

Grupos e Aglomerados de Galáxias

Bleider Roger dos Santos, Mariana Jó

USP - Instituto de Física

22 de Outubro de 2015

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Estrutura do Universo

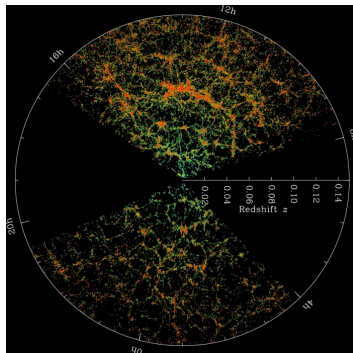


Estrutura do Universo

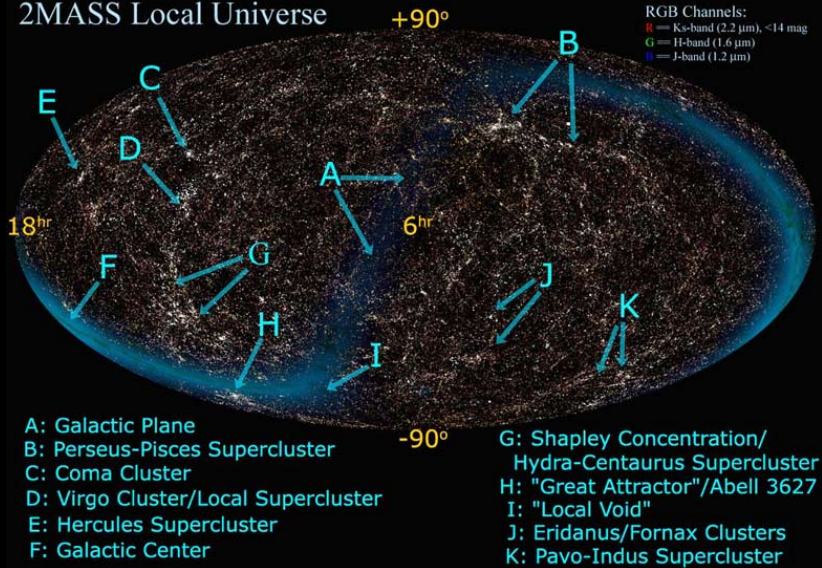
- ▶ O Princípio Cosmológico é válido somente em grandes escalas (150Mpc).
- ▶ Em menores escalas o universo é inhomogêneo, apresentando flutuações de densidade, se organizando em diferentes estruturas: Galáxias, grupos, aglomerados, voids etc.
- ▶ Aglomerados de galáxias são as maiores estruturas gravitacionalmente ligadas conhecidas do universo.

Estrutura em larga escala

- ▶ Cerca de 50% das galáxias se encontram em grupos e aglomerados (as demais se encontram no “field”).
- ▶ Aglomerados e vazios juntos formam a estrutura em larga escala do universo - “cosmic web”.



