

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin
Disciplina F 609 – Tópicos de Ensino de Física I
Professor José Joaquín Lunazzi

Espectrômetro



Aluno: Luiz Roberto Belatini Junior ra: 044933

e-mail: betinhohlw@gmail.com

Orientador: Rogério Menezes

e-mail: rma@ifi.unicamp.br

Resumo:

Uma maneira comum para dispersão de cores é incidir luz em um prisma. Mas incidir luz em uma rede de difração é uma escolha mais adequada. Tal dispositivo é composto de ranhuras estreitas e muito próximas umas das outras. Quando a luz é difratada na superfície do CD, cada feixe de luz, com diferentes comprimentos de onda, é difratado com diferentes desvios angulares. Tal fato nos possibilita ver o espectro com diferentes cores. Uma rede de difração de fácil acesso é o CD (Compact Disk), onde as trilhas (onde são codificados os sons e arquivos) funcionam como uma rede de difração devido à largura e comprimento de tais.

Neste trabalho, montamos um espectrômetro utilizando um CD e com isso pudemos comprovar a separação das linhas espectrais.



Figura 1: separação espectral

Também utilizamos uma montagem para visualizarmos as linhas de Fraunhofer.

Palavras-chave: espectrômetro, rede de difração, Fraunhofer, dispersão.

Sumário:

1 – Introdução.....	11 - 4
2 – Construção	11 - 6
2.1 - Construção com caixa fechada.....	11 - 6
2.2 – Construção sem caixa para visualização das linhas de Fraunhofer.....	11 - 8
3 - Espectros contínuos e espectros de riscas.....	11 - 17
4 – O CD.....	11 - 18
5 – Redes de difração.....	11 - 20
6 – Dispersão.....	11 - 23
7 – Resolução.....	11 - 24
8 - Linhas de Fraunhofer.....	11 - 25
9 - Conclusão.....	11 - 27
10 – Referências.....	11 - 27
11 – Comentários.....	11 - 27
12 – Agradecimentos.....	11 - 28
13 – Anexo.....	11 - 28

1 - Introdução:

Em 1665, quando a peste se espalhou pela Europa, Isaac Newton tinha apenas 23 anos. Devido ao grande contágio da peste, ele foi morar na casa de sua mãe no campo por 1 ano e meio. Neste tempo, Newton dedicou-se aos estudos e com isso, contribuiu muito para a Óptica com suas descobertas.

Newton incidiu um feixe de luz solar em um prisma (figura 1.1), que, após passar pelo prisma, era “dividida” em várias cores do violeta ao vermelho (figura 1.2). Isto era observado quando tal distribuição de luz era projetada sobre uma parede oposta.



Figura 1.1: Newton incidindo luz em um prisma

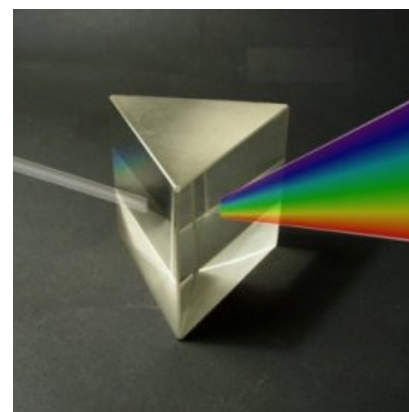


Figura 1.2: dispersão no prisma

Newton escreveu que "Foi muito agradável observar as cores vivas e intensas, mas logo tratei de examiná-las com cuidado". Concluiu que a luz solar era composta de todas as luzes de cores visíveis e o que o prisma faz é separar tais cores, sendo a violeta a mais desviada e a vermelha a menos. Mas Newton precisava comprovar isto. Então ele posicionou um segundo prisma colocado de maneira contrária ao primeiro, fazendo com que a luz que atravessava o primeiro prisma incidisse no segundo (figura 1.3). Com isso ele pode observar que a luz resultante do segundo prisma era a luz branca solar.

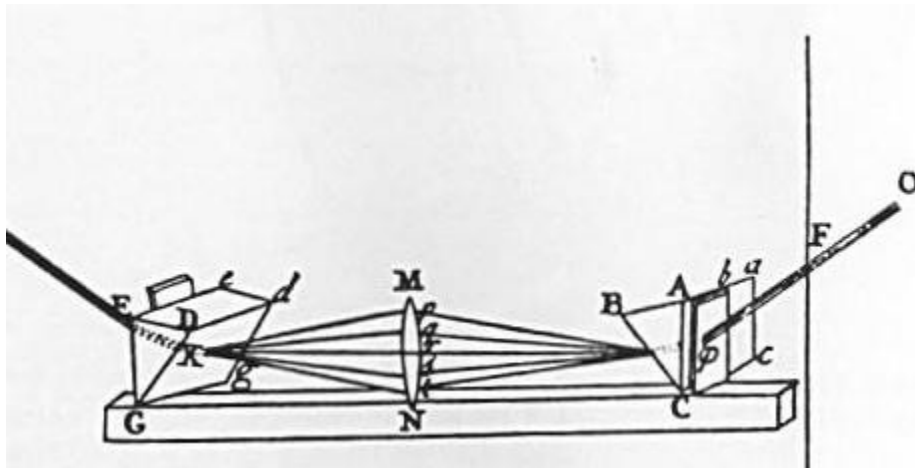


Figura 1.3: Esquema do experimento de Newton

Mas ainda era necessário verificar se cada cor separada incidida em um outro prisma poderia se dispersar em outras cores. Foi então que Newton fez a luz proveniente do primeiro prisma incidir em um cartão com um orifício, onde neste ele deixaria atravessar apenas uma cor (por exemplo, a amarela). Tal luz era incidida em um outro prisma. A luz resultante foi observada e concluiu-se que esta não sofreu nenhuma modificação a não ser em sua trajetória (figura 1.4).

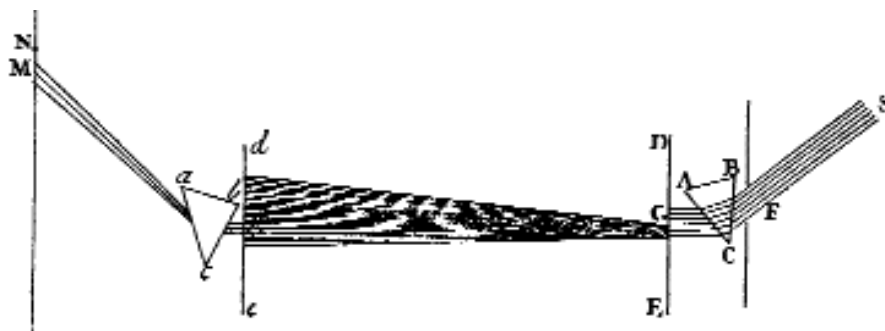


Figura 1.4: um feixe de luz solar passa através de um primeiro prisma e atinge um anteparo com um pequeno furo, de modo que uma única cor passe através dele. Este feixe secundário atinge um segundo prisma

A separação da luz que atravessava o primeiro prisma foi chamada de “Espectro de Luz Solar”. Muitos livros dizem que tal espectro é composto de apenas seis tipos de cores

visíveis (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta) devido a dificuldade de observação de outros tipos de cores.

Tal separação das cores pode ser obtida através de um prisma ou por meio de outro dispositivo chamado de rede de difração. Uma rede de difração é uma lâmina contendo um número elevado de fendas paralelas entre si. Estas fendas têm a mesma largura e estão espaçadas a intervalos regulares e iguais. Como o uso de prismas é muito comum, iremos mostrar a montagem de um espectrômetro utilizando um CD (figura 1.5), que é uma rede de difração.



Figura 1.5: CD-ROM

2 – Construção:

2.1 – Construção caixa fechada:

Neste experimento utilizamos um CD (rede de difração), para separar as linhas espectrais emitidas por algumas fontes luminosas.

O material utilizado foi:

- Caixa de madeira (3 lados e base)
- Tubo de papelão rígido, retirado do rolo de papel laminado.

- CD
- Tesoura
- Fita dupla face
- Isopor
- Papel cartão

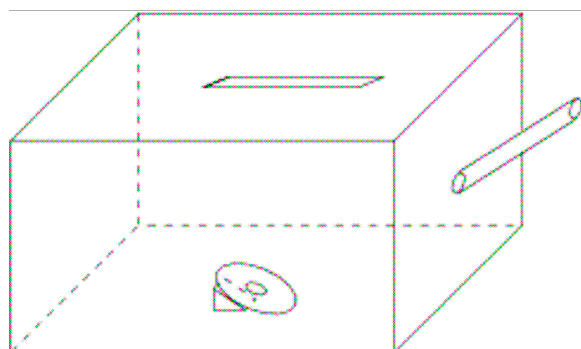


Figura 2.1: Esquema do experimento sobre o Espectrômetro

Primeiramente pregamos as três laterais de madeira na base que também é de madeira. Feito isso, cobrimos com papel cartão a parte de trás e a parte superior da caixa utilizando a fita dupla face. Depois disso estudamos o melhor valor da cunha que serviu de base para o CD dentro da caixa para uma melhor visualização. A cunha tem forma de triângulo com 10 cm de altura e 16,5 cm de base para que o ângulo θ seja de 60° .

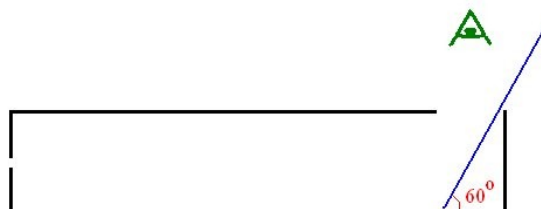


Figura 2.2: figura usada para definir a inclinação do CD e o tamanho da cunha

Após fixar a cunha no centro da caixa e encostada na parede do fundo, fixamos metade do CD, com fita dupla face, em cima da cunha. Então medimos o posicionamento que o CD tinha ficado para poder fazer a abertura em cima da caixa, onde o feixe de luz entrará e

incidirá diretamente no CD. Feito o corte superior, utilizamos isopor para fazer o suporte que iria segurar o tubo de papelão (como mostrado na figura abaixo).



Figura 2.3: suporte para o tubo.

Fizemos dois suportes onde é colocado um tubo de papelão cilíndrico. Na figura acima conseguimos notar apenas um suporte, mas há mais um paralelo a este e feito da mesma maneira. Então fechamos a parte da frente da caixa com papel cartão.

2.2 – Construção sem caixa:

Material utilizado:

- Duas barras finas de metal.
- Duas placas de acrílico.
- Uma barra metálica com fenda.
- Rebites.
- Furadeira.
- Placa de metal.
- Parafuso.
- Porca.
- Caixa de DVD.
- Caixa de CD.

- “Cotovelo” de metal.
- Tripé.

Para conseguir visualizar as linhas de Fraunhofer, foi montado um aparato sem a utilização da caixa. Para tanto, utilizamos uma fenda em uma placa metálica. Tal placa deveria ter um tamanho para que não deixasse a luz solar incidir diretamente no CD.



Figura 2.2.1 – Placa metálica com fenda vista.

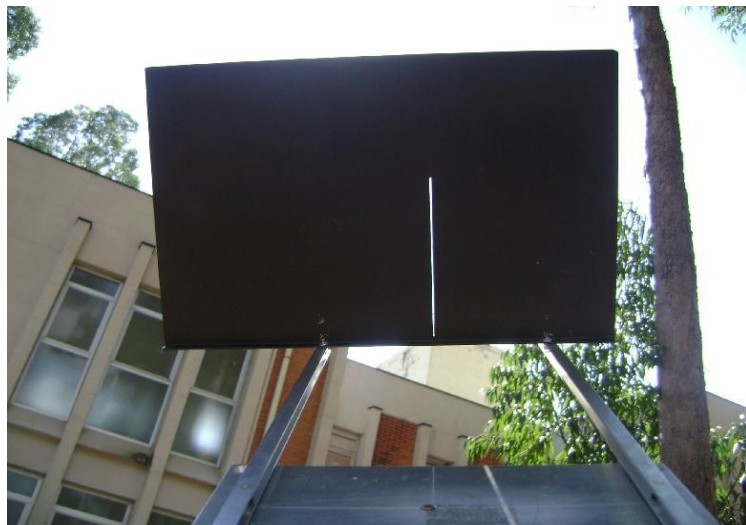


Figura 2.2.2: Placa metálica com fenda.

Então, utilizando rebites, prendemos a fenda em duas barras finas metálicas. Feito isso, uma pequena placa de acrílico foi fixada na extremidade oposta à fenda, neste processo foi utilizado rebites também. Esta placa de acrílico servirá como base para a rede de difração (no caso, o CD). Então, para o sistema ficar com maior rigidez, bem no centro das duas extremidades (fenda – placa de acrílico), foi fixada outra placa de acrílico.

Agora era necessário fixar o CD de tal modo que ele fique 90° com a base de acrílico. Então, a caixinha de DVD foi cortada na parte onde não há encaixe para DVD, para que fosse possível girar a caixinha sem atrapalhar o observador. Mas, como o sistema todo não é feito em uma caixa, há muita luminosidade refletindo ao redor. Para minimizar tais reflexos, foi fixada uma caixinha de CD para não deixar as luzes laterais atrapalharem a visualização. Então, utilizando o “cotovelo” metálico, dois parafusos e duas porcas, foram fixadas as caixinhas, e estas na base metálica. Tal fixação permite que o observador gire a caixinha de DVD, mudando o ângulo de visualização e permite também que ele movimente a parte preta da caixinha de CD para diminuir os reflexos laterais.



Figura 2.2.3: Caixinhas de DVD e CD fixadas na base.

Então, o CD foi colocado no encaixe de DVD.



Figura 2.2.4: CD fixado na caixinha de DVD.

Com todo o sistema montado, foi calculado o Centro de Massa do sistema todo. Foi necessário tal cálculo, pois o sistema irá ser colocado em um tripé. Depois de calculado o CM (centro de massa), uma placa metálica foi rebitada de tal maneira que o furo (que será utilizado para encaixar no tripé) ficasse exatamente do CM. Depois todo o sistema foi colocado sob o tripé. O tripé é utilizado para poder inclinar todo o sistema na direção do sol. Assim, a luz solar atravessa a fenda, incide no CD. O observador gira o conjunto que contém o CD para conseguir visualizar o espectro solar e as linhas de Fraunhofer.



Figura 2.2.5: Sistema no tripé inclinado para o Sol.



Figura 2.2.6: Sistema no tripé.



Figura 2.2.7: Sistema no tripé.



