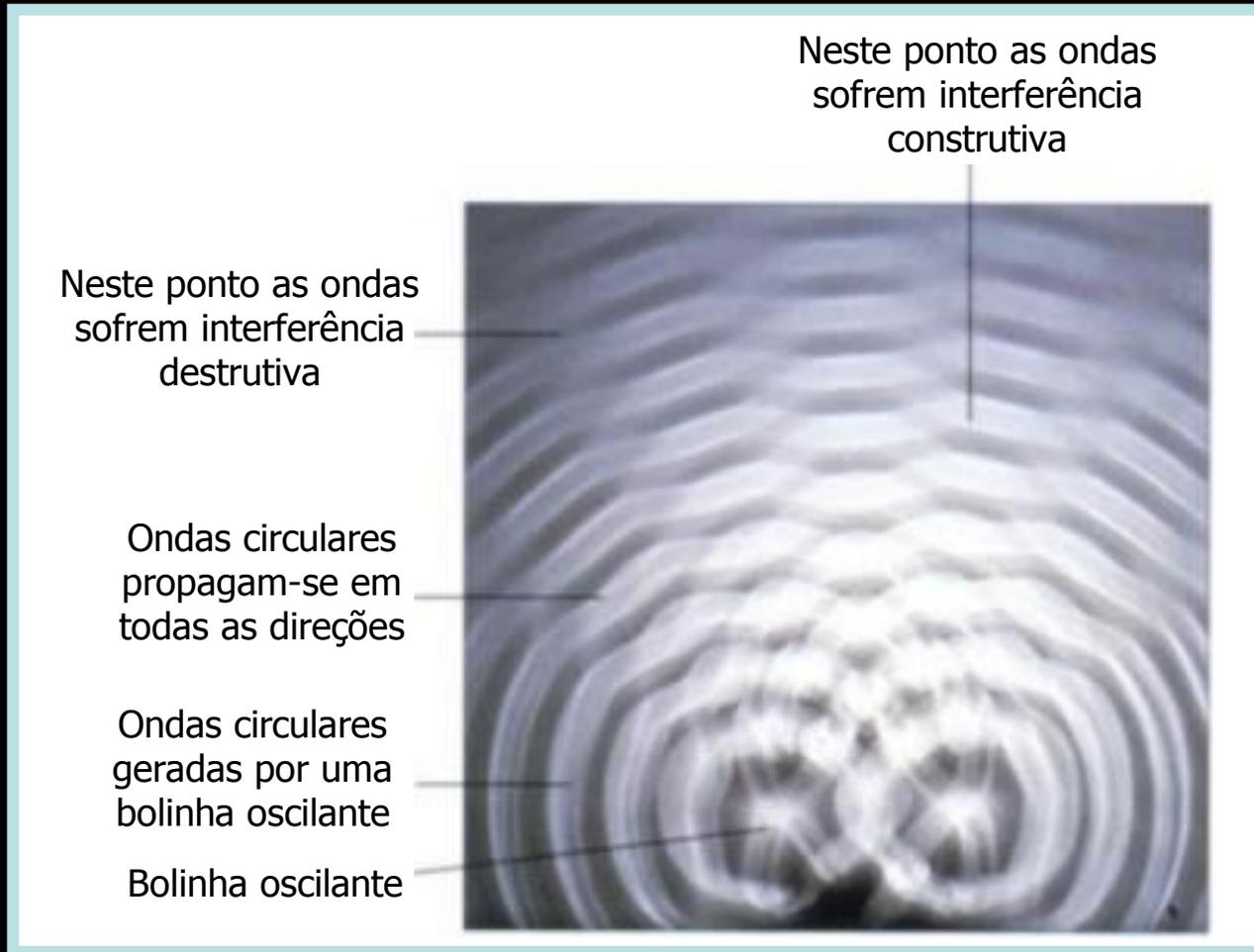
Visão tridimensional:



