

Profa. Paula R. T. Coelho

AGA0299 - Astrofísica Galáctica e Extra-galáctica

Grupos e Aglomerados de Galáxias

Sparke & Gallagher “Galaxies in the Universe”, capítulo 7

Mo, van den Bosch & White “Galaxy Formation and Evolution”, cap. 12

Distribuição de matéria no Universo

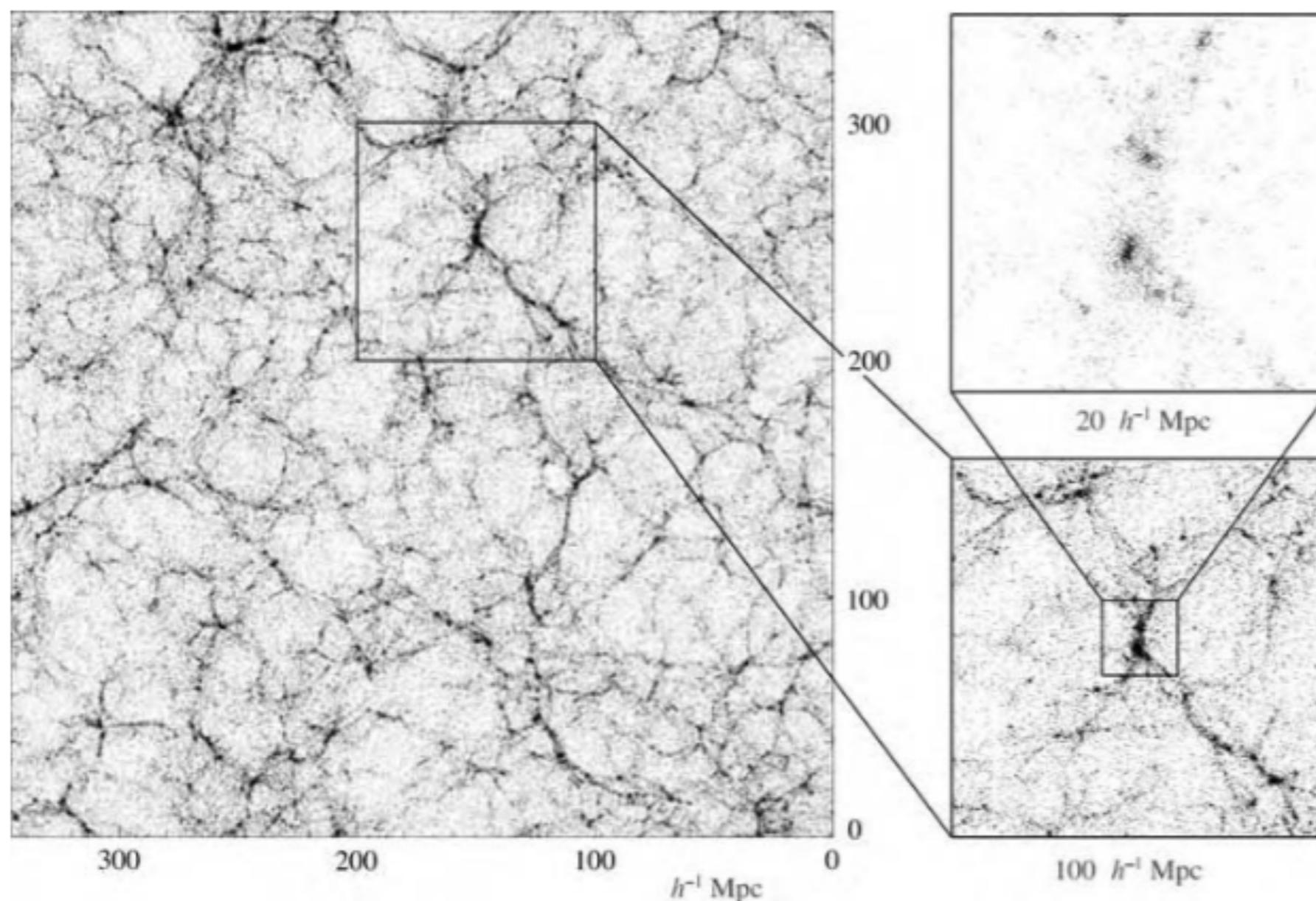
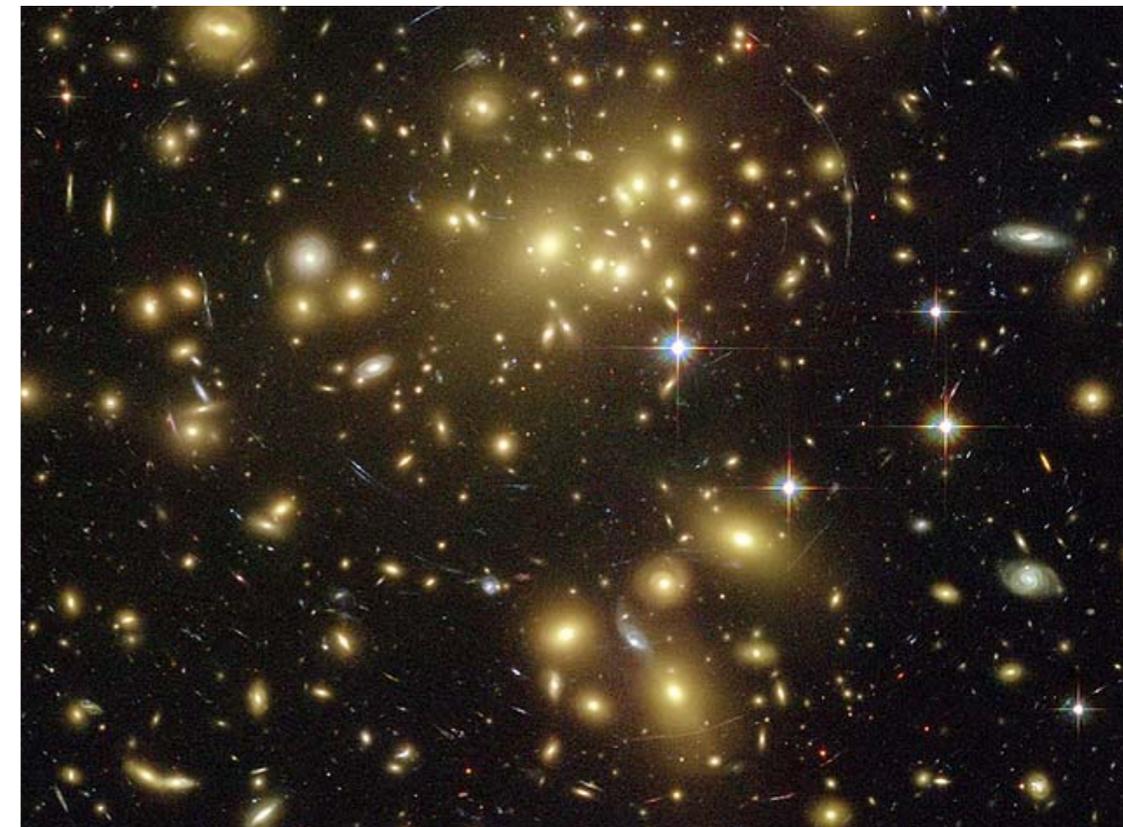
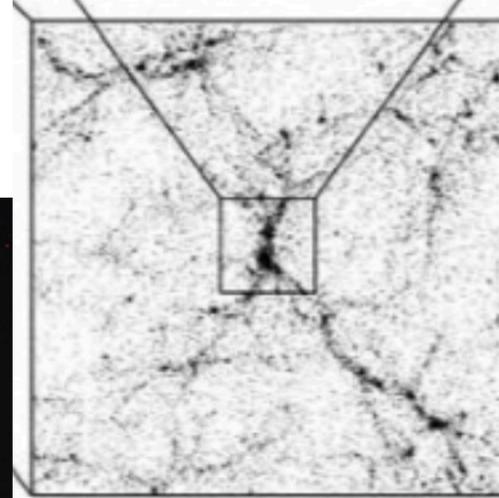


Fig. 8.16. A slice $20h^{-1}$ Mpc thick, through a gravitational N -body simulation with cold dark matter, viewed at the present day. Side frames show magnified views of dense clumps; galaxy groups would form in these ‘dark halos’ – D. Weinberg.

Grupos e Aglomerados

- 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.
- São as maiores estruturas gravitacionalmente ligadas que surgiram no Universo até hoje.
- São estruturas que não expandem com o fluxo cosmológico
- No cenário hierárquico de formação, as estruturas menores se colapsaram primeiro, e eventualmente cresceram para as estruturas maiores
 - grupos -> aglomerados -> superaglomerados
- Portanto aglomerados são relativamente "jovens"



Grupos

A casa de galáxias disco

- O Grupo Local é um grupo típico
- Tipicamente não contém mais do que 50 galáxias, em um diâmetro de 1 ~ 2 Mpc
- As estruturas mais comuns do Universo, contendo cerca de 50% das galáxias
- Grupos compactos: ~ 5 galáxias



Fig. 7.1. Stephan's Quintet (compact group Hickson 92) is ~ 85 Mpc distant and 80 kpc across, or $3.2'$ on the sky. North is at the top and east is to the left. NGC 7319, the barred spiral, has an active nucleus: it is a Seyfert 2. The large spiral in the lower center, NGC 7320, is not a group member; it is in the foreground with a much smaller redshift – D. J. Pisano, WIYN telescope.

Aglomerados Ricos:

o Domínio de Galáxias Lenticulares e Elípticas

- Centenas a milhares de galáxias
- Os mais próximos/conhecidos são Virgo, Fornax, Hercules e Coma



Aglomerados

- A maioria tem formatos irregulares
- Em Coma, matéria está "caindo" a cerca de 10% da massa do aglomerado a cada 2 - 3Gyr
- Quando o Universo tiver 2-3 vezes o tamanho atual, estima-se que a expansão cósmica irá interromper o crescimento do aglomerado

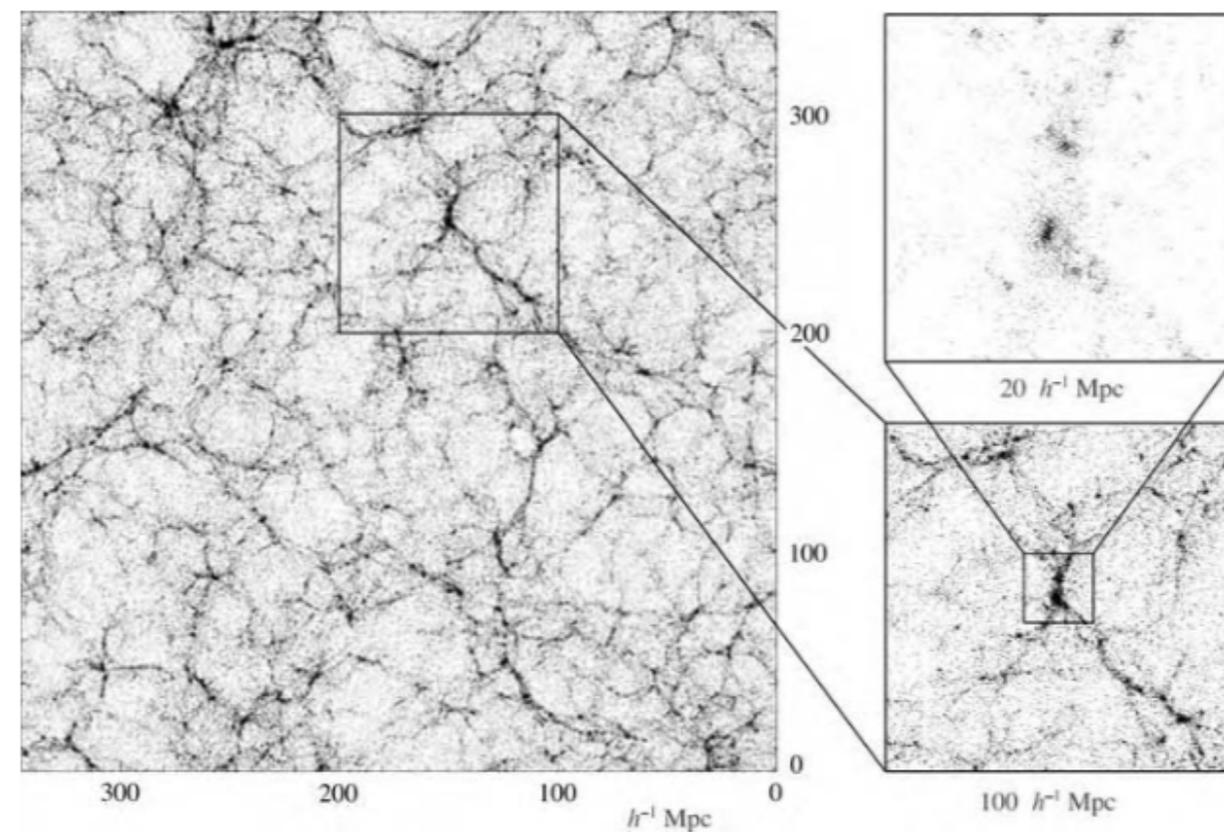


Fig. 8.16. A slice $20h^{-1}$ Mpc thick, through a gravitational N -body simulation with cold dark matter, viewed at the present day. Side frames show magnified views of dense clumps; galaxy groups would form in these 'dark halos' – D. Weinberg.

