
INSERÇÃO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: DIFRAÇÃO DE UM FEIXE LASER

Marisa Almeida Cavalcante

Vladimir Jardim

José Antônio de Almeida Barros

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

São Paulo – SP

Resumo

A questão da introdução de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio tem sido abordada por muitos pesquisadores na área de ensino, visto que o seu entendimento aparece como uma necessidade para compreender os fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes, sejam de origem natural ou de origem tecnológica. Dentre os diferentes tópicos que podem ser abordados, o estudo do comportamento dual permite contextualizar as principais características da física moderna e fornecer um amplo panorama da física deste século. Para entendimento adequado do princípio da dualidade devemos entender com clareza fenômenos de interferência e difração. Este trabalho permite compreender estes fenômenos realizando uma experiência extremamente simples, que pode ser facilmente reproduzida em sala de aula, uma vez que todo o equipamento é construído a partir de material caseiro de fácil acesso.

I. Introdução

O Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) conduz um projeto de ensino de física para o 2º grau (há mais de dez anos) partindo de temas da vida diária. Trabalhos como os da profª. Dra. Beatriz Alvarenga têm sido altamente reconhecido pelos educadores da área, pela grande contribuição nesta direção. Neste processo, o entendimento da Física Moderna aparece como uma necessidade para compreender os fatos, os equipamentos e a tecnologia do cotidiano dos estudantes. Indiscutivelmente, é necessário a inserção de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, mesmo diante da fragilidade dos conhecimentos de Física Clássica pelos alunos: “*não devemos aceitar a idéia restritiva de pré-requisitos, que tende a julgar jovens adolescentes, incapazes de perceber a complicada lógica quântica, antes de*

dominarem todo o instrumental clássico”. Vários trabalhos, cursos e oficinas foram apresentados no XII SNEF - 27 a 31 de janeiro de 1997 – Belo Horizonte⁽¹⁻¹³⁾, que enfocam esta problemática desde o seu estudo e planejamento didático até propostas de experimentos que permitam dar ao professor subsídios necessários a esta inserção.

Este trabalho apresenta uma proposta experimental que permite estudar fenômenos de interferência, bem como abordar a espectroscopia utilizando material de uso caseiro.

Para tanto, dividiremos nossa apresentação em etapas: a primeira etapa oferece um embasamento teórico, informando origens e princípios dos materiais utilizados (um CD e uma caneta laser) para o desenvolvimento do experimento; a segunda etapa apresenta os resultados obtidos.

II. Considerações Teóricas

Laser

Laser é um dispositivo que produz um intenso feixe de fótons (feixe luminoso) coerentes graças à emissão estimulada.

Como existem vários dispositivos capazes de produzir este feixe, falaremos apenas de três deles: o de rubi, o de gás e o de semicondutor.

Laser De Rubi⁽¹⁴⁾

Neste método, temos como elemento principal o rubi, um minério que apresenta em sua estrutura átomos de alumínio, oxigênio e cromo, como característica, possui coloração vermelha. No esquema a seguir, mostraremos o princípio básico de funcionamento do laser a rubi (Fig. 1 e 2).

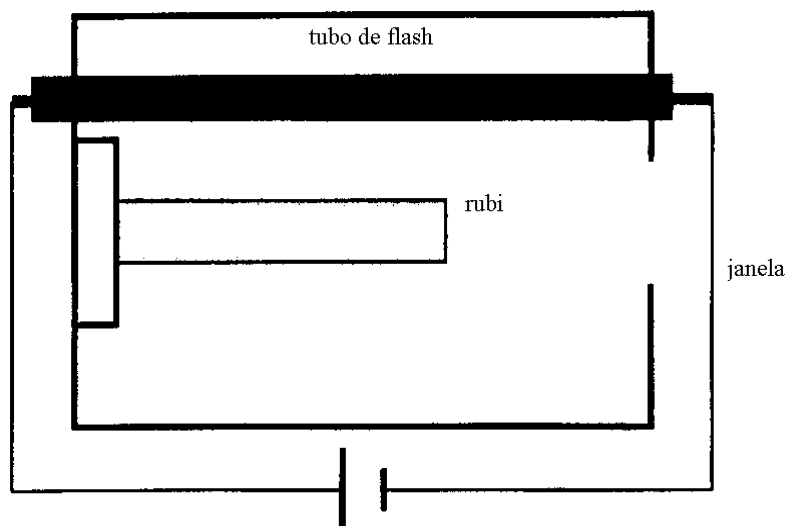


Fig.1- Dispositivo que produz o feixe.