Thomas Young's Double Slit Experiment

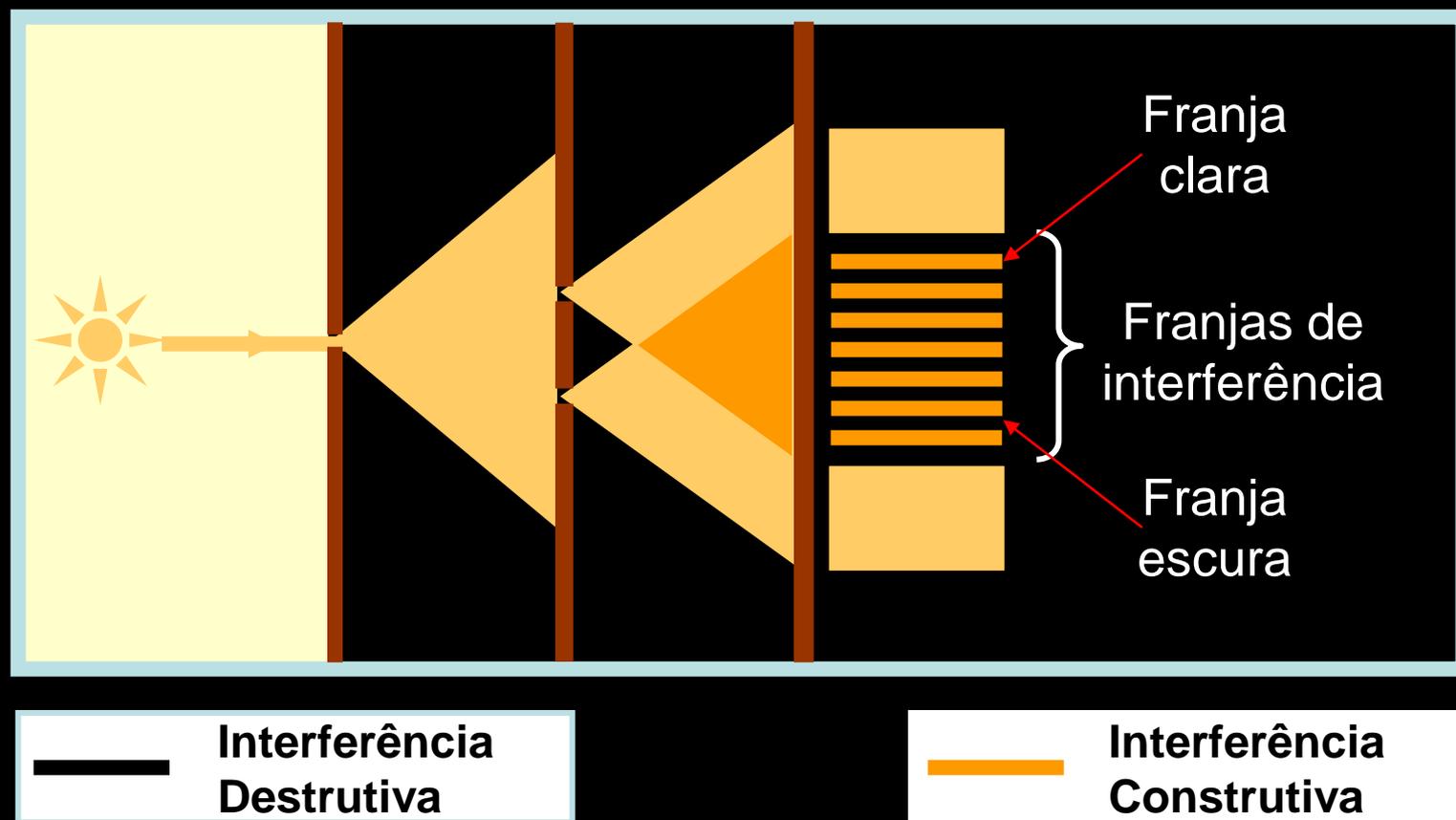


Exemplo de interferência de ondas na superfície da água



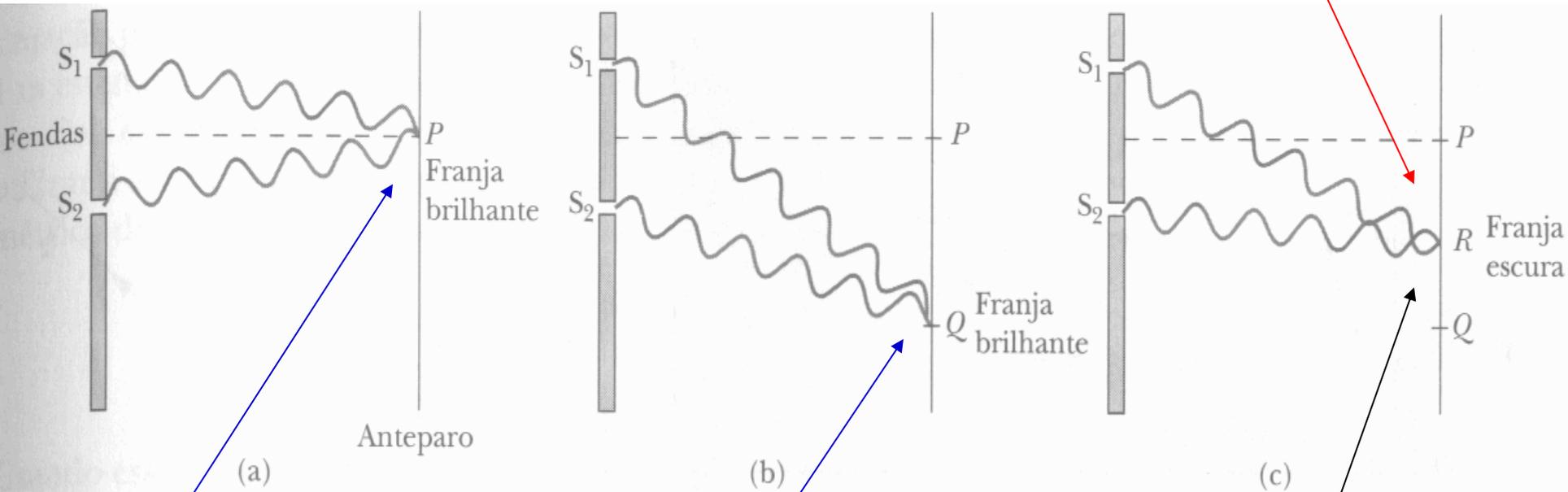
Interferência da Luz - Experiência de Young

- A experiência de Young cria duas fontes de luz em fase e coerentes a partir de uma única fonte.



Temos a formação de franjas devido à diferença de percursos (ópticos):

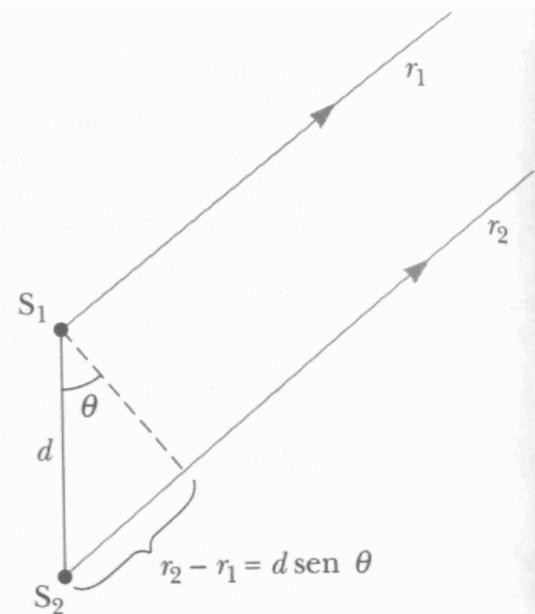
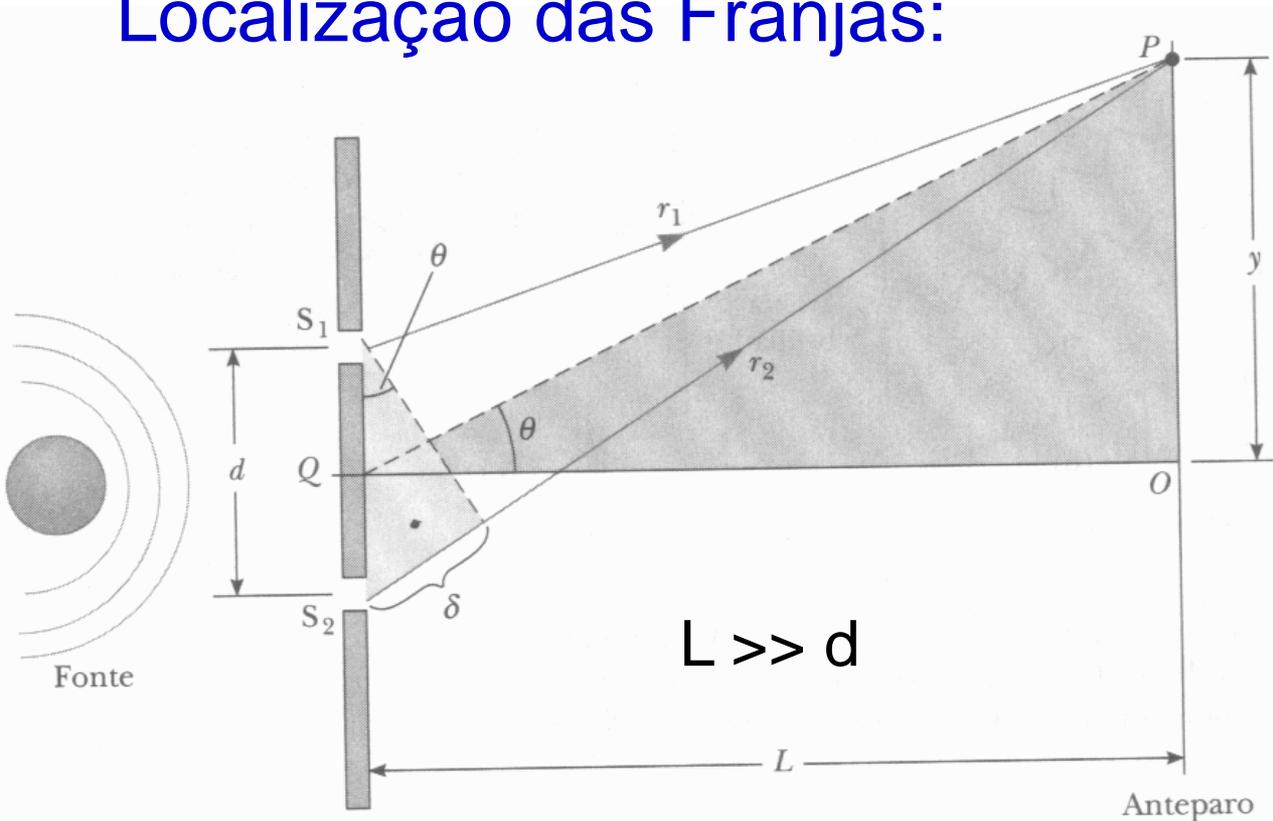
Ondas fora de Fase: Interferência Destrutiva



