

Pós relatório - Interferômetro de Michelson FFT

Marvin Mendes Cabral - 11212268

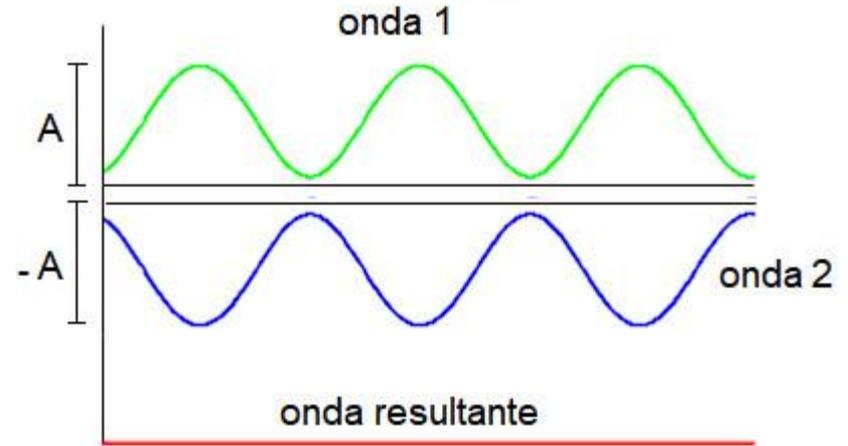
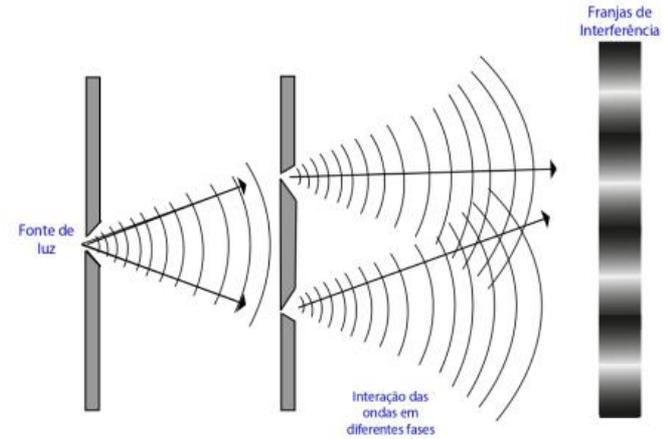
Paulo Dinhnai Ogata Filho - 11315440

Introdução

- Fenômeno de interferência:

$$d_2 - d_1 = (2n) \frac{\lambda}{2}$$

$$d_2 - d_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$



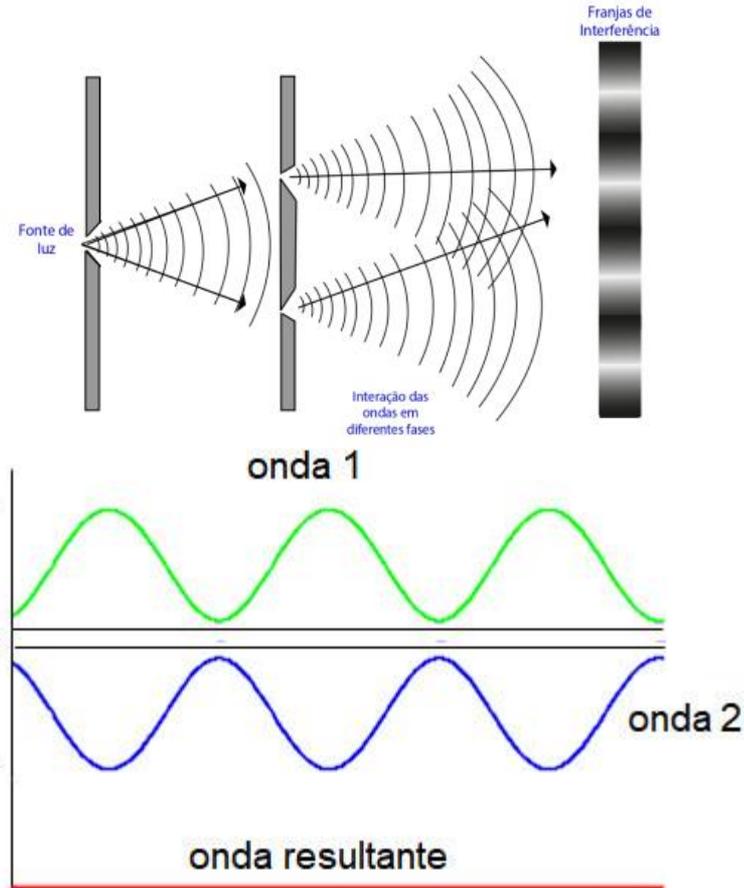
Introdução

- Fenômeno de interferência:

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2$$
$$\implies \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

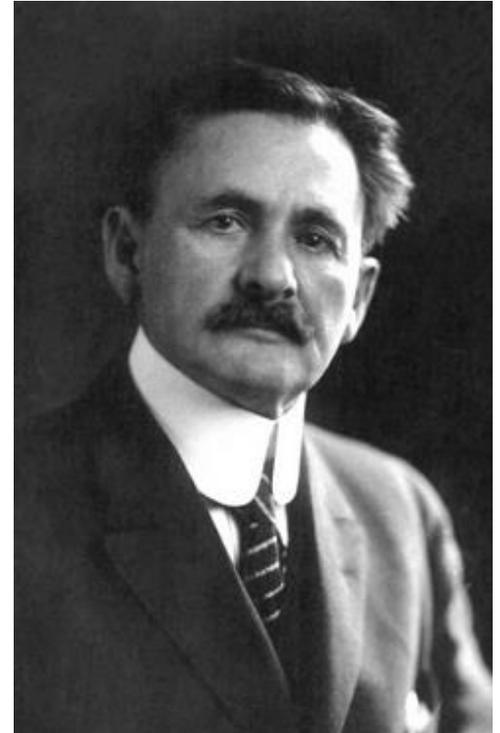
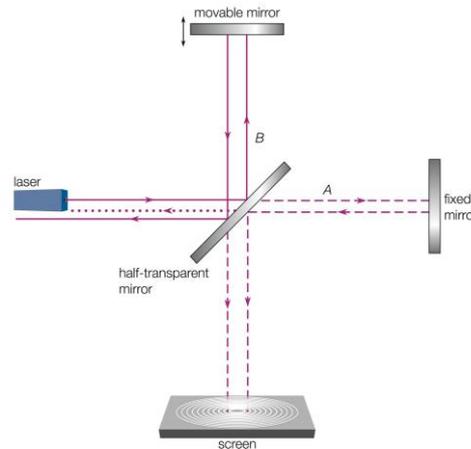
- Do módulo desta onda resultante e das relações de intensidade, definimos para o interferômetro:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$