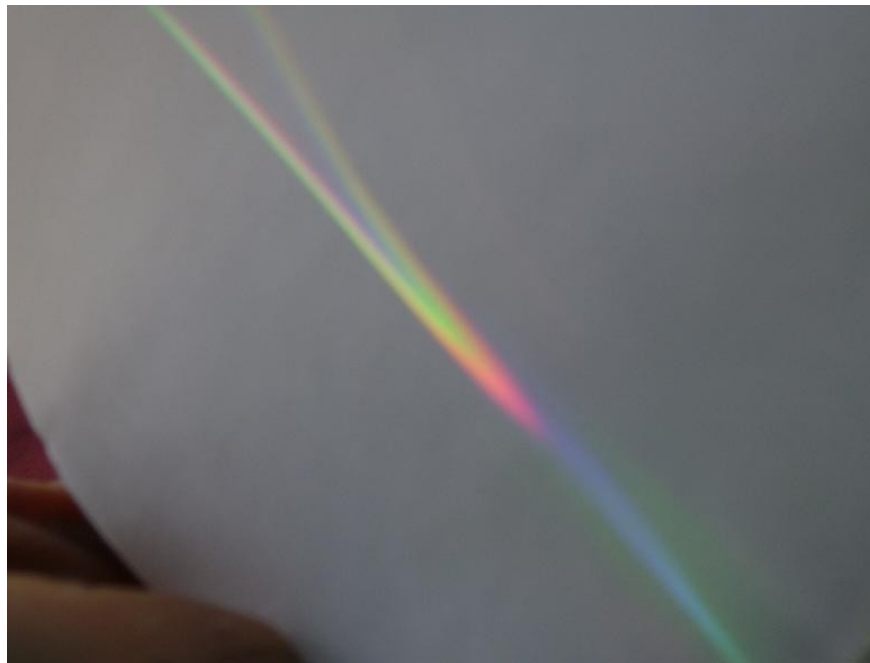
Figura 2.2.8: Sombra da placa metálica. Observe que não vemos a sombra das caixinhas.



Figura 2.2.9: Sistema no tripé.

Na projeção das cores, colocamos uma folha em branco como se fosse um anteparo e, com isso, foram obtidas tais imagens.





Figuras 2.2.10: projeção das cores em um anteparo.

Então, houve várias tentativas para fotografar as linhas de Fraunhofer. Infelizmente, devido a grande quantidade de luz e de reflexos ao redor, não foi possível a obtenção das imagens. Mas com tal experimento é possível visualizar as linhas!

Sabendo que funciona para ver as famosas linhas de Fraunhofer, o aparato foi testado para mais dois tipos de lâmpadas. Primeiramente testado para lâmpada de mercúrio e depois para lâmpada de sódio, ambos possuem espectro de risca. Com tal teste, foram observadas as imagens a seguir.

Lâmpada de mercúrio:



Figuras 2.2.11: linhas espectrais do mercúrio.

Lâmpada de Sódio:



Figura 2.2.12: linhas espectrais do sódio.

3 – Espectros contínuos e espectros de riscas:

Espectro contínuo é o espectro emitido por materiais sólidos incandescentes, ou seja, um metal aquecido, por exemplo, emite um espectro contínuo. O espectro contínuo visível possui todas as cores dentre as quais o ser humano consegue enxergar. Várias estrelas, como, por exemplo, o nosso Sol, emitem espectros contínuos nos quais as cores se fundem umas nas outras, estando a cor vermelha em uma das extremidades e a cor azul na outra extremidade.

Espectro de riscas é um espectro constituído por riscas definidas, correspondendo cada uma delas a um comprimento de onda particular. O espectro de emissão é criado quando a luz proveniente de uma fonte incandescente passa através de um gás mais frio que absorve fótons. Cada molécula e elemento diferente absorvem a luz em um conjunto único de frequências. O espectro de absorção consiste de linhas de absorção escuras superpostas sobre um espectro contínuo brilhante. É um espectro descontínuo, mostrando bandas brilhantes discretas, que é emitido por átomos ou moléculas. É característico dos elementos

químicos que estão emitindo os fótons. Quando aquecidos, os compostos e elementos individuais frequentemente liberam uma ou dúzias de linhas de emissão. A lâmpada econômica ou lâmpada fria é um exemplo de espectro de riscas.

4 - O CD:

CD são as iniciais da expressão inglesa para disco compacto. A palavra “compacto” se refere ao fato de que esse tipo de disco armazena muito mais dados (ou informações) do que um disco de vinil.

Os CD's são feitos de plástico (policarbonato) com 1,2 mm de espessura. Os mais comuns são os CD's de 12 cm de diâmetro, com capacidade de 74 minutos de áudio e 650 MB de dados, e os de 8 cm de diâmetro, com capacidade de 21 minutos de áudio e 180 MB de dados.

No centro do disco existe um orifício de 1,5 cm de diâmetro onde se encaixa um prolongamento do eixo do motor de tracionamento para fazer girar o disco.

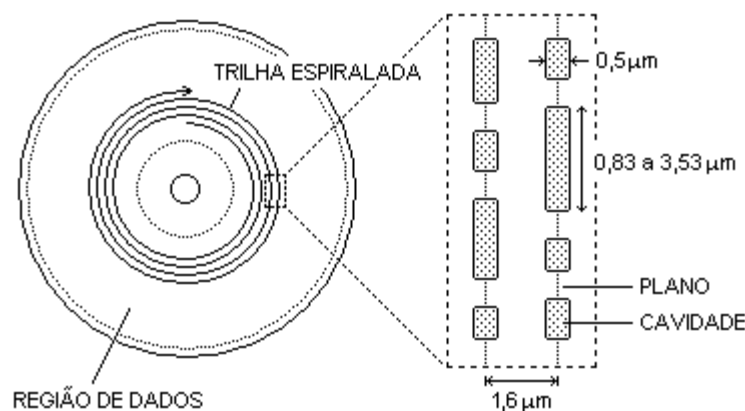


Figura 4.1: Trilha ótica do CD

Os dados são codificados com cavidades microscópicas (pits) separadas por regiões planas (lands), colocadas ao longo de uma única trilha contínua, muito longa e na forma de uma espiral, com início nas proximidades do centro do disco.

Nesse contexto, a unidade de medida de comprimento mais apropriada é o micrômetro, que vale um milésimo de milímetro:

$$1\text{mm} = 10^{-6}\text{m}$$

As cavidades têm cerca de 0,5 mm de largura e $\frac{1}{4}$ dessa medida de altura. O comprimento é variável e codifica os dados. O comprimento mínimo é de cerca de 0,83 mm. As cavidades e, portanto, os segmentos adjacentes da trilha em espiral, estão separados lateralmente por uma distância de cerca de 1,6 mm.

As dimensões microscópicas das cavidades e dos planos entre elas são da ordem de grandeza dos comprimentos de onda das radiações eletromagnéticas visíveis e, por isso, a difração produz efeitos visuais quando se olha para a face gravada de um CD.

