

Espectroscopia Raio-X e Óptica fina

Objectivos

Uma das mais importantes técnicas experimentais em várias áreas da ciência é a espectroscopia. Com ela é possível estudar estruturas cristalinas, a estrutura da física atómica moderna e as estruturas finas de fontes quasi-monocromáticas como os lasers. Nestas sessões experimentais irão estudar três tipos de espectroscopia: espectroscopia de raios-X para o estudo de redes cristalinas e espectroscopia de interferência múltipla para o estudo do efeito Zeeman na física atómica e a análise da estrutura fina dos modos da cavidade laser.

Trabalho a efectuar nas sessões

É espectável que as sessões laboratoriais se dividam entre:

- 1ª sessão Espectroscopia fina laser: caracterização do Interferómetro Fabry-Perot e sua potência resolutive; estrutura espectral de um laser
- 2ª sessão: Espectroscopia fina laser: caracterização do Interferómetro Fabry-Perot e sua potência resolutive; estrutura espectral de outro laser
- 3ª sessão Espectroscopia de Raios-X (caracterização do espectro de emissão, potência resolutive e caracterização de vários cristais) ou Espectroscopia Atómica - Efeito Zeeman (caracterização da lâmina de Lummer-Gehrcke, desdobramento de riscas em função do campo magnético)
- 4ª sessão Espectroscopia de Raios-X (caracterização do espectro de emissão, potência resolutive e caracterização de vários cristais) ou Espectroscopia Atómica - Efeito Zeeman (caracterização da lâmina de Lummer-Gehrcke, desdobramento de riscas em função do campo magnético)
- 5ª sessão: Objectivos definidos pelos alunos
- 6ª sessão: Objectivos definidos pelos alunos

1. Espectroscopia de Raios-X

A espectroscopia de raios-X é muito usada para caracterização de estruturas finas como são as estruturas cristalinas. Por outro lado, estruturas cristalinas bem conhecidas são utilizadas como ópticas de raios-X em sincrotrões, como monocromadores ou para beam-steering.

Para realizar este trabalho usa-se um difractor de raios-X, que se baseia no conjunto emissor-amostra-detector. O emissor é uma ampola de raios-X com ânodo de molibdénio (Mo) e o detector um contador de Geiger-Muller. O suporte da amostra ocupa o centro de um goniómetro vertical. Para medições em função do ângulo, fazem-se varrimentos (scans) em que a amostra e o detector podem rodar independentemente (modos: TARGET ou SENSOR) ou solidariamente (modo COUPLED).

2. Espectroscopia atômica - Efeito Zeeman

A estrutura atômica por camadas leva a que cada átomo tenha uma assinatura espectral muito própria chamadas riscas espectrais de um determinado elemento. Esta estrutura sobe a influencia de um campo magnético intenso induz alterações nestas riscas. O desdobramento destas riscas em várias componentes provocado por este campo externo chama-se efeito Zeeman. Nesta experiência usaremos uma lâmpada de Cádmiu mergulhada num campo magnético produzido por dois fortes electro-ímanes. Embora o campo magnético possa atingir os 1 Tesla a separação das riscas será inferior ao Å. Para fazer a análise espectral usa-se uma lâmina de Lummer-Gehrcke acoplada a um telescópio; o funcionamento deste espectrómetro baseia-se na interferência múltipla para atingir resoluções espectrais necessárias.

3. Espectroscopia fina laser - Interferómetro Fabry-Perot

A estrutura fina de uma fonte quasi-monocromática laser pode necessitar uma potência resolutive muito elevada. Encontra-se instalado no laboratório um interferómetro de Fabry-Perot com sintonia por actuador piezoeléctrico anelar de grande sensibilidade, equipado com uma luneta auto-colimadora munida de um foto-multiplicador side-on (PM) com a respectiva fonte de alimentação. O conjunto assenta numa calha óptica de grande estabilidade.

Para além de uma caracterização completa do interferómetro, este será usado para efectuar um estudo detalhado da estrutura fina dos modos espectrais de dois lasers de He-Ne distintos, com diferentes comprimentos da cavidade ressonante, e potências de 2 e 10 mW respectivamente.

