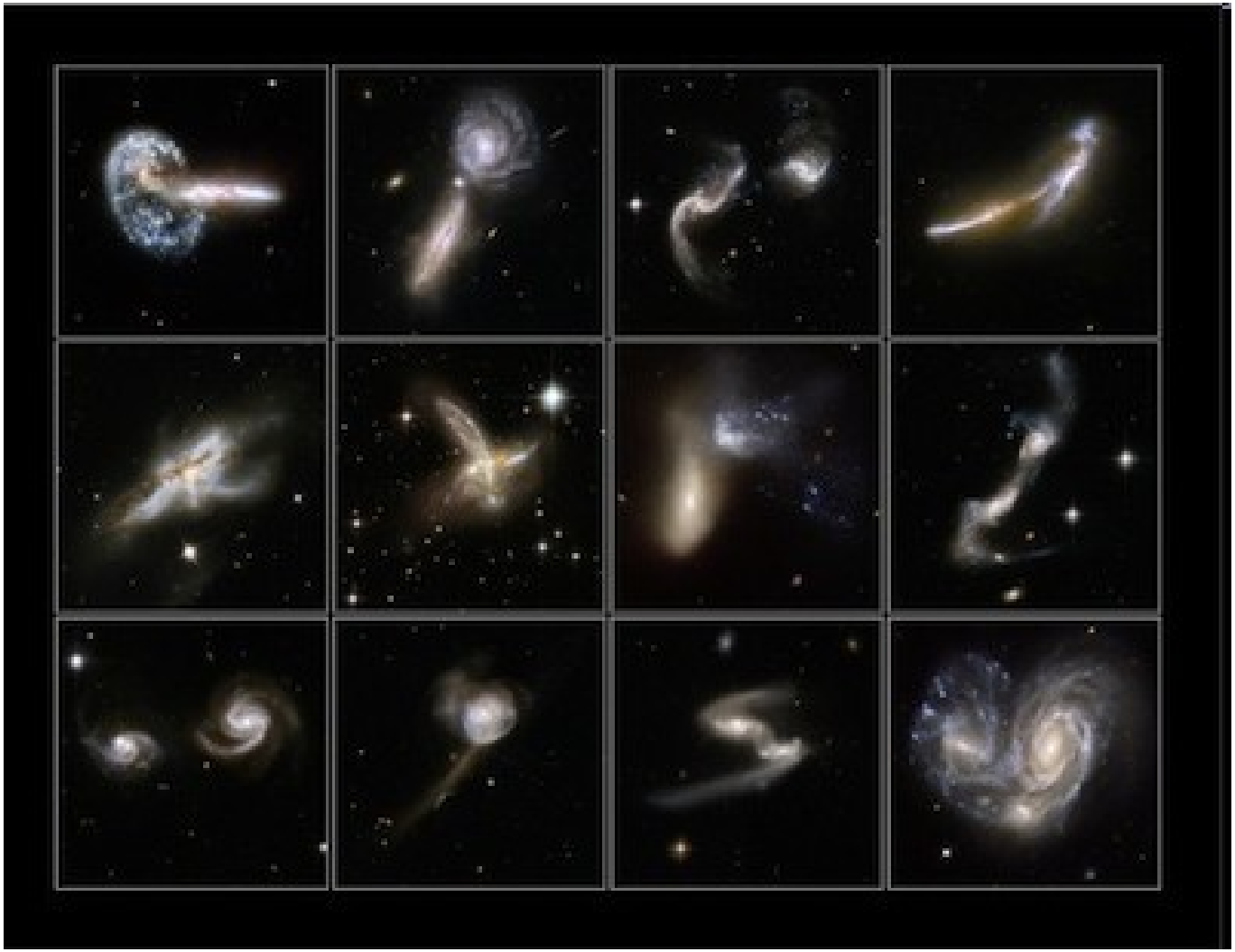
17. Interações de galáxias



Interações de galáxias

- As galáxias, durante sua evolução, estão sujeitas aos efeitos do ambiente em que se encontram.
- estes efeitos estão por toda parte e incluem:

