

*Esse documento mostra uma possível abordagem física e experimental para investigar o fenômeno, **mas não se limite a ela!** Há inúmeras formas diferentes de analisar qualquer problema da IYPT.*

Espectrômetro de disco

As trilhas de dados em mídias ópticas (por exemplo, CDs/discos Blu-ray) comportam-se como grades de reflexão-difração de alta qualidade. Quando iluminados, esses discos podem dispersar a luz em seus componentes espectrais. Construa um espectrômetro usando um disco óptico digital. Otimize o projeto para maximizar o poder de resolução e minimizar as aberrações ópticas.



1 Enunciado

Esse enunciado pede que monte um espectrômetro óptico utilizando data tracks (ex.: CDs, DVDs). E pede para maximizar o poder de resolução e minimizar as aberrações ópticas (torná-lo mais preciso). Espera-se que: (a) construa um espectrômetro (b) investigando os parâmetros relevantes à sua precisão e (c) uma análise qualitativa e quantitativa do fenômeno, através da teoria e experimentos

1.1 Questionamentos Iniciais

Quais são os parâmetros do espectrômetro que interferem na sua resolução? Os parâmetros precisam ser maximizados ou minimizados para atingir uma melhor resolução, ou depende de várias condições? Como é feito o percurso da luz até o detector? Existe algum data track melhor para utilizar no espectrômetro? Quais características ou propriedades dos data tracks permitem refratar a luz?

1.2 Parâmetros

Para avaliar extensivamente o fenômeno, considere os seguintes parâmetros relevantes:

- **Caracterização dos data tracks:**

- Distância entre as bandas de difração: Os data tracks possuem relevos microscópicos e partes planas, formando uma trilha. A distância entre as 'fendas' dos data tracks é padronizada e influencia a distância entre as bandas de difração. Entretanto, a distância entre as 'fendas' varia com o tipo de data track.

- **Caracterização do espectrômetro:**

- Largura da abertura de entrada da luz: A abertura de entrada da luz precisa ser estreita para melhorar a resolução do espectrômetro. A estreita abertura permite que entre um feixe de luz definido no espectrômetro.
- Intensidade da luz: Quanto mais potente for a luz, pode acabar prejudicando ou melhorando a visualização das linhas de difração. Pois, com uma fonte de luz muito intensa, fica mais fácil de observar as franjas, porém é difícil de distinguir uma franja da outra, o que prejudica a precisão do espectrômetro.

- Matriz de pixels do detector: A câmera utilizada no espectrômetro deve ter maior densidade de pixels, para diferenciar com precisão a intensidade de diferentes comprimentos.

2 Análise Qualitativa

2.1 Conceitos Físicos Importantes

• Difração

1. **Definição:** A luz, ao atravessar essa fenda pequena, faz com que cada ponto da frente de onda se comporte como uma nova fonte de onda que produzirá ondas secundárias. Cada comprimento de onda presente na luz, ao passar pela fenda, sofre um desvio com uma angulação diferente. E ao atingir o anteparo, todas as ondas secundárias sofrerão interferência, formando assim um padrão de cores no anteparo.
2. **Como afeta:** Os data tracks são formados por vários relevos microscópicos ('ranhuras'), que possuem uma distância muito pequena entre si, pela qual a luz passa e sofre a difração. Por exemplo: Observa-se que, na difração da luz branca, os diferentes comprimentos de onda que a compõem irão se separar na difração, adquirindo fases diferentes; logo, cada um deles seguirá um caminho próprio até o anteparo, onde sofrerá interferência construtiva ou destrutiva, intensificando uma frequência e aniquilando outras.

• Interferência

1. **Definição:** O fenômeno ocorre quando duas ondas se encontram. Logo, pode haver uma interferência construtiva, em que duas ondas de mesma fase se encontram formando uma outra onda com uma amplitude maior; ou uma interferência destrutiva, em que as duas ondas de fases opostas se encontram e se aniquilam.
2. **Como afeta:** Ao observar o anteparo, teremos franjas escuras, em que as ondas sofrem interferência destrutiva; e franjas claras com uma luminosidade muito intensa, em que as ondas sofrem interferência construtiva.

• Princípio de Huygens

1. **Definição:** O princípio de Huygens diz que cada ponto da frente de onda (conjunto de pontos que possuem a mesma fase), ao passar pela fenda, se comporta como uma nova fonte de outras ondas secundárias.
2. **Como afeta:** A onda passa pela fenda que mede um comprimento de onda ou menos. Cada ponto dessa frente de onda se comporta como uma nova fonte, gerando várias ondas secundárias, que sofrem interferência umas com as outras. E assim observamos esse padrão de difração, com bandas claras e escuras, como vimos no anteparo.

• Aberrações Ópticas

1. **Definição:** As aberrações ópticas ocorrem quando a luz, após passar pelas grades de difração, não foca em um único ponto, mas em vários. Logo, as bandas de difração aparecerão como borrões, resultando em uma imprecisão quanto à posição delas no anteparo.
2. **Como afeta:** O tipo mais comum de aberração óptica que ocorre nas grades de difração é o astigmatismo, em que a luz não focaliza em um único ponto, mas em dois pontos. Assim, uma banda clara será representada por uma mancha e, em alguns casos, se funde com outras bandas claras de outros comprimentos de onda.

