

Um Universo de Galáxias

Como estudamos a nossa e outras galáxias hoje?

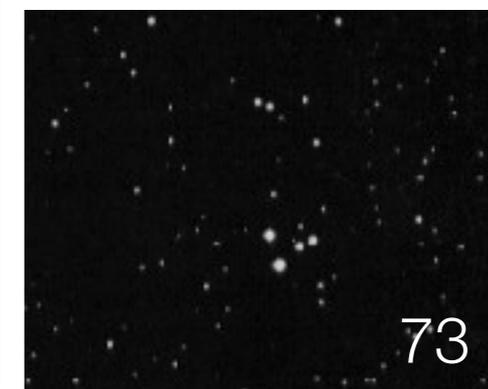
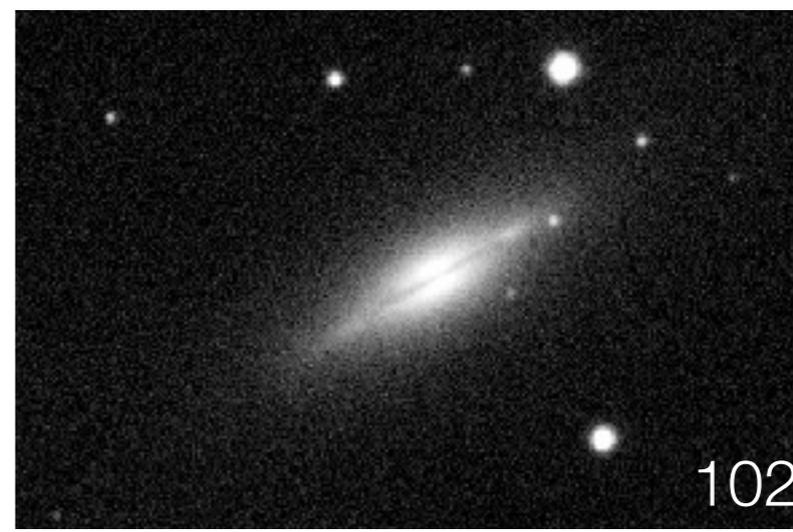
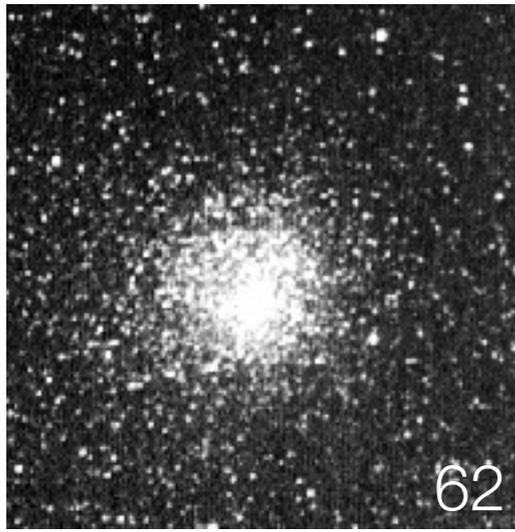
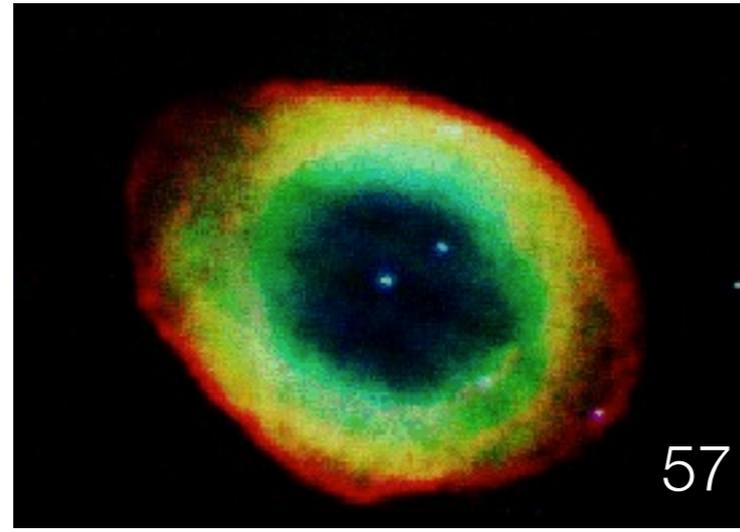
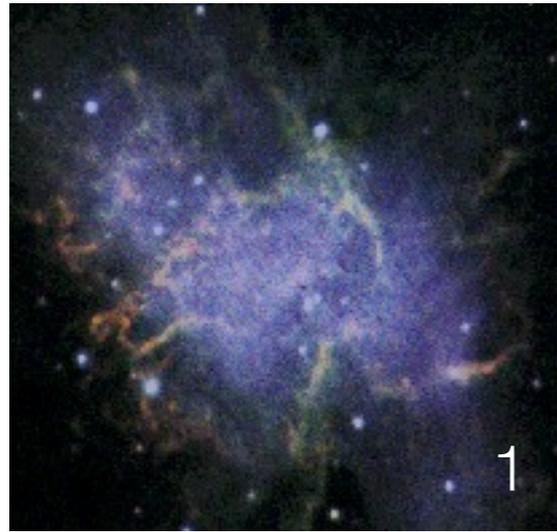
Qual o panorama geral hoje em dia sobre a formação dos diversos tipos de galáxias?

Quais os processos estelares que mais influenciam nossos estudos da Via Láctea e outras galáxias?



Um Universo de
Estrelas e Galáxias

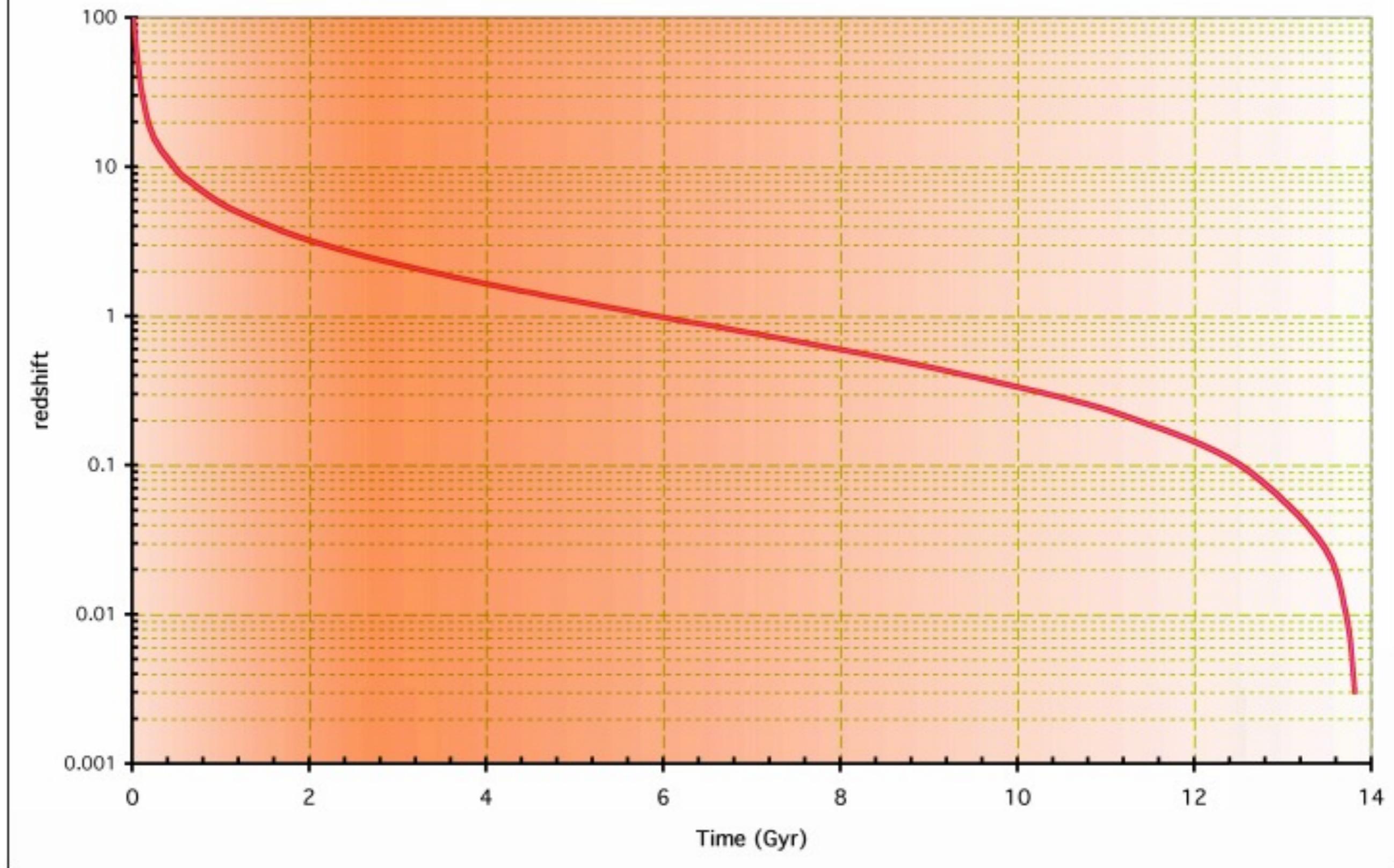
Entre 1758 e 1782, Charles Messier (Francês 1730 - 1817) compilou uma lista de aproximadamente 110 objetos difusos que eram difíceis de se distinguir de cometas com os telescópios da época. Apenas em 1924 com E. Hubble foi comprovado que alguns desses objetos eram galáxias além da nossa.



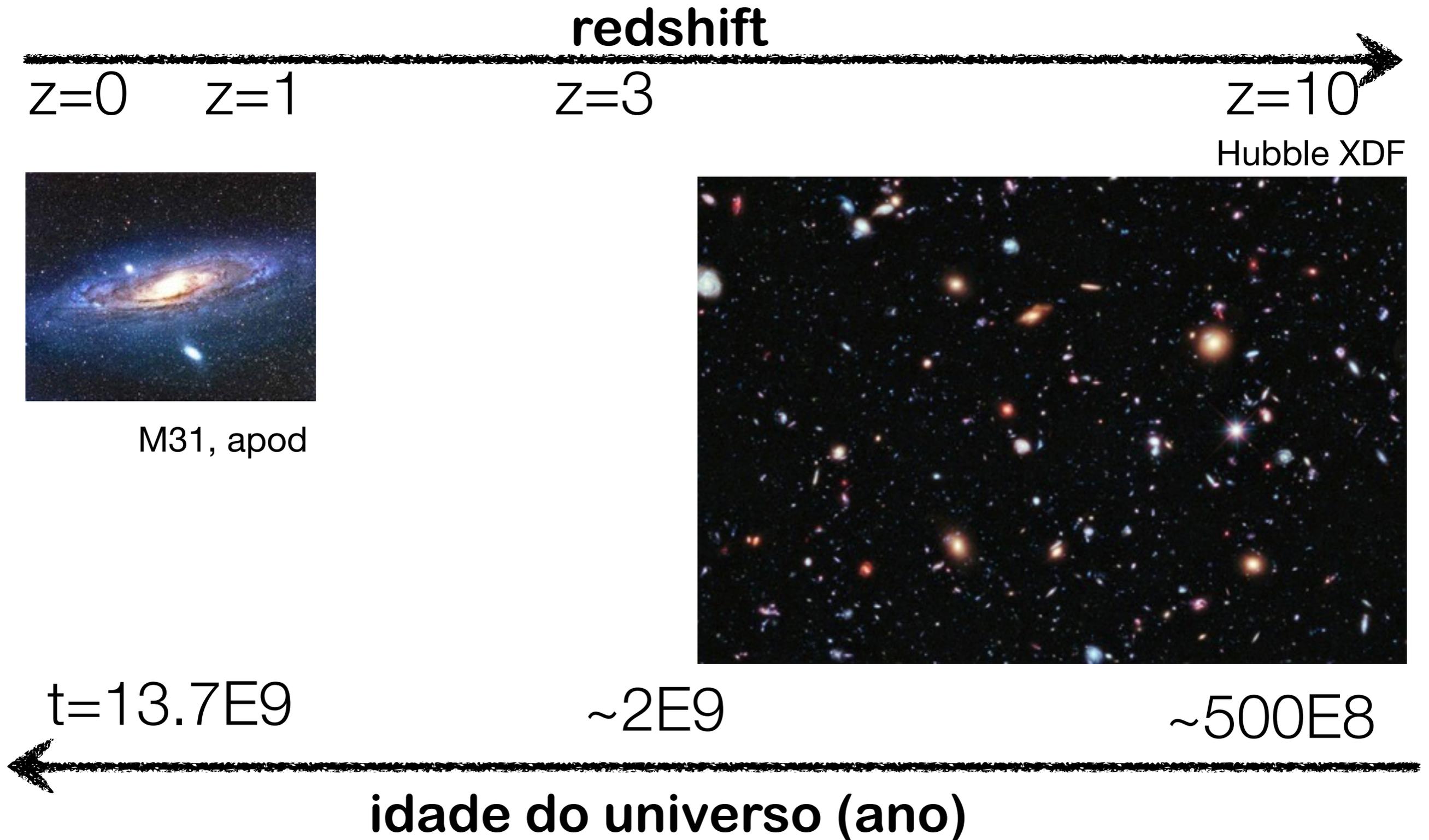
Como estudamos a nossa e outras galáxias hoje?

