

1.04.02 - Astronomia / Astrofísica Estelar

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE AUXILIAR PARA ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA DE SISTEMAS ESTELARES MÚLTIPLOSKelly Beatriz V. Torres Dozinel¹, Ana Cristina Oliveira Conti Neves ²

1. Departamento de Física e Matemática – Campus Alto Paraopeba – UFSJ

2. Graduanda do curso de Engenharia de Bioprocessos – Campus Alto Paraopeba – UFSJ

Resumo

A técnica de Desembaraçamento Espectral consiste na análise espectroscópica usada na astrofísica. Ela permite a determinação simultânea dos elementos da órbita das componentes de um sistema estelar múltiplo e seus espectros individuais. O projeto tem como objetivo criar um software que faça a preparação dos dados de entrada (espectros observados) a serem utilizados nos códigos de Desembaraçamento Espectral disponíveis na literatura, como o código KOREL e o FDBinary. O software foi escrito em linguagem PYTHON, e possui uma saída gráfica a partir da qual o usuário poderá escolher, interativamente, as regiões espectrais para análise. O software leva em consideração as precauções propostas na literatura para a escolha das regiões espectrais no sentido de promover uma melhor reconstrução espectral das componentes individuais do sistema estelar em estudo.

Palavras-chave: PYTHON; KOREL; FDBinary.

Trabalho selecionado para a JNIC: UFSJ

Introdução

Pode-se obter informações sobre as propriedades físicas (massa e raio) e evolução das estrelas (como temperatura, composição química gravidade), através da espectroscopia, em que a luz advinda das estrelas é analisada em termos de comprimento de onda, e a fotometria, que utiliza a luminosidade integrada em um intervalo de comprimento de onda (TORRES, 2002). Ao separar as características espectrais de cada componente, podemos obter essas informações através da análise dos espectros estelares, como se as estrelas fossem isoladas, esta é a contribuição do Desembaraçamento Espectral. Atualmente existem dois métodos de Desembaraçamento Espectral mais utilizados: o código KOREL e o código FDBinary.

Um estudo realizado por Hensberge et al. (2008), mostra que a técnica de Desembaraçamento Espectral evidencia os problemas cometidos durante o processo de redução de dados (correções pós observações científicas do objeto celeste), ressaltando a necessidade de um bom planejamento das observações e tratamento de dados. Assim, baseado no trabalho desenvolvido por Hensberge et al. (2008), desenvolveu-se em PYTHON, um programa de licença livre, que prepara os dados de entrada (espectros observados) para serem utilizados posteriormente nos códigos de Desembaraçamento Espectral. Através de saídas gráficas é possível escolher a região espectral ideal para obtenção dos parâmetros orbitais e conseqüentemente os espectros individuais das componentes do sistema estelar. Em outras palavras, escolher a região espectral que contenha informação sobre o movimento orbital das estrelas componentes, de forma confiável.

O programa permite escrever um arquivo com os espectros observados no formato desejado para cada um dos códigos disponíveis na literatura (KOREL e FDBinary). Uma boa escolha da região espectral permite com que os parâmetros fundamentais estelares de qualidade, como (massa, raio, temperatura efetiva, logaritmo da gravidade e composição química estelar) sejam obtidos possibilitando um estudo minucioso e confiável sobre o processo de evolução estelar. Para uso do programa é necessário que os espectros já tenham passado pelo processo de redução dos dados, normalizados em fluxo e corrigidos do movimento de rotação da Terra.

Metodologia

Para um sistema estelar múltiplo com K componentes, pode-se escrever o espectro composto normalizado, $(y_j(\ln \lambda))$ obtidos em uma noite de observação nos instantes $(t_j = 1, 2, 3, \dots, j)$, como sendo uma soma ponderada dos espectros normalizados de suas componentes individuais, X_k ($k = 1, 2, 3, \dots, K$), que se deslocam em velocidade de acordo com seu desvio Doppler, v_{kj} .

$$y_j(\ln \lambda) = \sum_{k=1}^k (l_{kj} x_k) (\ln \lambda - v_{kj}/c) + \text{ruído}$$

Sendo l_{kj} fatores de luz, $\frac{v_{kj}}{c}$, velocidade, em velocidade de luz, para cada componente k no tempo j. Os espectros são transformados em grupos de elementos, os pixels, q, que são expressos em escala logarítmica de comprimento de onda.

O uso do espaço de Fourier para trabalhar o método de separação espectral desenvolvido por Hadrava (1995, 2004c e 2004b), reduz de forma significativa o tempo computacional do mesmo. Porém seu uso possui

algumas limitações, como, todos os espectros observados e os espectros individuais devem conter o mesmo passo em velocidade, e o número de pixels deve ser uma potência de 2^n . O código FDBinary, diferentemente do Korel, desenvolvido por Hadrava, resolve as equações utilizando o método da Decomposição de Valor Singular, e os espectros observados não precisam conter pixels na ordem da potência de 2^n , o que acarreta em um aumento do tempo computacional.

Para o desenvolvimento do código, utilizou-se a linguagem de programação PYTHON, por ter licença aberta, sintaxe clara, orientado a objeto, além de ser altamente difundida no meio astronômico, tendo inúmeras bibliotecas que podem ser utilizadas, facilitando e enxugando o código. Durante o estudo e desenvolvimento do projeto tivemos o auxílio do aluno do curso de Engenharia Mecatrônica João Pedro D'angelis da Costa que foi o facilitador para o entendimento da linguagem escolhida.

O programa foi construído levando como base, a tese de TORRE, K.B.V, 2008, que desenvolveu um programa análogo, mas, em licença paga. O código tem como finalidade gerar espectros com um maior nível de confiança para a utilização dos métodos de desembaraçamento, KOREL e FDBinary.