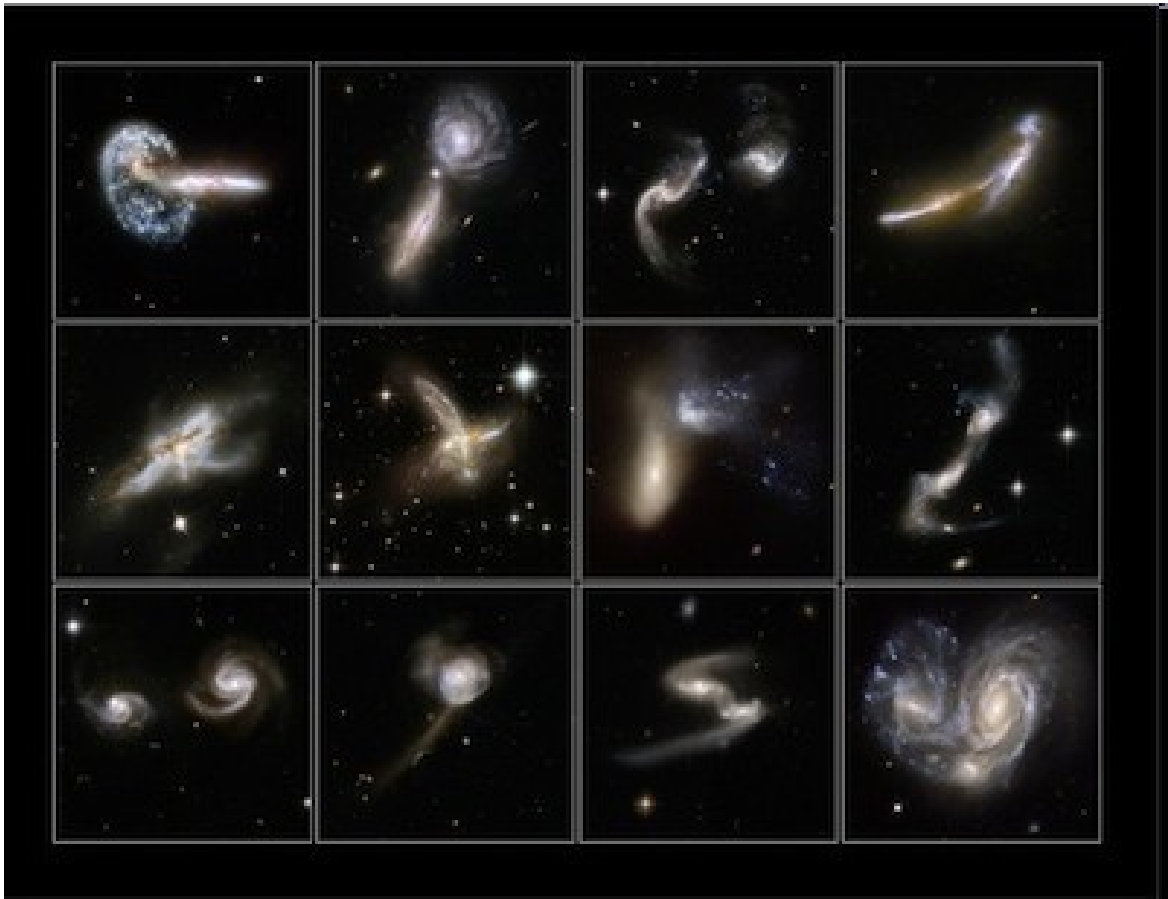
  -interações de maré

  -fricção dinâmica

  -fusões

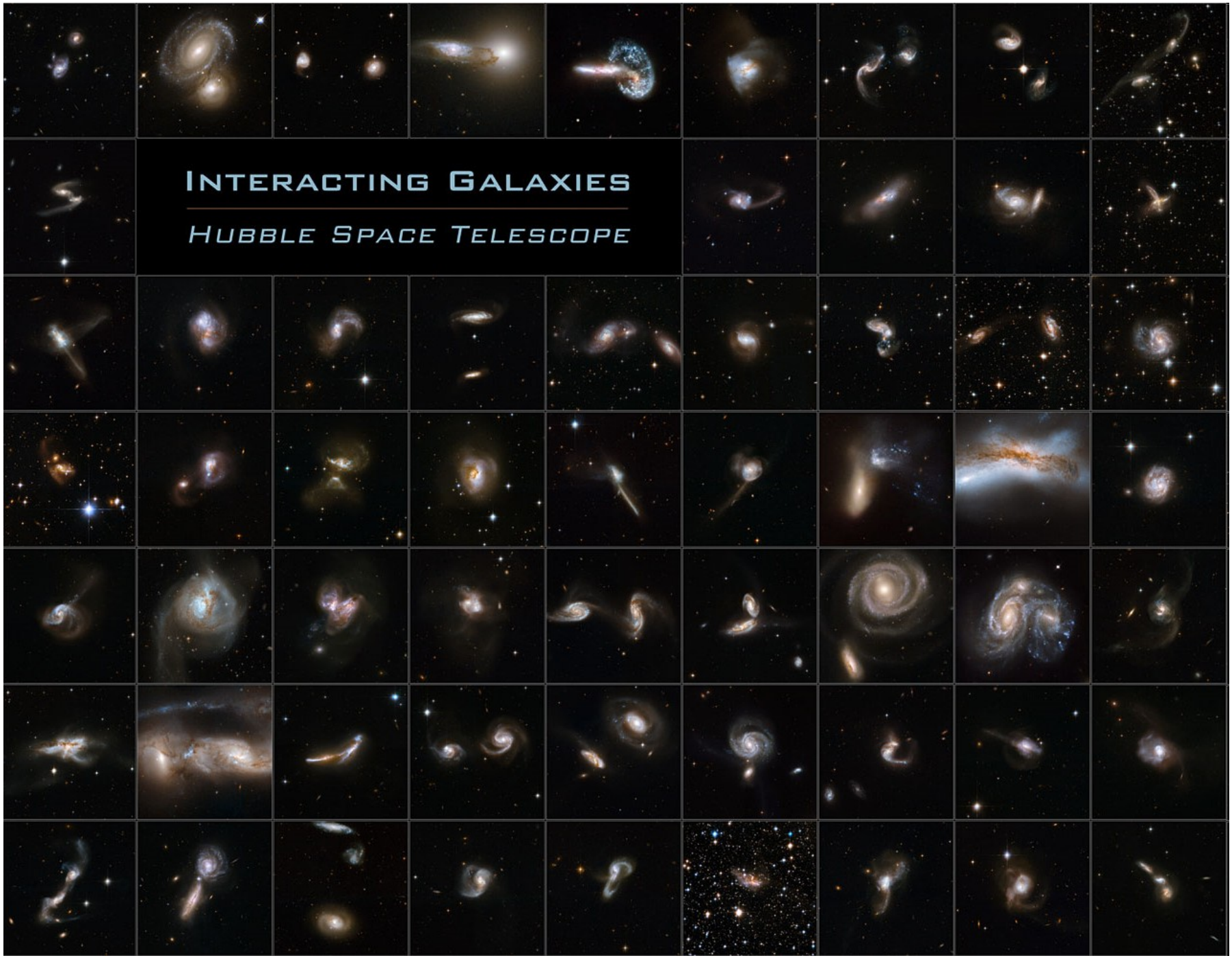
  -pressão de arraste

  -...



A2151 (Hercules) – F, BM III

note o grande número de galáxias em interação


Interacting Galaxies
Hubble Space Telescope

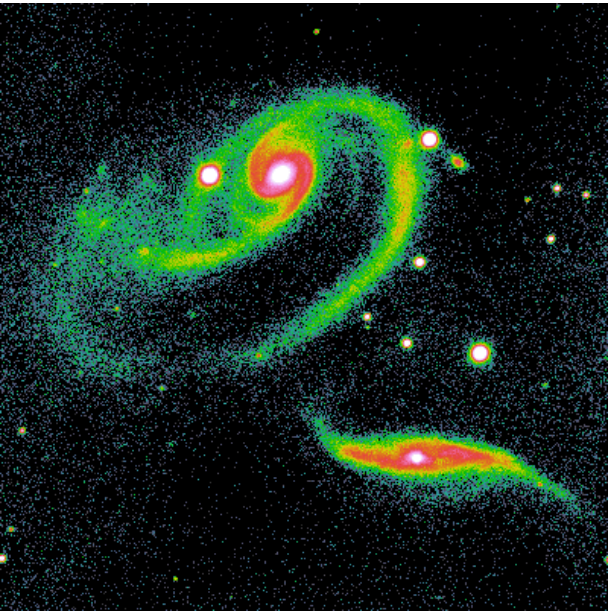
Interações de maré

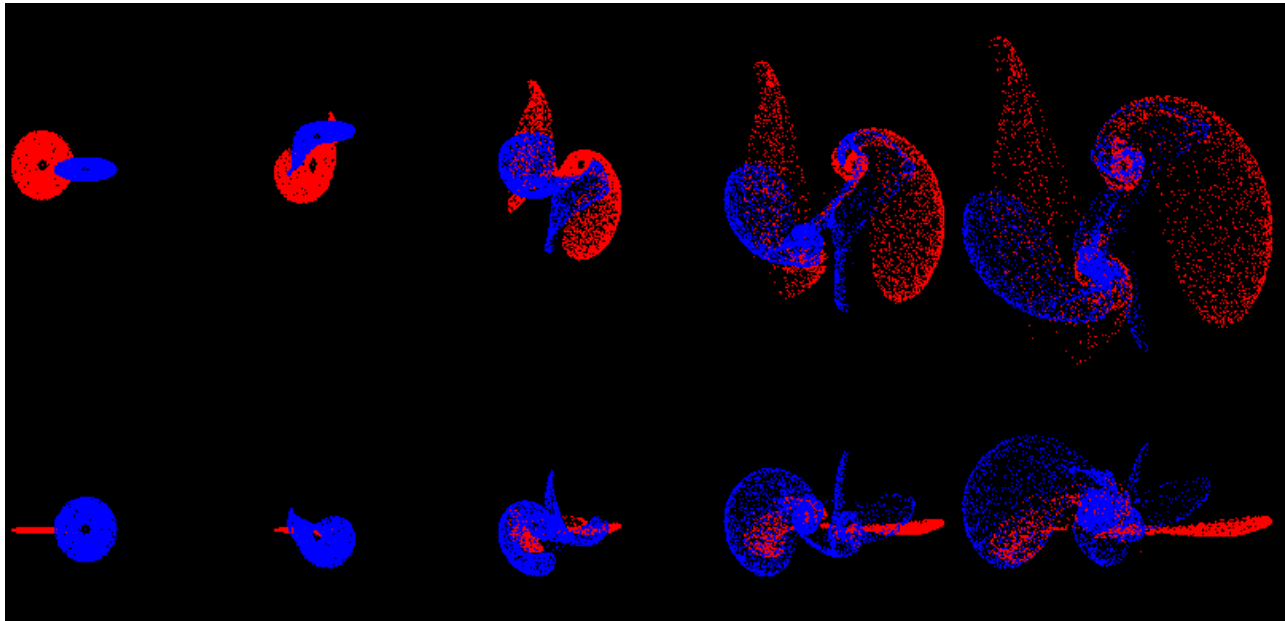
- *interação de maré*: a interação gravitacional que acontece quando uma galáxia passa perto de outra (*tidal interaction*)

- Denomina-se *força de maré* à força diferencial que uma galáxia exerce sobre a outra

- pode provocar a formação de “caudas” e outras deformações na distribuição de massa das galáxias envolvidas

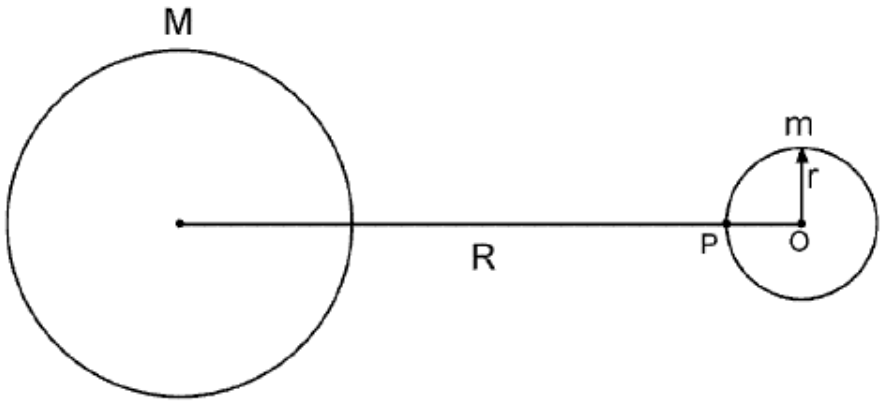
Arp 273





Interações de maré

- Considere uma galáxia grande de massa *M* e um satélite de massa *m* e raio *r*, a uma distância *R* uma da outra.



- A *força diferencial* por unidade de massa exercida por *M* sobre o satélite entre P e O é dada por:
  $\Delta F = |GM/R^2 - GM/(R - r)^2| \simeq 2GMr/R^3$

  O *raio de maré (tidal radius)* da galáxia pequena corresponde ao ponto P onde
  $\Delta F \simeq 2GMr/R^3 \sim Gm/r^2$
  ou
  $\boldsymbol{r_t \sim [m/(2M)]^{1/3} R}$

- As estrelas do satélite em raios maiores que r_t serão *removidas* da galáxia

Interações de maré

Exemplo:

- considere uma galáxia cD de massa $M = 500\ m$. Nesse caso, $r_t \sim R/10$.

