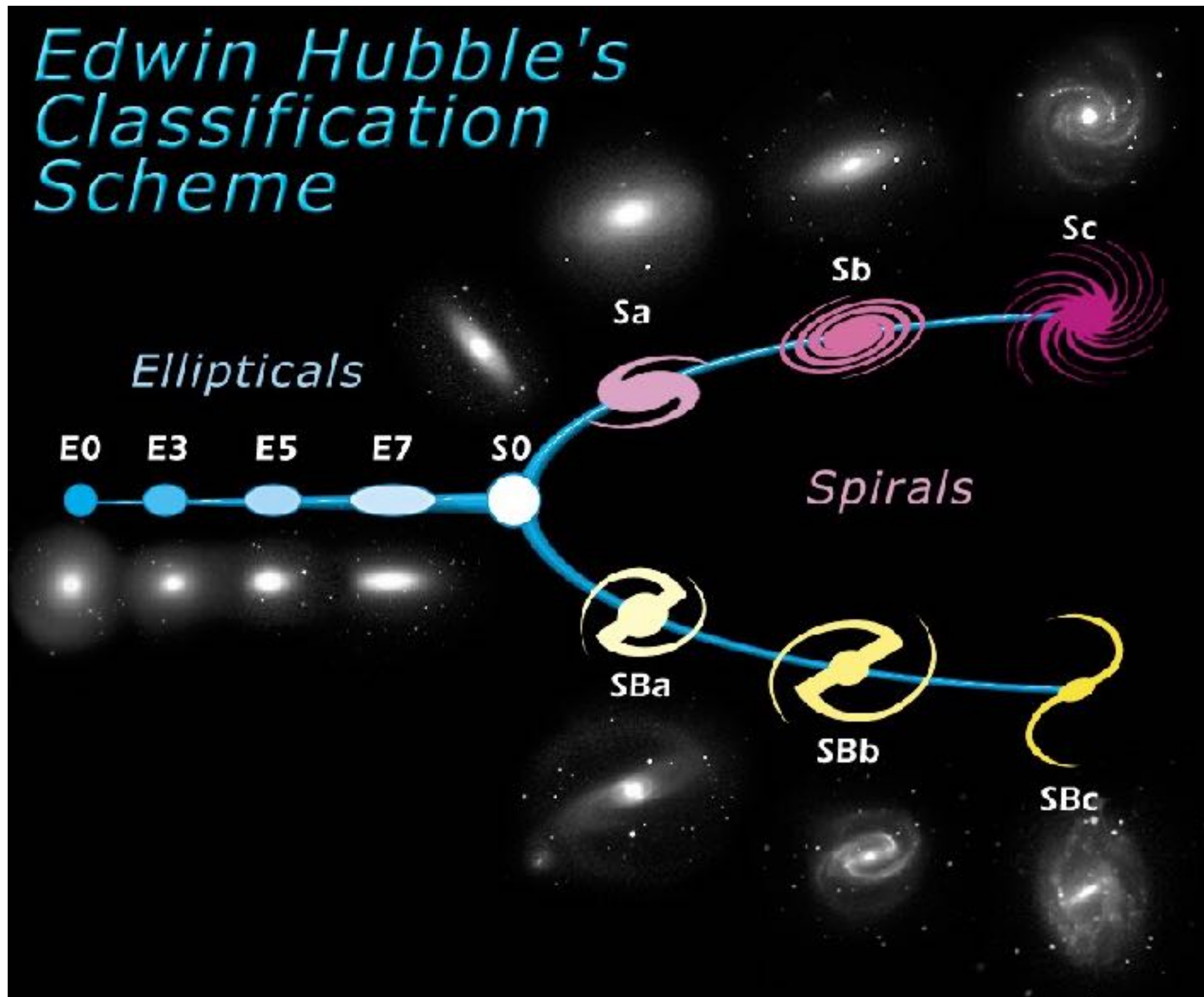


Outras galáxias, conceitos gerais

Capítulo 1.3 do livro-texto.

Classificação morfológica de galáxias



Esquema de classificação proposto por Hubble em 1936.

Originalmente acreditava-se que era uma escala evolutiva.

Galáxias que não se encaixavam nesse esquema eram classificadas genericamente como irregulares.

Classificação morfológica de galáxias

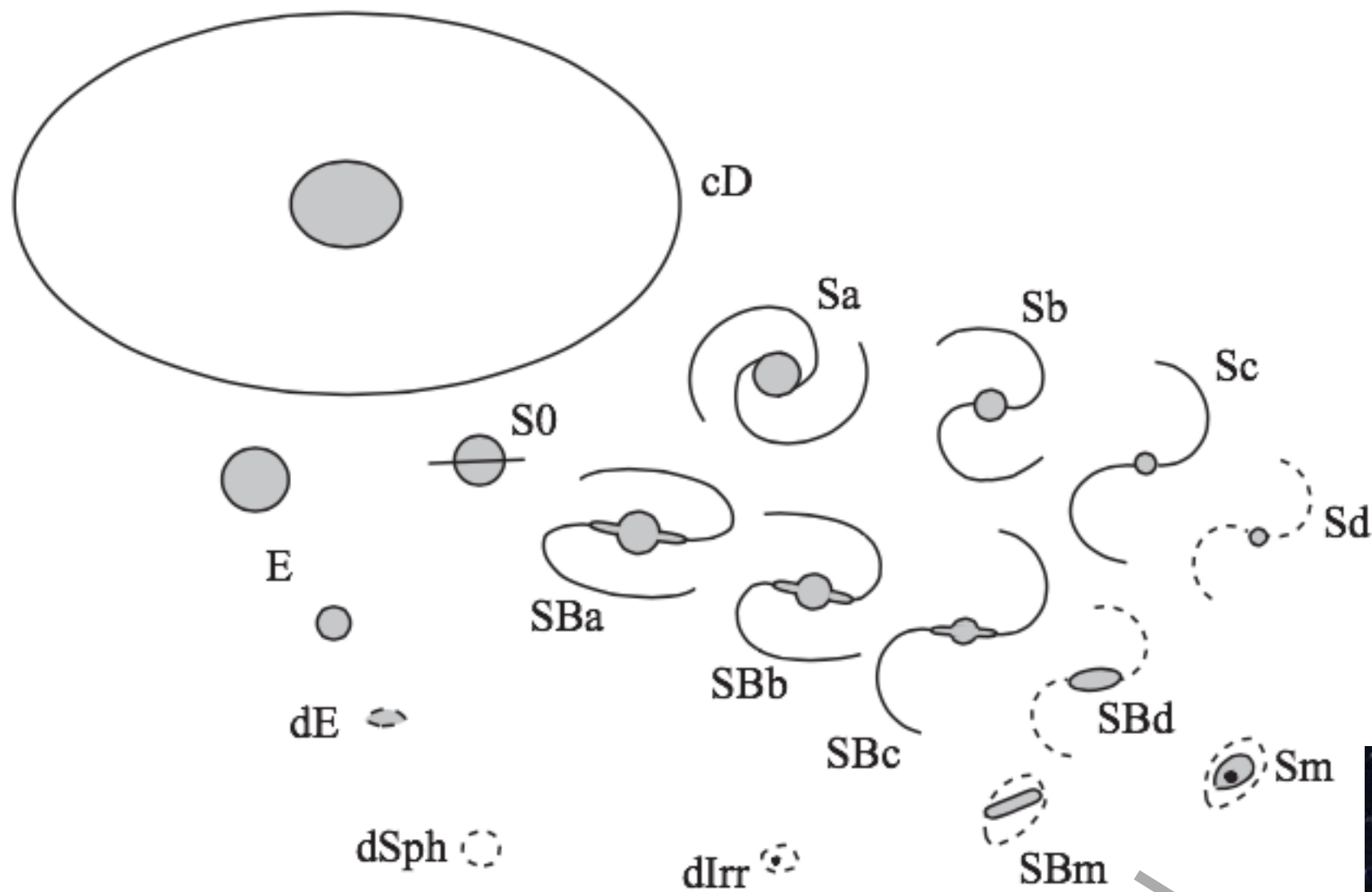
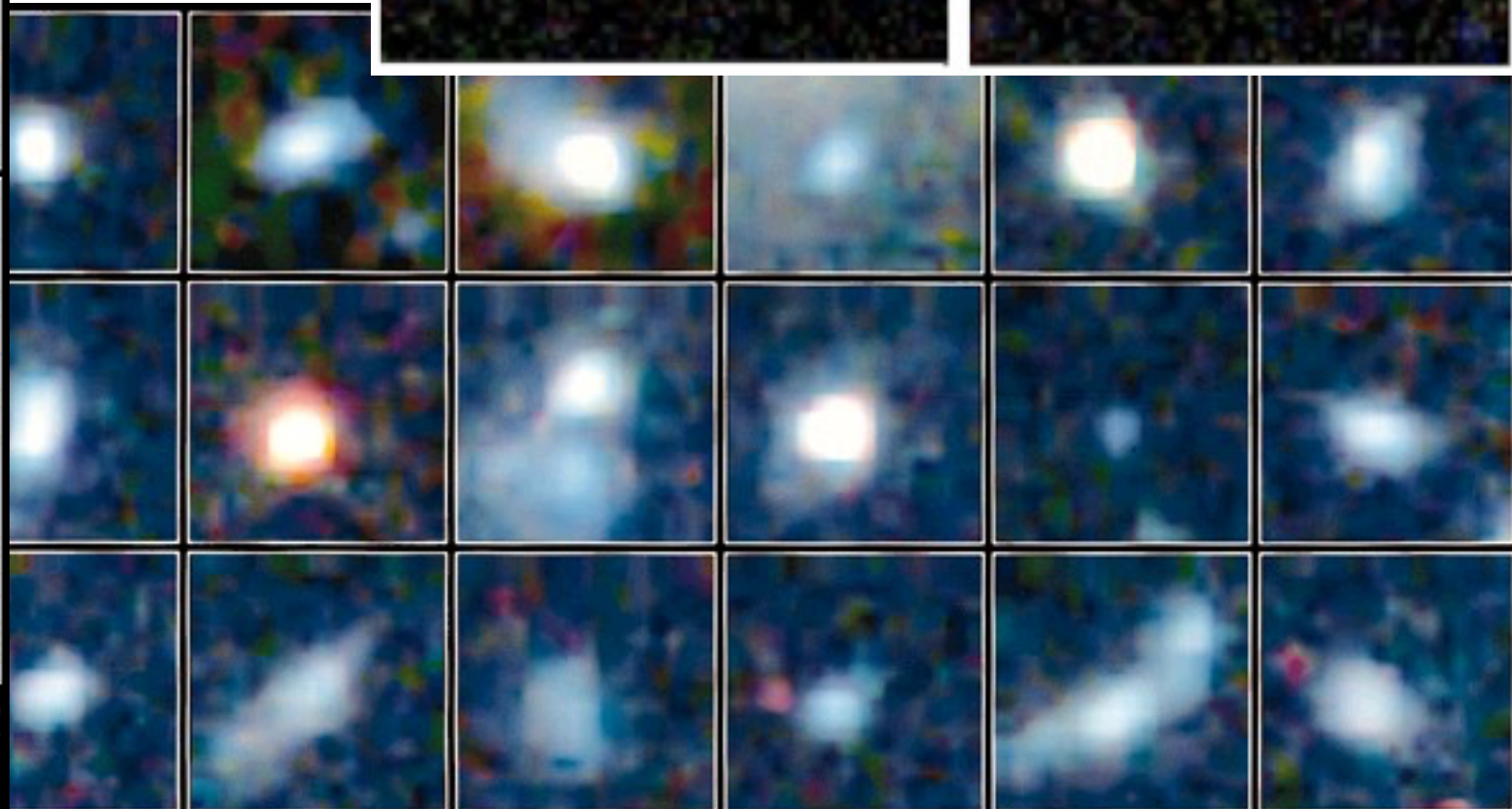
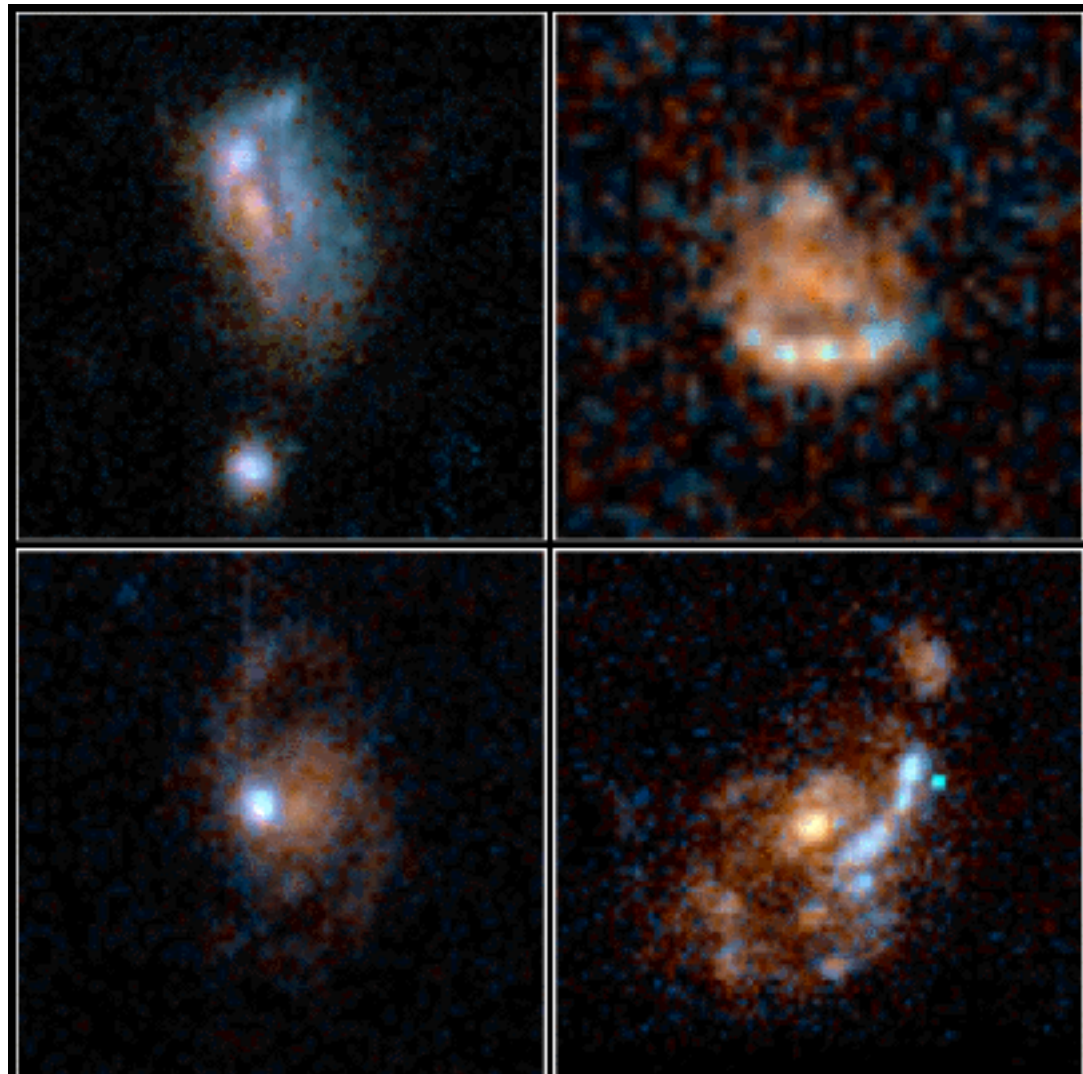
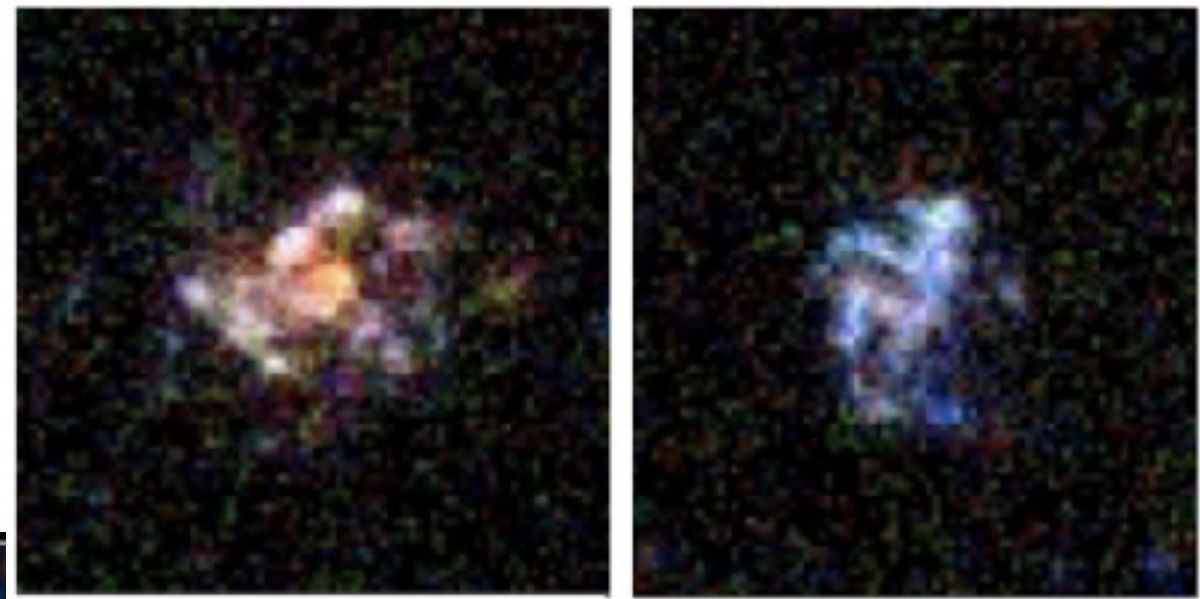


Fig. 1.11. Galaxy classification: a modified form of Hubble's scheme.

