

Óptica Coerente

Objectivos

Esta série de experiências tem como principal objectivo proporcionar aos alunos uma sólida formação experimental no domínio das modernas aplicações da óptica, com especial incidência na tecnologia laser.

Os alunos irão realizar duas experiências principais. A primeira, de observação de transformadas de Fourier ópticas, irá introduzir o conceito de óptica coerente e difracção. Estes conceitos são então explorados mais quantitativamente realizando um interferómetro de Michelson de grande frente de onda, com medidas de densidade associadas.

Trabalho a efectuar nas sessões

É espectável que as sessões laboratoriais se dividam entre:

- 1ª sessão Óptica de Fourier: alinhamento e obtenção de uma imagem de Fourier calibrada do slide AB.
- 2ª sessão Óptica de Fourier: aquisição de dados de todos os restantes objectos.
- 3ª sessão Interferometria: alinhamento e obtenção do padrão de riscas com dois ângulos
- 4ª sessão: Interferometria: aquisição de dados para o comprimento de coerência e campo de temperatura
- 5ª sessão: objetivos definidos pelos alunos
- 6ª sessão: objetivos definidos pelos alunos

1. Transformada de Fourier Óptica

Nesta experiência, utilizam-se alguns componentes ópticos simples de forma a demonstrar os fundamentos e algumas aplicações da transformada de Fourier óptica.

Iluminando um objecto (*slide* transparente) de teste com uma frente extensa é possível obter a transformada de Fourier espacial (2D) do campo transmitido pelo slide no plano focal duma lente colocada a seguir ao objecto. Recorrendo a uma segunda lente o sistema permite a aquisição do espectro de Fourier referido numa CCD. ~~Alterando a posição desta segunda lente podemos reconstruir a imagem original do objecto e efectuar sobre ela diversos tipos de filtragem, colocando mascaras no plano de Fourier de forma a bloquear determinadas frequências espaciais.~~

2. Interferómetro Laser - Determinação do campo de temperatura na vizinhança de uma ponta aquecida

Nesta experiência, utiliza-se um interferómetro de Michelson melhorado, o qual permite a separação e recombinação de uma frente de onda extensa, proveniente de um laser de He-Ne munido de um sistema expensor-colimador.

Consegue-se assim a resolução espacial necessária à determinação de campos de densidade num meio transparente sendo depois possível reconstruir as temperaturas do meio sem que seja necessário recorrer a uma sonda material.

Utiliza-se uma lente convergente para formar a imagem da ponta do ferro e respectivo padrão de interferência directamente no elemento sensível de uma câmara CCD, permitindo a aquisição dos interferogramas a tempo real.

Este interferómetro também está munido com a capacidade de aumento controlado de um dos braços permitindo assim uma análise da coerência da fonte laser.

Objectivos da aquisição e análise de dados

1. Transformada de Fourier Óptica

- Transformadas de Fourier 2D:
 - Obter da imagem do plano de Fourier Óptico duma lente e sua calibração em espaço e frequências espaciais. Compare a ampliação obtida calibrada com a ampliação determinada a partir das distâncias relativas objecto-lente-imagem. (Nota: As dimensões da CCD são de 1928x1448 1px=3,69µm)
 - Comparação das imagens obtidas com transformadas de Fourier 2D, dependência da distância focal para as duas lentes.
 - Caracterização de vários objectos difractivos (Slide AB, TEM grids, rede de Ronchi,...) em função da imagem no plano de Fourier, i.e., imagem no espaço das frequências espaciais.
 - Variação da imagem de Fourier em função da abertura do feixe (rede de Ronchi). Verificação da resolução limite de uma rede de difracção.
 - **Preparação antes da sessão experimental:** Indique a relação das coordenadas no espaço de Fourier no plano de foco da lente com as frequências espaciais; Identifique as funções e seus parâmetros que descrevem o padrão de Fourier para os tipos de objectos que estão presentes na experiência: aberturas circulares e redes.
- ~~Filtragem de Fourier óptica:~~
 - ~~Filtragem de Fourier óptica de uma imagem (1951 USAF test pattern, slide PI): passa alto, passa baixo, Schlieren.~~
 - ~~Determinação do limite de resolução do sistema de imagem em função da abertura no plano de Fourier (usar as duas lentes de distância focal diferente)~~
 - ~~Simulação numérica de filtro passa alto, passa baixo, Schlieren e comparação com resultados experimentais.~~

