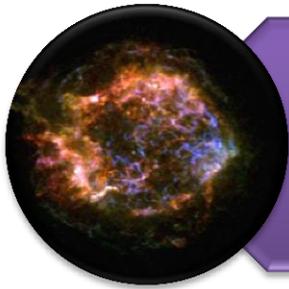




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

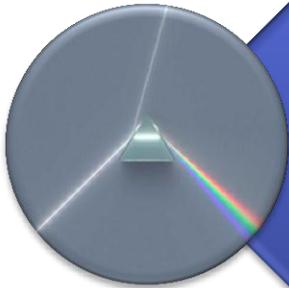
ASTRONOMIA, O CÉU EM NOSSAS MÃOS
ESPECTROSCOPIA

São Cristóvão – SE
2013



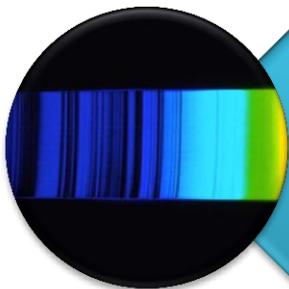
Pré-requisitos:

- Noções de manipulação de imagens no DS9.



Objetivos:

- Apresentar e usar um espectrógrafo caseiro em caixa de fósforo;
 - Extrair um espectro unidimensional de uma luz a partir do bidimensional;
 - Fazer a calibração em comprimento de onda desse espectro.



Ao final da aula o aluno deverá saber:

- Construir um espectro unidimensional usando a ferramenta *projection* do DS9;
- Fazer uma calibração em comprimento de onda um espectro bidimensional.



1. O QUE VEM A SER ESPECTROSCOPIA?

Espectroscopia é o estudo quantitativo da intensidade de luz emitida em cada uma de suas cores componentes, que aparecem quando a luz sofre o fenômeno de dispersão, como ocorre, por exemplo, quando a mesma passa através de um prisma ou de uma rede de difração. À sequência de cores formada damos o nome de *espectro* e à posição relativa de cada uma dessas cores podemos associar a um número chamado cientificamente de *comprimento de onda*. O nome comprimento de onda se deve ao comportamento ondulatório da luz. A luz visível cuja oscilação se repita com uma mesma frequência (ou seja, cujo número de oscilações é igual em um mesmo intervalo de tempo) estimula as células da retina de modo ao cérebro interpretar tal estímulo como uma cor.

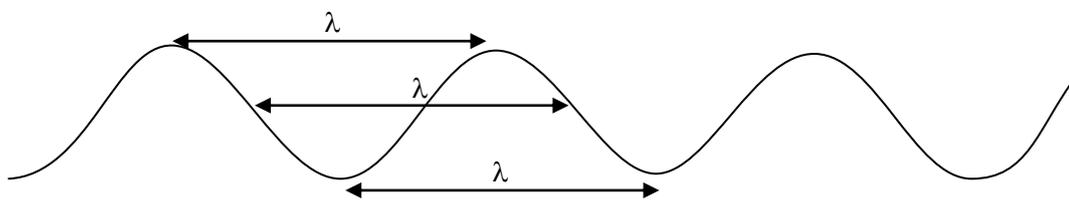


Figura 1: Representação de três maneiras como se pode medir o comprimento de onda λ de uma oscilação.

Apesar de apenas os comprimentos de onda da luz visível estarem associadas às cores, não apenas a luz visível é associada a comprimentos de onda. Sinais de rádio, infravermelho, ultravioleta e raios-X são outros tipos de radiação que têm um comprimento de onda associado, porém que não são visíveis aos nossos olhos.

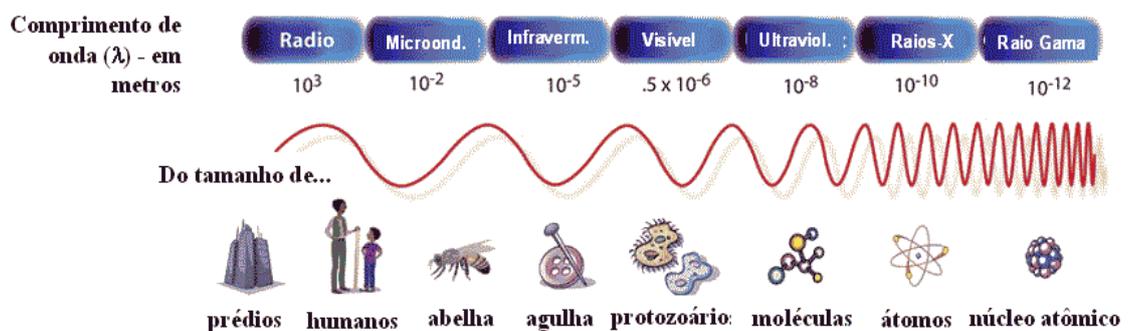


Figura 2: Nome da faixa e valores em metros de diferentes comprimento de onda comparada com o tamanho típico dos objetos representados.

Dessa maneira um espectro é simplesmente quanta luz é recebida em cada comprimento de onda.

Quase toda informação sobre as propriedades das estrelas são obtidas direta ou indiretamente de seus espectros, principalmente suas temperaturas, densidades e composições.



2. DISPERSÃO DA LUZ E LEIS DE KIRCHHOFF.

A luz branca do Sol ao atravessar um prisma, por exemplo, decompõe-se em diversas cores, por isso é denominada *policromática*. A esse fenômeno se dá o nome de *dispersão luminosa*. A característica física de um componente monocromático (mono = uma, chromos = cor) é o *número associado ao seu comprimento de onda* (λ). Cada componente possui determinado comprimento de onda.

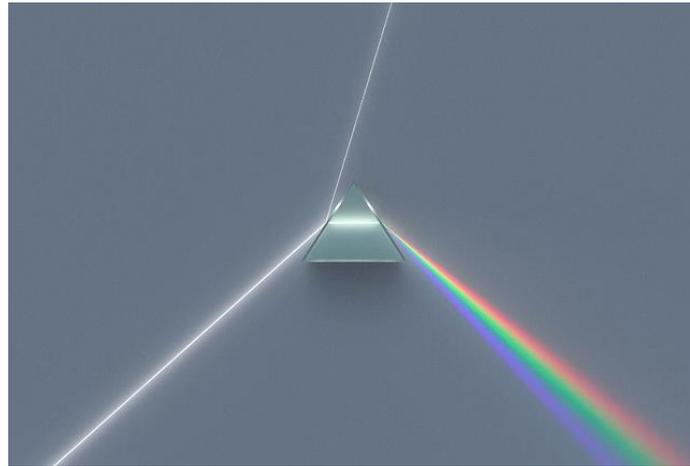


Figura 3: Dispersão da luz em suas cores componentes quando esta atravessa um prisma.

Em 1856, o químico alemão Robert Bunsen (1811-1899) e o seu colaborador mais jovem, o físico Gustav Kirchhoff descobriram que cada elemento químico gerava distintos espectros com uma série de linhas diferentes. Por exemplo, o neônio tinha linhas no vermelho, o sódio tinha linhas no amarelo, e o mercúrio tinha linhas no amarelo e no verde.

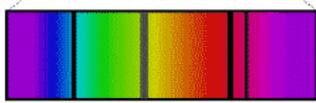
A partir de suas experiências, Kirchhoff formulou três leis empíricas da espectroscopia, descrevendo os espectros esperados em função das condições em que eles são gerados.



1. **Espectro contínuo:** um corpo denso, quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo, ou seja, com todos os comprimentos de onda. Por exemplo, o filamento de uma lâmpada incandescente (sólido), a lava de um vulcão (líquido), uma estrela (gás denso).

2. **Espectro de emissão:** um gás pouco denso e suficientemente aquecido produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). A cor, o número, a intensidade e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás e da quantidade de energia disponível para aquecê-lo. Por exemplo: uma lâmpada fluorescente, lâmpada de neônio, o gás em galáxias espirais.





3. **Espectro de absorção:** se a luz proveniente de um espectro contínuo passar por um gás a uma temperatura mais baixa, ela é observada com um padrão de linhas escuras (linhas de absorção). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás. Por exemplo: atmosfera solar ou estelar de uma forma geral.

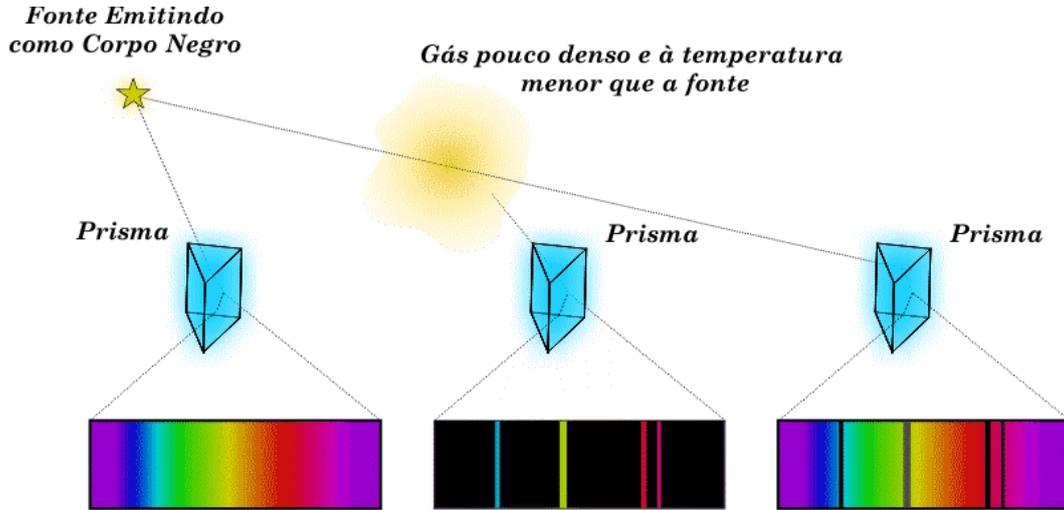


Figura 4: Representação espectral de cada uma das três leis de Kirchhoff, seguindo a ordem da esquerda para direita.

Os espectros como apresentado são conhecidos como espectros bidimensionais. Outra forma de representá-los é como um gráfico da intensidade em função do comprimento de onda.

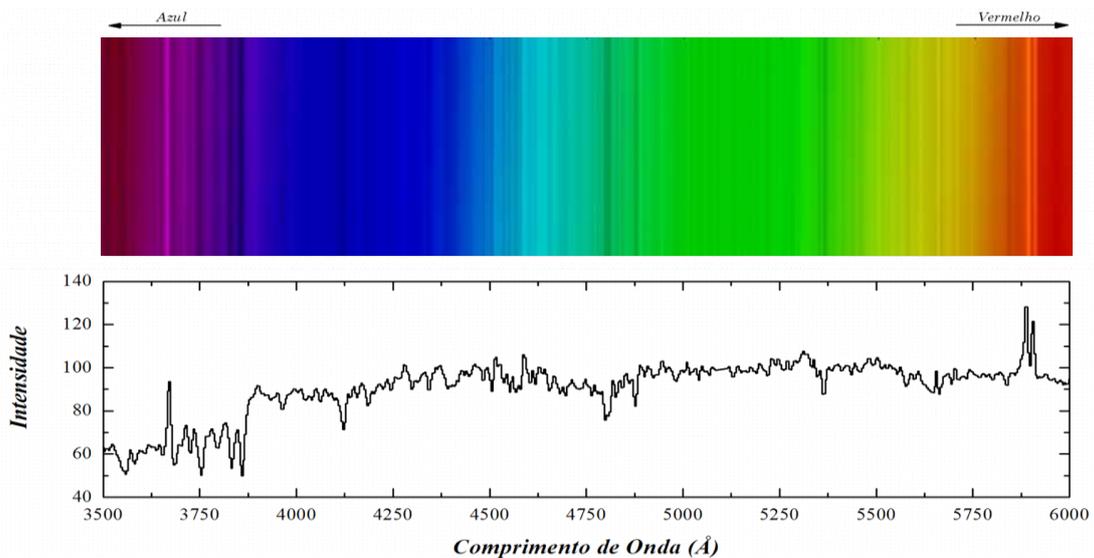


Figura 5: Representação do espectro bidimensional (acima) em um espectro unidimensional (abaixo).

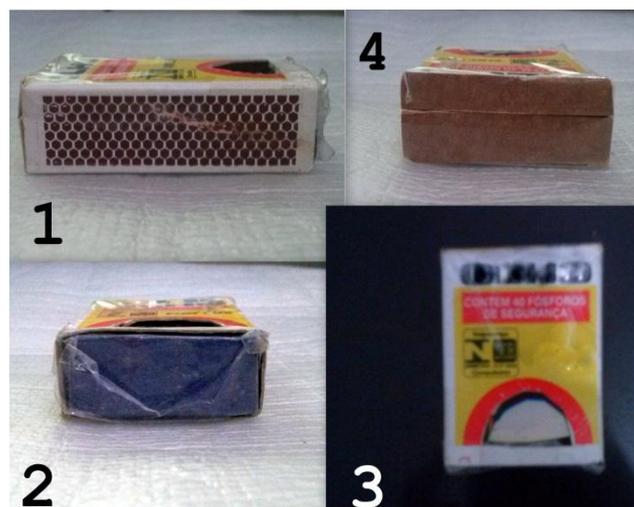


3. O ESPECTRÓGRAFO CASEIRO.

Como já diz o nome, um espectrógrafo *caseiro* pode ser feito com materiais que utilizamos em nosso cotidiano, como uma caixa de sapatos, caixa de fósforos, CDs etc. Com um espectrógrafo caseiro podemos observar diferentes fontes luminosas e identificar a natureza espectral das mesmas, como por exemplo, a luminária da nossa sala de jantar. Com a ajuda de uma câmera fotográfica, podemos tirar fotos desses espectros, e para o caso de linhas de *absorção* ou *emissão* podemos identificar quais elementos químicos geraram aquela luz. Uma etapa para isso é identificar o comprimento de onda associado a cada cor, e faremos isso em uma das duas atividades que serão propostas a seguir!



Figura 2: Decomposição da luz em suas cores componentes no fundo de um CD comum.



1- Lateral da caixinha de fósforo. 2- Fundo da caixinha de fósforo. 3- Parte superior da caixinha onde tem orifício para observação visual. 4- Frente da caixinha com fenda para a incidência de luz.

ALERTA: Não fazer observação direta do Sol.



4. OBTENDO UM ESPECTRO UNIDIMENSIONAL.

Nós podemos usar do *software* DS9 para, a partir do espectro bidimensional (aquele colorido), construir um espectro unidimensional – uma curva de emissão em cada comprimento de onda. Para isso, é necessário que haja fotos dos espectros bidimensionais disponíveis no computador.

Siga os seguintes passos para que você possa abrir imagens, que geralmente estão no formato *jpeg*, no DS9:

1. Abrir o DS9 clicando rapidamente duas vezes com o botão esquerdo do mouse no ícone do programa;
2. No menu de opções clicar em **File**, em seguida em **Open Other**, e depois em **Open Photo**.
3. Busque e selecione a foto do espectro que foi salva no computador (lembre-se de por na pesquisa o tipo de imagem: *jpeg* ou *all*).

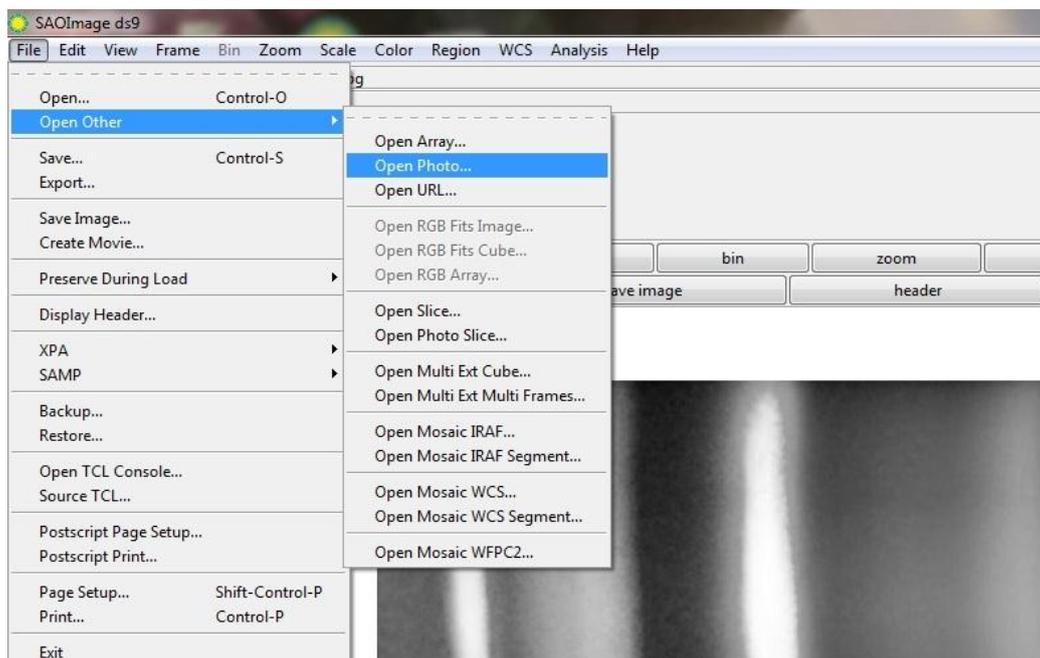


Figura 4: Passo-a-passo escrito na página anterior. Note que a foto é aberta em tons de cinza.

Em caso de haver instalado uma versão diferente do DS9 no computador, há outra maneira de abrir imagens *jpeg* neste *software*: **File > Import > JPEG**.