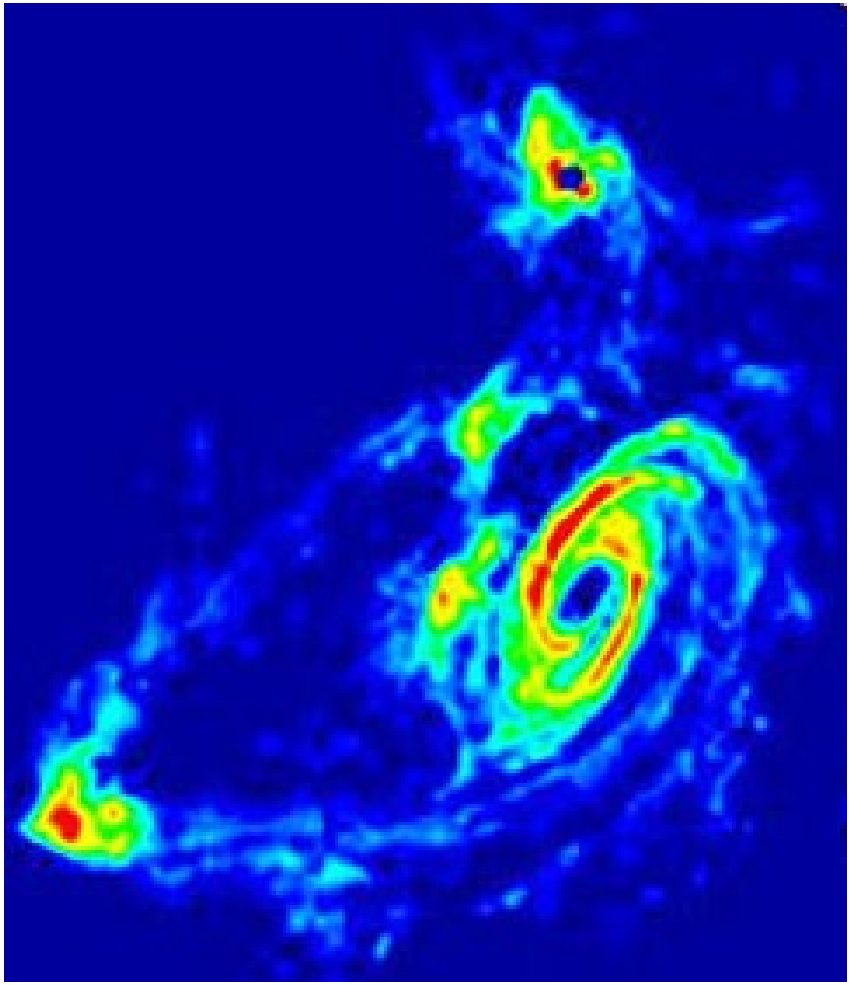
- As marés podem remover não só estrelas (e matéria escura) mas também o gás das galáxias.

- Esses efeitos são também denominados *tidal stripping*.

A2125

interações de maré em M81

emissão de HI



M81 vista pelo Spitzer

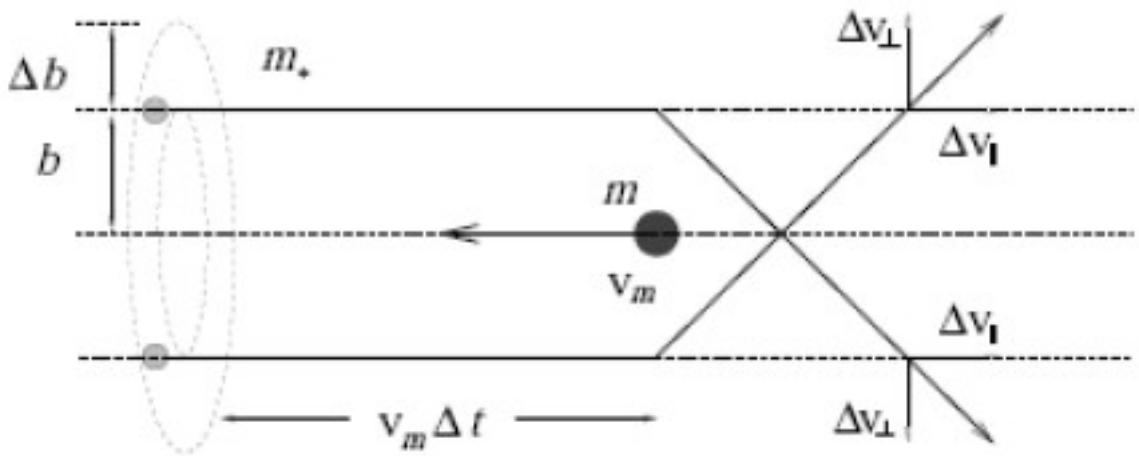
A fricção dinâmica

- O conceito de fricção dinâmica foi introduzido por Chandrasekhar em 1943

  boa introdução: Aceves & Colosimo (2006, arXiv:physics/0603066)

- considere uma partícula de massa *m* movendo-se com velocidade v_m em um mar de partículas mais leves com massa $m_\star$ $(m_\star \ll m)$.

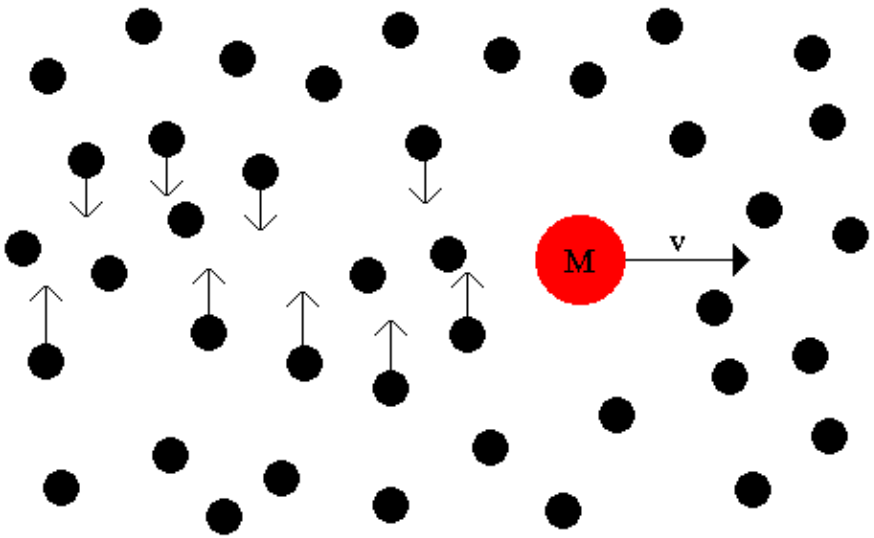
- essa partícula, ao interagir com as partículas mais leves, vai ser desacelerada, já que transfere momento e energia para as partículas do "mar".



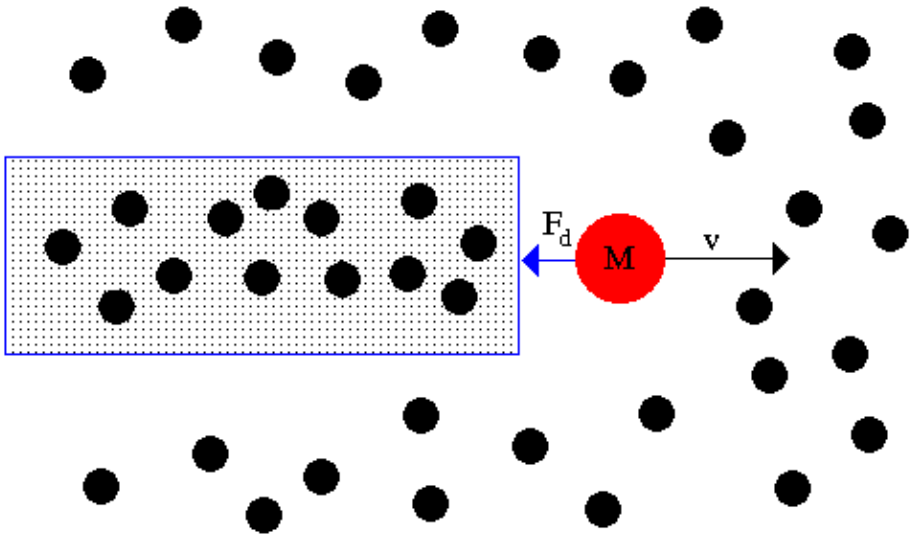
- conforme a partícula mais massiva se propaga, vai se formar um excesso de partículas leves na onda atrás de sua trajetória