2MASS Local Universe



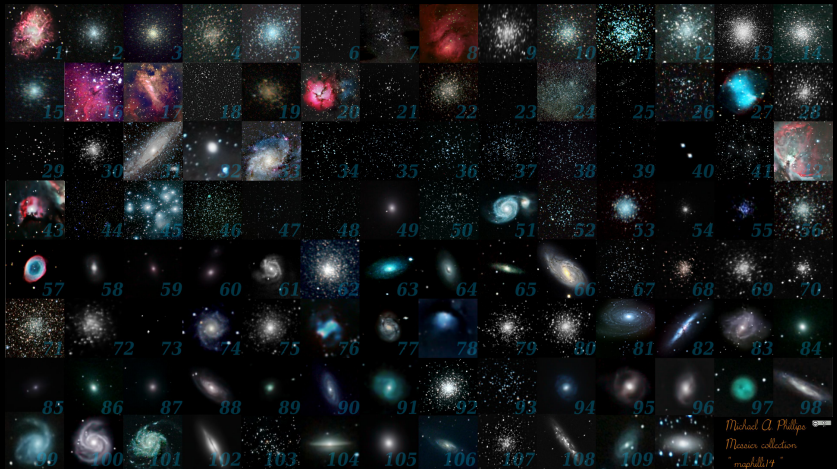
Desenvolvimento histórico

- ▶ Charles Messier (1730-1817) - Catálogo Messier
- ▶ O Grande Debate(1920) - Shapley(1885-1972) x Curtis(1872-1942)
- ▶ Identificação de estrelas Cefeidas em Andrômeda por Hubble (1922-1923)
- ▶ Reconhecimentos do aglomeramento de galáxias 1930's (Zwicky 1937, Smith 1936)
- ▶ Primeiros Catálogos de aglomerados - Fritz Zwicky e George Abell (1950s)
- ▶ Descoberta da emissão de Raios-X por aglomerados (1970s)

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Principais fatos
Catálogo Messier

Catálogo Messier



Características básicas

Grupo de galáxias

- ▶ Contém até ~ 50 galáxias
- ▶ Aproximadamente $10^{13} M_{\odot}$
- ▶ Velocidade de dispersão σ_r $100 - 500 \text{ km/s}$
- ▶ Diâmetro de 1-2 Mpc

Aglomerados

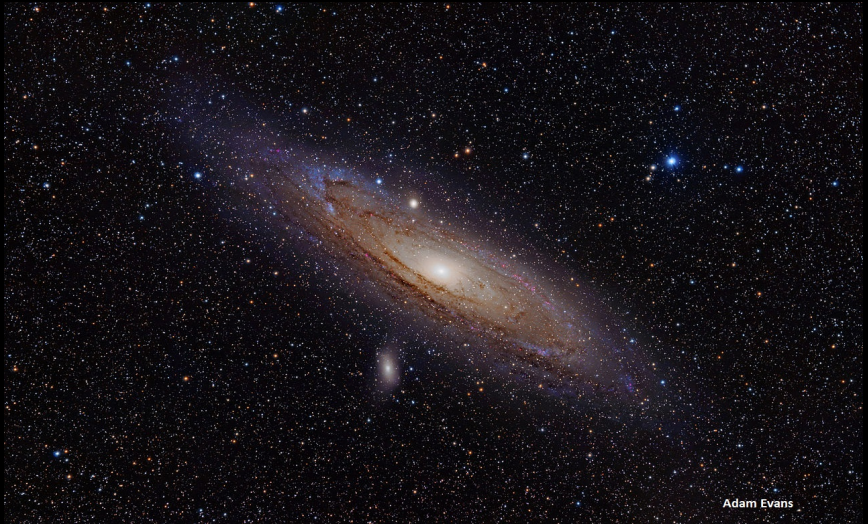
- ▶ Contém 50-1000 galáxias
- ▶ Massas de 10^{14} a $10^{15} M_{\odot}$
- ▶ Velocidade de dispersão σ_r $700 - 1200 \text{ km/s}$
- ▶ Diâmetros 2-10 Mpc

Grupo Local

- ▶ Contém cerca de 30 galáxias
- ▶ Membros mais massivos: Via Láctea, Andrômeda e Galáxia do Triângulo
- ▶ Raio de 3.1 Mpc
- ▶ Massa $\sim 5 \times 10^{12} M_{\odot}$

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Grupo Local
Aglomerado de Virgem



Adam Evans

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Grupo Local
Aglomerado de Virgem



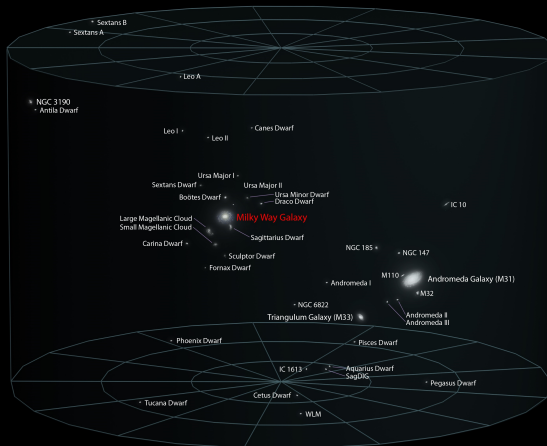
Alexander Meleg

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Grupo Local
Aglomerado de Virgem



