

Protocolos de Laboratório LFEA II

1º Semestre (P1) 2023/2024

Espectroscopia de raio-X e óptica fina

Nestas sessões experimentais irá explorar métodos espectroscópicos que permitem obter resoluções muito elevadas utilizando interferências múltiplas. Começamos por um sistema simples, composto por um mono-cristal, que revela na sua reflectividade em raios-X a estrutura dos planos inter-atômicos. A interferência construtiva num étalon pode ser também utilizada como espectrómetro, com um poder resolutivo muito acima daquele possível com métodos tradicionais, como redes e prismas, e suficientemente elevado para conseguir resolver o desdobramento de Zeeman de algumas transições atômicas no visível. Finalmente, utilizará um interferómetro de Fabry-Perot para resolver os modos de emissão de um laser.

1. Raios-X

Resumo

Nesta experiência estuda-se a reflectividade de cristais simples, por difracção de Bragg.

Descrição da experiência

Esquema da montagem

A experiência tem por base o guia detalhado “LD Bragg Reflection” do material de apoio. Ao material a utilizar aí referido (cristal de NaCl) acrescentamos cristais de Al, LiF, Si e NaCl noutra plano de corte.

Procedimento experimental

Preparação: 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.

1. Primeiro identifique as várias componentes da montagem experimental e abra a aplicação de computador que comanda e adquire os dados do espectrómetro de raio-X.

Docente: Discuta com o docente presente como fazer a regulação dos vários parâmetros do espectrometro e sua calibração. Peça ao docente que mostre como colocar o cristal de NaCl.

2. Proceda à montagem do cristal de NaCl e faça uma calibração do goniómetro.
3. Obtenha o espectro de raios-X do Molibdénio com várias ordens de difracção (sugere-se pelo menos até à 3ª ordem). [Nota importante: não devem de ir além de ângulos finais superiores a 60°]
4. Identifique as várias componentes do espectro de emissão do Molibdénio e pense na influência de cada parâmetro de controle no espectro obtido.

Docente: Discuta com o docente o espectro de emissão do Molibdénio e a influência dos vários parâmetros de controle da fonte (tensão e corrente) e do goniómetro (ângulos, passo e tempo de aquisição) no espectro obtido.

5. Ajuste os tempos de aquisição de maneira a obter suficiente resolução num tempo limitado. Pode utilizar janelas de interesse.
6. Substitua o NaCl pelos cristais disponíveis. Obtenha espectros de raios-X permitindo determinar a reflectividade relativa e o espaçamento entre planos de cada cristal.

Docente: Discuta com o docente a estratégia para gerir o tempo da sessão e adquirir os espectros dos restantes cristais com a melhor qualidade possível.

7. Para estimar a reflectividade absoluta, utilize o cristal com maior reflectividade. Ajuste a corrente do tubo de raios-X até um mínimo em que consiga obter um espectro em primeira ordem com erro inferior a 10%.
8. Retire o cristal e meça a emissão total da fonte de raios-X, varrendo o detector em torno do 0°.

Docente: Discuta com o docente como determinar a reflectividade absoluta e sua definição. Explique a razão do procedimento para tirar os dados e estimar esta reflectividade.

2. Efeito Zeeman

Resumo

Nesta experiência utiliza-se o fenómeno de interferência num étalon para obter espectros de alta resolução no domínio do visível. Utiliza-se este poder resolutivo para caracterizar o efeito Zeeman normal e anómalo. A polarização das riscas também é observada, tornando evidente a distinção entre efeito Zeeman normal e anómalo.

Descrição da experiência

O guião experimental detalhado pode ser encontrado nas folhas de apoio “Leybold_Zeeman”

Esquema da montagem

O esquema experimental é baseado na montagem descrita no guia.

Procedimento experimental

Preparação: Calcule a ordem esperada de interferência para a lâmina utilizada. Estime o ângulo das 3 primeiras riscas observáveis. Qual o Free Spectral Range esperado?