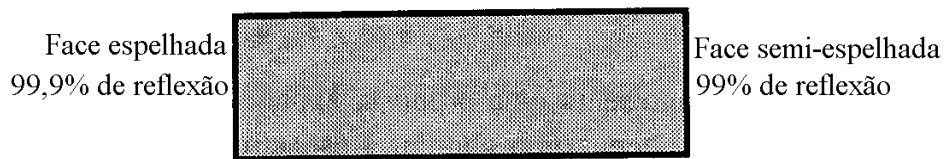


Fig.2- O rubi

Neste método uma diferença de potencial aciona o tubo de flash que emite uma intensa luminosidade na faixa do verde e do azul. Os átomos de cromo presentes no rubi absorvem esta radiação passando para níveis superiores de energia, com isto ocorre uma inversão da população que estava em sua maior parte no estado fundamental, passando assim para os níveis E_2 e E_3 . Pela instabilidade destes níveis de energia, os átomos decaem para um nível inferior (estado metaestável) através de processos não radioativos.

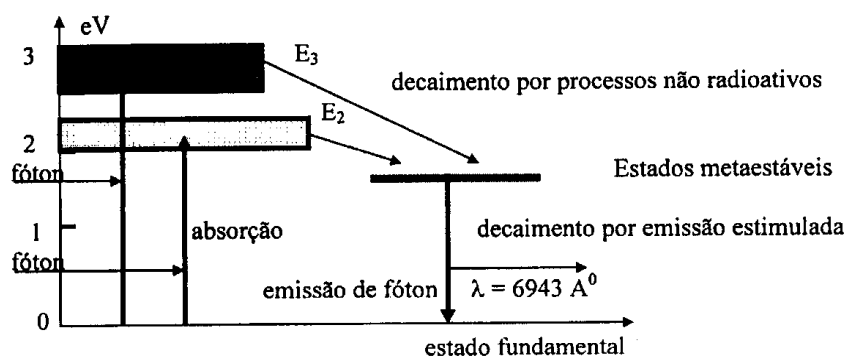


Fig.3

Estando no estado metaestável, alguns átomos decaem para o estado fundamental, espontaneamente, emitindo fótons em todas as direções. Os fótons que se propagam na direção do eixo do rubi são refletidos muitas vezes nas faces espelhadas. À medida que vão passando por outros átomos (durante a reflexão) e estimulando estes a emitir fótons, este processo acaba dando origem a algo parecido com uma reação em cadeia. A pequena fração de radiação que emerge do rubi é o laser que se observa (Fig.4).

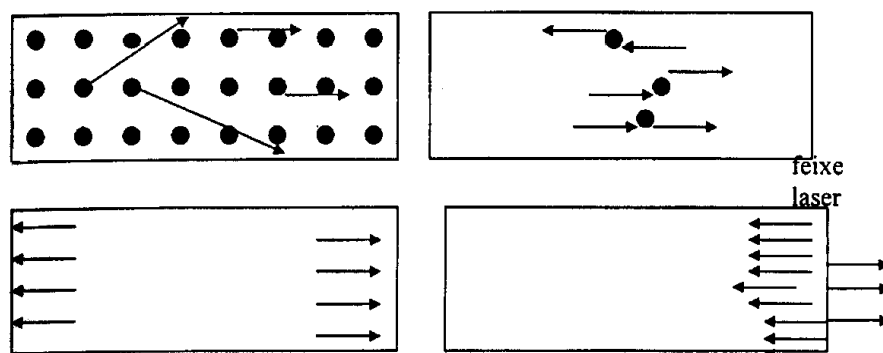


Fig. 4

Laser A Gás (He, Ne) ⁽¹⁵⁾

Neste caso apresentamos um laser onde o elemento principal é um gás composto de 20% de gás Hélio e 80% de gás Neônio. Vejamos o princípio de funcionamento através do esquema a seguir:

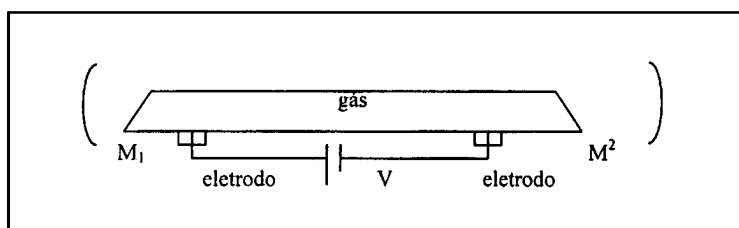


Fig. 5

Neste caso coloca-se o gás sobre uma descarga elétrica. Os elétrons e íons que entram em contato com o gás acabam chocando-se com os átomos de He, estes são assim jogados para um estado energético (metaestável) superior que chamaremos de E_3 . O nível de energia E_3 do Hélio é muito próximo do nível E_2 do Neônio, esta proximidade favorece a transferência de energia (através de colisões) do Hélio para o Neônio, retirando este do estado fundamental e colocando no nível E_2 . Teremos o nível E_2 do Neônio altamente populoso por dois motivos: primeiro IS que pelo fato de termos sempre átomos de He no estado fundamental prontos para transferir sua energia para átomos de Neônio, segundo porque o nível E_1 decai rapidamente por processos que não aparecem na figura abaixo chegando ao estado fundamental do Neônio. A emissão estimulada do nível E_2 para o E_1 predomina, e é então laser gerada a luz laser de comprimento de onda 6328 Angströms.

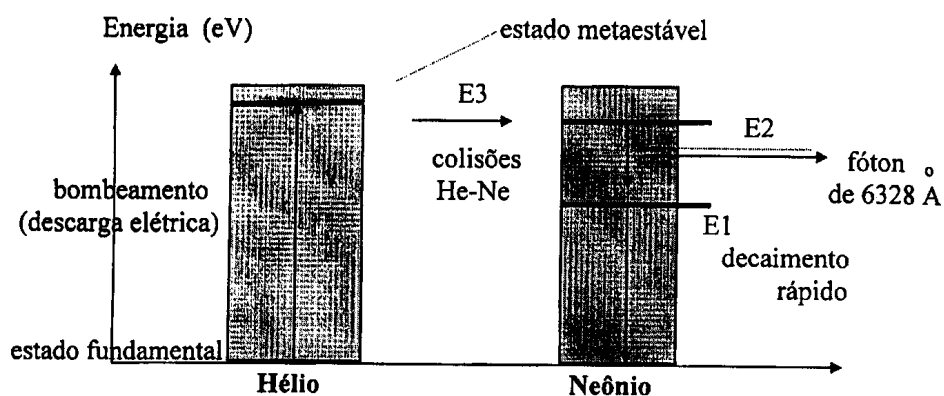


Fig.6

Na Fig.6, vê-se os níveis simplificados de energia envolvidos na produção do laser de gás Hélio-Neônio.

Laser de Semicondutor ⁽¹⁶⁾

O diodo a laser é um dos mais utilizados na produção do feixe, este fato é devido ao seu pequeno tamanho e seu baixo custo.

O seu princípio de funcionamento é parecido com o que temos no laser de gás He-Ne.

Um semicondutor apresenta duas regiões distintas, denominadas camada *p* e camada *n*, onde a camada tipo *p* tem um excesso de lacunas (carga positiva) e a camada tipo *n* tem excesso de elétrons (carga negativa).

Quando aplicamos uma diferença de potencial na zona de depleção (junção dos materiais *p* e *n*) ocorre uma troca de cargas entre os materiais dando origem a uma corrente de elétrons e uma corrente de lacunas. Durante esta troca existe uma recombinação entre elétrons e lacunas. Para que um elétron recombine com uma lacuna é necessário que ele caia para a banda de valência, neste processo o elétron perde energia que é liberada sob a forma de um fóton.

A queda de um elétron para preencher uma lacuna na banda de valência, com a emissão de um fóton, tem uma grande semelhança com a queda de elétrons nas transições entre os estados atômicos.

Existe uma importante aplicação baseada nesta semelhança: injetando-se elétrons na banda de condução e lacunas na banda de valência é possível criar uma inversão de população.

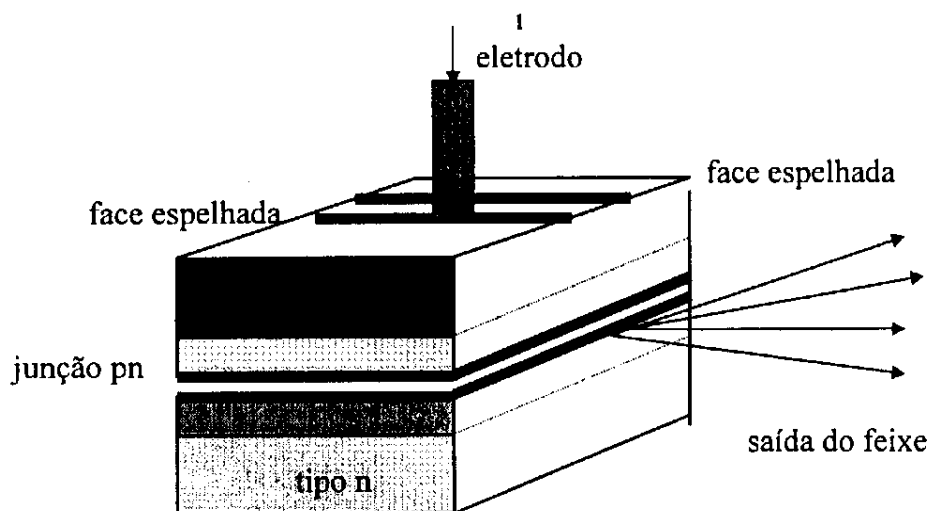


Fig. 7

A constituição física do dispositivo é ilustrada esquematicamente na Fig. 7. O material do laser é uma estreita camada de um material como o GaAs (Arseniato de Gálio), e os materiais de tipo p e n, situados de cada um dos lados, podem ser camadas de GaAIAs (Arseniato de Gálio-Alumínio), com alguns microns de espessura. As extremidades do material são polidas para criar superfícies espelhadas que refletem uma parte da onda luminosa para possibilitar a emissão estimulada na região ativa, ou seja, a reflexão nas faces espelhadas faz com que aumentar a intensidade do feixe.

