

Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio: uma Nova Técnica para a Análise Quantitativa de Espectros

(High-School Equipment's of Modern Physics: a new technique for the quantitative analysis of spectra)

Marisa Almeida Cavalcante e Alessandra di Benedetto

GOPEF - Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo e Escola do Futuro - USP/SP

E-mail: marisac@exatas.pucsp.br HP: http://mesonpi.cat.cbpf.br/verao98/marisa.

Recebido em 22 de dezembro, 1998

O nosso objetivo é desenvolver experiências voltadas para o Ensino Médio, que permitam ao professor abordar aspectos importantes da Física Moderna de forma atraente e simples, porém sem perder de vista o rigor científico característico de todo processo científico. É também nossa preocupação apresentar propostas que sejam de fácil realização e de baixo custo de modo a tornar viável a sua imediata aplicação. Como sabemos existem atualmente na literatura científica vários trabalhos sobre a construção de espectroscópios caseiros, os quais permitem obter resultados bastante satisfatórios [1-3]. No presente trabalho mostraremos, como construir de maneira extremamente simples e original um espectroscópio caseiro, que possibilita determinar experimentalmente os comprimentos de onda das linhas características de uma lâmpada de Hg, usando um CD como elemento que decompõe a luz.

Our objective is to develop simple and attractive high-school experiments that allow teachers to approach important aspects of the Modern Physics without loss of the rigorous judgement of the scientific process. We are concerning also with easy accomplishment and low cost in order to turn viable their quick application. Even though there are several works in the literature [1-3] about the construction of homemade spectrometers that give quite good results, we show here how to build an extremely simple and original homemade spectrometer that allows the experimental determination of wavelengths of characteristic lines of the Hg lamp by using a compact disc (CD) for light decomposition.

I Introdução

A inserção da Física Moderna no Ensino Médio passa a ser uma necessidade diante do exercício da cidadania, visto que este exercício baseia-se em um conhecimento mínimo das formas contemporâneas de linguagem e dos princípios científicos e tecnológicos que atuam na produção moderna.

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos a este respeito [4-17] e fornecem diversas propostas ao professor, que podem ser desenvolvidas em sala de aula.

Acreditamos que o enriquecimento da prática pedagógica com experiências de fácil realização melhora a qualidade da didática e facilitem a comunicação de conceitos físicos até então abstratos ao aluno. Pretendemos criar os alicerces necessários a uma compreensão mais abrangente e dinâmica da Física,

contextualizando-a efetivamente *como ciência* a partir de situações cotidianas vividas pelos estudantes. É nossa preocupação também desenvolver atividades científico-pedagógicas que estimulem a curiosidade inata dos alunos tornando para eles o estudo da Física prazeroso e gratificante, como ele é de fato. Desta forma, procura-se também estimular cada estudante a encontrar o próprio modo de aprender, criando condições para que eles incorporem naturalmente uma certa cultura científica que lhes será sem dúvida útil para compreender com maior clareza a realidade física que os circunda. Neste trabalho apresentaremos uma proposta experimental que possibilita ao professor de Ensino Médio a abordagem de assuntos de importância relevante da Física Moderna, tais como:

- *Óptica Física*: Através do estudo da interferência

e difração da Luz, o que viabiliza o entendimento adequado de fenômenos ondulatórios; princípio básico que permite uma análise do comportamento dual onda-partícula sugerido por Louis De Broglie em tese apresentada em novembro de 1924 [20]. Devemos salientar que para complementar este tema é importante o entendimento adequado do comportamento corpuscular da luz. Com este fim, propomos que o professor discuta em sala de aula, experimentos como o Efeito Fotoelétrico que, quando bem explicado, é o mais simples se demonstrar o comportamento da luz como partícula.

- *Teoria de Bohr*: esta abordagem está associada ao entendimento de espectros atômicos (objeto de estudo desta proposta) e às várias aplicações da espectroscopia na Física Moderna.

No IV EPEF (outubro de 1998) na sessão de comunicação oral, Fernanda Ostermann [11], apresentou o resultado de sua pesquisa, que apontava dentre vários temas para possível inclusão no currículo de Física no Ensino Médio o *Átomo de Bohr* e o *Fenômeno da Dualidade Onda-Partícula* aparecem como temas de consenso. Consideramos portanto, que a proposta aqui apresentada pode servir como um recurso paradigmático para a introdução destes temas.

II Descrição do equipamento

O material utilizado é bastante acessível e de fácil manuseio e tem sido utilizado na realização de Oficinas sobre a Inserção de Física Moderna no Ensino Médio que tem oferecido em diferentes cidades brasileiras, conforme pode ser visto nas Refs. [4-9], consistindo basicamente de: Uma lâmpada eletrônica fluorescente compacta de 24 watts; Uma lupa; Régua de 30 cm e de 60 cm (ambas com limite de calibração 1,0 mm); Compact Disc (CD); Pedaco de papelão em quantidade suficiente que usaremos para confeccionar uma tela, e um suporte para a lupa; Colimador para a lâmpada fluorescente; uma Cartolina; papel contact branco; Transferidor; Cola; Prendedor de roupas (será utilizado para fixar a lupa em seu respectivo suporte); Folha de papel vegetal.

