

Semana 06

Interferência - parte II

Física III - Licenciatura

Prof. Henrique A. M. Faria

Intensidade das figuras de interferência

- Determinamos as posições de um padrão de interferência produzido por duas fendas.
- Veremos agora como determinar a intensidade em qualquer ponto sobre a tela.
- Suporemos que as ondas de duas fontes S_1 e S_2 possuam a mesma amplitude E e a mesma polarização do campo elétrico, na forma:

$$E_1(t) = E \cos(\omega t + \phi)$$

$$E_2(t) = E \cos \omega t$$

Intensidade das figuras de interferência

- A superposição dos dois campos elétricos no ponto P é uma função senoidal E_p .
- Além disso, essa amplitude de E_p depende de E , bem como da diferença de fase ϕ .

$$E_p = E_1 + E_2 = E[\cos(\omega t + \phi) + \cos \omega t]$$

- Utilizando identidades trigonométricas chegamos a seguinte expressão:

$$E_p = 2E \cos(\phi/2)\cos(\omega t + \phi/2)$$

Intensidade das figuras de interferência

- Como as fontes das duas ondas E_1 e E_2 são coerentes, o ângulo de fase ϕ é constante, portanto:

$$A = 2E \cos(\phi/2) \quad (\text{amplitude no ponto } P)$$

$$E_p = A \cos(\omega t + \phi)$$

➤ Interferência **construtiva** max.: $\frac{\phi}{2} = (m)2\pi$

➤ Interferência **destrutiva** mín.: $\frac{\phi}{2} = (m + \frac{1}{2})\pi$

$$m = 0, 1, 2 \dots$$

Intensidade das figuras de interferência

- A intensidade I da onda em qualquer ponto é expresso pelo vetor de Poynting médio:

$$I = S_{méd} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_p^2$$

- Como: $E_p = 2E \cos(\phi/2) \cos(\omega t + \phi/2)$

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c \left[4E^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \cos^2\left(\omega t + \frac{\phi}{2}\right) \right]$$

$$I = \varepsilon_0 c E^2 \cos^2(\phi/2) \quad = 1/2$$

$$I = I_0 \cos^2(\phi/2) \quad \text{onde: } I_0 = \varepsilon_0 c E^2$$

Intensidade das figuras de interferência

- Comparando a intensidade I da onda E_1 com a intensidade no ponto P de interferência
- Para as duas ondas em fase: $\frac{\phi}{2} = (m)2\pi$; $m = 0, 1 \dots$

$$I_{E_1} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_1^2 \quad \text{como no ponto } P: \quad I = \varepsilon_0 c E^2$$

- A intensidade da onda no ponto de interferência construtiva máxima é o dobro da intensidade de uma das duas ondas emitidas pelas fontes.

Intensidade das figuras de interferência

- Podemos escrever a diferença de fase como função da diferença de caminho.

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \quad \Rightarrow \quad \frac{\phi}{2} = \frac{\pi}{\lambda} (r_2 - r_1)$$

- Para pontos muito distantes da fonte: $(r_2 - r_1) = d \operatorname{sen}\theta$
- Substituindo na equação da intensidade no ponto P :

$$I = I_o \cos^2 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \operatorname{sen}\theta \right) \quad \text{onde: } I_o = \varepsilon_o c E^2$$

d : distância entre as duas fendas.

λ : comprimento de onda.

$$\varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

$$c = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

θ : ângulo entre a normal do plano das fendas e a linha de P .