Introdução

- Michelson, 1881 - Vento de éter
- Direção favorável
- Michelson-Morley, 1887
- Conclusão de Michelson-Morley
- Conclusão de Einstein



Introdução

- Possíveis aplicações:
 - Medição de pequenas diferenças em comprimentos de onda
 - Pequenas diferenças de deslocamento
 - Medição de diâmetros de estrelas
 - Medição de índices de refração



Introdução



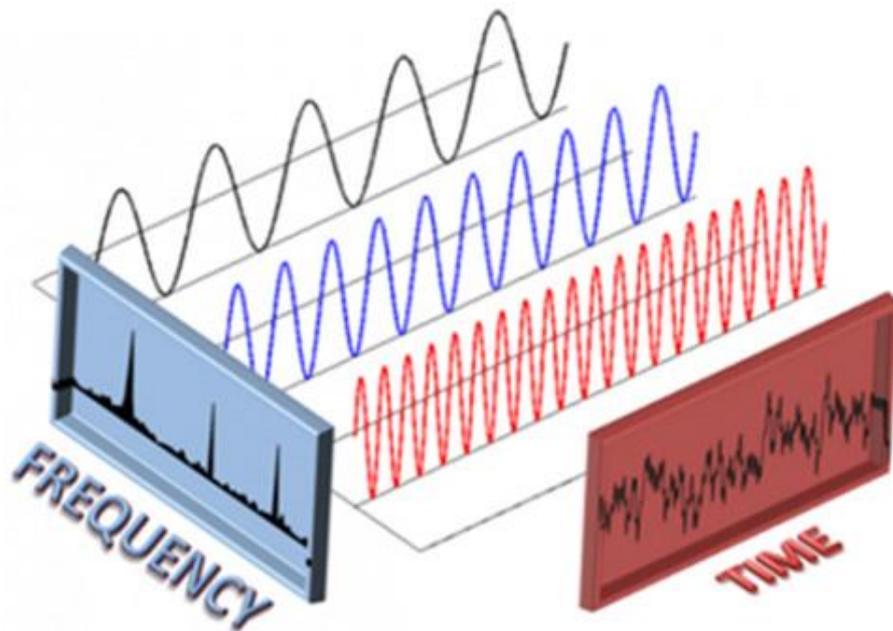
Introdução

- Transformada de Fourier
- Contínua (no domínio do tempo):

$$F(\omega) \equiv \mathcal{F}(f(t)) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

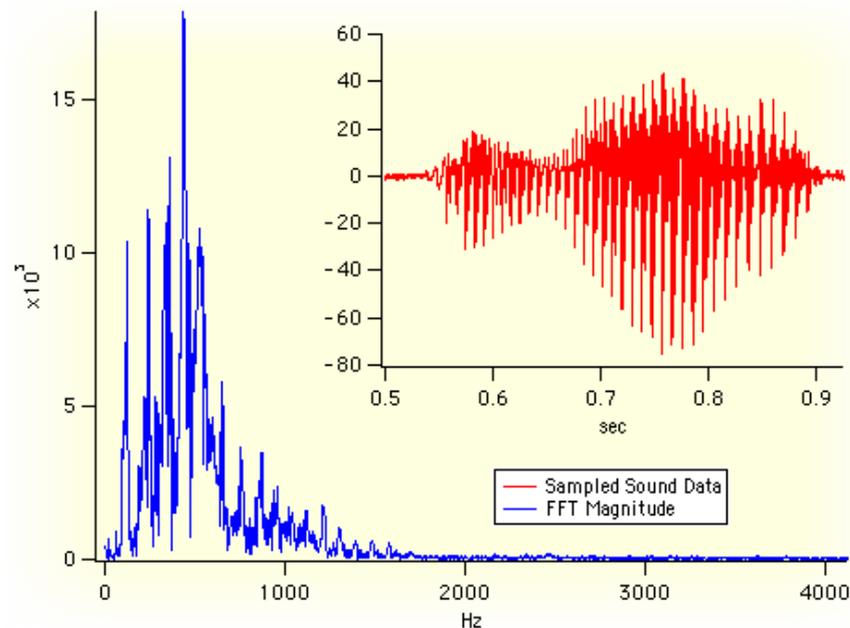
- Discreta (no tempo):

$$F[k] = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{i2\pi \frac{k}{N} n}$$



