

# Astronomia Galáctica

## Programa

1<sup>o</sup> Sem. 2003/04

Dezembro 2003

### PREÂMBULO

No ano Lectivo 2003/2004 é oferecida pela primeira vez esta disciplina, integrada na Licenciatura em Física. Sendo uma disciplina do 4<sup>o</sup> ano, um ano terminal, os alunos não tiveram a preparação suficiente em outras matérias fundamentais, para se fazer um estudo correcto e bem orientado do estado do conhecimento actual sobre a estrutura e evolução da Via Láctea, tal como a conhecemos.

Assim, vimo-nos forçados a percorrer muitos temas complementares, que foram genericamente agregados numa primeira parte, que se designou de *Conceitos Teóricos e Grandezas Observáveis*. Aqui foram sistematicamente deduzidos ou apresentados conceitos básicos e fundamentais, onde se incluem noções de astrometria, atmosferas estelares, classificação espectral, fotometria e sua relação com parâmetros físicos atmosféricos, igualmente para a análise espectroscópica, estudo da evolução estelar detalhada, e finalmente os processos de produção química em estrelas.

No estudo da Via Láctea em si, tal como nos tópicos anteriores, recorreu-se bastante à análise de resultados em artigos de investigação, pois são a fonte privilegiada de informação muito actualizada sobre estas áreas científicas, onde existem poucos resultados realistas que possam ser deduzidos por via teórica a partir de equações ou modelos simplificados de equilíbrio, ou por simetrias simples.

Rui Jorge Agostinho

---

### PARTE I

#### Conceitos Teóricos e Grandezas Observáveis.

#### 1 – Coordenadas, Distância e Movimentos

##### L.1 – Coordenadas Locais e Equatoriais.

- 1.1 – Definições geométricas e Tempo Universal.
- 1.2 – Correção da Precessão e Nutação.
- 1.3 – Referenciais Fundamentais: Catálogos de Estrelas.

##### L.2 – Coordenadas Galácticas.

- 2.1 – Definição. Trigonometria esférica básica.
- 2.2 – Transformação de Coordenadas Equatoriais ↔ Galácticas.

##### L.3 – Movimentos Observados.

- 3.1 – Movimento Próprio  $\mu$ . Precisão Observacional.
- 3.2 – Velocidades Tangencial e Radial.
- 3.3 – Precisões Observacionais.

##### L.4 – Referenciais e Velocidades.

- 4.1 – Velocidade Heliocêntrica (U, V, W).
- 4.2 – Dispersões de velocidade.
- 4.3 – O Referencial Local de Repouso (LSR).
- 4.4 – A Velocidade Peculiar no LSR (u, v, w).
- 4.5 – Velocidade Galactocêntrica ( $\Pi$ ,  $\Theta$ , Z).

#### L.5 – Medição da Distância.

- 5.1 – Paralaxe estelar. O parsec.
- 5.2 – Distância fotométrica.
- 5.3 – Magnitudes Absolutas das Estrelas.

#### L.6 – Estrelas Padrão

- 6.1 – RR Lira e Cefeidas.
- 6.2 – Enxames Estelares: ajuste da Sequência Principal.

## 2 – Absorção Contínua em Atmosferas Estelares

#### L.7 – Processos Físicos de Dispersão e Absorção.

- 7.1 – bb, ff, bf.
- 7.2 – Scattering de Rayleigh.
- 7.3 – Scattering de Thomson (Electrões).

#### L.8 – Distribuições de Equilíbrio.

- 8.1 – A Lei de Boltzmann.
- 8.2 – Derivação da Equação de Saha.
- 8.3 – Temperaturas de Excitação e de Ionização.

#### L.9 – O Hidrogénio.

- 9.1 –  $K_\nu$  do ião  $H^-$ .
- 9.2 – Produção do Espectro Contínuo do Sol.

#### L.10 – Outros Elementos.

- 10.1 – O  $K_\nu$  em Átomos Hidrogenóides.
- 10.2 –  $K_\nu$  do Hélio.
- 10.3 – Absorção por parte dos “Metais”.

## 3 – Propriedades Físicas dos Espectros

#### L.11 – A Descontinuidade de Balmer.

- 11.1 – Pressão dos Electrões  $P_e$  vs.  $\log g$ .
- 11.2 – Em Estrelas de Temperatura Intermédia, F e G.
- 11.3 – Em Estrelas Quentes O, B e A.
- 11.4 – Em Estrelas Anãs e Gigantes.

