

35.7 O Interferência em Filmes Finos



Bolhas de sabão



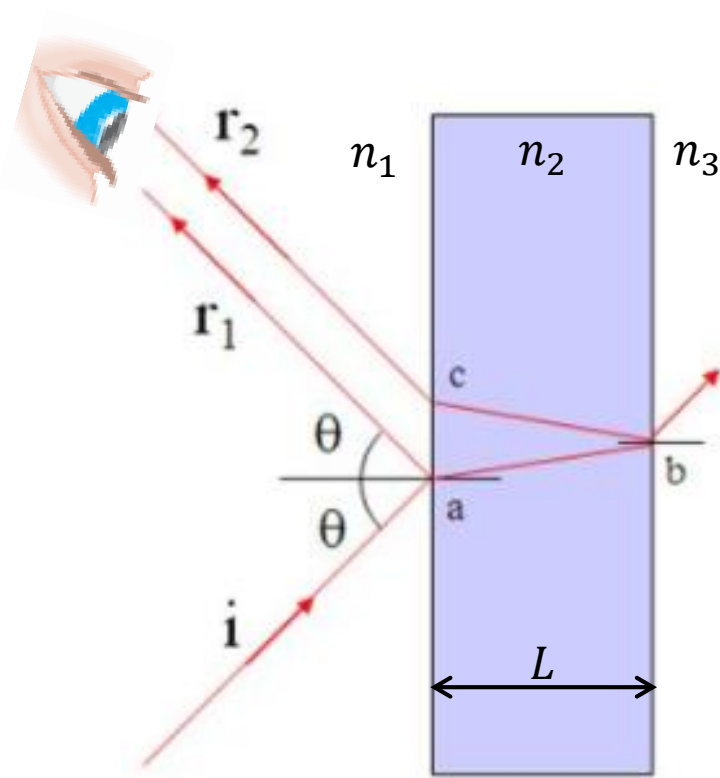
Mancha de óleo



Superfície de um inseto



Penas de um Tiziu



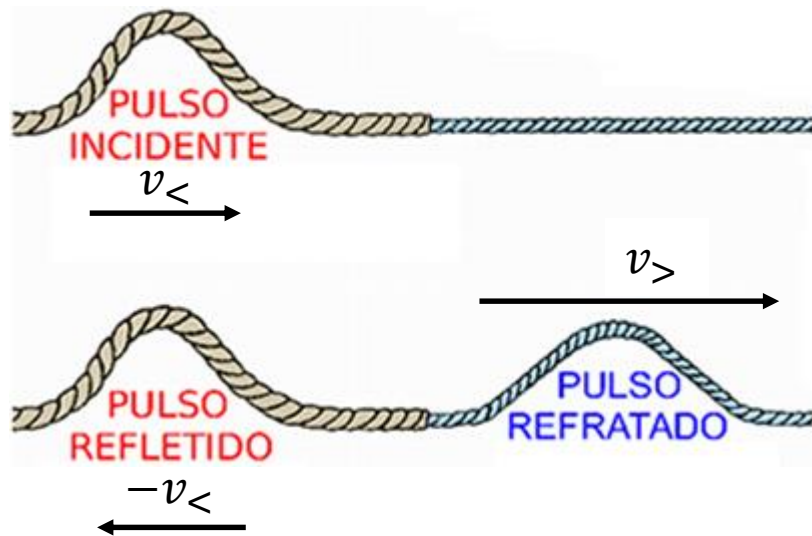
Ondas luminosas, representadas pelo raio i , incidem em um filme de espessura L e índice de refração n_2 . Os raios r_1 e r_2 representam ondas refletidas pela superfície anterior e pela superfície posterior do filme, respectivamente. (Os três raios são na verdade quase perpendiculares ao filme, ou seja, $\theta \approx 0$). A interferência dos raios r_1 e r_2 depende da diferença de fase entre eles. O índice de refração n_1 do meio à esquerda pode ser diferente do índice de refração n_3 do meio à direita, mas no momento estamos supondo que o filme está imerso no ar, caso em que $n_1 = n_3 = 1,0$ e $n_2 > 1,0$.