Introdução

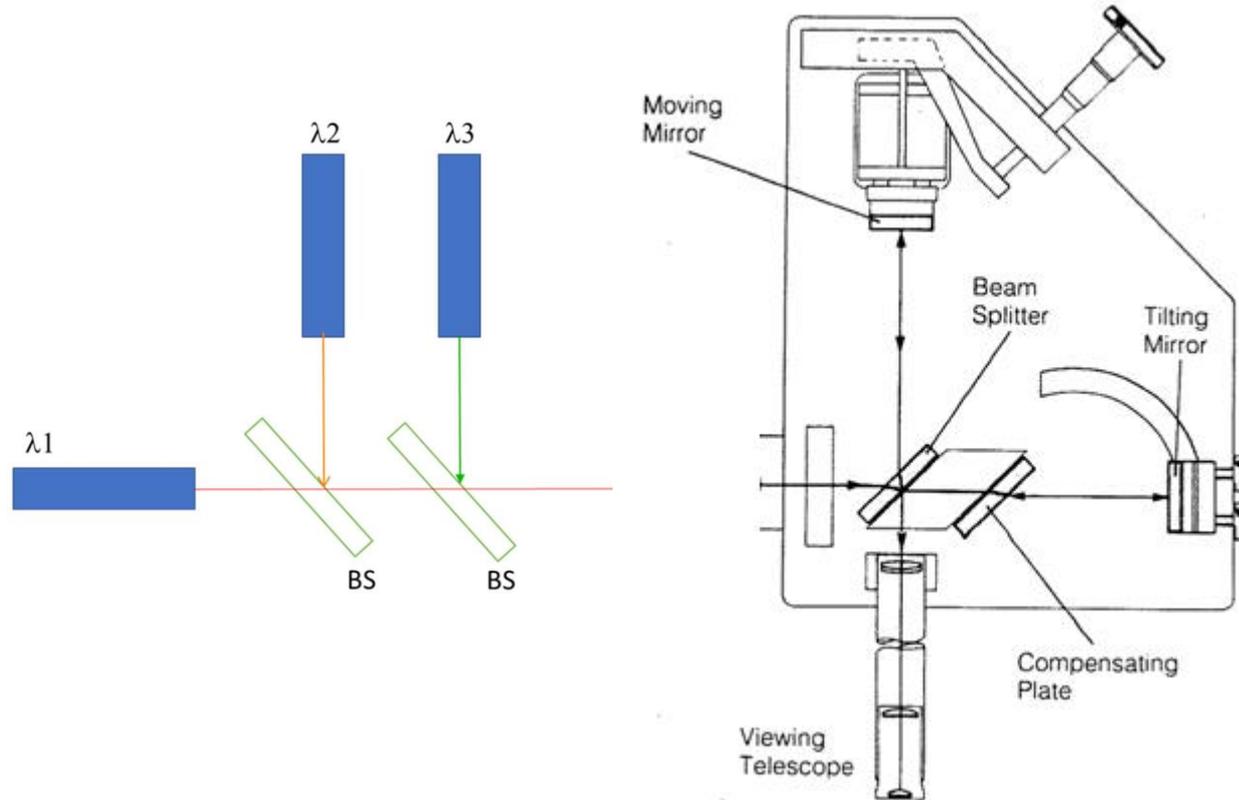
- Fast Fourier Transform
- Possíveis aplicações:
 - Processamento de imagens
 - Tratamento de áudio
 - Radar
 - Meios de comunicação
 - Espectroscopia



Objetivos

- Experiência prática com alinhamento óptico.
- Verificar o fenômeno de interferência da luz.
- Calibração do interferômetro.
- Obtenção dos interferogramas para diferentes lasers e suas combinações
- Cálculo dos espectros com FFT

Arranjo experimental: montagem



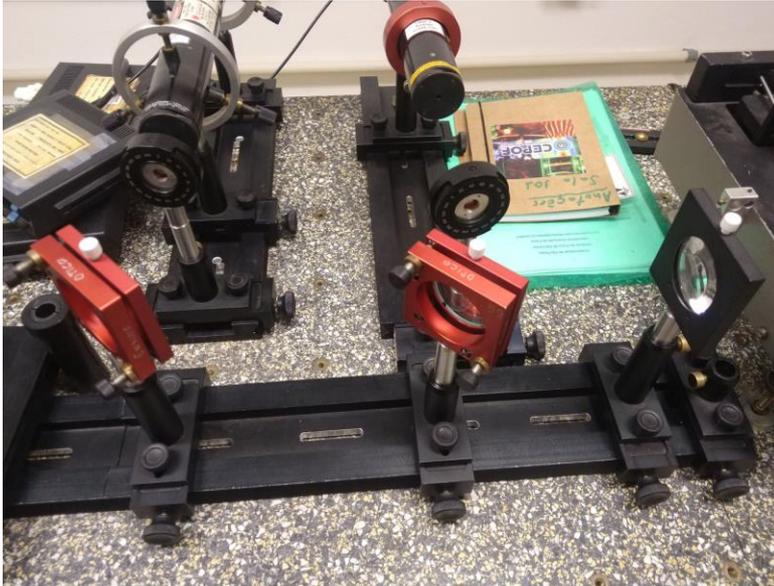
Arranjo experimental: montagem

- Fontes de luz:



Arranjo experimental: montagem

- Equipamentos para o alinhamento dos lasers:



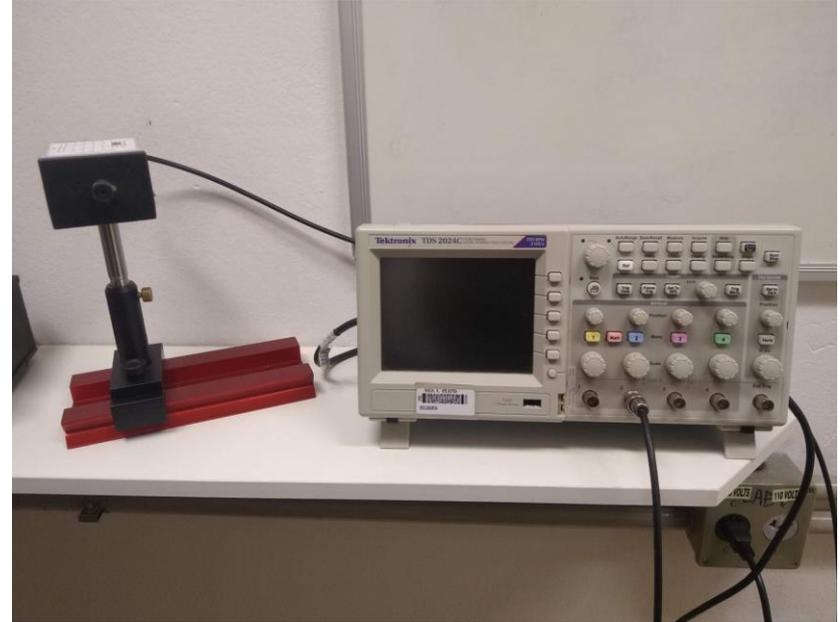
Arranjo experimental: montagem

- Interferômetro de Michelson:



Arranjo experimental: montagem

- Detectores:



Arranjo experimental: procedimento

- Calibração:

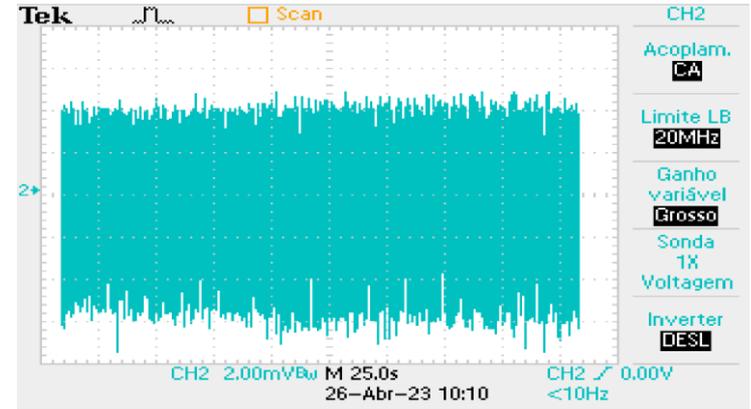
$$\Delta m \lambda = (d_1 - d_2) = K(D_1 - D_2)$$

$$\lambda = \frac{K \Delta D}{\Delta m}$$



Arranjo experimental: procedimento

- FFT:
 - Direcionamento do detector
 - Captação para as fontes e suas combinações
 - Aplicação da FFT em um software de nossa escolha (Python 3.10.6)
 - Cálculo da velocidade do espelho

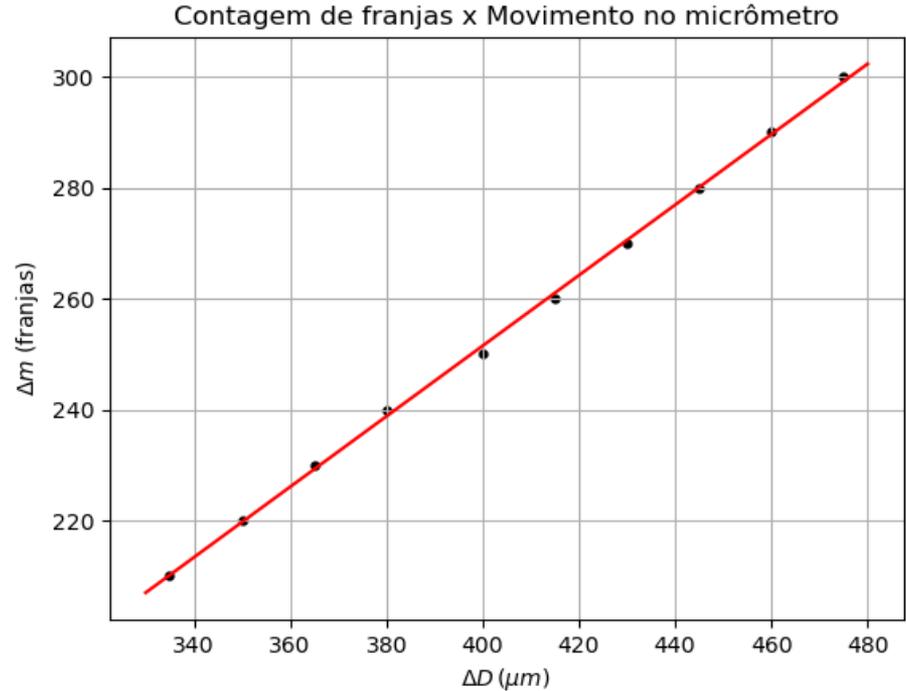


$$f = \frac{v}{\lambda}$$

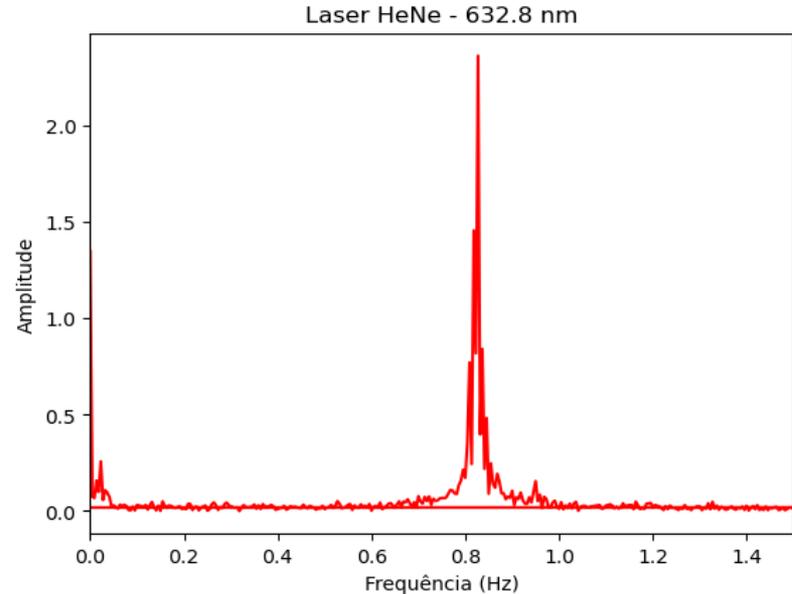
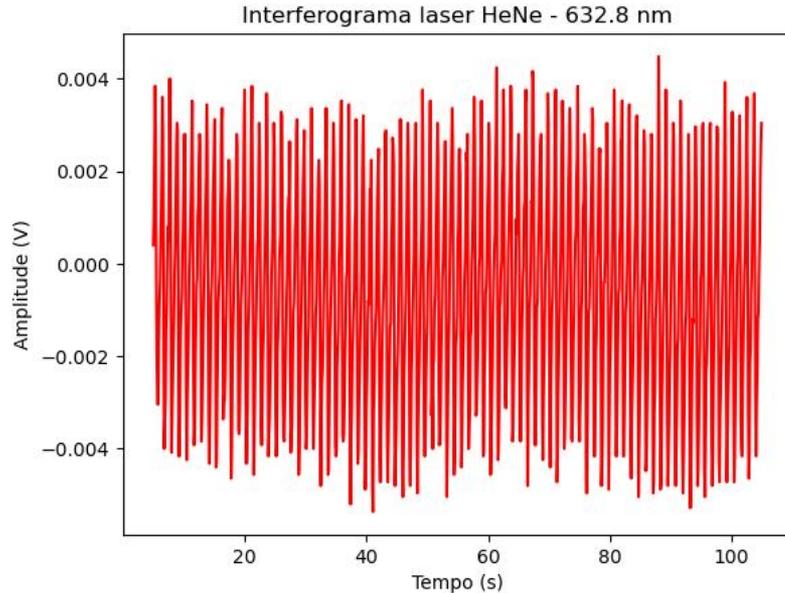


Resultados experimentais: calibração

- Calibração do espectrômetro:
 - Determinação do comprimento de onda λ .
 - $\alpha = K / \lambda$.
 - $\lambda = (632 \pm 9) \text{ nm}$

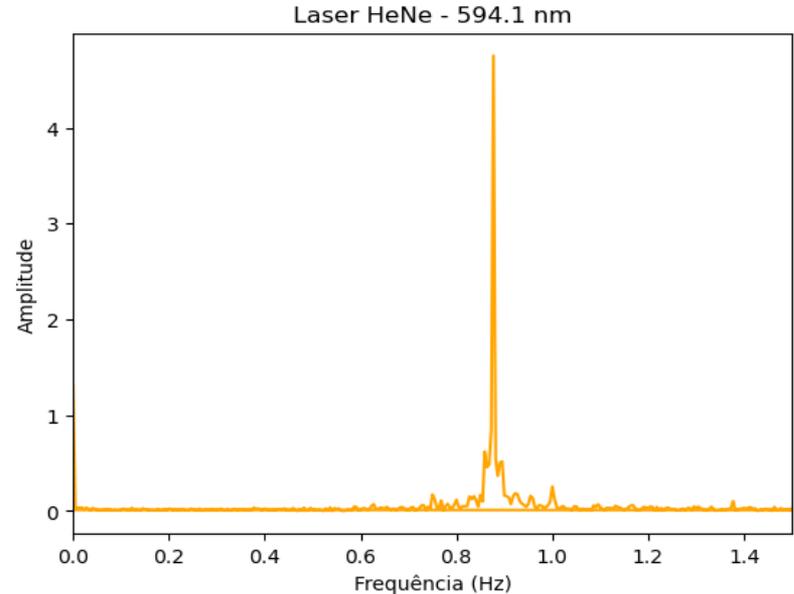
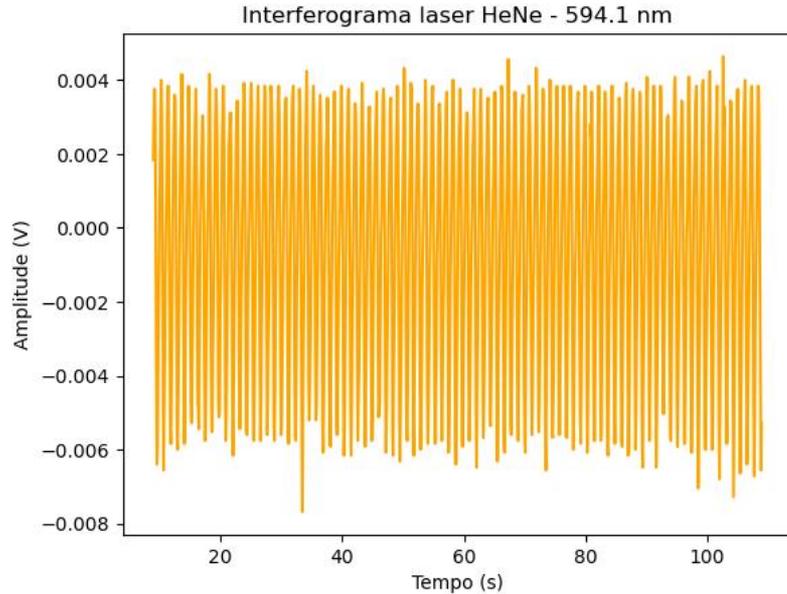