#### L.12 – Classificação Espectral.

- 12.1 – Comportamento Real do Coeficiente  $K_\nu$ .
- 12.2 – Efeitos de “Backwarming” e Encobrimento do Espectro.
  - i) Em Estrelas Quentes e Intermédias.
  - ii) Bandas Moleculares em Estrelas K e M.

- 12.3– Sistema de Morgan e Keenan (MK).
- 12.4– Relação Classe de Luminosidade  $\leftrightarrow \log g$ .

#### 4– Fluxos Radiativos e Fotometria

- L.13– Corpo Negro.
  - 13.1– Definições da Lei de Planck.
  - 13.2– Lei de Stefan-Boltzmann.
  - 13.3– Intensidade Específica.
- L.14– Transferência Radiativa em Geometria Linear.
  - 14.1– Definição do Coeficiente de Absorção  $K_\nu$ .
  - 14.2– Profundidade Óptica  $\tau_\nu$ .
  - 14.3– Definição da Emissividade  $\epsilon_\nu$ .
  - 14.4– Definição da Função das Fontes  $S_\nu$ .
- L.15– Magnitudes.
  - 15.1– Luminosidade e Fluxo Radiativo à Superfície.
  - 15.2– Fluxo e Intensidade de Radiação Estelar.
  - 15.3– Escurecimento do Limbo.
  - 15.4– Filtros e definição de magnitude.
  - 15.5– Massa de ar e Magnitude acima da atmosfera.
  - 15.6– Coeficientes de Extinção atmosféricos.
- L.16– O Sistema UBV de Johnson.
  - 16.1– Os Índices de Côr U–B e B–V.
    - i) Dependência em  $T_{eff}$  e  $\log g$ .
  - 16.2– O “Excesso” de Ultra-Violeta  $\delta(U-B)_{0.6}$ .
    - i) O Efeito de “Guilhotina”.
    - ii) Correlação com a metalicidade [Fe/H]
    - iii) Correlação com  $T_{eff}$ .
  - 16.3– Extensões ao Infra-Vermelho Próximo.
    - i) As Bandas R, I e K.
    - ii) Calibrações V–K e R–I vs.  $T_{eff}$  para Estrelas Frias.
- L.17– O Sistema de Strömgren  $wbyH\beta$ .
  - 17.1– Os Índices  $b-y$ ,  $m_1$ ,  $c_1$  e  $H\beta$ .
  - 17.2– Diagramas  $c_1$  vs.  $(b-y)$  e  $m_1$  vs.  $(b-y)$ .
  - 17.3– Correlações com  $T_{eff}$ ,  $\log g$  e [Fe/H], para Estrelas F e G.
- L.18– Absorção Interestelar  $A_\lambda$ .
  - 18.1– Curva de Extinção em Função de  $\lambda$ .
  - 18.2– Avermelhamento dos Índices de Côr.
  - 18.3– Determinação de  $A_\lambda$  por Fotometria de Strömgren.

#### 5– Evolução Estelar e o Diagrama H-R

- L.19– A Evolução Pré-Sequência Principal.

- 19.1– Contração Gravitacional e Combustões Nucleares Prematuras.
- 19.2– Convecção e o Limite de Hayashi.
- 19.3– Anãs Castanhas.
- L.20– A Sequência Principal.
  - 20.1– Estrutura das Estrelas com Massa  $M < 1.2 \times M_{\odot}$ .
  - 20.2– Estrutura das Estrelas com  $M > 1.2 \times M_{\odot}$ .
  - 20.3– As Sub-Anãs (Estrelas do Halo Galáctico).
- L.21– O Ramo das Gigantes Vermelhas.
  - 21.1– Estrutura e Evolução no Ramo das Subgigantes.
  - 21.2– A Deflagração do Hélio. Modelos.
- L.22– O Ramo Gigante Horizontal.
  - 22.1– Estrutura Estelar Nuclear.
  - 22.2– Magnitude Absoluta das RR-Lira.
  - 22.3– Estrelas Instáveis: Variáveis Cefeidas.
    - i) Calibração da Magnitude Absoluta.
- L.23– O Ramo Gigante Assimptótico.
  - 23.1– Estrutura Interna Característica. Ciclos Nucleares.
  - 23.2– Estrelas Peculiares.
  - 23.3– Ventos Estelares. Efeito da Pressão de Radiação.
- L.24– Estágios Finais da Evolução Estelar.
  - 24.1– Anãs Brancas.
  - 24.2– Buracos Negros.