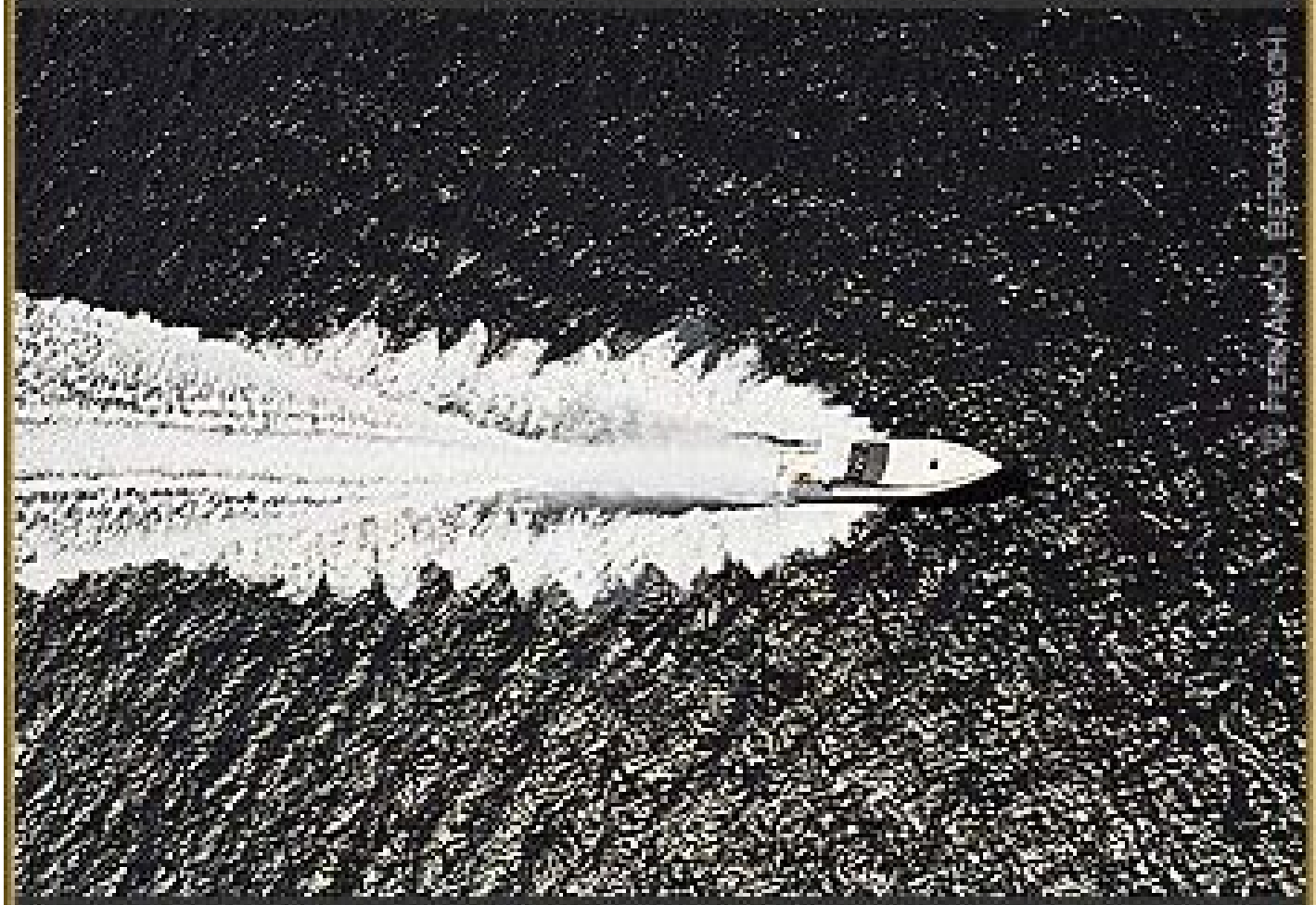
- é a força de atração gravitacional desse excesso de partículas na onda que produz a *fricção dinâmica*

consider a mass, M, moving through a uniform sea of stars. Stars in the wake are displaced inward.



this results in an enhanced region of density behind the mass, with a drag force, F_d known as dynamical friction





Speedboat

Angra dos Reis - Rio - Brasil

A fricção dinâmica

- força de fricção dinâmica:

$$\mathbf{F}_{fd} = m\frac{d\mathbf{v}_m}{dt} \simeq -\frac{4\pi G^2 \rho m^2 \ln \Lambda}{v_m^3}\mathbf{v}_m$$

onde $\rho = nm_*$ é a densidade das partículas leves e

$\ln \Lambda = \ln(b_{max}/b_{min})$

é denominado logarítmo de Coulomb; valores típicos para estão entre 2 e 5

- escala de tempo associada à ação da fricção dinâmica:

$$\tau_{fd} \sim \frac{m v_m}{F_{fd}} \sim \frac{v_m^3}{4\pi G^2 m \rho \ln \Lambda}$$

A fricção dinâmica

- força e escala de tempo de fricção dinâmica:

$$\mathbf{F}_{fd} = m\frac{d\mathbf{v}_m}{dt} \simeq -\frac{4\pi G^2 \rho m^2 \ln \Lambda}{v_m^3}\mathbf{v}_m$$

$$\tau_{fd} \sim \frac{m v_m}{F_{fd}} \sim \frac{v_m^3}{4\pi G^2 m \rho \ln \Lambda}$$

- como a força resultante é proporcional a m^2, galáxias massivas sentem uma fricção maior que as menos massivas

- além disso, como a força é proporcional a v_m^2, quanto menor a velocidade, maior a desaceleração.

- Quanto menor v_m ou maior m, menor a escala de tempo de fricção dinâmica

A fricção dinâmica

- Exemplo:
  Considere uma galáxia movendo-se no halo de um aglomerado. Devido à fricção dinâmica ela pode “espiralar” em direção ao centro do aglomerado.

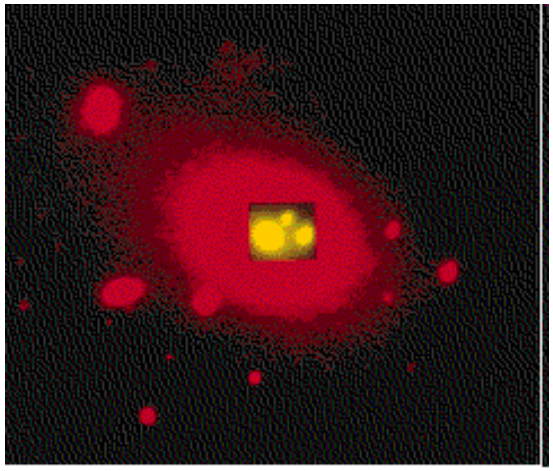
  em um aglomerado, a velocidade típica é σ_v
  fazendo $\rho = m\, n_g$, pode-se escrever :

  $$\tau_{fd} \sim \sigma_v^3 / [4\, \pi\, G^2\, m^2\, n_g\, \ln \Lambda]$$

  ou

  $$\tau_{fd} \sim 2\, (\sigma_v / 1000\ km/s)^3\, (n_g / 10^3\ gal.\ pc^{-3})^{-1}\, (M / 10^{12}\, M_S)^{-2}\, (\ln \Lambda)^{-1}\ Ganos$$

- A galáxia pode cair no centro do aglomerado e ser “digerida” por uma cD: é o fenômeno do *canibalismo galáctico*.



canibalismo na galáxia central de A2199

A fricção dinâmica

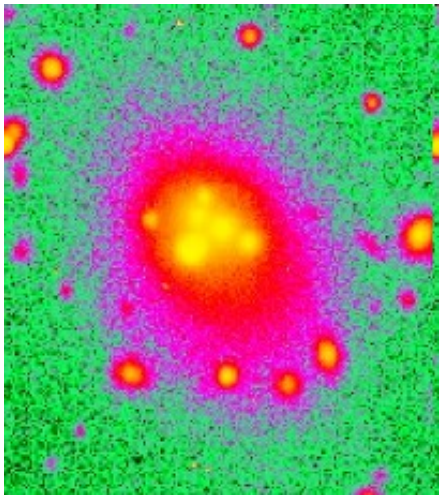
galáxias cD

- muitos aglomerados possuem no centro uma galáxia E gigante, com um halo enorme, da ordem do tamanho do aglomerado