A fonte luminosa (lâmpada fluorescente) que utilizamos emite além de um espectro contínuo, um espectro de franjas discretas ou linhas espectrais característico do Hg cujos comprimentos de onda são devidamente conhecidos.

Para ver as linhas características do Hg, decomponemos a luz utilizando um CD como rede de difração

[1,3,9]. Os instrumentos dotados de rede de difração podem ser utilizados para medir comprimento de onda uma vez que o espaçamento d (distância entre os sulcos) é da ordem do comprimento de onda da luz visível.

Geralmente, as redes são fabricadas abrindo-se sulcos paralelos igualmente espaçados numa placa de vidro ou de metal, com uma ponta de diamante, cujo movimento é controlado automaticamente por uma sofisticada máquina de gravação. Redes gravadas em metais denominam-se redes de reflexão, porque os efeitos de interferência são produzidos por reflexão, em vez de transmissão [18].

Um 'compact disc' (CD) contém um número elevado de sulcos que formam uma longa corrente helicoidal 3 (Fig.1). Estes sulcos têm aproximadamente 5000 Å de largura, de 8300 Å a 35600 Å de comprimento e distam um dos outros cerca de 16000 Å [5].

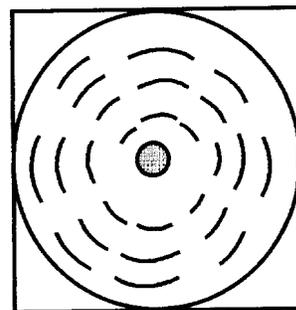


Fig.1

Por haver um enorme número de fendas, com um dado espaçamento d , o CD possui uma estrutura, de certa forma, semelhante à estrutura das redes de difração e também apresenta¹, cerca de 625 sulcos/mm como nas redes comerciais de difração adotadas no ensino da Física [3].

Recentemente redes holográficas de alta precisão têm sido construídas envolvendo um baixo custo [2].

Notemos que o comprimento de onda da luz verde é de 5300 Å, comparável ao valor da largura da fenda de 5000 Å (condição para que ocorra difração). É exatamente a difração devida a estas fendas que confere à superfície do CD as belas cores que lhes são características [18].

III Confeção do material

Tela de Projecção[9]

Recortamos do papelão um retângulo, de aproximadamente 36 cm de comprimento e 20 cm de largura.

¹ O CD possui aproximadamente um espaçamento $d = 16000 \text{ \AA} = 0,0016 \text{ mm}$. Isto significa que $d^{-1} = 625 \text{ sulcos/mm}$.

Dobramos este retângulo ao meio de modo que formou-se uma tela de aproximadamente 18 cm, conforme a Fig. 2. Recortamos ainda uma tira de 25 cm de comprimento e 4,50 cm de largura. Sucessivamente, colamos a tira na parte posterior da tela. Fizemos um corte na base de modo que se possa encaixar nele a parte inferior da tira. Desta forma a tela terá maior estabilidade. Enfim, revestimos a tela com papel 'contact' branco.

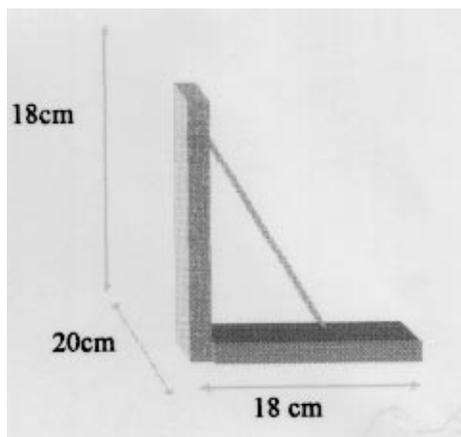


Figura 2. Esquema da tela.

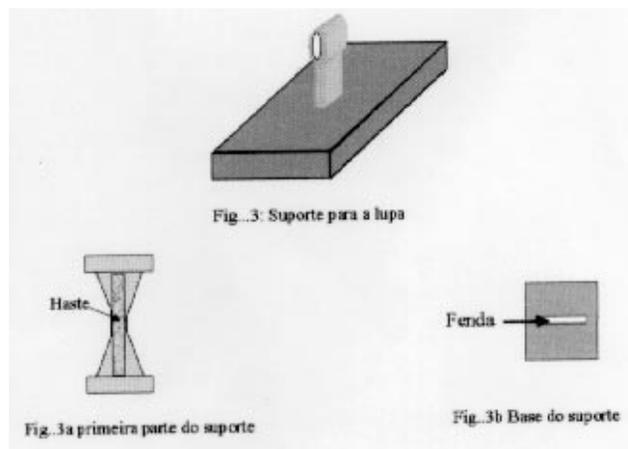
Fonte de Luz - colimação do feixe

Para construir um colimador, adotamos uma caixa pequena (por exemplo, uma caixa de perfume) que tenha aproximadamente as mesmas dimensões da fonte luminosa. Fizemos um pequeno orifício na parte inferior da caixa. É importante que a caixa esteja bem vedada, para que a luz proveniente da fonte passe exclusivamente pelo orifício.