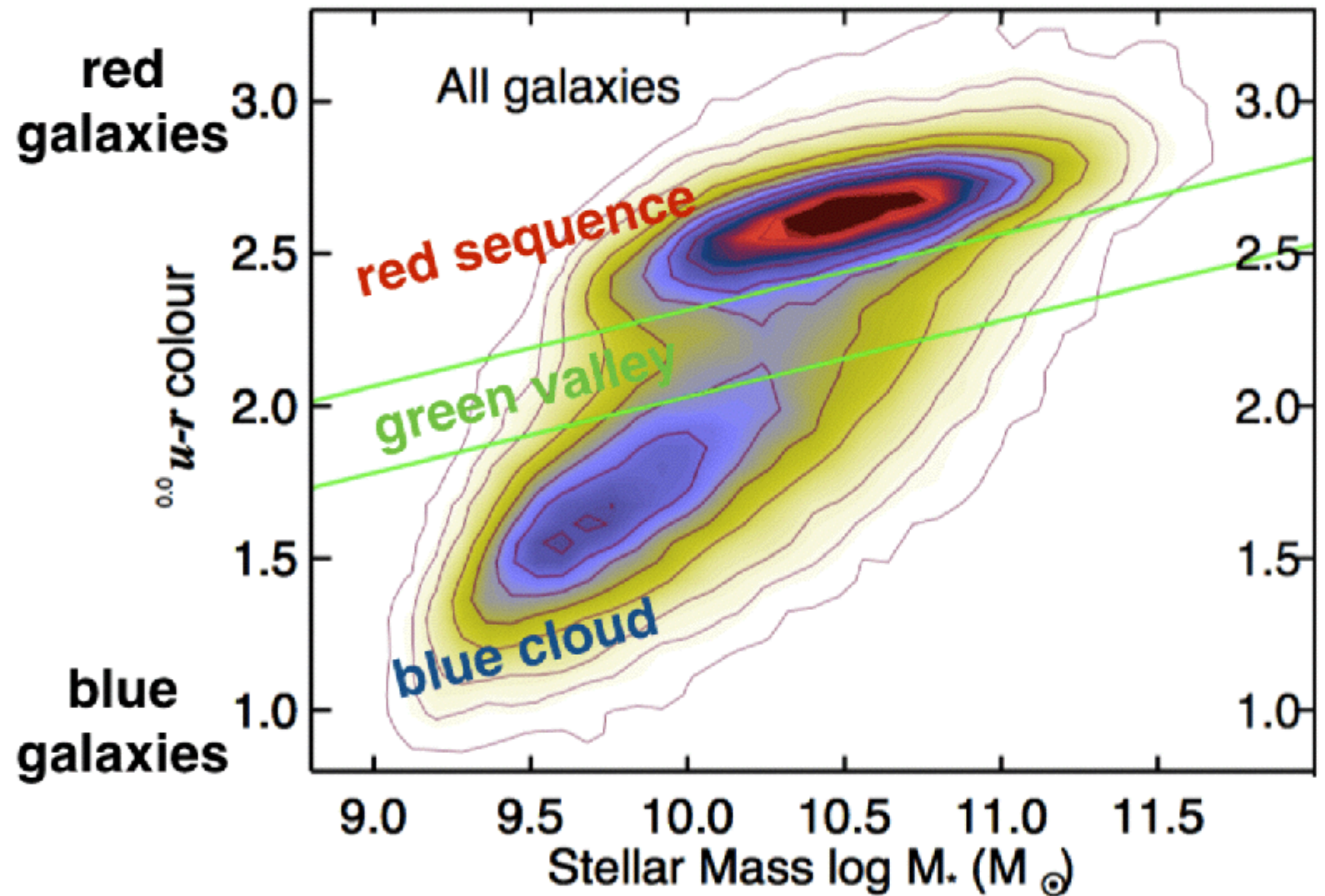


Morfologia longe do Universo local?



Medium Deep Survey HST • WFPC2
PRC94-39b • ST ScI OPO • R. Griffiths (JHU), NASA

Diagrama cor-magnitude de galáxias



Fotometria de galáxias - Quantificando as galáxias

- **Brilho superficial** de uma galáxia $I(x)$ é a quantidade de luz por segundo de arco quadrado em um ponto em particular x na imagem.
- Considere uma pequena região quadrada no céu D em uma galáxia que está a uma distância d , de modo que é vista sob um ângulo $\alpha = D/d$ no céu.
- Sendo L a luminosidade integrada de todas as estrelas nessa região, seu brilho aparente F é dado por

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}. \quad (1.1)$$

- Segue-se que o brilho superficial é

$$I(\mathbf{x}) \equiv \frac{F}{\alpha^2} = \frac{L/(4\pi d^2)}{D^2/d^2} = \frac{L}{4\pi D^2}. \quad (1.23)$$

Fotometria de galáxias

- I é geralmente dado em mag arcsec^{-2} ou $L_{\odot} \text{pc}^{-2}$
- Note que I não depende da distância d , a menos que a distância seja tão grande que a expansão do Universo cause um efeito reduzindo $I(x)$
- Contornos de brilho superficial constante em uma imagem de galáxia são chamados de **isofotas**
- Geralmente medimos o brilho superficial em uma banda fotométrica em particular, como no caso de fotometria estelar
- Uma escolha popular é a isofota de magnitude 25 na banda B , denominada R_{25}
- Para medir a luminosidade total da galáxia, medimos como I cai com o raio e extrapolamos para calcular L total

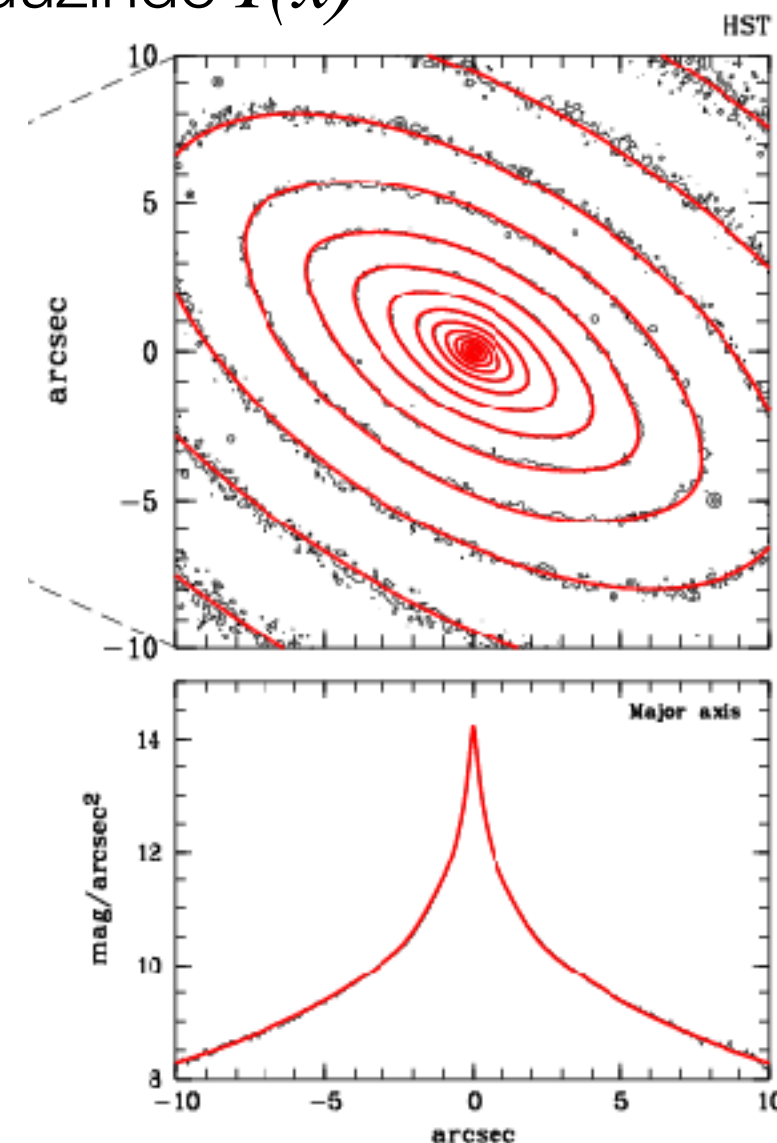


Table 1.9 Average sky brightness in ultraviolet, optical, and infrared wavebands

<i>Band</i>	<i>Wavelength</i>	<i>Full moon</i> (mag arcsec ⁻²)	<i>Dark sky</i> (mag arcsec ⁻²)	<i>From space</i> (mag arcsec ⁻²)
	1500 Å			25.0
	2000 Å			26.0
	2500 Å			25.6
<i>U</i>	3700 Å		22.0	23.2
<i>B</i>	4400 Å	19.4	22.7	23.4
<i>V</i>	5500 Å	19.7	21.8	22.7
<i>R</i>	6400 Å	19.9	20.9	22.2
<i>I</i>	8000 Å	19.2	19.9	22.2
<i>J</i>	1.2 μm	15.0	15.0	20.7
<i>H</i>	1.6 μm	13.7	13.7	20.9
<i>K</i>	2.2 μm	12.5	12.5	21.3
<i>K'</i>	2.2 μm	13.7	13.7	21.3

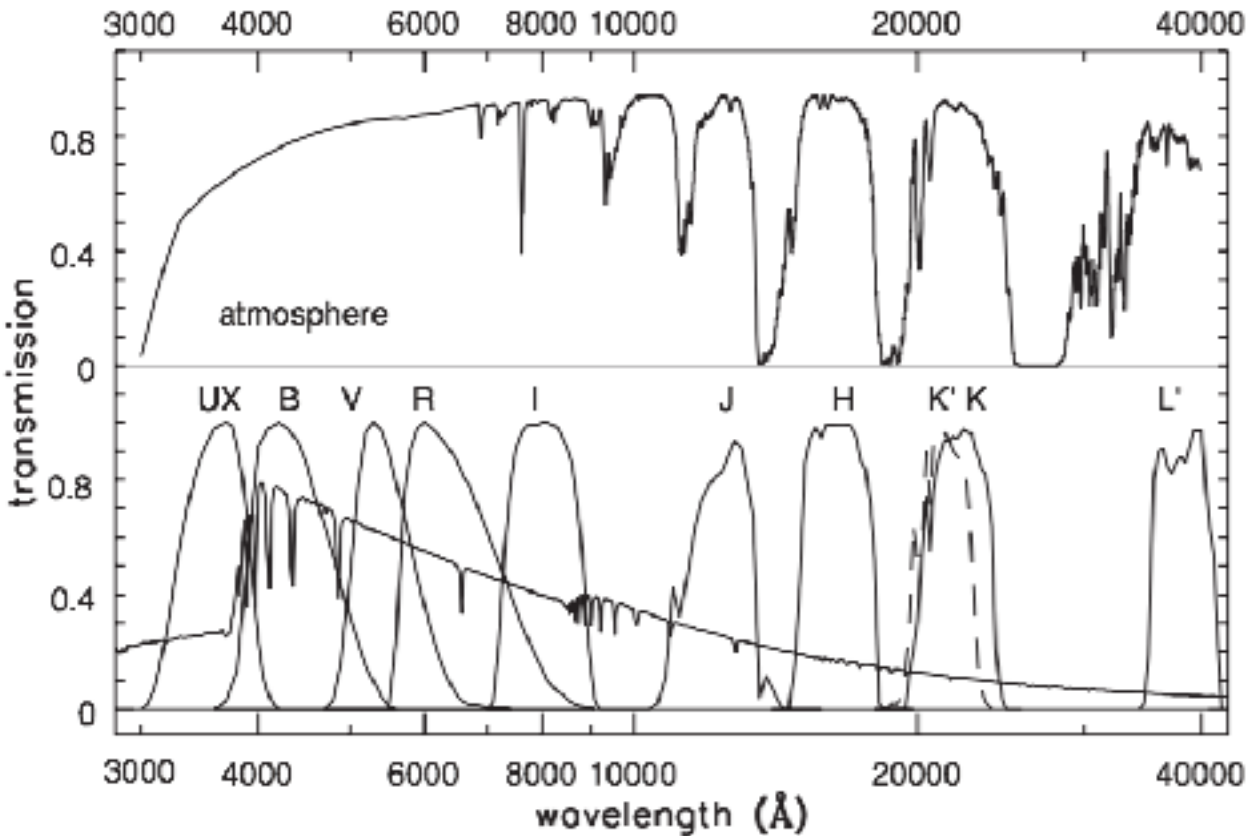
As partes centrais de galáxias
chegam a apenas

$$I_B \approx 18 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

ou

$$I_R \approx 16 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

Em observações a partir do solo, $I(x)$ em
bandas infravermelhas é medido a partir da
pequena diferença entre céu e galáxia+céu.



Função de luminosidade para galáxias

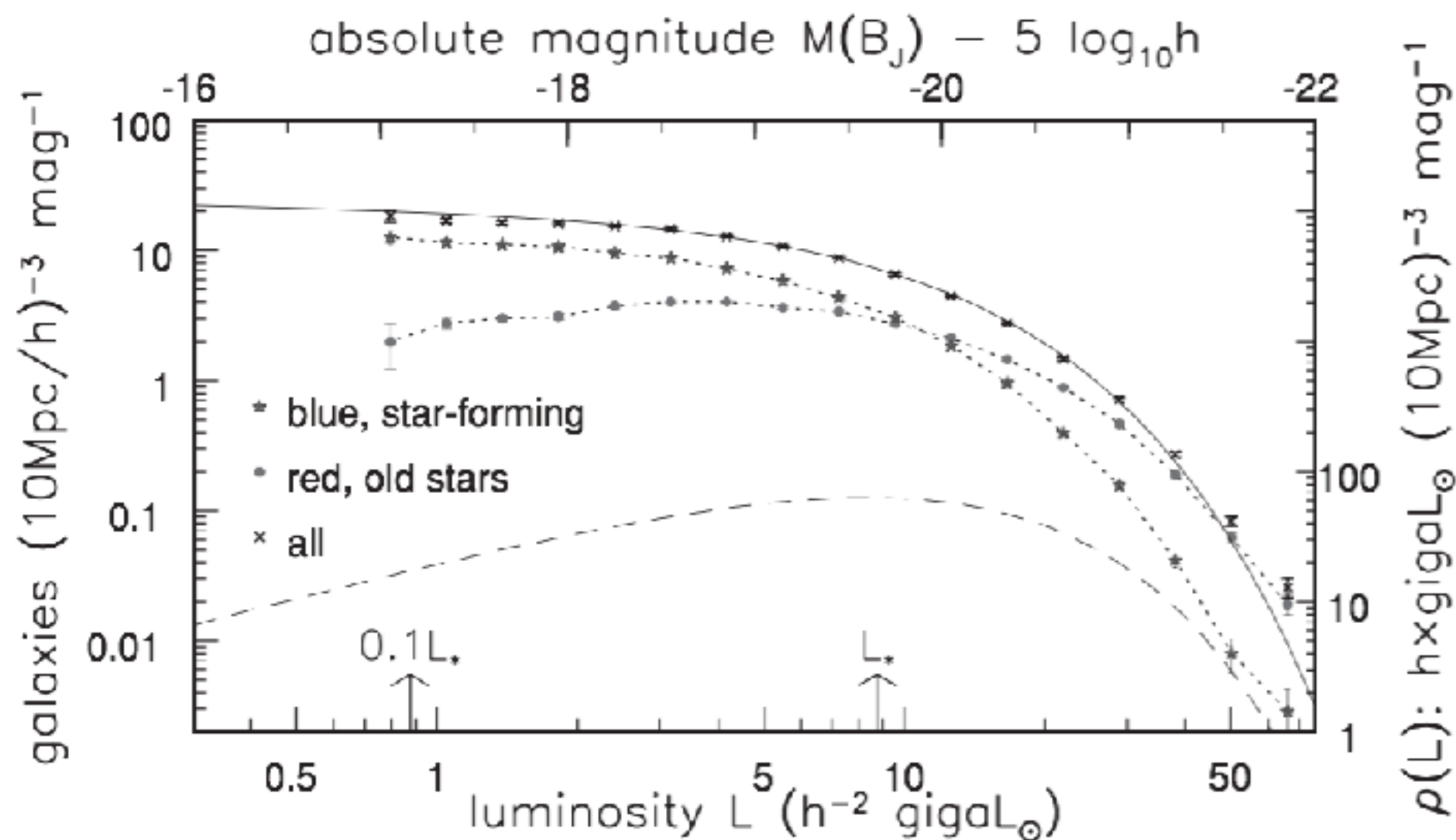
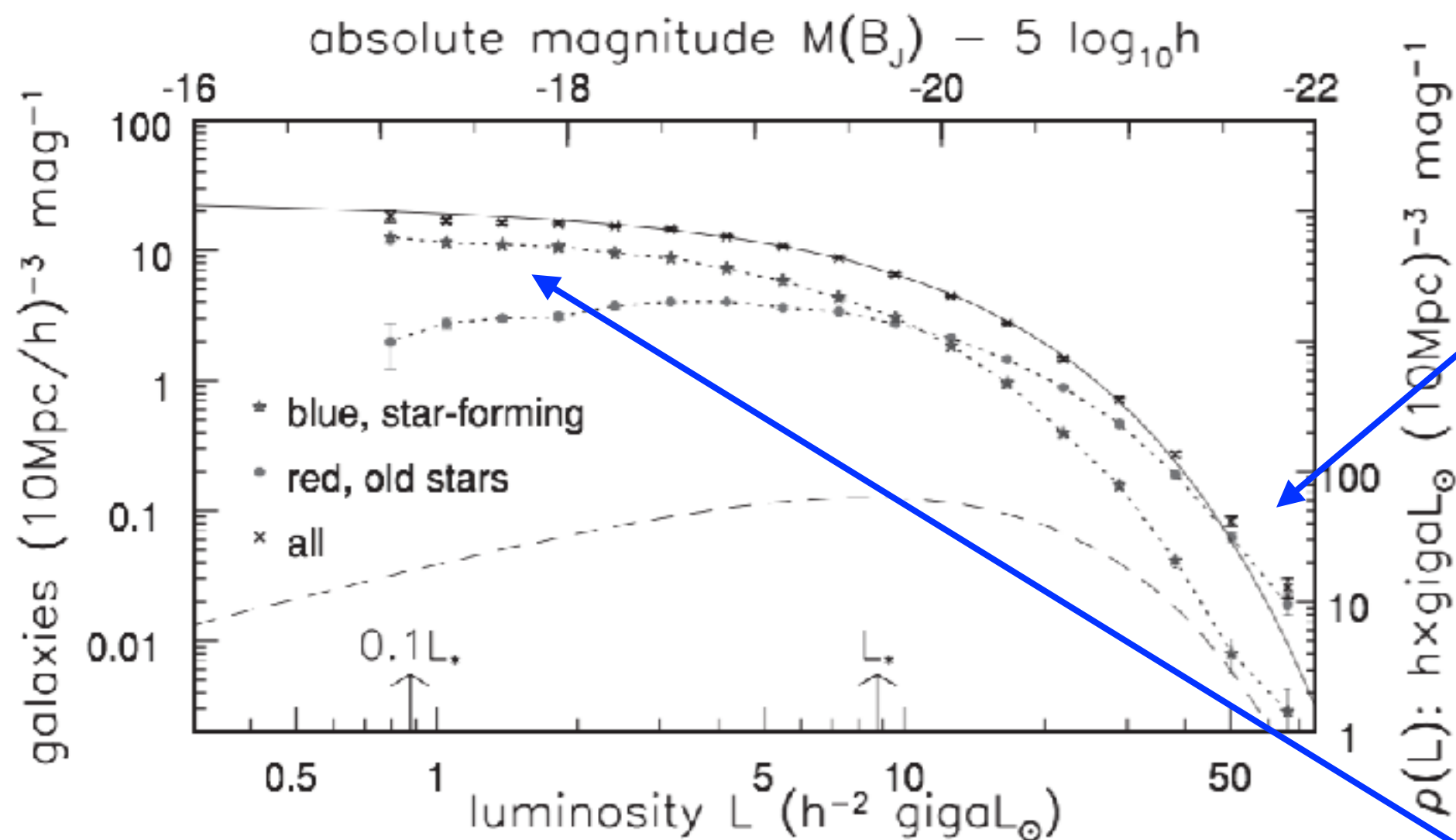


Fig. 1.16. Number of galaxies per 10 Mpc cube between absolute magnitude $M(B_J)$ and $M(B_J) + 1$ (crosses). Dotted lines show numbers of blue (stars) and red (filled dots) galaxies making up this total; vertical bars indicate errors. The solid line shows the luminosity function of Equation 1.24; the dashed line gives $\Phi(M) \times L/L_*$, the light from galaxies in each interval of absolute magnitude. The blue bandpass B_J is matched to the photographic plates used to select the galaxies – 2dF survey, D. Croton.