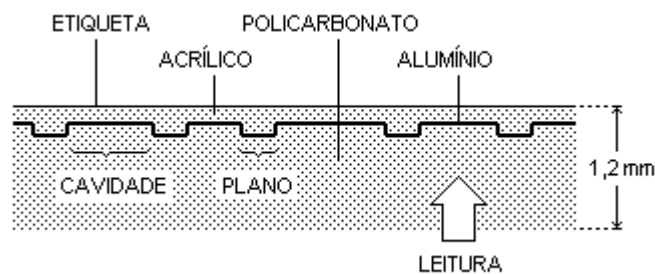


Figura 4.2: Figura ilustrativa das trilhas vista lateralmente

O disco de plástico (policarbonato) é feito a partir de um molde. Uma vez moldado o disco de plástico, uma película metálica refletora (de alumínio e, mais raramente, de prata ou ouro) com espessura de 0,05 a 0,10 mm é vaporizada sobre a parte gravada. Sobre esta película metálica e para sua proteção é depositada uma camada de acrílico com espessura de 10 a 30 mm. Finalmente, sobre a camada de acrílico, vai a etiqueta do fabricante. O disco é lido a partir da face oposta à etiqueta.

O CD-R é um disco compacto que pode ser gravado uma única vez. Uma vez gravado, o conteúdo do CD-R não pode mais ser modificado ou apagado e regravado.

Para servir de guia ao sistema de gravação e de leitura, o CD-R vem de fábrica com uma ranhura em espiral desenhada no substrato de policarbonato (como ilustrado na figura 3.1). Neste experimento utilizamos o CD-R de 12 cm de diâmetro.

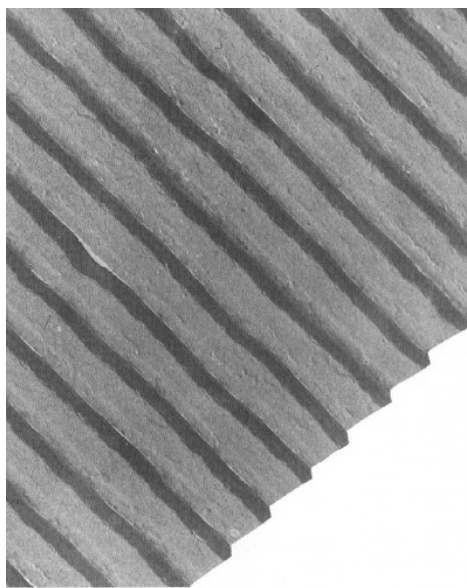


Figura 4.3: Rede de difração com ampliação de 18.000 vezes

5 - Redes de difração:

Um dos melhores dispositivos para o estudo da luz e dos corpos que emitem e absorvem luz. Tal dispositivo utiliza um número muito alto de fendas (ranhuras), podendo chegar a milhares por milímetro. A luz incide nas fendas, após isto são formadas franjas de interferência usadas para determinar o comprimento de onda. Devido ao grande número de fendas, se incidirmos uma luz monocromática na rede, os máximos serão muito estreitos se compararmos a uma difração simples de apenas duas fendas.

Para determinar as posições dos máximos e mínimos na tela de observação, temos que supor que a tela esteja afastada o bastante para que os raios que cheguem a um ponto P sejam paralelos ao deixarem a rede.

Denomina-se d a distância entre as ranhuras, também conhecido como espaçamento da rede. Se tivermos N ranhuras ocupando uma largura W , então temos que $d = W/N$. A diferença entre as distâncias percorridas por raios vizinhos é de $d \sin \theta$, onde θ é o ângulo entre o eixo central da rede e a reta que liga a rede ao ponto P.

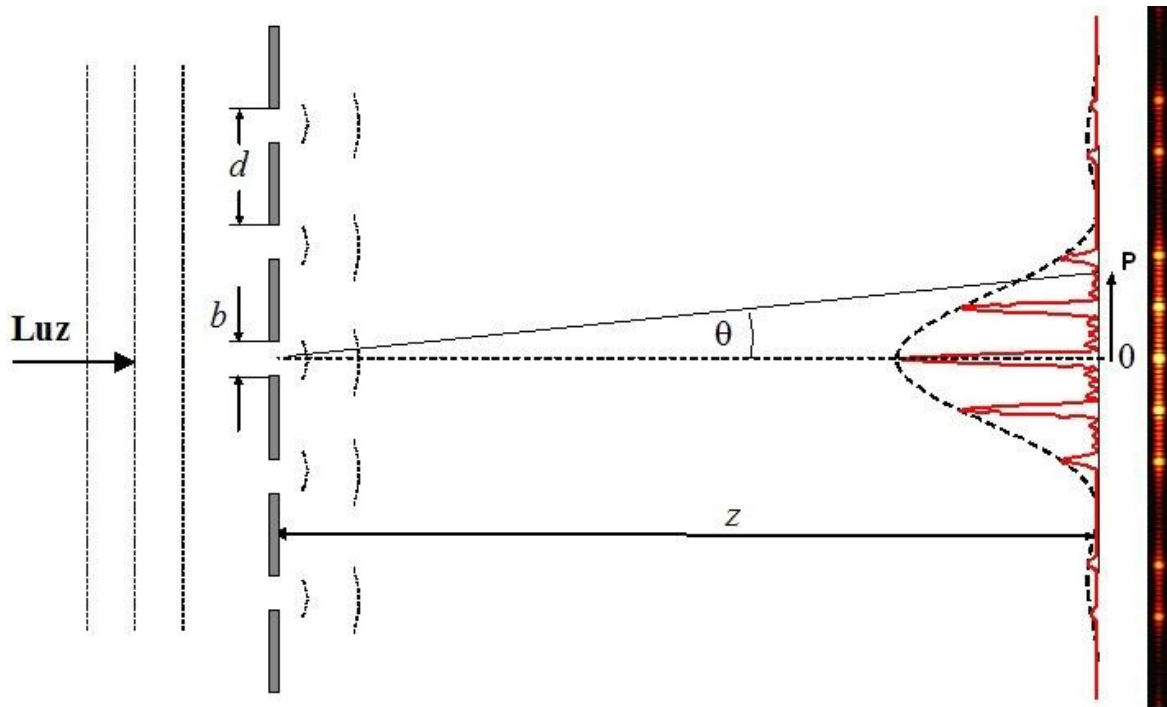


Figura 5.1: Esquema de uma Rede de Difração.

Teremos uma linha em P se a diferença entre as distâncias percorridas por raios vizinhos for igual a um número inteiro de comprimentos de onda. Sendo assim, obtemos a seguinte equação:

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad (1)$$

para $m = 1, 2, 3, \dots$. Onde λ é o comprimento de onda da luz. Exceto para $m = 0$, cada número inteiro corresponde a duas linhas diferentes, simetricamente dispostas em relação à linha central. Dessa maneira, as linhas podem ser rotuladas de acordo com o valor de m . Tal valor é chamado de número de ordem e a linha para $m = 0$ é chamada de linha de ordem zero. Para $m = 1$ denomina-se linha de ordem 1, e assim por diante.