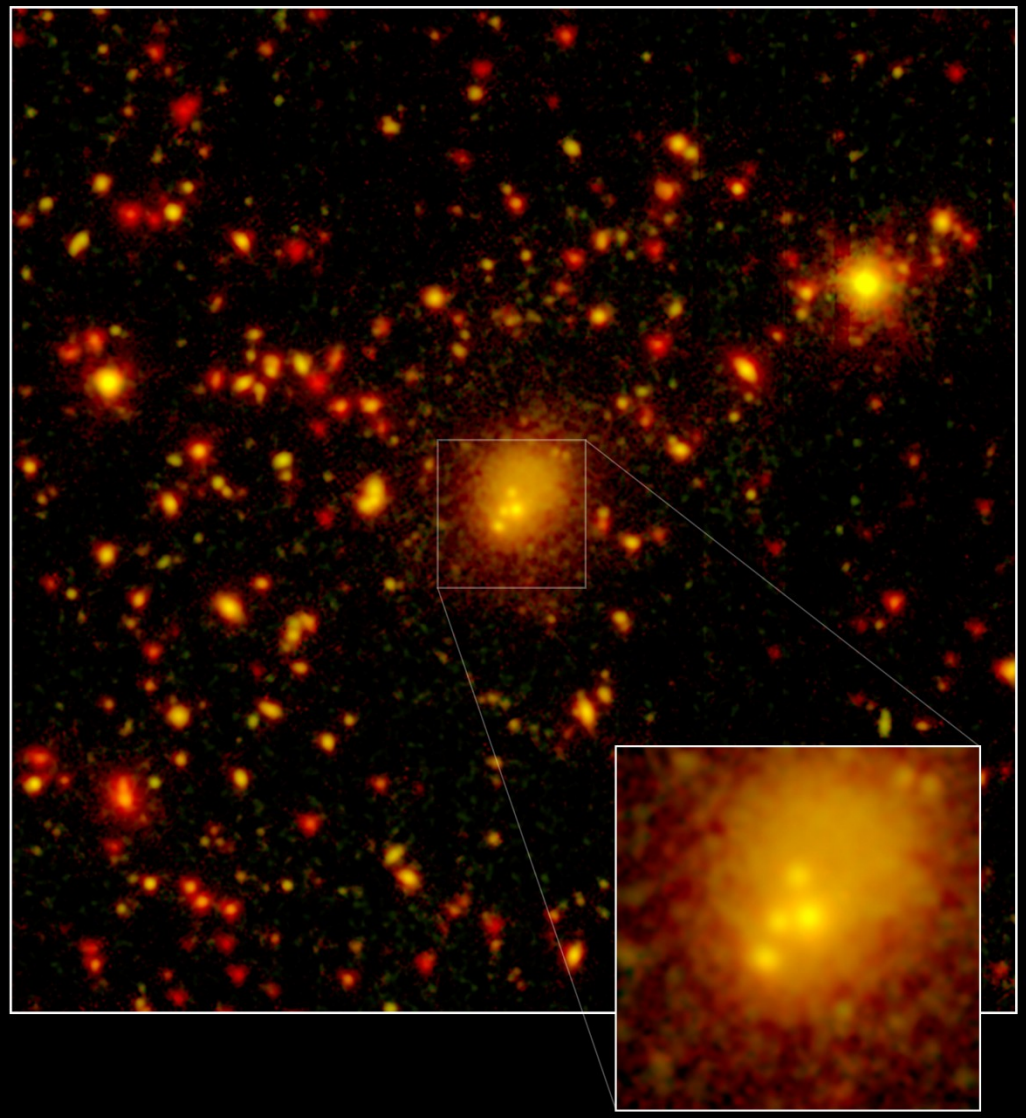
- dispersão central de velocidades da galáxia:
  $\sigma_v \sim 300 - 350\ km\ s^{-1}$

A2199

- crescem por *canibalismo*: a fricção dinâmica leva as galáxias para o centro, onde elas se fundem com a cD e/ou as forças de maré destroem as galáxias, espalhando as estrelas (e matéria escura, etc) pelo aglomerado



canibalismo em ação



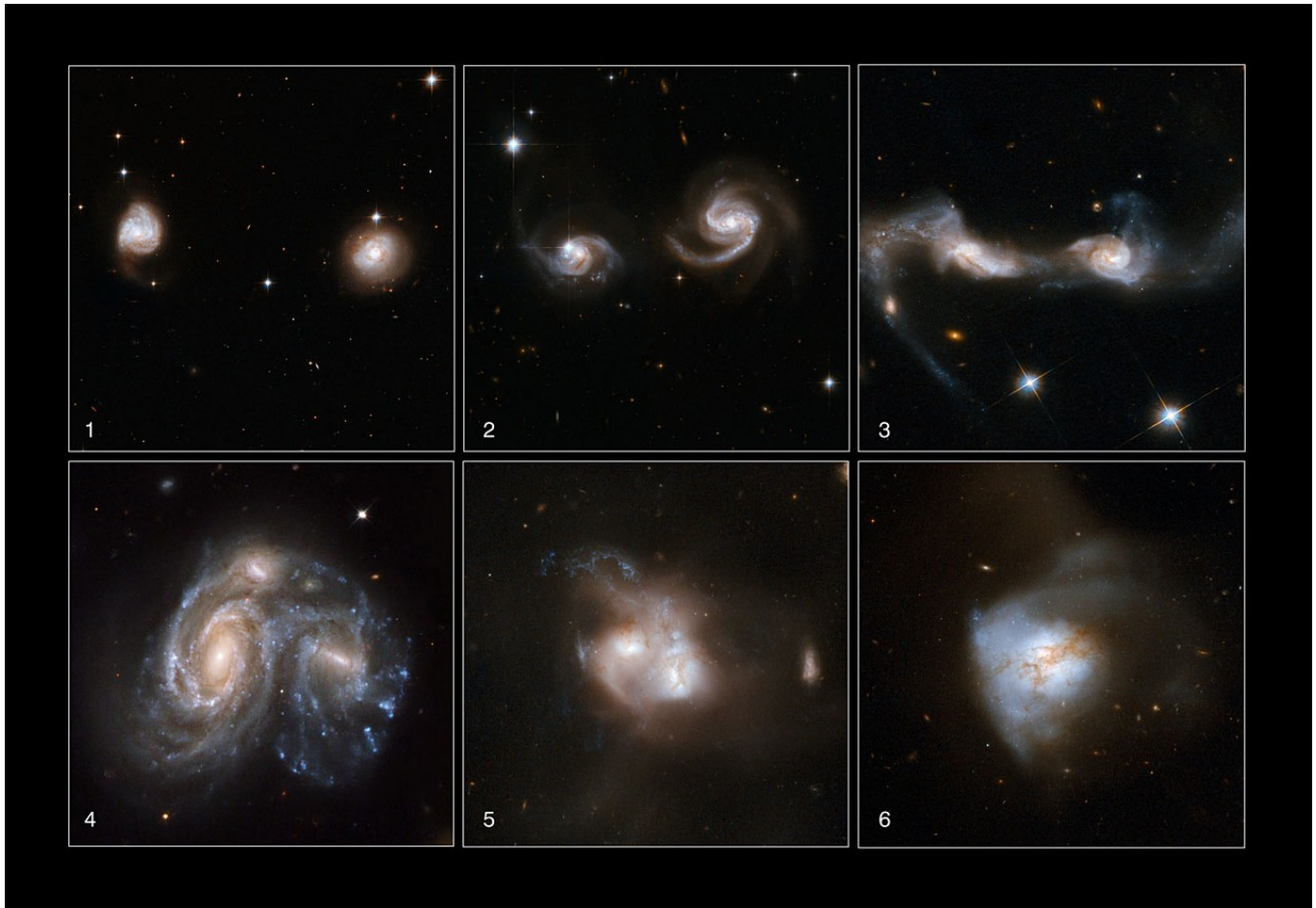
simulação do Dubinski: 2_Galactic Encounters
http://galaxydynamics.org/galacticencounters.html

vejam
http://www.cita.utoronto.ca/~dubinski/nbody/

Fusões

- Fusões *(mergers)* de galáxias podem ser considerados um caso especial da ação da fricção dinâmica:

  nesse caso, como consequência da interação, as galáxias se fundem numa só



Fusões

- Numa interação ocorre transferência da energia orbital para a energia interna das galáxias: a fricção dinâmica desacelera as galáxias e aquece suas estrelas (isto é, aumenta sua dispersão de velocidades).

- Como vimos, para a fricção dinâmica ser eficiente, a velocidade deve ser pequena.

- Assim, em aglomerados, onde a velocidade relativa das galáxias é muito alta (> 700 km/s) não ocorrem fusões, exceto pelas galáxias que são canibalizadas pela galáxia dominante do aglomerado.

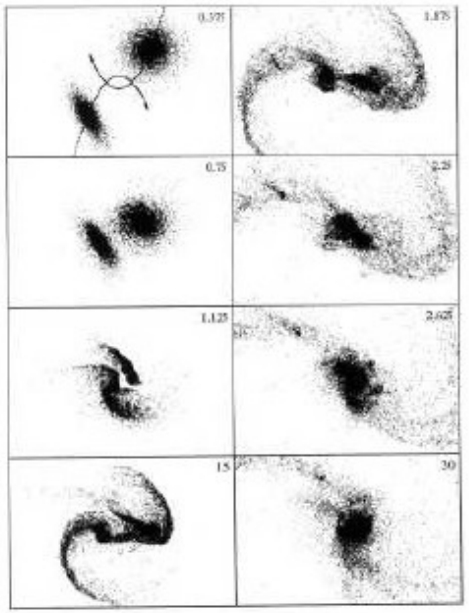
Fusões

- O ambiente privilegiado para ocorrer fusões são os grupos de galáxias, que têm dispersão de velocidades bem menor que a encontrada em aglomerados, da ordem de algumas poucas centenas de km/s.

Quinteto de Stefan

Fusões

- Simulações numéricas de fusões entre galáxias com massas semelhantes indicam que a distribuição radial de massa do produto da fusão obedece aproximadamente ao perfil de de Vaucouleurs
- Assim, imagina-se que esse tipo de fusão pode transformar, por exemplo, duas espirais numa galáxia elíptica.