Local Galactic Group



Aglomerado de Virgem

- ▶ ~ 1500 galáxias
- ▶ Raio ~ 3 Mpc
- ▶ $1.2 \times 10^{15} M_{\odot}$
- ▶ Distância ~ 20 Mpc

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Grupo Local
Aglomerado de Virgem



Classificação

Critério de riqueza (Abell)

- ▶ Classe 1 - 30-49
- ▶ Classe 2 - 50-79
- ▶ Classe 3 - 80-129
- ▶ Classe 4 - 130-199
- ▶ Classe 5 - 300+

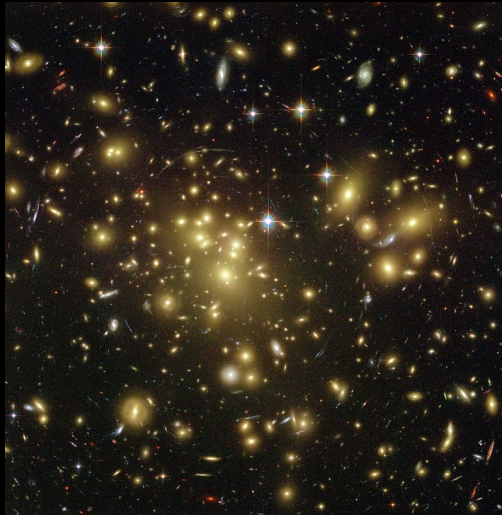
Morfológica (Bautz-Morgan)

- ▶ Tipo I - Galáxia gigante tipo cD no centro
- ▶ Tipo II - Brilho das galáxias intermediário entre I e II
- ▶ Tipo III - Nenhuma galáxia proeminente (IIIE ou IIIS)

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster

Abell 1689



Distribuição das galáxias

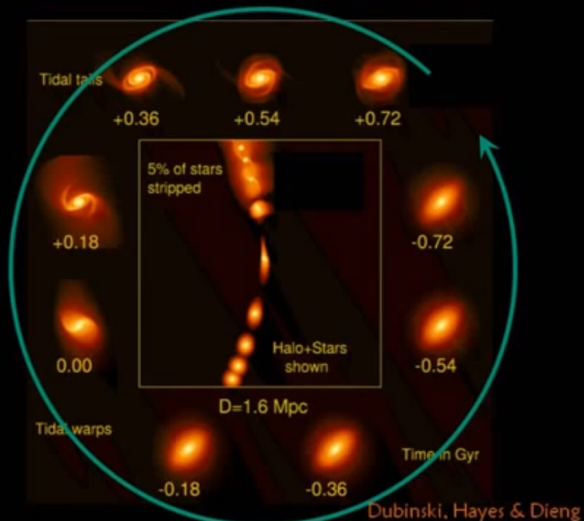
Aglomerados Regulares	Aglomerados irregulares
Simetria esférica	Não apresenta simetria
Maior concentração de galáxias próximos ao centro	Não apresenta centro definido
Colisões frequentes	Colisões raras
Predominância de galáxias elípticas	Apresenta os três tipos de galáxias
massa de $\sim 10^{15} M_{\odot}$	massas $10^{12} - 10^{14} M_{\odot}$

Efeito Butcher-Oemler

- ▶ Excesso de galáxias azuis em altos redshifts em comparação com baixos redshifts
- ▶ Galáxias azuis - predominantemente espirais; galáxias vermelhas - predominantemente elípticas
- ▶ Colisões e fusões: $S+S \rightarrow E/S0$
- ▶ Tidal Harassment: Resistência de maré por galáxias “caindo” no aglomerado.
- ▶ Ram Stripping: Resistência causada pelo gás intra-aglomerado.

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster

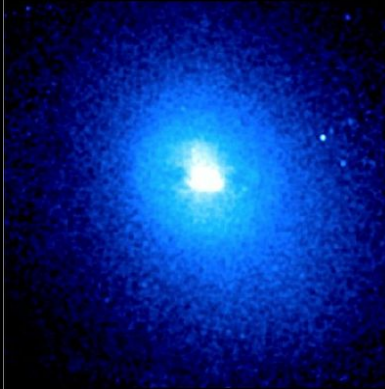


Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster

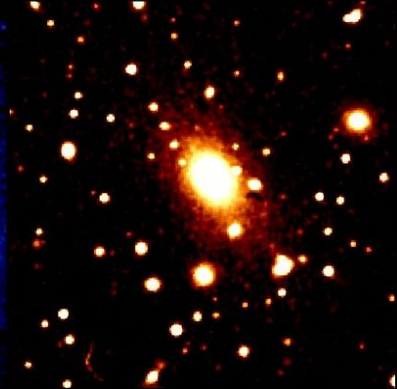
Abell 2199

Chandra (X-ray)



redshift, $z = 0.0309$

DSS (Optical)



← 50 thousand light years →

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster

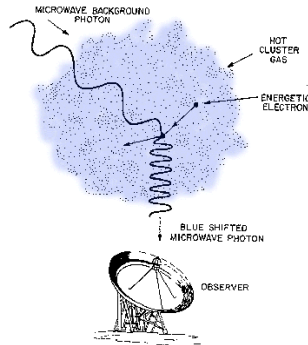


Meio Intra-aglomerado

- ▶ A maior parte da matéria bariônica está na forma de gás quente ionizado com temperatura da ordem de 9 keV ($T \sim 10^7 - 10^8 K$)
- ▶ Aquecimento: Energia cinética do movimento das galáxias ($kT \sim mv^2$); energia gravitacional liberada na formação do aglomerado
- ▶ Emissão de Raio-X: Bremsstrahlung
- ▶ Composição: Hidrogênio e Hélio ionizados enriquecido com elementos pesados como o ferro
- ▶ **Cooling Flows:** Resfriamento do gás nas regiões centrais e mais densas do aglomerado pela emissão de raios-X

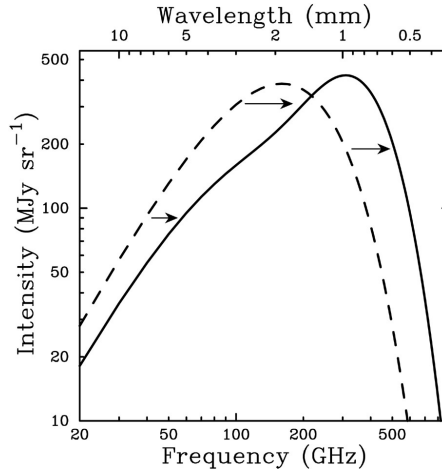
Efeito Sunyaev-Zeldovich

- Espalhamento Compton de fótons da CMB por elétrons do ICM, causando um pequeno aumento na energia da radiação cósmica de fundo.



Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster



Massa: Equilíbrio hidrostático

Assumindo simetria esférica, teremos para o equilíbrio hidrostático:

$$\nabla p = \frac{dp}{dr} = -\frac{GM(< r)\rho}{r^2} \quad (1)$$

pela lei do gás perfeito $p = \frac{\rho k_b T}{\mu m_H}$, chega-se em:

$$M(< r) = -\frac{k_b T r^2}{G \mu m_h} \left[\frac{d(\log \rho)}{dr} + \frac{d(\log T)}{dr} \right] \quad (2)$$

- ▶ Sabendo-se a variação de densidade e a temperatura é possível determinar a distribuição de massa de um aglomerado
- ▶ Para um aglomerado esféricamente simétrico podemos determinar esses valores a partir da intensidade de Raio-X e observações espectrais

Massa: Teorema do Virial

O teorema do virial fornece:

$$\ddot{I} = 2W + 4K$$

para um sistema estacionário $\ddot{I} = 0$,

$$K = -\frac{W}{2}$$
$$\frac{1}{2}M \langle v^2 \rangle = \frac{\alpha}{2} \frac{GM^2}{r_{1/2}}$$

Logo podemos determinar a massa por:

$$M = \frac{\langle v^2 \rangle r_{1/2}}{\alpha G}$$

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster

Aglomerado Coma



- ▶ A luminosidade do aglomerado de Coma na banda B é de $L_{Coma,B} \approx 8 \times 10^{12} L_{\odot,B}$
- ▶ Para uma razão mass-luminosidade de $\langle M/L_B \rangle = 4 M_{\odot}/L_{\odot,B}$ temos $M_{Coma,*} \approx 3 \times 10^{13} M_{\odot}$
- ▶ A massa do gás intra-aglomerado (determinada na faixa do raio-X) é $M_{Coma,gas} \approx 2 \times 10^{14} M_{\odot}$

- ▶ O redshift médio do aglomerado de Coma é $\langle z \rangle = 0,0232$
- ▶ pela lei de Hubble:

$$\langle v_r \rangle = c \langle z \rangle = 6960 \text{ kms}^{-1}$$

$$d_{\text{Coma}} = \frac{c}{H_0} \langle z \rangle = 99 \text{ Mpc}$$

- ▶ Na linha de visada:

$$\sigma_r = \sqrt{\langle (v_r - \langle v_r \rangle)^2 \rangle} = 880 \text{ kms}^{-1}$$

- ▶ Se assumirmos a isotropia da dispersão de velocidade:

$$\langle v^2 \rangle = 3\sigma_r = 2,32 \times 10^{12} m^2 s^{-2}$$

- ▶ Considerando que a razão massa-luminosidade se mantém constante, o raio de meia-massa será o mesmo que o raio que contém metade da luminosidade: $r_{1/2} \approx 1,5 Mpc$ Assim, pelo teorema do virial encontramos:

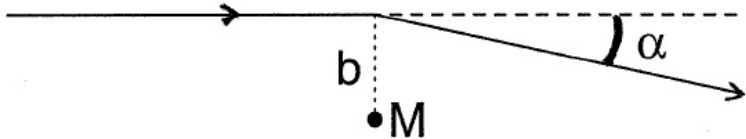
$$M = \frac{\langle v^2 \rangle r_{1/2}}{\alpha G} \approx 2 \times 10^{15} M_{\odot}$$

Composição típica de aglomerados ricos

- ▶ massa total na faixa $5 \times 10^{14} - 5 \times 10^{15} M_{\odot}$
- ▶ Matéria visível $\sim 5\%$
- ▶ Gás Intra-aglomerado $\sim 10\text{-}30\%$
- ▶ Matéria escura $\sim 60\text{-}85\%$

Lentes gravitacionais

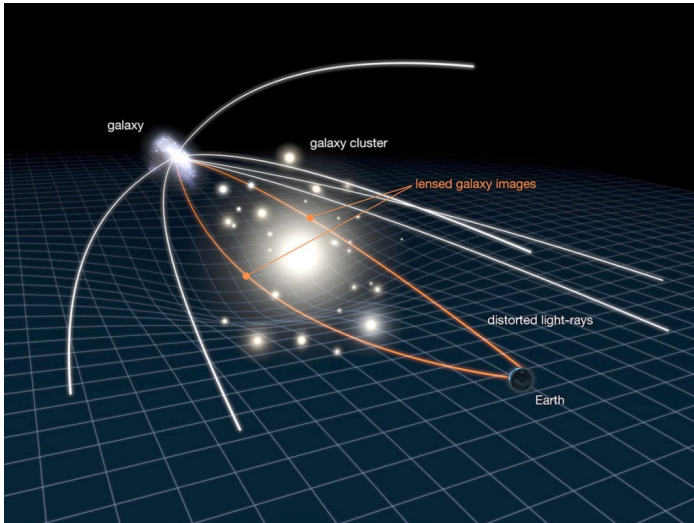
- A relatividade geral prediz que massa-energia curva o espaço tempo, alterando assim o caminho da luz:



$$\alpha = \frac{4GM}{c^2 b}$$

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster



Anel de Einstein

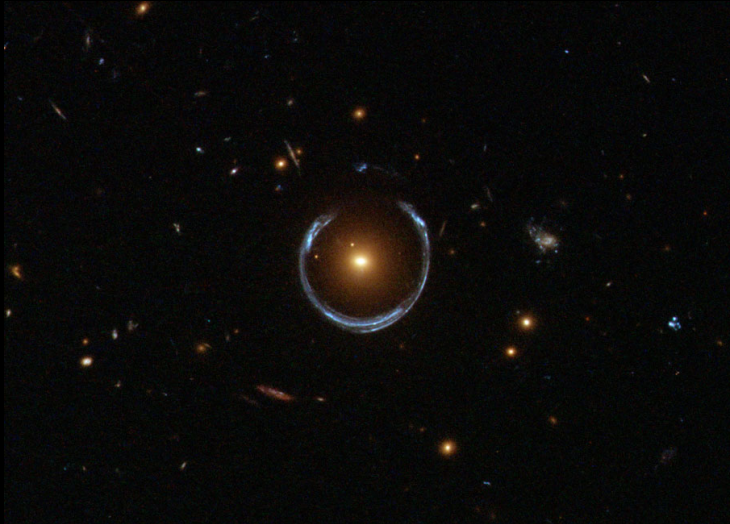
- ▶ Quando o objeto observado está perfeitamente alinhado com o centro da lente gravitacional e o observador, a deflexão resultaria num anel circular (anel de Einstein) centrado no defletor e de raio angular:

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \frac{d_{LS}}{d_S d_L}}$$

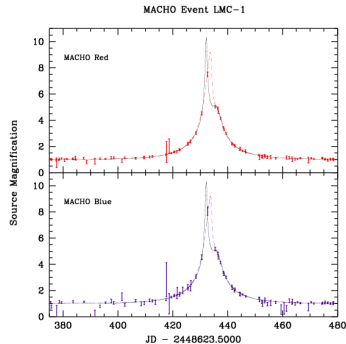
- ▶ Lentes gravitacionais fornecem um método adicional para a determinação da distribuição de matéria escura, e em geral é compatível com os métodos do teorema do virial e do equilíbrio hidrostático.

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster



- ▶ Microlentes gravitacionais - separação da imagem muito baixa para ser resolvida, resultando apenas em um aumento no fluxo da fonte
- ▶ detecção de MACHOs



Matéria Escura

Bariônica

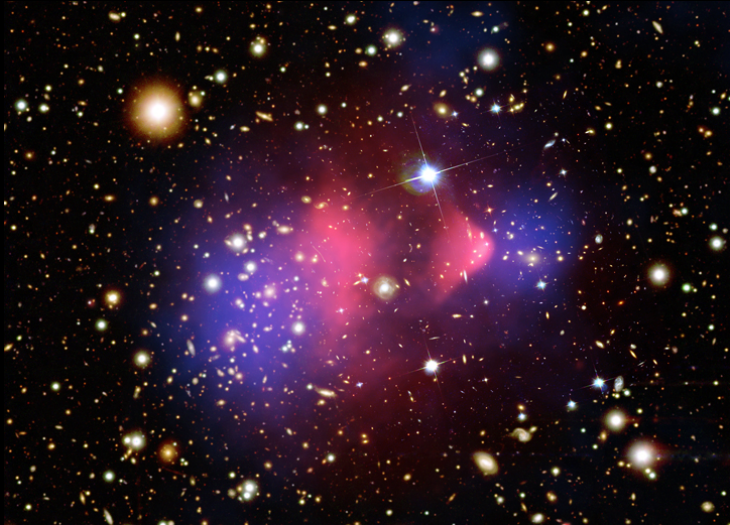
- ▶ MACHOs
- ▶ buracos negros primordiais

Não bariônica

- ▶ Axions
- ▶ Neutrinos
- ▶ WIMPs

Introdução
Desenvolvimento Histórico
Características básicas
Classificação
Composição

Galáxias
Efeito Butcher-Oemler
Tidal Harrassment
Meio Intra-Aglomerado
Matéria Escura
Lentes Gravitacionais
Bullet Cluster



Bullet Cluster

- ▶ colisão entre aglomerados de galáxias
- ▶ Galáxias são pouco afetadas durante a colisão, já o gás interage eletromagneticamente e é freado
- ▶ Caso não existisse matéria escura, os efeitos de lentes gravitacionais acompanhariam o gás (que contém a maior parte da matéria bariônica de um aglomerado)