Objectivos da aquisição e análise de dados

Em geral, na análise espectroscópica, caracterizamos a qualidade/eficiência do nosso instrumento medindo a sua eficiência, a sua potência resolutive ($E/\delta E$), a sua resolução espectral para dado comprimento de onda ($\delta\lambda$), a sua banda espectral livre (Free Spectral Range, $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ ou $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$) e mesmo a sua finesse ($FSR/\delta\lambda$). Poderá encontrar a definição destes termos no material de apoio.

Nos espectrómetros que iremos caracterizar, não poderemos obter sempre todos estes valores, mas poderemos sempre estimar a resolução espectral, a gama espectral livre e a potência resolutive.

1. Espectroscopia de Raios-X - cristalografia

- Caracterize o espectro de emissão do Molibdénio (Bremsstrahlung + riscas $K\alpha$ e $K\beta$ até à 3º ordem) com o monocristal de NaCl de calibração.
- Analise a resolução espectral do espectrómetro com o NaCl através da largura das riscas. Estime a **potência resolutive** $\lambda/\delta\lambda$.
- Adquira os espectros de outros cristais e caracterize-os (espaçamento dos planos e identificação da orientação do corte). Compare as larguras espectrais das riscas $K\alpha$ dos vários cristais.

- Usando o cristal com maior refletividade determine, medindo a razão o sinal sem cristal (direto ao detector GM) e com o cristal, a reflectividade do sistema. Estime a reflectividade dos restantes cristais.
- **Preparação antes da sessão experimental:** Encontre na literatura o espaçamento de planos inter-cristalinos do cristal de calibração, NaCl. Faça uma tabela com os primeiros índices de Miller, o espaçamento entre planos em cada caso, e o ângulo θ correspondente para as riscas K_{α} e K_{β} de molibdénio.

2. Espectroscopia atômica - Efeito Zeeman

- Identificação das riscas emitidas pela lâmpada de Cadmium através da lâmina de Lummer-Gehrcke e verificação da condição de interferência na lâmina para as várias frequências e ordens.
- Observação do efeito Zeeman aplicando um campo magnético transversal e longitudinal bem como a sua polarização aplicando uma corrente até aos 10 Amp.
- Medir o desdobramento de riscas em função do campo magnético aplicado variando a corrente (pelo menos 6 pontos) para a risca vermelha.
- Obtenha o **Free Spectral Range** e a **potência resolutiva** do sistema para comparar com os restantes métodos.
- **Preparação antes da sessão experimental:** Calcule a ordem esperada de interferência para a lâmina utilizada. Estime o ângulo das 3 primeiras riscas observáveis. Qual o Free Spectral Range esperado?

3. Espectroscopia fina laser - Interferómetro Fabry-Perot

- Determine a amplitude de deslocamento do actuador piezoeléctrico durante a operação do Fabry-Perot.
- Caracterize o interferómetro (**Free Spectral Range** FSR e **finesse**) em função da distância entre espelhos (pelo menos duas para um dos lasers). Compare os parâmetros obtidos com os teóricos e comente os eventuais desvios.
- Estime a **potência resolutiva** do interferómetro e compare com os anteriores. Avalie aplicabilidade deste interferómetro (banda espectral vs resolução espectral)
- Determine a estrutura de modos dos lasers (2mW e 10mW) e compare com os valores fornecidos pelo fabricante.
- Faça uma estimativa da largura da banda de ganho do laser de He-Ne. Compare com o valor real.
- **Preparação antes da sessão experimental:** Assumindo um espaçamento de 10 cm entre espelhos qual o Free Spectral Range esperado? Dada a reflectividade estimada de cada

espelho em 80%, qual o valor teórico esperado para a finesse?

Textos de apoio

Protocolos da montagem: “Espectroscopia_Protocolos2023_24.pdf”

1. Espectroscopia de Raios-X - cristalografia

Guia da montagem: “Guia LD_Bragg Reflection.pdf”

Slides: “Slides_RX.pdf”

2. Espectroscopia atômica - Efeito Zeeman

Guia da montagem: “Guia LD_Zeeman.pdf”
“P6271_E.pdf” (opcional)

Livros:

Principles of Optics (Cap. 7 Pag380-382) : “PrinciplesOptics_LG.pdf”

3. Espectroscopia fina laser - Interferometro Fabry-Perot

Slides: “Slides_FabryPerot.pdf”

Livros:

Coherent Optics (Cap. 5 Pag61-71) : “CoherentOptics_FP.pdf”