- Se os raios luminosos r_1 e r_2 chegam **em fase** ao olho do observador, eles produzem um **máximo de interferência** e a região ac do filme parece clara ao observador.
 - Se os mesmos raios chegam **com fases opostas** ao olho do observador, eles produzem um **mínimo de interferência** e a região ac do filme parece escura ao observador, embora esteja iluminada.
 - Se a diferença de **fase é intermediária**, e o brilho da região ac é intermediário. **a interferência é parcial.**
- A diferença de fase entre duas ondas pode mudar se uma das ondas for refletida ou se ambas forem refletidas.

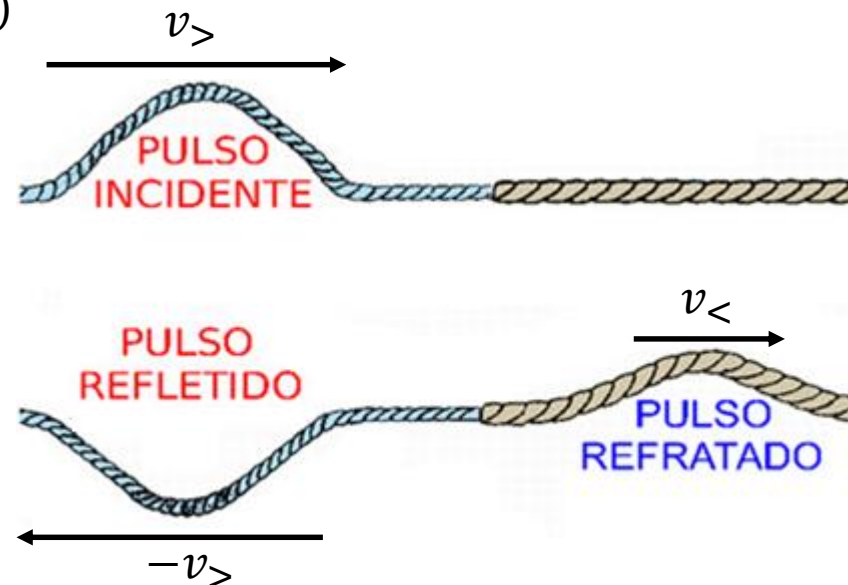
Mudanças de Fase Causadas por Reflexões

- As refrações em interfaces jamais causam mudanças de fase; no caso das reflexões, porém, pode haver ou não mudança de fase, dependendo dos valores relativos dos índices de refração dos dois lados da interface.

(a)

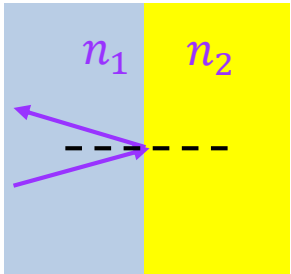


(b)



A fase muda quando um pulso é refletido na interface entre duas cordas esticadas com densidades lineares diferentes. A velocidade das ondas é menor na corda menos densa. (a) O pulso incidente está na corda mais densa. (b) O pulso incidente está na corda menos densa. Apenas neste caso a onda incidente e a onda refletida têm fases opostas.

Quando uma onda luminosa é refletida na interface com um meio cujo índice de refração é menor do que o índice de refração no qual a onda estava se propagando, a onda refletida não sofre mudança de fase por reflexão.

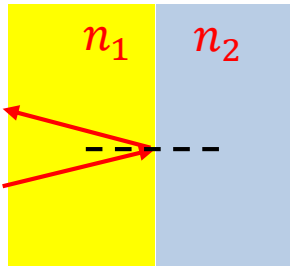


$$n_2 < n_1$$

Antes da reflexão: $E_a(t) = E_0 \sin(\omega t)$

Depois da reflexão: $E_d(t) \approx E_0 \sin(\omega t)$

Quando uma onda luminosa é refletida na interface com um meio cujo índice de refração é maior do que o índice de refração no qual a onda estava se propagando, a onda refletida sofre uma mudança de fase (por reflexão) de π radianos (correspondente a meio comprimento de onda).