Suporte para a lupa [9]

Para construir o suporte para a lupa, ilustrado na Fig. 3, fizemos inicialmente a haste mostrada na Fig. 3a, recortando o papelão na forma indicada na figura e colando uma haste de metal para conferir a ele mais estabilidade (por exemplo; grampos ou trilhos para papel). Unimos os dois lados dobrando-a ao meio. Para construir a base do suporte, Fig. 3b, recortamos do restante do papelão um quadrado de aproximadamente 12cm de lado e fizemos nele um corte ao centro para poder encaixar a haste da Fig. 3a. Uma vez encaixada

a haste na sua base, dobramos para cima a parte inferior da mesma, que ficou embaixo da base fornecendo a firmeza necessária.



Suporte para o CD

Como suporte para o CD, usamos a própria caixa do CD [9].

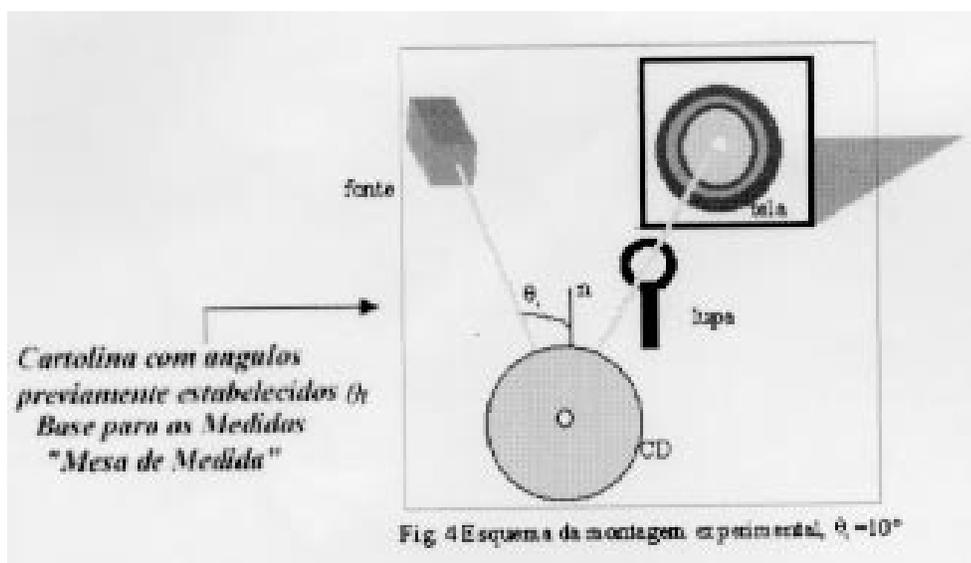
Base para a “mesa de medida”

Nossas medidas devem ser realizadas sobre uma base que forneça ângulos fixados simetricamente em relação à superfície refletora do CD que chamaremos de “mesa de medida”.

Esta mesa foi então desenhada em uma cartolina branca onde será montado todo o sistema. A partir do ponto que corresponde ao centro do CD, desenhamos usando um transferidor e uma régua de 60 cm, várias escalas graduadas em centímetros a diferentes ângulos de incidência do feixe (10° , 20° , 30° , 40° , à 90°) em relação a uma linha ortogonal à superfície do CD (normal à superfície, que indicamos com a letra n). Desta forma, facilitam-se as leituras que são necessárias à determinação experimental do comprimento de onda.

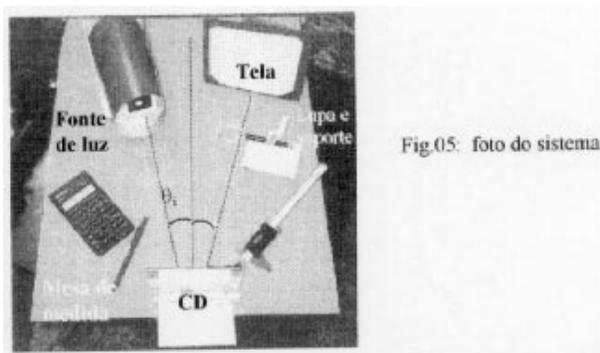
IV Montagem experimental

A montagem experimental que fizemos para medir os comprimentos de onda é esquematizada na Fig. 4, para um ângulo de incidência θ_i de 10° .



A Fig. 5 abaixo mostra uma foto do sistema para a determinação do comprimento de onda das radiações do Hg através da medida dos diâmetros dos anéis projetados.

Uma vez estabelecida a montagem, num ambiente escuro, direcionamos o feixe de luz ao CD, fixando um certo θ_i , posicionamos a tela simetricamente em relação à fonte, regulamos adequadamente a posição da lente, focalizando a imagem na tela; observamos então círculos concêntricos de três diferentes cores: violeta, verde e laranja. Estas cores são características da fonte de luz utilizada, lâmpada fluorescente, que contém Hg cujo espectro é composto dentre outras radiações de três linhas bem intensas, cujos valores de comprimento de onda são conhecidos.²



Efetuamos uma série de medidas para três diferentes valores de θ_i , respectivamente 10° , 20° e 30° . Cada série é constituída de cerca de vinte leituras de diâmetro. As medidas foram feitas modificando aleatoriamente os

seguintes parâmetros: distância *fonte-CD* e distância *CD-tela*. Para cada variação destes parâmetros, focalizamos adequadamente a lupa, estabelecendo a respectiva distância *lupa-tela*, que chamamos de P' . Successivamente, efetuamos as leituras de diâmetro para cada uma das cores visualizadas na tela, utilizando uma régua de 30 cm.