1. Primeiro identifique as várias componentes da experiência que estão no esquema da montagem (ou similares com a mesma função) tanto da componente óptica como da parte eléctrica.
2. Verifique todas as ligações e confirme que os potenciômetros das fontes de alimentação se encontram no mínimo

Docente: Discuta com o docente presente as questões de segurança e a função do circuito elétrico. Discuta também a imagem observada na luneta e sua interpretação.

3. Utilize o filtro vermelho, e observe segundo o eixo perpendicular ao campo. Ajuste a luneta por forma a observar no centro da retícula uma risca nítida, para corrente $I = 0$ Amp.
4. Meça qual o espaçamento entre várias ordens consecutivas em torno da risca que está a observar.

Docente: Mostre ao docente presente a imagem obtida na luneta e discuta o que ela representa.

5. Conforme descrito no Guia da Leybold observe as várias componentes do efeito Zeeman (desdobramento e polarização) com campo magnético longitudinal e transversal à observação. Meça o desdobramento para a corrente a $I = 10$ Amp.

Docente: Mostre ao docente presente e discuta o que observou.

6. Aumente gradualmente a corrente (entre 0 e 20 Amp) e registe os valores de separação das riscas em função do campo magnético. Pode de seleccionar a componente de Zeeman que pretende registar utilizando os filtros polarizadores. Dado o campo magnético medido (Ver tabela abaixo)

Docente: Mostre ao docente presente os resultados e discuta o que observou.

Corrente I (A)	Campo Magnético B (KGauss)
2.5	0.93
5.0	1.75
7.5	2.61
10.0	3.45
12.5	4.26
15.0	5.08
17.5	5.87
20.0	6.58

Interferómetro de Fabry-Perot: estudo dos modos espectrais de dois lasers de He-Ne

Resumo

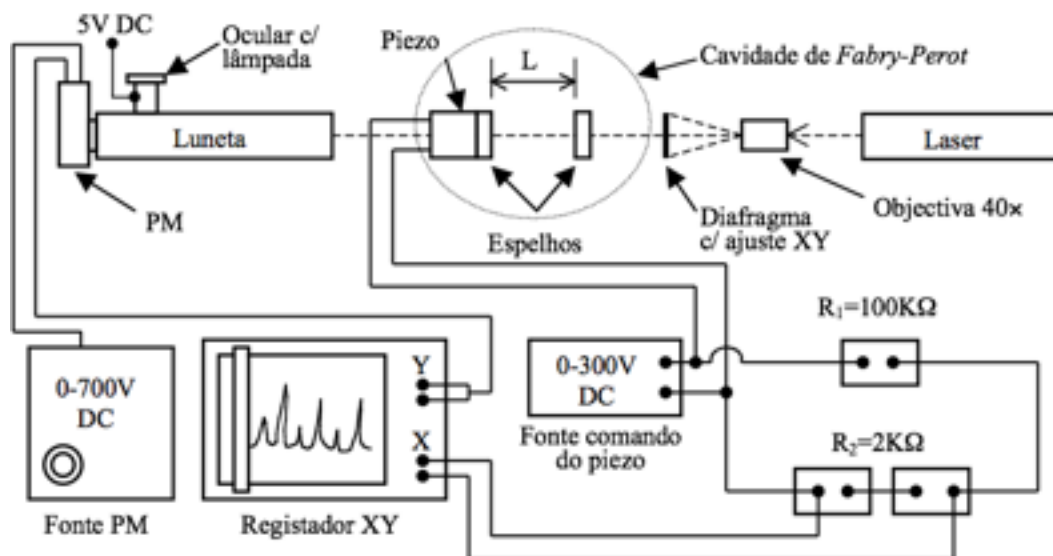
Encontra-se instalado no laboratório um interferómetro de Fabry-Perot com sintonia por actuador piezoeléctrico anelar de grande sensibilidade, equipado com uma luneta auto-colimadora munida de um fotomultiplicador side-on (PM) com a respectiva fonte de alimentação. O conjunto assenta numa calha óptica de grande estabilidade.

Com o auxílio do interferómetro, será efectuado 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. Um registador X-Y permite registar digitalmente os espectros de emissão dos lasers, à saída do interferómetro, utilizando o software CASSYLAB. A partir dos espectros assim obtidos, pode verificar-se a estrutura de modos longitudinais de um laser, evidenciando a natureza do laser como uma cavidade de Fabry-Perot activa (i.e., com ganho >1) e estimar a sua largura de banda associada à região de ganho do meio activo do laser (mistura gasosa He-Ne).

Este trabalho permite ainda a caracterização completa do interferómetro, nomeadamente a determinação da sua banda espectral livre e “finesse”, valores que serão confrontados com os previstos pela teoria.

Descrição da experiência

Esquema da montagem



Procedimento experimental

Preparação: 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?

Algumas características do material utilizado:

- Cavity de Fabry-Perot: distância L entre espelhos variável entre 0 e 7,5 cm.
- Espelhos da cavity: reflectividade $R = 80\%$; planicidade de $\lambda/50$ @ 541,6 nm em toda a superfície útil dos espelhos
- Laser de 2 mW: espaçamento de modos: 614 MHz (valor do fabricante)
- Laser de 10 mW: espaçamento de modos: 320 MHz (valor do fabricante)

SEGURANÇA: Tenha em atenção dois perigos nesta experiência:

- O feixe laser não expandido pode provocar lesões graves quando exposto directamente ao olhos;
- A tensão de varrimento do piezo atinge os 300 V e os seus eléctrodos estão facilmente acessíveis. Evite apanhar choque eléctrico ao tocar nos eléctrodos expostos

MUITO IMPORTANTE: Nunca toque nos dois espelhos da cavity de Fabry-Perot!

1. Primeiro identifique as várias componentes da experiência que estão no esquema da montagem (ou similares com a mesma função) tanto da componente óptica como da parte electrónica.
2. Verifique todas as ligações e confirme que os potenciómetros das fontes de alimentação se encontram no mínimo.

Docente: Discuta com o docente presente a função do circuito eléctrico e de cada componente. Discuta também os próximos passos do procedimento de alinhamento do espectrómetro Fabry-Perot e as questões de segurança.

Alinhamento

3. Com o laser de HeNe tapado, verifique primeiro o alinhamento da luneta relativamente ao espelho do Fabry-Perot mais próximo desta. Para tal, ligue a lâmpada de 5V e espreite pela ocular. Deve observar uma única imagem da mira de alinhamento. Se vir duas, terá que alinhar o espelho que se encontra ligado ao piezo de modo a sobrepor o melhor possível as duas miras.
4. Sem a objectiva de microscópio, faça incidir o feixe do laser de 2 mW perpendicularmente à cavity de Fabry-Perot, e o mais centrado possível usando os ajustes de posicionamento do laser. Utilize as reflexões parciais do espelho do interferómetro como referência. Para isto deve também verificar a posição do feixe laser no diafragma/íris à entrada do Fabry-Perot.

MUITO IMPORTANTE: Não espreite pela ocular antes da colocação da objectiva de microscópio! O feixe laser directo é nocivo para os olhos e pode causar lesões graves!

5. Observe as reflexões entre os dois espelhos do Fabry-Perot e se tiverem vários pontos de reflexão, derivado das múltiplas reflexões entre os espelhos, deverá ajustar o posicionamento do espelho de entrada (mais próximo do Laser) por forma a convergir todas num só ponto.

6. Se verificar que a reflexão do laser no espelho de entrada não coincide com a saída do laser deverá repetir o passo 4 até o eixo do laser estar alinhado com o eixo óptico do Fabry-Perot.
7. Coloque a objectiva perpendicularmente ao feixe imediatamente a seguir ao laser. O cone de luz emergente deve estar centrado com a entrada do interferómetro. Verifique que o diafragma de entrada do Fabry-perot está completamente aberta
8. Se espreitar pela ocular, deve ver os anéis concêntricos característicos do Fabry-Perot. Se não se observam quaisquer anéis, deve voltar a alinhar o espelho de entrada (o do lado do laser e não o espelho ligado ao piezo!).
9. Deve agora fazer um ajuste fino do paralelismo do segundo espelho, por forma a obter o máximo de resolução possível (*finesse*). Em seguida, e **MUITO LENTAMENTE**, ajuste os três parafusos de precisão do segundo espelho, por forma a obter na ocular uma figura o mais nítida e centrada possível com a mira da ocular. Para tal, pode também usar um difusor à entrada do Fabry-Perot e a seguir à objectiva de microscópio o que introduz o inevitável um granulado (*speckle*) na imagem. Se por acaso deixar de ver os anéis, repita o ponto acima.
10. Ligue a fonte de 0-300v aplicada no piezo-eléctrico e observe as alterações quando varre a tensão aplicada.