---

## PARTE II

### A Via Láctea

#### 6– Formação e Dinâmica da Galáxia

- L.25– Introdução Histórica.
- L.26– Primeiros Modelos de Formação.
  - 26.1– Populações Estelares de Lyndblad
  - 26.2– Modelo de Egen, Lynden-Bell e Sandage.
    - i) Parâmetros Adiabáticos em Potenciais Quasi-Centrais.
- L.27– Modelos de Searl e Zinn.
  - 27.1– A Formação do Halo Exterior.
  - 27.2– Gradientes de Metalicidade.
  - 27.3– Acreção Contínua de Material.
- L.28– A Equação de Boltzmann sem Colisões.
  - 28.1– As Equações de Jeans.

- 28.2– Teoremas do Virial.
- 28.3– Teoremas de Jeans.
- 28.4– Potenciais Gravíticos de Discos Materiais
  - i) Rotação Galáctica: Curvas Teórica e Observada.
  - ii) Distribuição da Densidade Estelar em  $z$  e  $R_G$

## 7– Exames de Estrelas

- L.29– Curvas Isócronas no Diagrama H-R.
  - 29.1– Dependência na Idade.
  - 29.2– Dependência na Composição Química.
- L.30– Caracterização dos Exames Abertos.
  - 30.1– Diagramas H-R de Exames Abertos.
  - 30.2– Localização.
  - 30.3– Distribuições de Idade e Metalicidade.
- L.31– Caracterização dos Exames Globulares.
  - 31.1– Diagramas H-R de Exames Globulares.
  - 31.2– Distribuição Espacial.
  - 31.3– Distribuições de Idade e Metalicidade.
  - 31.4– Zinn e as Duas Populações de EG.

## 8– A Distribuição Espacial de Estrelas

- L.32– Função de Luminosidade  $\phi(M_v)$ .
  - 32.1– Do Disco Fino.
    - i) As Funções  $\phi(M_v)$  de Luyten e de Wielen.
  - 32.2– Do Halo Galáctico.
    - i) Função  $\phi(M_v)$  dos Exames Globulares.
    - ii) Factor de Normalização.
  - 32.3– Do Disco Espesso.
    - i) Função  $\phi(M_v)$ .
    - ii) Factor de Normalização.
  - 32.4– Função de Massa Inicial  $\xi(M_v)$ .
- L.33– Funções Densidade  $\rho(\vec{r})$ .
  - 33.1– Do Disco Fino.
  - 33.2– Do Halo Galáctico.
  - 33.3– Do Disco Espesso.
  - 33.4– Do Bojo Central.
- L.34– Modelos de Distribuição de Estrelas.
  - 34.1– Modelos de Duas Populações.
  - 34.2– Modelos de Três Populações.
  - 34.3– Testes: Contagens de Estrelas.

## 9– Populações de Estrelas

## L.35– Caracterização Cinemática.

35.1– O Deslocamento Assimétrico das Órbitas no Disco.

35.2– Excentricidade das Órbitas.

35.3– Curva de Rotação da Galáxia.

i) A Existência de Matéria Escura.

35.4– Dispersões de Velocidades:

i)  $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$  e  $\sigma_W$ .

## L.36– Distribuições de Idade.

36.1– Relação Metalicidade–Idade para o Disco.

36.2– Existência do Gradiente [Fe/H] em  $R_G$ .

36.3– Implicações na Formação da Galáxia.

## L.37– Caracterização em Metalicidade.

37.1– Em Função da Componente da Velocidade W.

37.2– Em Função da Altura Máxima Acima do Plano Galáctico.

37.3– Diagramas [Fe/H] vs. Excentricidade das Órbitas.

**10– Evolução Química**

## L.38– Modelos Teóricos.

38.1– O Modelo Simples.

38.2– O Modelo do Disco–Esferóide.

38.3– O Modelo de Acreção Contínua.

## L.39– Enriquecimento Químico.

39.1– Produção de Elementos Pesados.

i) Os Processos *s*, *r* e *p*.

ii) Produção em Supernovas Tipo II. Modelos de explosão.

39.2– Aparecimento de Supernovas Tipo I na Galáxia.

i) Diagramas Eu vs. Ba.

ii) Diagramas Sr–Y–Zr vs. [Fe/H].

L.40– O Estudo Seminal de Edvardson *et al.*.

40.1– Gradientes de metalicidade

40.2– Relação Idade-metalicidade no disco

**11– A Componente Gasosa**

## L.41– O Hidrogénio Neutro.

41.1– Distribuição Radial.

41.2– O “Magellanic Stream”.

41.3– Mapeamento dos Braços Galácticos.

## L.42– Outras Distribuições:

42.1– de CO.

42.2– de Radiação  $\gamma$ .

Dezembro 2003

Rui Jorge Agostinho