Existe uma relação matemática que permite obter informações sobre o comprimento de onda da radiação a partir do valor do diâmetro do anel projetado na tela. Antes de efetuarmos esta análise quantitativa faremos uma análise qualitativa do fenômeno a partir da construção de curvas de calibração do nosso espectroscópio.

V Análise Qualitativa - Curva de Calibração

Esta é uma proposta que pode ser utilizada como uma prática experimental em sala de aula. A partir dos dados obtidos para o diâmetro do anel para cada comprimento de onda característico do Hg, podemos obter uma curva de calibração do espectroscópio caseiro construído³.

Os gráficos a seguir mostram a relação entre o diâmetro do anel observado e o respectivo comprimento de onda, para diferentes condições de contorno. As condições de contorno estão indicadas no canto superior direito de cada gráfico.

²Caso o professor queira fornecer previamente esses valores, considere: linha violeta: 4360 \AA , linha verde: 5460 \AA e a linha laranja: (valor médio) 5780 \AA .

³Esta discussão qualitativa pode ser efetuada após o estudo quantitativo destes comprimentos de onda. Acreditamos que a ordem de abordagem deva ficar a critério do professor. Haverá casos de turmas que o professor possa optar em efetuar apenas o estudo qualitativo, outras no entanto, por serem turmas mais avançadas, permitem estudar o fenômeno qualitativamente e quantitativamente. O mais importante na realidade, são as aplicações que advêm deste estudo, bem como os conceitos que podem ser abordados em sala de aula através deste processo experimental.

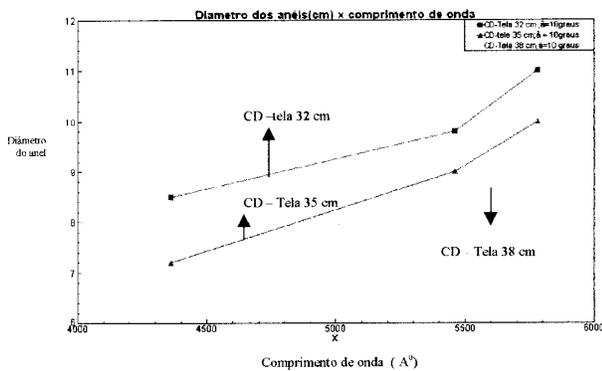


Figura 6. Curvas de calibração para diferentes distâncias entre o CD e a tela de projeção para um ângulo de incidência igual à 10° .

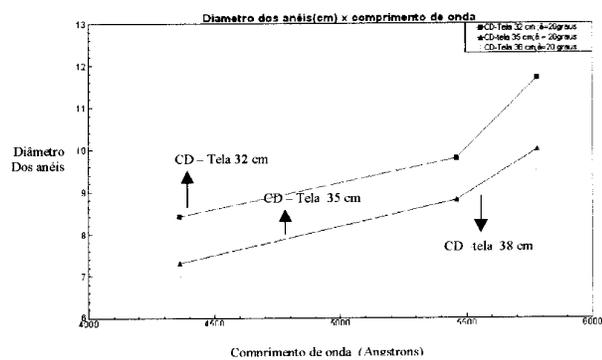


Figura 7. Curvas de calibração para diferentes distâncias entre o CD e a tela de projeção para um ângulo de incidência igual à 20° .

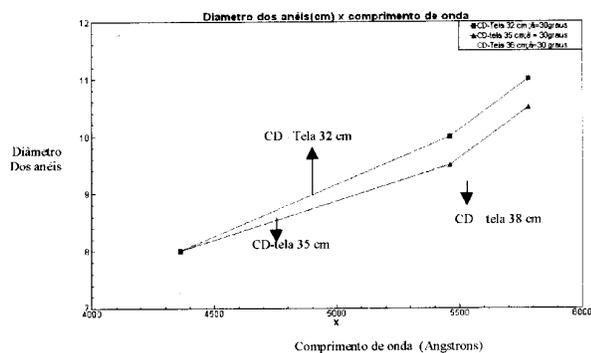


Figura 8. Curvas de calibração para diferentes distâncias entre o CD e a tela de projeção para um ângulo de incidência igual à 30° .

VI Análise inicial

Pode-se ver claramente, que existe uma dependência entre o diâmetro do anel e o comprimento de onda da radiação analisada e que denota uma função específica. Em primeira análise esta função parece se definir melhor para menores ângulos entre o feixe incidente e a normal à superfície do CD.

O professor pode ainda utilizar estas curvas de calibração para determinar comprimentos de onda de diferentes filtros e suas respectivas resoluções. Fixando uma determinada condição de contorno e dispondo o filtro que se deseja analisar diante de uma fonte de luz contínua (lâmpada de filamento), podemos determinar os limites dos raios dos anéis obtidos e assim determinarmos a resolução.

Por exemplo considerando-se a Fig. 6 e dispondo-se um filtro violeta diante da fonte emissora verifica-se um anel cujo diâmetro varia de 8,3 à 9,0 cm, para uma distância entre o CD e a tela de 32 cm. Com os valores obtidos para os diâmetros dos anéis teremos os correspondes comprimentos de onda iguais a 4200 à 4800 Angstroms (obtidos diretamente a partir do gráfico da Fig. 6).