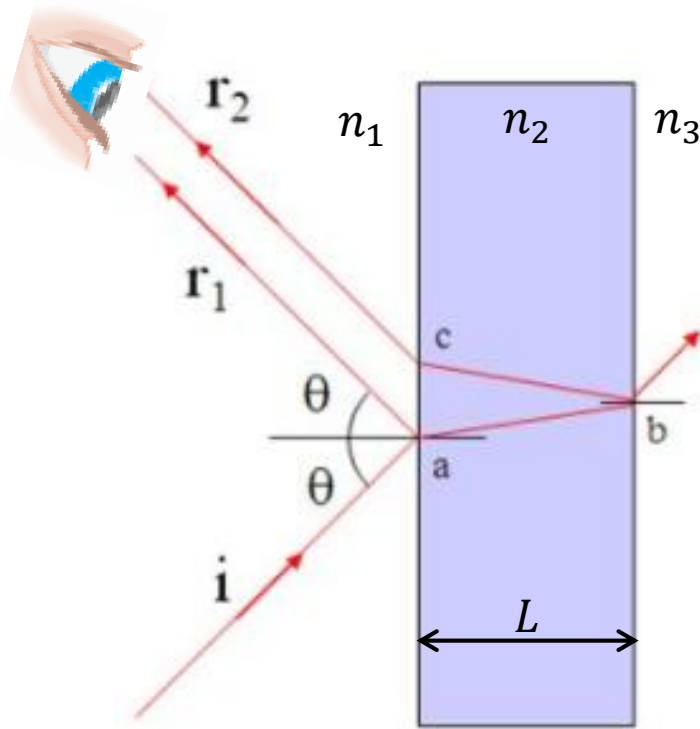
$$n_2 > n_1$$

Antes da reflexão: $E_a(t) = E_0 \sin(\omega t)$

Depois da reflexão: $E_d(t) \approx E_0 \sin(\omega t + \pi)$

Reflexão	Mudança de fase
Em um meio com um índice de refração menor	0
Em um meio com um índice de refração maior	$0,5 \lambda$

Equações para a Interferência em Filmes Finos



Neste capítulo vimos que a diferença de fase entre duas ondas pode mudar devido a três causas:

1. Reflexão das ondas;
2. Diferença de percurso entre as ondas;
3. Propagação das duas ondas em meios com diferentes índices de refração.

Quando um filme fino reflete a luz, produzindo os raios r_1 e r_2 da figura ao lado, as três causas estão presentes. Vamos examiná-las separadamente.

1. Reflexão das ondas:

No ponto a da interface dianteira, a onda incidente (que se propaga no ar) é refletida por um meio com índice de refração maior que o do ar ($n_1 < n_2$), o que significa que o raio refletido r_1 sofre uma mudança de fase de meio comprimento de onda em relação ao raio incidente.

No ponto b da interface traseira, a onda incidente (que se propaga no interior do filme), é refletida por um meio (o ar) com índice de refração menor e o raio refletido não sofre mudança de fase, o que também se aplica ao raio que sai do filme, r_2 .

2. Diferença de percurso entre as ondas:

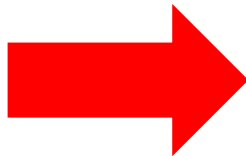
Para que os raios r_1 e r_2 estejam em fase e sofram **interferência totalmente construtiva (ITC)**, é preciso que a diferença de percurso $2L$ seja um múltiplo ímpar de meios comprimentos de onda:

$$\Delta L = r_2 - r_1 = 2L = \frac{\text{número ímpar}}{2} \times \text{comprimento de onda} \quad (35.31)$$

Para que os raios r_1 e r_2 estejam com fases opostas e sofram **interferência totalmente destrutiva (ITD)**, é preciso que a diferença de percurso $2L$ seja um número inteiro de comprimentos de onda:

$$\Delta L = r_2 - r_1 = 2L = \text{número inteiro} \times \text{comprimento de onda} \quad (35.32)$$

Como $\lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$



$$\text{ITC: } 2L = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_2}, \text{ para } m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (35.36)$$