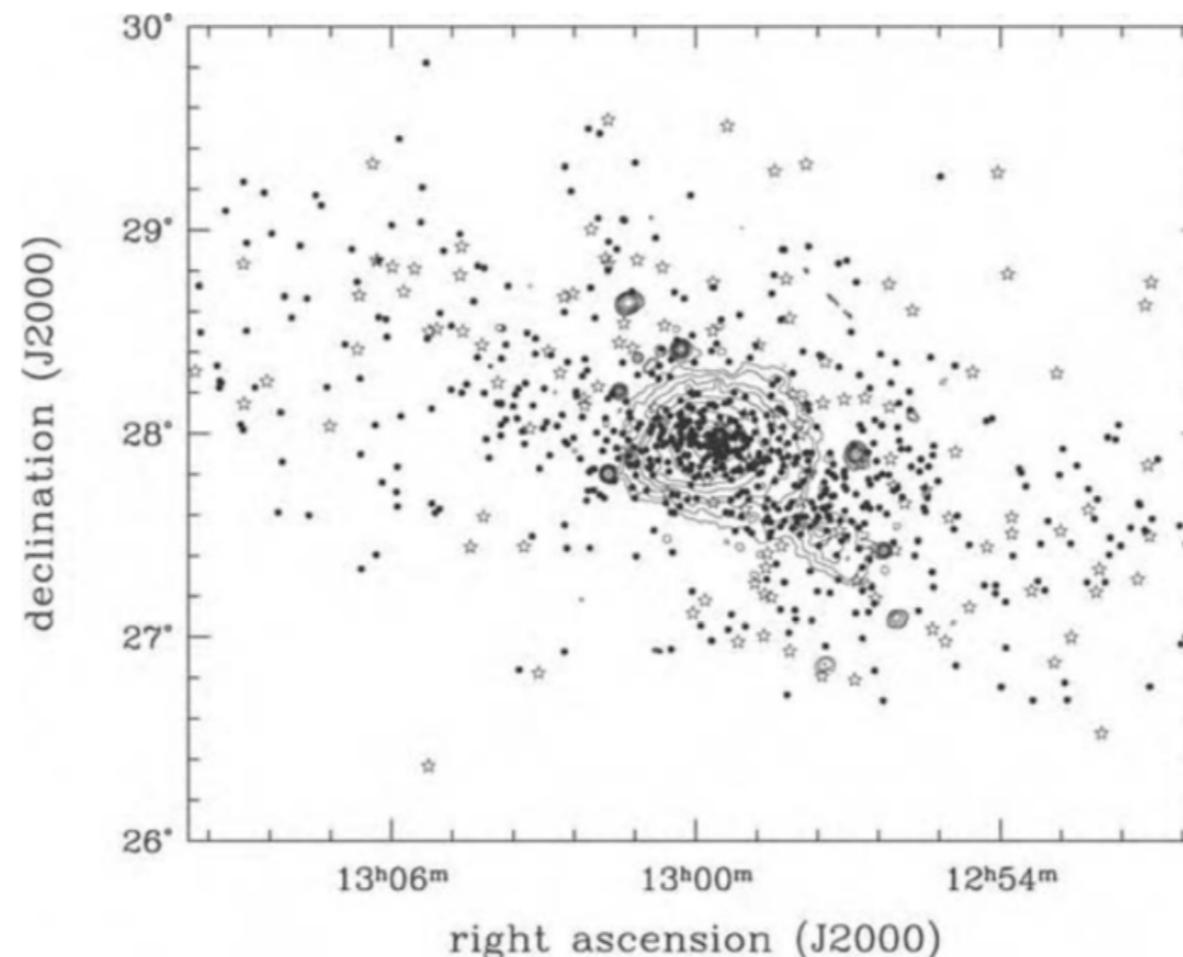


Fig. 7.10. The Coma cluster: solid dots show elliptical galaxies; open stars are spirals. Contours show the intensity of X-rays.

Relação densidade-morfologia

- Dressler (1980) mostrou que a fração de galáxias espirais e irregulares cai em ambientes mais densos

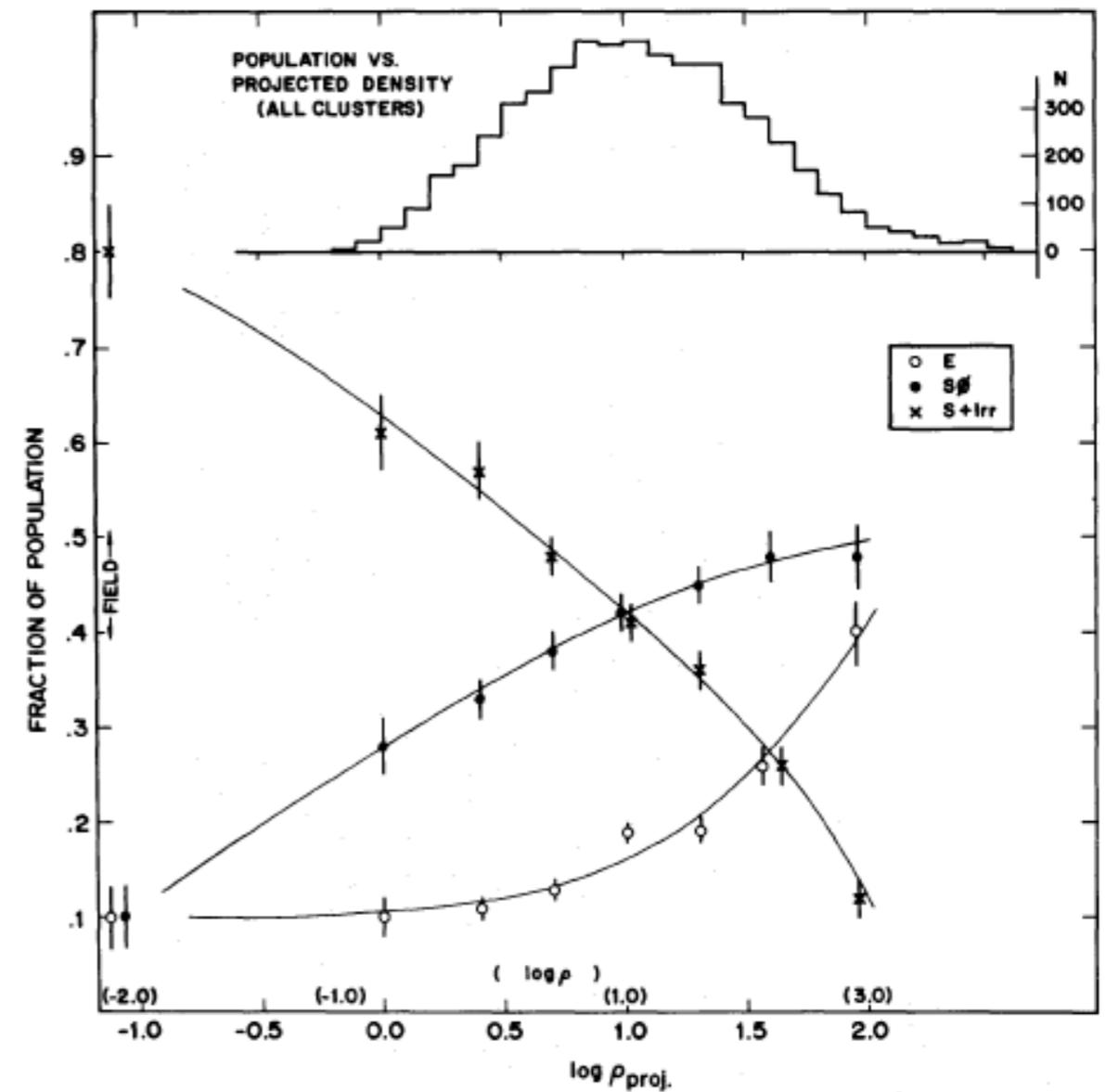
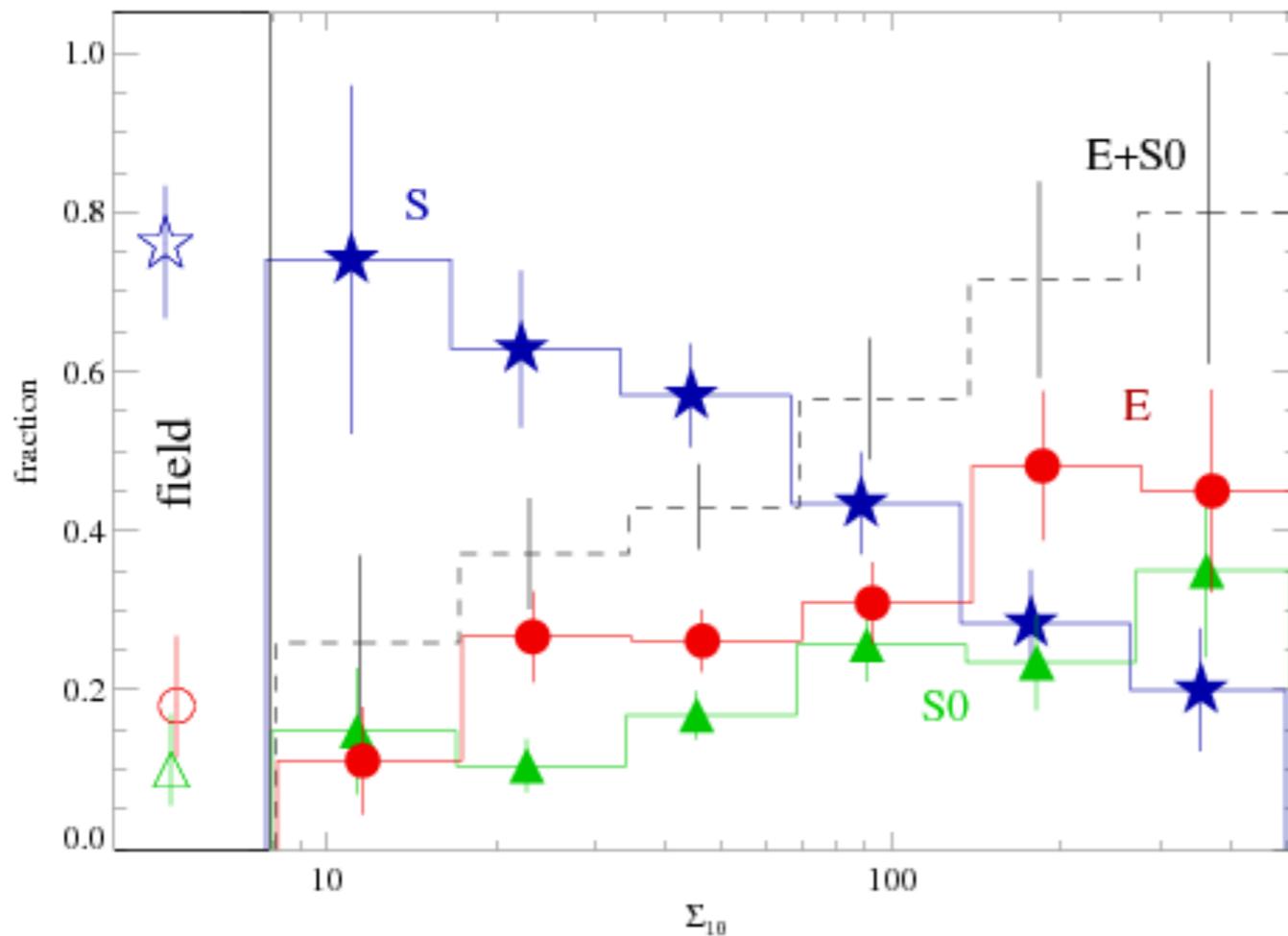
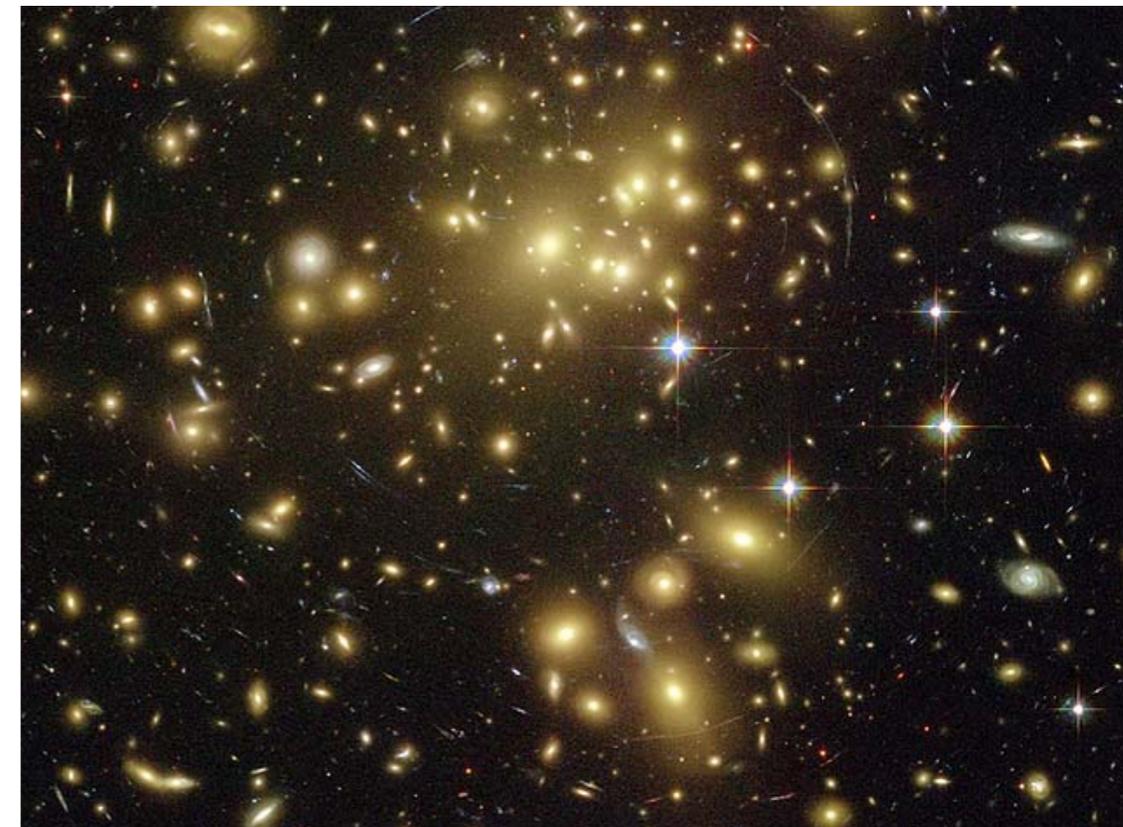
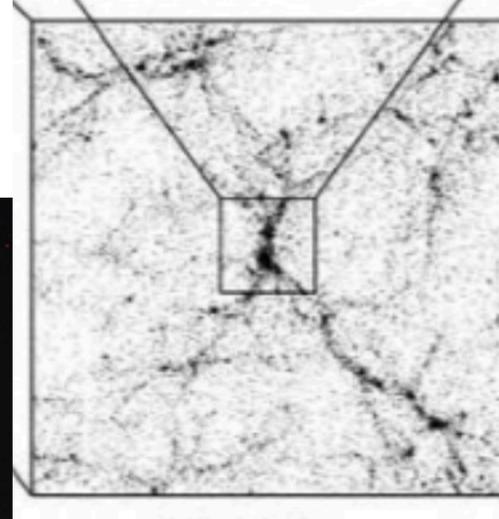