"Lookback time" versus Arqueologia

$H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$, $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_{\Lambda} = 0.7$



Estudando as galáxias com lookback time



Arqueologia

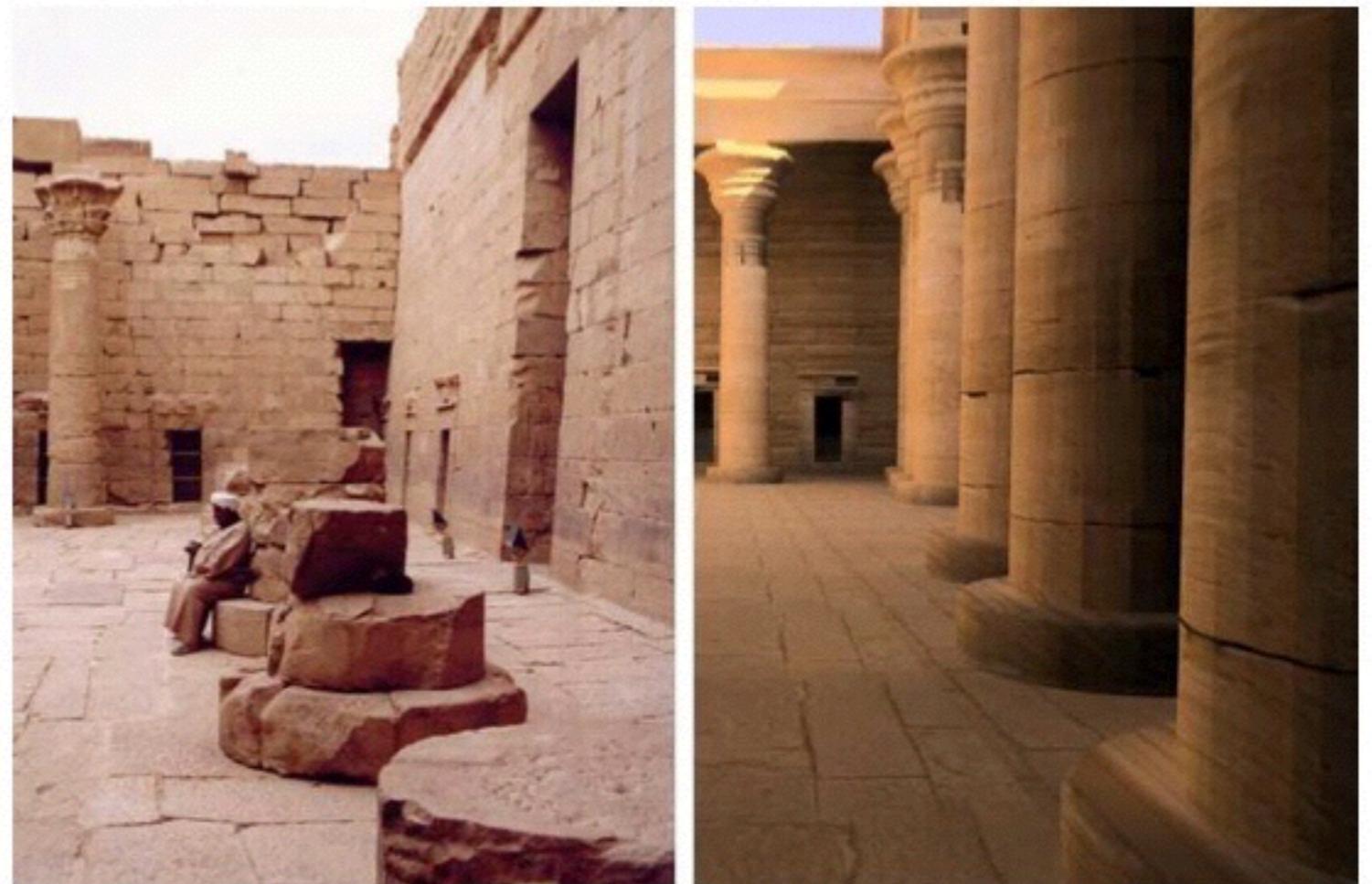


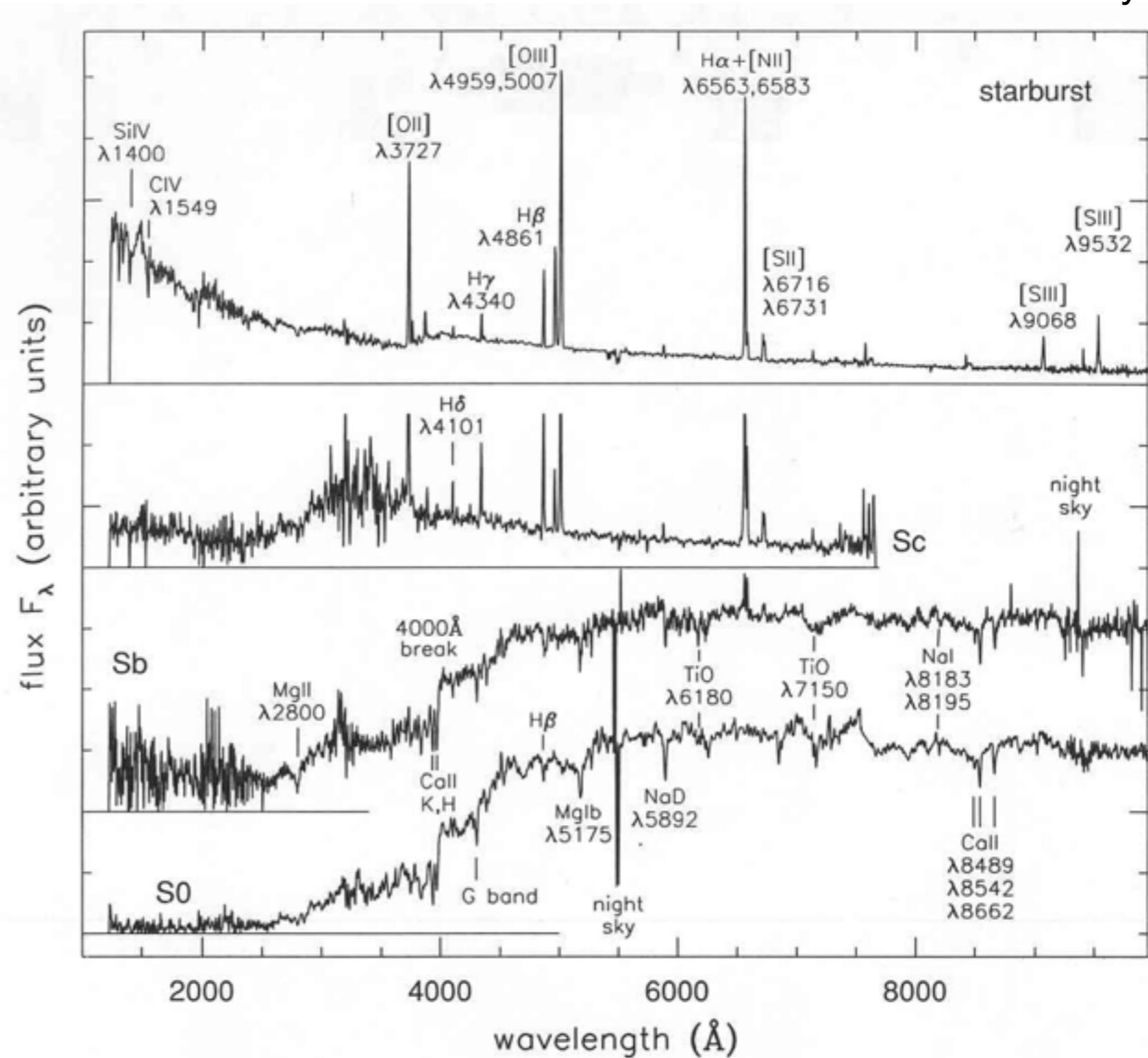
Figure 9: (a) View of the courtyard today and (b) how it may have appeared in 30BC.

Credit: High Fidelity Reconstruction of the Ancient Egyptian Temple of Kalabsha, Sundstedt, Chalmers & Martinez (2004)