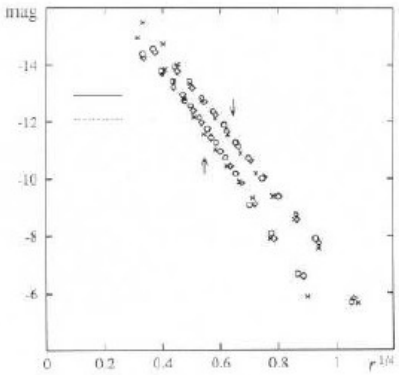
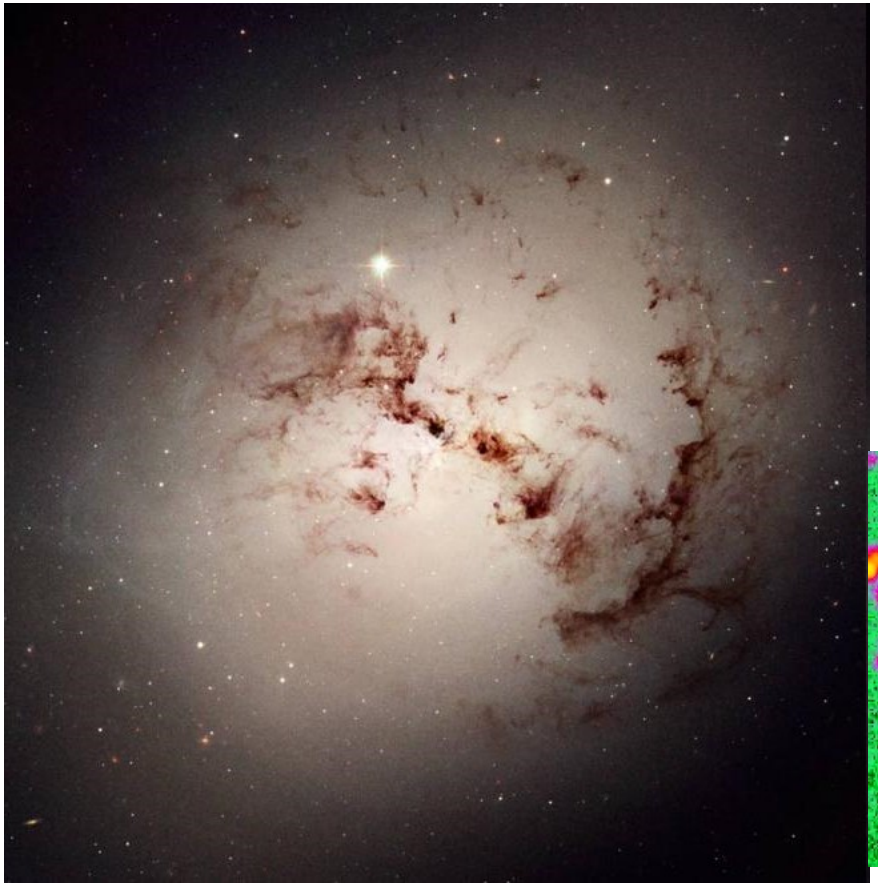


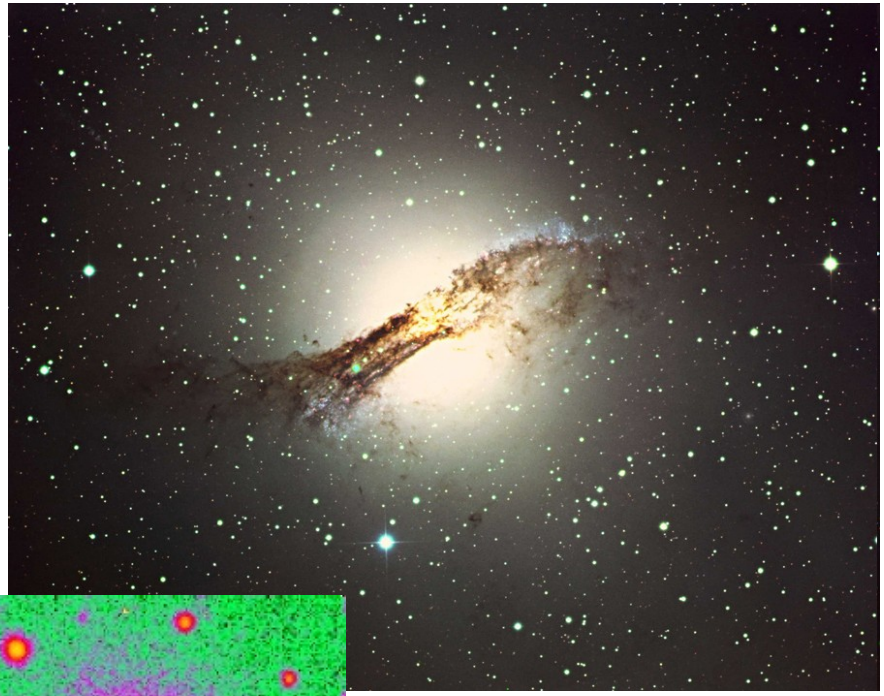
Figure 6 Os perfis de brilho superficial de restos de fusão têm aproximadamente o perfil de de Vaucouleurs (Barnes, 1989).

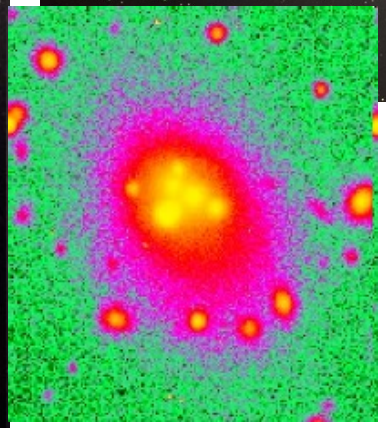
Figure 5 Simulação do merger de duas espirais (Barnes & Hernquist 1996).

Fusões

- a análise fotométrica de galáxias elípticas mostra muitas vezes sinais de fusões, como camadas de poeira ou núcleos múltiplos.







Fusões

- Se a fusão envolve ao menos uma galáxia espiral, ela pode levar a um transporte do gás para as regiões internas da galáxia e produzir um surto de formação estelar.

- É o que parece estar ocorrendo em M82, a galáxia starburst mais próxima de nós

  -contém ~ 2×10^8 $M_\odot$ de gás

  -taxa atual de formação estelar: algumas $M_\odot$ por ano

  - tempo de consumo do gás: ~ 10^8 anos.

- Cerca de 1 - 2 Ganos depois disso essa galáxia seria possivelmente identificada como uma elíptica.

Fusões

- Os starbursts mais notáveis são as ULIRGs (*Ultra Luminous Infrared Galaxies*), que são geralmente galáxias em fusão

- podem ter $10^9 - 10^{10}$ $M_\odot$ de gás e um meio interestelar tão denso que o grosso da emissão ultra-violeta de suas estrelas é absorvido pela poeira e reemitido no infravermelho distante, com luminosidades ~ 10^{12} $L_\odot$ ou mais.

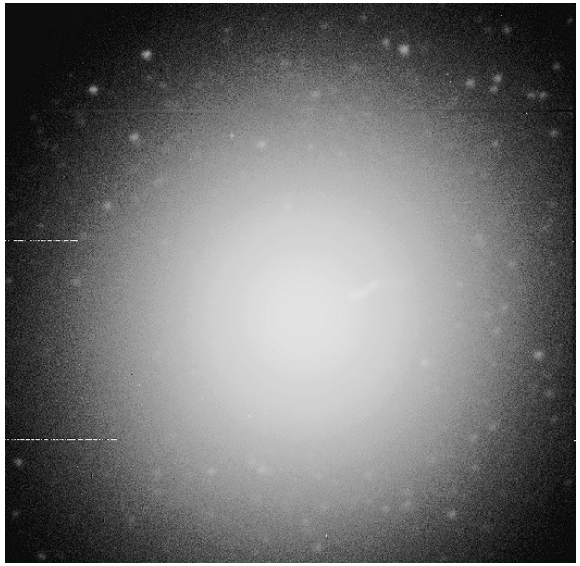
Fusões

- observações com o Hubble: sistemas em fusão mostram a formação de aglomerados estelares muito compactos, que podem ser *aglomerados globulares*.

- Um ponto interessante é que as galáxias elípticas contêm muito mais aglomerados globulares que galáxias espirais de mesma luminosidade, e isso pode ser considerado, então, como uma evidência adicional de que as elípticas se formam em fusões.