Função de luminosidade para galáxias

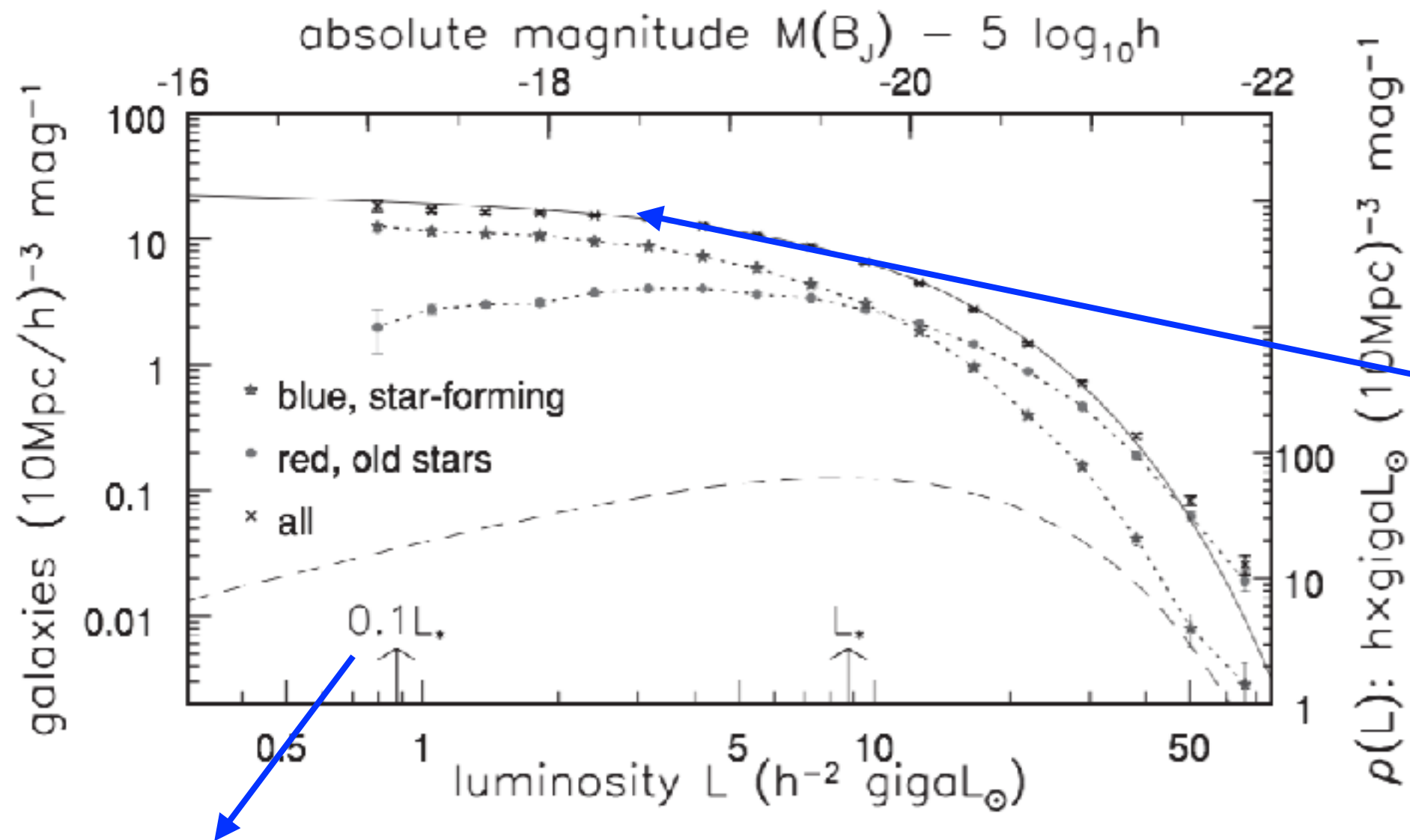


Note que a maior parte de galáxias muito luminosas é vermelha (elípticas e S0), que contém ~ metade da massa em estrelas

Apesar das espirais e irregulares serem muito mais numerosas

Fig. 1.16. Number of galaxies per 10 Mpc cube between absolute magnitude $M(B_J)$ and $M(B_J) + 1$ (crosses). Dotted lines show numbers of blue (stars) and red (filled dots) galaxies making up this total; vertical bars indicate errors. The solid line shows the luminosity function of Equation 1.24; the dashed line gives $\Phi(M) \times L/L_*$, the light from galaxies in each interval of absolute magnitude. The blue bandpass B_J is matched to the photographic plates used to select the galaxies – 2dF survey, D. Croton.

Função de luminosidade para galáxias



Número de galáxias esperado pela função de Schechter, número de galáxias por Mpc^3 com luminosidade entre L e $L+\Delta L$

Separação típica entre galáxias “brilhantes” ou “gigantes”, em oposição às galáxias “anãs”

$$\Phi(L)\Delta L = n_{\star} \left(\frac{L}{L_{\star}} \right)^{\alpha} \exp\left(-\frac{L}{L_{\star}} \right) \frac{\Delta L}{L_{\star}};$$

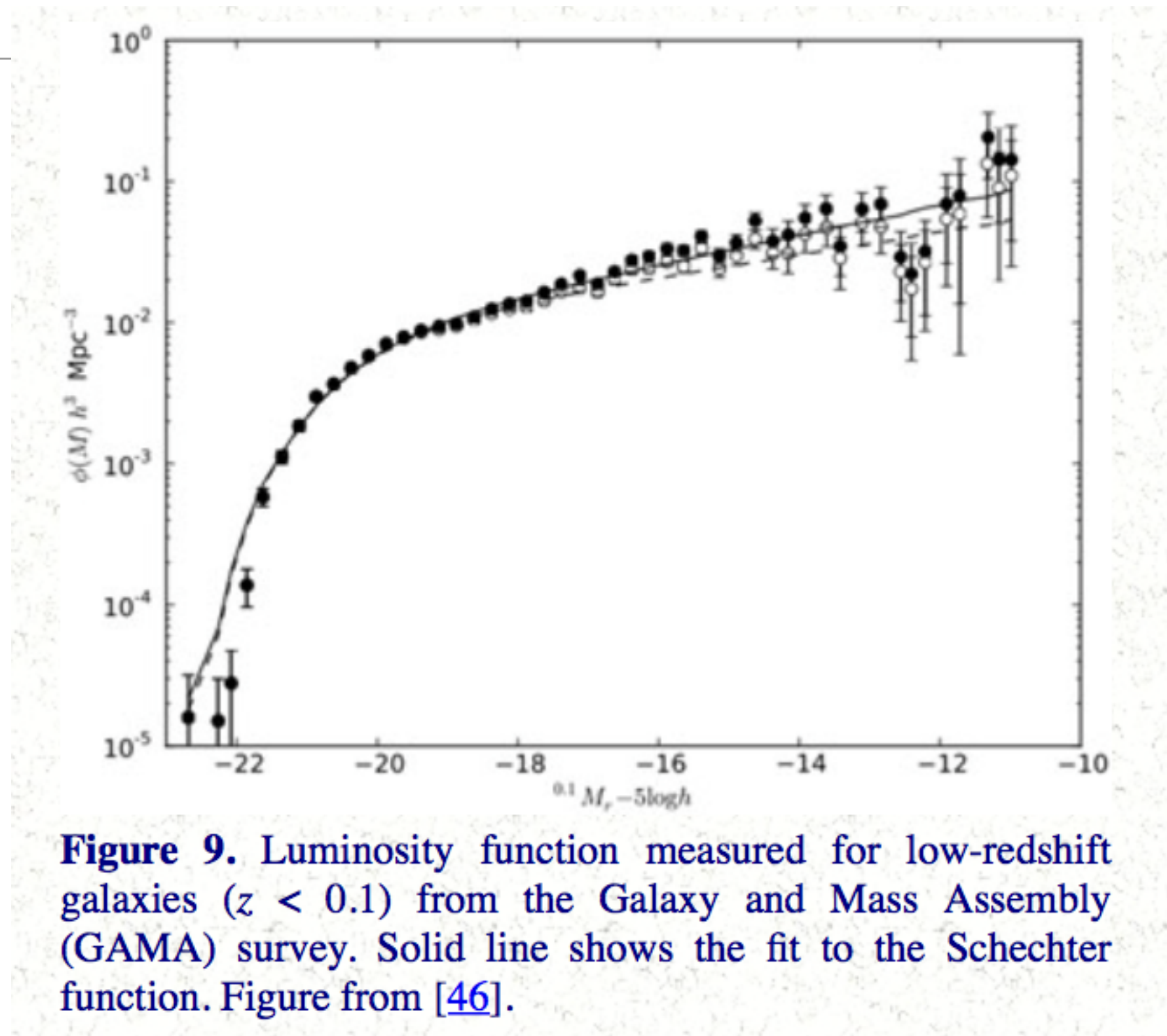
Função de Schechter

- Em 1974 Press e Schechter calcularam a distribuição de condensações gravitacionais que emergiam de um universo jovem.
- Em 1976, Schechter usou essa função para ajustar a distribuição de luminosidade das galáxias nos aglomerados de Abell.
- Os parâmetros livres n^* (cte de normalização), α (domina a função de luminosidade de galáxias anãs) e L^* (luminosidade característica onde ocorre a “quebra” da função) variam com tipo morfológico e redshift.
- A função de Schechter superestima o número de galáxias muito fracas e também o de galáxias muito brilhantes, o que levou ao desenvolvimento dos estudos de *feedback* em galáxias

$$\Phi(L)\Delta L = n_{\star} \left(\frac{L}{L_{\star}} \right)^{\alpha} \exp\left(-\frac{L}{L_{\star}} \right) \frac{\Delta L}{L_{\star}};$$

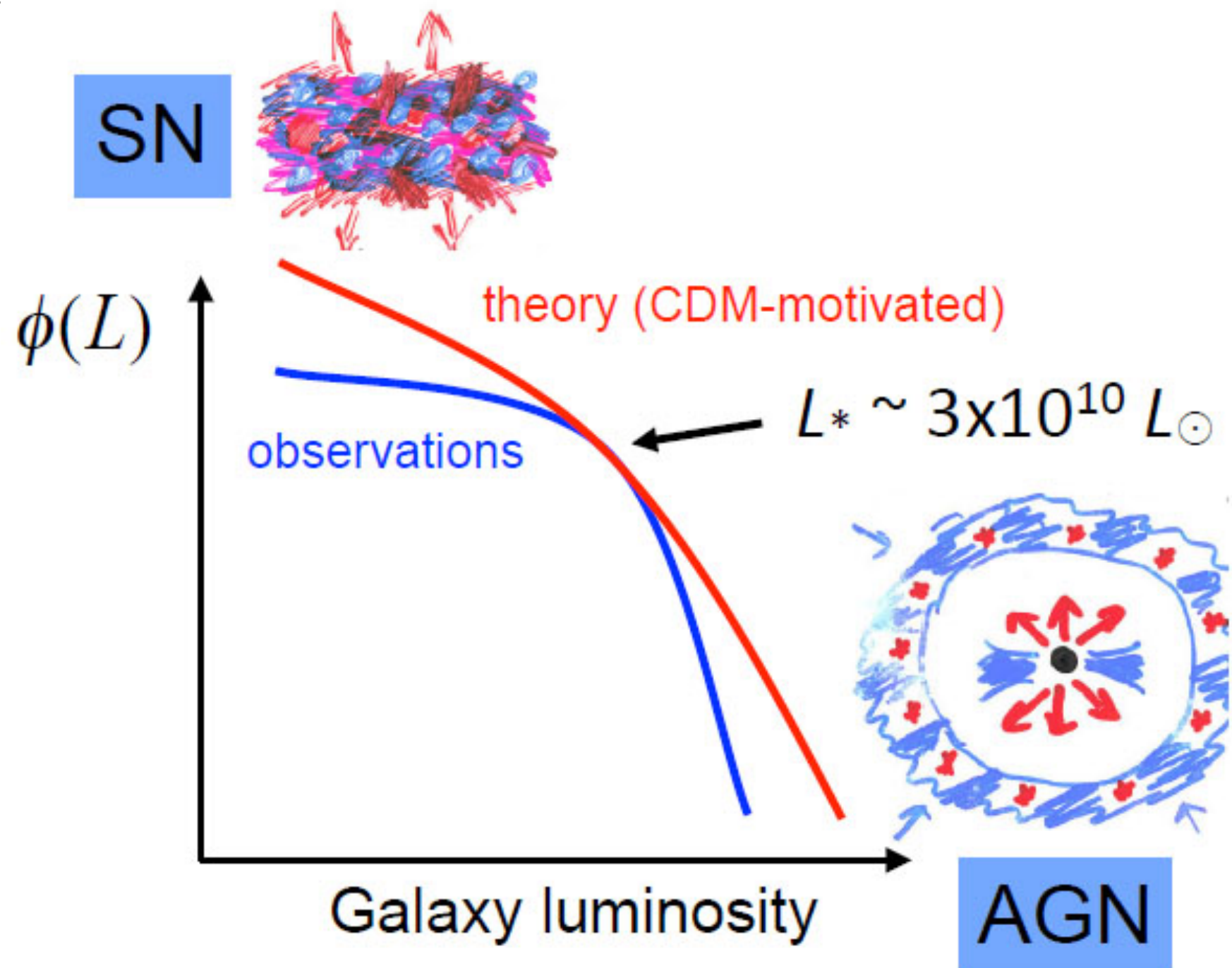
Propriedades estatísticas da população de galáxias

Modelos de evolução
precisam ser capazes de
explicar as propriedades
estatísticas das
populações de galáxias



Propriedades estatísticas da população de galáxias

Modelos de evolução
precisam ser capazes de
explicar as propriedades
estatísticas das
populações de galáxias

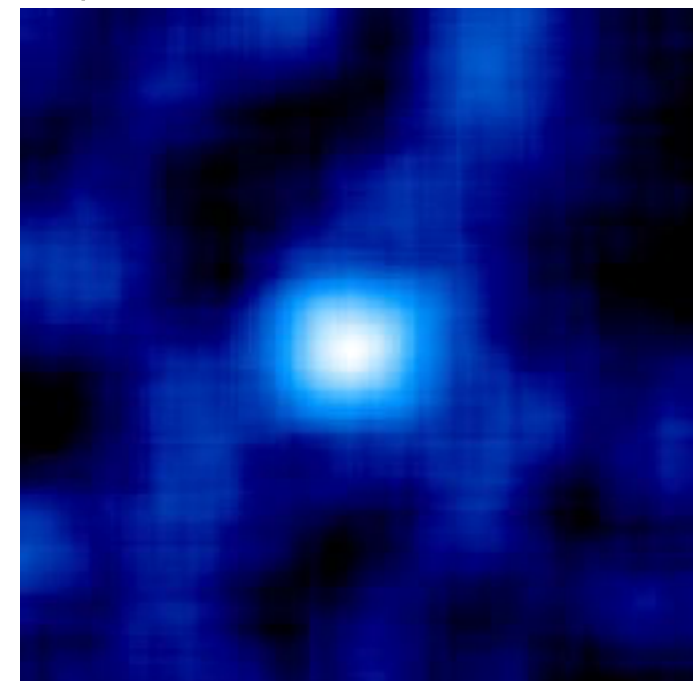


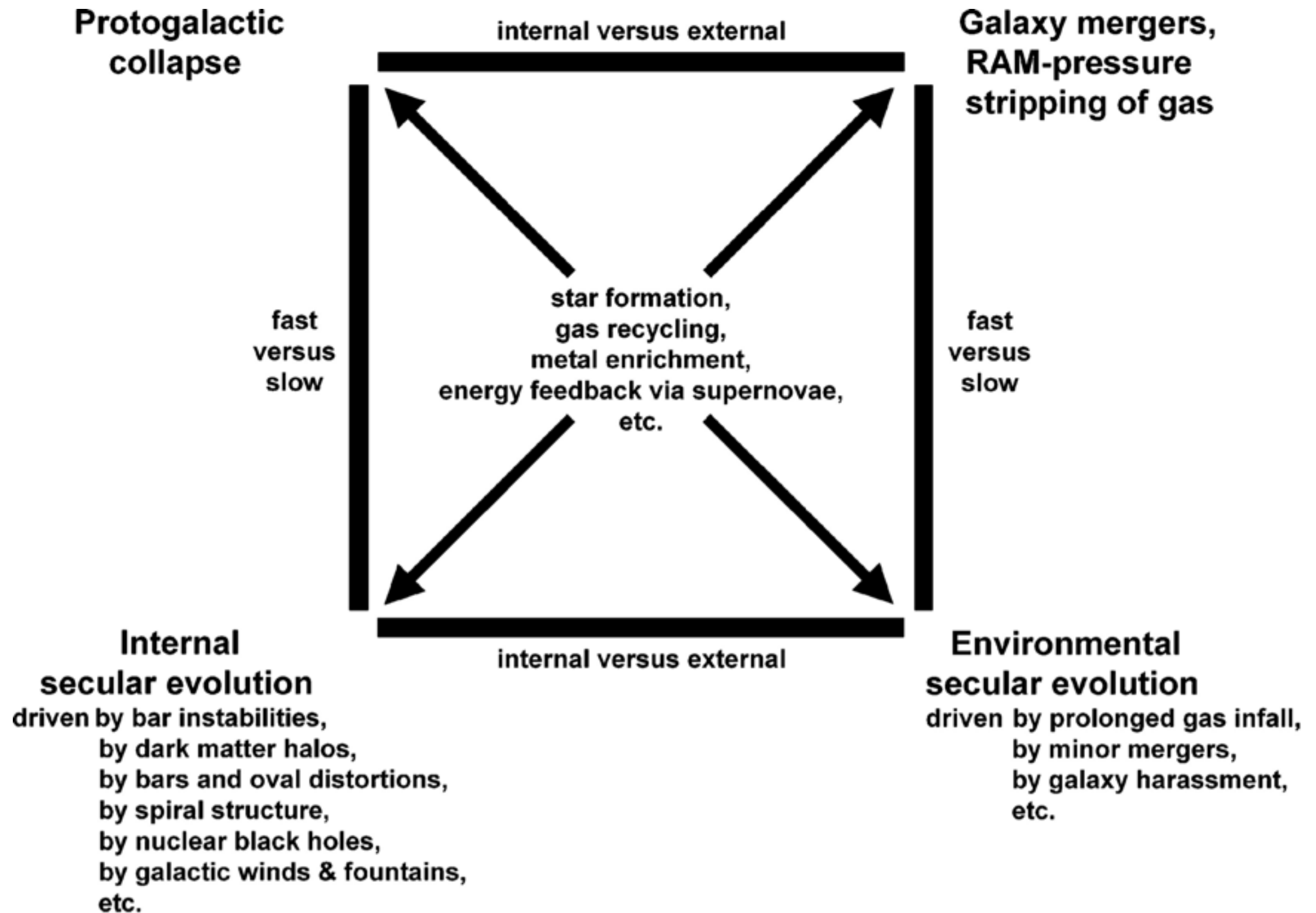
Qual o panorama geral hoje em dia sobre a formação dos diversos tipos de galáxias?