FIG. 4.—The fraction of E, S0, and S+I galaxies as a function of the log of the projected density, in galaxies Mpc^{-2} . The data shown are for all cluster galaxies in the sample and for the field. Also shown is an estimated scale of true space density in galaxies Mpc^{-3} . The upper histogram shows the number distribution of the galaxies over the bins of projected density.

Dressler (1980)

Grupos e Aglomerados

- São as maiores estruturas gravitacionalmente ligadas que surgiram no Universo até hoje.
- São estruturas que não expandem com o fluxo cosmológico
- 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
- No cenário hierárquico de formação, as estruturas menores se colapsaram primeiro, e eventualmente cresceram para as estruturas maiores
 - grupos -> aglomerados -> superaglomerados
- Portanto aglomerados são relativamente "jovens"



Halo de gás quente

$$\mathcal{M}(<r) = \frac{k_B}{\mu m_p} \frac{r^2}{G\rho(r)} \frac{d}{dr}(-\rho T).$$

(eq. 7.4 no livro-texto)

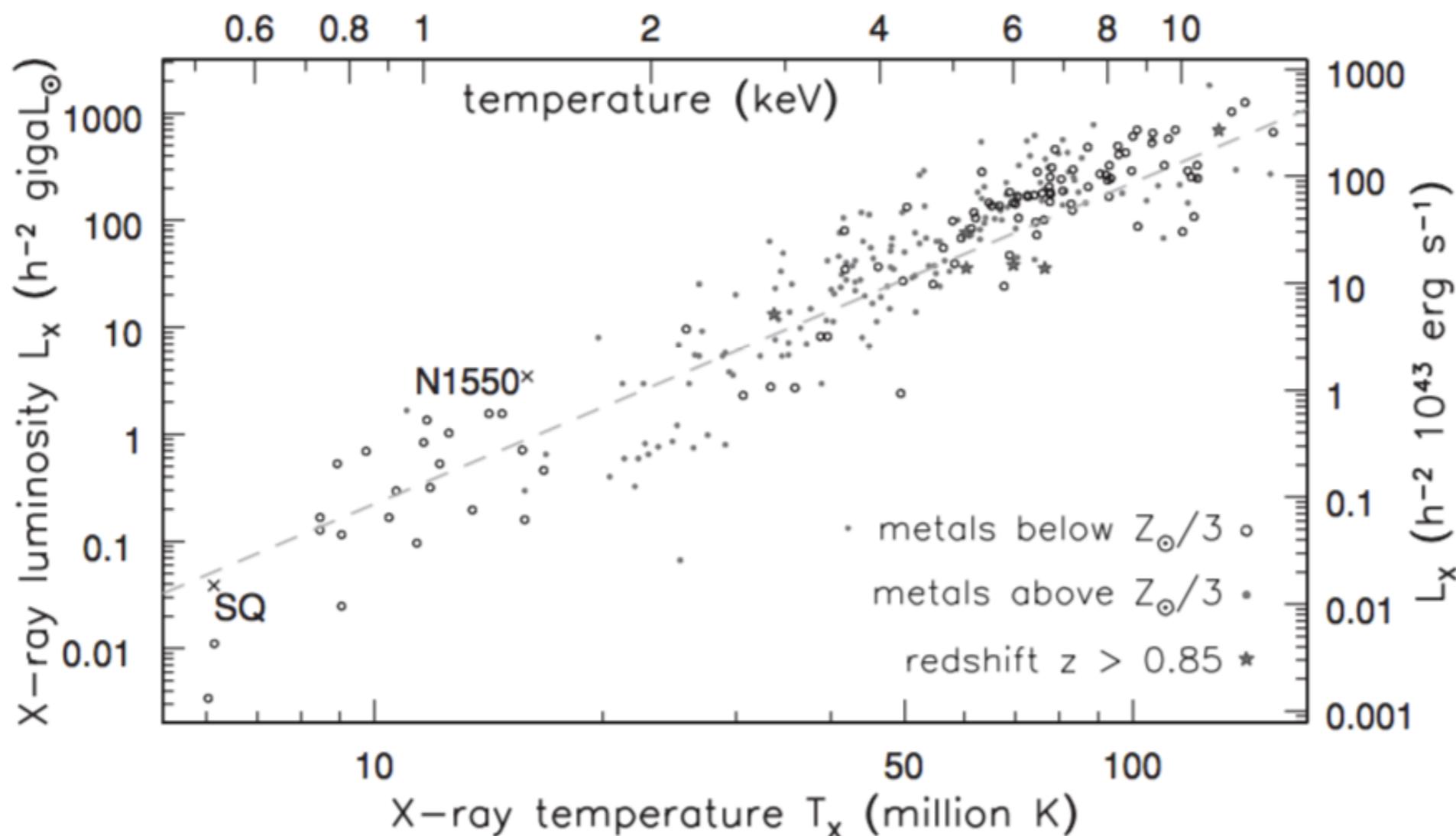


Fig. 7.12. The X-ray luminosity L_X of a galaxy cluster or group, in units of the Sun's bolometric luminosity, increases with the gas temperature T_X : the dashed line shows $L_X \propto T_X^3$. Stephan's Quintet and the NGC 1550 group follow the same trend. This relation has changed little since redshift $z \approx 1$. In most clusters with $T_X > 3 \times 10^7$ K, the gas has roughly one-third of the solar content of iron – D. Horner.

Meio intra-aglomerado: plasma em altas temperaturas, consiste principalmente de H e He ionizados.

Corresponde a maior componente de matéria bariônica de um aglomerado.

Plasma emite radiação principalmente por bremsstrahlung (desaceleração de partículas carregadas eletricamente) e linhas de emissão de elementos pesados (tb em raio-X).

Aglomerados

Grupos

Mais densos e ricos (pelo menos umas 50 galáxias luminosas)

$$L \gtrsim L_{\star} \sim 2 \times 10^{10} L_{\odot}$$

Massas até
 $\sim 10^{14} M_{\odot}$

Estão embebidos em um halo de gás denso e quente, com forte emissão em raios X

$$T \sim 10^7 - 10^8 \text{ K}$$

Apenas metade tem o halo de gás quente, mas o gás frio mais difuso pode conter até 90% da matéria bariônica do Universo

Rico em galáxias elípticas e S0

Ricos em galáxias espirais e irregulares

Interações entre galáxias em um aglomerado

Sparke & Gallagher “Galaxies in the Universe”, capítulo 7

Mo, van den Bosch & White “Galaxy Formation and Evolution”, cap. 12

Interações entre galáxias e evolução morfológica

- **Interações possíveis entre as galáxias dentro de um aglomerado**

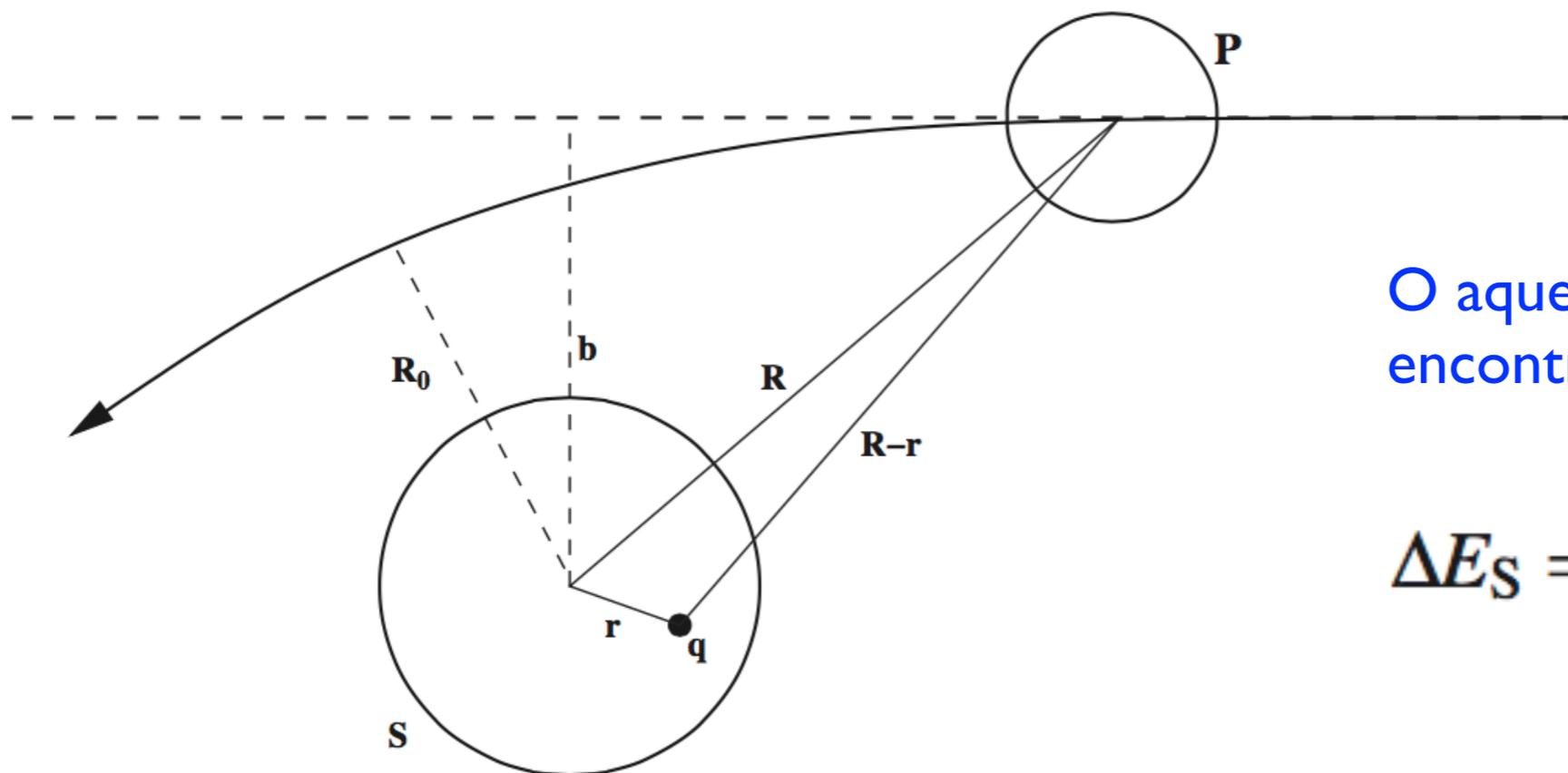
- Encontros de alta velocidade
- Perda de massa por efeito de maré (tidal stripping)
- Fricção dinâmica
- Mergers

- **Transformação morfológicas de galáxias em aglomerados**

- Assédio galáctico (? de galaxy harassment)
- Canibalismo galáctico
- Perda de massa por pressão de arraste (ram-pressure stripping)
- Estrangulação

Encontros de alta velocidade (high speed encounters)

- a velocidade de "encontro" (não há colisão) é muito maior do que a dispersão de velocidade interna do sistema perturbado
- tem um papel importante em galaxy clusters ($\sigma_{\text{cluster}} \sim 1000\text{km/s}$)
- o encontro "aquece" o sistema causando expansão e eventual perda de massa



O aquecimento de maré devido a um encontro entre P e S é dado por:

$$\Delta E_S = \frac{4}{3} G^2 M_S \left(\frac{M_P}{v_P} \right)^2 \frac{\langle r^2 \rangle}{b^4}.$$

Fig. 12.1. Schematic illustration of an encounter with impact parameter b between a system S and its perturber P.

Encontros de alta velocidade (high speed encounters)

- O encontro altera a energia cinética do sistema, enquanto que a potencial permanece constante
- Depois do aquecimento de maré, o sistema precisa "virializar" novamente até um novo equilíbrio ser encontrado
- A energia extra é transferida para energia potencial, que se torna menos negativa, i.e. o sistema expande, possivelmente associado a perda de massa
- encontros de alta velocidade podem "perturbar" um disco e induzir a formação de espirais ou barras (espirais grand-design geralmente tem satélites)

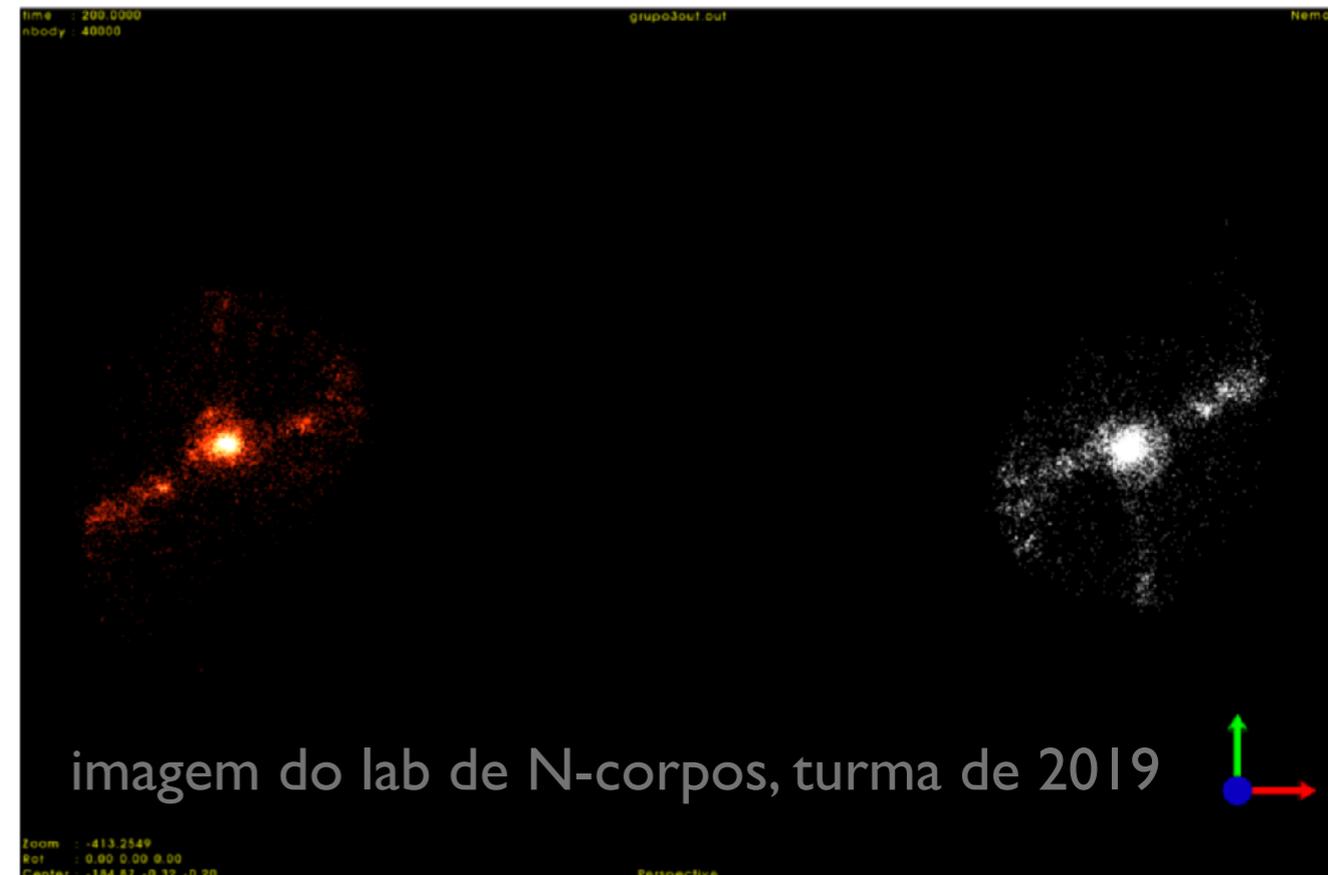


Figura 3. Formação de galáxias satélites.

Perda de massa por maré (tidal stripping)

- em um caso mais geral, um encontro sem colisão provoca perda de massa além do raio de maré (tidal radius)

$$r_t = (m/2M)^{1/3} R$$

- (onde **m** é massa de um satélite orbitando um poço de potencial **M** em uma órbita circular de raio **R**)
- Em casos gerais, se o satélite não está em uma órbita circular, o raio de maré não pode ser definido rigorosamente.
- **m** pode ter perda de massa uma vez que as partículas mais externas sofrem uma força de maré que excede a força gravitacional ligando-as a **M**
- sobre o destino do material arrancado, vamos considerar dois casos:
 1. uma galáxia satélite orbitando um sistema massivo
 2. a perda de massa que acompanha o merger de dois sistemas disco de massas comparáveis

O destino do material arrancada por força de maré

- Tidal streams: uma galáxia satélite orbitando um sistema massivo

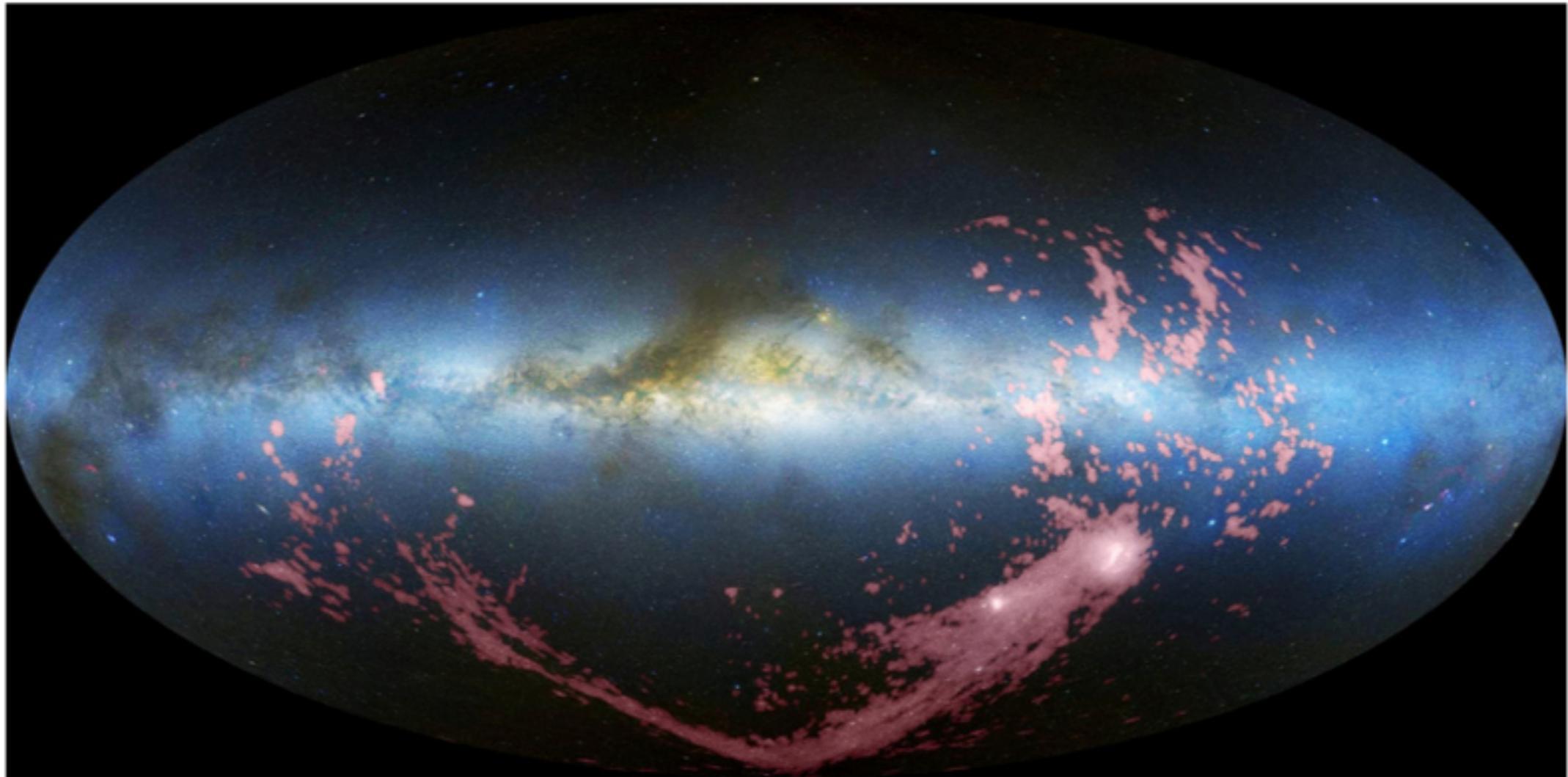
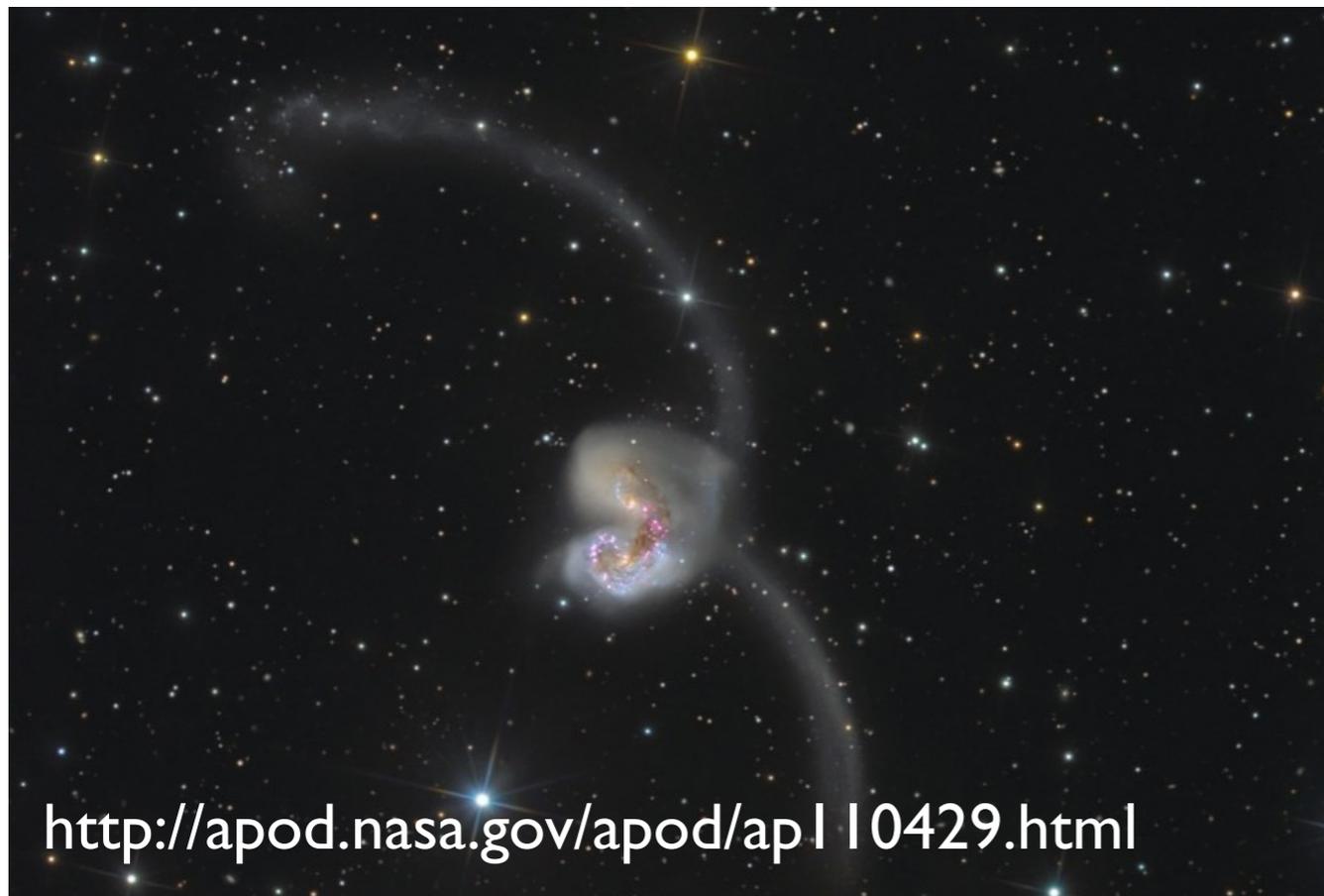


Figure 9. Magellanic Stream and Clouds in H I (red) with an optical all-sky image (blue, white, and brown; Mellinger 2009) in Aitoff projection with the direction to the Galactic center at the center.