A resolução deste filtro pode ser obtida do seguinte modo: Comprimento de onda médio: 4500 Å; Variação obtida: 600 Å; Valor experimental obtido para o comprimento de onda do filtro (4500 ± 300) Å; Resolução Obtida em %: $\frac{300}{4500} \cdot 100 = 6.7\%$.

VII Determinação experimental da distância focal da lupa - uma aplicação da ótica geométrica

Para prosseguir os cálculos necessários à determinação do comprimento de onda, devemos conhecer a distância focal F da lupa utilizada. Esta grandeza pode ser medida mediante uma técnica bastante simples, e que é estudada em ótica geométrica.

Removemos o colimador da fonte de luz. Recortamos da folha de papel vegetal um pedaço de papel o suficientemente grande para cobrir a abertura da fonte de luz. Desenhamos neste papel uma seta e a fixamos na abertura da fonte mediante uma fita adesiva, Fig. 9. Direcionamos a fonte para a tela e a posicionamos adequadamente e ajustando a posição da lupa observamos nitidamente a imagem da seta reproduzida na tela.

Chamamos de P a distância entre a lupa e esta imagem. Para determinar experimentalmente a distância focal F , usamos a seguinte relação da ótica geométrica:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{F} \quad (1)$$

ou seja:

$$F = \frac{P \cdot P'}{P + P'} \quad (2)$$

Fizemos uma série de vinte leituras modificando as distâncias entre a fonte de luz e a tela. Para cada uma das alterações, focalizamos adequadamente a imagem da seta reproduzida sobre a tela, obtendo o valor correspondente a P' . Registramos então as leituras de

P' e P . A partir dos valores obtidos, as respectivas distâncias focais foram calculadas mediante a relação (2) para cada caso. Calculando o valor médio para a distância focal obtivemos

$$F = (13,96 \pm 0,10) \text{ cm} \quad (3)$$

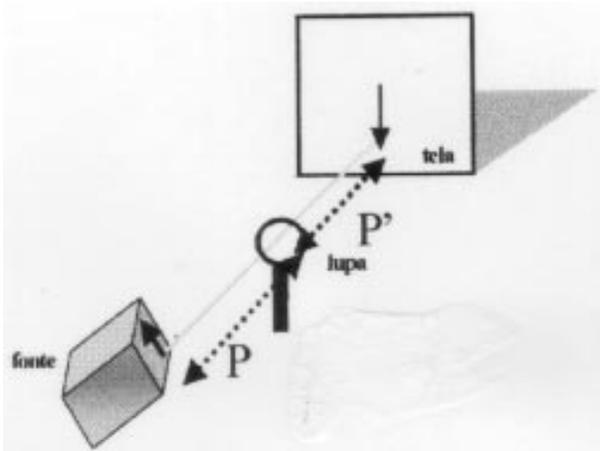


Figura 9. Determinação da distância focal da lupa.

VIII Análise quantitativa - determinação dos comprimentos de onda

Em primeiro lugar vamos considerar o esquema abaixo:

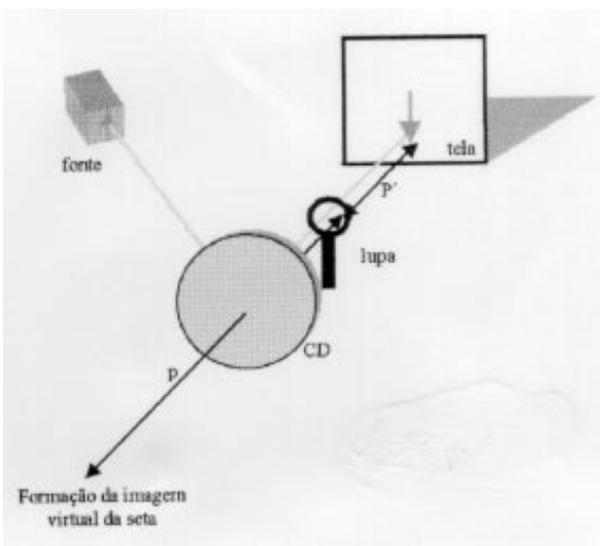


Figura 10. Imagem obtida de um objeto utilizando um CD.

⁴ Uma sugestão: Faça uma observação qualitativa, antes de dar início ao processo de medida experimental. Verifique diretamente no CD a luz decomposta em suas cores características. Você irá perceber que o CD é “um espelho muito especial”. Ele é capaz de decompor a luz. Na verdade temos uma superposição de muitos espelhos com espaçamento entre eles da ordem de 16000 Å que dá origem a este fenômeno.

Aplicando as leis da ótica geométrica, podemos determinar o tamanho da imagem virtual produzida pelo CD a partir do tamanho da seta medido na tela de projeção. Se substituirmos a seta por um simples orifício diante da luz, teremos a imagem deste orifício. No entanto acompanhará esta imagem a decomposição da luz que compõe feixe incidente Fig. 11⁴. No entanto para efetuarmos este processo de medida lançamos mão de uma lupa para a projeção deste espectro em uma tela e neste caso necessitaremos dos recursos oferecidos pela ótica geométrica para determinarmos o ângulo de desvio de cada radiação.