A diversidade na população de galáxias

Um grande número de parâmetros é necessário para caracterizar uma dada galáxia:

- Morfologia
- Luminosidade e massa estelar (de $10^3 L_{\text{sun}}$ (Willman I, 2007) a $\sim 10^{12} L_{\text{sun}}$)
- Cor (reflete população estelar)
- Tamanho e brilho superficial (como definir o “tamanho” de uma galáxia?)
- Fração da massa de gás frio (relacionado a formação estelar)
- Ambiente
- Atividade Nuclear
- Redshift





Kormendy & Kennicutt (2004) Figure 1. Morphological box of processes of galactic evolution. Processes are divided vertically into fast (*top*) and slow (*bottom*). Fast evolution happens on a free-fall ("dynamical") timescale, $t_{\text{dyn}} \sim (G\rho)^{-1/2}$, where ρ is the density of the object produced and G is the gravitational constant. Slow means many galaxy rotation periods. Processes are divided horizontally into ones that happen purely internally in one galaxy (*left*) and ones that are driven by environmental effects such as galaxy interactions (*right*). The processes at center are aspects of all types of galaxy evolution.

Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

- **Modelo padrão da cosmologia:** Λ CDM, universo plano, $\sim 75\%$ da densidade de energia devido a uma constante cosmológica, $\sim 21\%$ em matéria escura fria, $\sim 4\%$ 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

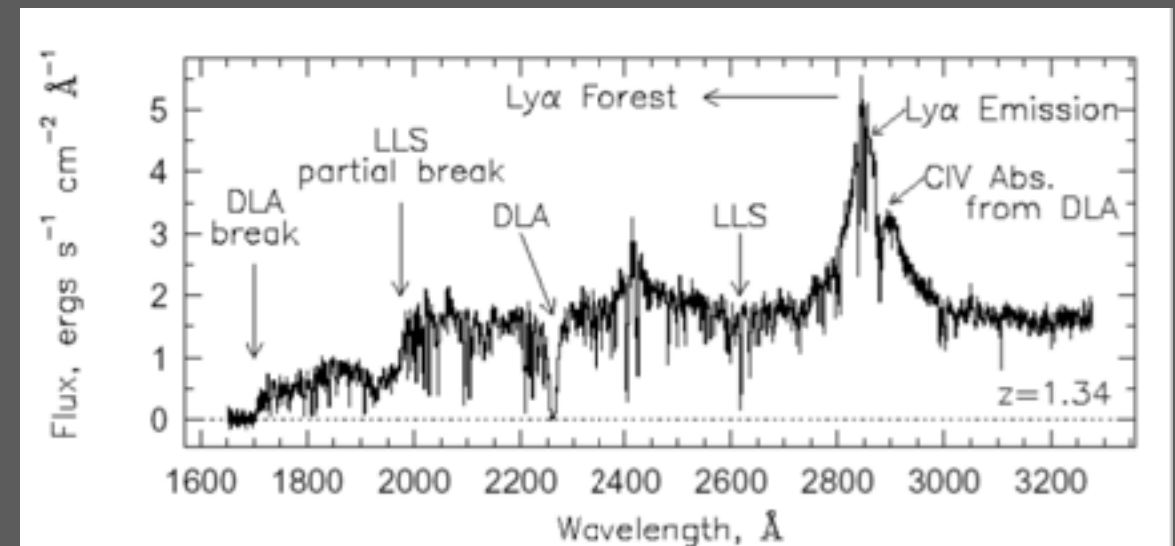
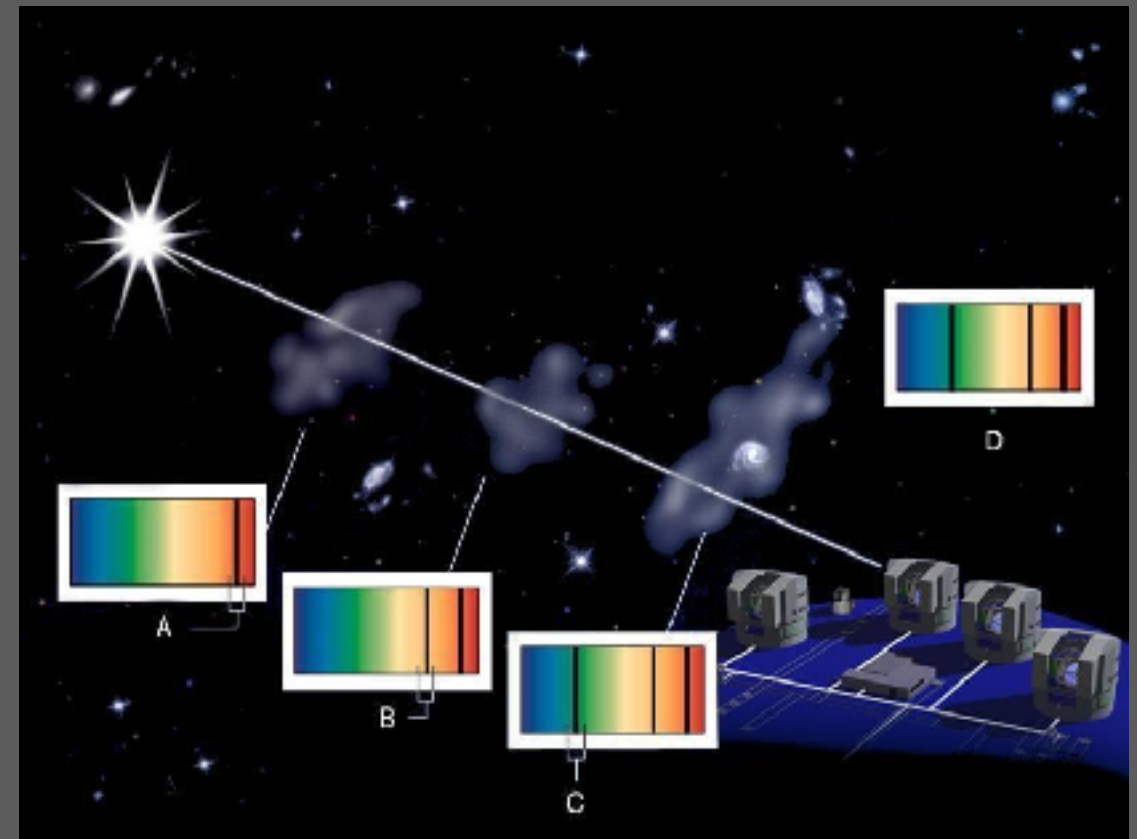
- **Formação Estelar:** na presença de resfriamento, o gás colapsa e pode fragmentar em regiões de alta densidade que formarão estrelas, dando forma a uma galáxia como visualizamos.
- **Processos de feedback:** para reproduzir observações, foi necessário incluir nas simulações processos que previnem 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).

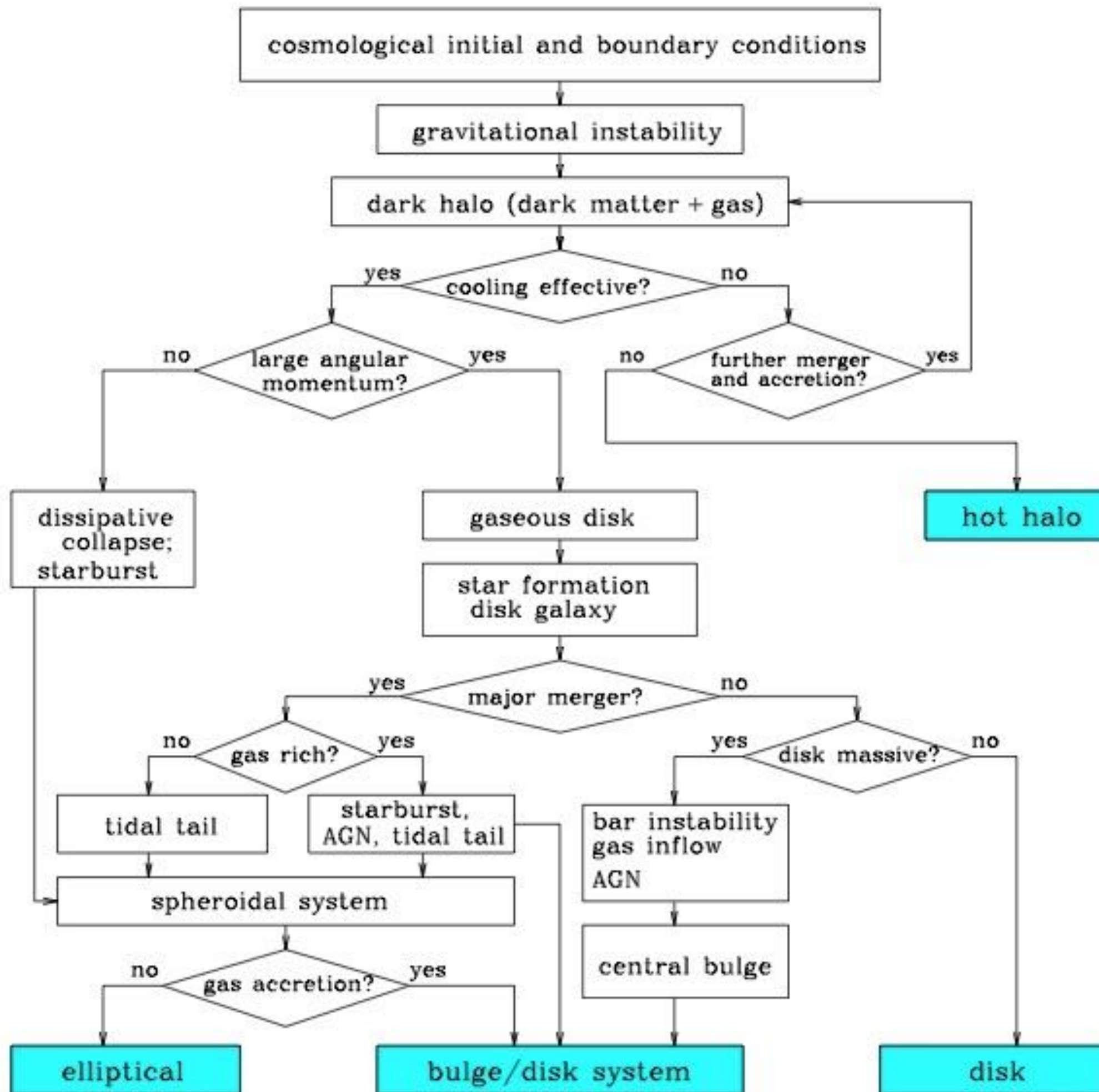
Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

- **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.

Meio intergaláctico

- IGM é o material bariônico que reside entre galáxias
- é o componente bariônico dominante do Universo, e de onde as galáxias são formadas
- pode nos indicar as propriedades do material “pré-galáctico”
- mas também interage com a evolução das galáxias através de inflows e outflows
- é observado principalmente através do espectro de absorção de quasares



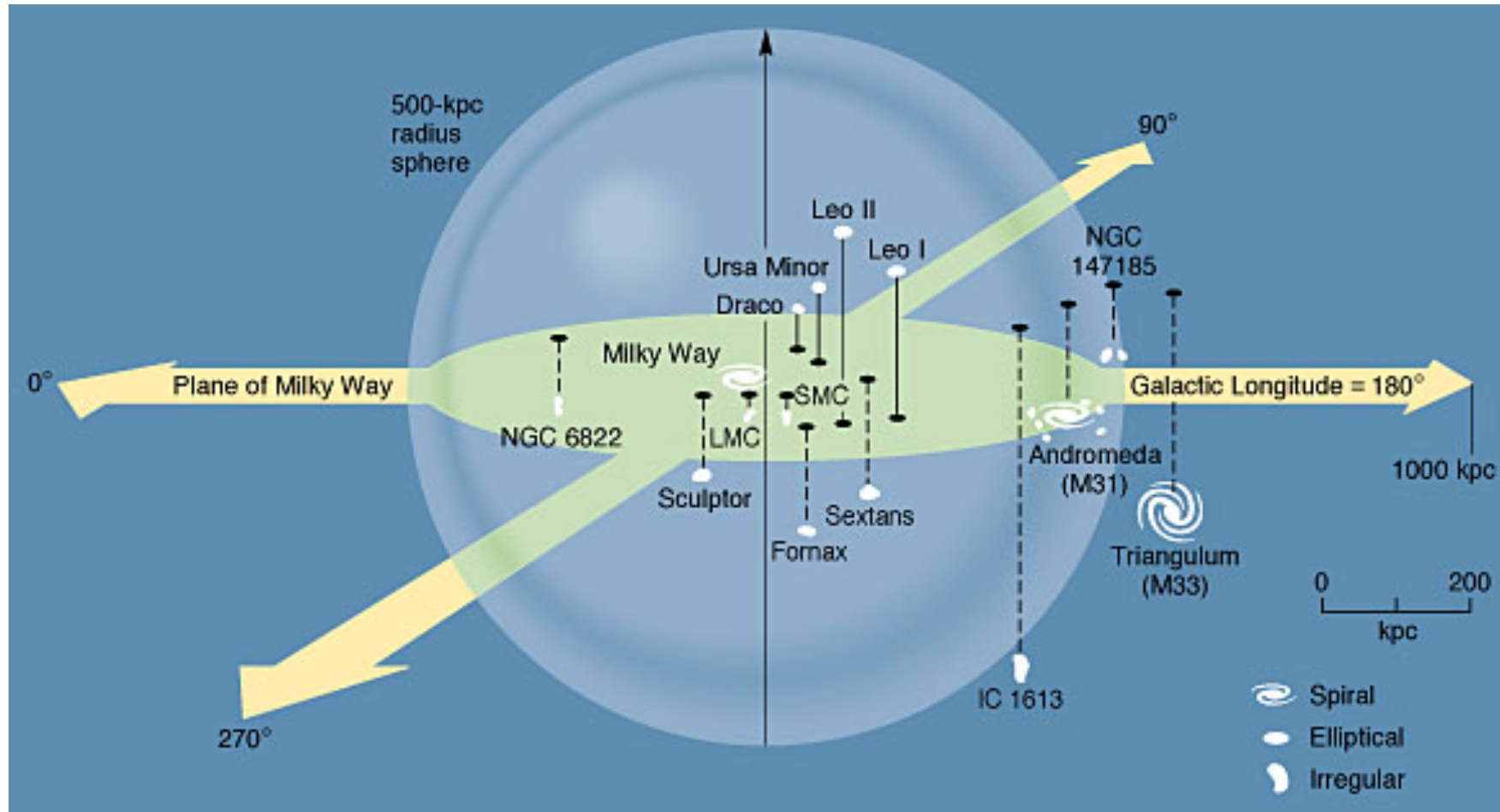


Um flow-chart de formação de galáxias. As condições iniciais são dadas pela cosmologia adotada. Os caminhos levando a formação das diversas galáxias são mostrados com os principais processos físicos envolvidos. Crédito: Fig. 1.1 em Mo, den Bosch, White

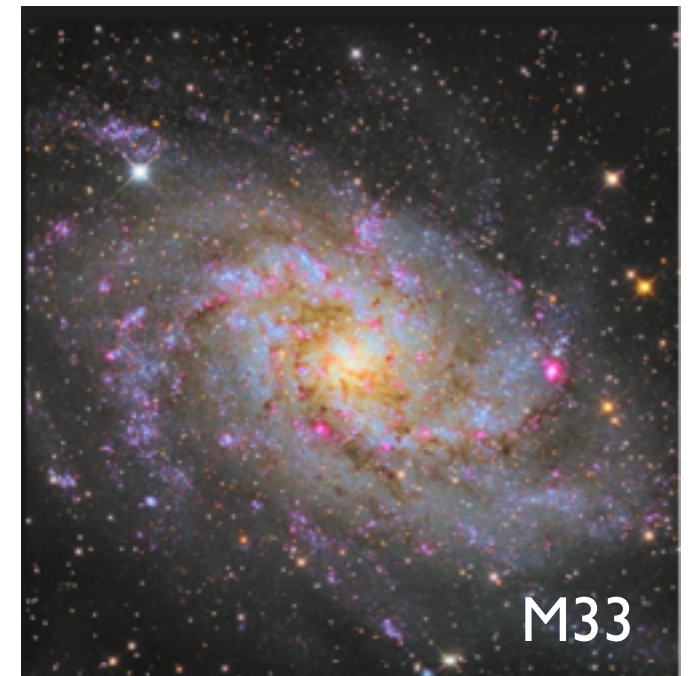
o Grupo Local

Capítulo 4 do livro-texto.

O Grupo Local (GL)



- Mais de 50 galáxias em volume ~ 1 Mpc de raio
- as 3 mais massivas são espirais (Galáxia, M31 $1.5L^*$ e M33 $0.2L^*$), que correspondem a 90% da L total do GL
- M32 é a única elíptica
- o restante são irregulares, anãs esferoidais e elípticas anãs



M33



NGC205, dE



Sagittarius, dSph

Distâncias no GL

- RR Lyrae são usadas para medir distâncias a galáxias até 3 Mpc, Cefeidas até 30Mpc
- RR Lyrae: estrelas de baixa massa queimando He no núcleo, períodos em torno de 10h
- Cefeidas: estrelas de alta massa queimando He no núcleo, períodos de 1 - 50 dias, relação período-luminosidade identificada pela primeira vez por Henrietta Leavitt em 1912, na LMC

Relação Período-Luminosidade

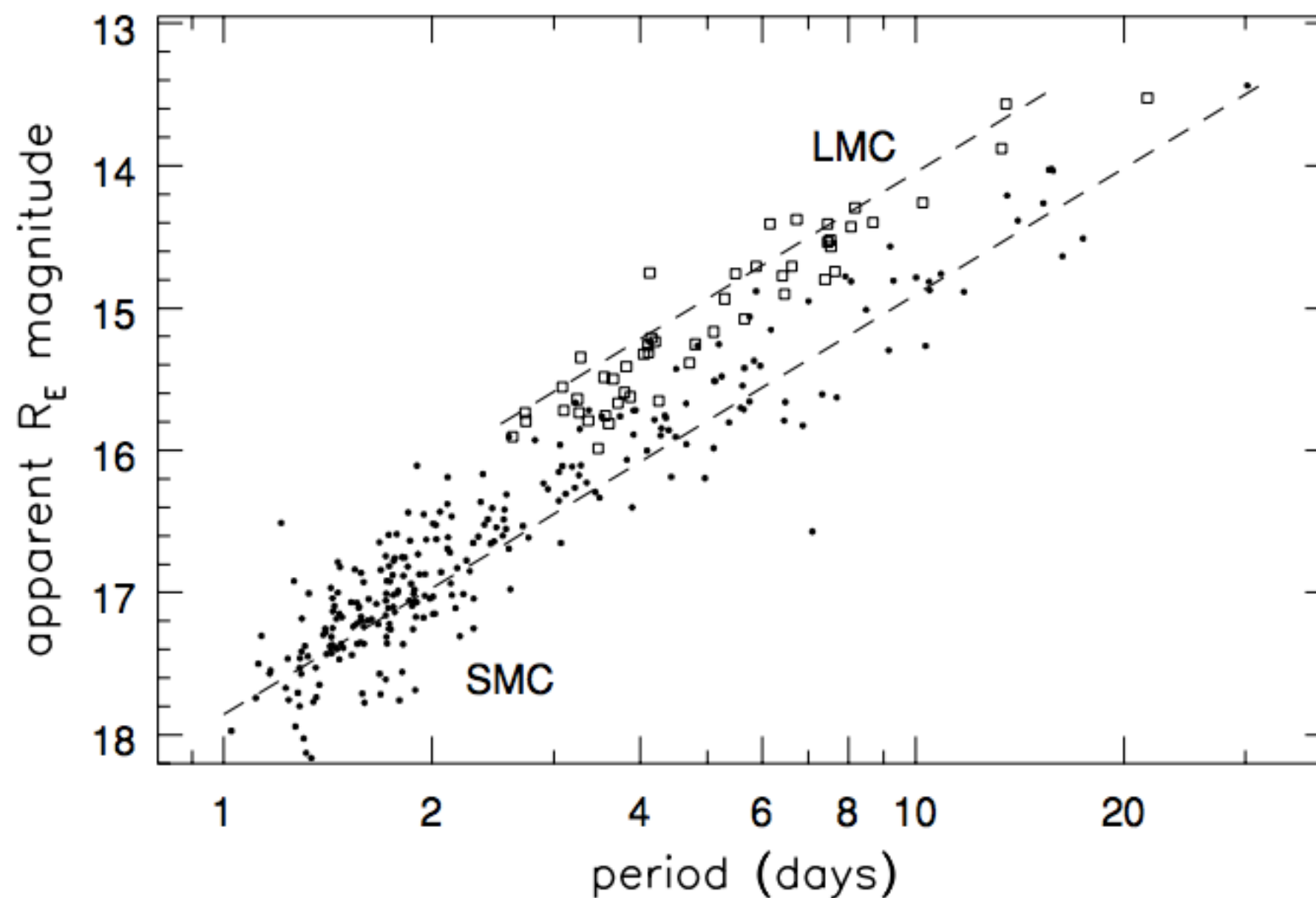


Fig. 4.7. Apparent magnitude and period in days, for Cepheids in the Large Magellanic Cloud (squares) and in the SMC (filled dots); dashed lines show mean period–luminosity relations – J.-P. Beaulieu.

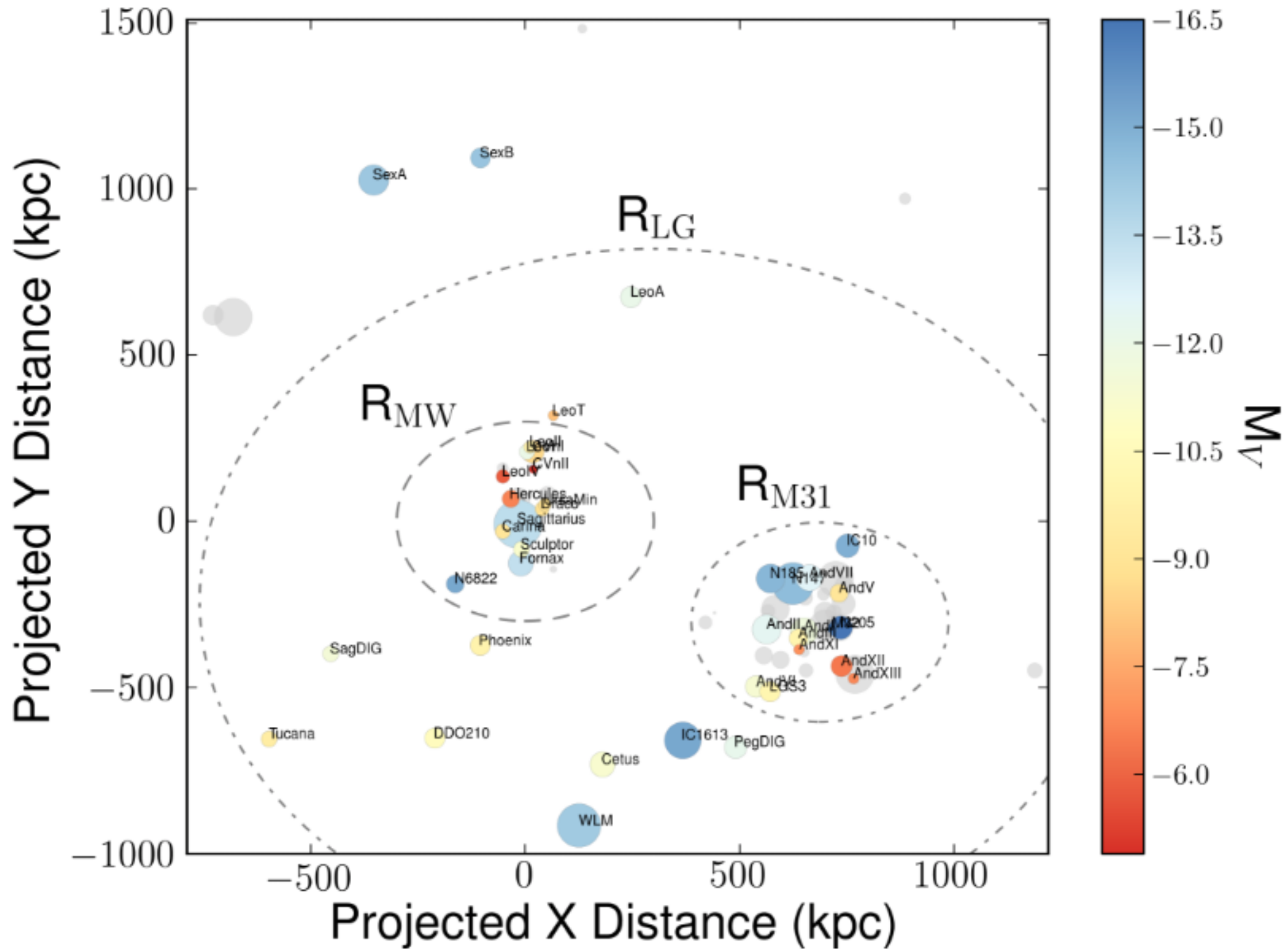


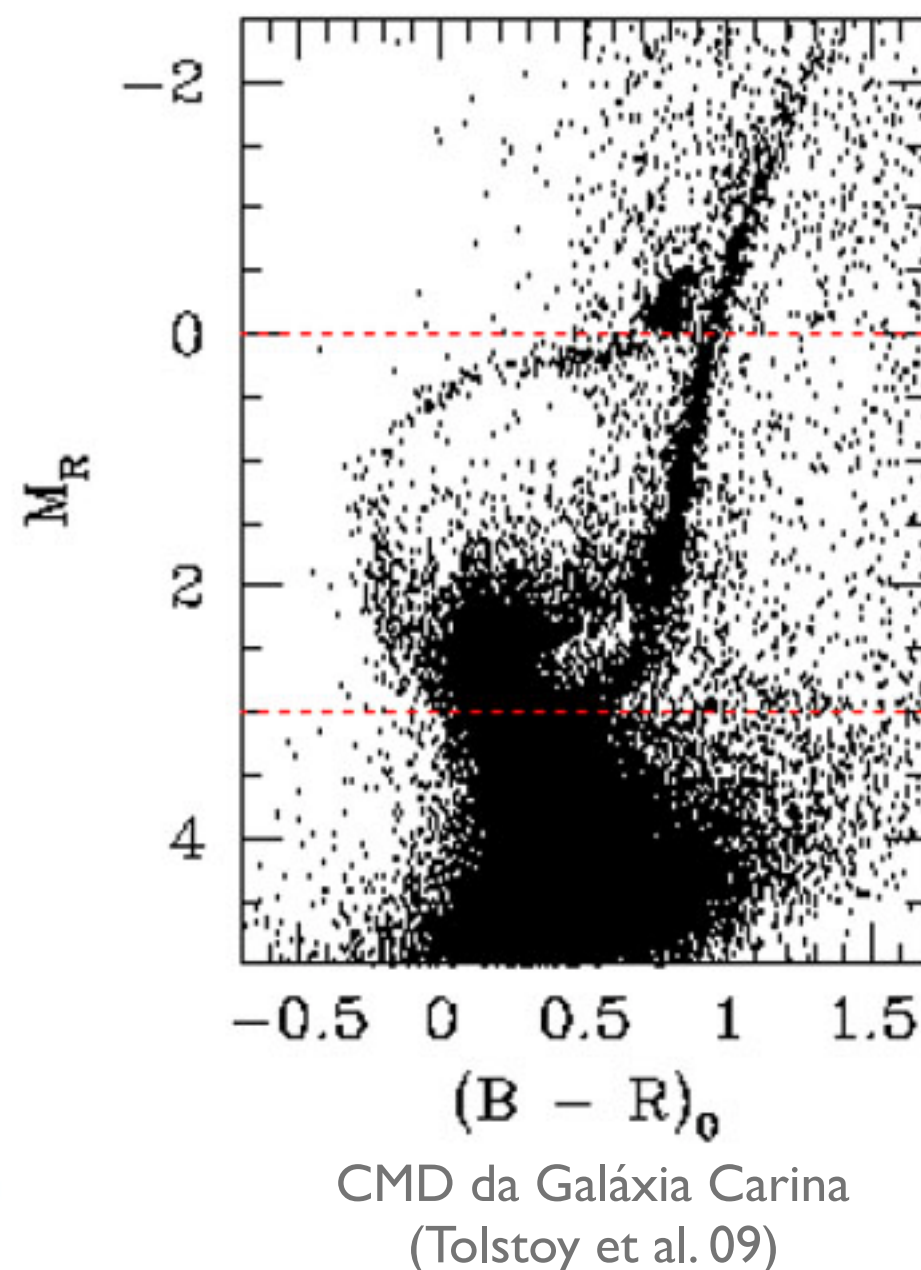
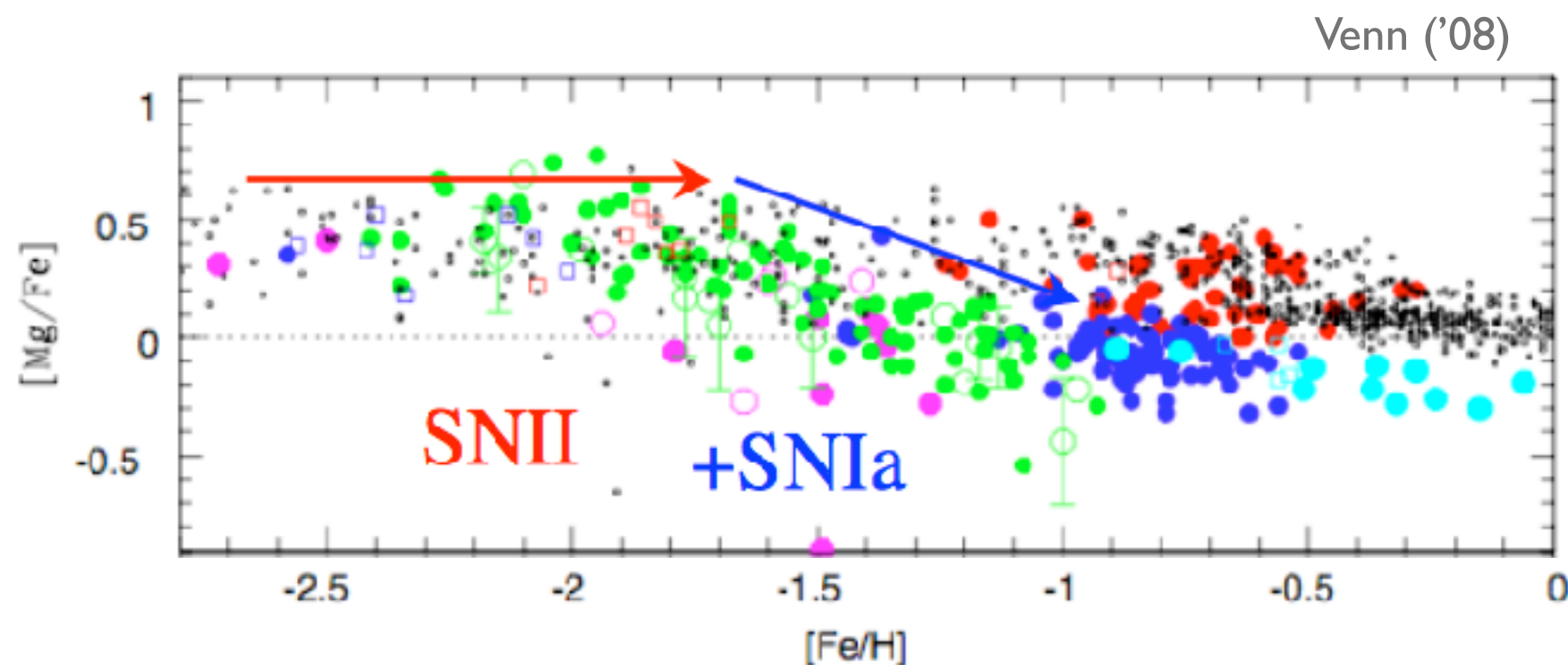
Figure 2. The spatial distribution of LG dwarf galaxies projected into the supergalactic X - Y plane. Galaxies analyzed in this paper are color-coded by their absolute V -band magnitude, while other galaxies are left as grey points. Outside the LG, the grey points are (from left to right): Antlia, NGC 3109, Leo P, and UGC 4879. The size of each point is proportional to the galaxy's half-light radius. Following [McConnachie \(2012\)](#) we adopt $R_{\text{virial}} = 300$ kpc for both the MW and M31, and a zero-velocity radius of 1060 kpc for the LG.

Grupo Local

- O centro de massa fica em algum ponto entre M31 e a Galáxia
- Rico em galáxias de tipo tardio e pobre em galáxias de tipo “cedo”: é um padrão em grupos de galáxia, ao contrário de aglomerados
- no GL, atração gravitacional mútua é forte o suficiente para superar a expansão do Universo => a Galáxia e M31 estão se aproximando a cerca de 120 km/s
- As galáxias tendem a se alinhar no *plano supergaláctico*, aproximadamente perpendicular ao plano galáctico
- Aglomerados de galáxias como Virgo e Coma parecem fazer parte de estruturas maiores
- GL faz parte do Superaglomerado de Virgo

Galáxias no Universo

- Cerca de metade das galáxias se encontra em aglomerados ou grupos
- A outra metade se encontra aproximadamente isolada ou associações menos ligadas ao longo de filamentos
- o GL é um ambiente galáctico típico
- Observações atuais podem resolver estrelas em galáxias do GL



As satélites da Galáxia

Nossas galáxias satélites

- As duas mais proeminentes são as Nuvens de Magalhães
- As satélites esferoidais (dSph) são bastante difusas



Galáxia de Carina
[wiki/Carina_Dwarf_Spheroidal_Galaxy](https://pt.wikipedia.org/wiki/Carina_Dwarf_Spheroidal_Galaxy)



LMC, [apod/ap130528.html](http://apod.nasa.gov/apod/ap130528.html)



SMC, [apod/ap100903.html](http://apod.nasa.gov/apod/ap100903.html)

Grande Nuvem de Magalhães

- LMC é o protótipo das “espirais Magellânicas”, Sm
- Disco + forte barra + 1 braço espiral curto
- Estrelas do disco orbitam um ponto $\sim 1\text{kpc}$ ao NO da região mais brilhante



$15^\circ \times 13^\circ$, 14kpc

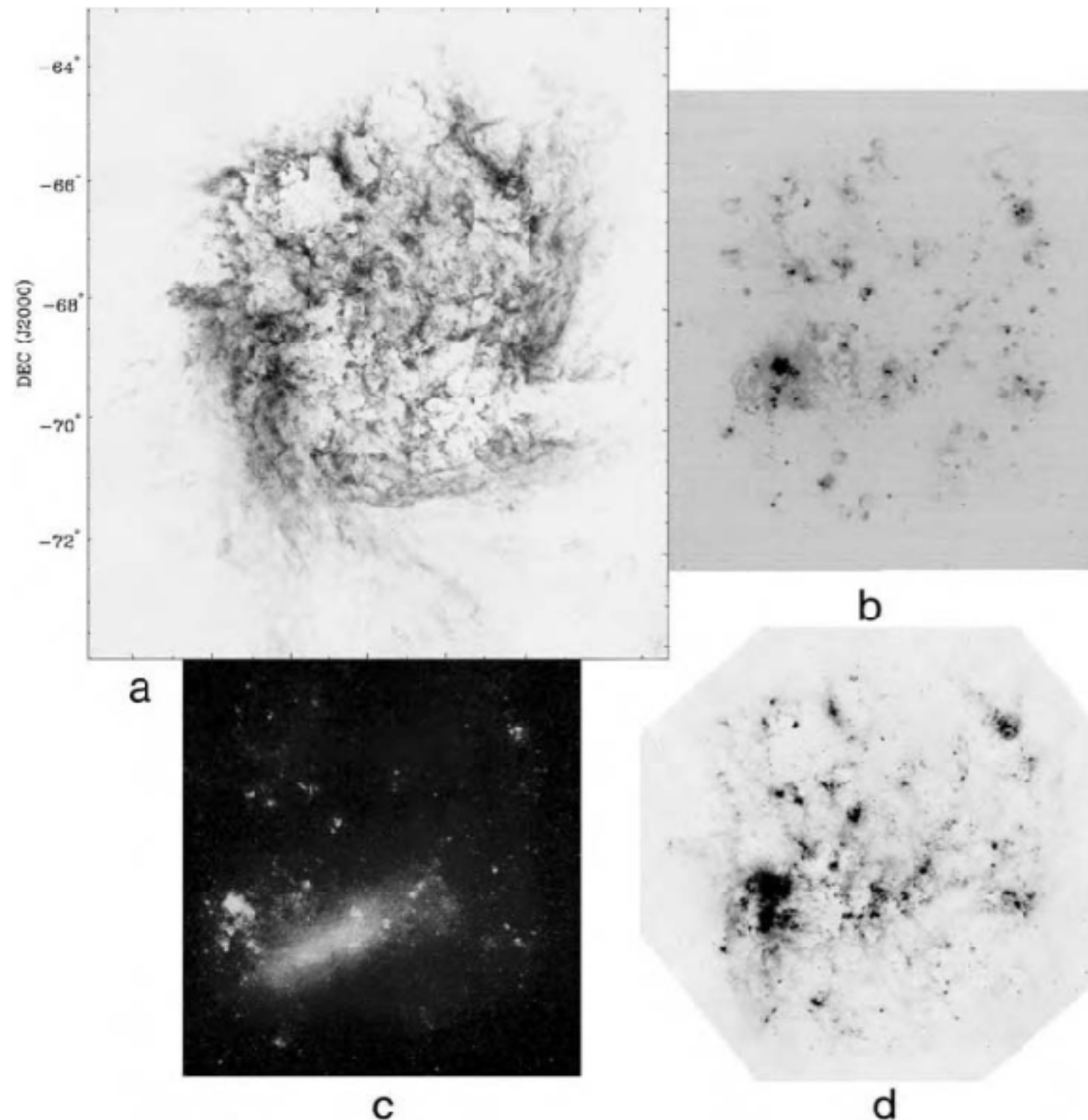


Fig. 4.4. The Large Magellanic Cloud: (a) the extended and fairly symmetric disk of HI gas; (b) in H α we see hot gas around young massive stars, with 30 Doradus the most prominent bright region; (c) an optical image shows the dense stellar bar and clumps of young stars, with 30 Doradus near the end of the bar, above and to the left; and (d) infrared light at 24 μ m shows dust heated by young stars. The HI map is 10° across, or ~ 8.5 kpc; others are 7° – S. Kim and L. Staveley-Smith; K. Henize (courtesy of the Observatories of the Carnegie Institution of Washington); Spitzer.

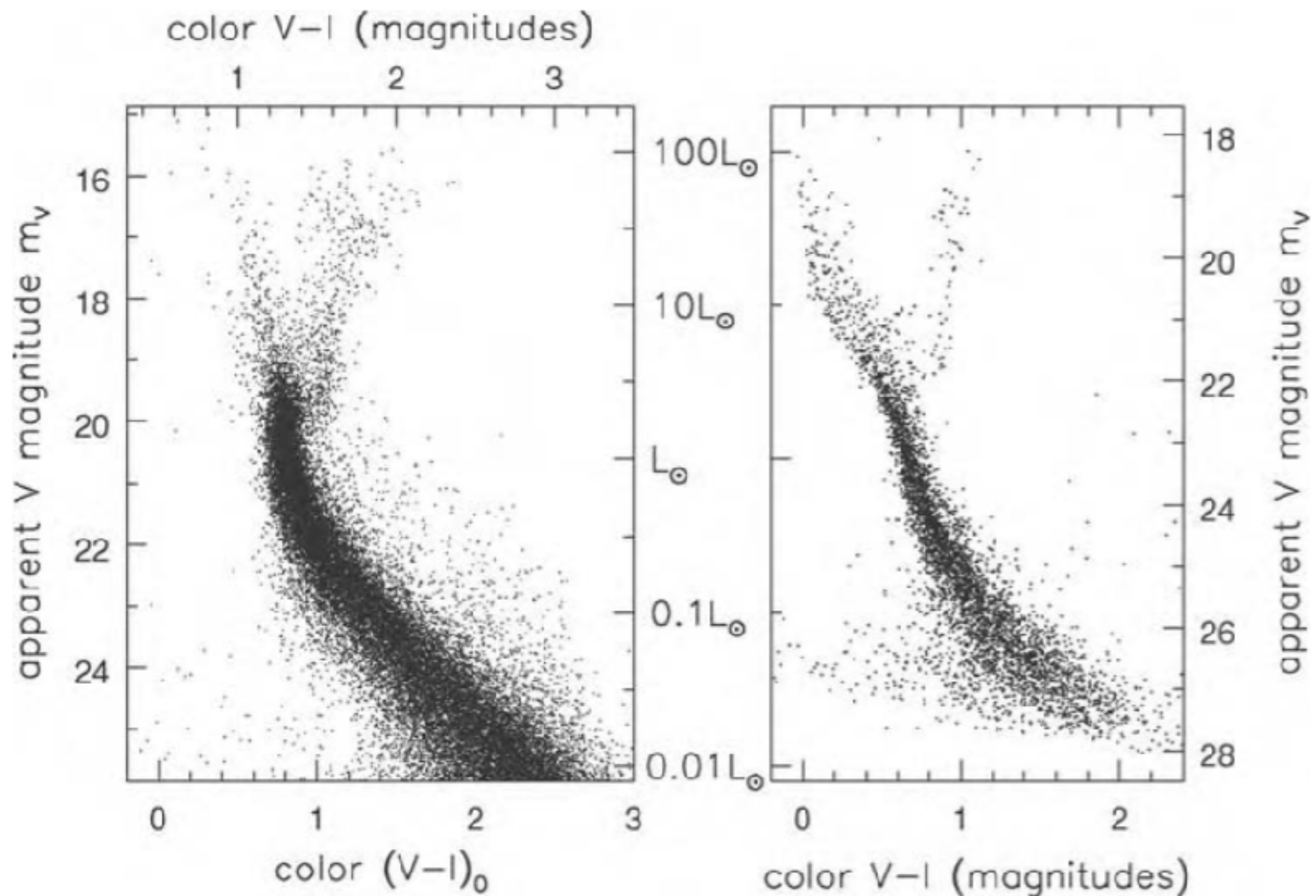
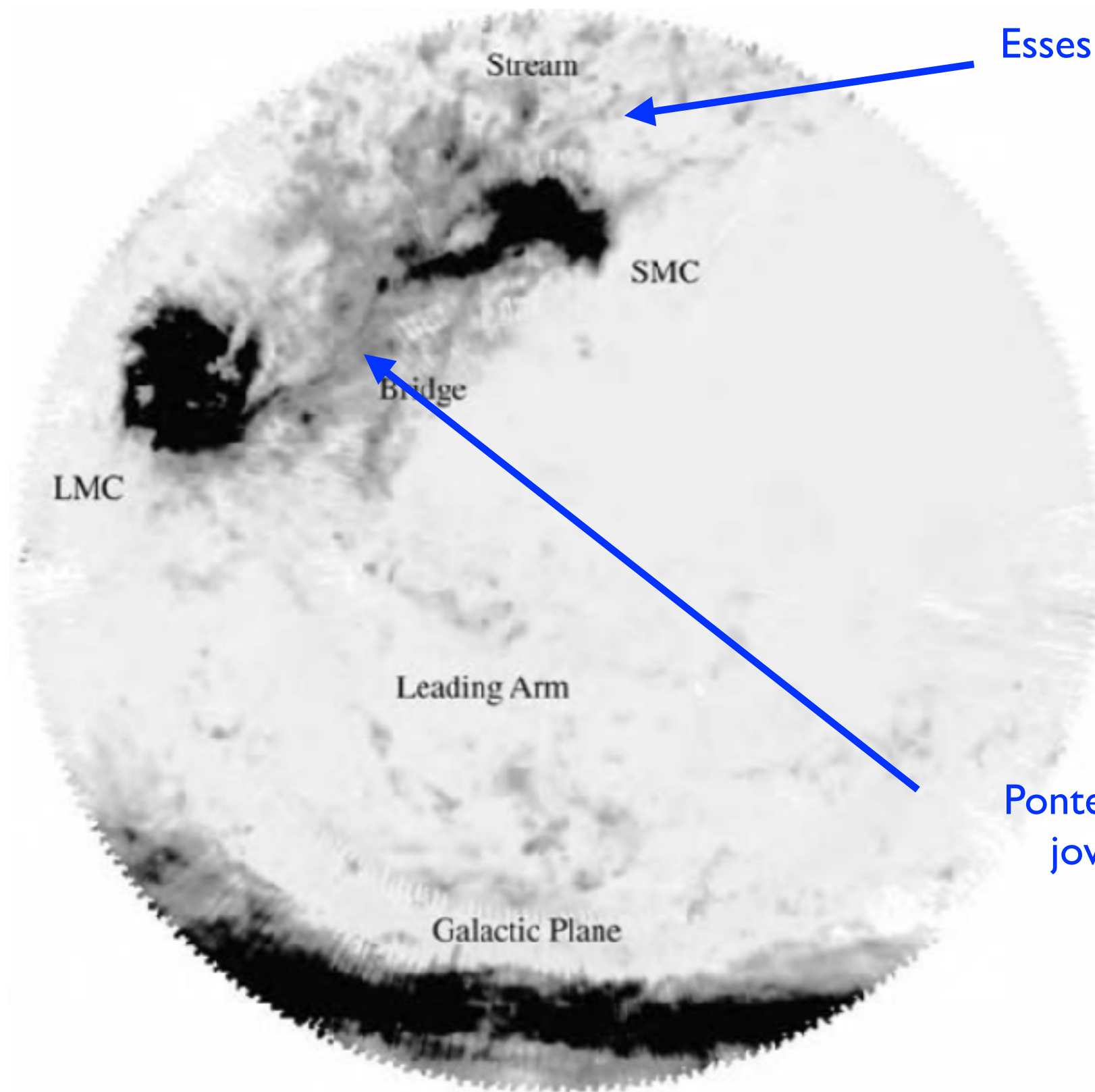


Fig. 4.5. Left, a color–magnitude diagram for stars in the bulge of the Milky Way; the lower scale shows color corrected for the reddening effects of dust. The wide main sequence indicates a range of stellar ages, but no horizontal branch is visible (cf. Figure 2.14). Right, stars in a small patch in the disk of the Large Magellanic Cloud. Note the luminous blue stars; the main sequence is bluer than that in the bulge because the stars are poorer in metals – J. Holtzman.

Pequena Nuvem de Magalhães

- Estrutura alongada vista quase “end-on”, com profundidade de cerca de 15kpc ao longo da linha de visada
- As estrelas não apresentam movimento organizado





Esses *streams* se estendem por cerca de um terço do céu.

Ponte de gás contendo aglomerados jovens conecta as duas Nuvens

Fig. 4.6. HI in the Magellanic Clouds and the Magellanic Stream. The map is centred at the south celestial pole, extending to $\delta = -62^\circ$; right ascension 0^h is at the top – reprinted by permission from M. Putman *et al.* 1998 *Nature* **394**, 752; © 1998, Macmillan Magazines Ltd.

As Nuvens de Magalhães

- As posições e velocidades atuais das galáxias e streams podem ser explicadas com uma órbita ecêntrica em torno da Galáxia com período 2Gyr, e última passagem perigaláctica entre 200 e 400 Myr.
- É possível que a atração gravitacional combinada da Galáxia e LMC já tenham destruído a SMC enquanto um sistema ligado
- São bastante ricas em aglomerados estelares. Na LMC há um gap de aglomerados entre 4 - 10Gyr. Os mais jovens correspondem em idade a última passagem próxima com a SMC. Na SMC há aglomerados de várias idades, sem *gap*.



R136 em 30Dor

Galáxias esferoidais anãs

- Brilho superficial cerca de 100x menor do que LMC
- Contém pouco gás
- Não tem população jovem
- Todas possuem população velha (RR Lyrae)
- As menos luminosas tem luminosidade da ordem de aglomerados globulares



dSph vs. AG?

- Como sabemos que as dSph não são apenas outro tipo de AGs?
- Raios são $\sim 10^2$ maiores
- População estelar bastante complexa

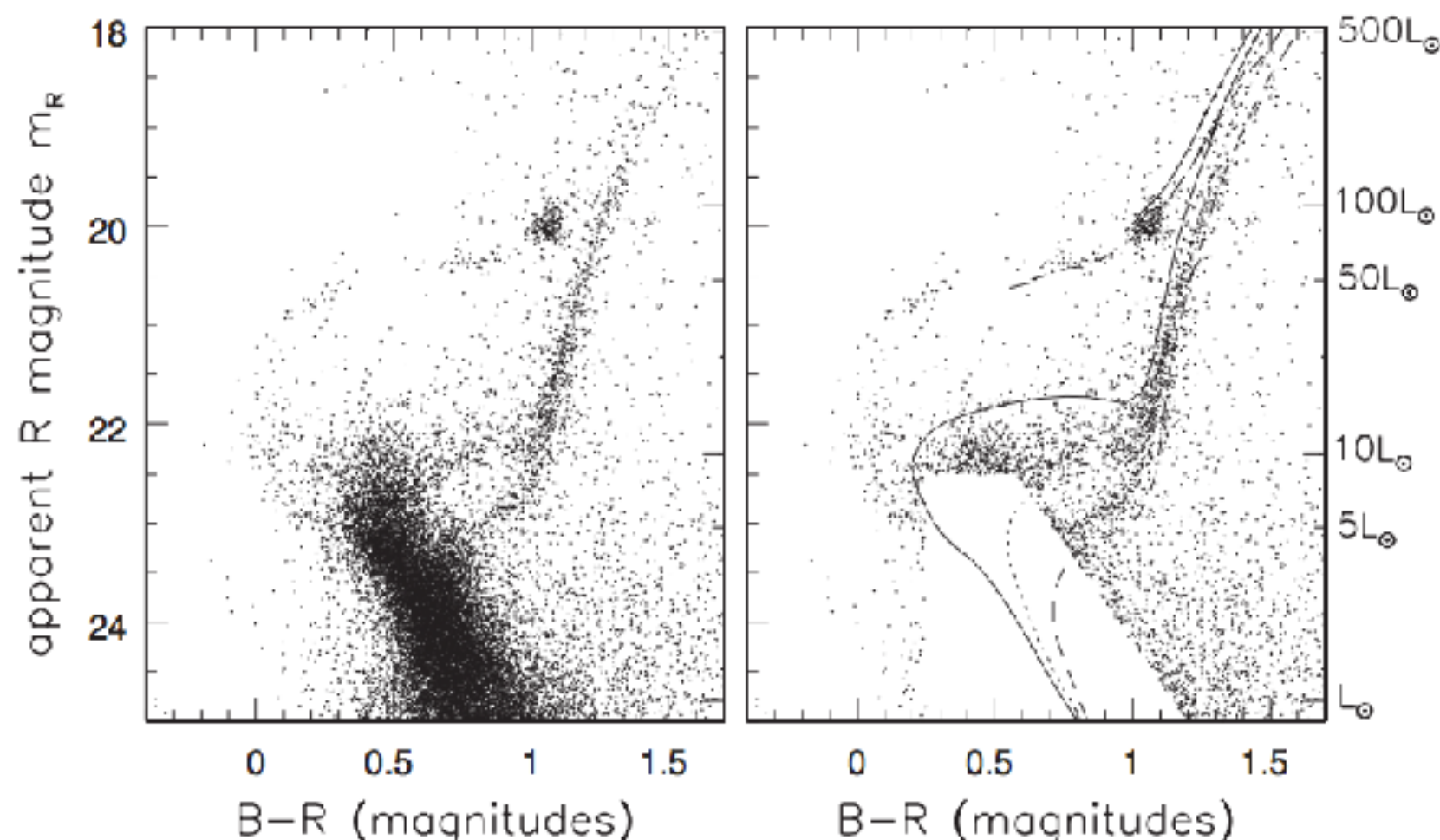


Fig. 4.9. Left, a color-magnitude diagram for the Carina dwarf spheroidal galaxy. Right, superposed isochrones give the locus of metal-poor stars ($Z = Z_\odot/50$) at ages of 3 Gyr (solid), 7 Gyr (dotted), and 15 Gyr (dashed). We see young red clump stars at $B - R, m_R = (1, 20)$, and old stars on the horizontal branch. Carina's distance modulus is taken as $(m - M)_0 = 20.03$; dust reddening is assumed to dim stars by 0.108 magnitudes in B and 0.067 magnitudes in R - T. Smecker-Hane; A. Cole, Padova stellar tracks.

dSph vs. AG?

- Como sabemos que as dSph não são apenas outro tipo de AGs?
 - Raios são $\sim 10^2$ maiores
 - População estelar bastante complexa
 - Contém seu próprio sistema de aglomerados globulares
 - Estimativas de massa a partir da dispersão de velocidades indicam razões massa-luminosidade M/L muito maiores do que AGs, ou mesmo da maioria das galáxias espirais

Teorema do Virial

- equação geral que relaciona a média temporal da energia cinética, de um sistema estável de N partículas ligado por forças potenciais, com o total da energia potencial

- em Astrofísica:
$$\frac{GM}{R} \approx \frac{k_B T}{m_p} \approx v^2$$

- M = massa, R = raio, v = velocidade, T = temperatura, G = cte de Newton, k_B = cte de Boltzmann, m_p = massa do próton (os fatores numéricos são geralmente negligenciados).

- Em dinâmica de galáxias, a energia cinética por partícula $K \sim (3/2)\sigma^2$ e

$$\frac{GM}{R} \approx \sigma^2$$

- onde R é o raio onde σ é medido, e M é a massa interior a esse raio.

Table 4.2 Dwarf galaxies, compared with the nuclear star cluster of M33, and three Milky Way globular clusters

<i>System</i>	L_V ($10^7 L_\odot$)	σ_r (km s $^{-1}$)	r_c (pc)	r_t (pc)	t_{sf} (Gyr)	$\mathcal{M}/L_V$ ($\mathcal{M}_\odot/L_\odot$)	$\log_{10}(Z/Z_\odot)$ range
NGC 147 dE	12	20–30	260	1000	3–5	7 ± 3	−1.5 to −0.7
NGC 185 dE	13	20	170	2000	< 0.5	5 ± 2	−1.2 to −0.8
Pegasus dIrr	1	9(HI)		500(HI)	< 0.1	2–4	−2.3 to −1.7
Fornax dSph	1.5	13	400	5000	< 2	~15	−2 to −0.4
<i>M33 nucleus</i>	0.25	24	< 0.4		< 1:	~1	−1.9 to −0.7
Sculptor dSph	0.2	9	200	2000	> 10	~10	−2.6 to −0.8
ω Cen gc	0.1	20	4	70	> 10	2.5	−1.6 to −1.2
<i>M15</i> gc	0.04	12	< 0.01	85	> 10	2	−2.15
Carina dSph	0.04	7	200	900	2–10	~40	−2.7 to −0.3
<i>M92</i> gc	0.02	5	0.5	50	> 10	1.5	−2.15

Note: The velocity dispersion σ_r is highest at the center; at the core radius r_c , the surface brightness falls to half its central value, dropping to near zero at truncation radius r_t ; t_{sf} the time since last significant star formation, with : indicating an uncertain value; $Z/Z_\odot$ is metal abundance compared with that of the Sun. HI denotes a measurement from HI gas, not stars; globular clusters are labelled gc.

dSph vs. AG?