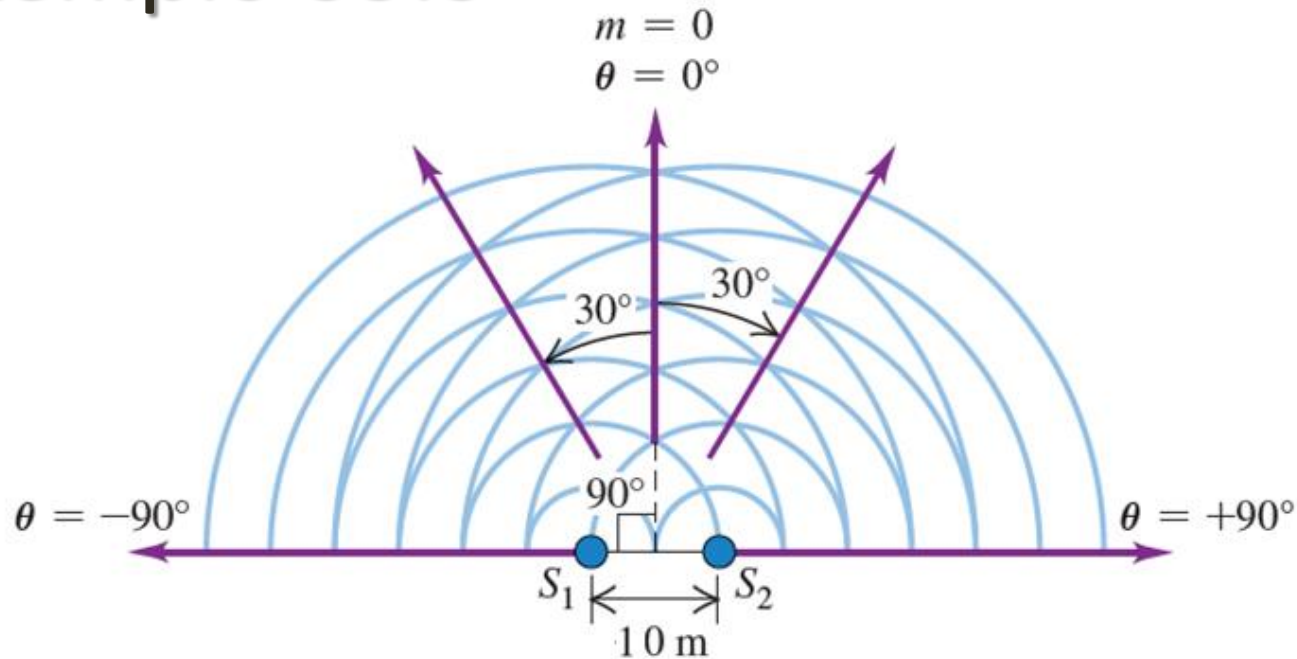
Exemplo 35.3

Suponha que a distância entre as duas antenas de rádio do exemplo 35.2 seja reduzida para $10,0\text{ m}$ e que a frequência aumente para $f = 60,0\text{ MHz}$.

A uma distância de 700 m do ponto intermediário entre as antenas e na direção $\theta = 0$ a intensidade é dada por $I_o = 0,020\text{ W/m}^2$. Determine:

- Nessa mesma distância, a intensidade na direção $\theta = 4^\circ$.
- A direção próxima de $\theta = 0$ para a qual a intensidade é $I_o/2$.
- As direções em que a intensidade são iguais a zero.

Exemplo 35.3



o comprimento de onda é $\lambda = c/f = 5,00$ m.

$d = 10,0$ m entre as antenas de modo que $d/\lambda = 2,00$

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta\right) = I_0 \cos^2[(2,00\pi \text{ rad}) \sin \theta]$$

Exemplo 35.3

(a) Quando $\theta = 4,0^\circ$,

$$\begin{aligned} I &= I_0 \cos^2[(2,00\pi \text{ rad}) \text{ sen } 4,0^\circ] = 0,82I_0 \\ &= (0,82) (0,020 \text{ W/m}^2) = 0,016 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

(b) A intensidade I torna-se igual a $I_0/2$ quando o valor do cosseno na Equação 35.14 é $\pm 1/\sqrt{2}$. Os ângulos menores em que isso ocorre correspondem a $2,00\pi \text{ sen } \theta = \pm\pi/4 \text{ rad}$, de modo que $\text{sen } \theta = \pm(1/8,00) = \pm 0,125$ e $\theta = \pm 7,2^\circ$.

(c) A intensidade é zero quando $\cos[(2,00\pi \text{ rad}) \text{ sen } \theta] = 0$. Isso ocorre para $2,00\pi \text{ sen } \theta = \pm\pi/2, \pm 3\pi/2, \pm 5\pi/2, \dots$, ou $\text{sen } \theta = \pm 0,250, \pm 0,750, \pm 1,25, \dots$. Os valores de $\text{sen } \theta$ maiores que 1 não têm significado, de modo que as respostas são

$$\theta = \pm 14,5^\circ, \pm 48,6^\circ$$

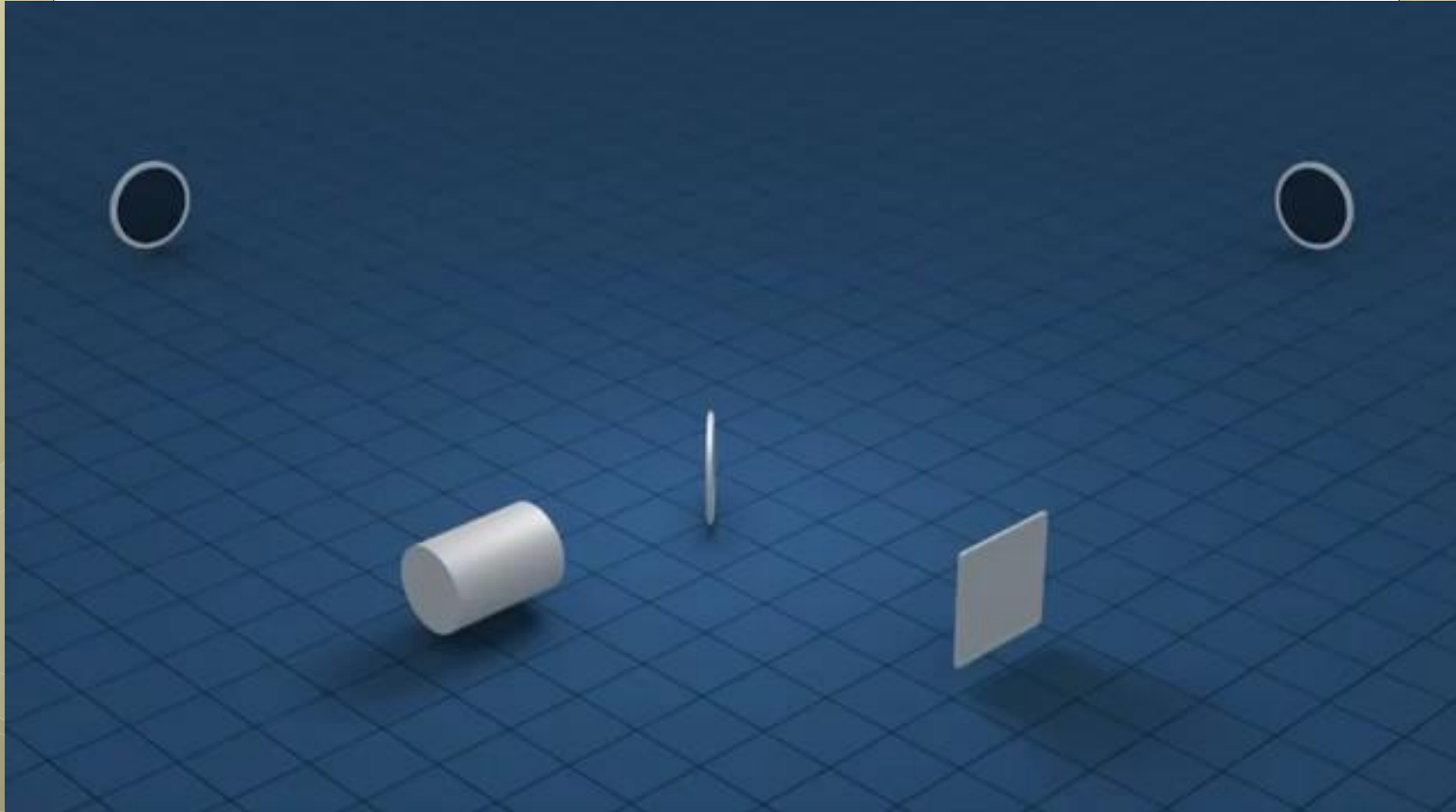


Interferômetro de Michelson

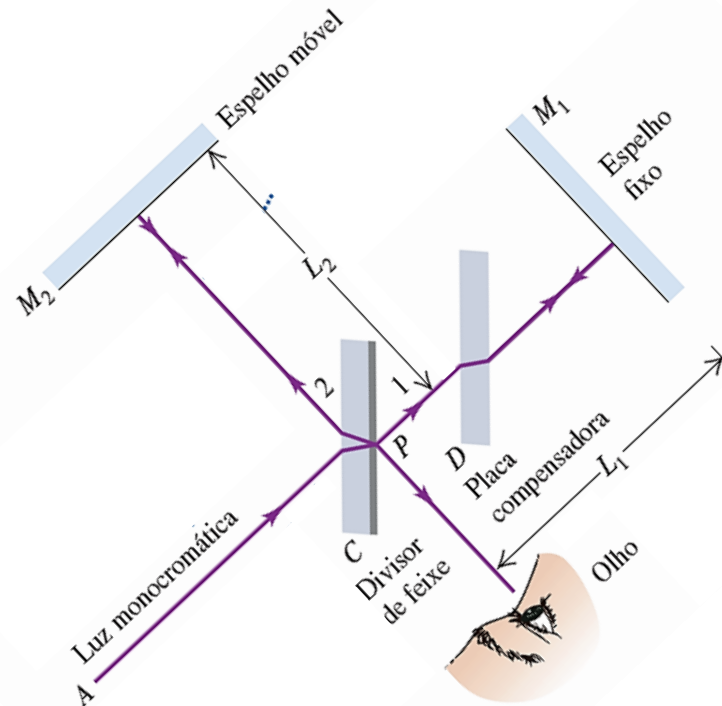
Interferômetro de Michelson

- Dispositivo experimental que aplica o efeito da interferência.
- Serve para a determinação precisa de comprimentos de onda e de distâncias muito curtas.
- Recebe um feixe de luz monocromática proveniente de uma única fonte e o divide em dois feixes que seguem caminhos diferentes.
- Usa um dispositivo chamado de *divisor de feixe*.