Compact Disk (CD) ⁽¹⁷⁾

Para a construção de um CD utilizamos o código binário para gravar em sua superfície. O CD não sofre desgaste, pois não existe contato mecânico com o mesmo. O CD é composto de vários sulcos. Estes sulcos serão varridos por uma fonte laser, que no caso, é o nosso sistema de leitura. O laser é refletido pelo CD e é absorvido em um fotodiodo que é um minúsculo tubo sensível aos raios luminosos.

O som é produzido segundo um código de superfícies planas e cavidades. Quando a reflexão ocorre numa cavidade, é chamada de reflexão retardada, a sequência de cavidades e planos cria uma sequência 0100110 que é convertida em ondas sonoras. O CD pode armazenar até 1h de música ou mais.

Fabricação:

A digitalização do som é feita pegando-se uma onda na qual deve ser fragmentada (cada segundo de música dá origem a 44000 fragmentos), e cada pedacinho recebe uma sequência de dezesseis zeros e dezesseis uns. Essas informações são transferidas para uma fita magnética (matriz) que subsequenteiramente irá transferir os códigos para uma matriz de vidro com uma fina camada de material sensível a luz. A

informação da fita magnética matriz é passada para um gerador laser, esta fonte laser grava na camada sensível pontos de alta precisão.

Em um CD existem centenas de milhões de cavidades.

Produção do CD

A produção é feita em um ambiente rigorosamente controlado onde os funcionários (técnicos) utilizam roupas e máscaras espaciais, inclusive o local de trabalho (ar) é filtrado.

O ambiente é iluminado por uma luz amarela para evitar a alteração da camada fotossensível.

Depois da gravação, o disco matriz recebe uma fina camada de prata. A partir deste ponto (matriz) produz-se matrizes que servirão para a operação de moldagem. Estas matrizes são obtidas colocando-se uma camada de níquel sobre o disco matriz; inicia-se a prensagem que é feita numa unidade de produção robotizada.

Os discos são feitos de policarbonato, que é aquecido até liquefazer-se; feito isso, o policarbonato é posto em um molde e pressionado entre a matriz de níquel e uma superfície perfeitamente plana.

Então teremos um disco de plástico transparente com uma superfície lisa e outra contendo as informações.

Este disco plástico recebe uma finíssima camada de alumínio para refletir o laser e em seguida uma fina camada de verniz para evitar que o alumínio oxide. Este processo de fabricação passa por um rigoroso controle de qualidade.

Descrição do equipamento

O nosso trabalho tem como objetivo permitir a construção de um espectroscópio caseiro utilizando um CD como elemento que decompõe a luz em suas frequências características. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos nesta direção⁽¹⁸⁾, os quais permitem obter resultados bastante satisfatórios. Existe, no entanto, uma diferença fundamental entre a proposta aqui apresentada e as demais já conhecidas; *o material é utilizado em sua forma original sem que haja necessidade prévia de cortes no CD, basta que para isto seja selecionada a região de incidência do feixe.*

Como se sabe, a rede de difração é um dispositivo que possui microfendas impressas em uma placa transparente (vidro ou acrílico) e que permitem obter espectros, uma vez que a distância entre as fendas ser da ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação visível. Recentemente, redes holográficas de alta precisão têm sido construídas envolvendo um baixo custo¹⁹.

Na nossa proposta experimental utilizaremos uma caneta laser como fonte de radiação a ser analisada e um CD será utilizado como rede de difração, uma vez que apresenta como característica básica em sua construção aproximadamente 600

sulcos/mm (valor este utilizado para as redes comerciais utilizadas em ensino de Física⁽¹⁹⁾).

Construção do espectroscópio

O espectroscópio foi construído utilizando o seguinte material:

- 1 caneta indicativa a laser;
- 1 garrafa plástica de 600 ml;
- 1 caixa de sapato com tampa;
- 2 réguas plásticas de 30 cm (limite de calibração 2º 1,0 mm);
- Compact Disc;
- pedaço de fio encapado com 10 cm de comprimento;
- pedaço de papelão com 30 cm de comprimento e 15 cm de largura;
- folhas de sulfite.

Recortou-se uma das laterais da tampa da caixa de sapato e, na parte interna da tampa, colou-se um folha de sulfite. Colou-se uma das réguas na lateral maior da caixa e abriu-se cortes nas laterais maiores da caixa, onde os cortes foram feitos de cinco em cinco centímetros. Fez-se um furo na garrafa com um diâmetro maior que o da caneta, adaptou-se a caneta para que ela ficasse em funcionamento e prendeu-se o acionador com o fio. Adaptando a tampa sobre o corte na caixa de modo que fique em posição vertical e na extremidade esquerda (da caixa), dirige-se o feixe da caneta na direção da tampa, verificando uma incidência perpendicular, no ponto de incidência faz-se um furo fazendo com que o feixe atravessasse a tampa. Com uma folha de sulfite faz-se um suporte para o CD e prende-se o suporte com o CD no pedaço de papelão, deve-se encaixar este papelão na lateral da caixa oposta ao lado da tampa e com o CD voltado para esta. Deve-se ajustar a posição do CD para que o feixe venha a incidir na região indicada na Fig.8 abaixo.