- Como sabemos que as dSph não são apenas outro tipo de AGs?
 - Raios são $\sim 10^2$ maiores
 - População estelar bastante complexa
 - Contém seu próprio sistema de aglomerados globulares
 - Estimativas de massa a partir da dispersão de velocidades indicam razões massa-luminosidade M/L muito maiores do que AGs, ou mesmo da maioria das galáxias espirais
 - dSph são constituídas em grande parte por matéria escura
 - ou não são sistemas em equilíbrio
- Em quais condições um aglomerado estelar ou galáxia satélite pode sobreviver à gravidade da Galáxia?

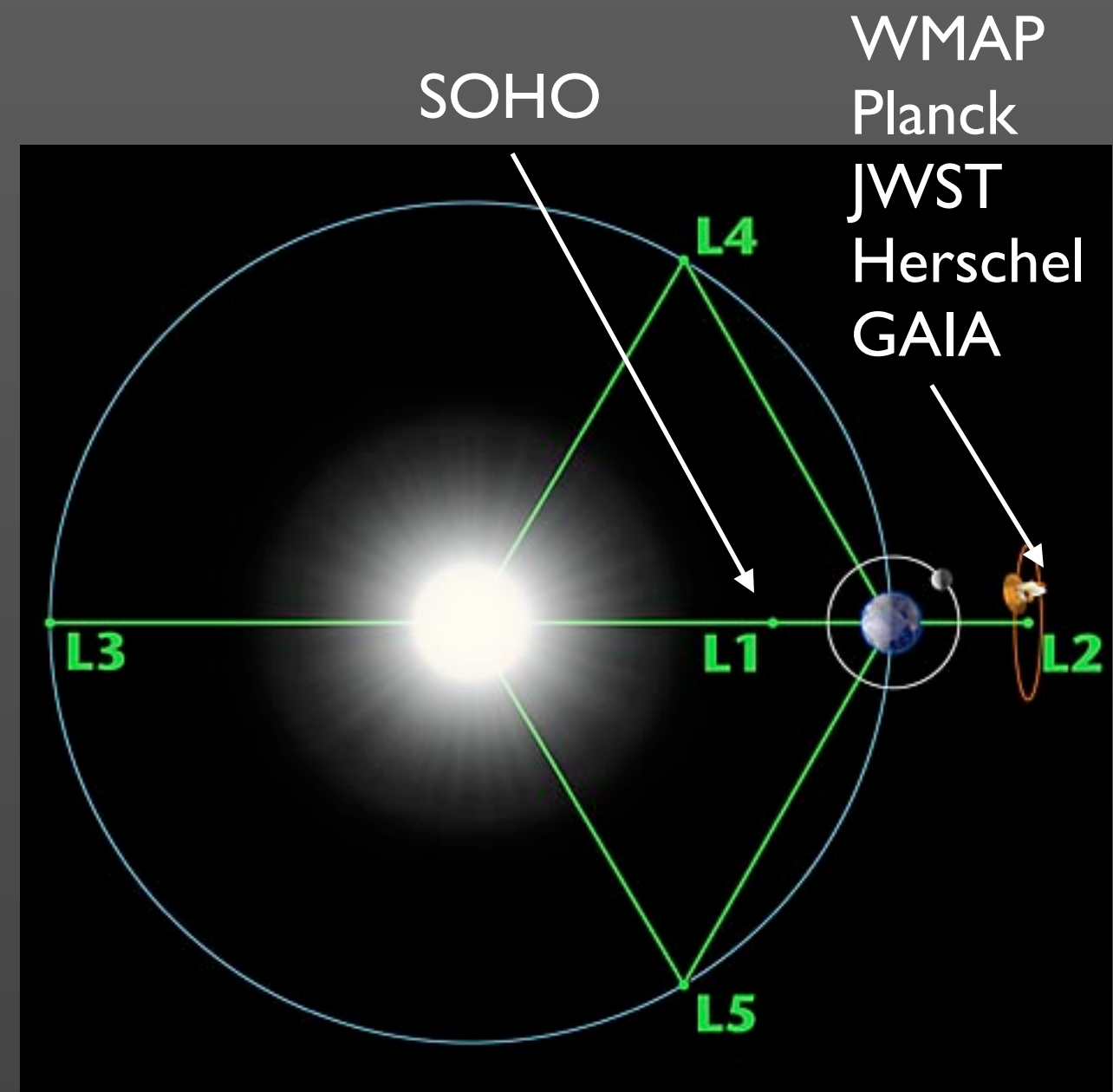
O limite de maré (tidal limit)

- uma galáxia satélite em órbita de um sistema maior sente a força gravitacional combinada, que varia no tempo.
- o famoso "problema de 3-corpos": muitas das possíveis órbitas são caóticas, uma pequena mudança na posição ou velocidade do satélite tem um efeito imenso no movimento subsequente.
- **SE** o satélite segue uma órbita circular **E** o potencial gravitacional é constante em um sistema de referência que tem rotação uniforme em torno do centro de massa combinada do sistema (**a vaca esférica...**), pode-se definir um potencial efetivo **Φ_{eff}** e um substituto para a energia que não se conserva (cte de Jacobi **E_J** ; seção 4.1.4 do livro texto)
- Uma estrela com $E_J < \Phi_{\text{eff}}(r)$ está ligada ao sistema
- $E_J = E - \Omega \cdot L$; onde **E** é a energia do satélite, **L** é o momento angular por unidade de massa e **Ω** é a velocidade angular do sistema

Pontos de Lagrange

(sugestão de leitura: <https://www.space.com/30302-lagrange-points.html>)

- O potencial efetivo Φ_{eff} tem 3 máximos, os 3 primeiros pontos de Lagrange
- 5 pontos em um sistema de 3 corpos onde uma massa pequena pode orbitar duas massas maiores em um padrão constante
- estrelas que não ultrapassarem o r_J raio de Jacobi (também chamado de limite de Roche) irão permanecer ligadas à galáxia satélite
- D = distância, m e M são as massas do satélite e da galáxia maior, respectivamente.



Pontos de Lagrange do sistema Terra-Sol.
Crédito: NASA / WMAP Science Team.
(Nota: fora de escala)

$$r_J = D \left(\frac{m}{3M + m} \right)^{1/3}$$

O limite de maré

- em geral galáxias satélite e aglomerados não seguem órbitas circulares
- espera-se que a força gravitacional no ponto da órbita de maior aproximação determina se as estrelas permanecem ligadas
- raio de truncagem r_t (onde a densidade de estrelas cai a zero) é aproximadamente igual a r_J no pericentro da órbita
- alguns dos aglomerados das Nuvens de Magalhães saíram do limite de Jacobi do raio perigaláctico estimado e portanto não devem mais estar ligados às galáxias-mães (mas devem permanecer próximos por ainda algumas órbitas)
- o raio de Jacobi para a LMC é da ordem de 11 kpc, portanto o disco da LMC (~4kpc) está seguro (estável) contra a atração da Galáxia

Galáxias Espirais do Grupo Local



M31: o objeto mais distante
que pode ser visto a olho nu

$L \sim 1.5L_*$
escala de disco $h_R \sim 2 h_{R*}$
 $V(R) \sim 1.3V(R)_*$
 $\#AG \sim 2\#AG_*$ (cerca de 300)

M31

- Apresenta núcleo compacto semi-estelar que foi resolvido pelo HST em duas distintas concentrações de luz
- Anel de formação estelar a cerca de 10kpc de raio
- formação estelar menor do que a Galáxia
- padrão espiral é menos demarcado do que na Galáxia
- o disco estelar é *warped* (comum em espirais)
- classificada como Sb



Swift Makes Best-ever Ultraviolet Portrait of Andromeda Galaxy. Credit: NASA/Swift/Stefan Immler (GSFC) and Erin Grand (UMCP).



Image from Wide-field Infrared Survey Explorer, or WISE. Image credit: NASA/JPL-Caltech/UCLA.

M31

- núcleo duplo, separados por $\sim 2\text{pc}$: um contém $\mathcal{M}_{\text{BH}} \sim 3 \times 10^6 \mathcal{M}_{\odot}$, outro pode ser um aglomerado estelar que espiralou para o centro da galáxia
- ao contrário da Galáxia, o núcleo é relativamente livre de gás e poeira
- várias das estrelas alguns kiloparsecs acima do disco são ricas em metais e apresentam rotação, como se o bojo de M31 tivesse "transbordado" para o halo
- um *stream* gigante de estrelas foi encontrado, maior do que 100kpc, provavelmente resultante de um merger com outra galáxia relativamente massiva



M33

Sc ou Scd

M33

- mais rica em gás do que M31 ou a Galáxia
- $h_R \approx 1.7 \text{ kpc}$,
- $V(R)$ sobe a 120 km s^{-1}
- disco de HI muito extenso, medido até 30kpc (está a ~200kpc de M31)
- aglomerado estelar nuclear, mais luminoso do que qualquer AG da Galáxia $L_V \approx 2.5 \times 10^6 L_\odot$
bastante denso $10^7 L_\odot \text{ pc}^{-3}$
- não há evidências de um buraco negro central, mas seu núcleo é a fonte em raio-X mais brilhante do GL (ver arXiv:astro-ph 0112327 sobre sistema binário com 1 buraco negro de 10Msun)

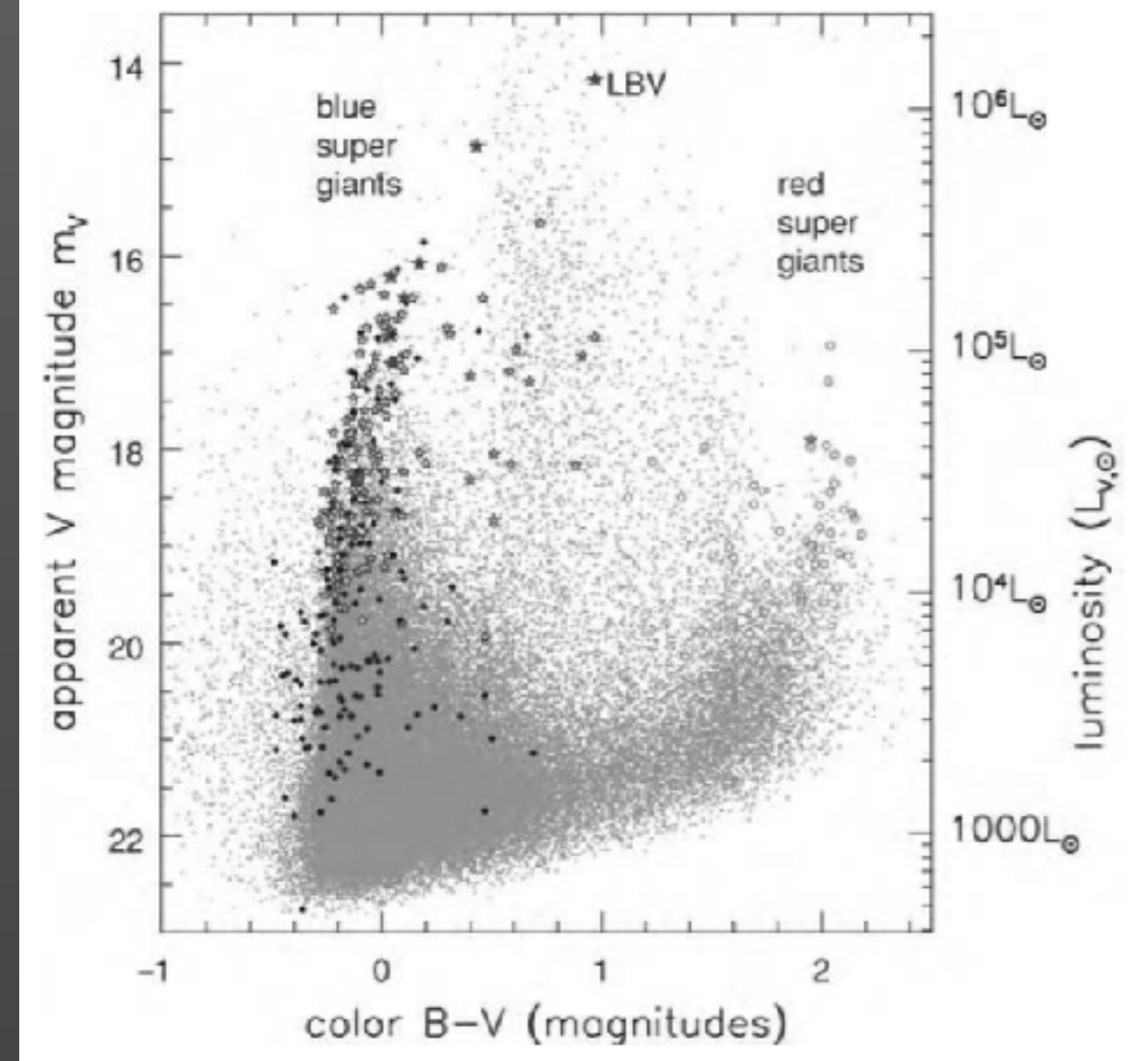


Fig.4.20. CMD for a galaxy in vigorous starbirth: M33. Larger symbols show stars classified by their spectra. Open star-shapes show blue supergiants; filled stars are luminous blue variables; filled diamonds are Wolf-Rayet stars; and open circles indicate red supergiants. Most points between the vertical 'plumes' of blue and red supergiants represent fore-ground stars in our Milky Way. For an irregular galaxy like the SMC this diagram would look similar, but with fewer stars of each type.

Outras anãs do Grupo Local

Galáxias irregulares anãs

- contém gás e formação estelar recente, pobres em metais (10% de Z_{sun})
- LMC representa uma classe de transição entre espirais e anãs irregulares

IC10

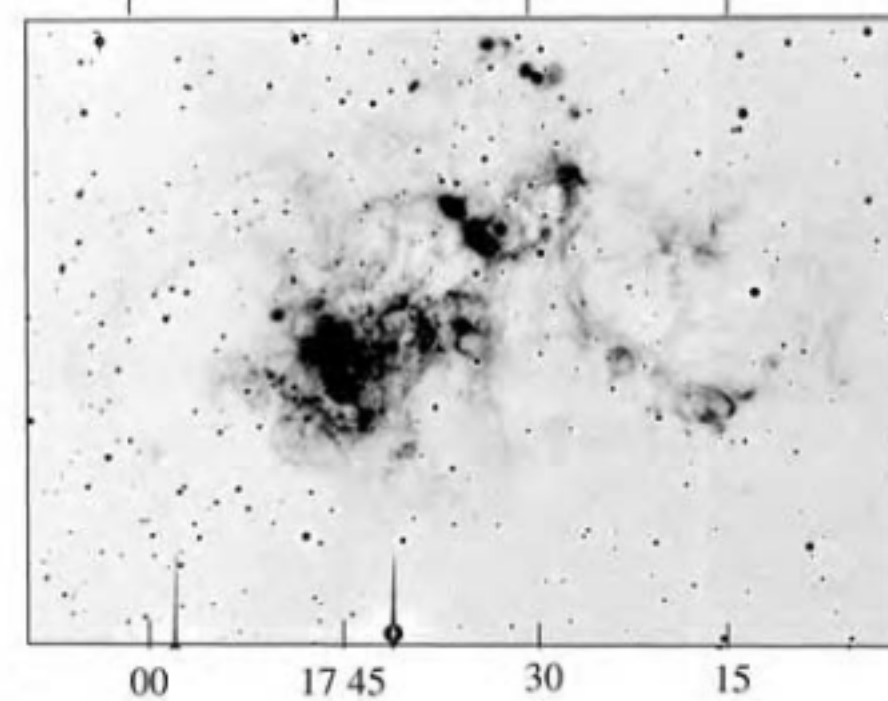
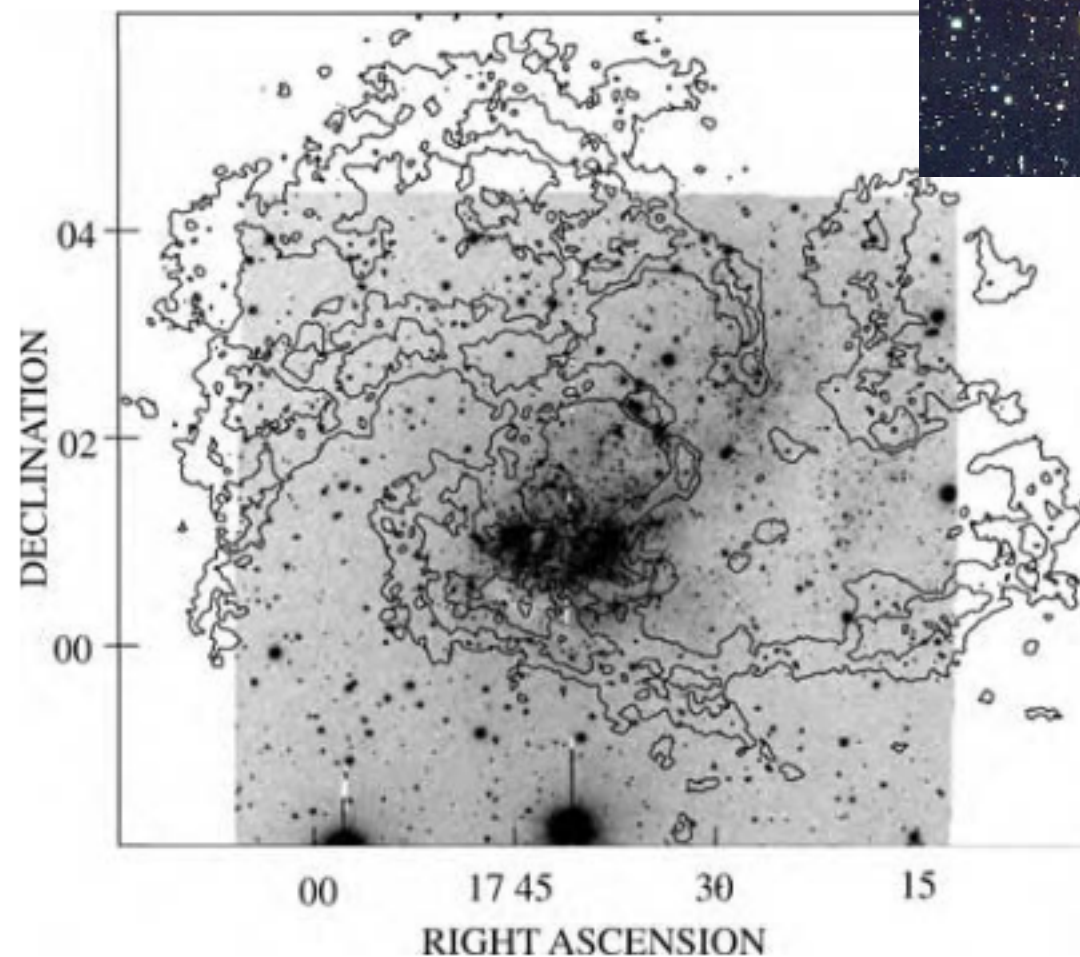
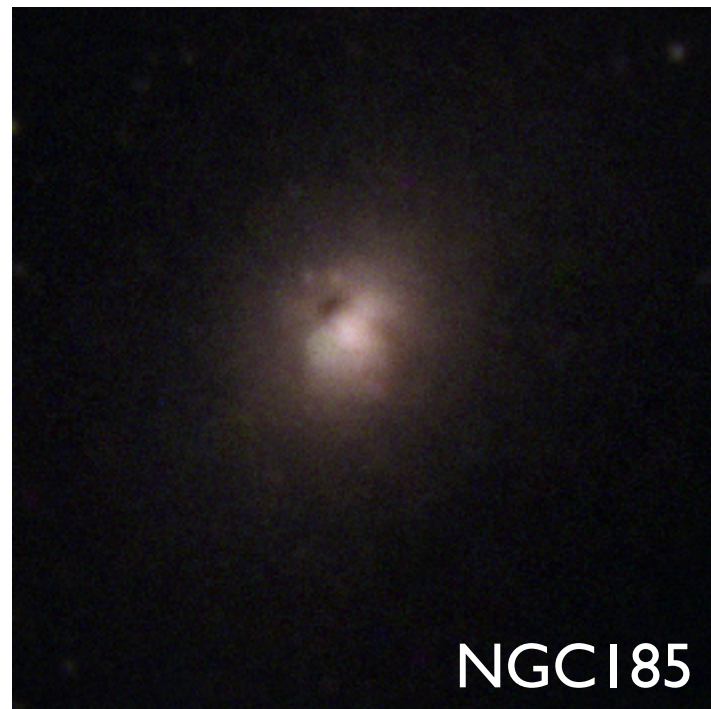


Fig. 4.19. The dwarf irregular galaxy IC 10. Left, HI contours superposed on an R -band negative image; the box measures $8'$ vertically, or 19 kpc. Right, negative image showing $H\alpha$ emission from ionized gas – E. Wilcots.