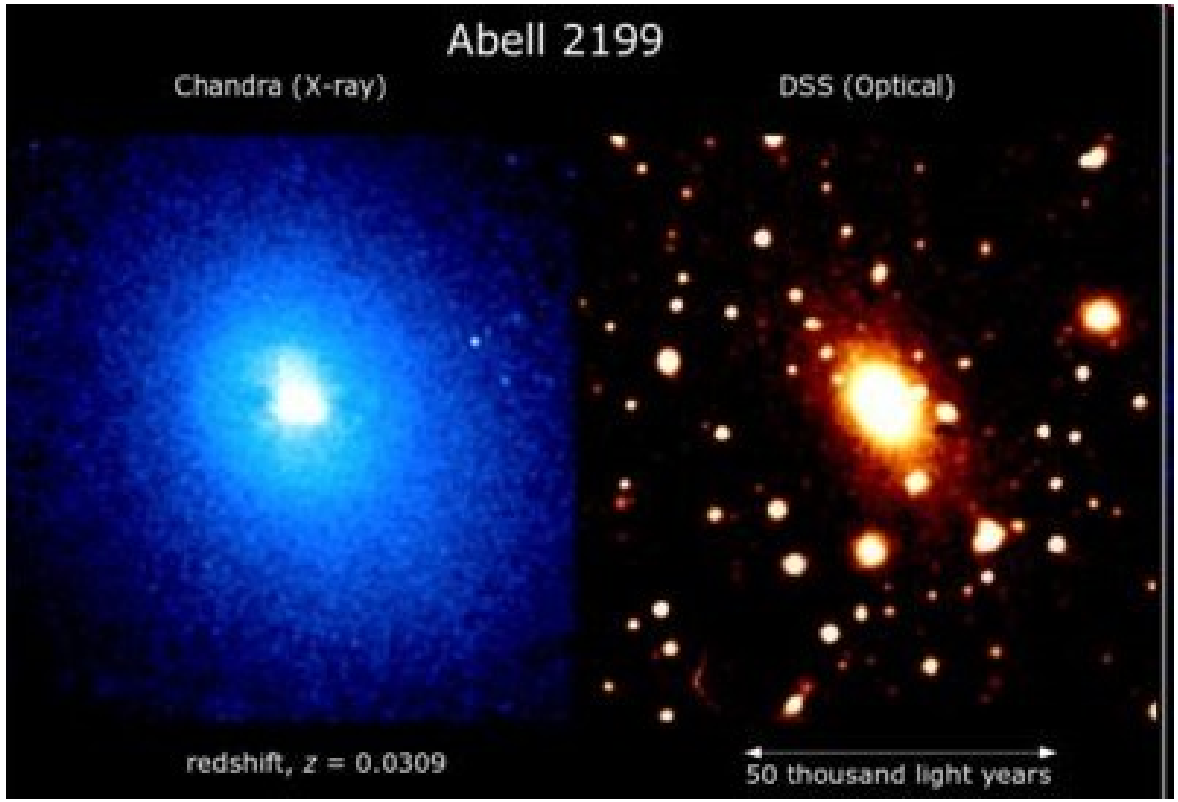
aglomerado globular M 13

M 87 = Virgo A



A pressão de arraste

- Os aglomerados de galáxias contêm muito gás quente e de baixa densidade no meio intra-aglomerado (MIG)

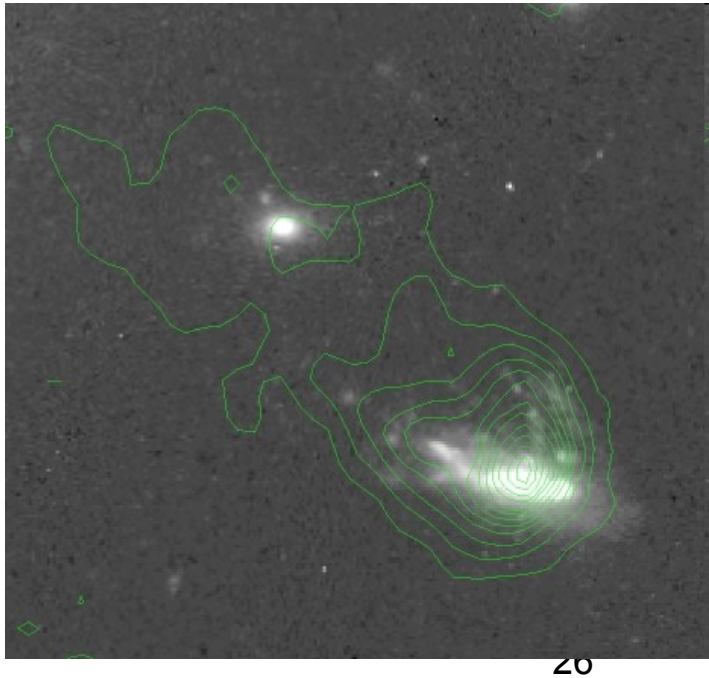


A pressão de arraste

- Quando uma galáxia espiral cai num aglomerado e atravessa o meio intra-aglomerado, o gás que ela contém vai sentir a pressão do gás quente: parte é comprimido, formando estrelas, e parte é removido.

- Esse processo é denominado pressão de arraste (ou *ram-pressure*) e foi proposto pela primeira vez por Gunn & Gott (1972).

NGC 4522 Stripped



remoção do gás em uma galáxia de Abell 2125

A pressão de arraste

- Seja:
  - *V:* velocidade da galáxia
  - ρ_{icm}: densidade do meio intra-aglomerado.

- a pressão que o gás da galáxia vai sentir será
  $P \approx \rho_{icm}\, v^2$

- o gás da galáxia vai ser removido (*ram-pressurestripping*) se o efeito desta pressão for maior que a força gravitacional que retém o gás na galáxia:
  $\rho_{icm}\, v^2 > g\Sigma$
  onde
  $g \sim GM/R^2$
  é a aceleração gravitacional que o gás sente e Σ a densidade superficial de massa da galáxia

- Logo, o gás é removido se:
  $v > (g\Sigma / \rho_{icm})^{1/2}$

A pressão de arraste

- As simulações numéricas indicam que a remoção de gás não é instantânea e ocorre numa escala de tempo comparável ao tempo que o som leva para percorrer a galáxia (McCarthy et al. 2008).

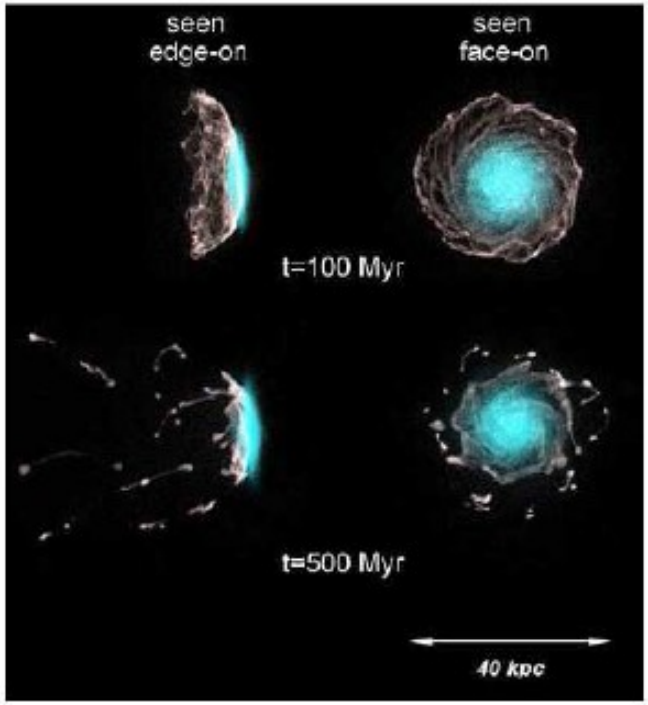


Figure 9 Distribuição de gás (em branco) e de estrelas recém-formadas (em turquesa) em duas épocas para uma galáxia sofrendo pressão de arraste (Kronberger et al. 2008).

A pressão de arraste

- A figura mostra os efeitos da pressão de arraste em galáxias espirais no aglomerado de Coma.