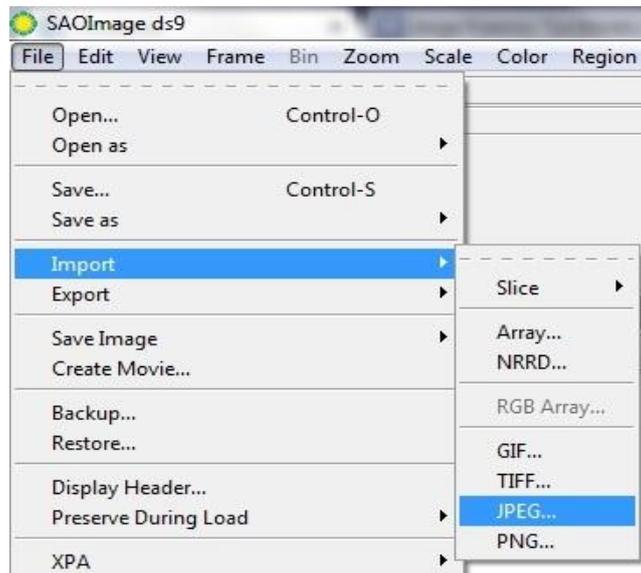


Figura 5: E se a minha versão do DS9 for diferente?

Para melhor descrever esse processo, vamos utilizar na apostila uma foto de um espectro de luz fluorescente de mercúrio. Seguiremos com o passo-a-passo:



Figura 6: Espectro da luz de uma lâmpada fluorescente.

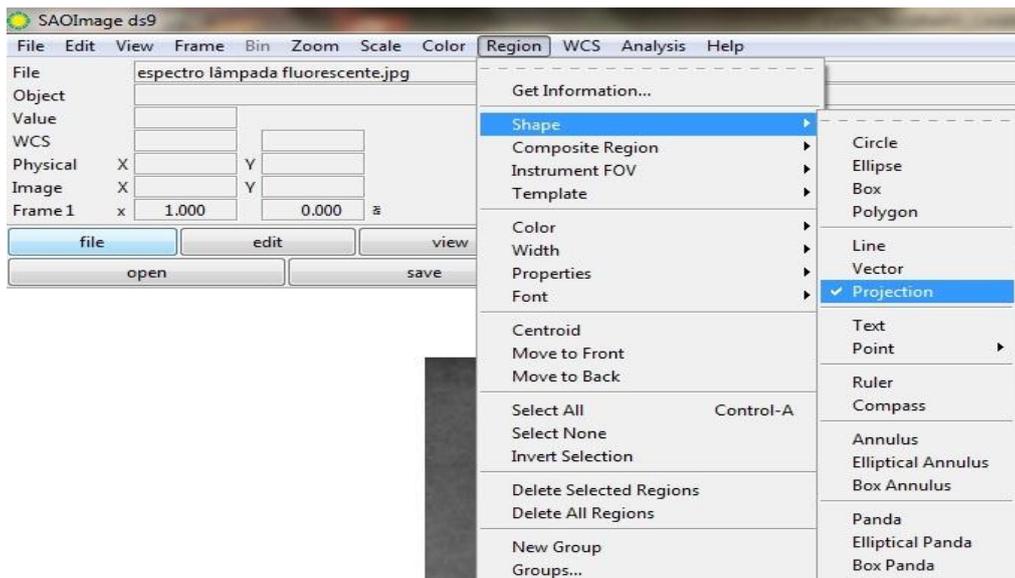


Figura 7: Passo-a-passo descrito logo abaixo.



5. Voltamos à barra de menus do DS9 e clicamos em **Region**, logo depois selecionamos o **Shape** e em seguida a opção **Projection**.

6. Traçamos uma reta com o cursor do *mouse*, pressionando constantemente o botão esquerdo do mesmo desde o *lado esquerdo ao lado direito* inferior do espectro. Note que automaticamente é aberto um gráfico como da Figura 9, que é constantemente modificado conforme arrastamos o ponteiro do mouse. Ao finalizar solte o botão esquerdo, notamos um gráfico com um traçado “tremido”. Em linguagem técnica, dizemos que o gráfico está **ruidoso**. O traçado representa a intensidade luminosa em cada ponto da imagem que a linha verde atravessa.

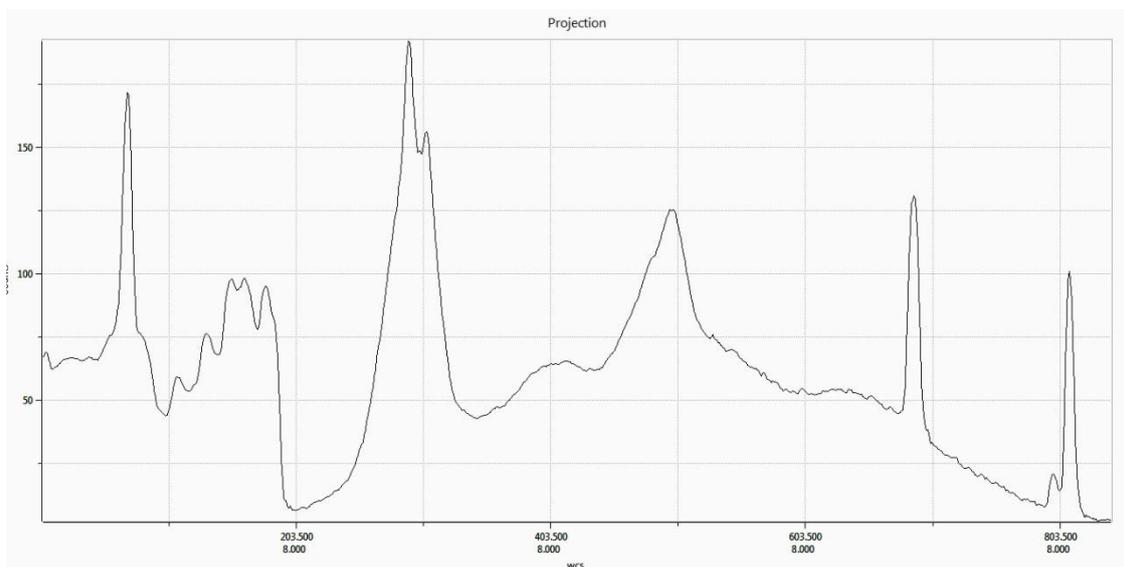


Figura 9: Espectro unidimensional feito a partir do espectro bidimensional (Figura 5).