Resultados e Discussão

O programa foi escrito em duas partes, visando melhor organização e facilidade para futuras alterações. A primeira contém os comandos para a interface gráfica (interface.py) e a outra (funções.py) contém todos os cálculos necessários, como a determinação da fase orbital a partir do período orbital e tempo de passagem no periastro, cálculo do espectro médio e sua variação, a determinação dos comprimentos de onda e o passo em velocidade (p_v , exigido no código KOREL).

Utilizou-se bibliotecas básicas do PYTHON para plotagem do gráfico e alguns cálculos estatísticos, sendo que a biblioteca PYPLOT já fornece inúmeras opções para quem está manuseando o gráfico (como zoom, mover lateralmente, e até mesmo salvar a imagem do espectro obtido). O programa possui apenas uma interface principal que contém todos os botões necessários para interação com os espectros compostos observados. No primeiro campo é indicado o nome do arquivo contendo a lista de nomes dos espectros observados, concomitantemente, o endereço da pasta contendo os arquivos dos espectros. Além do nome dos espectros é necessária uma coluna para o dia juliano heliocêntrico¹ e a razão do sinal sobre ruído. Os próximos campos são de entradas básicas para os cálculos. O comprimento de onda inicial e final, respectivamente λ_0 e λ_f , são dados em comprimento de onda, em unidades de angstrom ($A \cdot 10^{-10}m$). Enquanto que o passo será dado em $\ln \lambda$, (p_v). O comprimento de onda final λ_f pode ser omitido, desde que seja fornecido o passo, o contrário também é válido, dado o comprimento de onda final, o passo pode ser omitido. Os valores das amplitudes máximas de duas componentes K1 e K2 podem ser fornecidos para determinar a região confiável do espectro após o uso do Desembaraçamento Espectral. Assim, um intervalo, de valor igual a $2(K1 + K2)$, será automaticamente acrescido nos extremos (lado direito e esquerdo) da região de corte escolhida pelo usuário. A região de corte, compreende entre os valores λ_0 e λ_f (em comprimento de onda – angstroms). Os espectros são plotados em ordem decrescente de fase orbital. Concomitantemente, uma outra janela gráfica é plotada contendo o espectro médio e a variância dos espectros. Essas informações auxiliam o manipulador a identificar qual melhor região espectral a ser usada. Em outras palavras, a região que conter a informação sobre o movimento orbital das estrelas componentes do sistema estelar múltiplo. Esta informação é importante para determinar as velocidades radiais no instante t e conseqüentemente os espectros das componentes. Isto significa que o usuário deverá escolher regiões que contenham um padrão como “duas montanhas” ligadas uma a outra. Além da região formada pelas “montanhas” é necessário considerar que os cantos dos espectros sejam o mais próximo possível do valor unitário. Isto para evitar com que padrões espúrios ondulatórios sejam superpostos no contínuo do espectro das componentes reconstruídos pelo Desembaraçamento Espectral. O usuário poderá usar como referência o espectro médio. Este fato acontece porque o Desembaraçamento Espectral resolve as equações no espaço de Fourier. Assim os espectros das componentes são considerados funções periódicas e, portanto, deve-se manter a “ligação”, o mesmo nível em valor (intensidade) entre os cantos dos espectros compostos. Assim que o usuário definir a região espectral de seu interesse, poderá salvá-lo no formato do código de sua preferência (KOREL ou FDBinary), clicando no botão correspondente. Poderá ainda optar por salvar o espectro, na região escolhida, em arquivos separados. Para isto basta escolher no campo Prefixo do arquivo, o prefixo para o nome do arquivo contendo os espectros, além do local que deseja salvá-lo (campo Local do arquivo). Antes de usar este programa, o usuário do PrepReg-SD deverá certificar-se de que os espectros compostos observados já tenham passado pelo processo de redução dos dados, normalizados em fluxo e corrigidos do movimento de rotação da Terra.

Conclusões

O Desembaraçamento Espectral é uma excelente técnica que permite obter simultaneamente os espectros das componentes de um sistema estelar múltiplo e os parâmetros de sua órbita. Um dos problemas dos usuários desta técnica é a dificuldade de escolher as regiões espectrais e obter os espectros reconstruídos das componentes de forma que possam usá-los de forma confiável para estudos de composição química, temperatura efetiva e gravidade. O presente projeto propõe um programa escrito em linguagem livre (PYTHON) de forma que o usuário possa escolher as regiões espectrais de sua preferência para a análise espectroscópica a partir dos códigos de Desembaraçamento Espectral disponíveis na literatura, como o código KOREL e FDBinary. O programa possui a possibilidade de trabalhar com espectros échelles de forma que a procura pela melhor

região sejam realizadas interativamente de uma maneira simples, devido a todas as facilidades que o PYPLOT permite. Esta consiste na primeira versão do programa. Antes de torná-lo público é necessário incluir a opção de interpolação dos espectros, possibilitar o aumento da profundidade das linhas espectrais (para que fique visível para o usuário o movimento orbital das componentes, a partir do “dançar” das linhas), e realizar mais testes com outros dados.

Referências bibliográficas

Torres, K. B. V. 2002, **Master's thesis**, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG

Hensberge, H., Ilijic, S., & Torres, K. B. V. 2008, **A&A**, 482, 1031

Hadrava, P. 1995, **A&AS**, 114, 393

Hadrava, P. 2004, KOREL - **User's guide** – Publications of the Astronomical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences, 92, 15

Torres, K. B. V. 2008, **PhD thesis**, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG