

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Ajuste Espectral usando o software Starlight

AGA0299 - Astronomia Galáctica e Extragaláctica

Tutorial: Geraldo Gonçalves

Prof. Dr. Paula Rodrigues Teixeira Coelho

Primeira versão: Maio de 2019

Última modificação: Setembro de 2021

Contents

1	Ajuste Espectral	2
2	Arquivos	4
3	Rodando o programa	5
4	O arquivo de saída	6
5	Análise	7

1

Ajuste Espectral

Ajuste espectral é o nome dado à um método com o qual é possível reproduzir o espectro de uma galáxia ou aglomerado estelar em função de suas populações estelares. Para isso, usaremos um software chamado STARLIGHT (Cid Fernandes et al. 2005).

O STARLIGHT é um código escrito por pelo Prof. Dr. Roberto Cid Fernandes e equipe, da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis. Em linhas gerais, ele combina diversas técnicas computacionais para ajustar, pixel-a-pixel, um espectro observado como uma combinação de modelos de população estelar simples (SSP, do inglês *Simple Stellar Population*). O espaço de parâmetros coberto pelos modelos de Vazdekis et al. (2015) são idades $t = 30 \text{ Myr}$ a 14 Gyr , $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.3$ a $+0.3$ e $[\alpha/\text{Fe}] = 0.0$ e 0.4 .

O ajuste retorna a melhor mistura de SSPs que descreve o espectro observado O_λ na forma

$$O_\lambda = \sum_j x_j \cdot \text{SSP}_j \otimes G(v_\star, \sigma_\star) 10^{-0.4A_{V_j}(q_\lambda - q_{\lambda_0})} \quad (1.1)$$

e adotaremos como parâmetros médios de idade e metalicidade de cada bojo, as médias ponderadas por luminosidade da mistura de populações:

$$\langle \text{age} \rangle = \sum_j x_j \cdot \text{age}_j \quad (1.2)$$

$$\langle [\text{Fe}/\text{H}] \rangle = \sum_j x_j \cdot [\text{Fe}/\text{H}]_j \quad (1.3)$$

onde o vetor \mathbf{x}_j corresponde a fração normalizada (porcentagem) de luz da SSP j que contribui para o ajuste. $G(v_\star, \sigma_\star)$ é um vetor que parametriza os valores de velocidade radial e dispersão de velocidades, A_V é o avermelhamento na banda V.

Uma representação visual da equação 1.1 é mostrada na Figura 1.1, e Figura 1.2 mostra o espectro observado de um bojo em comparação com o espectro sintetizado pelo STARLIGHT



Figure 1.1: Representação visual da equação 1.1. A primeira imagem representa uma galáxia observada, enquanto as demais representam populações estelares simples. Imagens: NASA, ESA, Hubble.

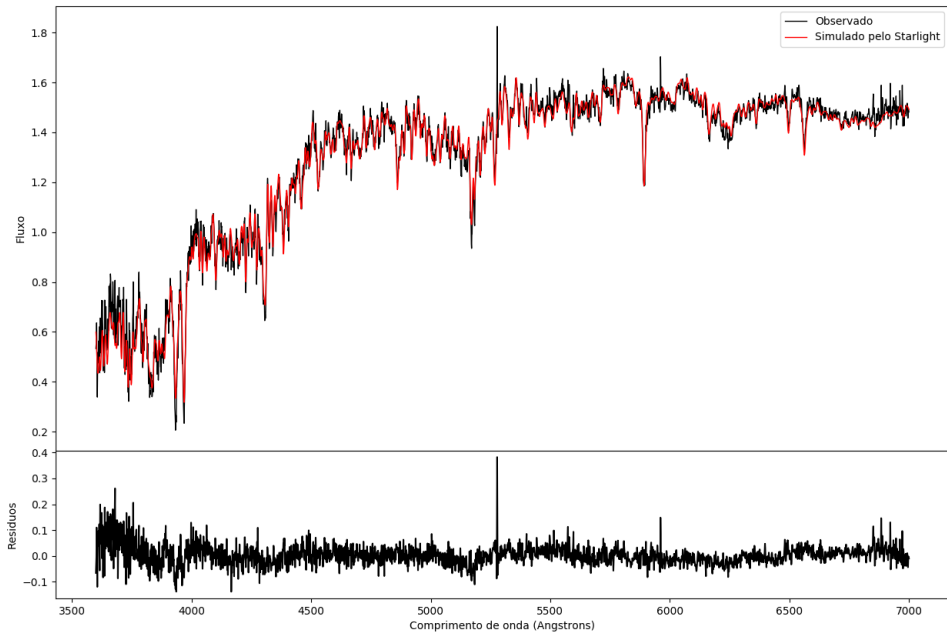


Figure 1.2: Espectro de uma das galáxias da amostra de Gadotti (2009). Em preto, o espectro observado, e em vermelho, o espectro sintetizado pelo STARLIGHT.

2

Arquivos

Segue uma breve descrição dos arquivos utilizados.

- **StarlightChains_v05_Paula.for:** código em Fortran do Starlight.
- **vazdekis15_selected_mass.base:** lista com as SSPs (que se encontram na pasta "base"). As colunas desse arquivo são: (1) nome do arquivo da SSP, (2) idade em Gyr, (3) $[\text{Fe}/\text{H}]$, (4) nome do arquivo resumido, (5) porcentagem da massa na forma de estrelas, (6) "YAVflag" (SSPs com YAV flag = 0 serão corrigidas por avermelhamento) e (7) $[\alpha/\text{Fe}]$.
- **StCv05.UB_PC2018.config:** arquivo de configuração. Como trabalharemos numa situação mais simples, não é necessário modificá-lo.
- **mask_zero.txt:** a máscara é o arquivo que contém as regiões do espectro onde há pixels de baixa qualidade e que devem ser ignorados. Não usaremos nenhuma, portanto esse arquivo contém apenas o número "0".
- **grid.txt:** a grade contendo os locais onde estão salvos os arquivos a serem lidos, o local onde os outputs serão salvos, os limites de comprimento de onda a serem usados para a normalização e para o ajuste e uma lista dos espectros a serem ajustadas. As colunas são: (1) nome do arquivo de input (nossas galáxias), (2) arquivo de configuração, (3) arquivo de base, (4) máscaras, (5) modelo de avermelhamento (usaremos Cardelli, Clayton Mathis, 1998, aqui representado por "CCM"), (6) e (7) chutes iniciais para velocidades radial e de dispersão, (8) e (9) limites mínimo e máximo permitidos para o avermelhamento A_V e (10) nome do arquivo de saída (output).

3

Rodando o programa

Usaremos o STARLIGHT para fazer o ajuste de espectros das regiões centrais de quatro galáxias do SDSS da amostra de Gadotti (2009). Há entre essas galáxias uma elíptica, uma espiral que contém bojo clássico, uma espiral que contém pseudo-bojo e uma espiral sem bojo.

- baixe e descompacte a pasta no site da disciplina.
- abra um terminal e digite `cd path/atividade_starlight` onde 'path' é o caminho até o lugar onde você salvou a pasta. Por exemplo, se ela estiver salva na pasta 'Documents', digite `cd Documents/atividade_starlight`
- para rodar o software, precisamos compilá-lo. digite
`gfortran -std=legacy StarlightChains_v05_Paula.for -o starlight.exe`
um novo arquivo chamado **starlight.exe** aparecerá na pasta.
- para rodar, basta digitar **`./starlight.exe < grid.txt`**

4

O arquivo de saída

Os arquivos de saída ficarão salvos na pasta **output** e podem parecer bem confusos a princípio.

Precisamos de uma lista desses arquivos, que podemos gerar com

```
cd outputs
ls * > lista_outputs.txt
cd ..
```

Nós vamos ignorar boa parte do conteúdo destes arquivos e nos concentrar onde está a informação que procuramos. Trabalharemos com a primeira e a última tabela/matriz de cada arquivo.

Após o cabeçalho, que mostra os valores de avermelhamento, velocidades que foram ajustados e algumas informações de entrada dos ajustes, há a primeira matriz. Cada uma das linhas representa uma SSP usada, e os valores de x_j são a porcentagem de cada SSP dentro do nosso ajuste. Assim, você pode usar as equações 1.1 e 1.2 e calcular as idades e metalicidades ponderadas de cada uma. O arquivo **geratab.py** faz exatamente isso. Para rodá-lo, basta digitar

```
python3 geratab.py
```

no terminal. Ele vai gerar um arquivo chamado **tab_results.txt**.

A última matriz mostra os dados do ajuste. A primeira coluna corresponde ao comprimento de onda (em angstroms), a segunda ao fluxo observado, e a terceira ao fluxo sintético simulado pelo STARLIGHT. A quarta linha corresponde a $1/e$, sendo e o erro naquele pixel, e a quinta, uma flag. Se essa flag for ≤ 0 , significa que aquele ponto não foi bem ajustado.

5

Análise

1. Plote uma figura para cada galáxia mostrando o espectro observado e o espectro sintético sobreposto, como na Figura 1.2. Com base nas figuras e nos resultados de idade e metalicidade, você consegue chutar qual a galaxia elíptica, qual contém bojo clássico, pseudo bojo, e qual não possui bojo?
2. Rode o script **sfh.py**
As figuras mostram curvas de nível no espaço de parâmetros Idade \times [Fe/H] (esquerda) e a SFH (do inglês Star Formation History) (direita). Que informações podemos inferir através dessas figuras? Discuta.

Bibliography

- Cid Fernandes, R., Mateus, A., Sodré, L., Stasińska, G., & Gomes, J. M. 2005, MNRAS, 358, 363
- Gadotti, D. A. 2009, MNRAS, 393, 1531
- Vazdekis, A., Coelho, P., Cassisi, S., et al. 2015, MNRAS, 449, 1177