7. Após clicar sobre a linha verde desenhada, experimente movê-la para cima e para baixo usando as teclas de direção do teclado. Atente ao fato que ao mover a linha na vertical, o **aspecto geral** do gráfico é **conservado** (posição das linhas), mas a **intensidade** das mesmas pode variar em maior ou menor grau. Para incluir o efeito de diversas linhas em apenas um gráfico, você pode usar um recurso extra do DS9. Dê um clique sobre a reta tracejada. Note que surgiu um quadradinho no meio da reta (circulado em rosa na Figura 8). Mantendo o cursor do mouse acima do quadradinho, clique com o botão esquerdo sobre ele e arraste o ponteiro do mouse até o lado superior do espectro (sem soltar o botão!).

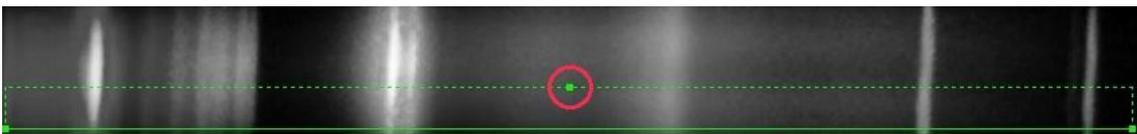


Figura 8: Ponto que deve ser arrastado para suavizar o espectro.



Com esse procedimento, veja como o gráfico resultante se tornou menos ruidoso que o gráfico que incluía apenas uma linha. Isso porque no passo 7 foi realizado um procedimento que faz a média ao longo de cada posição vertical do espectro bidimensional, suavizando o gráfico resultante.

Cada pico desse gráfico de **intensidade luminosa** (eixo *counts*) *versus* **posição de pixel** (eixo WCS) representa a intensidade em cada cor no espectro bidimensional que oferecemos como exemplo para essa atividade, começando da linha **vermelha** (primeiro pico, à esquerda) até a linha **roxa** (último pico, à direita). Esse gráfico, em si, trata-se do *espectro unidimensional* que nos propomos a obter.

Outra atividade que podemos realizar utilizando o DS9 é tentar encaixar a posição de *pixels* de cada linha do espectro com os seus respectivos valores em comprimento de onda, ou seja, tornar o número que representa sua posição em pixel aproximadamente igual ao seu valor em comprimento de onda. Esta atividade chama-se *calibração em comprimento de onda*.

OBSERVAÇÃO: O WCS (*World Coordinate System*) é o eixo sobre o qual você pode fazer operações matemáticas como multiplicar, somar, subtrair e dividir de modo a transformar o tamanho de cada pixel no tamanho de qualquer outra unidade conveniente.

Para isso utilizamos a Figura 10 que nos mostra cinco diferentes espectros bidimensionais: do Sol, do Hidrogênio, do Hélio, do Mercúrio e do Urânio.

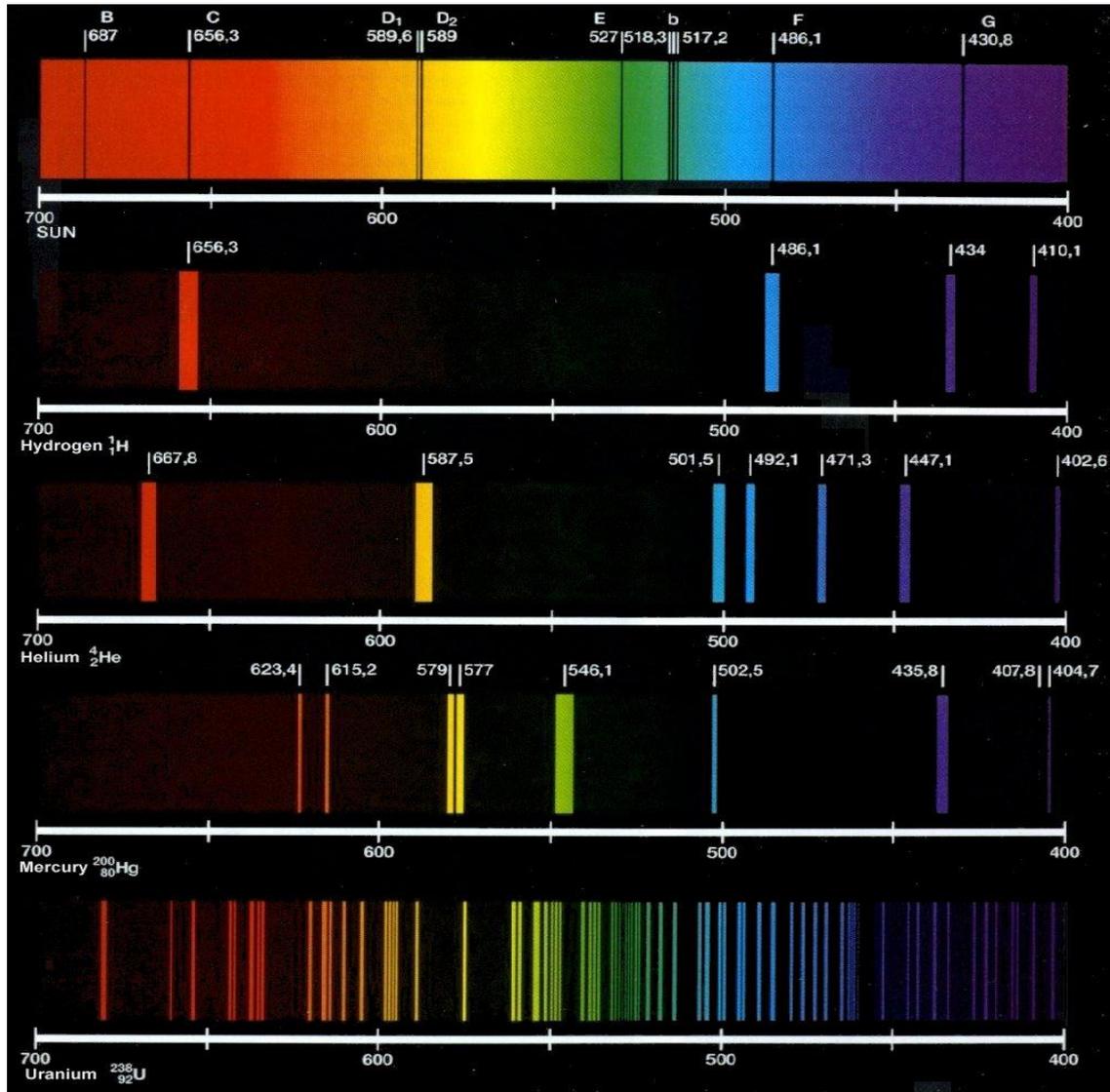


Figura 10: Espectro de **absorção** da luz proveniente do Sol. Espectros de **emissão** de alguns elementos químicos. Todos calibrados em **nanômetros**.