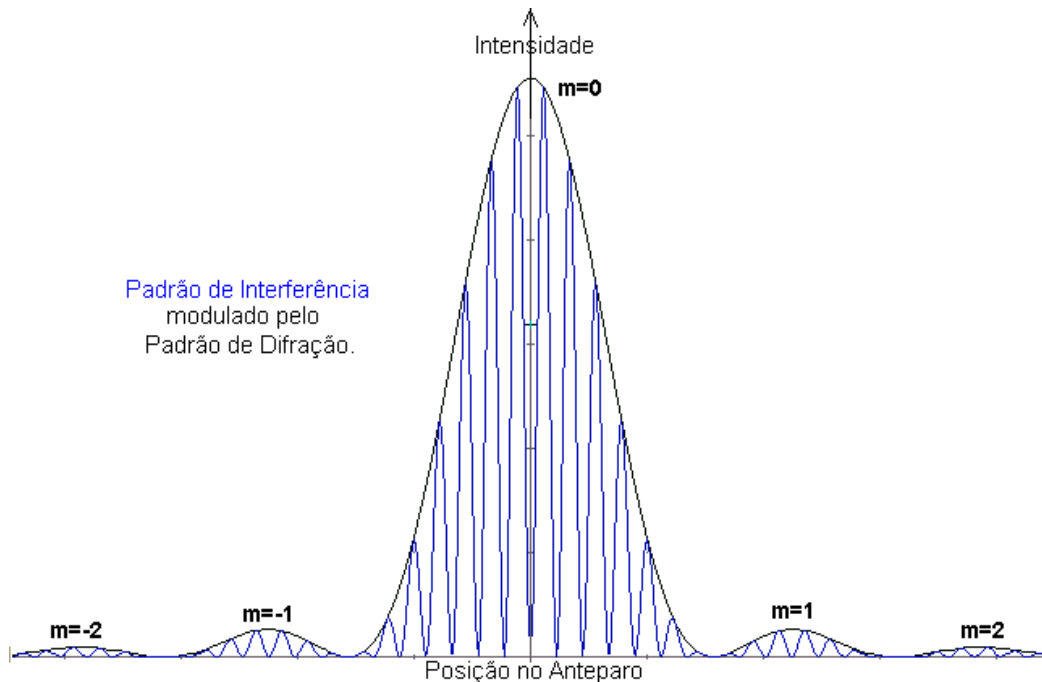


Figura 5.2: Padrão de Interferência.

Reescrevendo a equação (1) temos:

$$\theta = \text{sen}^{-1}(m\lambda / d) \quad (2)$$

Assim, podemos observar que o ângulo entre o eixo central e qualquer linha (primeira, segunda,...ordem) depende do comprimento de onda da radiação utilizada. Dessa maneira, se incidirmos uma luz de comprimento de onda desconhecido, de acordo com a posição das linhas, podemos calcular seu comprimento de onda utilizando a equação (1).

Mesmo utilizando uma luz que possua uma mistura de vários comprimentos de onda, pode ser analisada dessa forma.

A capacidade de separação das linhas depende diretamente com a largura das linhas. Vamos obter uma expressão para a meia-largura da linha central ($m = 0$) e assim, mostrar sem dedução uma expressão para as demais linhas. A meia-largura da linha central é definida com o ângulo $\Delta\theta_{ml}$ entre o centro da linha e o primeiro mínimo de intensidade. No mínimo, os N raios provenientes de N ranhuras da rede se cancelam mutuamente. Utilizando a equação $a \text{sen} \theta = m\lambda$, onde $a \text{sen} \theta$ é a diferença das distâncias percorridas

pelo raio superior e o raio central no caso de difração por uma fenda, agora para uma grade N ranhuras, cada uma separada da vizinha por uma distância d, a distância entre as ranhuras situadas nas extremidades da rede é dada por Nd. Daí temos que a diferença das distâncias percorridas pelos raios que saem das extremidades da rede é $Nd \sin \Delta \theta$. Dessa maneira, o primeiro mínimo ocorre para:

$$Nd \sin \Delta \theta_{ml} = \lambda \quad (3)$$

Como $\Delta \theta_{ml}$ é pequena, podemos aproximar $\sin \Delta \theta_{ml}$ para $\Delta \theta_{ml}$. Fazendo tal aproximação na equação (3) temos:

$$\Delta \theta_{ml} = \lambda / Nd \quad (4) \text{ (meia-largura da linha central)}$$

Então, sem demonstração, a meia-largura das outras linhas em função da sua posição em relação ao eixo central é:

$$\Delta \theta_{ml} = \lambda / Nd \cos \theta \quad (5) \text{ (meia-largura da linha central em } \theta \text{)}.$$

Assim, observando a fórmula, se tivermos um grande número de ranhuras, teremos uma melhor separação dos diferentes comprimentos de onda da radiação incidente, já que as linhas de difração serão mais estreitas e então ocorrerá menos superposição.

6 – Dispersão:

Para poder separar comprimentos de onda próximos, uma rede de difração espalhará as linhas de difração associadas aos vários comprimentos de onda. Uma rede de difração muito comum é o CD. Suas ranhuras possuem $0,5 \mu m$ de largura, devido a tal fato, este tem

um comportamento de uma rede de difração. O espalhamento dado pelo CD é conhecido como dispersão e é definido por

$$D = \Delta \theta / \Delta \lambda \quad (6)$$

onde $\Delta \theta$ é a separação angular entre duas linhas cujos comprimentos de onda diferem de $\Delta \lambda$. Utilizando a equação que permite calcular a posição das linhas em uma rede de difração $d \sin \theta = m \lambda$ (equação (1)). Sendo θ e λ variáveis e, diferenciando ambos os membros da equação temos:

$$d \cos \theta = m d \lambda \quad (7)$$

Para pequenos ângulos, os infinitésimos podem ser substituídos por diferenciais. Sendo assim temos:

$$d \cos \theta \Delta \theta = m \Delta \lambda \quad (8)$$

ou

$$\Delta \theta / \Delta \lambda = m / d \cos \theta \quad (9)$$

onde $\Delta \theta / \Delta \lambda$ é D e sua unidade é grau por metro no SI.

Assim, para obter uma maior dispersão, deve usar uma rede com um espaçamento d menor entre as ranhuras e trabalhar com ordens maiores m de difração.

7 - Resolução:

Para distinguir linhas muito próximas, ou seja, para resolver tais linhas, é preciso que elas sejam suficientemente estreitas. Uma alta resolução é definida por:

$$R = \lambda_{\text{méd}} / \Delta \lambda \quad (10)$$

onde $\lambda_{\text{méd}}$ é a média dos comprimentos de onda de duas linhas que mal podem ser distinguidas e $\Delta \lambda$ é a diferença de seus comprimentos de onda. Quanto maior o valor de R, mais próximas podem estar duas linhas sem que não seja impossível distingui-las. Para

demonstrar a equação da resolução é preciso que a separação angular das linhas correspondentes seja igual à meia-largura, que é dada por:

$$\Delta \theta_{ml} = \lambda / Nd \cos \theta$$

Fazendo $\Delta \theta$ igual a este valor e utilizando a equação (8), obtemos:

$$\lambda / N = m \Delta \lambda$$

ou

$$R = \lambda / \Delta \lambda = Nm \quad (11)$$

onde R é a resolução.

Assim, para obter uma maior resolução, devemos usar um número N de ranhuras grande e trabalhar com ordens maiores de difração.

8 - Linhas de Fraunhofer:

Joseph Fraunhofer era um físico que trabalhava numa grande vidraria e fábrica de instrumentos científicos.



Figura 8.1: Joseph Fraunhofer

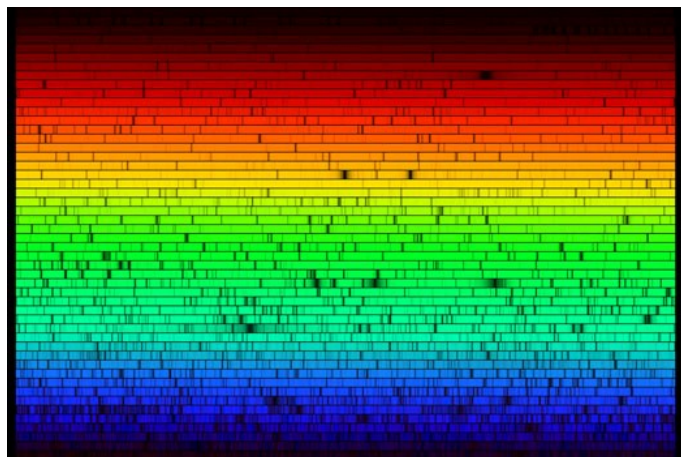


Figura 8.2: Linhas de Fraunhofer

Procurando melhorar as objetivas das lunetas astronômicas, ele se dedicara ao estudo dos desvios dos raios luminosos (refração) e dos primas (cristais com duas faces inclinadas, capazes de decompor a luz). Repetindo as experiências de Newton, ele acrescentou ao prisma uma luneta que recebendo os feixes coloridos da luz, deu uma visão bem mais nítida do espectro. Deste modo descobriu, em 1814, que o espectro da luz solar, onde todas as cores estão presentes, é cortado por inúmeras linhas escuras, hoje denominadas “linhas de Fraunhofer”. Provou que o fenômeno devia-se a uma propriedade do espectro solar e não a uma imperfeição do aparelho que construía. Também mediu as posições relativas das linhas, designando-as por letras que são mantidas até hoje. Elaborou, assim, uma carta do espectro solar.

Nas mais de 600 linhas que Fraunhofer estudou, ele observou que suas posições eram constantes para o mesmo espectro de um dado elemento químico, quaisquer que fossem as fontes de luz utilizadas para a obtenção do espectro, isto é, luz solar direta do Sol, ou refletida pela Lua ou pelos planetas, por um gás, ou por um metal aquecido.

As linhas de Fraunhofer, ou espectro de Fraunhofer, são de suma importância para a pesquisa da composição de corpos celestes que emitem energia eletromagnética. O fenômeno ocorre porque os fótons podem ser absorvidos por um átomo causando o salto de um elétron de um orbital para outro. Cada salto, chamado também de excitação, é associado com um comprimento de onda específico. Através do estudo de absorções do espectro eletromagnético luminoso visível podemos ver nas regiões ou camadas frias do exterior da superfície solar a evidência de átomos de muitos elementos.

Os vários átomos dos gases das camadas exteriores do Sol agem como filtro para a luz emitida de regiões mais profundas, mais quentes e mais densas; analisando a luz absorvida e comparando-a com tabelas de cores levantadas em experimentos de laboratório na Terra, é possível ler a assinatura do átomo que serviu como um filtro, identificando a composição dos elementos estudados. Deste modo, é possível obter informações sobre a composição elementar do Sol ou de qualquer outro astro onde se faz este tipo de leitura.

Ao analisar a luz proveniente de outros corpos celestes, constatou que o espectro de Vênus é igual ao do Sol, o que, aliás, já era esperado, uma vez que a luz de Vênus é uma reflexão da luz solar. No entanto, constatou-se que a luz de outras estrelas, como a de Sirius, apresenta um espectro diferente.

9 - Conclusão:

Conclui-se que as construções foram feitas com sucesso, podendo ser utilizadas em aula, tanto no ensino médio quanto no ensino superior, para a complementação da teoria de redes de difração e composição espectral de um feixe de luz. A primeira montagem buscou a visualização de espectros em geral, enquanto que o grande objetivo da segunda montagem era a visualização das linhas de Fraunhofer, o que foi possível mas que, infelizmente, não conseguimos fotografar.

10 – Referências:

- Fundamentos da Física, Vol. 4, Halliday, Resnick e Walker. 4a edição.
- Curso de Física Básica, Vol 4, H. Moysés Nussenzveig.
- Fundamentos da Física, Vol2, Ramalho, Nicolau e Toledo.
- <http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html> [espectrômetro construído de maneira diferente]
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Spectrometer> [o que é um espectrômetro]
- <http://www.seara.ufc.br/sugestoes/fisica/oti11.htm> [rede de difração doméstica]
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_078.asp [dispersão no prisma e no disco]
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel [espectro visível de luz]
- <http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/moluz.html> [comportamento da luz]
- <http://www.ufsm.br/gef/DC.htm> - item07 [explicação sobre CD's, gravação e leitura]
- <http://br.geocities.com/tcosite/artigo1.html> [vida útil e qualidade dos CD's]
- <http://www.hotreference.com/estrozi/Fraunhofer.htm> [Vida de Fraunhofer]

11 – Comentários:

Meu orientador, o Prof. Rogerio Menezes de Almeida concorda com o expressado neste relatório final e deu a seguinte opinião:

“O estudante mostrou-se bem preparado e motivado para a construção do experimento. Aliando interesse, criatividade e destreza com a montagem experimental, obteve êxito na construção do espectrômetro, que pode, de agora em diante, ser utilizado como apoio ao conteúdo de aula de física, tanto no ensino médio quanto no ensino superior.”

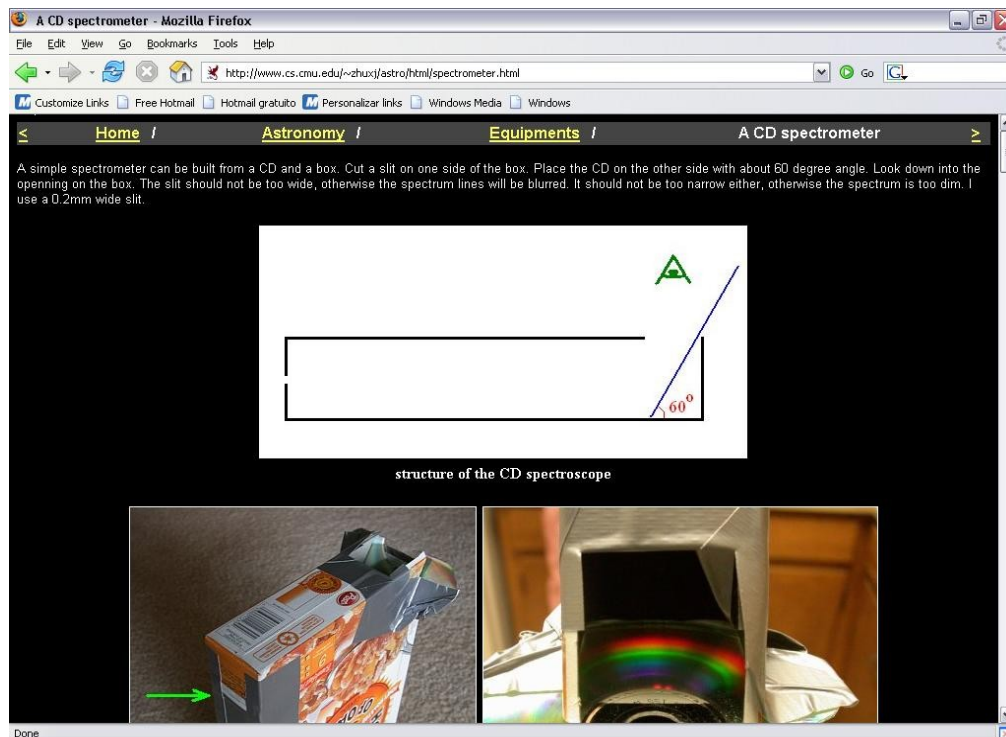
12 – Agradecimentos:

Gostaria de agradecer meu orientador, Rogério Menezes de Almeida, pela vontade em me ajudar na construção do projeto, pela amizade criada, pela paciência mesmo quando não estava dando certo o que tínhamos planejado.

Quero agradecer também o professor José Joaquín Lunazzi pela idéia da montagem sem caixa para a visualização das linhas de Fraunhofer, agradecer por estar sempre à disposição, e pela ajuda com equipamentos e construção do projeto.

13 – Anexo:

<http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html>



A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

my cereal box spectroscope (arrow: the slit) viewing the spectrum

Let's look at the spectra of some common light sources. All photos by the authors with a Nikon coolpix 995 camera.

(1a) afternoon sun, altitude 24 degrees (1b) setting sun, altitude 0.5 degree

(1c) high Sun spectrum (1d) low Sun spectrum

Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

(1c) high Sun spectrum (1d) low Sun spectrum

(1) Solar spectrum is continuous with dark lines, i.e. the famous Fraunhofer lines. Several Fraunhofer lines can be seen with this simple spectroscope (1c, 1d): C line in dark red (H-alpha, 656nm), orange D(Na,589nm), green E(Fe,527nm) and b1,b2(Mg,518nm), blue F(H-beta, 486nm), purple G(Fe and Ca, 431nm).

Interestingly the solar spectrum changes with the Sun's altitude! As the Sun is lower its light passes more Earth atmosphere. Comparing (1c) and (1d) we found a new dark line 'a' in red (molecular oxygen in Earth's atmosphere). Who can tell me what the dark band under D is?

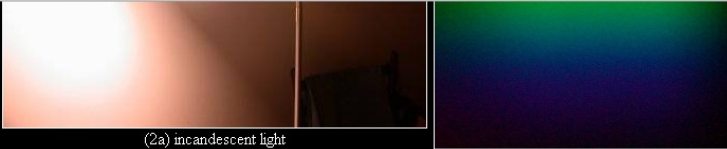
Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

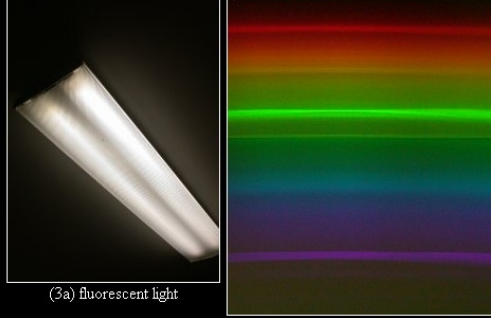
Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows



(2a) incandescent light

(2b)

(2) Incandescent light is typical black body radiation, with continuous spectrum. No black lines. Same with tungsten halogen lamp.



(3a) fluorescent light

(3b)

(3) Fluorescent light has mercury gas emitting (mostly) ultraviolet light, which activates phosphor. The latter emits broad band visible light. Therefore we see bright mercury spectrum lines, most obviously green 546nm, on a continuous background.

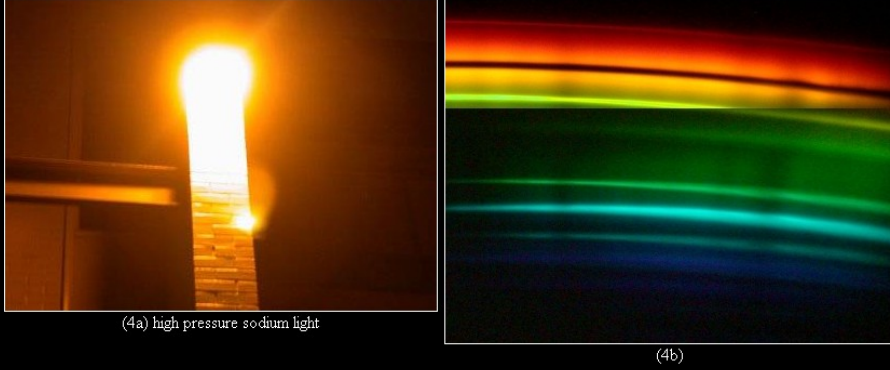
Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

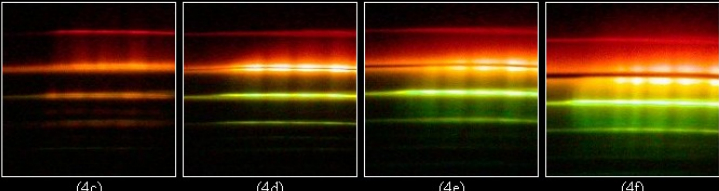
http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows



(4a) high pressure sodium light

(4b)



(4c) (4d) (4e) (4f)

(4) The spectrum of high pressure sodium lights changes too! When the lamp is just on, there are several bright spectrum lines including yellow sodium at 589nm (4c). In a few seconds as the light gets brighter, the yellow line becomes wider, and a thin dark gap emerges at the center (4d, 4e). After the lamp stabilizes, cooler sodium vapor absorbs light at 589nm, and we see a thick gap (4f, 4b). Note the camera settings for (4c-f) are the same.


Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

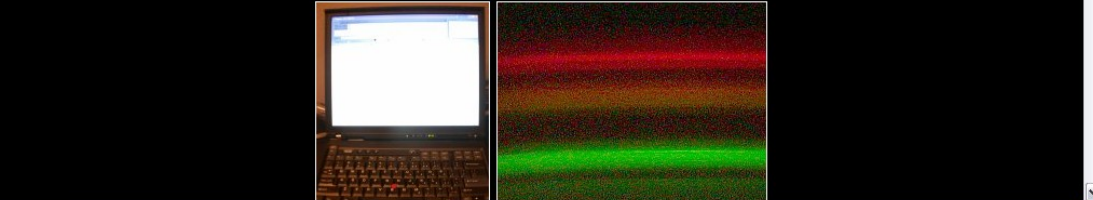
Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows



(5a) computer display

(5b)

(5) Spectrum of white screen on a computer display.



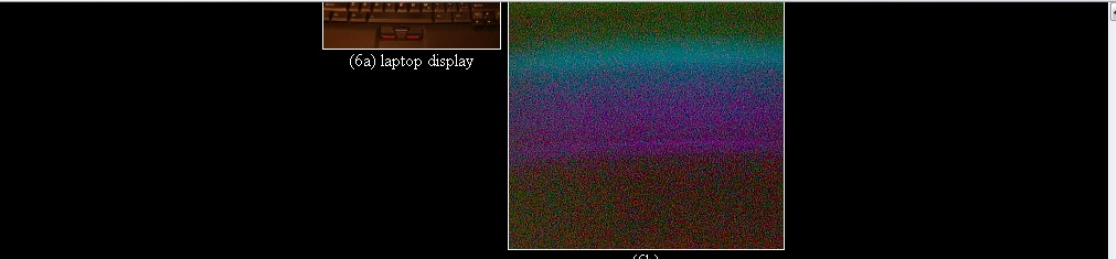
Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

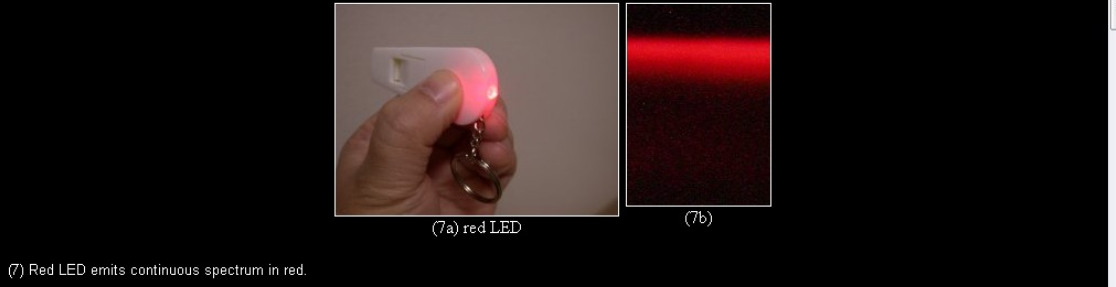
Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows



(6a) laptop display

(6b)


(6) Laptop display is different from a CRT display.