- ~~**Preparação antes da sessão experimental:** Indique quais os factores que limitam a resolução de uma imagem captada por uma CCD; Qualitativamente o que acontece à imagem quando é aplicado um filtro passa-baixo, passa-alto e Schlieren.~~

2. Interferometria laser

- Caracterização do Interferómetro de Michelson:
 - Espaçamento entre riscas: com base na frequência do padrão de riscas determine o desalinhamento entre os feixes dos dois braços e comprove com uma estimativa independente do ângulo entre feixes (pelo menos duas larguras de riscas)
 - Contraste de riscas: Aumentado a diferença de percursos de um dos braços relativamente ao outro do interferómetro registe o perfil da função de contraste e estime o comprimento de coerência da fonte laser (ΔL : 0 a >30cm; pelo menos 3 distâncias: $\Delta L = 0$; mínimo de contraste; $\Delta L \sim 50$ cm). O que pode dizer sobre o conteúdo espectral desta fonte?
 - **Preparação antes da sessão experimental:** Qual a relação entre o espaçamento de riscas e ângulo entre feixes? Como se relaciona a função de contraste de uma fonte e comprimento de coerência com o seu conteúdo espectral (ex: duas frequências discretas)?
- A análise dos perfis de densidade ~~por um método tomográfico simplificado (inversão de Abel)~~ para reconstruir o campo radial de temperaturas em torno da ponta do ferro (pelo menos duas temperaturas)
 - Obter da imagem calibrada do ferro numa CCD com auxílio duma lente convergente ($f=50$ mm) por forma a captar no interferograma toda a região de influência da temperatura.
 - Meça o perfil do desvio de fase introduzido pelo campo de densidades em torno do ferro a partir dos interferogramas registados (pelo menos duas secções). Compare com os interferogramas obtidos com largura de risca infinita
 - Assumindo um determinado perfil de distribuição de densidade do ar (quadrado, triangular, gaussiano e exponencial negativa) em torno do ferro estime a temperatura junto à superfície do ferro tendo em conta o integral de Abel. [Considere a integração no plano do eixo do ferro e o desvio de fase junto à superfície]. Tenha em atenção as possíveis assimetrias entre os lados esquerdo e direito da imagem. Compare com os valores indicados no controlador do ferro.
 - **Preparação antes da sessão experimental:** Calcule o factor de ampliação necessário para obter na CCD (Nota: As dimensões da CCD são de 1928x1448 1px=3,69 μ m) uma imagem de 7 mm de raio em torno do ferro e quais as distâncias objecto-lente e lente-imagem para a lente convergente a ser usada. Como devo de medir o desvio de fase a partir de um interferograma? Estime as razões entre os integrais de Abel de cada perfil de distribuição de densidade do ar com o perfil quadrado no plano do eixo de simetria (ter a atenção que nos perfis gaussiano e exponencial negativo definir um critério limite para o raio de não influência).

Textos de apoio

Protocolos da montagem: “OpticaCoerente_Protocolos2023_24.pdf”

1. Transformada de Fourier Óptica

Slides: Slides_Fourier.pdf

Livros:

Coherent Optics (Cap. 9 Pag149-173) : “CoherentOptics_Fourier.pdf”

Fundamental of Photonics (Cap. 4 Pag.102-132) : “Fundamentals_of_Photonics_Fourier.pdf”
(opcional)

2. Interferometria

Slides: “Slides_Interferometria.pfd”

Livros:

Coherent Optics (Cap. 4 Pag.31-39) : “CoherentOptics_Interferom.pdf”