A foto do espectro de emissão de uma luz fluorescente pode ser comparada aos espectros disponíveis na Figura 10 e podemos perceber que esse espectro é *semelhante* ao espectro de emissão do **mercúrio** (Hg), pois, existe vapor de mercúrio em lâmpadas fluorescentes (você sabia?).

Você pode notar na Figura 11 a semelhança entre o espectro de luz fluorescente e o espectro do mercúrio, o que fazemos agora? Agora, iremos trabalhar com uma sequência de procedimentos para medir na imagem que obtivemos com nosso espectrógrafo o comprimento de onda de cada cor da luz fluorescente observada.

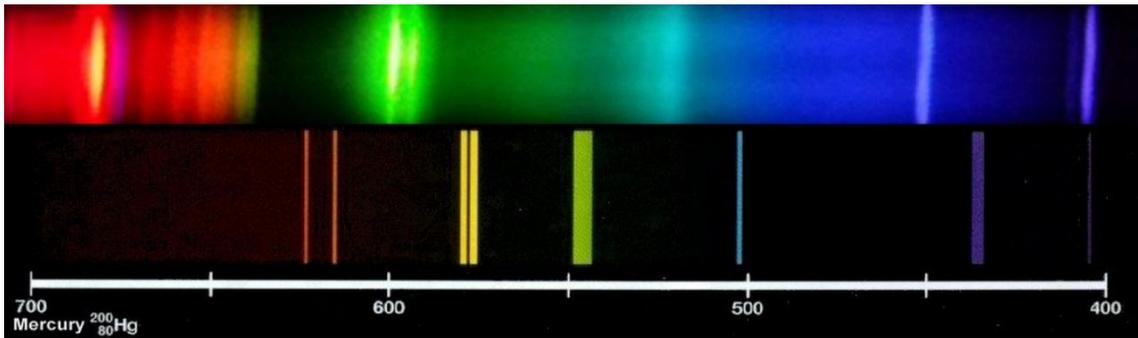


Figura 11: Comparação entre espectro de luz fluorescente e espectro de emissão do mercúrio. Note apenas que embora as linhas sejam as mesmas, as posições não coincidem.

Passos:

1. Buscar a barra de menus do *software* DS9 que fica na parte superior da tela.
2. Para facilitar a visualização de nosso procedimento, vamos sobrepor à imagem eixos com os valores das posições vertical e horizontal. Para isso clique em **Analysis** e, logo em seguida, em **Coordinate Grid**. Inicialmente os números apresentados estão em unidades de pixels;

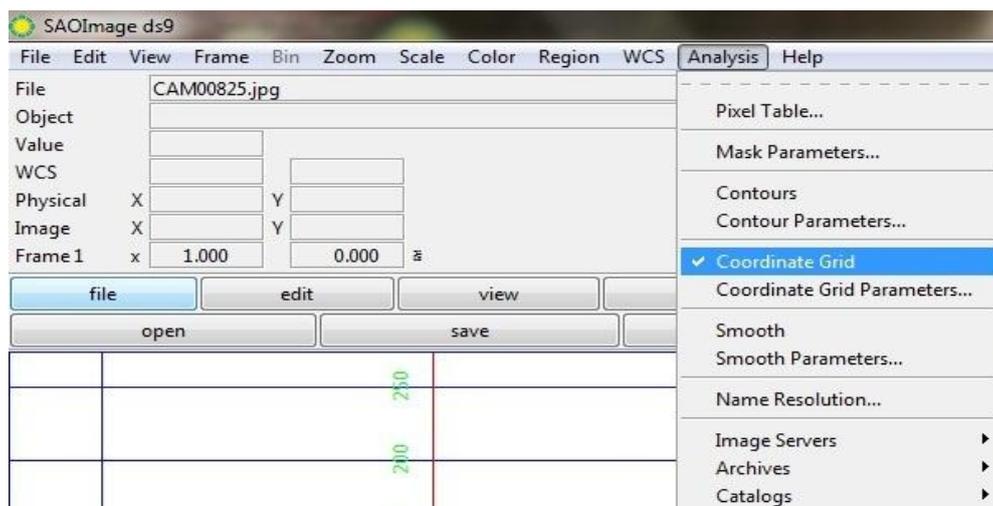


Figura 12: Procedimento para habilitar a visualização da grade de coordenadas (*Coordinate Grid*).

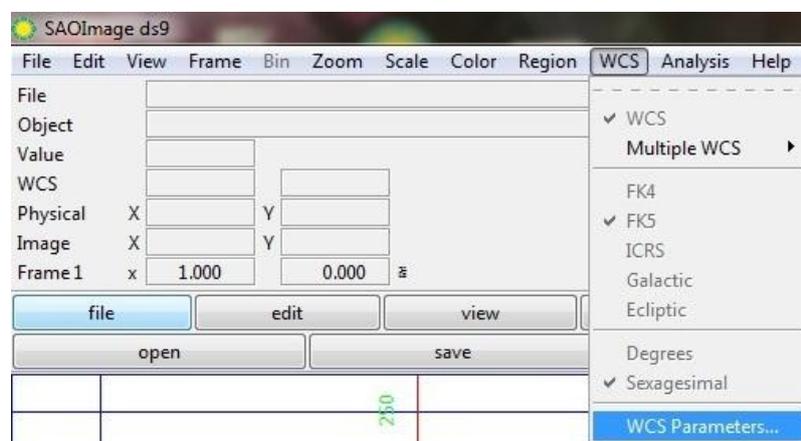


Figura 13: Habilitando a exibição da caixa de controle de valores do WCS..



3. Como não queremos que o eixo horizontal seja apresentado em WCS, pois com a imagem em tons de cinza perdemos a noção de cor, temos que converter o eixo horizontal para nanômetros, pois é uma unidade de medida conhecida. Os passos para isso podem ser feitos utilizando as opções na ferramenta *WCS Parameters*, acessada em **WCS** e logo em seguida em **WCS Parameters**.

4. Abrirá automaticamente uma janela chamada **WCS Parameters** com vários espaços em brancos. Esta caixa controla as operações matemáticas que podem ser feitas nos eixos da imagem de modo a associar os valores em WCS com os valores conhecidos em nanômetros em nosso caso.

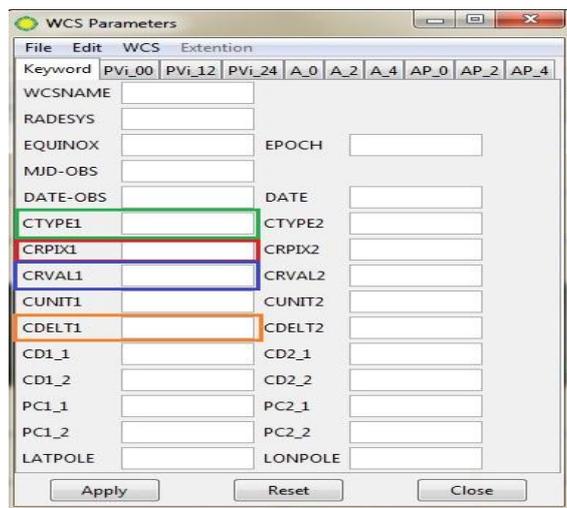


Figura 14: Janela do *WCS Parameters*.

5. Ao comparar nosso espectro com a imagem em que estão registrados os comprimentos de onda, notamos que inicialmente as linhas observadas e as que estamos tomando como referência, não coincidem. No entanto isso seria diferente se pudéssemos deslocar o espectro em uma direção e esticá-lo ou achatá-lo. Matematicamente chamamos essas operações de *operações lineares*. Dessa forma preencheremos **CTYPE1** (envolvido pela caixa verde na fig 12) escrevendo “Linear” (pois este é o tipo de calibração que iremos fazer no eixo horizontal). Como não nos interessa o eixo vertical, deixaremos o **CTYPE2** em branco.

6) Para atribuir um fator multiplicativo, para esticar ou achatá-lo a imagem preenchemos o parâmetro **CDELTA1** (fator multiplicativo do eixo horizontal) pondo inicialmente o valor numérico 1 (um), de forma que 1 pixel correspondera a 1 nm. Agora clicamos em **Apply!**



Voltando ao DS9 e posicionando o cursor do mouse por cima de uma das linhas brilhantes do espectro (qualquer uma). Note que na barra de informações o valor lido para posição x não corresponde ainda ao valor de comprimento de onda esperado (Veja um exemplo na Figura 17 de como fazer isso). Um recurso extra que pode ajudar nessa tarefa é o de posicionar o ponteiro do mouse em uma das linhas de interesse, como, por exemplo, a linha **roxa** no extremo direito do espectro e apertarmos apenas uma vez a tecla **C** do teclado.

7. Aparecerá uma janela **Coordinates** fornecendo uma série de informações, sendo a primeira a posição horizontal em pixel da linha brilhante (linha **roxa**) que é 40 pixels. Usaremos esse valor para fazer uma operação correspondente a deslocar o espectro para direita ou para esquerda. Na verdade apenas indicamos qual o valor que um determinado pixel, registrado na caixa **CRPIX1** deve ter na escala em comprimento de onda, que devemos preencher em **CRVAL1**. Assim, escreveremos o valor 40 em **CRPIX1** e em **CRVAL1** devemos colocar o comprimento de onda dessa linha roxa, que está disponível na Figura 14 ($\lambda = 404,7$ nm).



Figura 14 e meio: Recurso para obter informações em um dado pixel onde o ponteiro do mouse está sobreposto na imagem. Nessa condição basta pressionar a tecla C.

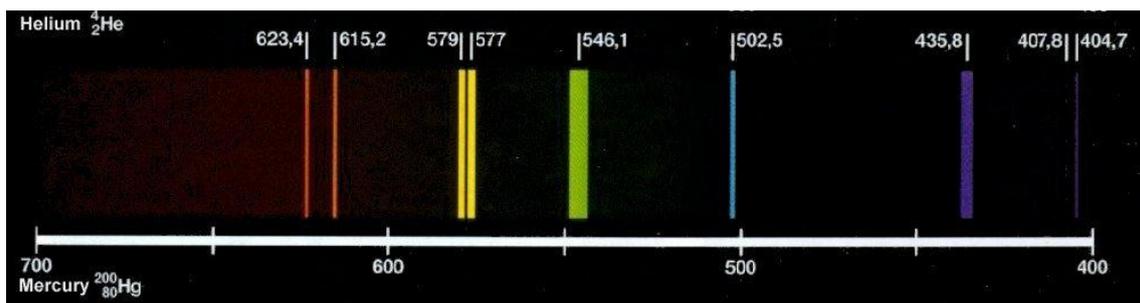


Figura 15: Espectro de emissão do mercúrio (Hg).

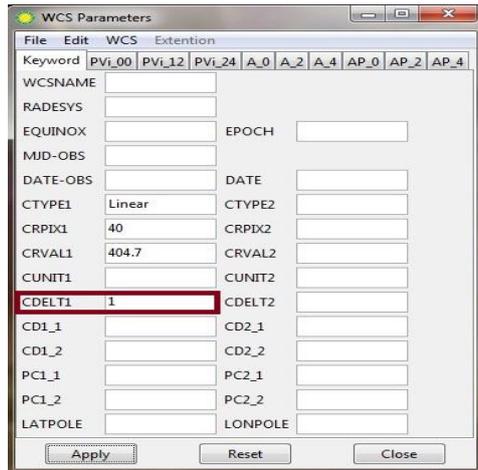


Figura 16: Agora devemos apenas alterar o *CDELT1*.