Resultados experimentais: FFT



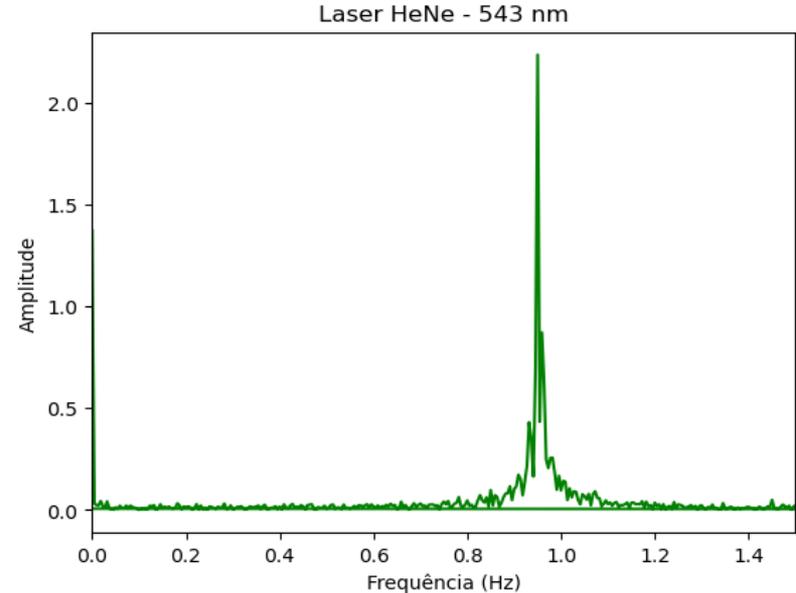
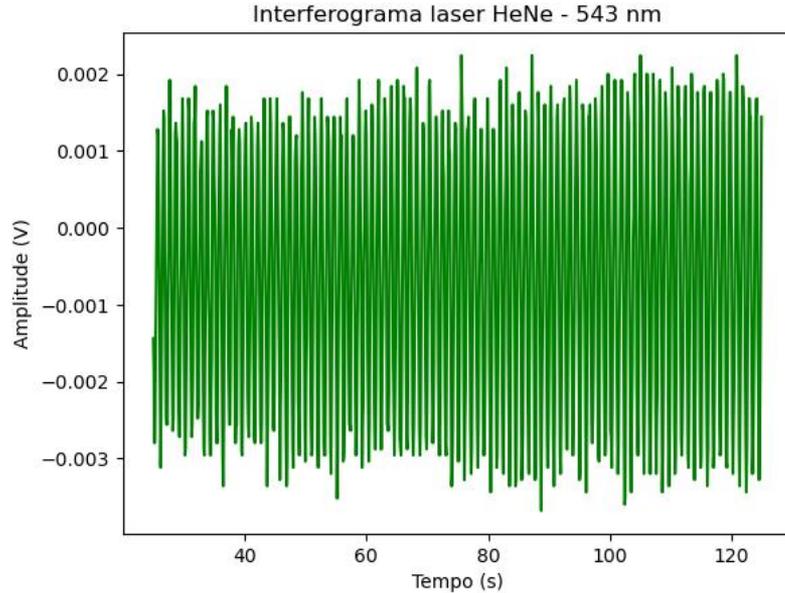
Frequência: $f_{V_m} = (0.818 \pm 10^{-3})$ Hz; Velocidade do espelho: $v_e = (517.8 \pm 0.6)$ nm/s

Resultados experimentais: FFT



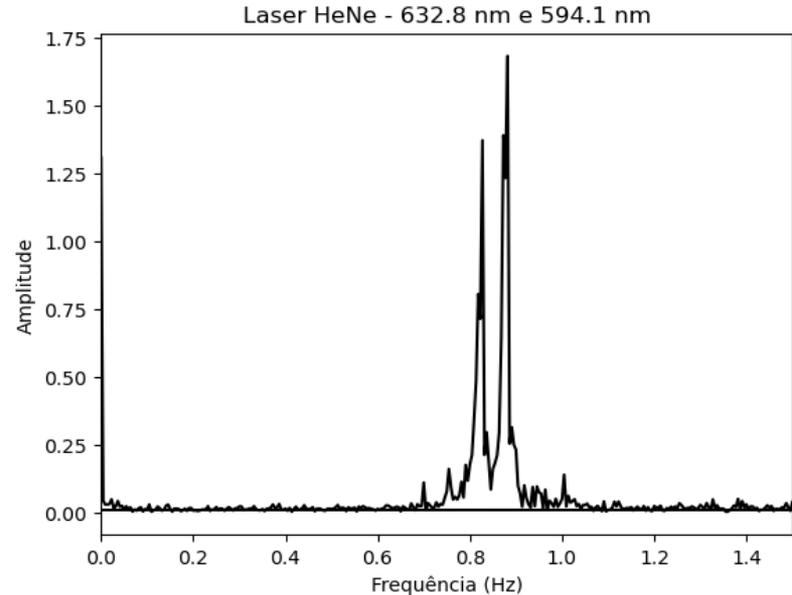
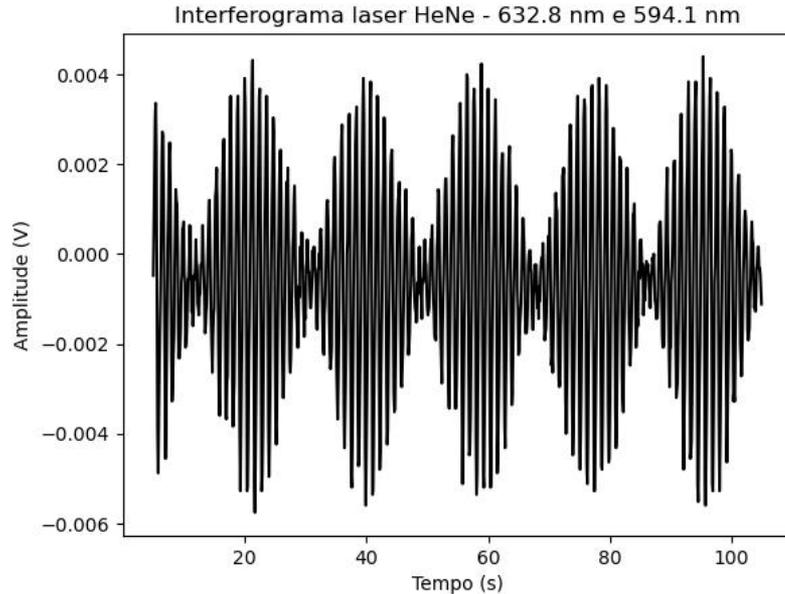
$$f_L = (0.877 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_L = (590 \pm 2) \text{ nm}$$