Docente: Mostre ao docente presente a imagem obtida na ocular do alinhamento e discuta o que ela representa.

11. Remover o difusor e confirmar novamente na ocular a existência dos anéis. Pode acontecer que a estrutura de anéis, apesar de nítida, não seja constante no tempo. Isto significa provavelmente que o laser não atingiu ainda o equilíbrio térmico, pelo que será necessário aguardar ainda alguns minutos.
12. Feche o diafragma (com a abertura no mínimo) a cerca de 10 cm da entrada do Fabry-Perot, e ajuste-o por forma a que a pequena região transmitida esteja bem centrada com a mira de alinhamento da luneta.
13. Guardando a mesma configuração, acrescente uma lente de colimação de focal $f=100$ mm à saída do microscópio, de maneira a obter um feixe de raios paralelos. **ATENÇÃO:** Nesta nova configuração, o feixe todo deixa de poder ser observado na objectiva por ser demasiado intenso. Mantenha sempre o diafragma no mínimo para evitar acidentes.
14. Certificando que o diafragma de entrada está fechado no máximo e que não existe demasiada luz a sair da ocular pode observar o padrão na mira e ajustar o posicionamento da lente por forma a obter um padrão simétrico e concêntrico com a mira.
15. Volte a ligar a fonte de 0-300v e observe as alterações quando varre a tensão aplicada.

Docente: Mostre ao docente presente a imagem obtida na ocular do alinhamento e discuta o que observou.

Traçado dos gráficos

16. Ligue a fonte do fotomultiplicador e o computador de registo com o programa CASSYLAB.
17. Seleccione o ganho adequado para o fotomultiplicador da seguinte forma: efectue varrimentos sucessivos com a fonte de 0-300V, ao mesmo tempo que aumenta **GRADUALMENTE** a tensão aplicada ao PM, até que o máximo (em Y) no registador CASSYLAB se situe aproximadamente no topo da escala, mas sem saturar.

18. Selecione o valor da resistência no divisor de tensão por forma a usar o máximo da escala toda no registador CASSYLAB.

MUITO IMPORTANTE: Não remova a objectiva de microscópio nem abra o diafragma que está à entrada do interferómetro! O feixe laser directo pode destruir o PM! É boa ideia manter o registador sempre ligado. Assim, pode observar-se imediatamente qualquer saturação do sinal.

19. Adquira o traçado do espectro dos modos do laser através dos varrimentos da tensão aplicada de 0-300V, usando o gerador de rampa da fonte.

Docente: Mostre ao docente presente a imagem obtida na ocular do alinhamento e discuta o que observou. Quantos modos do laser observa? Como relaciona o FSR com o traçado que observa? De onde pode extrair a finesse e a potência resolutive? Qual o deslocamento máximo do piezo-electrico?

20. Adquira vários traçados do espectro dos modos do laser fazendo vários varrimentos e observe se o espectro se mantém estável.

Docente: Mostre ao docente presente e discuta o que observou.

Medição das características do Fabry-Perot

21. **CUIDADOSAMENTE**, meça a distância entre os espelhos do interferómetro. Utilize uma pequena tira de papel milimétrico ou com o auxílio de um objecto tipo craveira.

Docente: Discuta com o docente como determina o FSR, como o poderia alterá-lo e que alterações iria observar no traçado.

22. **Modifique a distância entre os espelhos**, e recomece os pontos 4-21.

23. (provavelmente na segunda sessão experimental): Repita os pontos 3-21, desta vez para o laser de 10mW, para a configuração experimental (distância entre espelhos) com menor FSR.