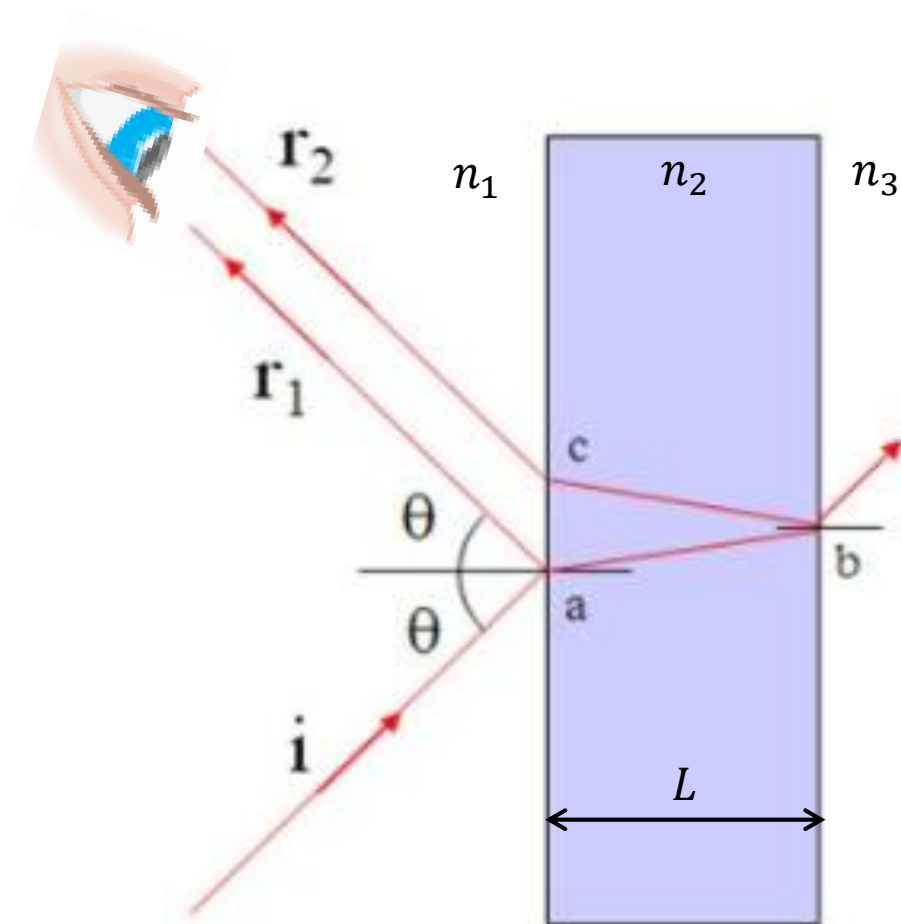
$$\text{ITD: } 2L = m \frac{\lambda}{n_2}, \text{ para } m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (35.37)$$

Tabela 35-1

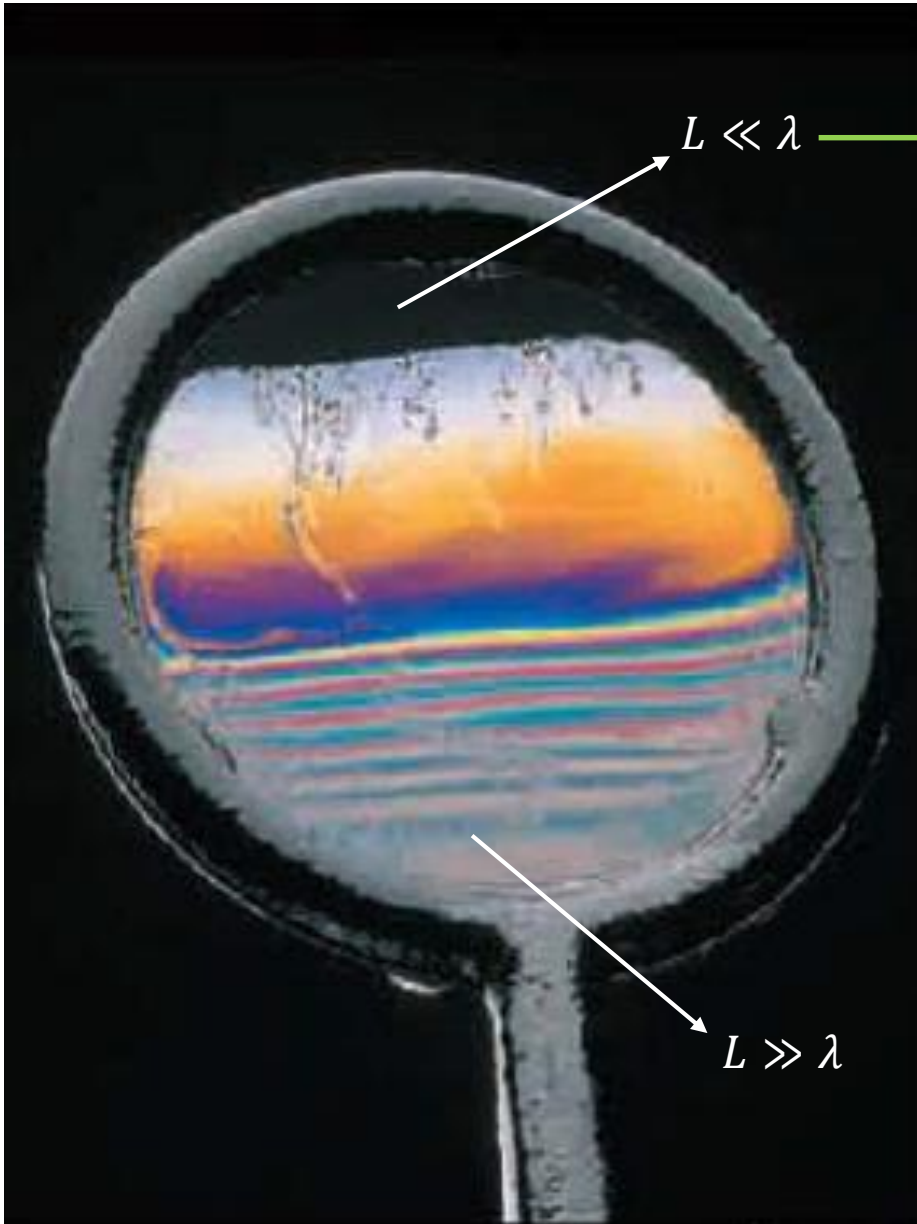
Tabela para a Interferência em Filmes Finos no Ar (Fig. 35-17)^a

Mudança de fase por reflexão	$\frac{r_1}{0,5\lambda}$	$\frac{r_2}{0}$
Diferença de percurso	$2L$	
Índice no qual ocorre a diferença de percurso	n_2	
Em fase: ^a	$2L = \frac{\text{número ímpar}}{2} \times \frac{\lambda}{n_2}$	
Fora de fase: ^a	$2L = \text{número inteiro} \times \frac{\lambda}{n_2}$	

^aVálido para $n_2 > n_1$ e $n_2 > n_3$.



Espessura do Filme Muito Menor que λ




$$\text{ITD: } 2L = m \frac{\lambda}{n_2}, \text{ para } m = 0 \Rightarrow L \approx 0$$

Reflexo da luz branca em uma película vertical de água com sabão sustentada por uma argola metálica. A parte de cima é tão fina que a luz refletida sofre **interferência destrutiva**, o que torna o filme escuro. Franjas de interferência coloridas decoram o resto do filme. Aos poucos a gravidade faz com que o líquido escorra para baixo, tornando o filme espesso demais para que o fenômeno seja observado com clareza.

Iridescência nas Borboletas Morpho

Quando uma superfície exibe faixas coloridas devido à interferência, esse fenômeno é chamado de **iridescência**. Uma das características da iridescência é o fato de que as cores variam de acordo com o ângulo de observação. A iridescência do lado de cima da asa de uma borboleta *Morpho* se deve à interferência entre os raios luminosos refletidos por planos finos feitos de uma substância transparente. Esses planos transparentes estão dispostos paralelamente à superfície da asa, presos a uma estrutura central perpendicular à asa.

