

# Síntese espectral de atmosferas estelares

curso: Atmosferas Estelares  
prof.: Marcos Diaz

## Introdução

Esta atividade visa evidenciar o comportamento das linhas espectrais como função dos parâmetros fotosféricos básicos ( $T_{\text{eff}}$  e gravidade) e efeitos extrínsecos como rotação e resolução observacional. Simulações incluindo variações de abundância químicas complementarão a análise de curvas de crescimento já feita ao longo do curso. Este exercício deve ser feito após a conclusão do exercício anterior ("Cálculo da estrutura de atmosferas estelares quentes").

## Metodologia

Neste exercício serão usados clássicos modelos de atmosfera de Kurucz como ponto de partida para a solução da equação de transferência radiativa em cada comprimento de onda. Os modelos de atmosfera consideram uma composição química solar em equilíbrio radiativo (ignoram a presença de convecção) para temperaturas acima de 9000K. Abaixo de 9000 K é introduzido um gradiente convectivo com comprimento de mistura de 1.25 vezes a escala de pressão da atmosfera. A solução da equação de transferência tem como vínculo principal o cálculo do coeficiente de opacidade no contínuo e nas linhas.

Uma vez definido o perfil de densidade de massa, temperatura e densidade colunar da atmosfera, o cálculo do espectro emitido é um problema restrito do ponto de vista de sua descrição física. Por outro lado, a solução do modelo de atmosfera propriamente dito contém várias aproximações que afetam o resultado. Atualmente as maiores incertezas na síntese têm origem nos valores teóricos ou semi-empíricos das forças de oscilador ( $f$ ) das linhas consideradas, especialmente quando transições no UV são usadas no diagnóstico.

Após a síntese das intensidades específicas, o espectro é integrado no referencial do observador, levando em consideração a rotação e o escurecimento de bordo. Finalmente o resultado sofre uma convolução com um perfil instrumental definido.

Os principais objetivos deste exercício são a comparação dos perfis e intensidades de linhas ao longo de duas seqüências de temperatura com gravidade constante ( $\log(g)=2.5$  e  $\log(g)=5.0$ ). Apenas a região visível (350-680 nm) do espectro será calculada. O efeito introduzido pelo alargamento rotacional e instrumental será verificado usando um único espectro de tipo tardio. Os alunos interessados em extensões do trabalho em outras regiões do poderão fazê-lo com poucas modificações nos arquivos iniciais.

Será utilizado o código de síntese genérica SYNSPEC51 desenvolvido por Ivan Hubeny (ASU) e Thierry Lanz (GSFC/NASA). Uma descrição dos métodos usados nestes modelos será feita em sala e uma cópia do manual de uso desse programa estará disponível para consulta durante as atividades.

## Roteiro de cálculo

Estes exercícios serão feitos usando a conta *atm*.

Limpe seu diretório raiz e efetue todos os cálculos dentro dele. Faça uma cópia dos arquivos iniciais que estão em `~/orig/inicio_ex2.tar`.

Os arquivos com extensão `.5` fornecem os parâmetros iniciais usados no cálculo dos modelos de atmosfera. Para uma descrição destes veja o roteiro do exercício anterior.

Os arquivos com extensão `.7` correspondem ao modelo de atmosfera, ou seja uma tabela da temperatura, densidade eletrônica e densidade de massa como função da densidade colunar. A biblioteca de atmosferas de Kurucz (1991) será usada neste exercício. Estes modelos de estrutura são normalmente produzidos pelo programa TLUSTY. Neste caso, modelos originais de Kurucz serão usados.

Cada síntese fará referência a um par de arquivos do tipo `exsTTGG.5` e `exsTTGG.7`, onde TT é a temperatura efetiva em milhares de K e GG o logaritmo da gravidade superficial.

Finalmente a tabela de valores de  $gf$  de Kurucz 1992 (revisada) pode ser vista no arquivo `"/home/atm/bin/gf3490.dat"`. (Outras tabelas mais recentes podem ser usadas).

1. Examine exemplos dos arquivos `.5` e `.7`. Compare a descrição da estrutura produzida pelo código ATLAS (arquivos `.7`) com aquela fornecida pelo TLUSTY (vide exercício anterior). Identifique as variáveis envolvidas nesses arquivos.
2. Examine a tabela de linhas "fort.19". Este arquivo é bastante útil na identificação de linhas observadas. Procure uma linha metálica intensa que já tenha identificado em um espectro anteriormente sabendo que a primeira coluna corresponde ao comprimento de onda em nanômetros e a segunda ao número atômico e estágio de ionização. Vide anexo.
3. A síntese pode ser controlada e analisada com o programa IDL "**synplot.pro**". Este "script" executará o código de síntese quando for necessário. Para isso execute o IDL a partir de uma janela xterm com o comando "idl". No "prompt" do IDL (**se o IDL não estiver disponível, o GDL *gn* pode ser usado**)

```
IDL> !path = "/home/atm/bin: + !path"  
IDL> cd, "/home/atm/seunome"  
IDL> .run synplot.pro
```

O programa `synplot.pro` tem vários parâmetros de posição que devem ser separados por vírgulas. Aspas são necessárias em todos os parâmetros não numéricos.