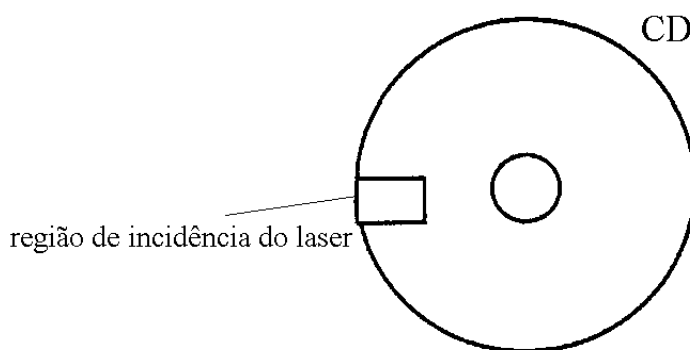


Fig. 8

Fizemos a montagem experimental conforme o esquema a seguir, utilizando a caneta a laser, os suportes, o Compact Disc, o anteparo e a régua.

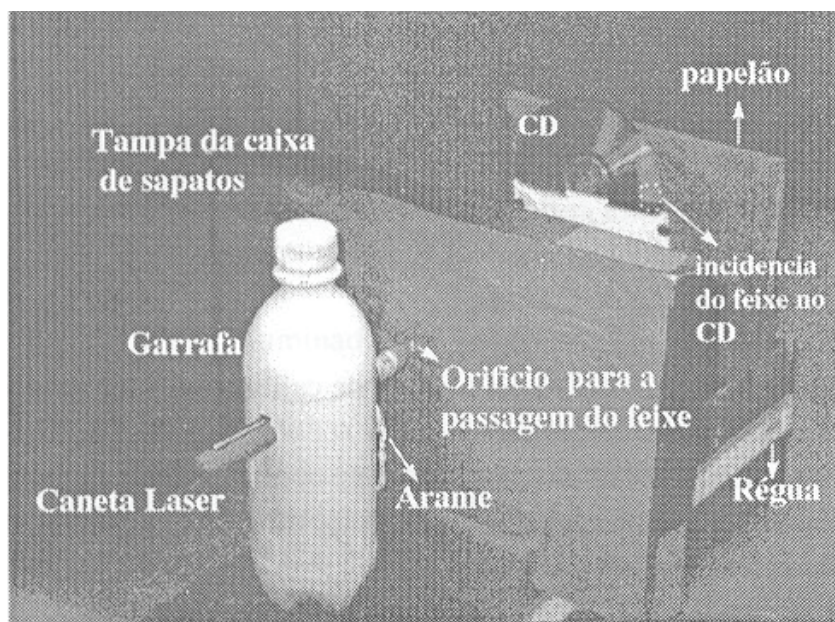


Fig.9

O feixe laser deve incidir numa região bem determinada. Isto é necessário porque os sulcos no CD têm forma espiralada; se incidirmos o feixe próximo às bordas, teremos sulcos praticamente paralelos e sendo difratados no mesmo plano de incidência.

Neste trabalho o nosso objetivo inicial foi determinar o número de sulcos/mm do CD utilizando uma caneta laser. Para isto foi necessário determinarmos previamente o valor do comprimento de onda emitido pela caneta. Esta determinação foi realizada através de uma rede de difração com 570 sulcos/mm através da técnica de projeção, obtendo-se:

$$(6640 \pm 2,32) \text{ \AA}^0$$

Valor este dentro do limite fornecido pelo fabricante 6300 a 6800 $\text{\AA}^0$.

Adotamos, portanto, este valor como referência para a determinação do número de sulcos por mm do CD.

Para uma melhor visualização do espectroscópio construído, a Fig.10 fornece uma vista lateral do sistema.

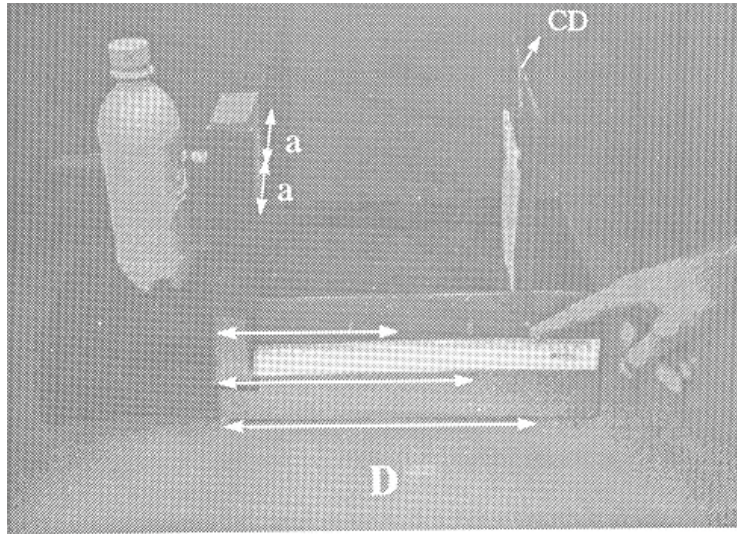


Fig.10

Fixando uma distância D entre a tela e o CD podemos obter o valor a a partir da relação:

$$N\lambda = d \sin\theta$$

onde

d ...distância entre os sulcos do CD

N ...ordem espectral (1,2,3, ...)