Para a determinação dos comprimentos de onda utilizaremos a relação da ótica física, bem conhecida [1] e [3]:

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

onde: d é o espaçamento entre os sulcos do CD (da ordem de 600 sulcos/mm) [2], N é a ordem espectral e o θ é o ângulo de desvio para a radiação que se quer analisar (interferência construtiva).

Considerando a primeira ordem, $N = 1$, temos

$$\lambda = d \sin\theta. \quad (4)$$

A determinação do comprimento de onda da radiação incidente pode ser determinada desde que o ângulo de desvio θ seja devidamente conhecido.

Para determinar o ângulo θ , consideramos a Fig. 11

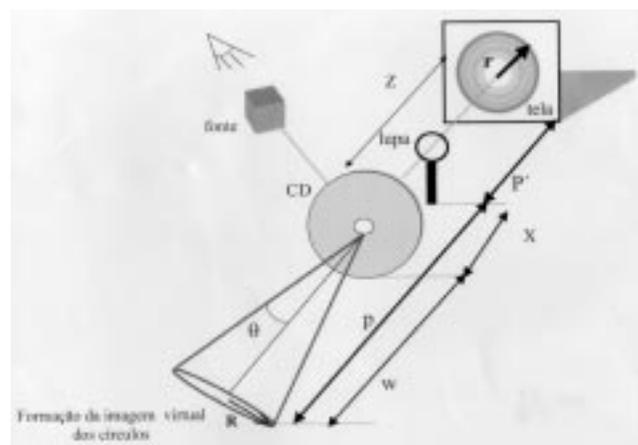


Figura 11

Nota-se, da Fig. 11, que

$$\tan \theta = \frac{R}{W} \Rightarrow \theta = \arctan \frac{R}{W}, \quad (5)$$

onde W corresponde à distância da imagem virtual até o CD e R é o seu raio que calcularemos a seguir.

O valor de P na Fig. 11, é determinado da relação (1), uma vez que se conhece a distância focal F , ou seja:

$$P = \frac{F \cdot P'}{F - P'}$$

Para calcular o raio R da imagem virtual para cada um dos círculos, devemos considerar os diâmetros medidos na tela.

Para determinarmos o raio R é preciso levar em conta o fator de amplificação A da lupa, que vale

$$A = \frac{P'}{P} = \frac{r}{R}, \quad (6)$$

sendo r o raio projetado na tela e R o raio da imagem virtual (Fig.11). Como o valor medido corresponde ao diâmetro do anel na tela (D), teremos para o raio da imagem (R), produzida para cada cor:

$$R = \frac{D}{2A}. \quad (7)$$

Passos para a determinação do comprimento de onda

- Estabelecemos um ângulo de incidência para o feixe de Luz, mantendo-se a tela de projeção e a lupa neste mesmo ângulo (ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão);

X(cm)	Z(cm)	P'(cm)	D _{violeta} (cm)	D _{verde} (cm)	D _{laranja} (cm)	Número de medidas
27	44	17	6	7,3	8,6	1

$D_{violeta}$, D_{verde} e $D_{laranja}$ são os diâmetros medidos na tela; X é a distância do CD - lupa; Z é a distância do CD - tela; P' é a distância da Lupa - tela

Para obter o valor de P temos:

$P = \frac{f \cdot P'}{F - P'}$, como $F = 13,96$ cm temos em valor absoluto;

$P = 78,12$ cm (distância da imagem dos anéis até a lupa)

A relação P'/P oferece o fator de amplificação (A) da Lupa.

Para o caso da medida efetuada obtemos

$$A = 0,22$$

Assim teremos como resultado para os raios dos

- Fixamos uma distância entre a fonte de Luz e o CD;

- Fixamos uma distância entre o CD e a tela de projeção (Z);

- Variamos a posição da lupa até obtermos uma imagem nítida na tela. (anéis coloridos que representam o espectro da luz que está sendo analisada);

- Medimos os diâmetros de cada anel, violeta, verde e laranja, cujos comprimentos de onda se deseja obter;

- Sabe-se que a distância focal da lupa é dada por $\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{F}$ o que permite determinar o valor de P . Ou seja $P = \frac{F \cdot P'}{F - P'}$;

- Com isso o fator de ampliação da lupa pode ser determinado, já que $A = \frac{P'}{P}$;

- Para se obter o valor de R raio do anel na imagem formada pelo CD utilizamos a relação do fator de ampliação da lupa utilizada, pois como vimos na equação 7 temos $R = \frac{D}{2A}$;

- Para obtermos o valor de W (necessário para obter o ângulo de desvio) temos o valor de P' , P e a distância do CD a tela (Z) e distância do CD a lupa (X). Portanto $P = X + W$, onde $X = Z - P'$. Portanto $W = P - (Z - P')$ ou ainda, $W = P + P' - Z$ (Fig.11);

- Tendo-se o valor de W e R (Fig.11) podemos determinar o valor do ângulo de desvio que permitirá obter o valor do comprimento de onda associado a cada anel.