Caudas de maré (Tidal Tails)

- Caudas são observados em mergers de galáxias disco
- As caudas são finas porque originaram-se de discos frios; mergers de sistemas dinamicamente quentes não produzem caudas
- As caudas carregam parte da energia e momento angular da órbita inicial, causando a fusão dos progenitores



- Mostrado pela primeira vez em Toomre & Toomre (1972)
- Simulações altamente simplificadas (ignora auto-gravidade e matéria escura), ainda assim as principais conclusões foram comprovadas por outras simulações mais realistas (vaca esférica que deu certo! :))

<http://apod.nasa.gov/apod/ap110429.html>

imagem do lab de N-corpos, turma de 2019

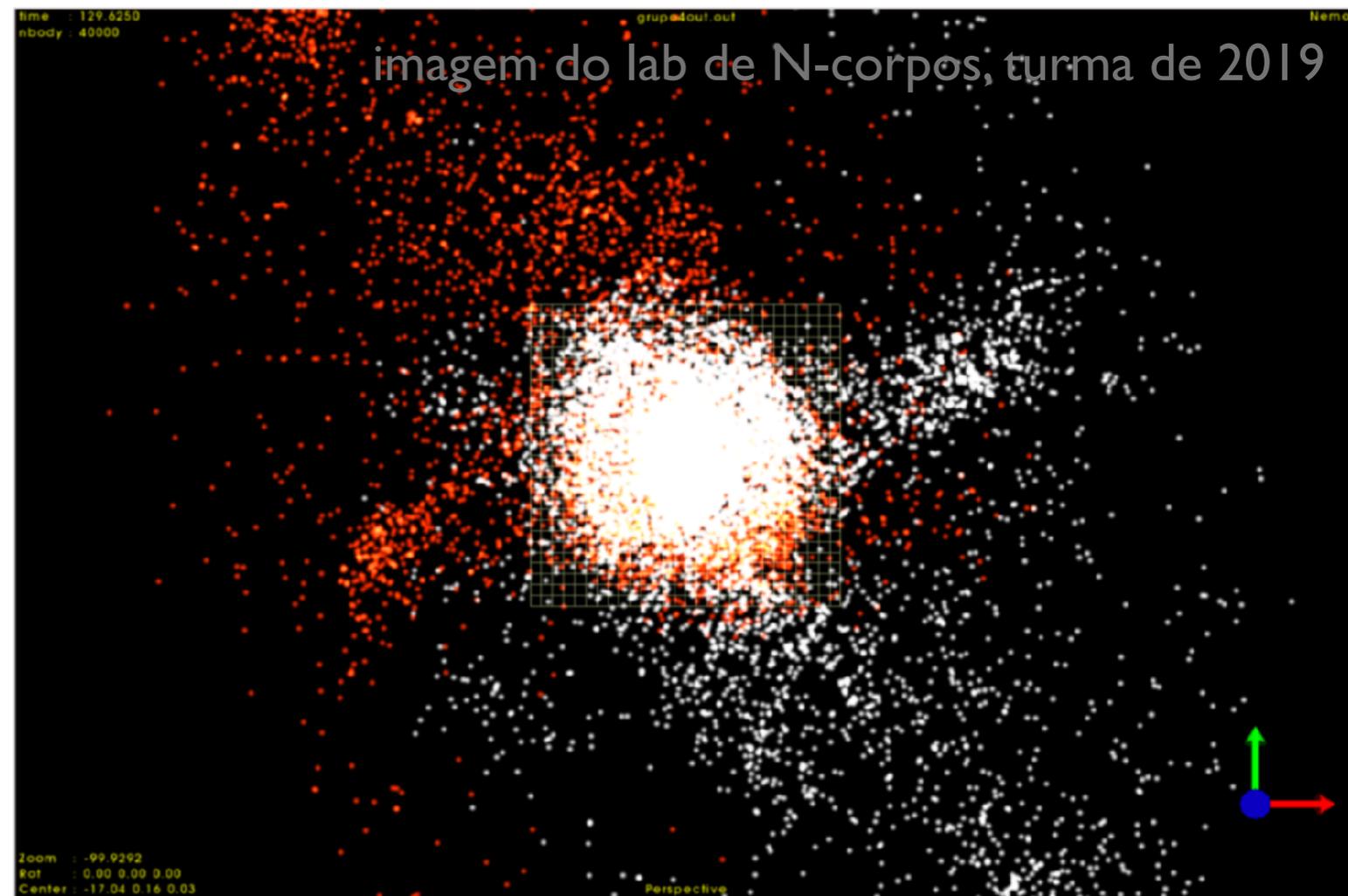
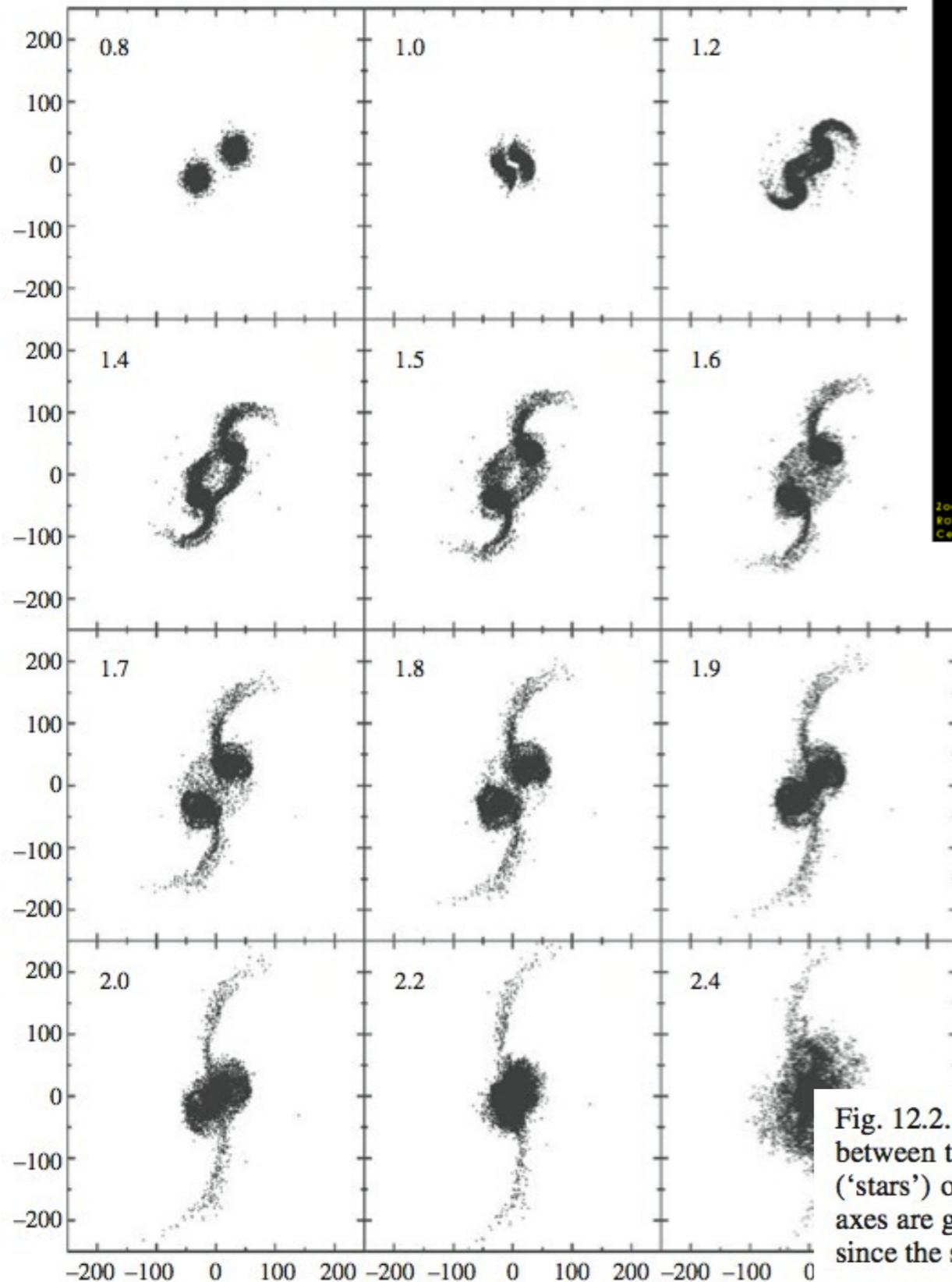


Figura 4. Formação de caudas de maré.

Fig. 12.2. Snapshots that show the time evolution of a numerical N -body simulation of a prograde merger between two disk galaxies that are embedded in dark matter halos. The snapshots show the disk particles ('stars') only, and clearly reveal the formation of two prominent tidal tails. The length units labeling the axes are given in h^{-1} kpc, and the numbers in the upper left corner of each panel indicate the elapsed time since the start of the simulation in units of $9.8 \times 10^8 h^{-1}$ yr. [Adapted from [Springel & White \(1999\)](#)]

Fricção dinâmica (Dynamical Friction)

- Quando um objeto de massa M se move dentro de um grande sistema não-colisional cujas partículas constituintes (field particles) tem massa $m \ll M$.
- Força de arrasto (drag force) transfere energia e momento de M para as partículas do campo
- Intuitivamente, pode ser entendido como o encontro de dois corpos faz com que eles troquem energia, de modo que o sistema evolua para o equilíbrio termodinâmico

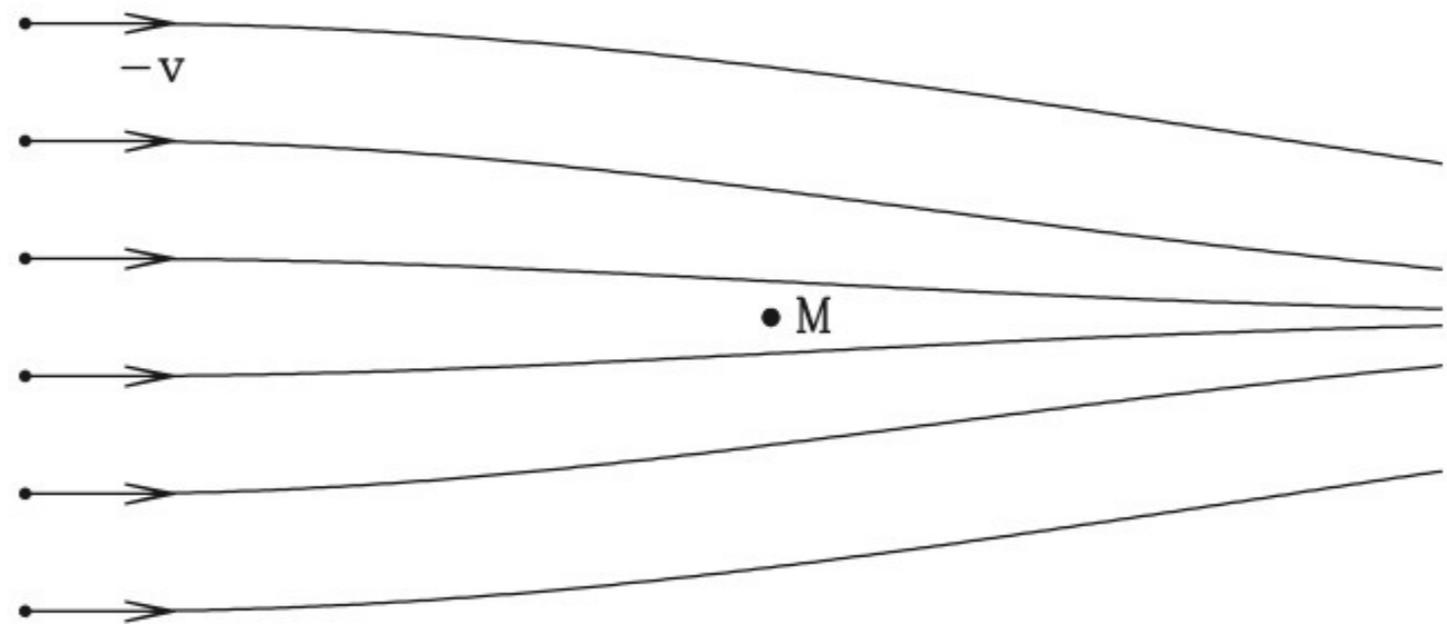


Fig. 12.3. As a massive object M moves through a sea of particles, the particles passing by are accelerated towards the object. As a result, the particle number density behind the object is higher than that in front of it, and the net effect is a drag force (dynamical friction) on the object.

Fricção dinâmica (Dynamical Friction)

- Alternativamente, pode ser entendido como se M perturbasse as partículas do campo causando uma "cauda" de maior densidade. A força gravitacional da cauda age então "freando" a massa M .