Nosso sítio arqueológico:
Assinaturas espectrais em estrelas e galáxias

Assinaturas em espectros de galáxias

Credit: A. Kinney



Assinaturas em espectros de estrelas

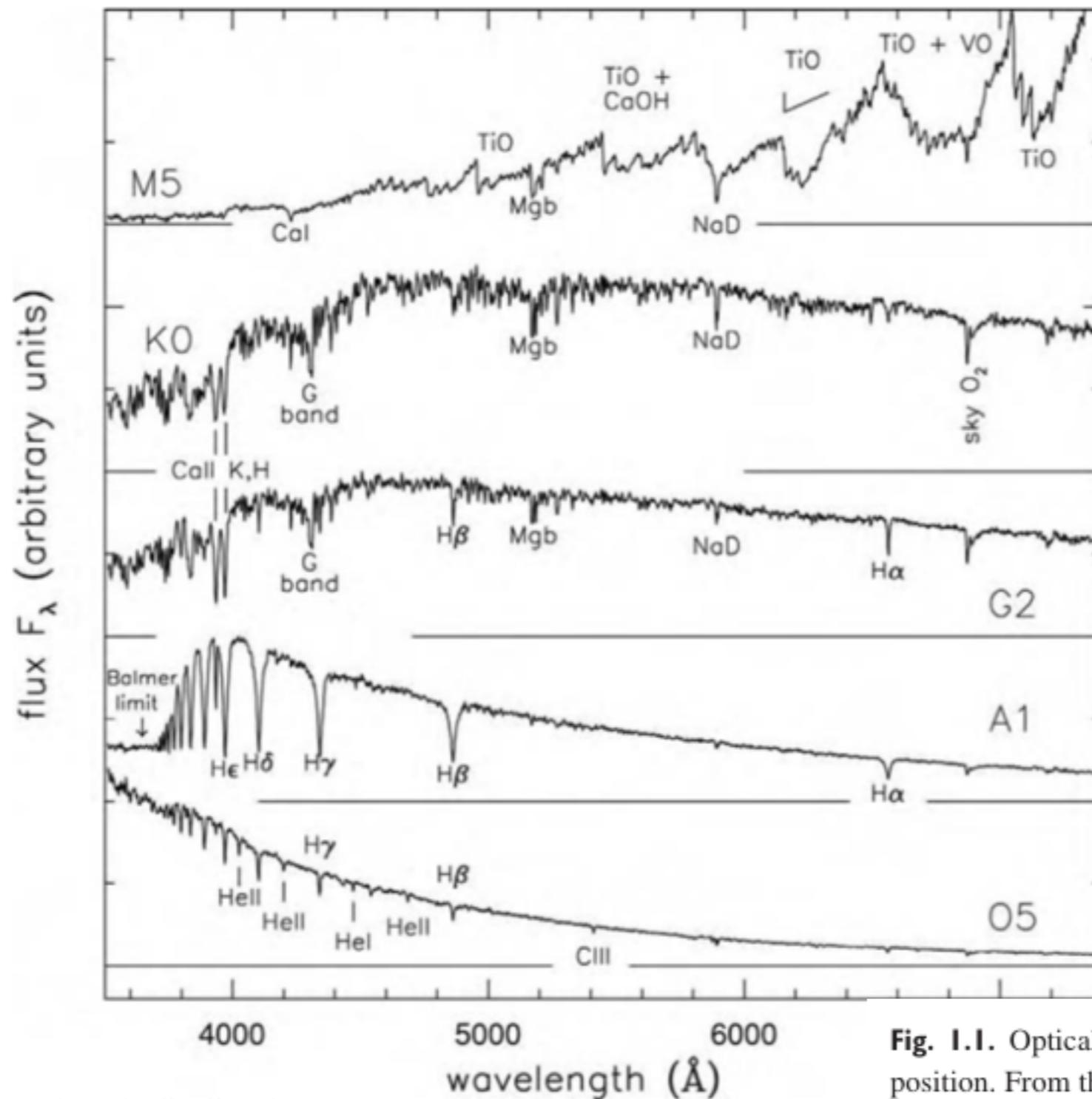
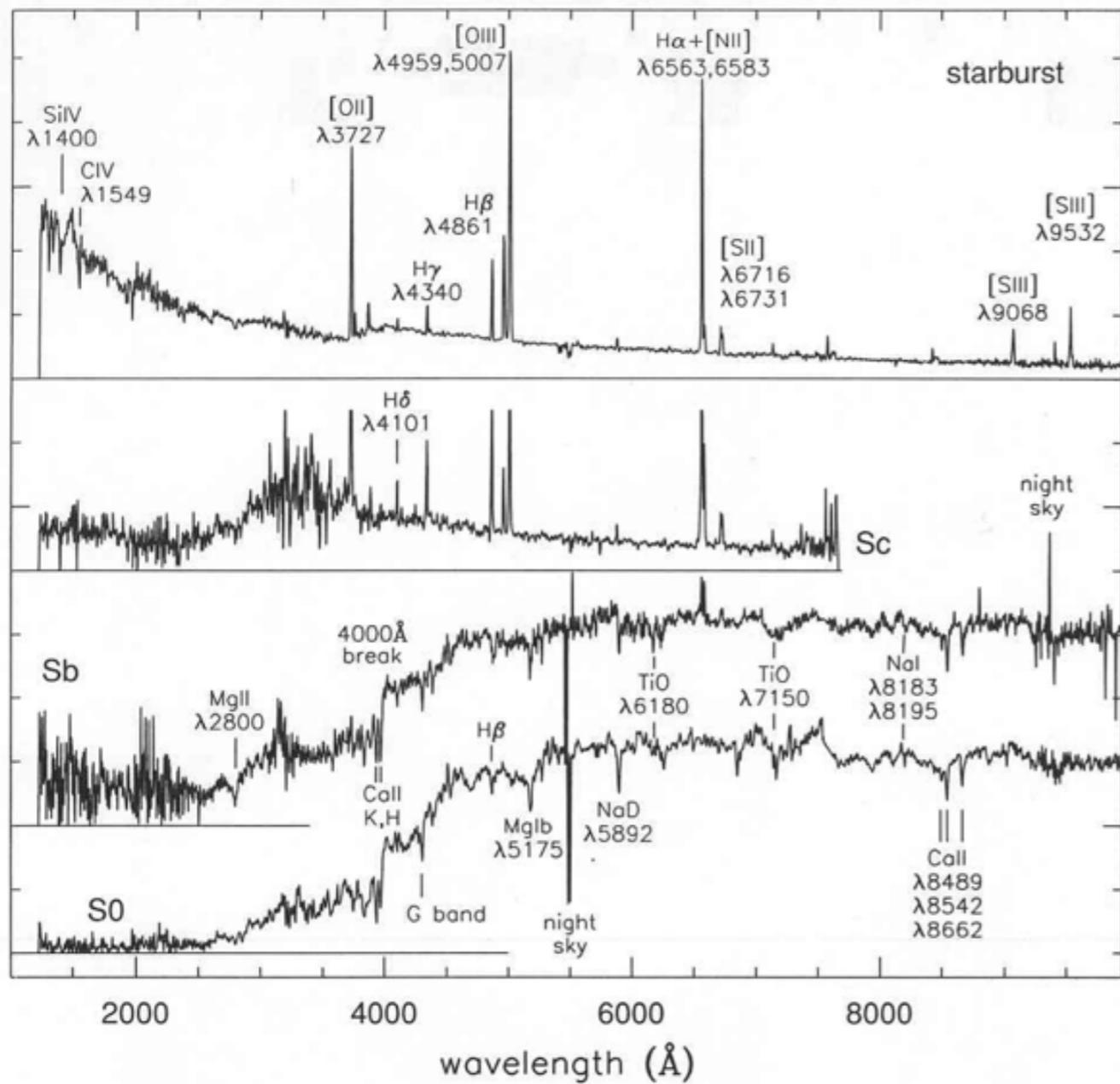
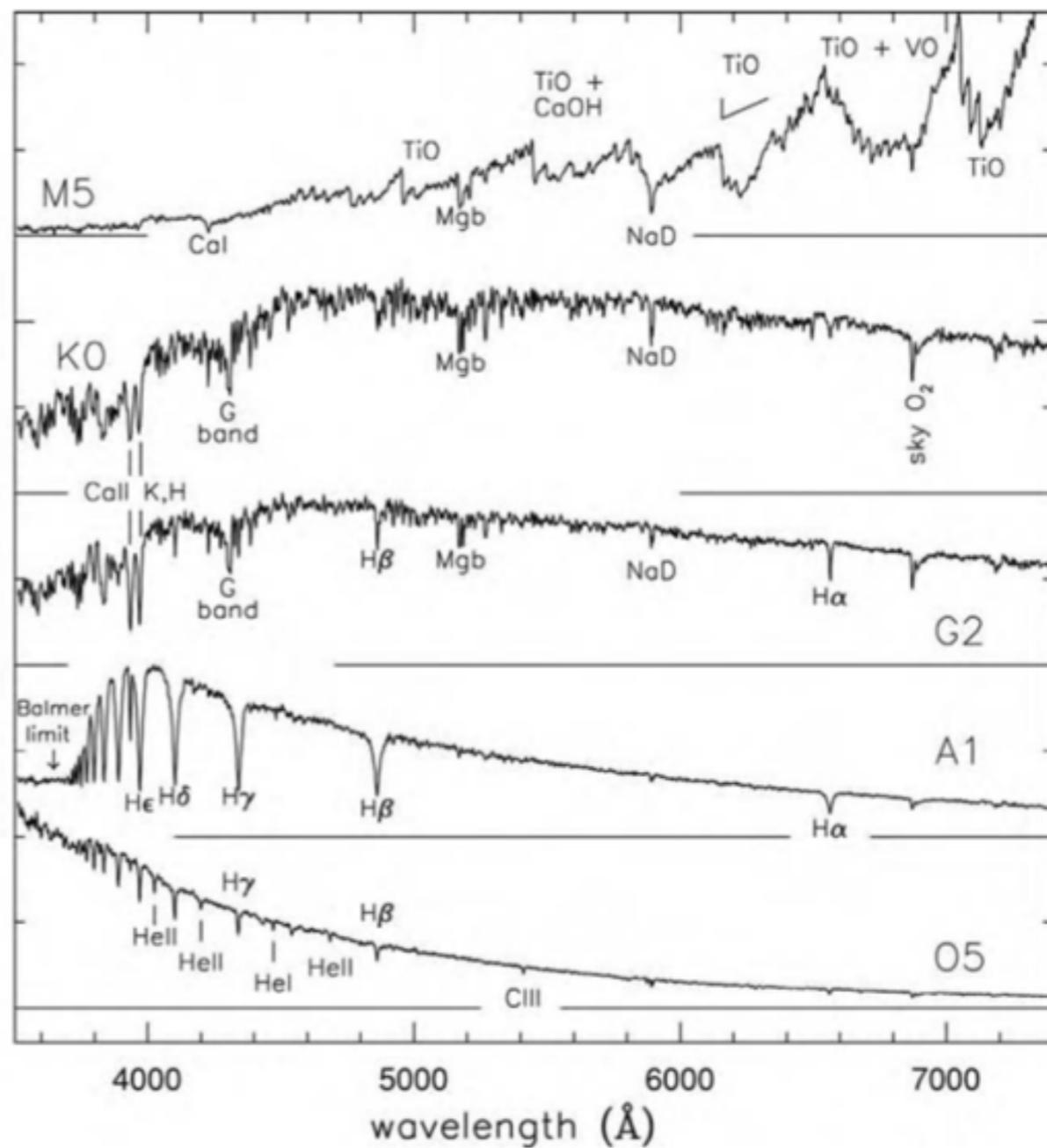


Fig. 1.1. Optical spectra of main-sequence stars with roughly the solar chemical composition. From the top in order of increasing surface temperature, the stars have spectral classes M5, K0, G2, A1, and O5 – G. Jacoby *et al.*, spectral library.

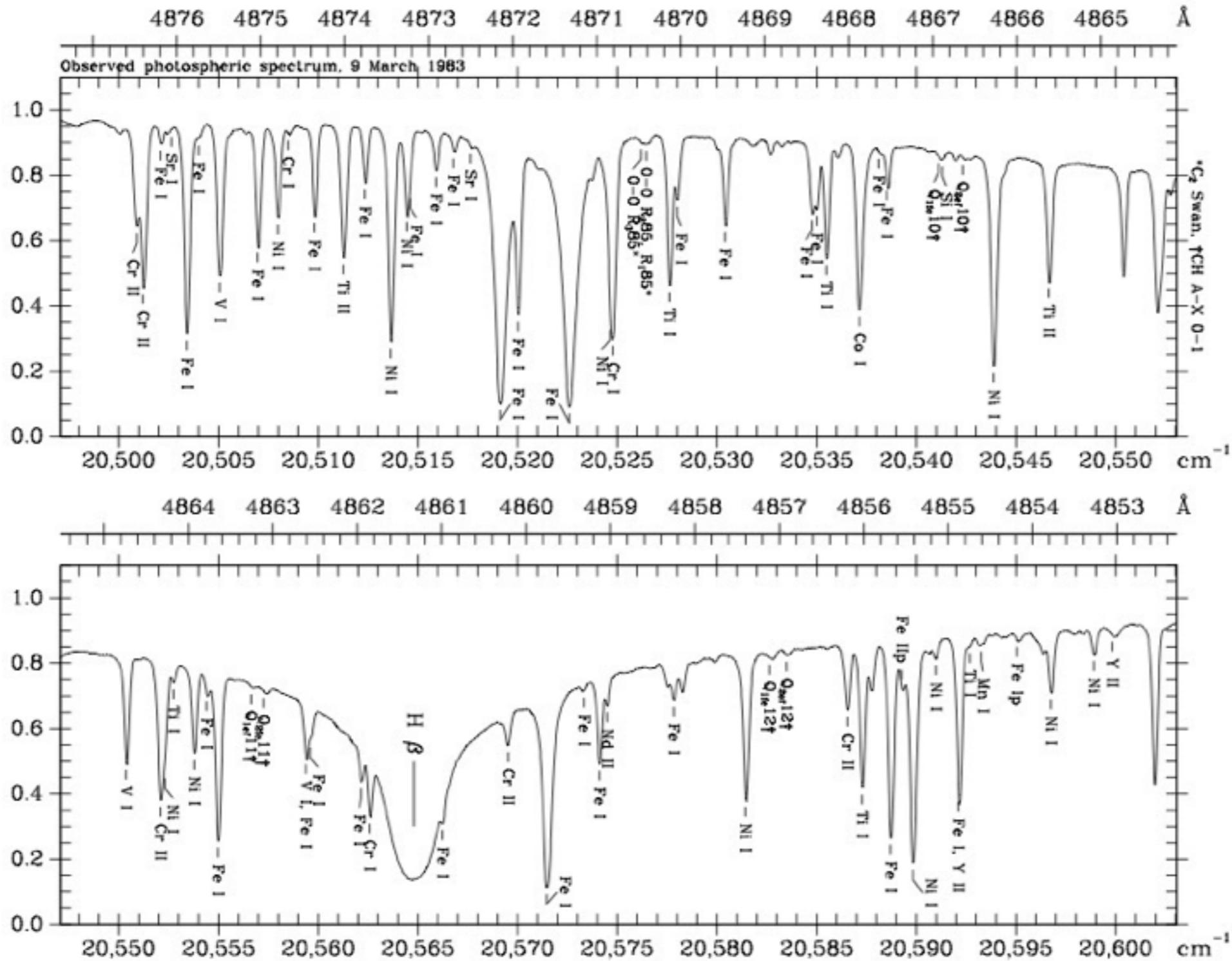
flux F_λ (arbitrary units)

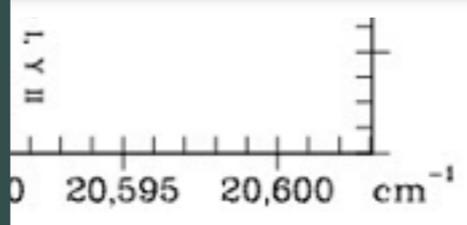
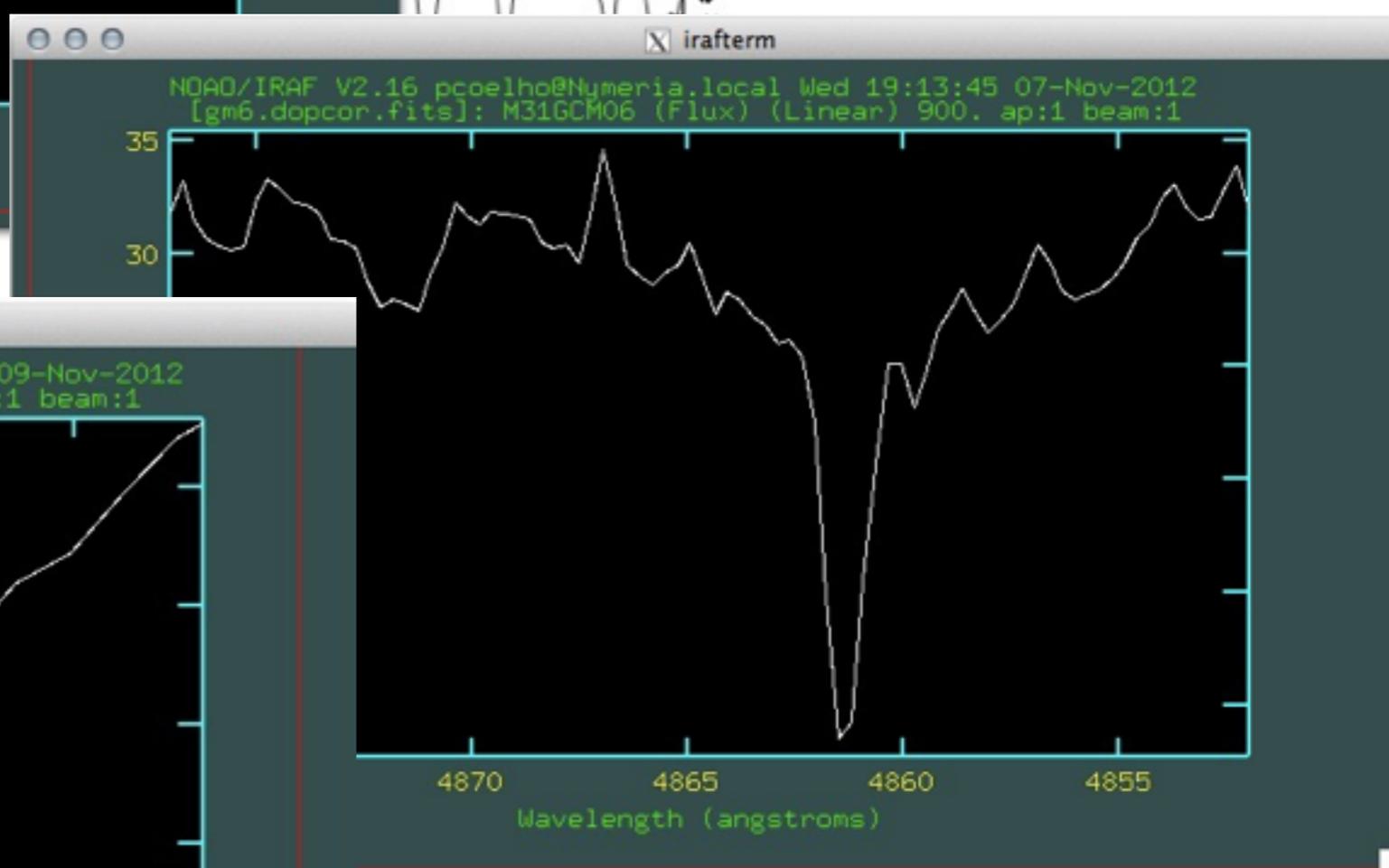
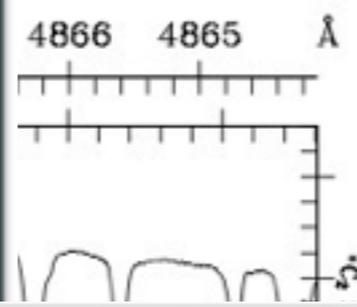
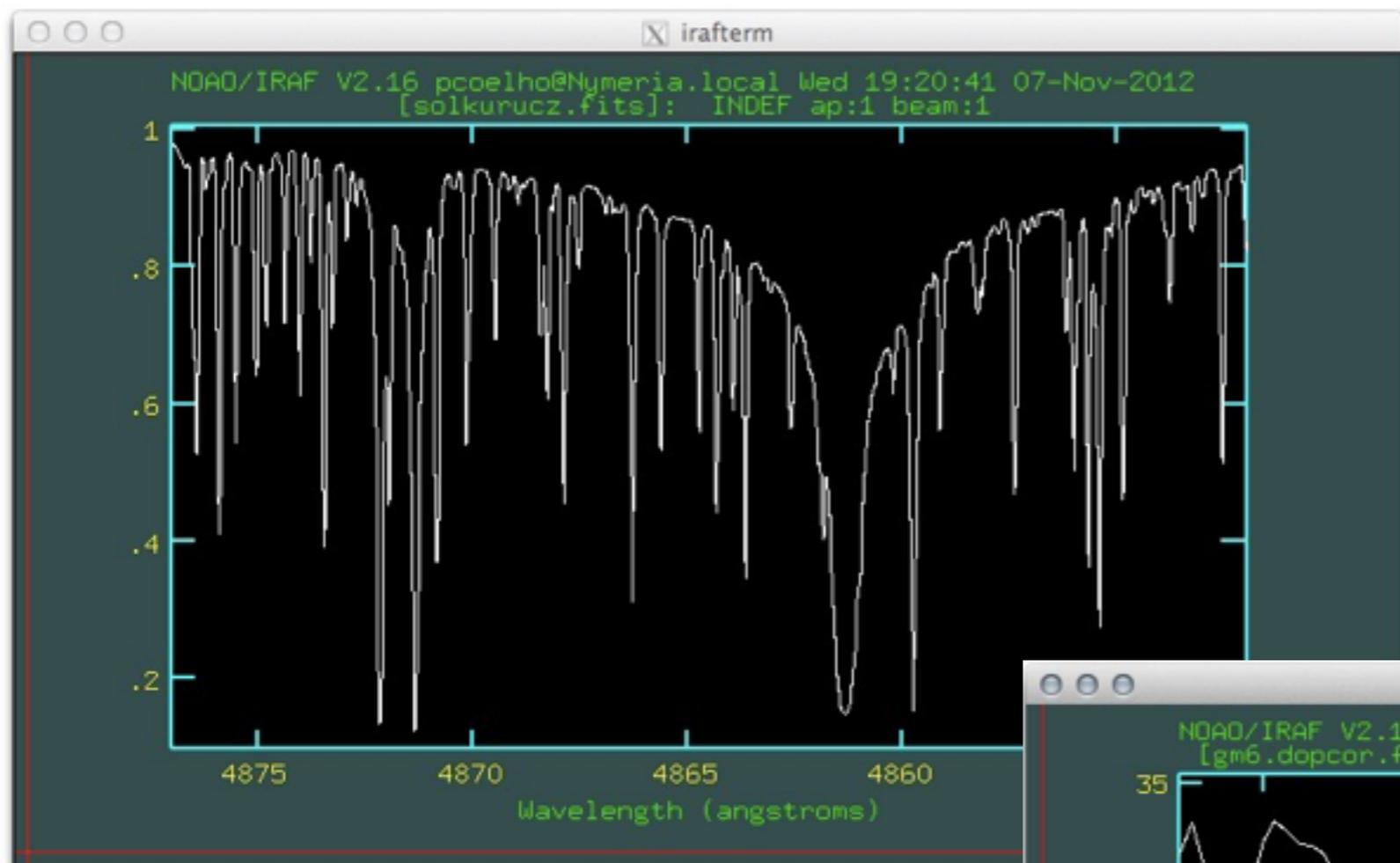


flux F_λ (arbitrary units)



Absorption stellar spectra





0.2 Fe I -M I -I I -I I -I I

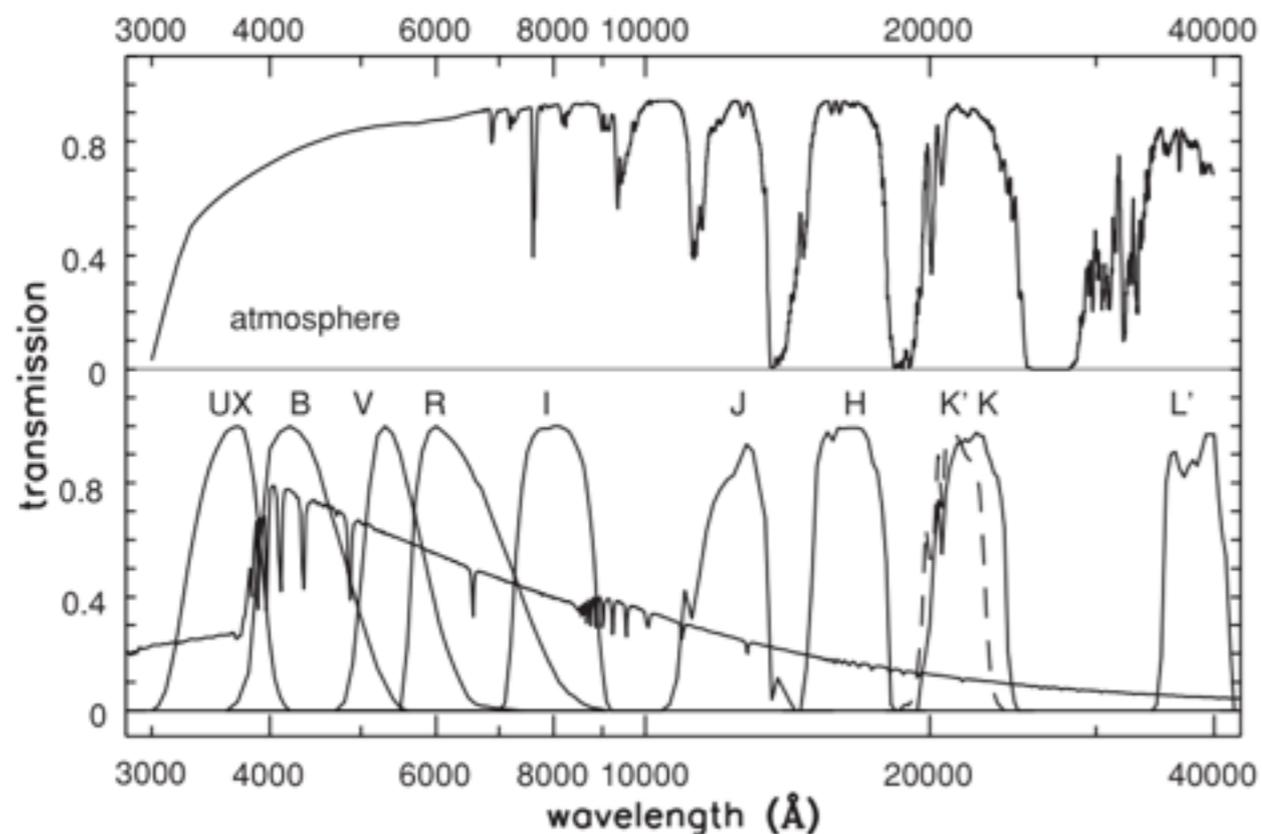


Fig. 1.7. Above, atmospheric transmission in the optical and near-infrared. Below, flux F_λ of a model A0 star, with transmission curves $T(\lambda)$ for standard filters (from Bessell 1990 *PASP* **102**, 1181). UX is a version of the U filter that takes account of atmospheric absorption. For $JHK'KL'$, $T(\lambda)$ describes transmission through the atmosphere and subsequently through the filter.

$$F_{BP} \equiv \int_0^\infty T_{BP}(\lambda) F_\lambda(\lambda) d\lambda$$

$$m_{1,BP} - m_{2,BP} = -2.5 \log_{10} \left\{ \frac{\int_0^\infty T_{BP}(\lambda) F_{1,\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty T_{BP}(\lambda) F_{2,\lambda}(\lambda) d\lambda} \right\}$$

M106: IR (vermelho), x-ray (azul), radio (violeta) e visível
 (Crédito: NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), and R. Gendler)



Fotometria

Qual o panorama geral hoje em dia sobre a formação dos diversos tipos de galáxias?

Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

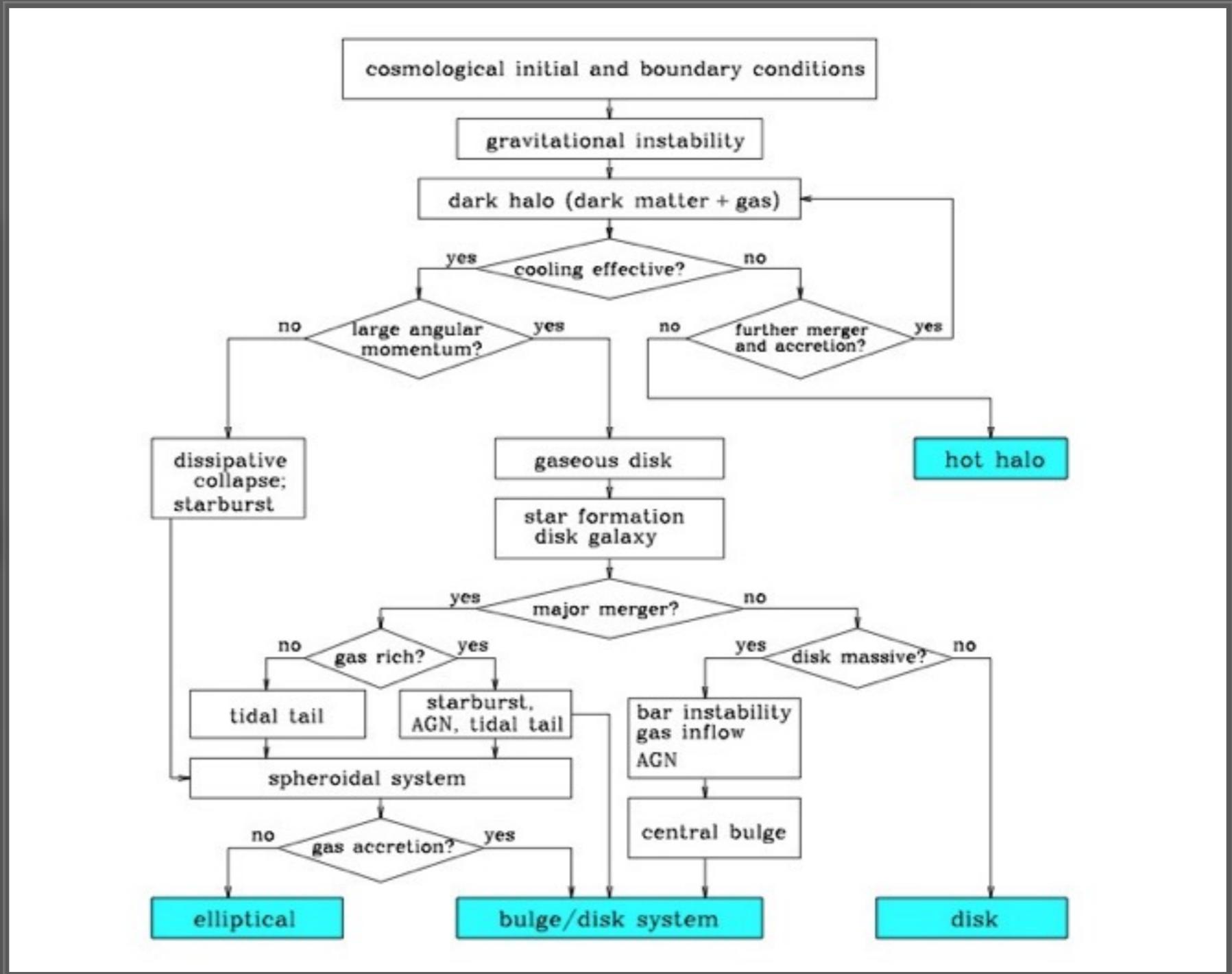
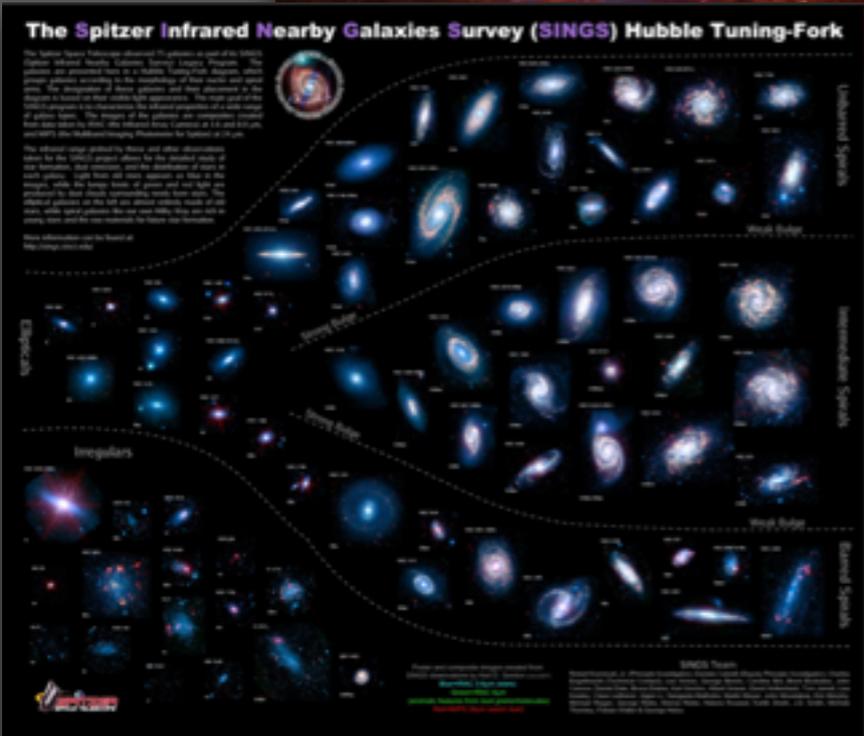
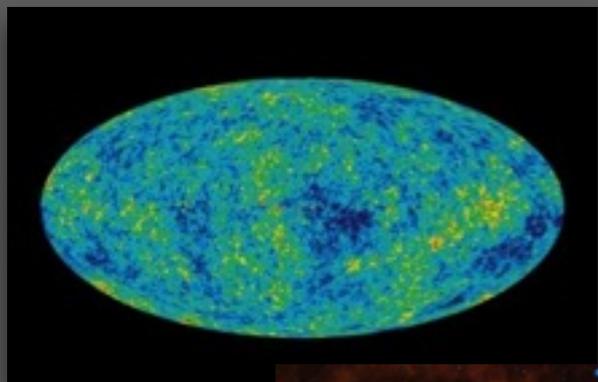
- **Modelo padrão da cosmologia:** Λ CDM, universo plano, ~ 75% da densidade de energia devido a uma constante cosmológica, ~21% em matéria escura fria, ~4% matéria bariônica
- **Condições iniciais:** perturbações de densidade provindas de flutuações quânticas são as responsáveis pela formação das estruturas que observamos hoje; não é ainda possível prever essas flutuações a partir de “first principles”: conjunto de parâmetros é escolhido para reproduzir observações, e.g., radiação cósmica de fundo
- **Instabilidades gravitacionais e formação de estruturas:** resultam nos halos de matéria escura, que tem um papel vital nas teorias modernas de formação de galáxias
- **Resfriamento do gás:** o efeito final do resfriamento é segregar a matéria bariônica da matéria escura, acumulando gás denso e frio em uma proto-galáxia, no centro do halo de matéria escura

Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

- **Formação Estelar:** na presença de resfriamento, o gás colapsa e pode fragmentar em regiões de alta densidade que formarão estrelas, dando forma a uma galáxia como visualizamos.
- **Processos de feedback:** para reproduzir observações, foi necessário incluir nas simulações processos que previnem o gás de se resfriar muito rapidamente, ou que reaquecem o gás.
- **Mergers:** no paradigma cosmológico atual, halos de matéria escura crescem hierarquicamente (cenário “bottom up”); tem um papel importante na evolução da morfologia
- **Evolução Dinâmica:** acredita-se que processos dinâmicos tenham um papel importante em determinar a evolução de galáxias dentro de um cluster e podem explicar a dependência da morfologia das galáxias com o ambiente; processos dinâmicos internos à galáxia também podem determinar sua morfologia, exemplo, as instabilidades causadas por uma barra em galáxias disco (evolução secular).

Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

- **Evolução Química:** primordial, estelar e cosmogênica; quando as estrelas perdem massa (ventos estelares, explosões em supernova), liberam no meio interestelar parte do material processado no seu interior, enriquecendo o meio interestelar; tem impacto nos observáveis (espectros, cores, luminosidades) de populações estelares, na taxa de resfriamento de gás, produzem a poeira do meio interestelar.
- **Síntese de Populações Estelares:** a luz emitida de galáxias é dominada pela somatória das estrelas que a compõem; SPE modela a evolução temporal das SED de galáxias e permite a interpretação das observações; fortemente baseada nas teorias de evolução estelar; a SED de uma galáxia é dominada por estrelas no UV e Visível e por poeira no IV; outras fontes de radiação como AGN podem ter que ser incluídas.
- **Meio Intergaláctico:** material bariônico que reside entre galáxias; é o componente bariônico dominante do Universo, e de onde as galáxias são formadas.