Para exemplificar, fixemos o ângulo $\theta_i = 10^\circ$,

anéis, de acordo com a equação (7):

$$R_{violeta} = (D_{violeta})/2A = 6/(2 \cdot 0,22) = 13,64 \text{ cm}$$

$$R_{verde} = (D_{verde})/2A = 7,3/(2 \cdot 0,22) = 16,59 \text{ cm}$$

$$R_{laranja} = (D_{laranja})/2A = 8,6/(2 \cdot 0,22) = 19,55 \text{ cm}$$

De acordo com a Fig.11 temos que

$$W = P + P' - Z = (78,12 + 17,00) - 44 = 51,12 \text{ cm}$$

De acordo com a Eq. (5) para cada anel teremos o ângulo de desvio dado por

$$\theta_{violeta} = \arctan(13,64/51,12) = 14,94^\circ$$

$$\theta_{verde} = \arctan(16,59/51,12) = 17,98^\circ$$

$$\theta_{laranja} = \arctan(19,55/51,12) = 20,92^\circ$$

De acordo com a lei de interferência temos $N\lambda = d\sin\theta$ em todos os casos analisamos o espectro de 1ª ordem o que nos fornece $N = 1$.

Os valores obtidos experimentalmente dos comprimentos de onda para as radiações violeta, verde e laranja, para esta condição são respectivamente: 4124,86 Å, 4939,16 Å e 5713,03 Å para esta medida.

Este procedimento foi adotado para uma série de

medidas em diferentes condições de contorno. Os resultados obtidos juntamente com os valores esperados, estão representados na tabela a seguir.

Tabela

Ângulo de incidência	Violeta Angstroms	Verde Angstroms	Laranja Angstroms	Número de medidas
10°	4463 ± 194	5286 ± 218	5842 ± 209	22
20°	4546 ± 120	5454 ± 144	6073 ± 114	21
30°	4579 ± 173	5450 ± 225	6000 ± 196	20

IX Análise dos Resultados Obtidos

Como os valores dos comprimentos de onda esperados para estas radiações são 4360 Å para aluz violeta, 5460 Å para aluz verde e 5780 Å para a laranja os resultados obtidos acordam satisfatoriamente. O que permite utilizar esta nova técnica de medida para a determinação de comprimentos de onda com relativa precisão. Os erros estatísticos são da ordem de 3 a 4%, podendo ser reduzido aumentando-se o número de medidas.

Pode-se ainda melhorar o grau de precisão utilizando-se paquímetros para a medida dos diâmetros dos anéis que fornecem limites de calibração [21] menores que o estabelecido neste trabalho (régua; limite de calibração 1.0 mm).

Vimos portanto que com um material de extremo baixo custo podemos efetuar medidas com uma certa precisão, que envolvem conceitos de Óptica Física, Óptica Geométrica e Física Moderna que, a nosso ver, é uma das virtudes da nossa proposta.

X Temas que podem ser abordados no Ensino Médio utilizando como recurso experimental a técnica desenvolvida neste artigo.

A partir da experiência realizada, o professor pode abordar inúmeros assuntos da Física Moderna. Por

exemplo, explicar fenômenos relevantes da óptica física e geométrica tais como: interferência, difração, reflexão e refração. A própria lupa, já que se trata de uma lente, pode ser utilizada como recurso didático na introdução de importantes propriedades das lentes e dos espelhos, uma vez que a compreensão destes assuntos da óptica geométrica são necessários para o desenvolvimento dos cálculos que permitem determinar o comprimento de onda das linhas aqui consideradas. *Seria interessante incitar os alunos a refletir sobre a natureza da luz, fazendo-os notar que se o comportamento da luz pode ser explicado em termos de interferência e de difração, que são fenômenos ondulatórios, é porque na própria luz há características ondulatórias.* O professor pode, se assim o desejar, comentar que existem muitas experiências, tais como o Efeito Fotoelétrico, que evidenciam que a luz possui também características corpusculares, em outras palavras, que a luz também se comporta como uma partícula, e assim, abrir caminho para uma compreensão mais abrangente da natureza dual da luz.

Ainda, o professor pode introduzir e comentar o espectro eletromagnético, fazer os estudantes notarem que a luz visível ocupa uma região pequena do espectro, falar sobre os comprimentos de onda e caracterizar cada um deles.

Até a fonte de luz pode também ser aproveitada como instrumento didático, uma vez que emite franjas discretas ou linhas espectrais. Para explicar tais linhas, o professor pode falar a respeito dos espectros atômicos e neste contexto, do átomo de hidrogênio. Seria interessante também rever os problemas que surgem quando

se tenta resolver a estrutura do átomo de hidrogênio pelos métodos da física clássica e concluir que a física clássica não explica satisfatoriamente os fenômenos microscópicos. Continuando nesta mesma linha, pode-se acenar ao modelo de Niels Bohr. A teoria de Bohr não é somente relevante historicamente mas também deve ser entendida como um importante instrumento didático por ser considerada como um primeiro passo para a Teoria Quântica.

Na espectroscopia, estudo da luz emitida pelos elementos, encontramos muitas aplicações. O professor pode expor aos alunos algumas destas aplicações, por exemplo, explicar-lhes que se cada elemento emite determinados comprimentos de onda, o espectro pode então ser pensado como uma espécie de “impressão digital” destes mesmos elementos. Consequentemente, o estudo minucioso do espectro proveniente das estrelas permite aos pesquisadores determinarem quais são os elementos que as constituem. Por este mesmo motivo, a espectroscopia também é um importante instrumento de investigação científica para os pesquisadores de outras Ciências Naturais, tais como Química, Biologia e Geologia, pois lhes auxilia a diagnosticar a presença ou ausência de certos elementos em determinadas substâncias.

O professor pode abordar também problemas relacionados a medidas físicas, acenar em algumas possíveis dificuldades que podem ser encontradas pelos físicos experimentais e informar aos alunos que existem verdadeiras teorias que tratam toda a problemática de erros nas medidas, bem como explicar-lhes o que se entende por erros sistemáticos e estatísticos. Tudo isso pode ser feito simplesmente comentando a incerteza presente na leitura dos diâmetros na presente proposta.

Referências

- [1] H.J. Kalinowski, N.M.D. Garcia, “Uma alternativa econômica para rede de difração no laboratório de ensino”, Caderno Catarinense de Ensino de Física, n.7, vol.1, 64 (1990).
- [2] C.V. Colussi, M.A. Cansian “Rede de difração holográfica: Uma opção eficiente de baixo custo”, Rev. Bras. de Ensino da Física, 17, n.3 (1995).
- [3] M.A. Cavalcante, V. Jardim, J.A.A. Barros, “Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um feixe de Laser”, Caderno Catarinense de Ensino de Física, V.16, n.2 (pg. 154-169) (1999).
- [4] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavoraro, *Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma proposta experimental* - Oficina oferecida durante a 5a. SBPC JOVEM atividade integrante da 49a. Reunião Anual da SBPC realizada na Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG - no período de 13 a 18 de julho de 1997. Resumo publicado nos anais da SBPC JOVEM.
- [5] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavoraro, Ensino de Física - Oficina oferecida durante a 3a. Mostra de Material de Divulgação e Ensino das Ciências na Estação Ciência - São Paulo - SP de 27 a 31/08/1997.
- [6] M.A. Cavalcante, Inserção de Física Moderna no Ensino Médio - minicurso oferecido na IX Semana de Física realizada pelo Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora no período de 06 a 10/10/1997.
- [7] M.A. Cavalcante, C.R.C. Tavoraro, Instrumentação em Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio - Oficina oferecida durante a 6a. SBPC JOVEM atividade integrante da 50a. Reunião Anual da SBPC realizada na Universidade Federal de do Rio Grande do Norte - UFRN - no período de 12 a 17 de julho de 1998. Resumo publicado nos anais da SBPC JOVEM.
- [8] M.A. Cavalcante, Instrumentação em Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio - Oficina oferecida durante a 6a. SBPC JOVEM atividade integrante da 50a. Reunião Anual da SBPC realizada na Universidade Federal de do Rio Grande do Norte - UFRN - no período de 12 a 17 de julho de 1998. Resumo publicado nos anais da SBPC JOVEM.
- [9] <http://mesonpi.cat.cbpf.br/verao98/marisa>.
- [10] D.M. Strieder e E.A. Terrazzan, “Atualização Curricular e Ensino de Física na Escola Média”, IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - 26 a 30/10/1998 - Florianópolis - SC - Livro de resumos pp. 15-17.
- [11] F. Ostermann, e M.A. Moreira, “Tópicos de Física Contemporânea na Escola Média Brasileira: um estudo com a técnica Delphi” IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - 26 a 30/10/1998 - Florianópolis - SC - Livro de resumos pp. 111- 113.
- [12] M.S. Santos, L.C. Almeida, I. Costa “Obstáculos e possibilidades para IFMC no 2.o grau”. XII SNEF - BH - MG - 1997 - livro de atas pp.637- 642.
- [13] L.C. Menezes, e Y. Hasoume, “Para lidar com o mundo real a Física Escolar também precisa ser quântica” XII SNEF - BH - MG - 1997 - livro de atas pp.282 -285.
- [14] F.M. Silva, M.B. Fagundes, N.C. Ferreira, “Um modelo simples e de baixo custo para tubos de raios catódicos - Construção e Aplicações” XII SNEF - BH - MG - 1997 - livro de atas pp.391 -393.
- [15] M.B. Fagundes, J. Zanetic, “A complementaridade à luz do novo espírito científico” XII SNEF - BH - MG - 1997 - livro de atas pp.780 -784.
- [16] F. Ostermann, L.M. Ferreira, H.C.J. Cavalcanti, “Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: Um texto para professores sobre supercondutividade.” - Rev. Bras. de Ensino de Física, 20 3, 270 (1998).
- [17] R.C. Mendonça, L. Misoguti, R.S. Muniz, V.S. Bagnato, “Demonstrações de Reflexão Total interna para Alunos de 2.o grau”. Rev. Bras. de Ensino de Física, 20 3, 296 (1998).
- [18] D. Halliday, R. Resnick, *Fundamentos de Física: Ótica e Física Moderna* - terceira edição, Livros técnicos e científicos editora (1991), parágrafo 41-9, página 103.

[19] <http://www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/labs/lab4a.htm>

[20] A. Gilbert, "Origens Históricas da Física Moderna"
- Introdução Abreviada - Fundação Calouste Gulben-

kian/Lisboa - novembro de 1982 - pp. 346-354.

[21] I.H. Vuolo, *Fundamentos da Teoria dos Erros*, Edgard
Buchen Ltda, pp. 120-126, (1992).