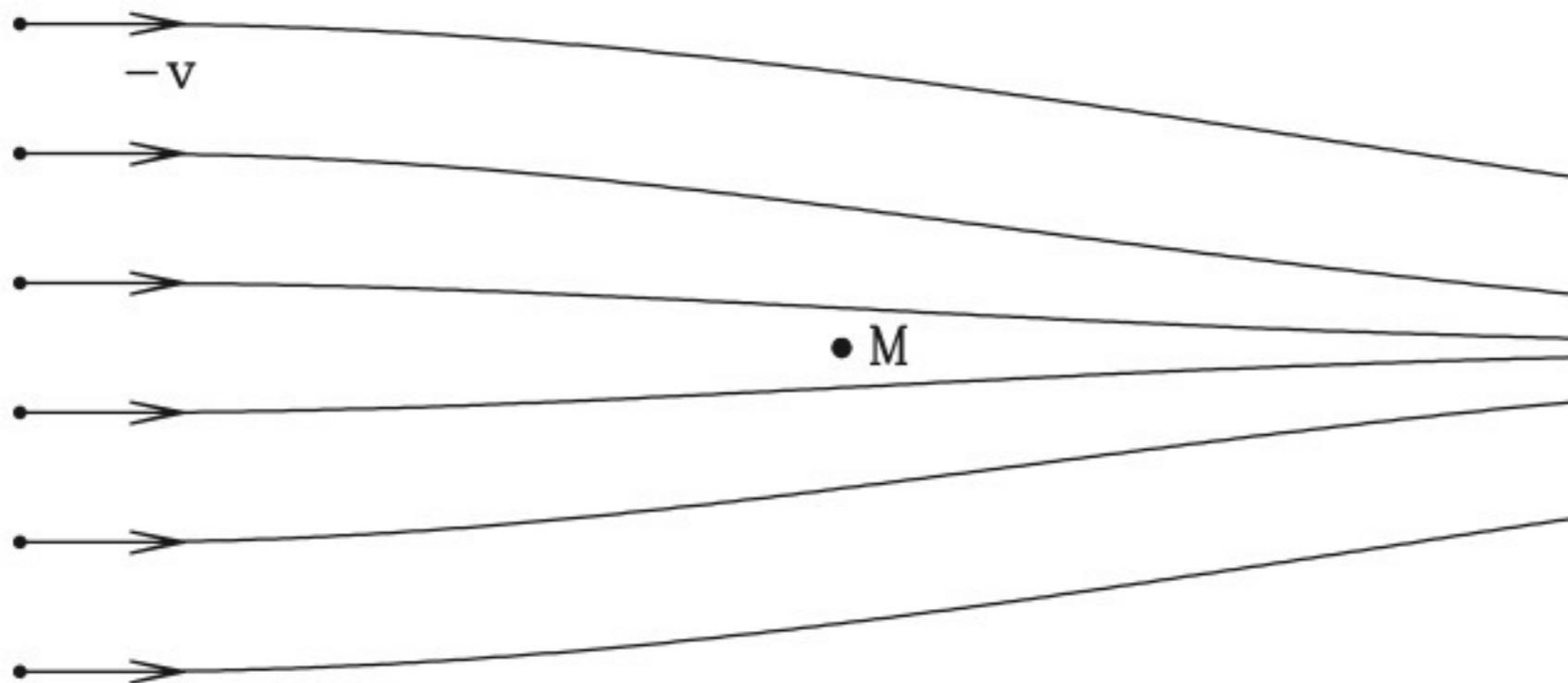


Fig. 12.3. As a massive object M moves through a sea of particles, the particles passing by are accelerated towards the object. As a result, the particle number density behind the object is higher than that in front of it, and the net effect is a drag force (dynamical friction) on the object.

Fricção dinâmica (Dynamical Friction)

- Fórmula de Chandrasekar (1943) para a fricção dinâmica

$$\begin{aligned}\mathbf{F}_{df} &= M_S \frac{d\mathbf{v}_S}{dt} = -16\pi^2 G^2 M_S^2 m \ln \Lambda \left[\int_0^{v_S} f(v_m) v_m^2 dv_m \right] \frac{\mathbf{v}_S}{v_S^3} \\ &= -4\pi \left(\frac{GM_S}{v_S} \right)^2 \ln \Lambda \rho(< v_S) \frac{\mathbf{v}_S}{v_S},\end{aligned}\tag{12.40}$$

- onde $\rho(< v_S)$ é a densidade de partículas do campo com velocidade menores que v_S
- Faz com que um objeto orbitando dentro de um sistema perca energia e momento angular: a órbita decai com o tempo (orbital decay), transportando-o ao centro do poço de potencial e causando segregação de massa.
- A fricção dinâmica acaba fazendo com que um sistema massivo (galáxia) dentro de um sistema hospedeiro (aglomerado) perca energia e momento angular para as "partículas" do aglomerado -> **Decaimento orbital**
- Causa **segregação de massa**

Quando a energia orbital é suficientemente baixa, um encontro próximo pode resultar em um merger.

Mergers

$$\hat{E} \equiv \frac{E_{\text{orb}}}{(1/2)\langle v^2 \rangle}$$

E_{orb} (the orbital energy per unit mass)

$$E_{\text{orb}} \sim \sigma^2$$

L (the orbital angular momentum per unit mass)

$$\hat{L} \equiv \frac{L}{\langle v^2 \rangle^{1/2} r_{\text{med}}}$$

$$\langle v^2 \rangle = aGM/r_{\text{med}}$$

=> internal mean-square velocity

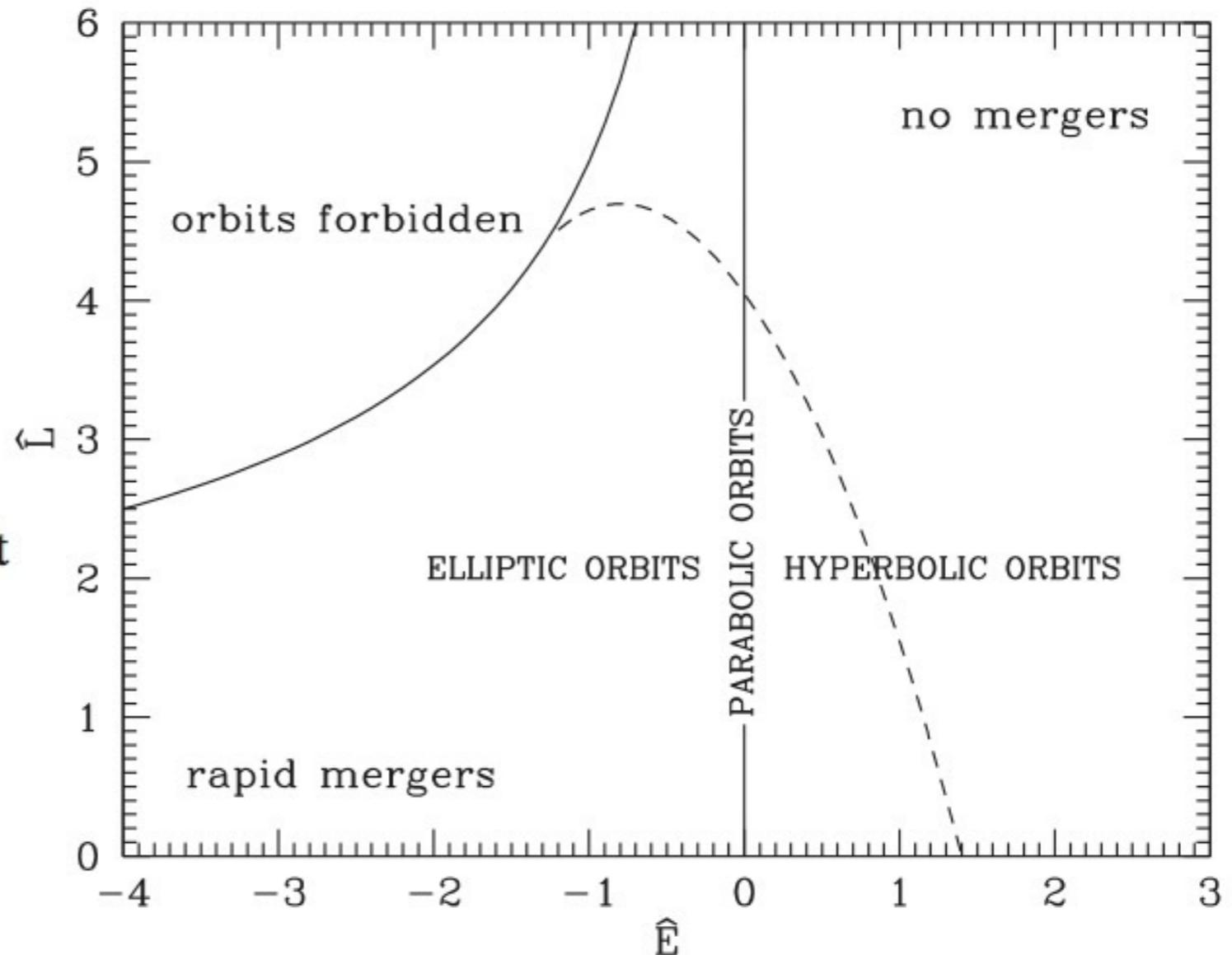


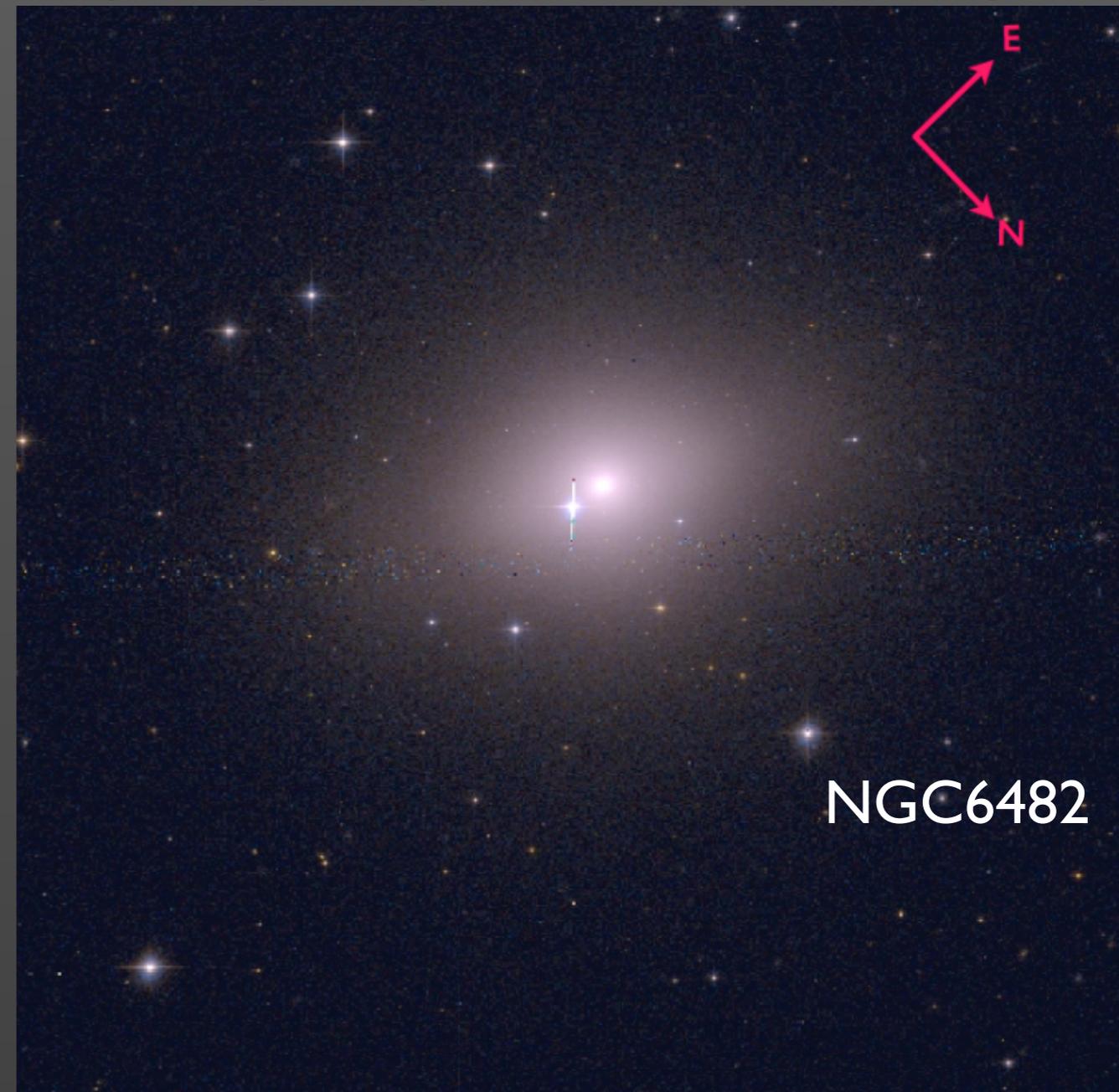
Fig. 12.4. Merging criteria for two spherical galaxies with the same mass. Orbits in the upper-left region are forbidden, because for a given orbital energy the largest possible angular momentum is that of a circular orbit (indicated by the solid curve). Encounters with orbital energy and/or angular momentum that are too high cannot lead to a merger. Mildly hyperbolic orbits can lead to a merger if the orbital angular momentum is sufficiently low. Mergers occur within a few galaxy dynamical times of first pericentric passage for encounters lying below and to the left of the dashed line. [After Binney & Tremaine (1987)]

Mergers

- Em princípio, qualquer sistema ligado vai terminar em um merger, por causa das interações de maré, mas nem sempre isso ocorre em uma escala de tempo comparada a escala de Hubble
- Mergers são efetivos quando
 - a energia orbital específica de um encontro típico é da ordem de $\hat{E} \lesssim 1$
 - então mergers são efetivos em sistemas com dispersão de velocidades menor ou comparável às velocidade internas das galáxias $E_{\text{orb}} \sim \sigma^2$
 - dispersão de velocidades do Grupo Local é da ordem de 60 km/s, enquanto que a dispersão de velocidades de um aglomerado rico como Coma é de 1000 km/s
 - ou seja, mergers são efetivos em grupos, mas raros em aglomerados ricos (exceção à galáxia central).