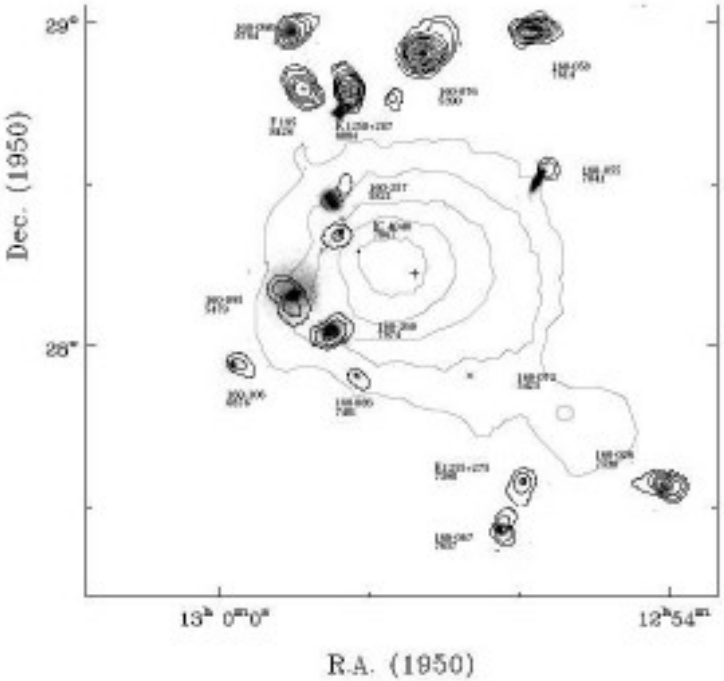


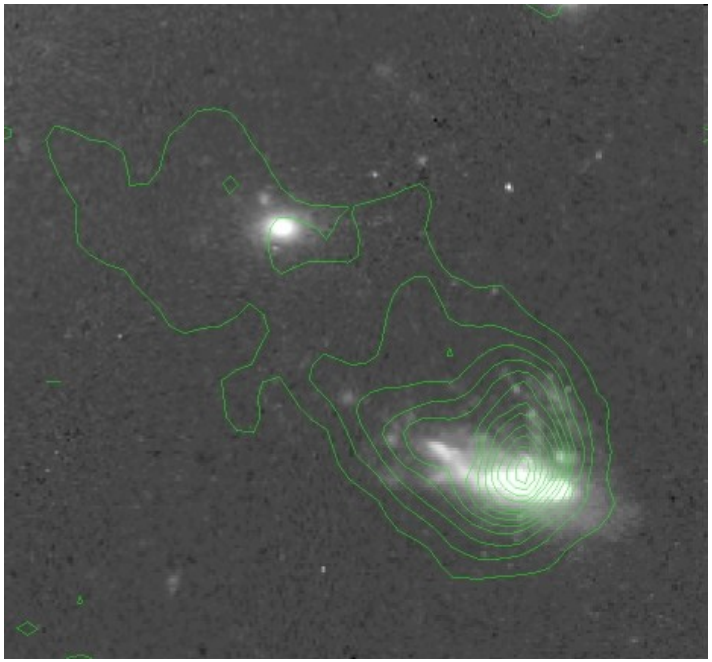
Figure 10 Pressão de arraste no aglomerado de Coma. Os contornos espessos correspondem à emissão em raios-X do gás do meio intra-aglomerado. Os contornos mais finos correspondem à emissão do HI, sobrepostos às imagens das galáxias, em níveis de cinza. Cada galáxia é acompanhada de sua identificação e de sua velocidade radial (em km/s). A cruz marca a posição da elíptica gigante NGC 4874 (Bravo-Alfaro et al. 2000).

A pressão de arraste

- O meio intra-aglomerado tem uma metalicidade de ferro da ordem de 0.3 da metalicidade solar.

- na verdade, nos aglomerados a maior parte do ferro produzido nas estrelas está no gás quente, e não nas galáxias!

- Isso pode ser uma indicação da importância de efeitos como a pressão de arraste e ventos galácticos.



Outros efeitos

Na literatura encontra-se uma nomenclatura variada referindo-se a efeitos do ambiente sobre as galáxias:

- *galaxy harassment*:

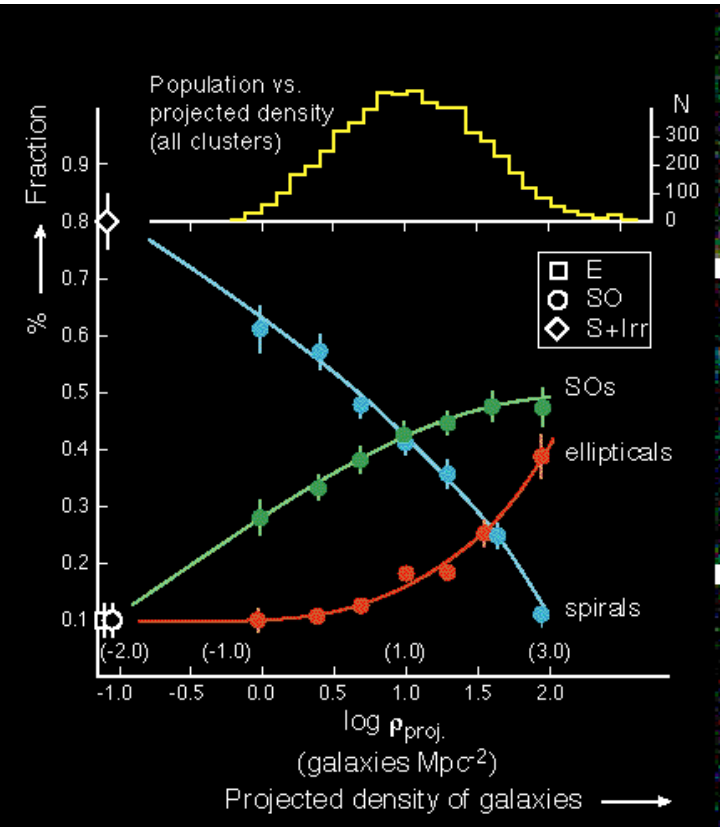
  -a remoção de gás e estrelas mais externas de uma galáxia pelo efeito cumulativo das forças de maré em colisões rápidas em aglomerados

  -é uma forma de *tidal stripping*

- *strangulation ou starvation*:

  a remoção do gás das galáxias (por um mecanismo qualquer) levando à interrupção da formação estelar.

Efeitos ambientais sobre a evolução das galáxias



- O ambiente afeta profundamente a evolução das galáxias, e as propriedades das galáxias dependem fortemente do ambiente em que se encontram
- uma evidência de efeitos ambientais é a relação morfologia-densidade (Dressler, 1980):

  nos ambientes mais densos, a maioria das galáxias é E e S0 (early-type), enquanto as espirais povoam ambientes de baixa densidade

- Qual é a origem dessa relação?

A origem da relação morfologia-densidade

- Uma observação importante para seu entendimento é o chamado efeito Butcher-Oemler (Butcher & Oemler 1978):

  a fração de galáxias azuis em aglomerados aumenta com o redshift

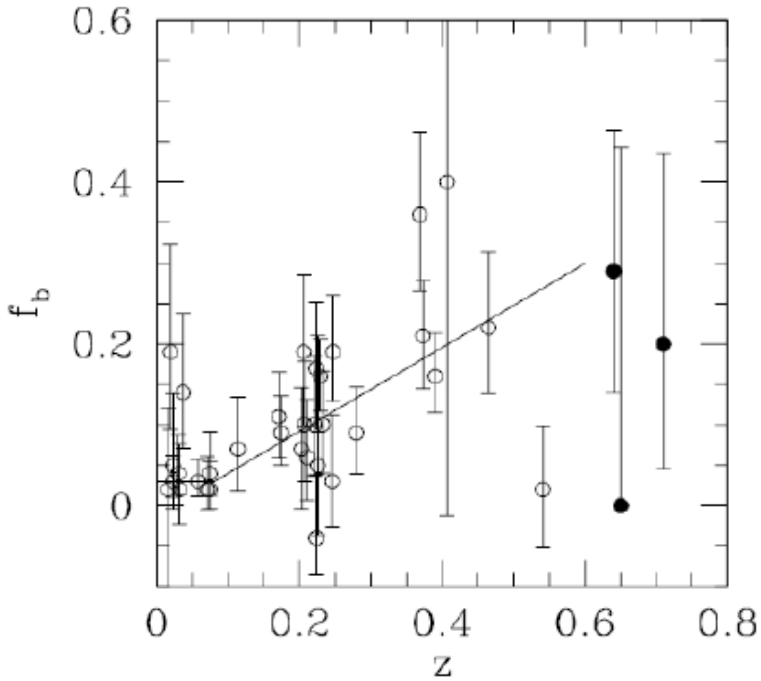


Figure 12 Efeito Butcher-Oemler: a fração de galáxias azuis cresce com o redshift (Andreon et al. 2004).

A origem da relação morfologia-densidade

- num cenário hierárquico de formação de estruturas os aglomerados crescem capturando galáxias e grupos de suas vizinhanças
- o efeito Butcher-Oemler mostra que esse fenômeno era mais frequente no passado.
- mas o que aconteceu com essas galáxias azuis observadas em redshifts altos ou intermediários?
- a cor azul de uma galáxia é evidência de que ela está formando estrelas: ao cair num aglomerado, contudo, sua formação estelar será interrompida, principalmente porque o gás é removido.
- É esse gás, enriquecido pelas estrelas, que também vai enriquecer o meio intra-aglomerado

A origem da relação morfologia-densidade

- Após a remoção do gás e a interrupção da formação estelar, uma galáxia num aglomerado evolui passivamente, ficando cada vez mais vermelha

- Assim, as espirais transformam-se em lenticulares (S0) e quando perdem o disco por efeitos de maré (*harassment*), transformam-se numa elíptica

- Este seria outro mecanismo para explicar a formação de elípticas

- Neste cenário, a relação morfologia-densidade refletiria portanto as transformações morfológicas que as galáxias podem sofrer no ambiente dos aglomerados.

Exercícios

- Estime o tempo que vai levar para a Grande Nuvem de Magalhães (LMC) se fundir com a Galáxia. Suponha que a LMC tem 10^{10} $M_\odot$ e se move a uns 200 km/s. Calcule a densidade da Galáxia supondo que ela é esférica e tem 10^{11} $M_\odot$ dentro de um raio de 10 kpc.

2. Suponha que uma galáxia como a Via Láctea caia num aglomerado. Que velocidade deveria ter para que seu gás fosse removido pela pressão de arraste? Suponha que a densidade do meio intra-aglomerado seja de 10^{-2} cm^{-3} e que a massa de gás da Galáxia seja ~20% do total dentro do raio óptico.

3. Visite o site http://burro.cwru.edu/JavaLab/cannibal/CannibalMain.html e faça algumas experiências de canibalismo.