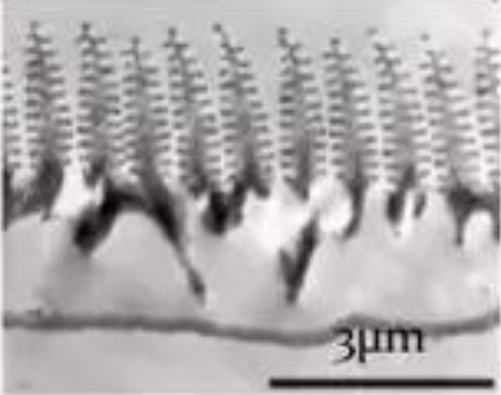
Morpho rhetenor butterfly



<http://www.bugguy012002.com/MORPHIDAE.html>

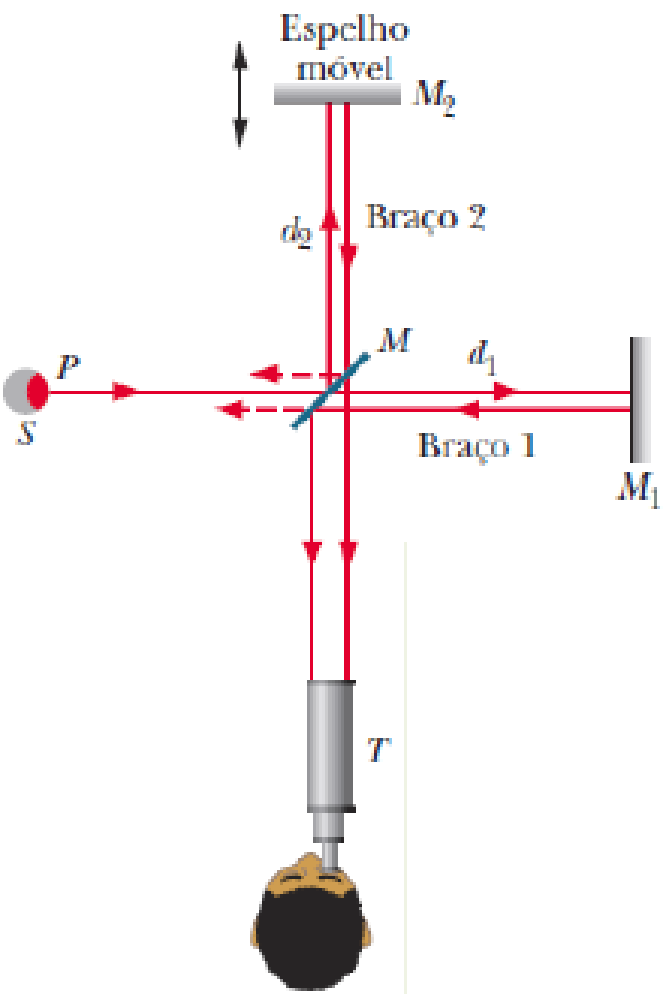
wing scale:

[P. Vukosic et al.,
Proc. Roy. Soc: Bio.
Sci. **266**, 1403
(1999)]



[also: B. Gralak et al., *Opt. Express* **9**, 567 (2001)]

35.8 Interferômetro de Michelson



Se um bloco de material transparente com espessura L e índice de refração n é colocado na frente do espelho M_1 , o número de comprimentos de onda percorridos dentro do material é dado por

$$N_n = \frac{2L}{\lambda_n} = \frac{2Ln}{\lambda}. \quad (35.41)$$

O número de comprimentos de onda na mesma espessura $2L$ antes que o material fosse introduzido era

$$N_a = \frac{2L}{\lambda}. \quad (35.42)$$

Quando o material é introduzido, a luz que volta do espelho M_1 sofre uma variação de fase adicional (em termos de comprimentos de onda) dada por

$$N_n - N_a = \frac{2L}{\lambda} (n - 1). \quad (35.43)$$

Para cada variação de fase de um comprimento de onda, a figura de interferência é deslocada de uma franja. Assim, observando de quantas franjas foi o deslocamento da figura de interferência quando o material foi introduzido,

Exercícios sugeridos das Seções 35.7 e 35.8: 35, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 55, 57, 61, 63, 69, 70, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81 e 82.

37) Uma onda luminosa de comprimento de onda 624 nm incide perpendicularmente em um película de sabão (com $n = 1,33$) suspensa no ar. Quais as duas menores espessuras do filme para as quais as ondas refletidas pelo filme sofrem interferência construtiva?

[Dica: $2L = m \frac{\lambda}{n_2}$, para $m = 0, \text{ e } 1$]
Respostas: $L_0 = 117\text{ nm}$ e $L_1 = 352\text{ nm}$.