λ ...comprimento de onda da radiação analisada (no caso $6640 \text{ \AA}$)

θ ...ângulo de desvio observado.

a ... desvio observado para o feixe de laser difratado.

D ... distância do CD à tela.

De modo a permitir um maior entendimento da Lei acima, considere a

Fig.11:

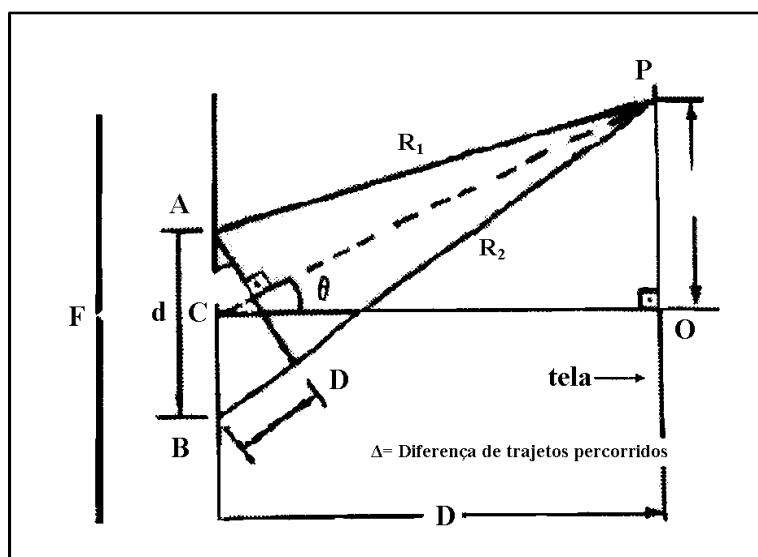


Fig.11: Considere A e B dois sulcos subsequentes do CD. Para obter um ponto de interferência construtiva P na tela, é necessário que a diferença entre os trajetos percorridos pelos raios R_1 e R_2 (distância Δ) seja igual a um múltiplo inteiro do comprimento de onda da radiação estudada, ou seja $\Delta = N \lambda$ ($N = 1, 2, 3, \dots$). Pode-se ver que $\Delta = d \sin \theta$. Assim sendo, tem-se que, para obtermos um ponto de máximo em P, a condição necessária é que: $N \lambda = d \sin \theta$ e, onde N, neste caso, representa a ordem espectral que está sendo analisada.

Na Fig.12 temos um esquema da vista superior do nosso sistema, o que permite verificar melhor as medidas efetuadas:

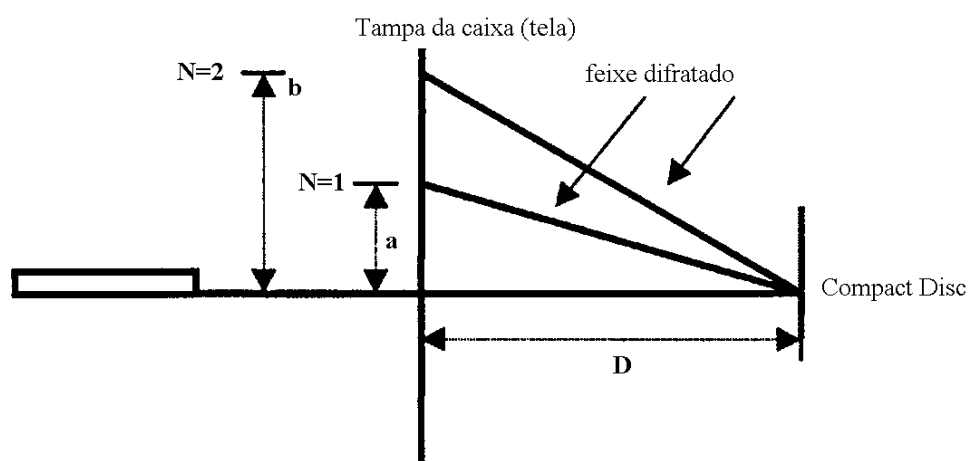


Fig.12

O ângulo de desvio foi determinado, utilizando a relação:

$$\theta = \arctg a/D \quad (\text{para } N = 1)$$

Ou

$$\theta = \arctg b/D \quad (\text{para } N = 2)$$

As medidas foram efetuadas para os diferentes valores de distância D (Fig.10), obtendo-se o seguinte valor para o número de sulcos por mm para o CD:

$$1/d = (609,0 \pm 2,1) \text{ sul cos/mm}$$

valor este de acordo com as informações técnicas da fabricação⁽¹⁷⁻¹⁸⁾.