Grupos

- Grupos fósseis: remanescente de grupos, onde as galáxias luminosas fundiram em uma elíptica (NGC6482 é a mais perto de nós)



Mergers

- Para uma dada energia orbital e momento angular, mergers são mais efetivos em objetos mais extensos (valores maiores de r_{med}).
- Quando dois sistemas tem um encontro, os halos de matéria escura podem se fundir em um novo halo mesmo que as galáxias continuem orbitando uma a outra: as 2 galáxias orbitam um halo em comum até que fricção dinâmica e interações de maré tenham removido energia orbital suficiente para que elas se fundam.

Mergers

- Não é possível descrever mergers com descrições analíticas:
 - energia orbital é transferida para o produto do merger
 - parte da energia orbital pode ser perdida por matéria ejetada dos progenitores (tidal tails)
 - energia orbital pode ser transferida para a matéria escura por fricção dinâmica
 - devido às fortes perturbações de maré e troca de energia entre os diversos componentes, o sistema precisa encontrar um novo equilíbrio após o merger
 - são necessárias simulações numéricas...
- A primeira simulação 3D auto-consistente do encontro de galáxias foi apresentada em White (1978, 1979), desde então, diversas simulações de N-corpos mostram que o encontro de galáxias disco de massas semelhantes resultam em um sistema muito semelhante às galáxias elípticas (propriedades estruturais).

A estrutura do remanescente depende de 4 propriedades principais

1. **a razão de massa dos progenitores** $q \equiv M_1 / M_2$: se $q < \sim 4$ ($> \sim 4$) se fala de um *major* (*minor*) merger. Em *major* merger, a relaxação violenta tem um papel importante e o remanescente tem pouca semelhança com seus progenitores.
2. **morfologia dos progenitores (discos ou esferóides)**: discos são frágeis principalmente quando q é pequeno. Discos que acretam satélites podem sobreviver ao merger mas com espessamento do disco. Mergers de 2 discos tendem a criar caudas de maré.
3. **a fração de massa de gás nos progenitores**: ao contrário de estrelas e matéria escura, gás responde a forças de pressão e pode perder energia por *radiative cooling* e desenvolver ondas de choque; mergers entre sistemas ricos em gás (*wet mergers*) podem ter um resultado bastante diferente de mergers entre sistemas pobres em gás (*dry mergers*) (dica: tem relação com o *Gas-Stellar continuum* do artigo do Bender)
4. **propriedades orbitais**: a energia orbital e momento angular dos progenitores determinam se o merger irá ocorrer e também tem impacto no resultado do merger, por exemplo, a orientação relativa entre os spins dos progenitores é um fator importante para determinar o surgimento de tidal tails.

T = 180 Myr

Gas



Transformações morfológicas de galáxias em um aglomerado

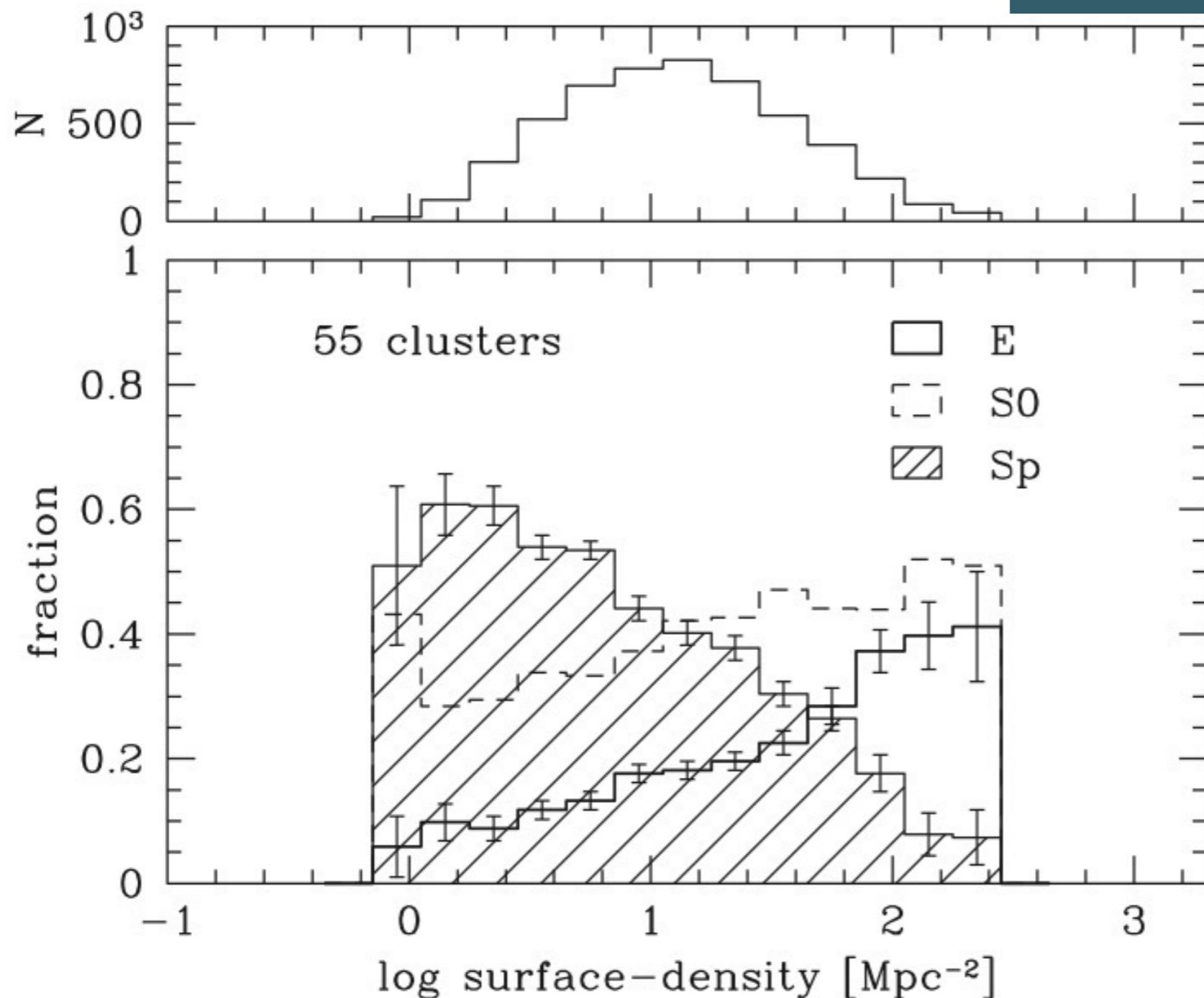
Mo, van den Bosch & White “Galaxy Formation and Evolution”, cap. 12.5

Interações entre galáxias e evolução morfológica

- **Interações possíveis entre as galáxias dentro de um aglomerado**
 - Encontros de alta velocidade
 - Perda de massa por efeito de maré (tidal stripping)
 - Fricção dinâmica
 - Mergers
- **Transformação morfológicas de galáxias em aglomerados**
 - Assédio galáctico (? de galaxy harassment)
 - Canibalismo galáctico
 - Perda de massa por pressão de arraste (ram-pressure stripping)
 - Estrangulação

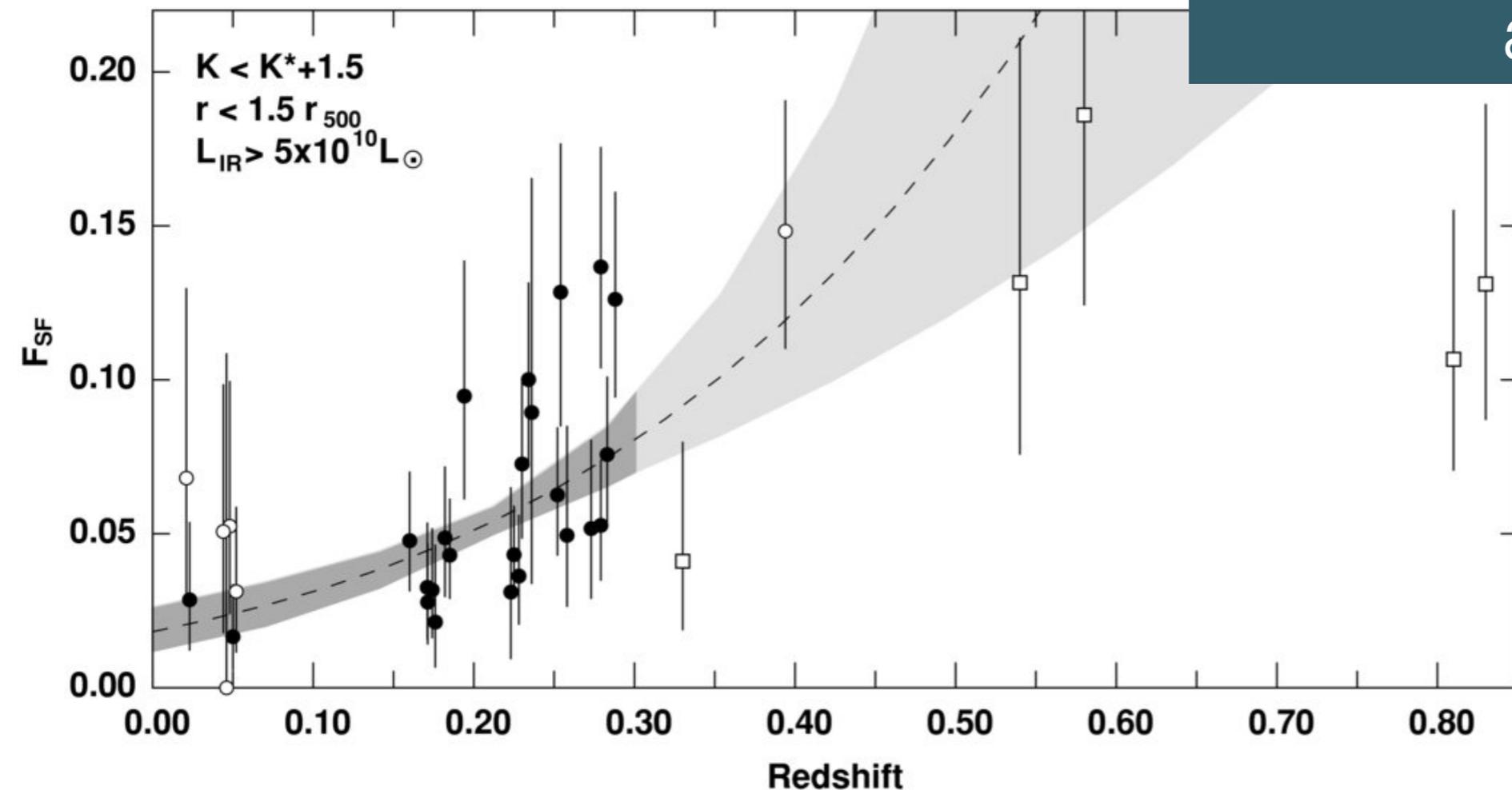
Relação Morfologia - Densidade

Evidências observacionais
da transformação de
galáxias pelo meio
ambiente



O Efeito Butcher-Oemler

Evidências observacionais
da transformação de
galáxias pelo meio
ambiente



a parte central dos
aglomerados de galáxias
em redshifts
intermediários ($z \sim 0.3$)
tem uma maior fração
de galáxias azuis

Figure 2. MIR BO effect. The estimated fraction of $M_K \leq M^*_{K+1.5}$ cluster members within $1.5r_{500}$ having $L_{\text{IR}} > 5 \times 10^{10} L_{\odot}$. The dashed line indicates the best-fitting evolutionary fit of the form $f_{\text{SF}} = f_0(1+z)^n$ to the $z < 0.3$ clusters, and the shaded region indicates the 1σ confidence region to the fit, with the lighter colors showing the extrapolation of the fit beyond $z = 0.3$. Solid circles indicate clusters with $L_X > 3 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$, while open circles indicate less X-ray luminous clusters. The open squares indicate the values of f_{SF} taken from the Saintonge et al. (2008) $z > 0.3$ sample.

[http://iopscience.iop.org/
article/10.1088/0004-637X/
704/1/126](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/704/1/126)

Transformação de galáxias em aglomerados

- Ambientes densos contêm uma maior fração de galáxias classificadas como early-type, são na média mais vermelhas, com menos gás, taxas de formação estelar mais baixas
- isso sugere algum tipo de transformação late -> early type; star forming -> passive quando a galáxia entra ou se torna parte de um ambiente mais denso
- galáxias em aglomerados podem ser afetadas pelo ambiente de três modos:
 - interações de maré com outras galáxias do aglomerados e com o poço de potencial do aglomerado (encontros de alta velocidade, perda de massa por efeitos de maré)
 - fricção dinâmica, que provoca um lento "cair" da galáxia ao centro do aglomerado
 - interações com o meio intracluster (ICM) (perda de massa por pressão de arrasto)

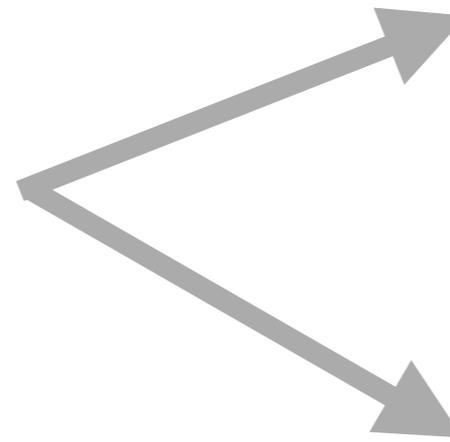
Assédio Galáctico (Galaxy Harassment)

- a velocidade típica de uma galáxia em um aglomerado é da ordem da dispersão de velocidade do aglomerado, portanto muito maior do que a dispersão de velocidade interna da galáxia
- isso caracteriza que a maioria dos encontros é do tipo "*high speed encounter*"
- a galáxia é "aquecida" -> expande -> se torna menos ligada gravitacionalmente -> mais vulnerável a perda de massa em outros encontros e por efeitos de maré
- assédio galáctico é o efeito cumulativo de vários encontros de alto velocidade
- não altera o perfil $r^{1/4}$ de brilho superficial de galáxias elípticas (Aguilar & White 1986)
- discos podem ser quase totalmente destruídos em 1 ou 2 passagens pelo aglomerado (Farouki & Shapiro 1981), principalmente espirais Sc-Sd (Moore et al. 1998).