Panorama geral da formação das galáxias

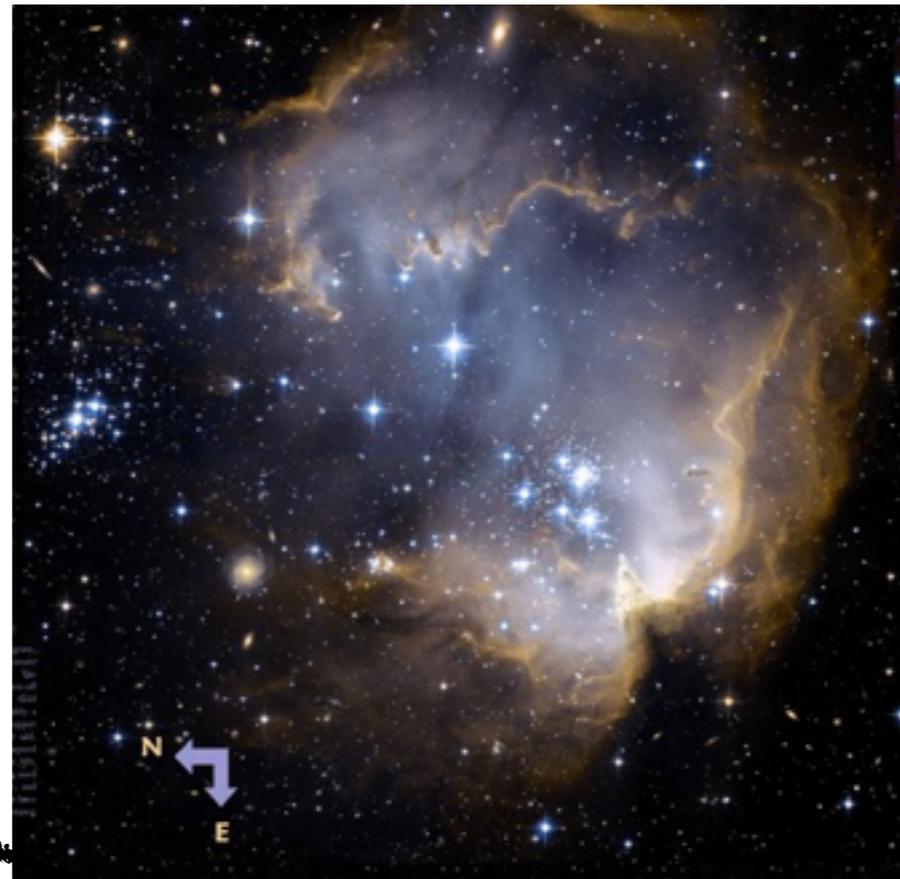
Um flow-chart de formação de galáxias. As condições iniciais são dadas pela cosmologia adotada. Os caminhos levando a formação das diversas galáxias são mostrados com os principais processos físicos envolvidos. Crédito: Mo, den Bosch, White

Quais os processos estelares importantes para nossos estudos da Via Láctea e outras galáxias?

Nuvens moleculares dão origem a estrelas, que enriquecem quimicamente outras nuvens, que geram novas estrelas...



estrelas se formam



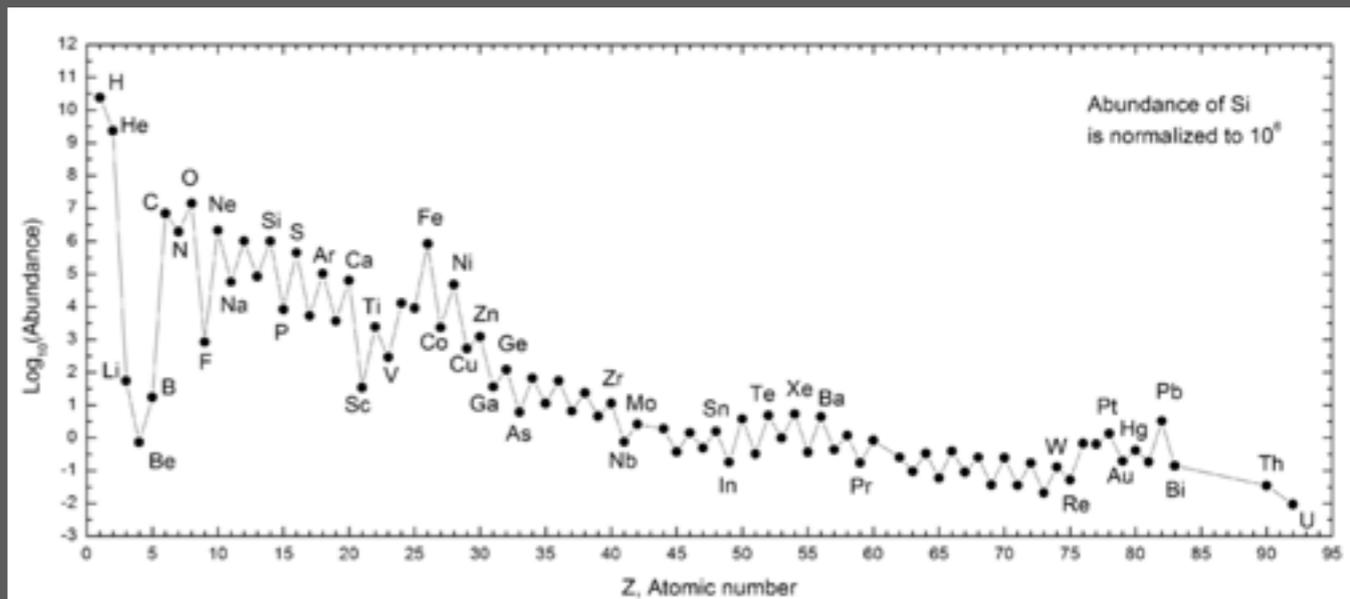
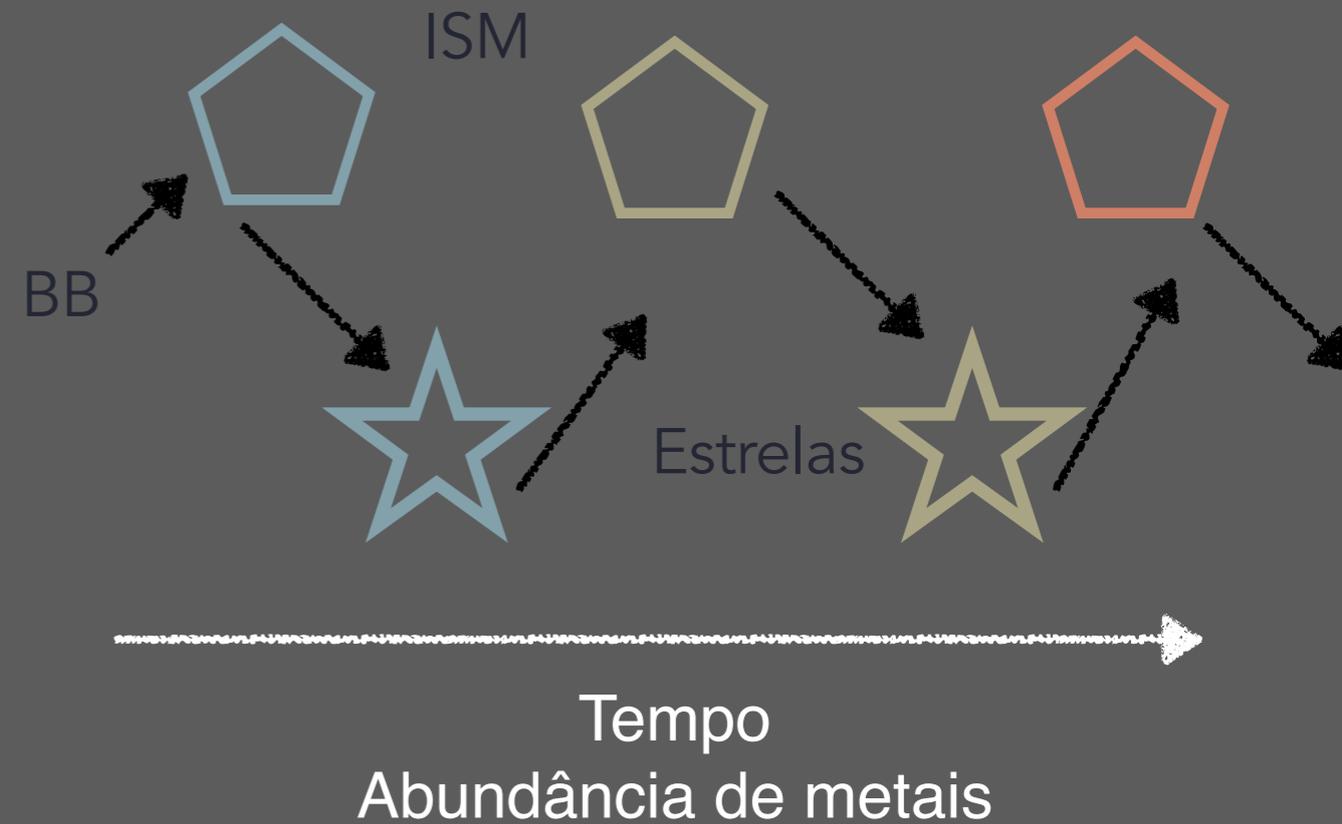
e morrem



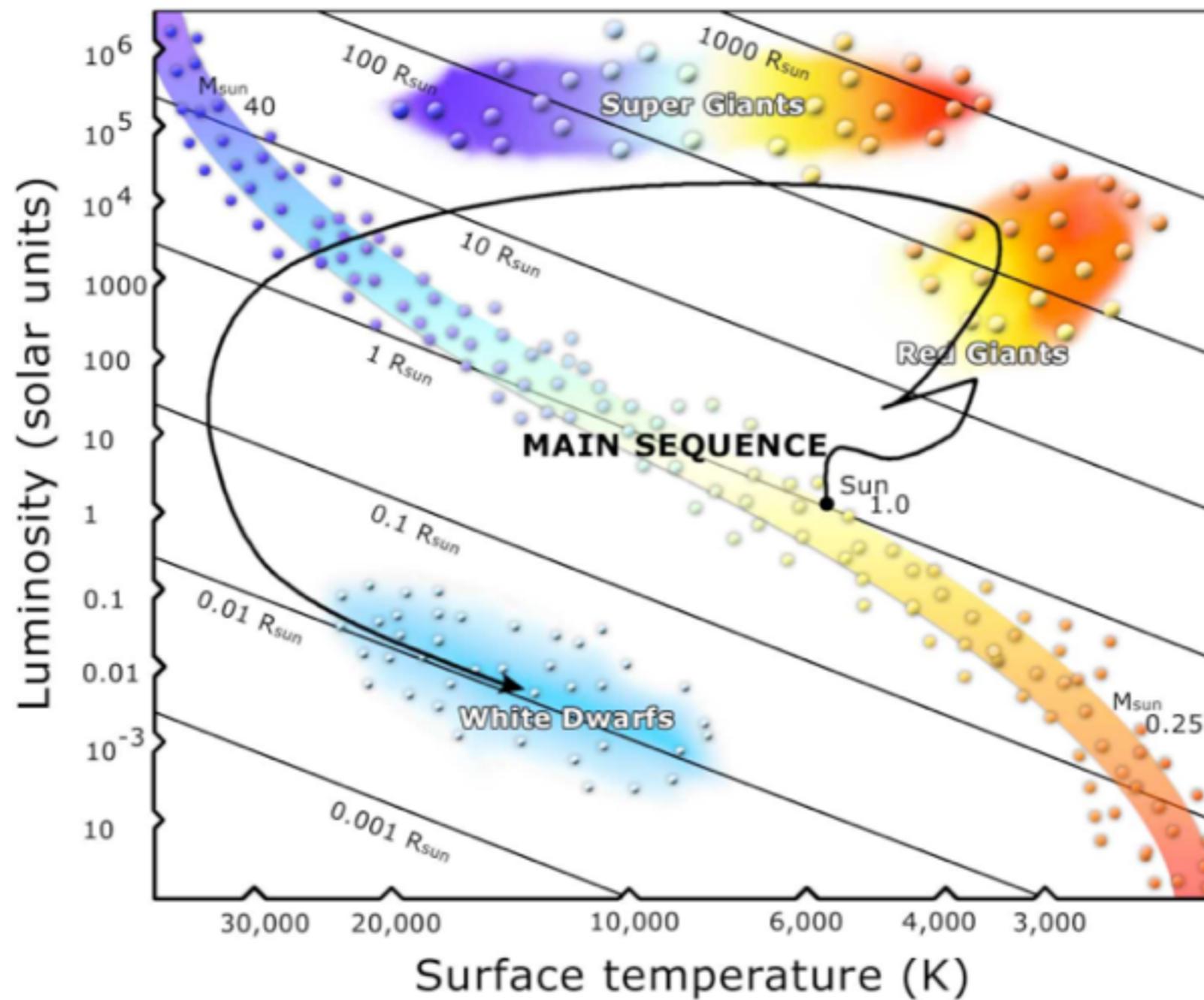
enriquecendo novas nuvens

Evolução química

- Nucleossíntese:
 - primordial: produziu H (~75%), He (~25%) e traços de metais leves (Li)
 - estelar (e explosiva): todos os elementos mais pesados são formados por reações nucleares que ocorrem em estrelas
 - cosmogênica: espalação por raios cósmicos produz Litio, Berílio e Boro
- quando as estrelas perdem massa (ventos estelares, explosões em supernova), liberam no meio interestelar parte do material processado no seu interior, enriquecendo o meio.