(7a) red LED

(7b)

(7) Red LED emits continuous spectrum in red.




Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

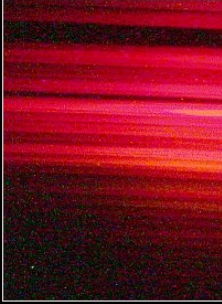
File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows




(8a) neon bulb

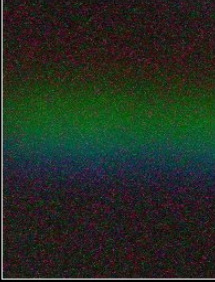


(8b)

(8) Neon bulb has many red and orange discrete bright spectrum lines.



(9a) night light



(9b)

Done


A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help


http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows

(9) The night light uses phosphors and emits a continuous spectrum.

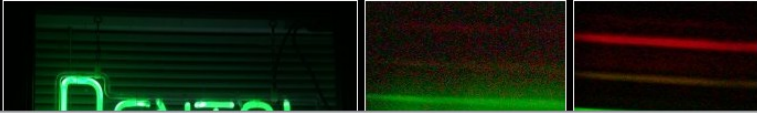


(10a) compact fluorescent light



(10b)

(10) Compact fluorescent light is similar to a normal fluorescent light but with tri-color phosphors. Instead of a continuous background, it emits bright lines of various colors.



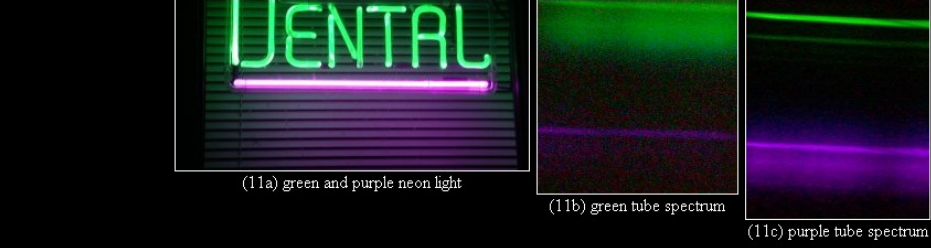
Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows




(11a) green and purple neon light

(11b) green tube spectrum

(11c) purple tube spectrum

(11) The green and purple neon tubes actually contain argon and mercury, with different phosphors produce different color. The mercury line is visible.



(12a) the moon

(12b) use a telescope

(12c) lunar spectrum

Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox

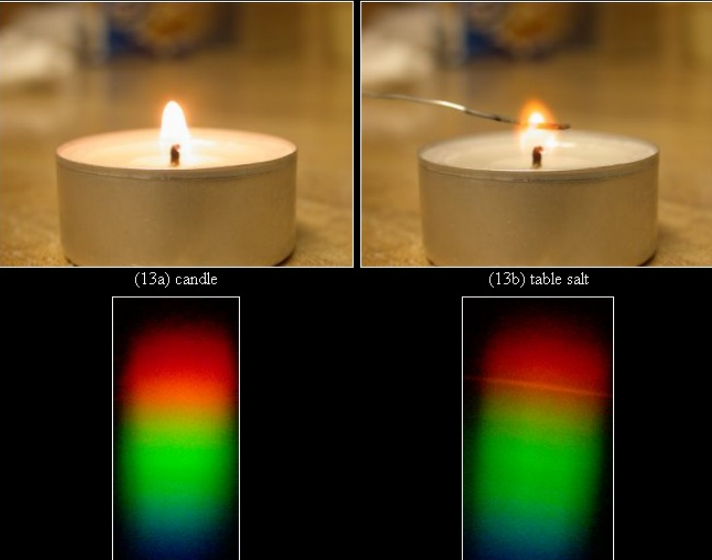
File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows

(12c) lunar spectrum

(12) I took this photo before the total lunar eclipse of 2004 . Moonlight from a full moon was collected with an 8" Dob telescope. The spectroscop was held behind the eyepiece. As moonlight is nothing but reflected sunlight, the spectrum looks the same as a solar spectrum (1). It is continuous with dark absort lines, i.e. the Fraunhofer lines (some of them are marked).



(13a) candle

(13b) table salt

Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox


File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

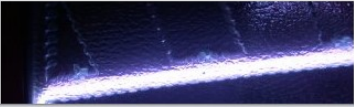

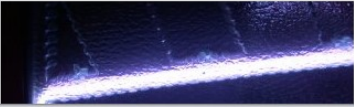
Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows

(13c) candle spectrum (13d) table salt spectrum

(13) Candle light has a continuous spectrum. In the first few seconds after a candle (or a match) is lit, there is also the yellow sodium line which disappears thereafter. If table salt is burnt, the yellow sodium line becomes prominent. The sodium line should be double lines, but this simple device cannot resolve them.



(14a) metal halide lamp

(14b)

(14) Metal halide lamp has a complex spectrum.


Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox


File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

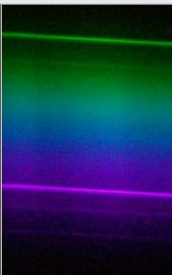
Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows




(15a) blue neon sign



(15c) red neon sign



(15b)



(15d)

(15) The blue neon sign could be a mixture of argon and mercury (or phosphors). The red neon sign truly contains NEON, which is the same as in the neon bulb (®).

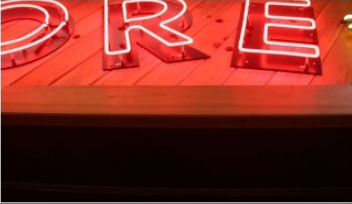
Done

A CD spectrometer - Mozilla Firefox


File Edit View Go Bookmarks Tools Help

http://www.cs.cmu.edu/~zhuxj/astro/html/spectrometer.html

Customize Links Free Hotmail Hotmail gratuito Personalizar links Windows Media Windows



(15c) red neon sign



(15d)

(15) The blue neon sign could be a mixture of argon and mercury (or phosphors). The red neon sign truly contains NEON, which is the same as in the neon bulb (8).

References
[CD spectrometer](#)
[Science Toys](#)
[MiniSpectroscopy](#)
[University of Maryland Physics Lecture-Demonstration Facility](#)
[Neon FAQ](#)

Home / Astronomy / Equipments / A CD spectrometer

Google™ inurl:zhuxj Google Search

Tip: to search within my pages only, keep inurl:zhuxj in your query. For example, inurl:zhuxj venus transit.

All images by Jerry Xiaojin Zhu unless noted otherwise. Feel free to use them for your personal enjoyment. For other usage please contact the author at jerryzhu@gmail.com

Done