Assédio Galáctico (Galaxy Harassment)

Efeito cumulativo de diversos encontros de alta velocidade

- Discos remanescentes são aquecidos, e podem se transformar em uma componente esferoidal parecida com dwarf ellipticals.
- Combinado com perda de massa por pressão de arrasto, potencialmente transforma Sc-Sd em S0



<http://annesastronomynews.com/photo-gallery-ii/galaxies-clusters/the-spindle-galaxy-ngc-5866-m102/>

Assédio Galáctico (Galaxy Harassment)

- Consistente com o efeito Butcher & Oemler (1978) (aglomerados em $z \sim 0.3$ contém maiores frações de galáxias azuis do que aglomerados em $z \sim 0$)
- Inconsistente com a observação de que a maioria das anãs elípticas tem rotação baixa ou nula (simulações prevêm que os esferóides remanescentes manteriam alta rotação)
- tem pouco impacto morfológico em espirais mais compactas como Sa-Sb (mas podem causar instabilidades e aquecer os discos).

Perda de massa por pressão de arrasto (Ram-Pressure Stripping)

- Pressão exercida sobre um corpo que se move dentro de um fluido, causando uma força de arrasto $P = \rho v^2$
- no caso de galáxias, o fluido é o meio intracluster (gás quente)
- se a pressão exercida pelo meio intra-aglomerado for maior do que a força gravitacional que mantém o meio inter-estelar preso ao disco, a galáxia irá perder (parte) do seu gás
- possivelmente interrompe a formação estelar
- pressão de arrasto é invocado para explicar porque galáxias em aglomerados revelam um *deficit* de galáxias ricas em gás com formação estelar recente

Perda de massa por pressão de arrasto (Ram-Pressure Stripping)

- pode transformar algumas espirais em lenticulares



- Mas:
 - simulações indicam que nem todo o gás pode ser retirado por esse processo
 - há grandes evidências observacionais de que a perda de massa é efetiva apenas nas regiões mais externas das galáxias
 - o gás remanescente pode ser comprimido, de modo a aumentar a formação estelar!

Estrangulação (Strangulation)

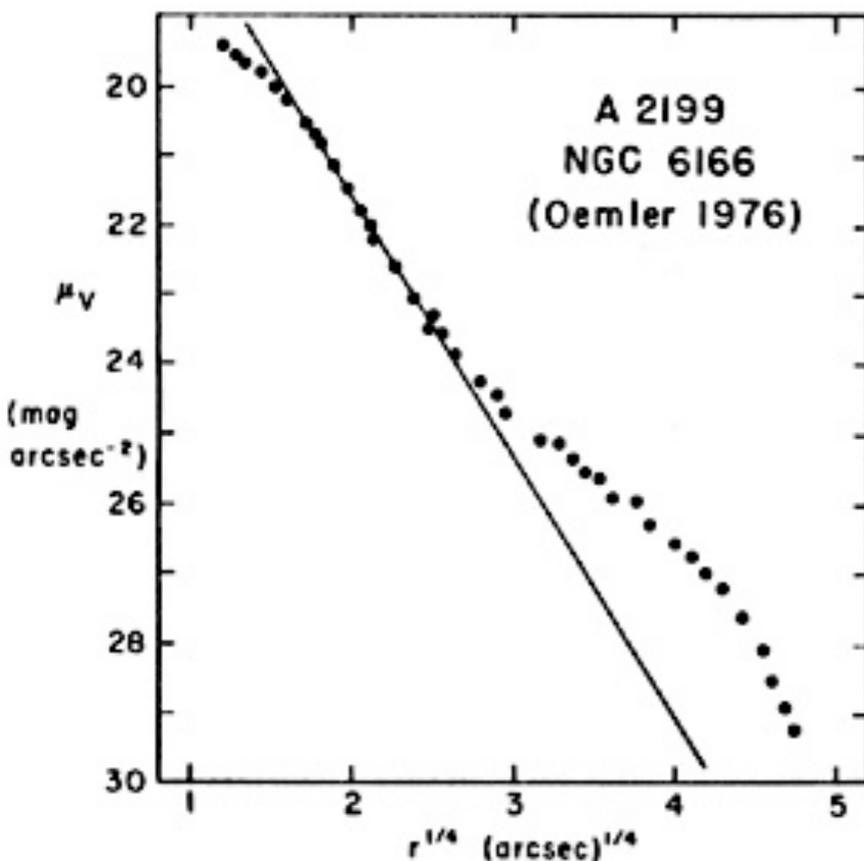
- Tanto por efeitos de maré quanto pressão de arrasto, espera-se que a maior parte do gás seja retirado das galáxias quando estas são acretadas em ambientes densos
- Isso causa um decline gradual da formação estelar conforme o “combustível” acaba, o que é conhecido por “estrangulação”.
- Consistente com as evidências de que as taxas de formação estelar em galáxias do campo são várias vezes maiores do que em galáxias semelhantes em aglomerados.
- **A maioria dos modelos de evolução de galáxias de hoje incluem a estrangulação que, em combinação com mergers, consegue reproduzir a maioria das relações entre taxa de formação estelar e morfologia com massa estelar e ambiente.**
- No entanto, algum *fine-tuning* nas prescrições ainda é necessária para reproduzir as cores observadas (over-quenching; Kimm et al. 2009; Font et al. 2008; McCarthy et al. 2008)

Canibalismo galáctico (Galactic Cannibalism)

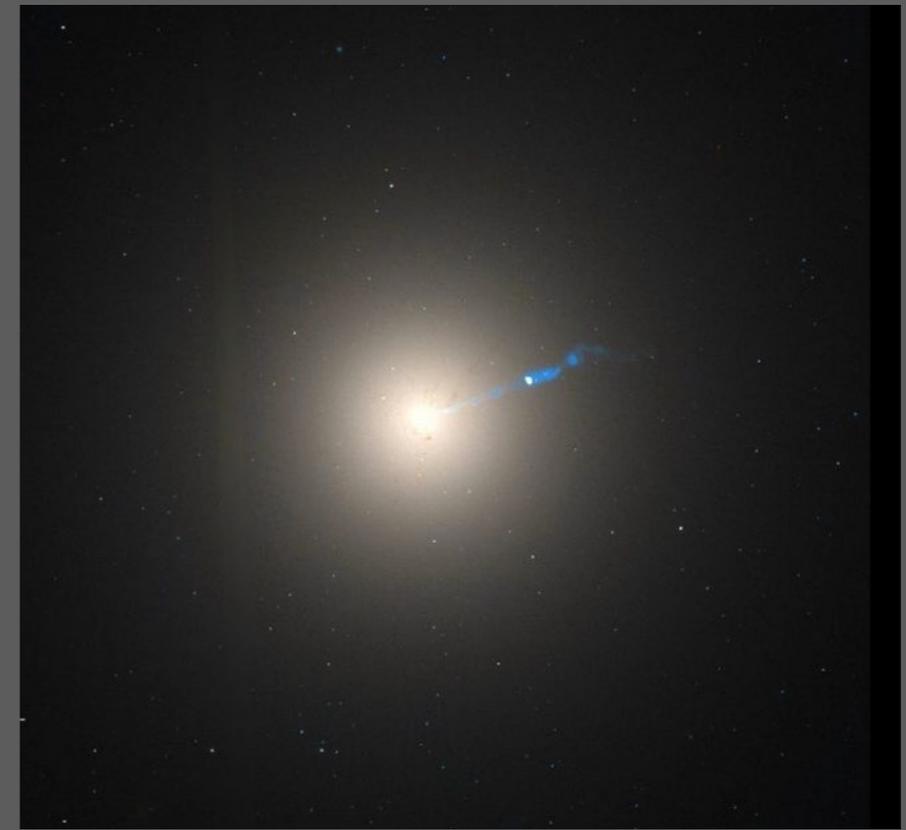
- Em aglomerados a taxa de mergers é baixa devido às altas velocidades dos encontros
- Uma importante exceção refere-se a galáxia central do aglomerado
- devido a fricção dinâmica, as galáxias perdem energia e momento e espiralam para o centro do potencial
- canibalismo galáctico é o nome dado ao processo no qual a galáxia central do aglomerado acreta satélites que chegam ao centro do potencial. Efeitos:
 - crescimento de massa da galáxia central
 - depleção de galáxias satélites massivas, para as quais o tempo de fricção dinâmico é menor, aumentando a diferença de magnitude entre a galáxia mais brilhante e a segunda mais brilhante ΔM_{12} (pode ser usado como medida de idade dos aglomerados, os mais velhos tem gaps de magnitude maiores).

Galáxias cD

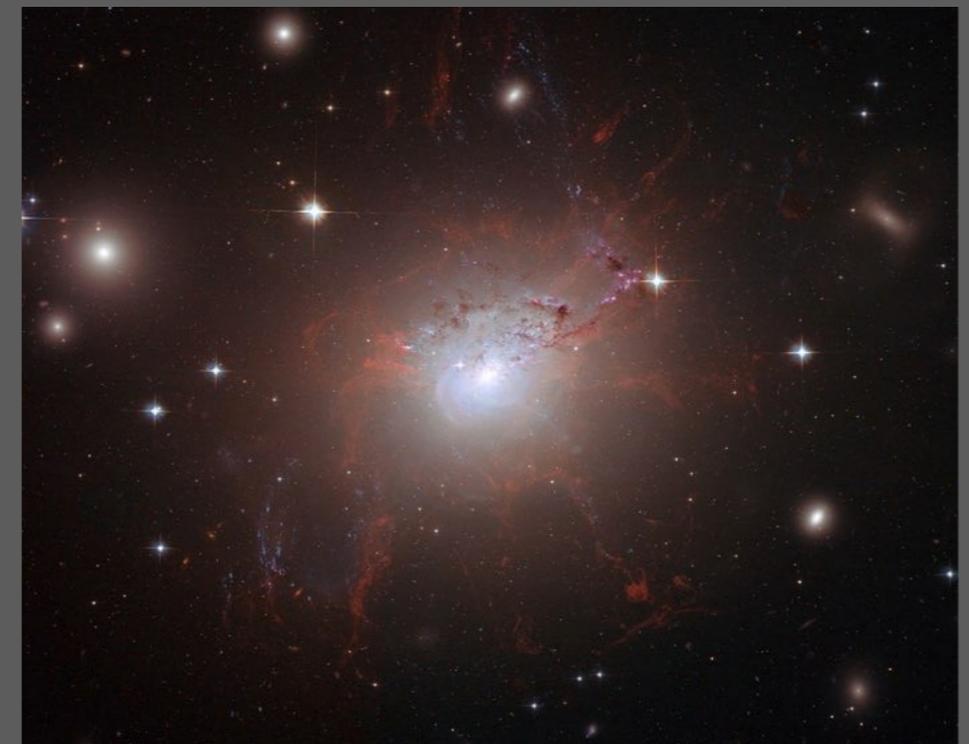
- galáxias elípticas gigantes com halo estendido, e frequentemente com vários cores (cD de classificação de Yerkes = supergigante difusa)
- Contribui sozinha para 1 - 7% da massa bariônica do aglomerado



Brightness profile of the cD galaxy NGC 6166. The straight line is the adopted $r^{1/4}$ -law fit. The outermost measured point is at a radius of 460 kpc.



M87: Galáxia central do aglomerado de Virgo



NGC1275: Perseus A

Formação de anãs elípticas

- É tentador imaginar que o cenário de formação é o mesmo de elípticas maiores, apenas com progenitores de menores massas.
- mas a previsão deste cenário é de que as dE deveriam ser mais comuns em halos de baixa massa, ser menos concentradas do que elípticas maiores, e ter rotação. Todas essas previsões estão em amplo desacordo com os dados observacionais (13.6.2 em MvdBW)



MI 10, dE

Cenários de formação

1. perda de gás por pressão de arrasto transforma dlrr em dE/dSph: mas não explica a falta de rotação desses sistemas e a frequência de aglomerados globulares.
2. assédio galáctico transforma S em dE/dSph: as progenitores poderiam ser as galáxias Butcher-Oemler; mas apresenta os mesmos problemas que o cenário 1.
3. perda de massa por efeito de maré transforma E em dE/dSph: mas isso implicaria que as metalicidade e M_{BH} seriam as mesmas das E, o que está em claro desacordo com as observações.



Fornax, dSph

Não existe um modelo de formação único que explique todas as propriedades. É possível que múltiplos canais de formação sejam necessários para explicar a origem de dE e dSph. Como essas galáxias se formaram é ainda um problema sem solução (Mo, edição de 2010).