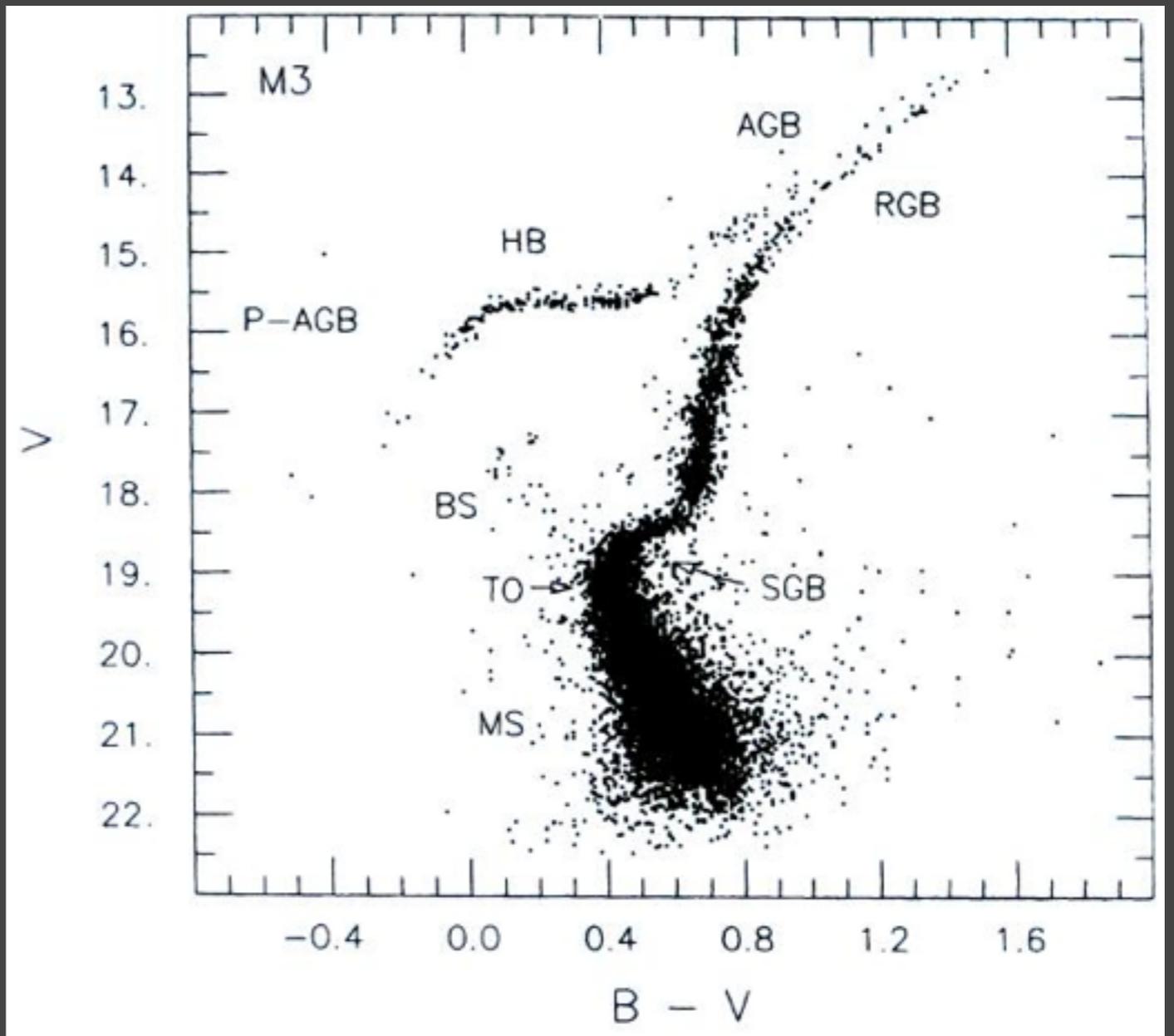
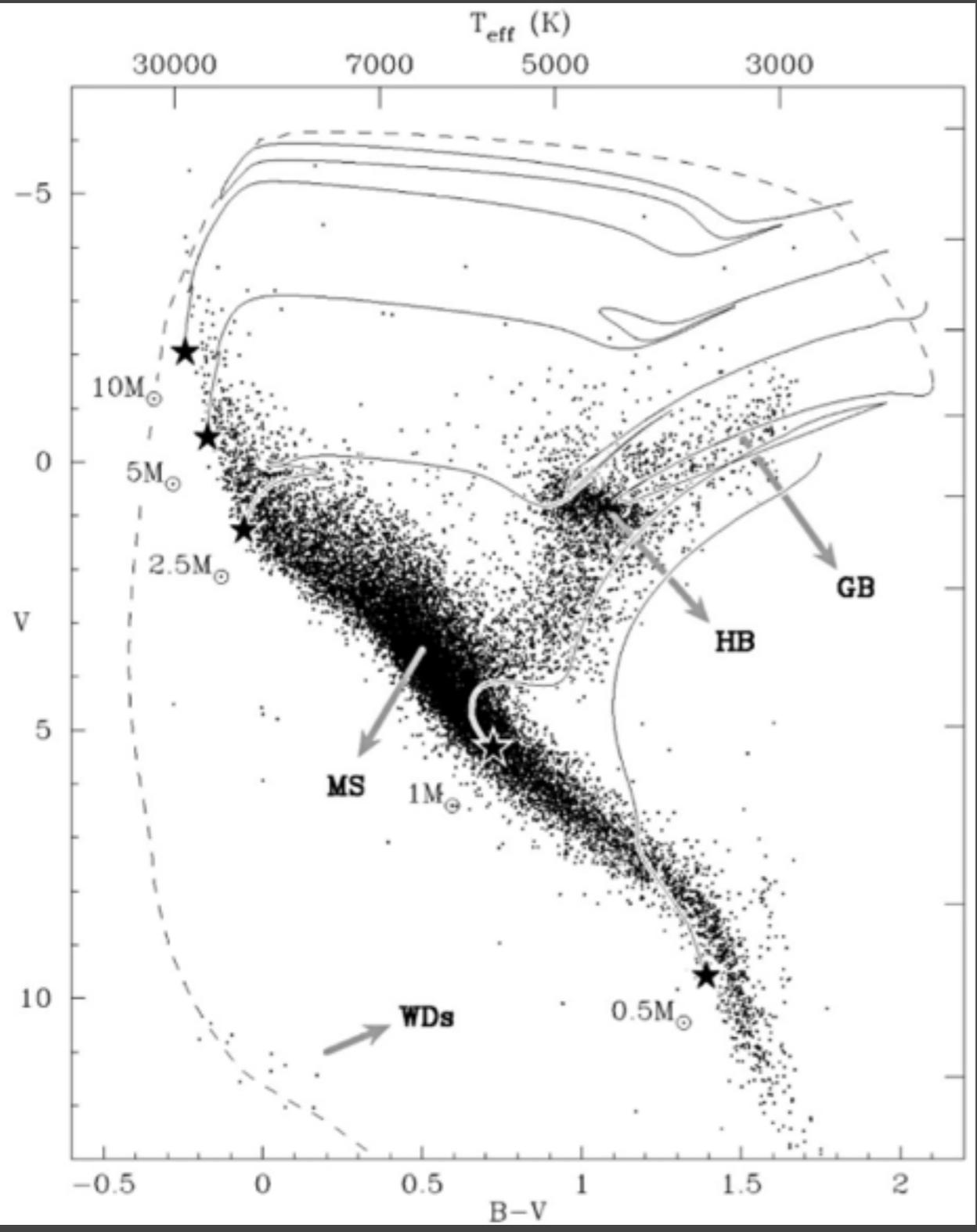
Abundâncias químicas no Sistema Solar



Frontiers of Science. © 2007 The Trustees of Columbia University.

Revisando
Evolução Estelar

Diagrama H-R



Annual Review of Astronomy And Astrophysics, Vol 26, 1988

Revisando
Evolução Estelar

Diagramas Cor-Magnitude

Evolução Estelar

- $M < \sim 0.075 M_{\text{sun}}$: Brown Dwarfs. Não queimam H.
- **Sequência Principal (MS de Main Sequence)**
 - $M \sim 0.075 M_{\text{sun}}$: Massa mínima para queima de H (metallicidade solar!)
 - $M < \sim 0.3-0.4 M_{\text{sun}}$: Very Low Mass Stars (VLM). Inteiramente convectivas. Energia por cadeia pp1 apenas. Fase de queima de H maior do que o tempo de Hubble.
 - $0.4 < M < 1.3 M_{\text{sun}}$: Low Main Sequence. Produção de energia dominante é cadeia pp.
 - $> \sim 1.2 - 1.3 M_{\text{sun}}$: Upper Main Sequence. Produção de energia dominante é ciclo CNO.

Evolução Estelar

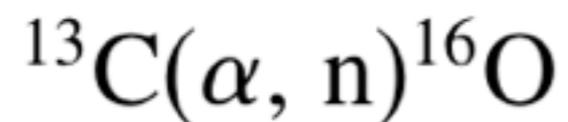
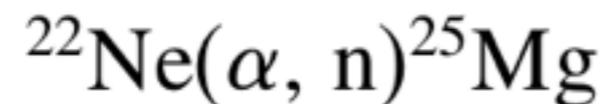
- **Pós-sequência Principal (PMS de Pos Main Sequence)**
 - $M < \sim 2.3 M_{\text{sun}}$: Low Mass Stars. Inicia a queima de He em núcleo degenerado. Flash do Hélio.
 - $\sim 2.3 < M < \sim 8 M_{\text{sun}}$: Intermediate-mass. Não desenvolve núcleo degenerado de He mas desenvolve núcleo degenerado de CO.
 - $M > \sim 8 M_{\text{sun}}$: Massive stars. Não passa por fases com núcleo degenerado.
- SGB: Sub Giant Branch. Transição entre MS e RGB.
- GB: Giant Branch (RGB de Red para massas baixas e intermediárias). Principal fonte de energia é queima de H em camadas. Primeiro dredge-up.