Resultados experimentais: FFT



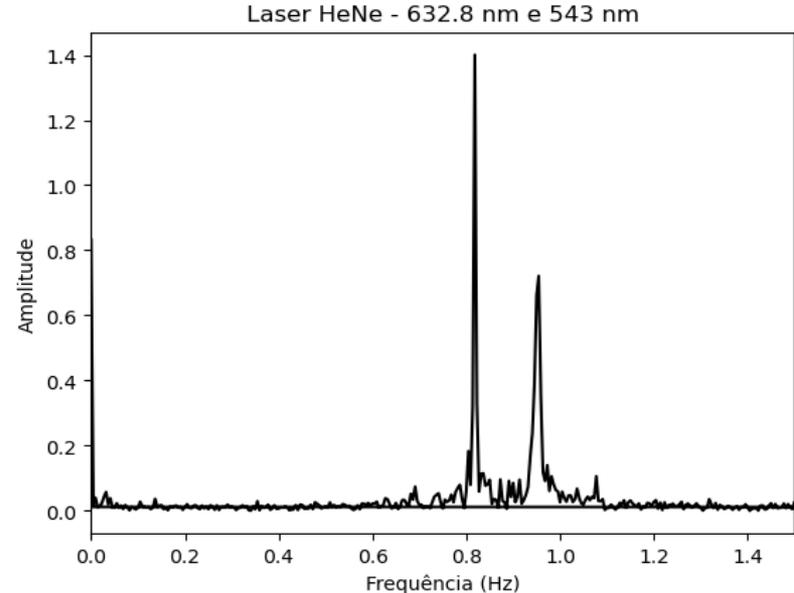
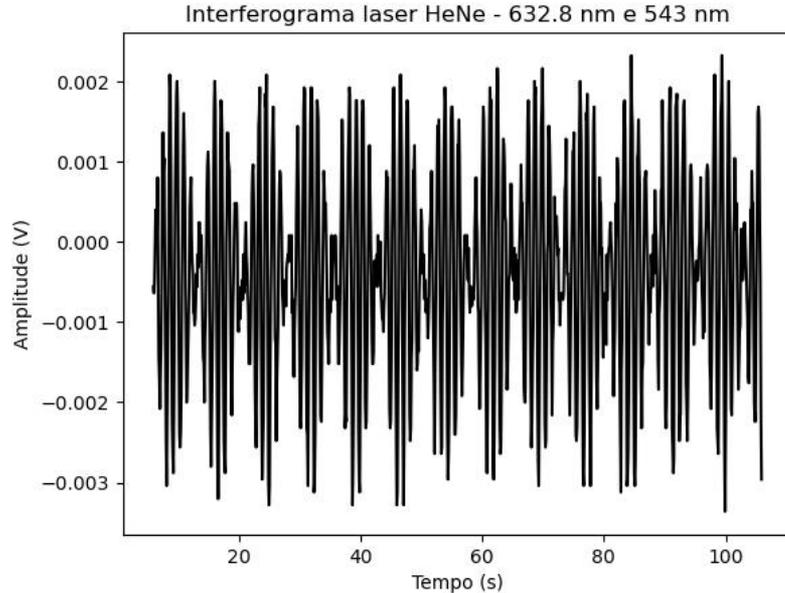
$$f_{\text{Vd}} = (0.950 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \quad \lambda_{\text{Vd}} = (545 \pm 1) \text{ nm}$$

Resultados experimentais: FFT



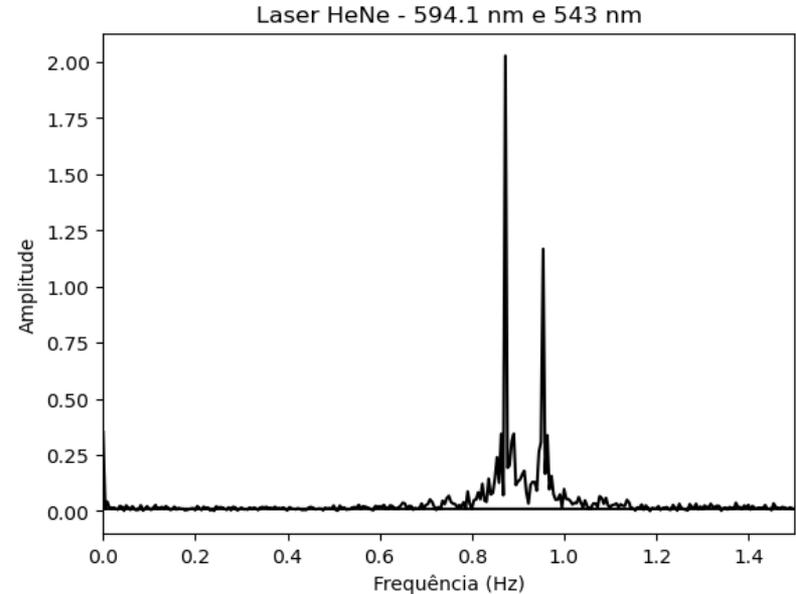
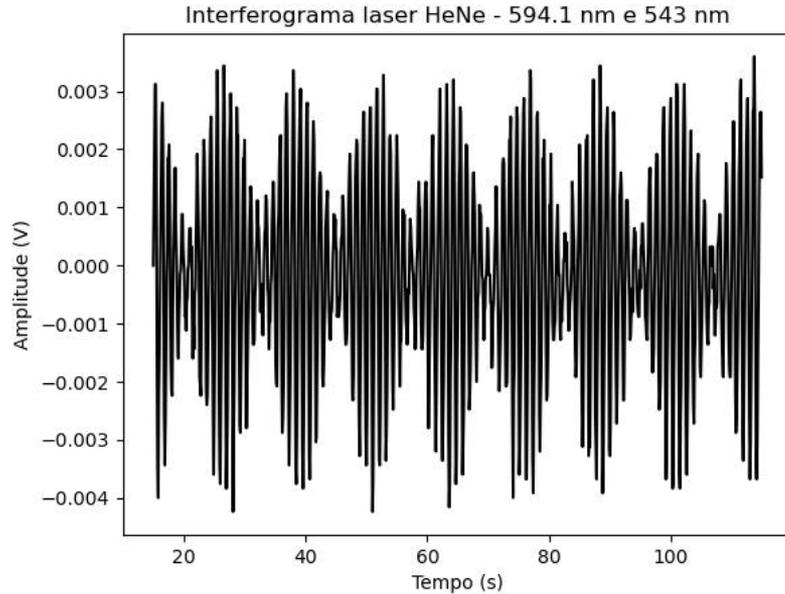
$$f_{V_m} = (0.818 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_{V_m} = (633 \pm 1) \text{ nm}; f_L = (0.873 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_L = (593 \pm 1) \text{ nm}$$