III. Uma proposta de trabalho para o Ensino Médio

Na montagem construída temos a possibilidade de fixarmos 5 diferentes valores de distância entre o CD e a tela (30, 25, 20, 15 e 10 cm). A partir destes valores podemos construir 05 escalas distintas já calibradas em Angströms.

O aluno poderá então verificar a precisão de cada escala para a determinação do comprimento de onda do feixe de laser em função da distância entre o CD e a tela, bem como a dependência com a ordem espectral. *Isto permite ao professor abordar também problemas relacionados a medidas físicas*, uma vez que o mesmo equipamento utilizado em diferentes condições de contorno permite obter medidas com diferentes resoluções. Este é um aspecto pouco comentado quando se trata do problema de erros em medidas físicas. Podemos abordar a questão da influência da técnica utilizada para se medir uma grandeza, bem como a questão de que uma mesma técnica pode conduzir a diferentes graus de precisão. Basta considerarmos, por exemplo, o caso das escalas construídas para diferentes distâncias do CD à tela e, ordens espectrais diferentes, para uma mesma distância.

O gráfico abaixo mostra exemplos das escalas obtidas para as distâncias entre o CD e a tela iguais à 10 e 30 cm, para a primeira ordem espectral e, quando D=10 cm para a segunda ordem espectral

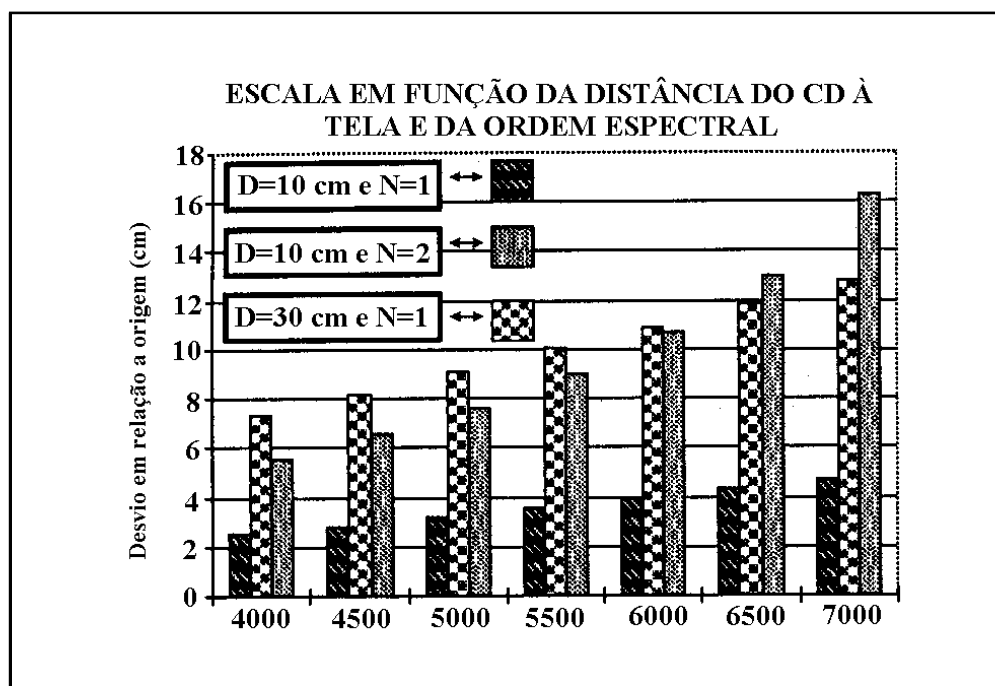


Fig.13

De modo a permitir uma melhor análise destes resultados vamos considerar a tabela abaixo onde temos a resolução de cada uma das escalas:

TABELA DE RESOLUÇÃO ESCALAS

Faixa de comprimento de onda (λ)	D=10 cm e N=1 (λ/cm)	D=10 cm e N=2 (λ/cm)	D=30 cm e N=1 (λ/cm)
4000-4500	202	96	77
4500-5000	179	84	70
5000-5500	160	74	65
5500-6000	145	66	61
6000-6500	132	60	57
6500-7000	121	55	55

A tabela mostra claramente a dependência da resolução das medidas com relação a faixa de comprimento de onda que se pretende medir (melhor resolução para maiores comprimentos de onda), mesmo quando fixamos as condições contorno. De outro modo, fixando a faixa de comprimento de onda que se deseja medir, a resolução depende tanto da ordem espectral quanto da distância entre o CD e tela.

O exemplo considerado mostra a riqueza associada a um único experimento: além de permitir o estudo de fenômenos de interferência e difração, pode-se ainda explorar questões mais profundas relacionadas a erros em medidas físicas.

IV. Conclusão:

Com tal experimento conseguimos demonstrar que o CD pode ser utilizado como uma rede de difração, já que apresenta uma quantidade de sulcos por milímetro da ordem do comprimento de onda do laser. Esta demonstração em ótica física pode oferecer oportunidades para assuntos dentro da física moderna, como por exemplo a difração de elétrons em cristais, dualidade de fótons e elétrons, holografias, espectros, etc.

Portanto, a partir de uma lei de simplicidade matemática (Lei da Interferência) consegue-se encontrar o número de sulcos por milímetro em um CD. Podemos sugerir também as informações sobre a fabricação do CD e a origem do feixe laser.

Além destes aspectos relacionados a conteúdos que podem ser abordados, levantamos ainda a possibilidade de utilização das diferentes escalas construídas para a obtenção direta de comprimentos de onda, como um recurso didático para explorar conceitos importantes de precisão em medidas físicas.

Referências

1. GUERINI, S. C.; USTRA, S. R. V; TERRAZAN, E. A. (UFSM) “A evolução das idéias sobre a estrutura da matéria: uma contribuição para o ensino da física”. XII SNEF, 1997. p. 55. (livro de resumos)
2. MENEZES L. C; HASOUME, Y. (USP) “Para lidar com o mundo real, a física escolar também precisa ser quântica”. XII SNEF, 1997. p. 57. (livro de resumos)
3. STRIEDER, D. M.; TERRAZAN, E. A. (UFSM) “Planejamentos didáticos para o ensino de física moderna no ensino médio”. XII SNEF, 1997. p. 59. (livros de resumos)

4. PEREIRA, O. S.; HAMBURGUER, E. W.; BITTENCOURT, D. R. S.; TASSARA, M. G. (USP) “Produção, avaliação e utilização de um vídeo para o ensino de física moderna: tema “radiação cósmica”. XII SNEF, 1997. p. 72. (livro de resumos).
5. PEREIRA, S. (USP/UNIP) “Visão de estudantes do 2º grau sobre a inserção da física contemporânea no currículo”. XII SNEF, 1997. p. 81. (livro de resumos)
6. SANTOS, M. S.; ALMEIDA, L. C.; COSTA, I. (UFF) “Obstáculos e possibilidades para ifmc no 2º grau”. XII SNEF, 1997. p. 92. (livro de resumos)
7. COSTA, I.; SANTOS, M. S.; ALMEIDA, L. C. (UFF) “Física moderna e contemporânea no 2º grau”. XII SNEF, 1997. p. 95. (livro de resumos)
8. FILHO, G. C. F.; AZEVEDO, A. C.; NUNES, R. R. S. (Escola Técnica Pindia, Volta Redonda, RJ. Colégio Técnico Naval, Angra dos Reis, RJ. Escola Agostinho Cunha, RJ/RJ.) “A física do forno microondas: uma abordagem para o 2ª grau”. XII SNEF, 1997. p. 99. (livro de resumos)
9. MONTEIRO, J. (Centro Educacional de Niterói, Niterói, RJ) “A natureza dual da luz: uma abordagem para o 2º grau”. XII SNEF, 1997. p. 101. (livro de resumos)
10. PERCIA, S. P.; ALMEIDA, R. C. M. (Colégio de Aplicação da Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, RJ. Colégio Técnico Agrícola Idefonso Bastos Borges, Bom Jesus do Itabapoana, RJ) “Prenúncios da física moderna: os tubos de raios catódicos e a descoberta do elétron”. XII SNEF, 1997. p. 103. (livro de resumos)
11. CORDEIRO, E.; COSTA, M. (Colégio Módulo Macaé, Macaé, RJ. Colégio Salesiano Santa Rosa, Niterói, RJ) “O efeito fotoelétrico no 2º grau: uma proposta”. XII SNEF, 1997. p. 104. (livro de resumos)
12. FAGUNDES, M. B.; ZANETIC, J. (USP) “A complementaridade à luz do novo espírito científico”. XII SNEF, 1997. p. 124. (livro de resumos)
13. BAIBICH, M. N.; CRUZ, E. S. (UFRS) “Instrumentação para o ensino de conceitos da física moderna.”. XII SNEF, 1997. p. 136. (livro de resumos)
14. MARIO, G. **El laser**. Facultad de Ciencias Exatas de la Universidad Nacional de La Plata.
15. TIPLER, PAUL **Física 4**. 3. ed. Editora Guanabara.
16. RESNICK, HALLIDAY E KRANE **Física 4**. 4. ed. Editora LTC.
17. FITA DE VÍDEO. Título “Três Técnicas de Gravação e Reprodução”. Série Show de Ciências. TV Cultura. Produzida em 1989.

18. KALINOWSKI, H. J.; GARCIA, N. M. D. Uma alternativa econômica para rede de difração no laboratório de ensino. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 1, p. 64-72, 1990.
19. COLUSSI, C. V.; CANSIAN, M. A. Rede de difração holográfica: uma opção eficiente de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino da Física**, v. 17, n. 3, 1995.
20. VUOLO, I. H. **Fundamentos da Teoria dos Erros**. Edgard Buchen Ltda, p. 120-126, 1992.