Ondas em Fase: Interferência Construtiva

Ponto R à meia distância entre os pontos P e Q .

Localização das Franjas:



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

Franja clara: $\delta = m \lambda$; $d \sin \theta = m \lambda$, $m = 0, 1, 2, \dots$
(interferência construtiva)

Franja escura: $\delta = (m + 1/2) \lambda$; $d \sin \theta = (m + 1/2) \lambda$
(interferência destrutiva)

Posições no Anteparo

Para ângulos pequenos temos: $\theta \approx \tan \theta \approx \sin \theta$

Logo, para os máximos mais centrais:

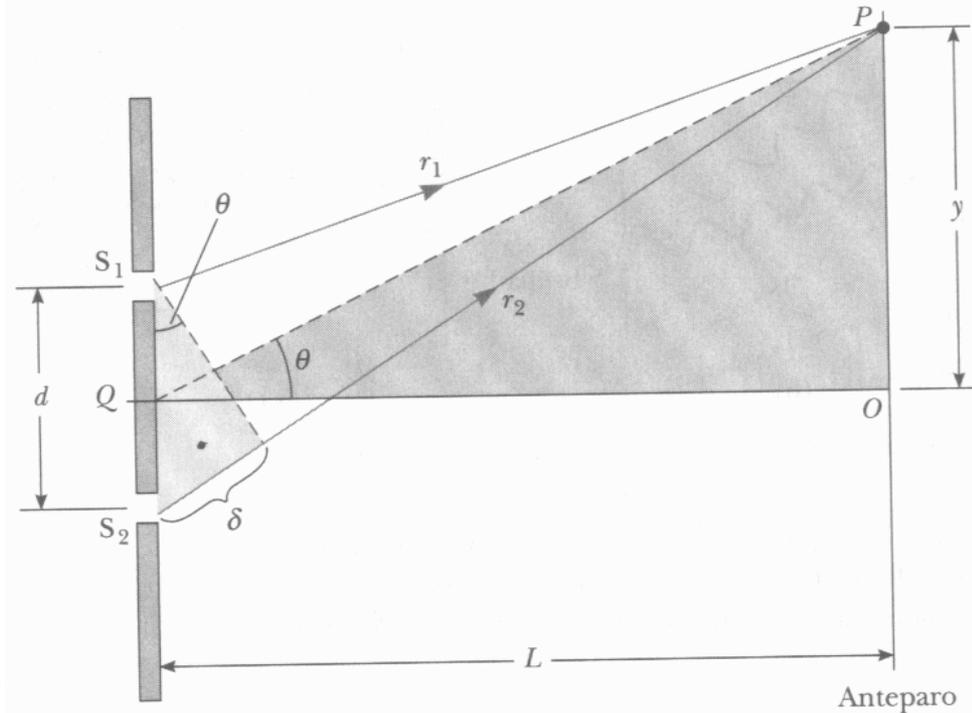
$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$d \tan \theta \approx m\lambda$$