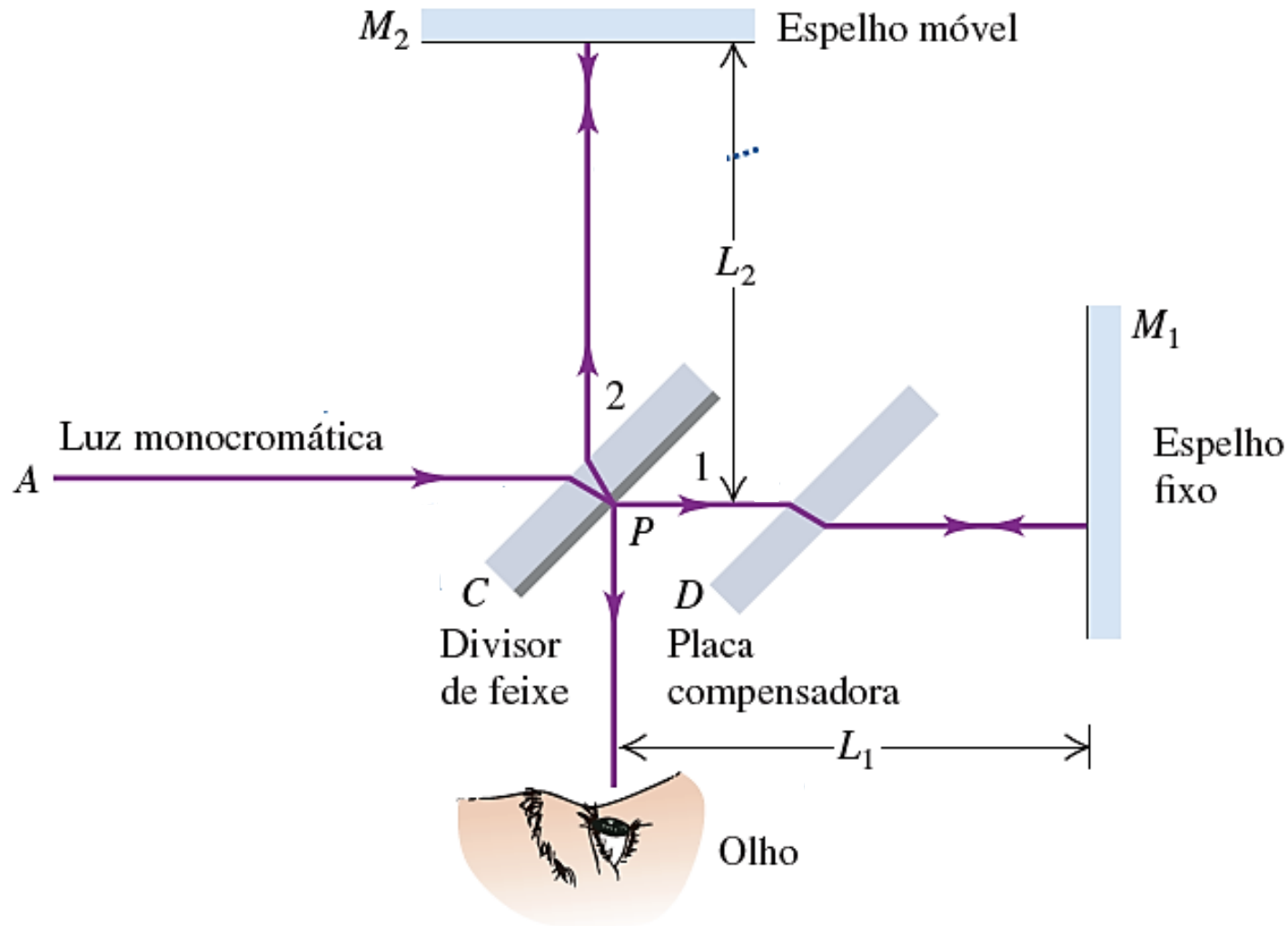
Interferômetro de Michelson



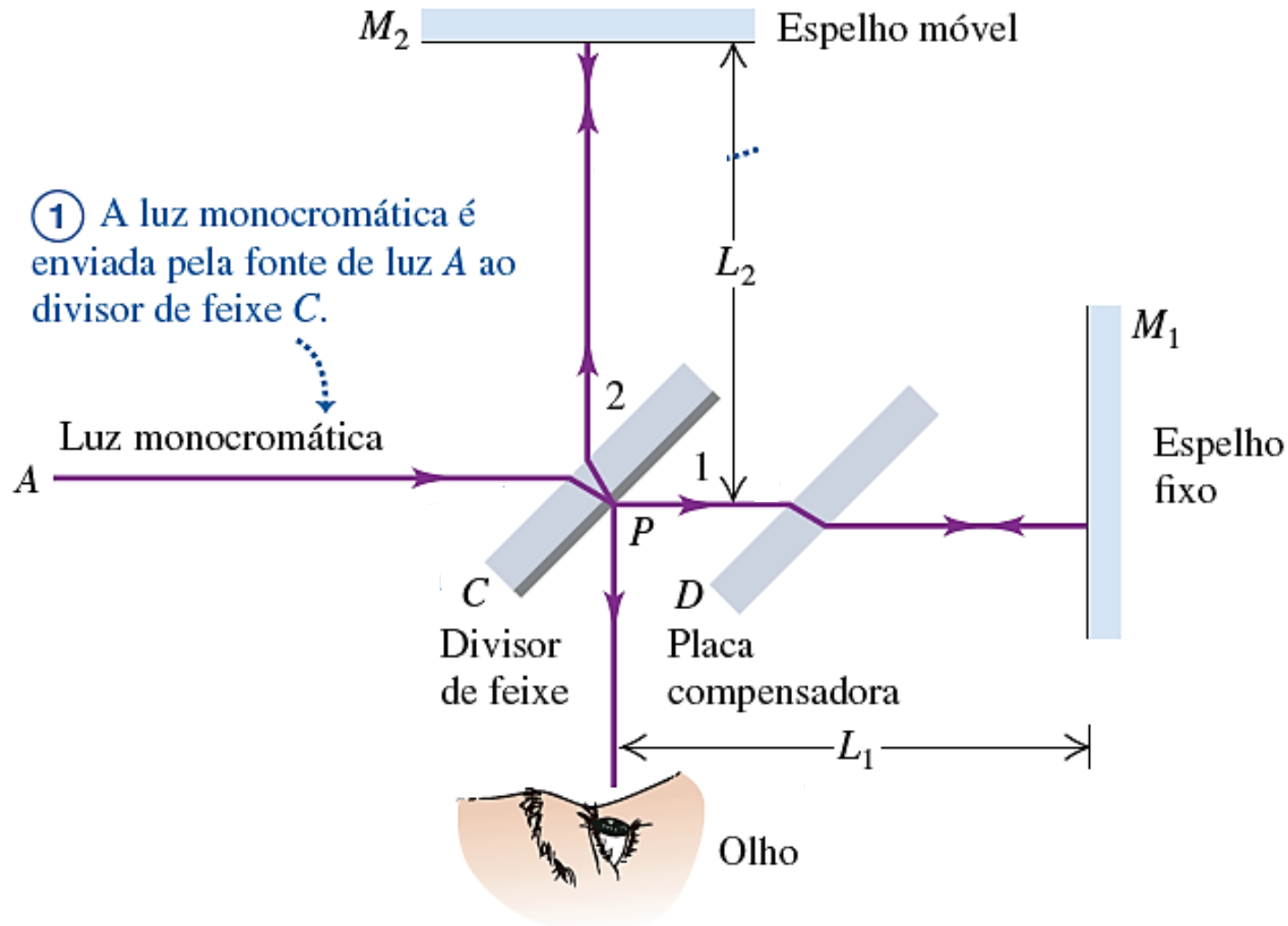
Interferômetro de Michelson



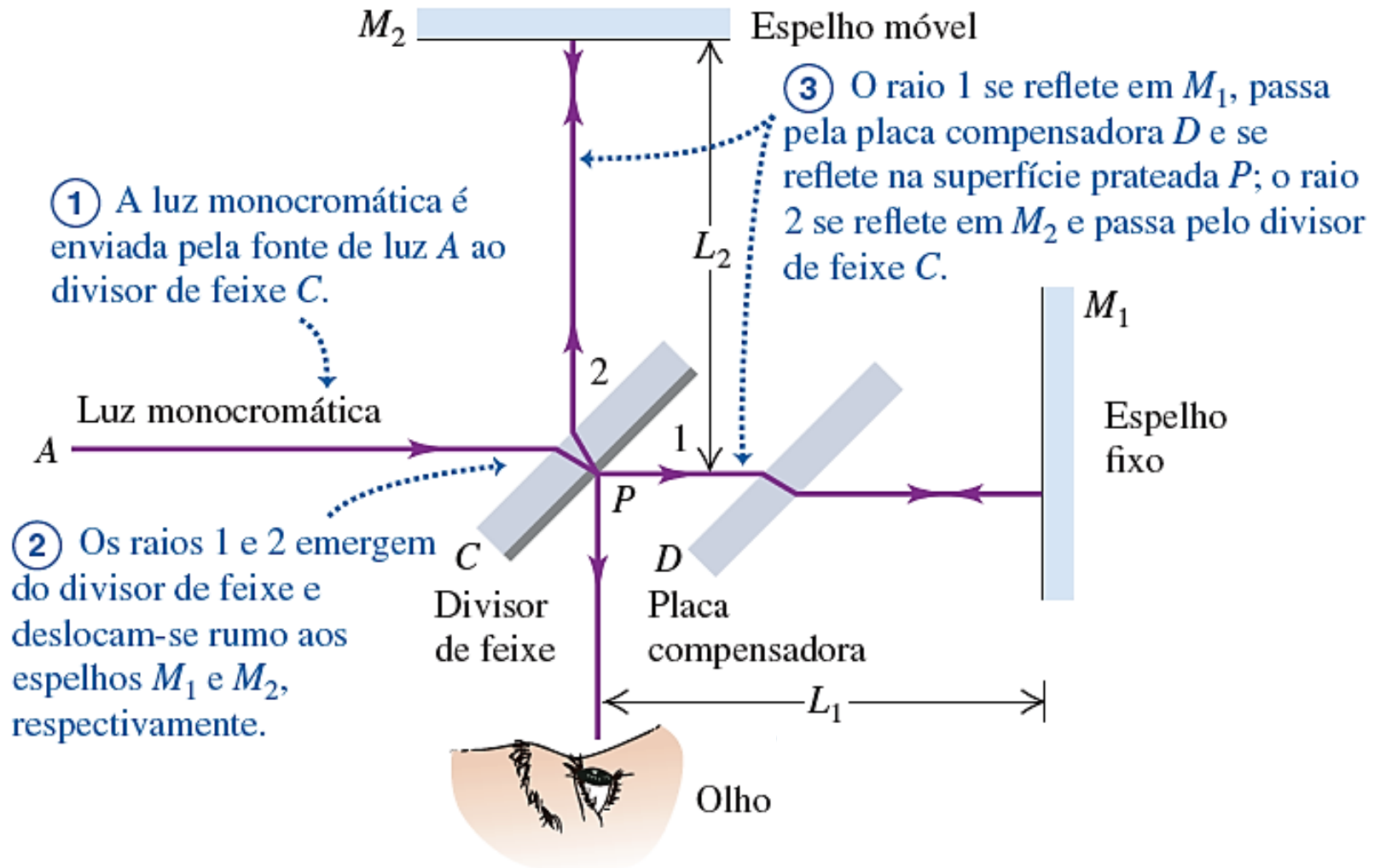
Interferômetro de Michelson



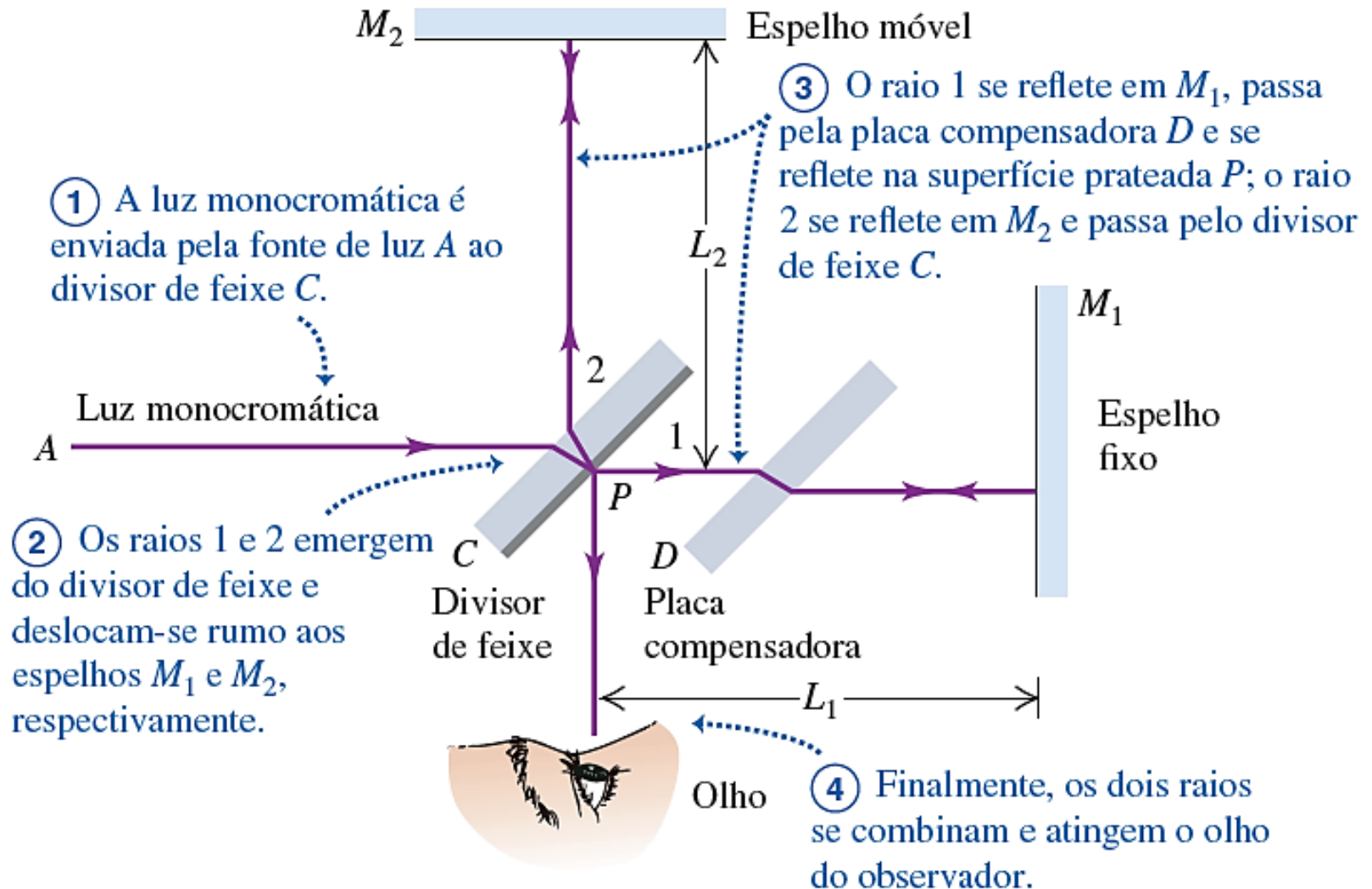
Interferômetro de Michelson



Interferômetro de Michelson



Interferômetro de Michelson



Interferômetro de Michelson

- O dispositivo inteiro é montado sobre um suporte muito rígido.
- A posição do espelho móvel M_2 pode ser ajustada.
- Se as distâncias L_1 e L_2 forem exatamente iguais e os espelhos M_1 e M_2 formarem um ângulo de exatamente 90° a imagem dos dois espelhos coincidem e produzem franjas de interferência.
- Se L_1 e L_2 não forem exatamente iguais, a imagem de M_1 estará ligeiramente deslocada em relação a M_2 o que produzirá um deslocamento das franjas.

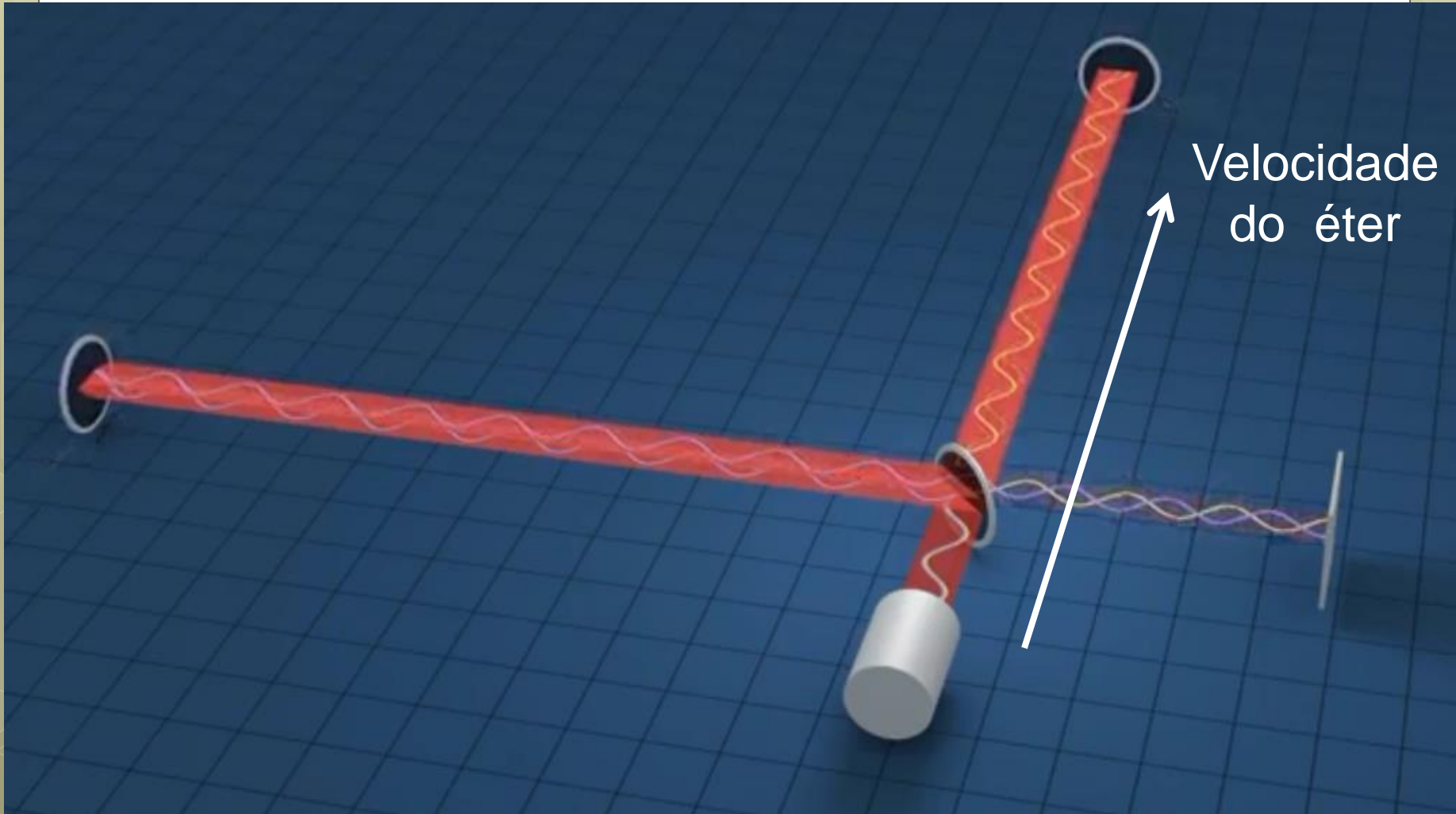


Esperimento Michelson e Morley

Experimento de Michelson e Morley

- Antes da consolidação da teoria eletromagnética da luz e da teoria da relatividade especial de Einstein, acreditava-se que a luz se propagava através do éter, um meio que permearia todo o espaço.
- Em 1887 Albert Michelson e Edward Morley usaram o interferômetro de Michelson para tentar detectar o movimento da Terra através do éter.
- Supondo que o interferômetro se desloque da esquerda para a direita em relação ao éter que tem o deslocamento de baixo para cima.
- Esta disposição produziria variações na velocidade da luz no sentido horizontal.

Experimento de Michelson e Morley



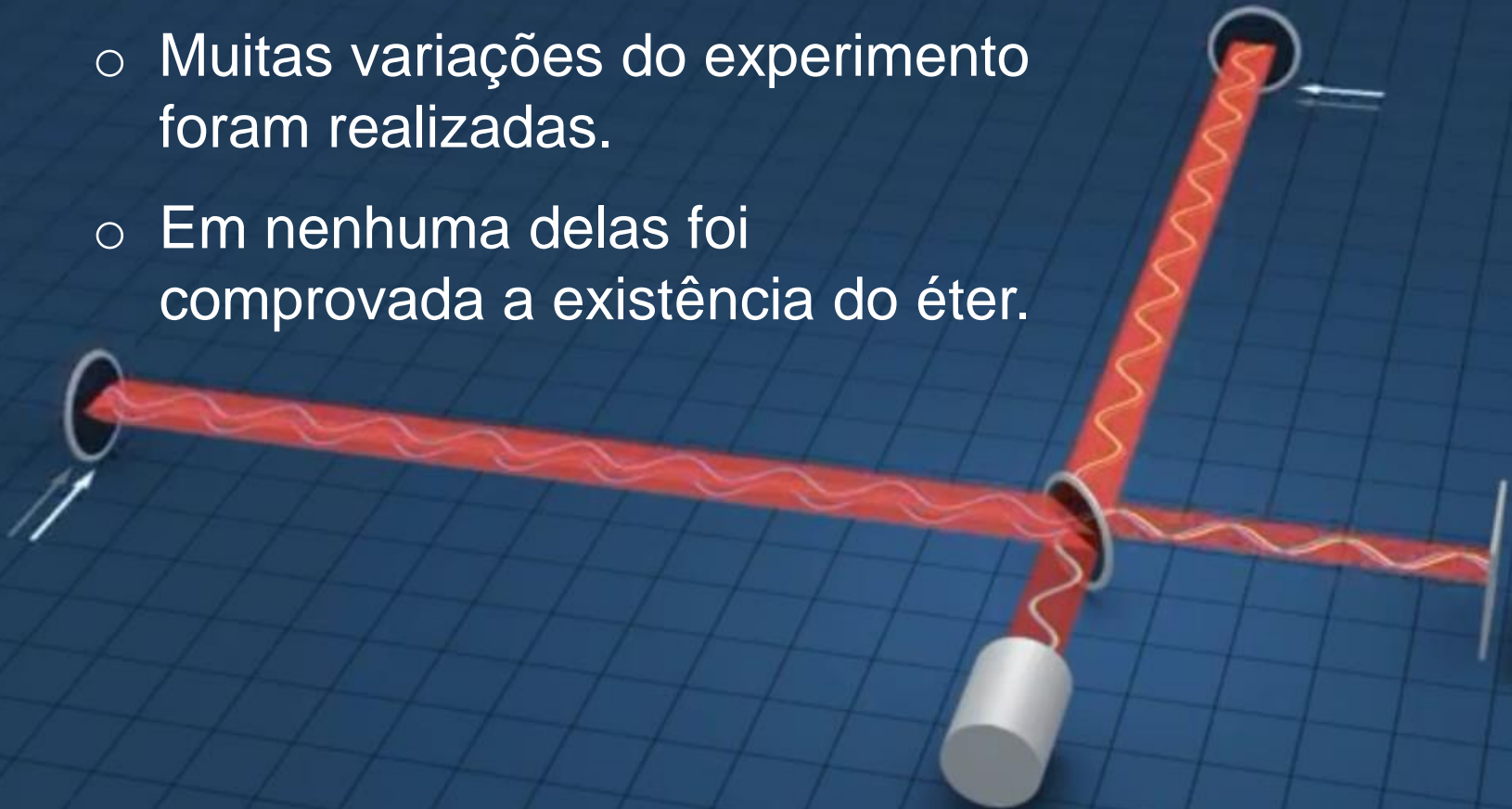
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: <https://youtu.be/UA1qG7Fjc2A>. Acesso em 24/04/22

Experimento de Michelson e Morley

- A seguir, se o conjunto inteiro do instrumento sofre uma rotação de 90° .
- As outras partes da trajetória seriam afetadas de modo análogo, produzindo um deslocamento de franjas em sentido oposto.
- Michelson e Morley esperavam que o movimento da Terra através do éter produzisse um deslocamento da franja aproximadamente igual a quatro décimos de uma franja quando o instrumento sofresse a rotação.
- **O deslocamento efetivamente observado, dentro do limite da precisão da experiência, foi exatamente igual a zero.**

Experimento de Michelson e Morley

- Muitas variações do experimento foram realizadas.
- Em nenhuma delas foi comprovada a existência do éter.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: <https://youtu.be/UA1qG7Fjc2A>. Acesso em 24/04/22

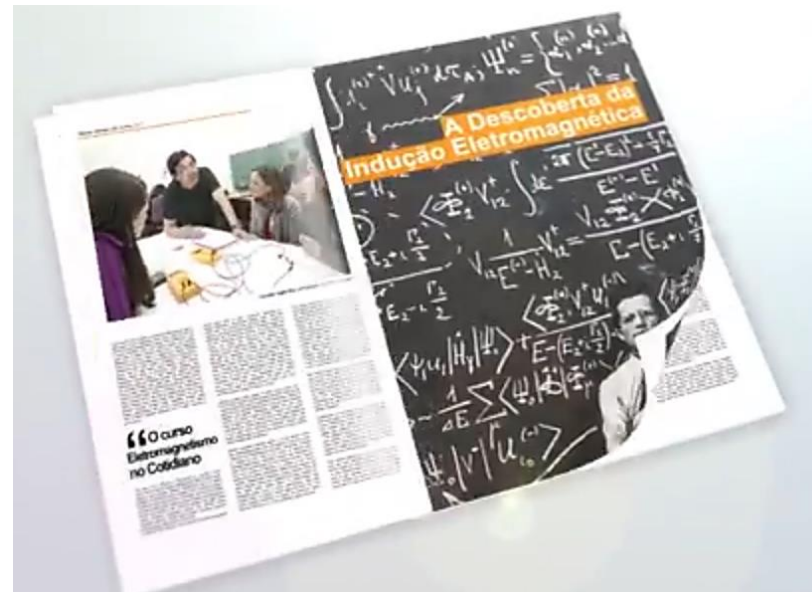
Experimento de Michelson e Morley

- Apesar do movimento orbital da Terra em relação ao Sol, a Terra dava a impressão de estar em repouso em relação ao éter.
- Esse resultado negativo foi um desafio para os físicos até 1905, quando Albert Einstein desenvolveu a teoria da relatividade especial.
- Einstein postulou que a velocidade de uma onda de luz no vácuo tem sempre o mesmo módulo c em relação a qualquer sistema de referência inercial.
- Como o suposto éter não desempenhava nenhum papel, seu conceito foi abandonado.

Experimento de Michelson e Morley

- Para entender em mais detalhes sobre este experimento assista o vídeo do Professor Dr. Luiz Antonio Nunes do IFSC/USP em São Carlos.

https://www.youtube.com/watch?v=-lqFX7_kDw0



Para depois desta aula

- Completar estudo com a leitura do capítulo 35 do livro texto (Sears vol. IV).
- Acessar lista de exercícios no site:

profhenriquefaria.com

Referências

1. YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Sears e Zemansky Física III: Eletromagnetismo. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