Galáxias anãs orbitando M31

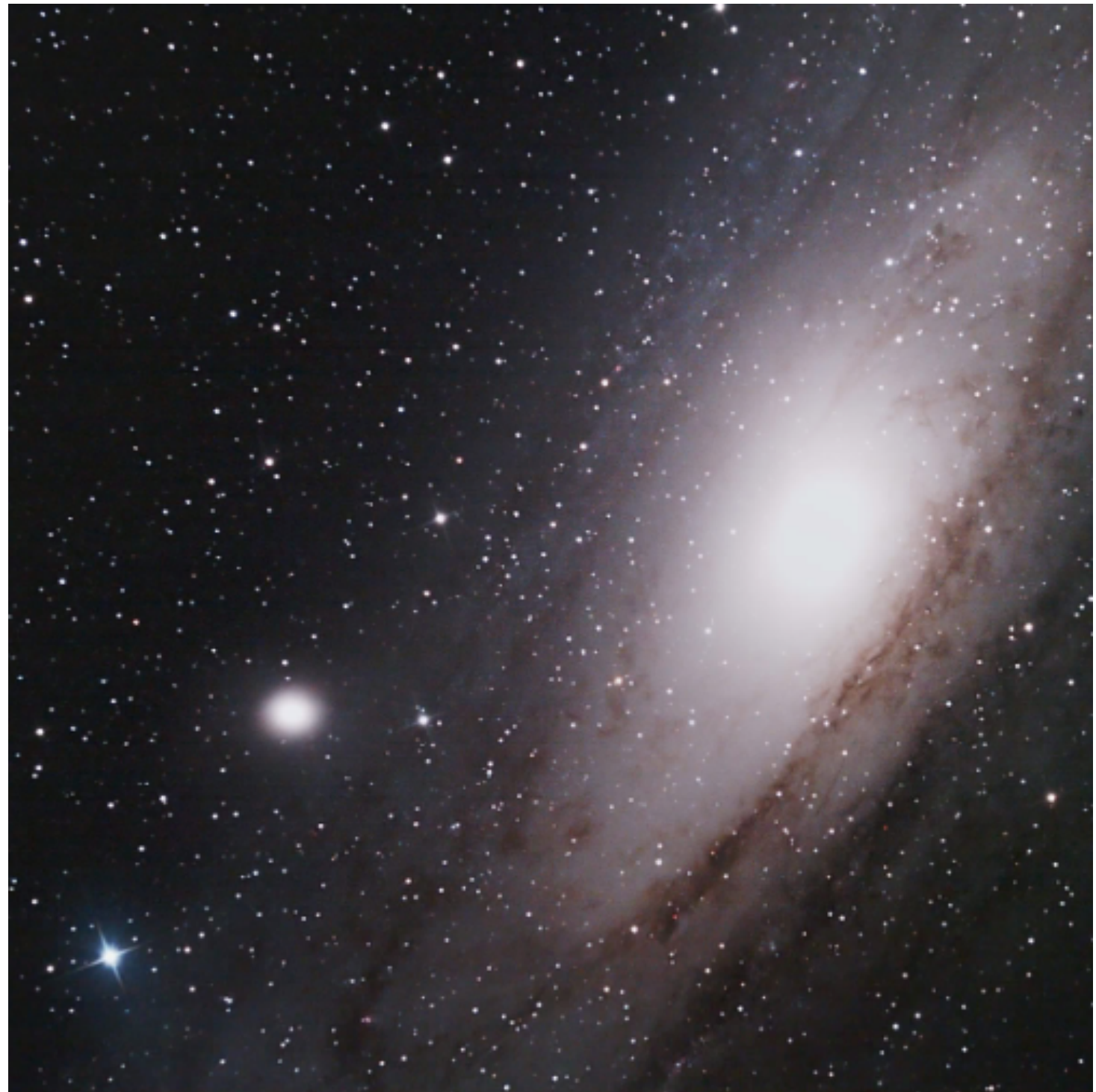
- as anãs esferoidais dSph da M31 não parecem ser diferentes das nossas
- M31 tem três anãs elípticas dE



- População estelar predominantemente velha, exceto nas partes centrais onde há uma pequena evidência de população jovem (exceto NGC147)

M32: elíptica anã ou compacta?

- cinemática intermediária entre o disco da Galáxia e o halo pobre em metais, com $V/\sigma \sim 1$ (V = velocidade máxima de rotação, σ = dispersão de velocidades).



M32

- brilho superficial dos mais altos já medidos para qualquer galáxia, talvez a remanescente central de uma galáxia muito maior?

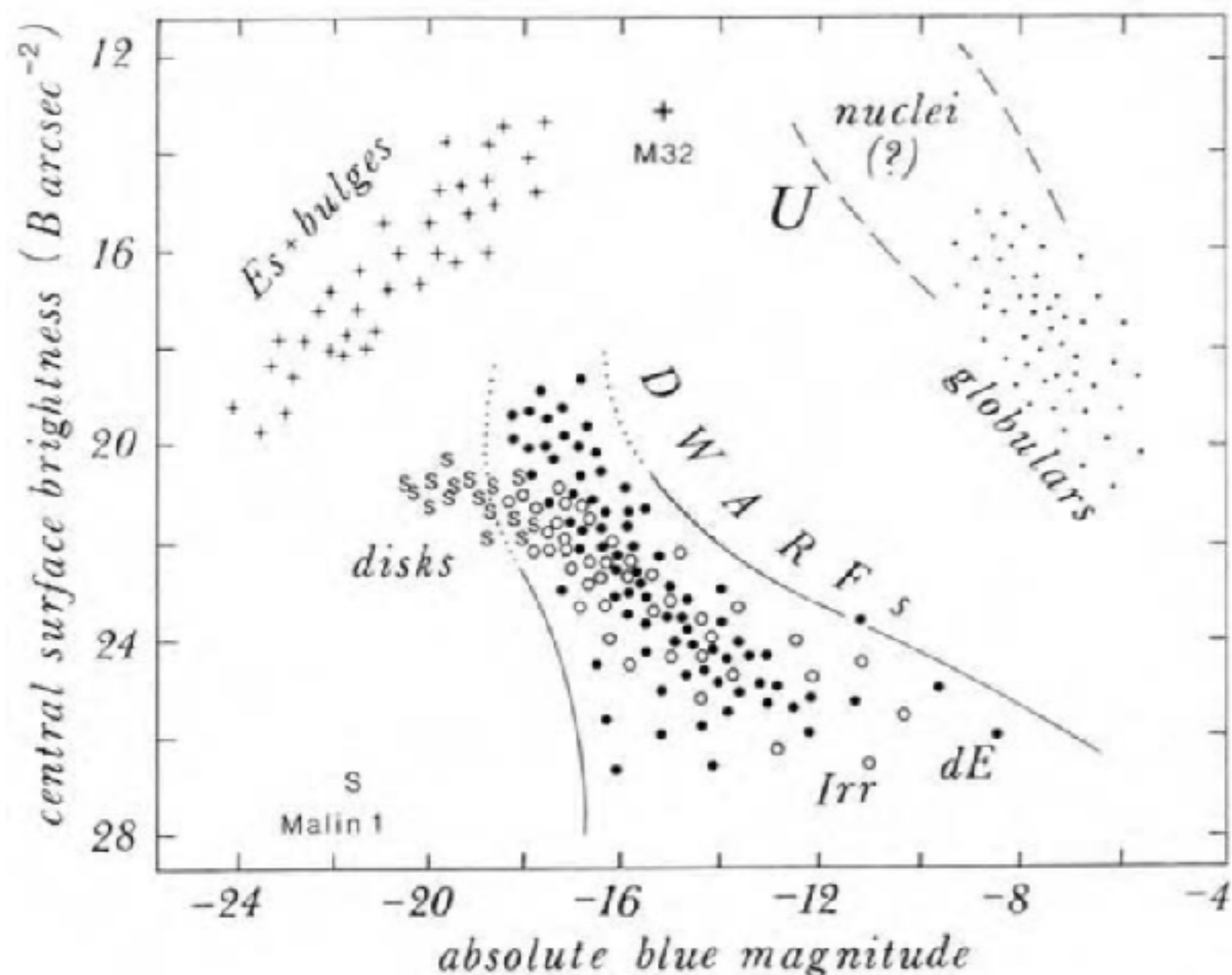
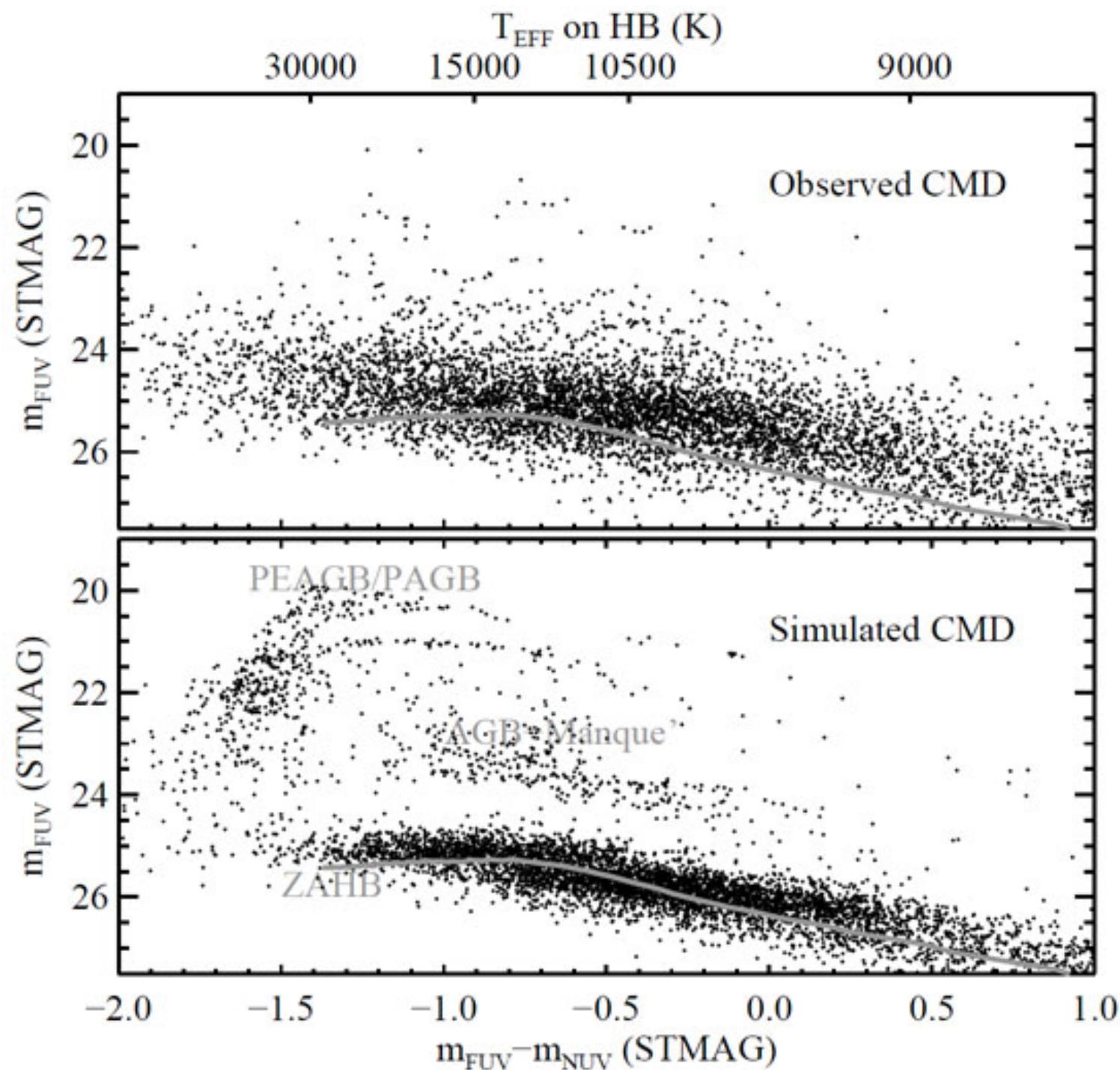
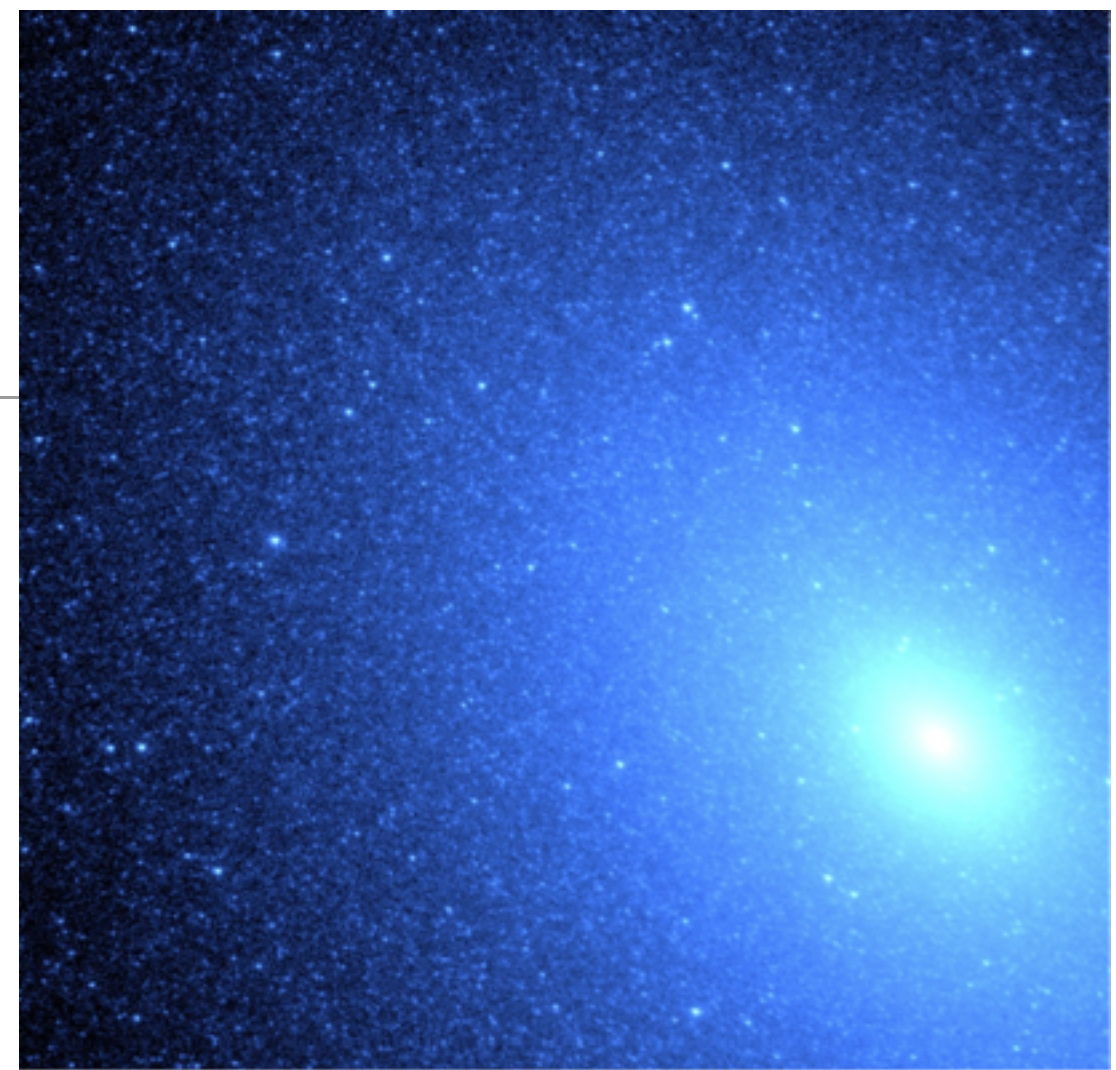


Fig 4.18: galáxias anãs e gigantes ocupam regiões diferentes no plano brilho superficial vs. magnitude absoluta.

Estrelas azuis em uma galáxia elíptica?



Brown (2004)



<https://apod.nasa.gov/apod/ap991103.html>

Figure 3. *Top panel:* The CMD constructed from the near-UV and far-UV images of [M32](#), as observed by the HST/STIS (*black points*), compared to the predicted location of the zero-age HB (*grey curve*). Although the EHB is well-populated, the UV-bright stars above the EHB are under-represented. *Bottom panel:* The simulation that best reproduces the observed CMD, which assumes a bimodal HB morphology having a minority EHB population. Note the large numbers of UV-bright stars, and the clear gap between the EHB and AGB-Manque stars, which are not seen in the observed CMD.

Futuro do Grupo Local

- temos cerca de 3 a 4 Gyr até o próximo pericentro entre M31 e a Galáxia, o que deve resultar em uma colisão quase frontal
- M31 e a Galáxia devem fundir e formar uma nova galáxia, provavelmente elíptica



<https://www.youtube.com/watch?v=4disyKG7XtU>