Resultados experimentais: FFT



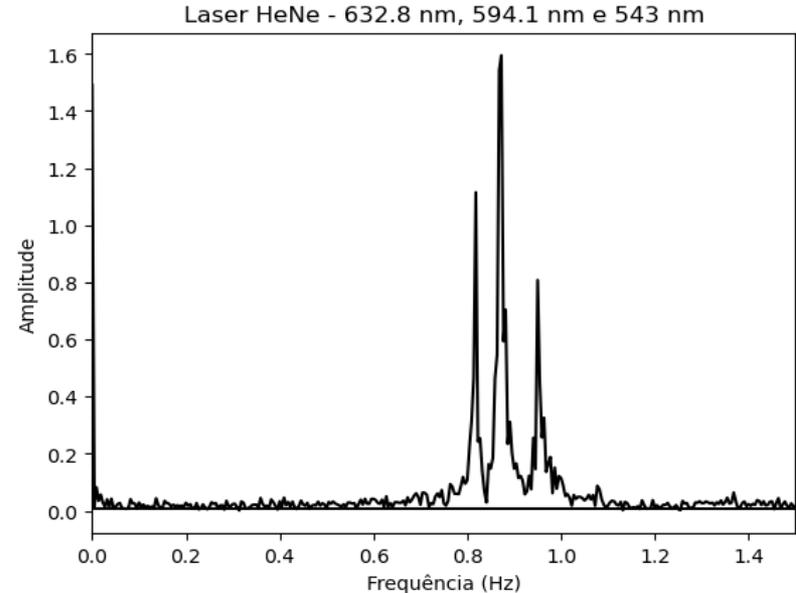
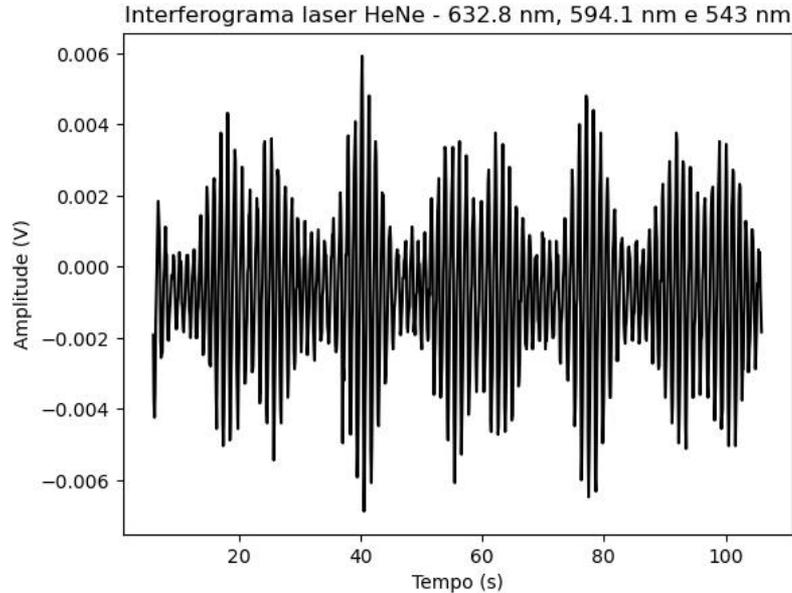
$$f_{V_m} = (0.818 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_{V_m} = (633 \pm 1) \text{ nm}; f_{V_d} = (0.955 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_{V_d} = (542 \pm 2) \text{ nm}$$

Resultados experimentais: FFT



$$f_L = (0.873 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_L = (593 \pm 1) \text{ nm}; f_{\text{vd}} = (0.955 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_{\text{vd}} = (542 \pm 2) \text{ nm}$$

Resultados experimentais: FFT



$$f_{V_m} = (0.818 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_{V_m} = (633 \pm 1) \text{ nm};$$
$$f_L = (0.873 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_L = (593 \pm 1) \text{ nm};$$
$$f_{V_d} = (0.950 \pm 10^{-3}) \text{ Hz}; \lambda_{V_d} = (545 \pm 1) \text{ nm}.$$

Análise e discussão adicional dos resultados

- Dois métodos de cálculo da velocidade do espelho:

Método 1, pela FFT:

$$\begin{aligned} f &= \frac{v}{\lambda} \implies v = \lambda_{Vm} f_{Vm} \\ &= (517.8 \pm 0.6) nm/s \end{aligned}$$

Método 2, pelo deslocamento do micrômetro:

$$\begin{aligned} \Delta m \lambda &= (d_1 - d_2) = K(D_1 - D_2) \\ \Delta D &= (50 \pm 5) \mu m; K = (402 \pm 2) 10^{-3} \\ \Delta t &= (37.7 \pm 0.1) s \\ v &= (500 \pm 50) nm/s \end{aligned}$$

- Relação de equivalência estatística:

$$|v_{m1} - v_{m2}| \leq 2(\delta_{m1} + \delta_{m2}) \implies 17.8 \leq 101.2$$

Conclusões

- O fenômeno de interferência que o experimento propõe com o aparecimento das franjas foi verificado com o alinhamento correto dos lasers
- Confirmou-se a linearidade entre o movimento do micrômetro e do espelho, permitindo a calibração do instrumento advinda da constante de proporcionalidade K
- Com a utilização do interferômetro junto da técnica de espectroscopia com FFT é possível determinar comprimentos de onda para diversas fontes incidentes e pequenas diferenças entre elas

Considerações finais

- Explicação teórica sobre a relação da frequência das franjas com a velocidade do espelho e o comprimento de onda do laser
- Possível adaptação da metodologia da parte B, de modo que calcule-se a velocidade do espelho com a constante K como o método 2 propõe (interessante um cronômetro acoplado ao motor e um micrômetro digital). Com essa velocidade, utiliza-se da relação de frequência para obter-se (a partir das FFTs) o comprimento de onda de cada laser

Referências

- Material do site do Laboratório de Física:
<https://www.ifsc.usp.br/~lavfis/lavfiswp/apostilas/>
- EINSTEIN, Albert. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento.
LORENTZ, HA, EINSTEIN, A. E MINKOWSKI, H. O princípio da relatividade. Lisboa: Calouste Gulbekian, 1983.
- <https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.linalg.lstsq.html>
- <https://numpy.org/doc/stable/reference/routines.fft.html>