8. Feitos todos os passos anteriores, agora, clicamos em **Apply** e pondo o cursor do mouse acima de cada linha, verificamos se seu respectivo valor em WCS está equivalente (ou aproximadamente) ao seu valor em comprimento de onda. Se estiver *maior*, devemos *reduzir* o valor multiplicativo inserido em **CDELT1**. Se estiver *menor*, devemos *aumentá-lo*. Tente novos valores até que os valores em WCS sejam aproximadamente iguais aos respectivos comprimentos de onda de cada linha brilhante.

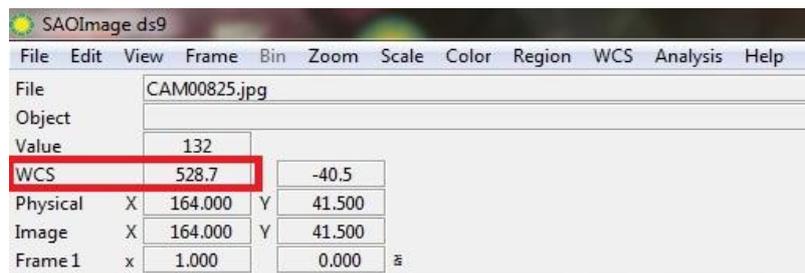


Figura 17: Em vermelho observaremos se os valores WCS correspondem aos valores de λ .

Fique atento: O DS9 *não aceita* vírgulas, ou seja, números quebrados como 404,7; 365,6; etc. devem ser escritos utilizando-se o **ponto**: 404.7, etc.

Existe uma maneira diferente de se chegar ao valor de **CDELT1**: é possível ter conhecimento da posição em pixel da linha brilhante usando o espectro unidimensional disponível na janela *projection*.

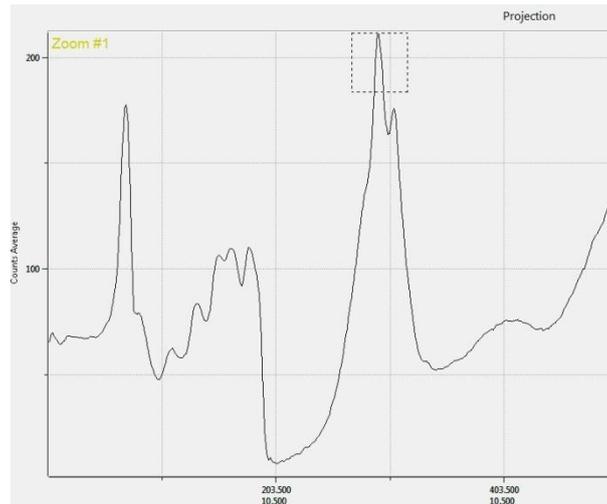


Figura 18: Quadrado em pontilhados representa região do espectro onde será aplicado o *zoom*.

Clicando e arrastando o cursor do mouse sobre os picos do gráfico é possível ampliar nossa visualização da posição em que se encontra o pico desejado.

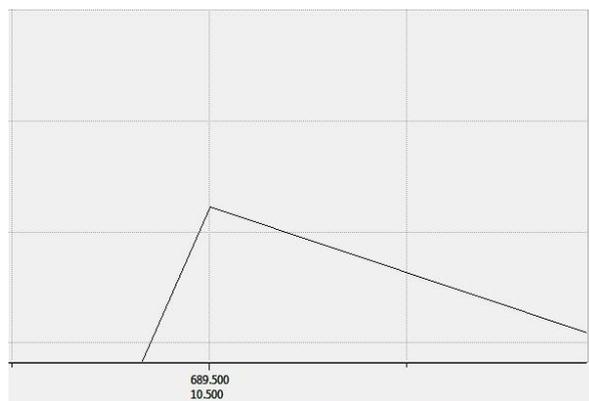


Figura 19: Aproximação máxima do pico permite ver a posição em pixels de um dos picos do espectro unidimensional ($x = 689,5$).

Pode-se aplicar *zoom* aos demais picos do espectro unidimensional e anotar a posição em WCS de cada uma das linhas brilhantes. Sabendo o comprimento de onda de cada linha brilhante, é possível estabelecer uma relação em que o comprimento de onda deve estar para a posição em WCS ($\lambda \Rightarrow x$), isto é, poderemos escrever uma função linear que relaciona essas duas medidas.

Para escrever essa função é necessário ter conhecimento de como usar algum *software* que nos permita fazê-lo de uma maneira simples, podemos citar *Microsoft Excel* para computadores com *Windows* e o *Libre Office* para computadores com *Linux*.



Esse processo diferente para chegar ao valor de CDEL1 além de ser **mais simples**, é também **mais fácil** para que entendamos porque devemos aumentar ou diminuir o valor número em CDEL1 até encontrar um número que se ajuste bem. Se analisarmos essa situação através da **geometria analítica**, vamos notar que a calibração em comprimento de onda é ajustar uma reta (por isso **linear**) a uma distribuição de pontos num gráfico. Quando conseguirmos encontrar na equação da reta ($y = ax + b$) os melhores valores para os coeficientes angular (a) e linear (b), teremos pronta uma calibração em comprimento de onda e, o valor de CDEL1 é nada mais, nada menos que o valor do **coeficiente angular** da reta. Nós não vamos descrever aqui todo o passo-a-passo para se construir uma função, um gráfico e ajustá-lo num *software* de planilha, como o *Excel*, porque existe uma apostila escrita pelo grupo disponível para ensinar tudo isso: **Construção de Gráficos no Excel**.

6. REFERÊNCIAS.

1. BONJORNO & CLINTON, Física: História & Cotidiano. Volume único. Editora FTD. 2005
2. OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza. Astronomia e Astrofísica. Editora Livraria da Física. São Paulo – 2004 – 2ª edição.
3. SAOImage DS9 (em inglês) <hea-www.harvard.edu/RD/ds9/site/Home.html>