Para uma dada composição química podem ser alterados o perfil instrumental e de rotação sem a necessidade de uma nova síntese. Uma variação moderada de composição química pode ser introduzida dentro da aproximação de constância da estrutura da atmosfera.

Por ex.: (obs: Amplie a janela de texto para conter toda a linha acima. Aumente também a saída gráfica do IDL assim que possível. Use o editor de linha de comando do IDL para fazer modificações entre as diferentes simulações).

```
IDL>synplot,0,0,200,extend=1,kurucz=1,wsta=3600,we=4750,wdist=1  
,atmos="exs1425",vrot=120,vmac=0,fwhm=0.5,rel=1
```

Como resultado temos um espectro cuja composição química é definida no modelo de atmosfera (i.e. Solar) (0), em um novo gráfico (i.e. sem traçar sobre o anterior) (1) e são identificadas todas as linhas com EW acima de 200 mÅ (200). Este parâmetro tem que ser modificado conforme o número de linhas com intensidade acima do indicado. As linhas são identificadas com traços (extend=1).

É feita a opção pela leitura de modelos de atmosfera no formato ATLAS (kurucz=1) que contém eventualmente convecção.

Os extremos da síntese são definidos entre 3600 Å e 6800 Å com passo máximo de 1 Å (wdist=1). O modelo (exs1425) é escolhido. Sobre o espectro local é aplicada uma velocidade de rotação de 120 km/s (vrot=120), velocidade macroturbulenta nula (vmac=0) e uma largura instrumental de 0.5 Å (fwhm=0.5).

O gráfico resultante é normalizado pelo contínuo teórico (rel=1), as linhas são identificadas com traços (extend=1).

4. Fixe os valores de comprimento de onda e espaçamento máximo entre os pontos: wsta=3600, we=4750, wdist=1, kurucz=1, extend=1. Os outros parâmetros serão explorados.
5. Escolha atmosfera de baixa temperatura qualquer. Faça um gráfico do espectro emitido não normalizado (rel=0) **intrínseco** (vrot=0 fwhm=0). Interprete o resultado. Faça outro gráfico com uma velocidade de rotação típica. Em seguida aplique uma resolução instrumental de 2.0 Å. A síntese anterior pode ser usada quando são necessárias apenas modificações da velocidade de rotação e fwhm instrumental utilizando o primeiro parâmetro negativo (synplot, -1,0,...). Cuidado para não abandonar esse parâmetro com valor -1.
6. Fixe a largura instrumental e a velocidade de rotação e não normalize os dados (vrot=20 km/s, fwhm=0.3 por exemplo e rel=0). Fixe a gravidade superficial em 2.5 ou 5.0. Faça gráficos para a seqüência de temperatura. Indique o comportamento das linhas de Balmer, de Hélio e metais.
7. Escolha duas temperaturas (7000 K e 19000 K) e compare os espectros previstos para as duas gravidades (log(g)=2.5 e 5.0). Interprete as diferenças observadas na descontinuidade de Balmer (quando visível) e na largura equivalente das linhas da série.
8. Verifique a diferença na largura das linhas de Balmer para uma temperatura de 10000K para log(g) = 2.5 e 5.0. Compare com o efeito sobre as linhas de Hélio e metais.
9. Escolha um modelo de atmosfera e identifique uma linha de um metal com  $Z < 30$ . Varie sua(s) abundância(s) com relação ao valor solar. Por exemplo:

```
IDL>synplot,1,0,200,extend=1,kurucz=1,wsta=3600,we=4750,wdist=1
,atmos="exs0750",vrot=20,fwhm=0.3,rel=1
enter starting and ending atomic number, abund
:
```

responda com: 21 21 -1.5

definindo uma nova abundância para o Escândio 1.5 vezes maior que a abundância solar. O sinal (-) indica valores relativos ao solar.

Repita a simulação e verifique a variação da profundidade da linha, construindo uma "curva de crescimento".

Algumas linhas sugeridas para este cálculo: MgII 4481, CaII 3933, TiI 4523