3 Sugestão de Experimental

3.1 Equipamentos e Forma de Extração de Dados

- **Tiras de caixa** para formar o tubo, que irá conter uma fenda pequena e uma abertura para o data track. Esse tubo deve ser preto para que nenhuma luz seja refletida.
- **Fita adesiva** para que nenhuma luz entre em outros locais do tubo, sem ser pela fenda, e para fixar o data track.
- **Câmera ou smartphone**, preferencialmente com muitos pixels para detectar bem as franjas de difração.
- **Data track** cuja camada de alumínio tem que ser retirada para não influenciar as bandas de difração. Ele será posicionado na abertura do tubo.
- **Software de rastreamento (Tracker ou similar)** para detectar as intensidades das bandas de difração e medir as distâncias entre as bandas de difração.

3.2 Metodologia

- **Monte o espectrômetro:** Corte tiras de caixa, pinte-as de preto para evitar qualquer tipo de reflexão da luz e monte a caixa retangular. Em uma das partes da caixa, faça uma fenda com largura ($\ll 1$ mm), pela qual o feixe de luz irá entrar no espectrômetro.
- **Data Track:** Passe uma fita pelo data track para retirar a camada reflexiva, e fixe o data track com uma fita ao tubo retangular. E tem que estar posicionado de forma paralela às grades de difração.
- **Experimentos:** Faça experimentos com diversas fontes de luz: lasers de diferentes cores e intensidades e luz do sol. E tire fotos de todos eles, comparando a posição dos máximos e mínimos com experimentos de artigos da literatura.
- **Tracker:** O software Tracker consegue medir a distância entre os máximos e a intensidade da luz. Ao usá-lo, calibre-o usando alguma medida de alguma parte do espectrômetro como medida de referência.
- **Comparação teórico-experimental:** Calcule teoricamente qual seria a distância entre cada máximo usando a constante de difração da literatura e o comprimento de onda do laser, e compare o cálculo teórico com as medidas experimentais feitas pelo Tracker.

3.3 Cuidados Experimentais, Incertezas e Possíveis Erros

- **Luz externa:** Nenhuma luz pode entrar em outra parte do espectrômetro a não ser pela fenda; por isso, passe fita em todas as suas arestas. Também garanta que apenas a fonte de luz possa entrar pela fenda, e então faça o experimento em um local escuro.
- **Posicionamento da câmera:** Faça as medições com o espectrômetro e a câmera na mesma distância e posição para comparar os gráficos entre si.
- **Data Track:** Tem que estar posicionado de forma paralela às grades de difração. As bandas de difração têm que formar ângulos de difração; caso isso não ocorra, rotacione as grades de difração.
- **Cuidados com o Data Track:** Retire a camada reflexiva colando uma fita em sua superfície, para não interferir nas bandas de difração. Também não faça nenhum tipo de risco no data track, pois pode influenciar os resultados.

3.4 Limites Experimentais

- **Fendas pequenas:** Quanto menor for a fenda pela qual a luz entra no espectrômetro, maior será o poder de resolução do sistema, isto é, as bandas de difração estarão mais separadas uma das outras e em posições corretas. Entretanto, acaba afetando a intensidade da luz que chega ao espectrômetro, o que afeta a visualização das bandas de difração. Logo, são grandezas que precisam ser reguladas.
- **Tipos de Data Tracks:** Cada Data Track tem as suas vantagens e desvantagens para uma resolução melhor. Os CDs geralmente possuem uma distância maior entre as fendas; logo, a distância dos pontos de máximo e mínimo em relação ao centro será menor. No entanto, as bandas de difração não são muito focalizadas. Já em DVDs, tem uma resolução melhor; no entanto, as distâncias entre máximos e mínimos são maiores, o que o faz ser um espectrômetro ruim para visualizar o espectro de luz com diversos comprimentos de onda ou comprimentos de onda muito pequenos.
- **Câmera:** Tem que estar fixa para não causar divergência nos resultados e bem reta à fenda para não causar paralaxe.
- **Altas incertezas:** As medidas envolvidas no problema são muito pequenas, o que gera uma maior imprecisão nos resultados.

3.5 Investigações Adicionais

Para analisar as diferentes grandezas relacionadas ao fenômeno e/ou contornar os diferentes limites experimentais, você pode tentar:

- Investigar as propriedades de cada um dos data tracks microscopicamente e fazer experimentos com cada um deles.
- Calcular a constante de difração, distância entre duas fendas, através de vários experimentos e resultados teóricos já feitos.
- Investigar um fenômeno parecido, em que incide uma luz no data track inteiro e observa-se que forma uma linha de uma determinada cor, e quando o rotaciona, as linhas vão mudando de cor.
- Investigar as diferentes angulações entre a fenda de abertura e a grade de difração.

4 Referências para Estudo

- **Kit de Referência da IYPT** (inglês), material excelente para encontrar artigos sobre o fenômeno;
- **Fundamentos de Física - óptica e física moderna (Volume 4)** de Halliday & Resnick, um livro muito bom para entender os conceitos de óptica que se aplicam ao espectrômetro.
- **Problema 11 da IYPT 2026 - Monocromador Doce**, problema de uma IYPT passada com fenômenos físicos muito parecidos.