Evolução Estelar

- **Pós-sequência Principal (cont.)**
- HB: Horizontal Branch. Queima de He no núcleo e queima de H em camadas. Fase mais longa depois da MS. *Instability trip*, RR Lyrae e Cefeidas clássicas.
- AGB: Asymptotic Giant Branch. Queima de He e H em camadas.
 - $M < \sim 2.5 M_{\text{sun}}$: low mass AGB stars (para estrelas mais massivas o termo "asymptotic" não tem significado morfológico).
 - Segundo dredge-up para AGB mais massivas que 3-5 M_{sun} .
 - TP-AGB: Thermally pulsing AGB. AGBs que desenvolvem núcleos degenerados passam por uma fase de importantes pulsações. Terceiro dredge-up em estrelas mais massivas que 1.2-1.5 M_{sun} .
- Após a fase AGB, a estrela evolve para PN e WD (massas baixas e intermediárias) ou SN II (massivas)

Formação de elementos s

- Elementos mais pesados do que o Fe, formados através da captura lenta de nêutrons (*lenta* comparada com a escala de tempo do decaimento beta).
- Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pr e Nd
- Durante algumas fases das pulsações TP-AGB, entre camadas de queima ocorrem condições particulares de temperatura e densidade ocorrem (thermonuclear runaway).
- Nessas fases, podem ocorrer reações nucleares que promovem um fluxo de nêutrons, como:



Born-again
AGB
scenario.
FG Sagittae
(B4 em
1955, G em
1991, K em
2007)

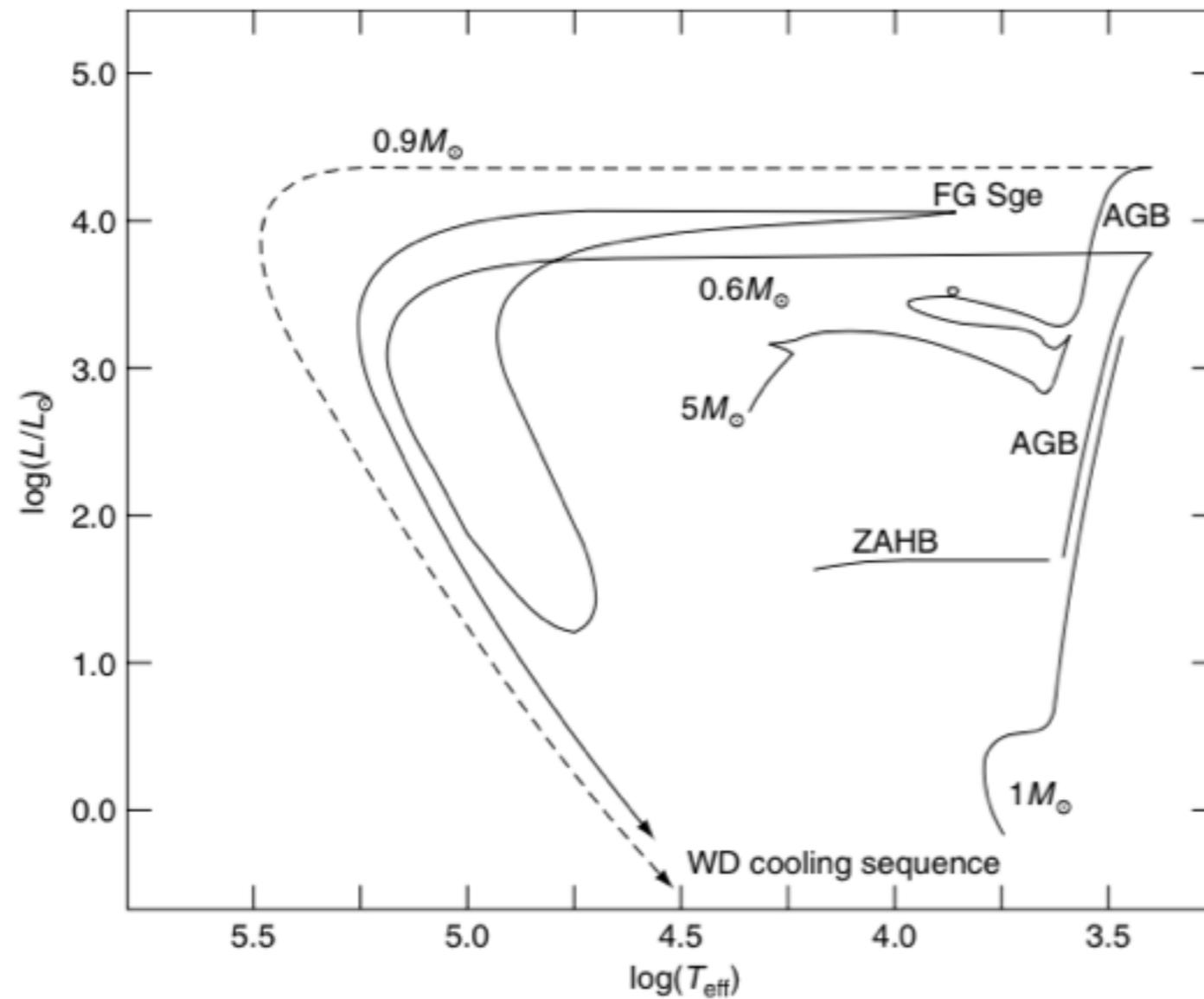


Figure 7.4 Evolutionary tracks from the MS to the WD cooling sequence. The dashed line is the evolutionary track of the $0.9 M_{\odot}$ object left at the end of the AGB, whose initial MS mass was equal to $5 M_{\odot}$; the solid line labelled $0.6 M_{\odot}$ is the evolutionary track of an object whose initial mass was equal to $1 M_{\odot}$. This star experiences a final He flash in the shell before reaching the WD cooling sequence. The location of the observational counterpart represented by the star FG Sagittae is also shown

Salaris & Cassisi 2005

Evolução Estelar

Trajetórias Evolutivas

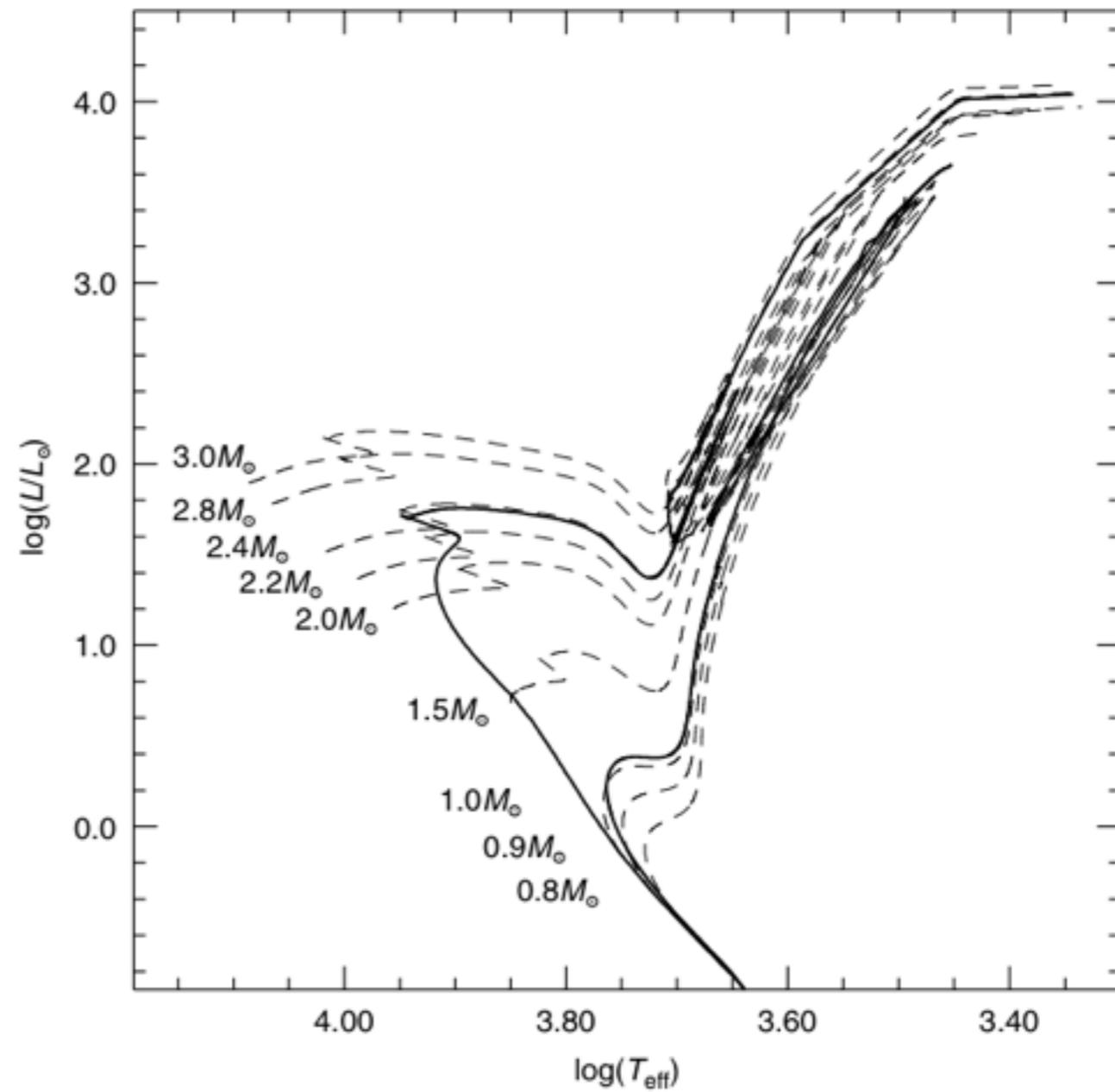
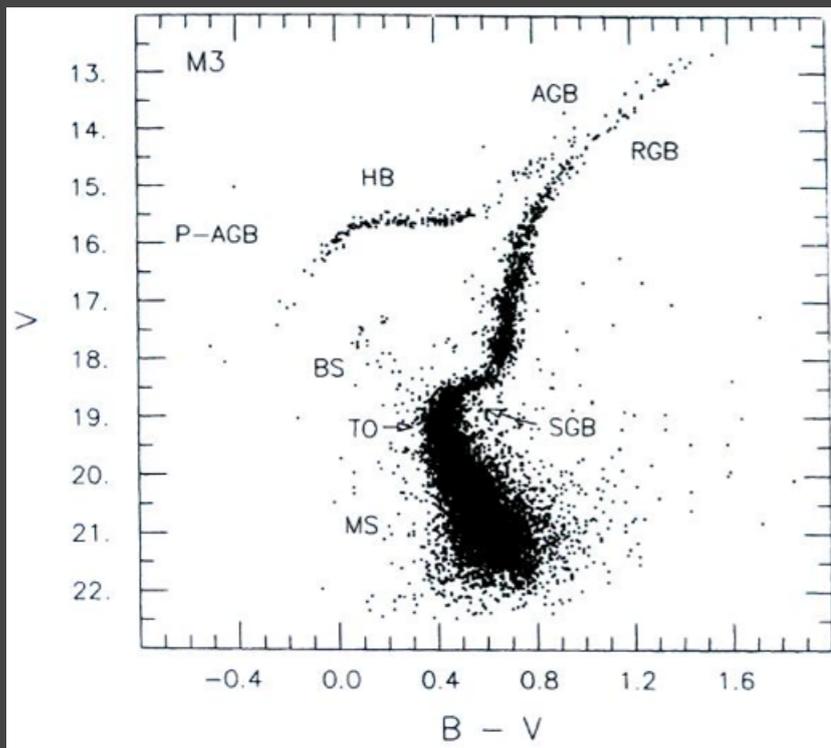


Figure 9.1 HRD of selected stellar evolutionary tracks (dashed lines) with the same initial solar chemical composition and the labelled masses (from [152]). The heavy solid lines display two isochrones for the same chemical composition and ages of 600 Myr (the brighter sequence) and 10 Gyr

Salaris & Cassisi 2005

Evolução Estelar

Isócronas