$$d \frac{y_m}{L} \approx m\lambda$$

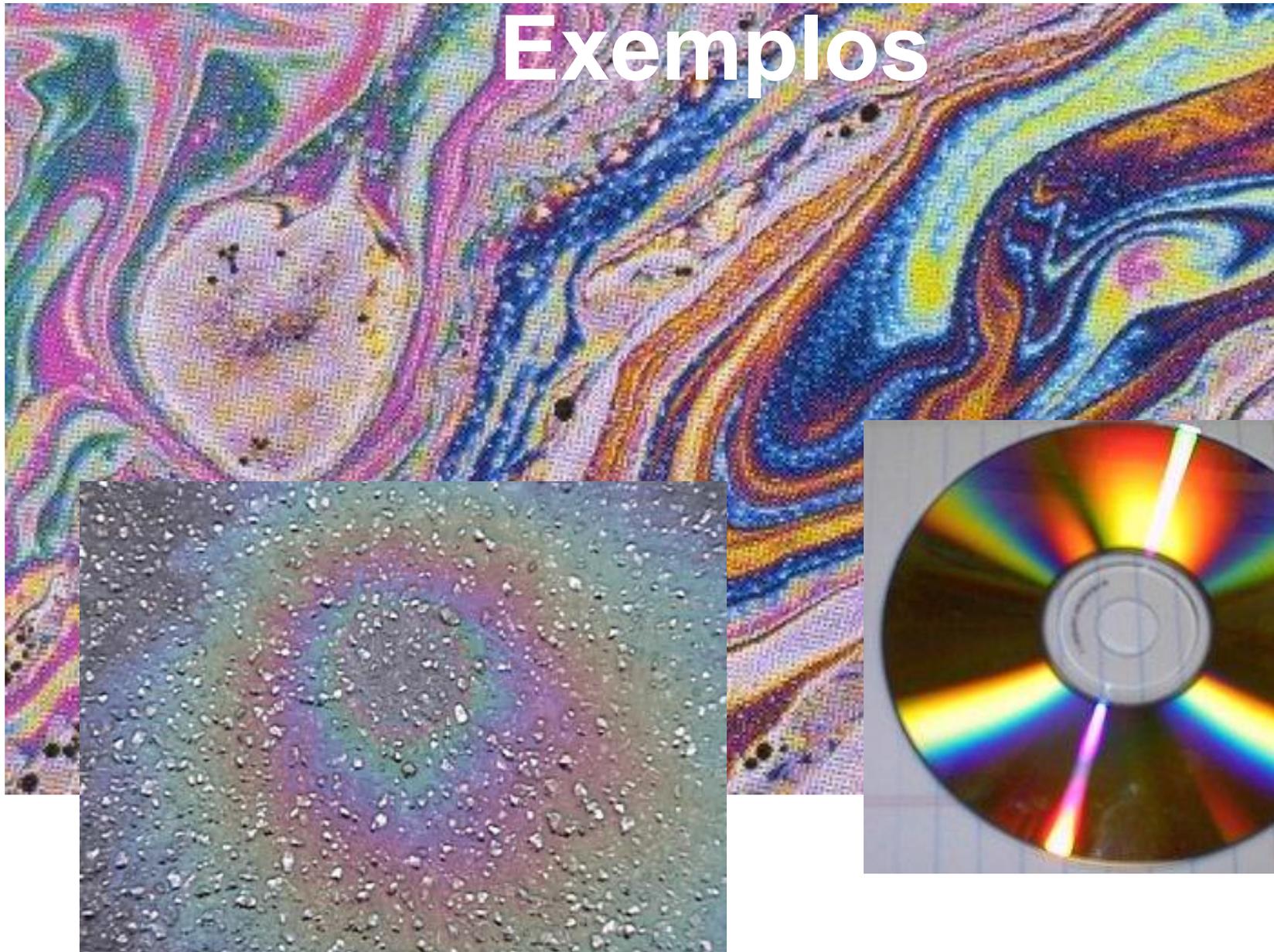
$$y_m \approx m \frac{\lambda L}{d} \quad (\text{máximos})$$

Analogamente, para os mínimos mais centrais:



$$y_m \approx \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda L}{d} \quad (\text{mínimos})$$

Exemplos



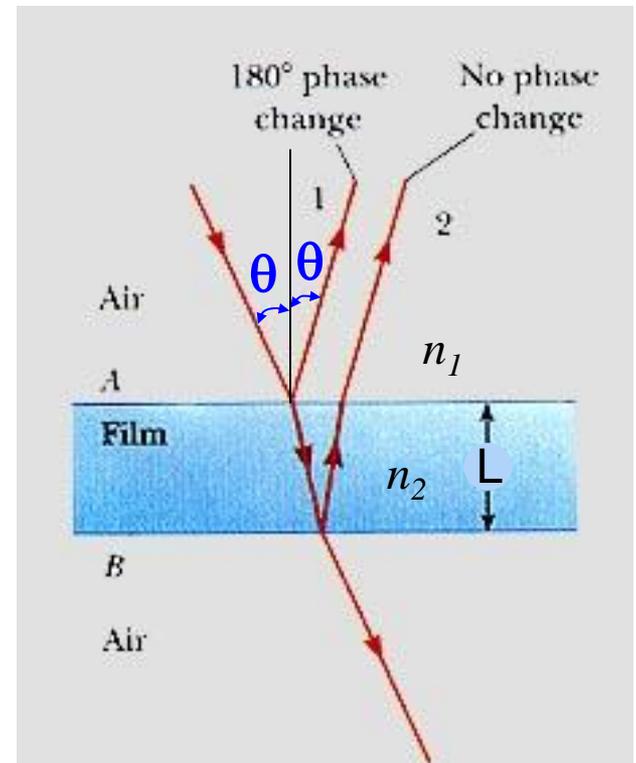
Interferência em Filmes Finos

A luz incidente em um filme fino apresenta efeitos de interferência associados à diferença de caminho óptico dentro do filme.

Considere: $\theta \approx 0$ e $n_2 > n_1$

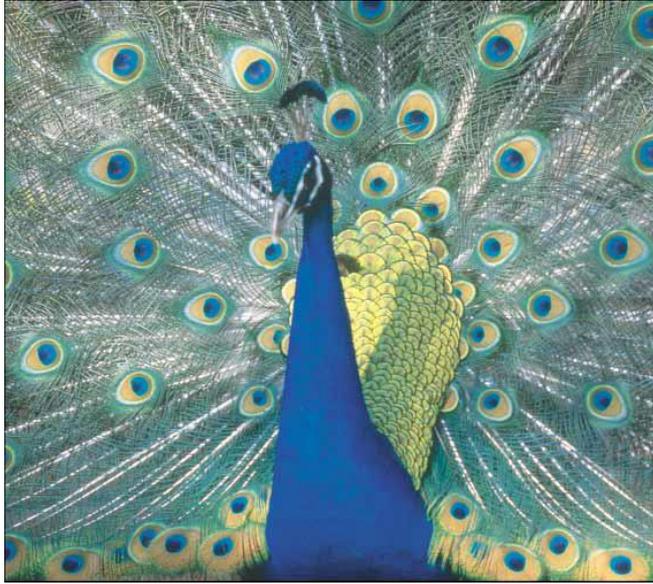
Fatos:

- i) Incidência de 1 para 2, onde $n_2 > n_1$, o raio refletido tem defasagem de 180° e o refratado está em fase com o incidente;
- ii) Incidência de 1 para 2, onde $n_2 < n_1$, o raio refletido não tem defasagem.



Interferência

Interferência em Filmes Finos

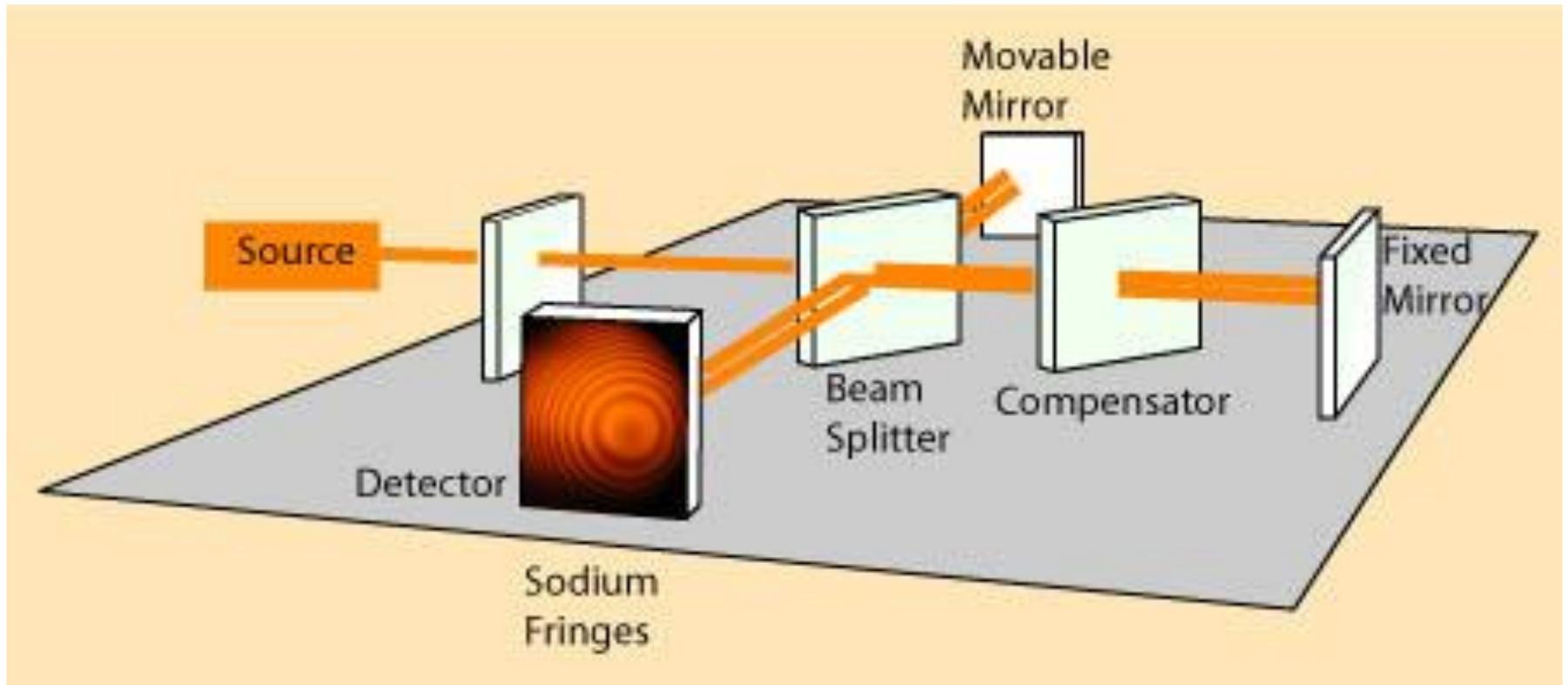


Interferência

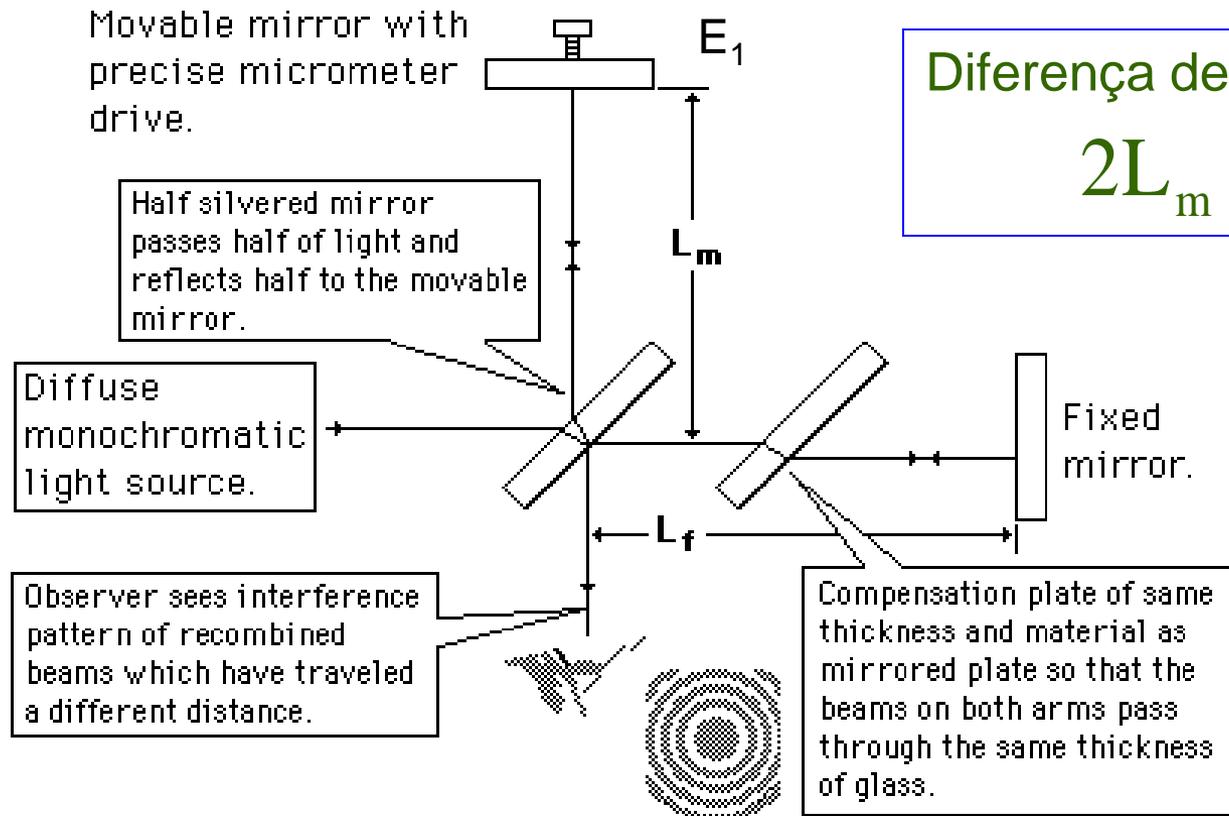


Teoria ondulatória de Huygens: utiliza uma construção geométrica que permite prever onde estará uma dada frente de onda em qualquer instante futuro se conhecermos sua posição atual. Essa construção se baseia no Princípio de Huygens.

Interferômetro de Michelson



Interferômetro de Michelson



Se a diferença for alterada teremos modificação na interferência.
Se E_1 mudar de $\lambda/2$, todos os máximos se deslocam para os adjacentes.

Interferômetro de Michelson

Introdução de material de espessura L e índice de refração n :

Número de comprimentos de onda no material:

$$N_b = \frac{2Ln}{\lambda}$$

Número de comprimentos de onda em L antes da introdução:

$$N_a = \frac{2L}{\lambda}$$

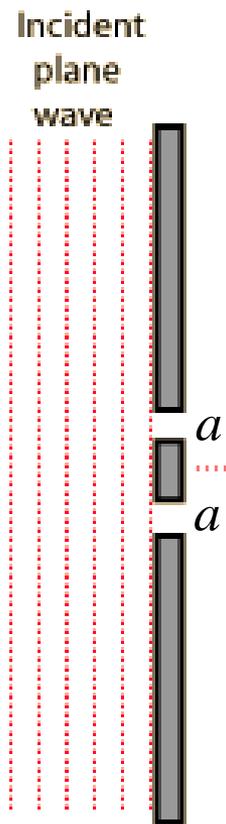
→
$$N_b - N_a = \frac{2L}{\lambda} (n - 1)$$

Cada máximo se desloca de $N_b - N_a$ franjas de interferência.

Interferômetro de Michelson

- Usando esta técnica é possível medir a espessura L do material introduzido;
- Michelson mostrou que o metro padrão era equivalente a 1.553.163,5 comprimentos de onda de uma luz monocromática, emitida por uma fonte luminosa de Cádmiu. Por esta medida ele ganhou o Premio Nobel de Física de 1907;
- Um aparato como este foi usado para testar a existência do “éter”, meio onde a luz se propagaria! O resultado foi negativo, mostrando que o “éter” não existe.

Mas a história não está completa.
Na difração (próximas aulas) teremos:



$$a > \lambda !$$

