



Curso de mestrado  
em Ensino de Física  
1 de junho de 2010



# Matéria Escura no Universo

Martin Makler  
ICRA/CBPF





Curso de mestrado  
em Ensino de Física  
1 de junho de 2010



# O Lado Escuro do Universo

## Episódio I

“O único mistério do Universo é o mais e não o menos. [...]  
O que existe transcende para mim o que julgo que existe.”

[O Único Mistério Do Universo, Poemas Inconjuntos]

*Alberto Cuervo*

# Galáxias



Galáxia espiral



Galáxia elíptica

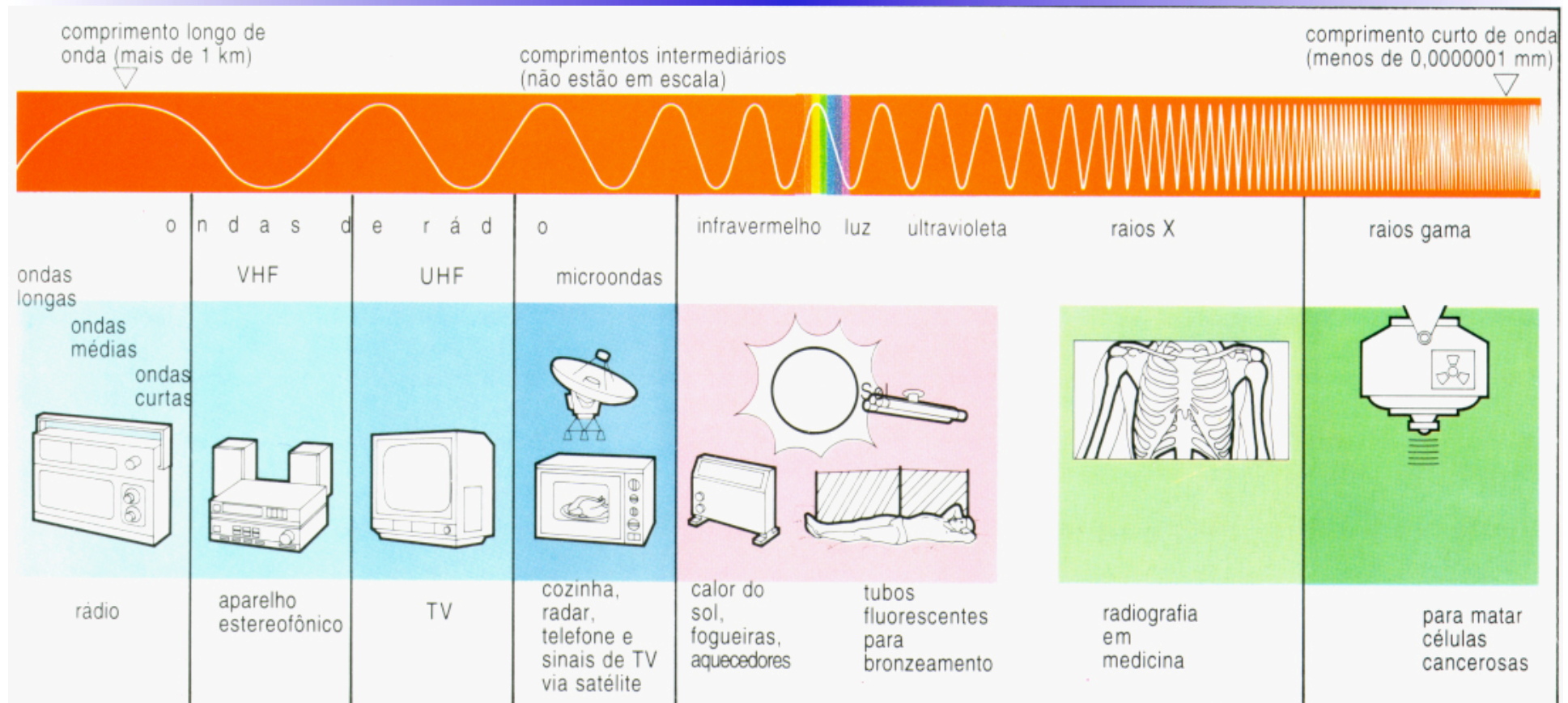


# A natureza da luz



O espectro da luz

# Espectro Eletromagnético

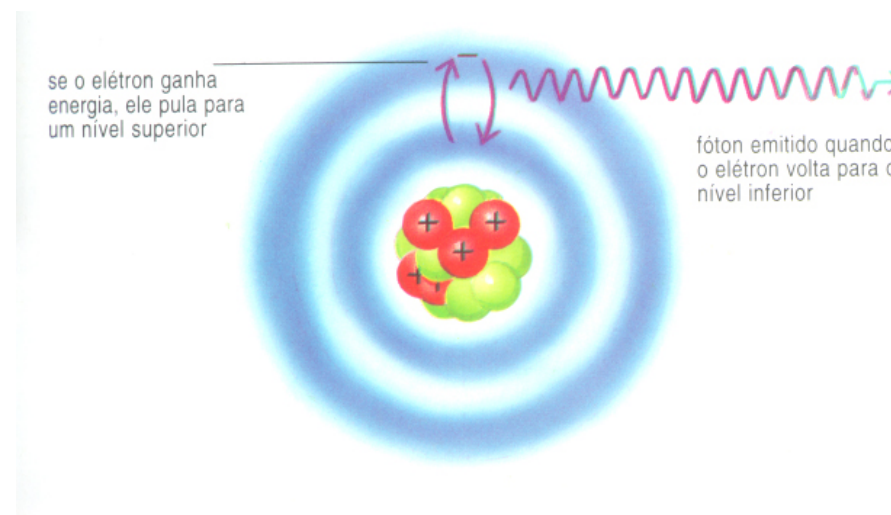


- Hoje o universo é observado em todos os comprimentos de onda
- Espectro típico: corpo negro + linhas de absorção e emissão

# Espectro de Linhas



Linhas de absorção devido à presença de gás



# Espectro de Linhas

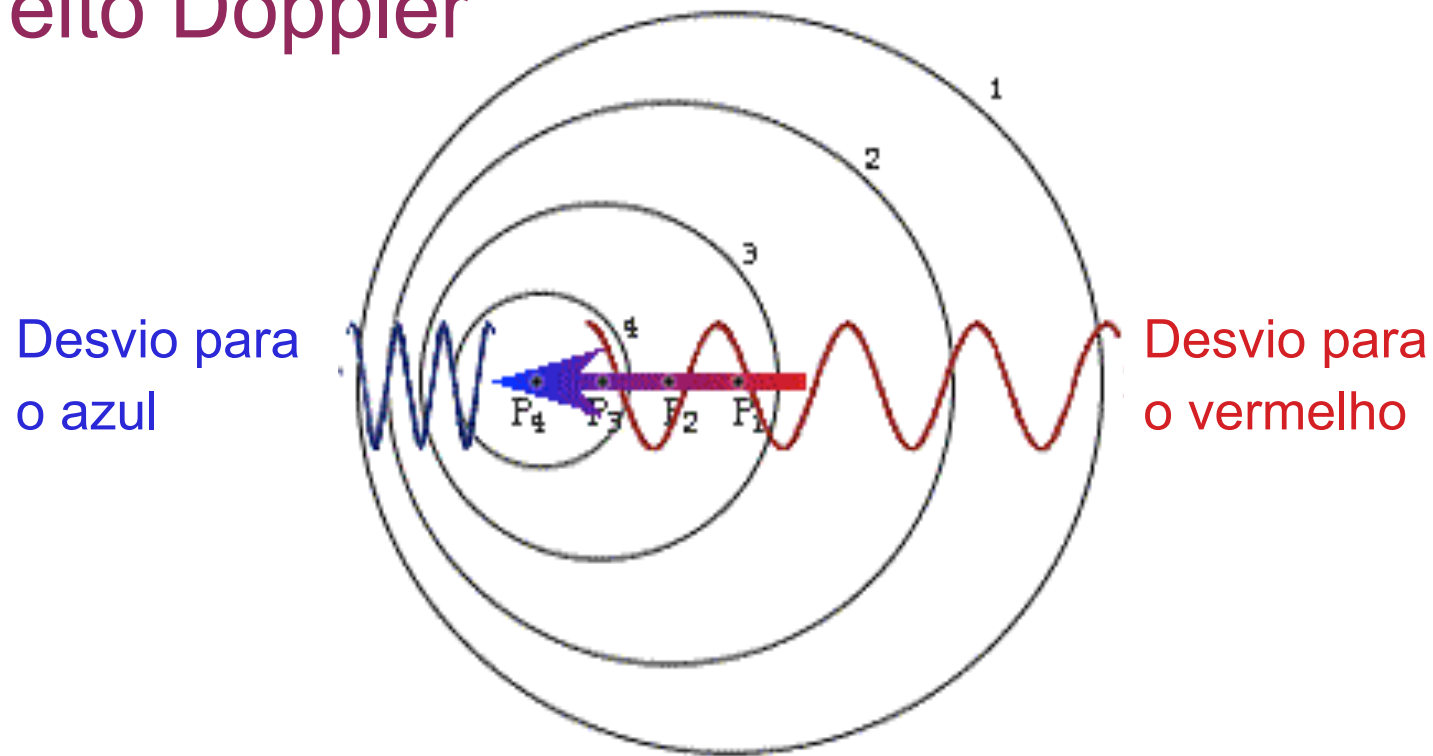


Linhas de absorção devido à presença de gás

- Cada elemento químico possui linhas características
- Instrumento central em Astronomia
  - Composição química....
  - e
  - Velocidade!

# O Desvio para o Vermelho

- Efeito Doppler



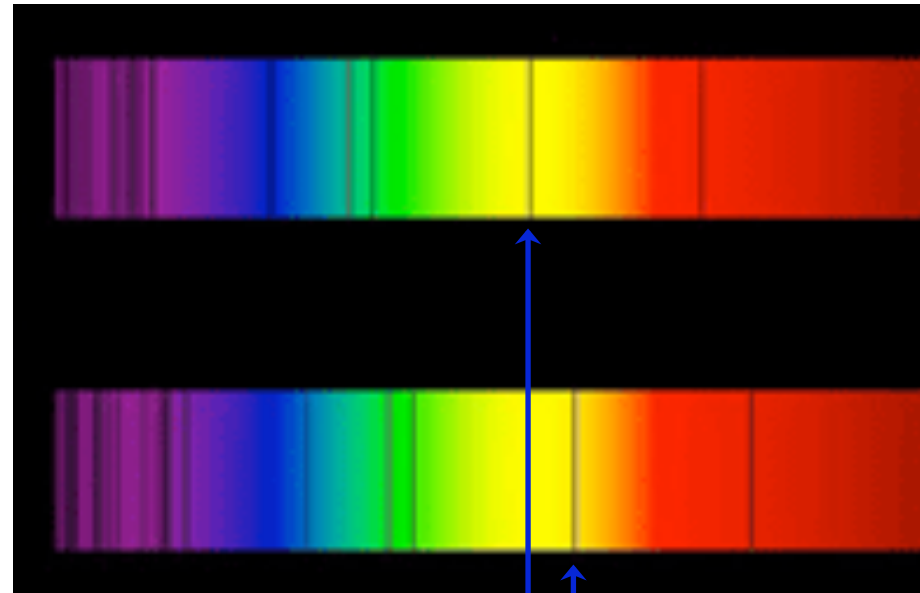
$$z := \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \approx v/c, \text{ para } v \ll c$$



# O desvio para o vermelho

Espectro “de referência”

Espectro observado



$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e}$$

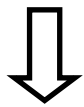
$\lambda_e$   
 $\lambda_r$

# A Matéria Escura em Galáxias

## ● Curvas de rotação de galáxias

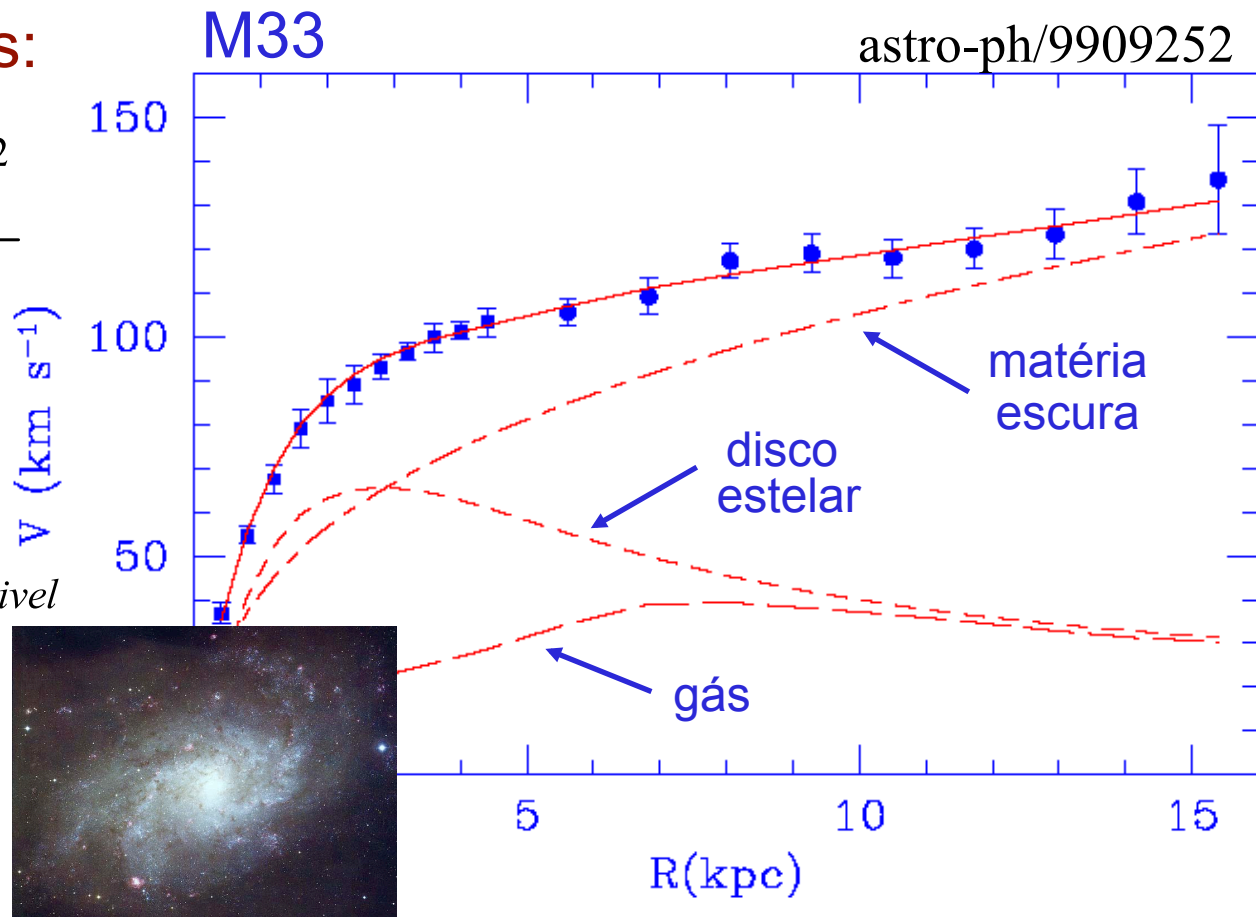
Estimativa simples:

$$G \frac{M(r)}{r^2} = \frac{[V(r)]^2}{r}$$



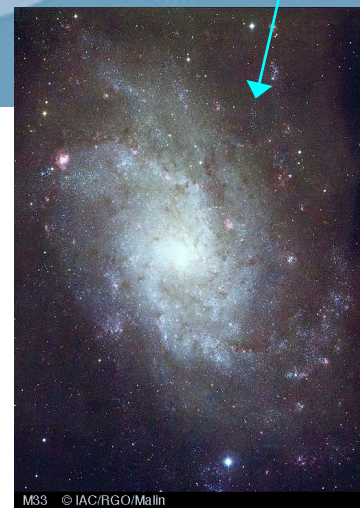
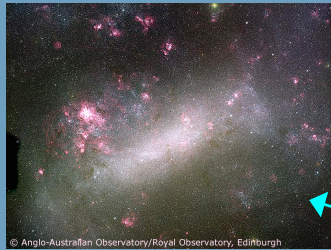
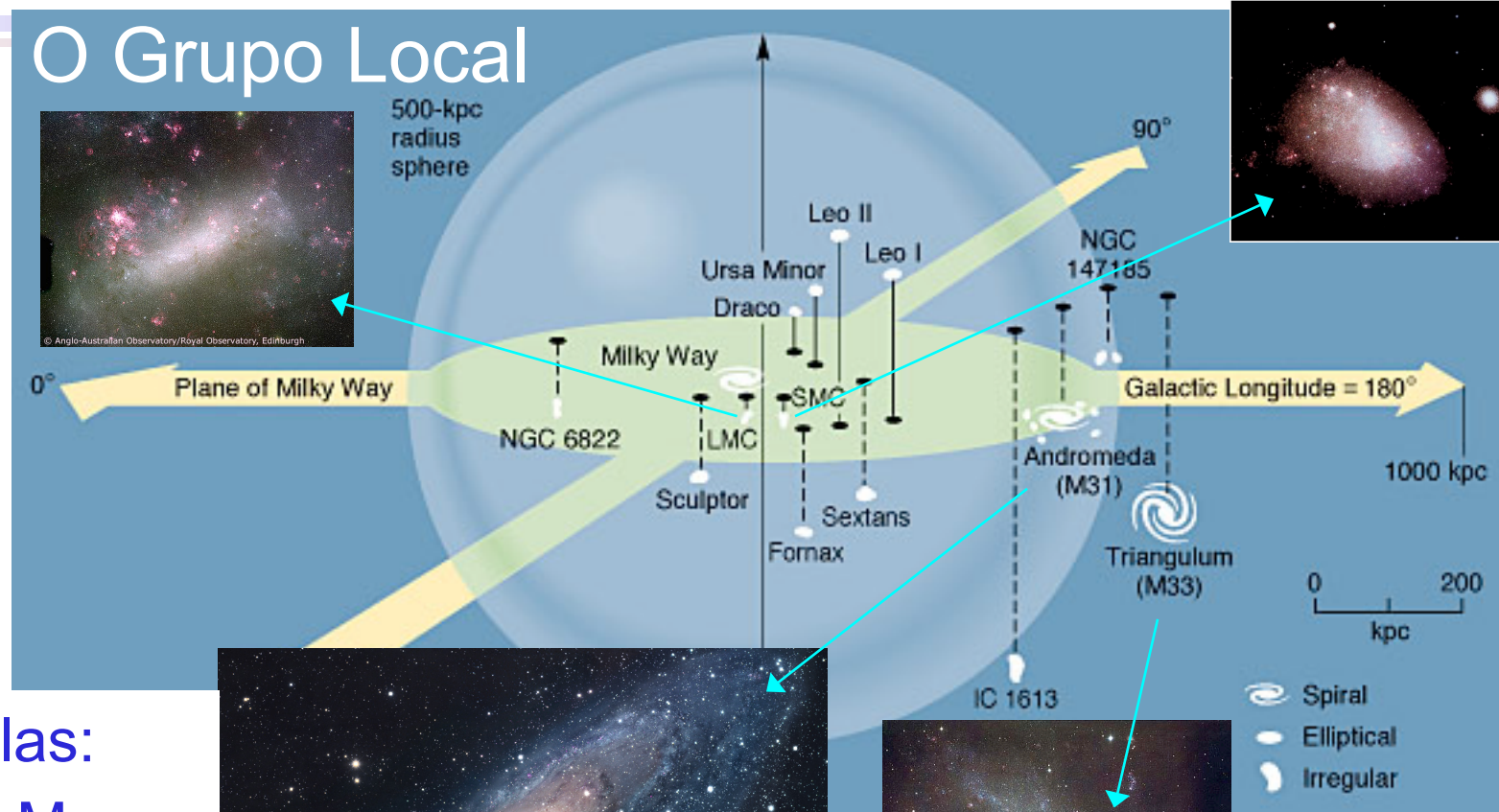
$$M_{Halo} \approx 3 - 10 M_{Visivel}$$

Matéria escura é menos concentrada



# Nossa Vizinhaça

## O Grupo Local

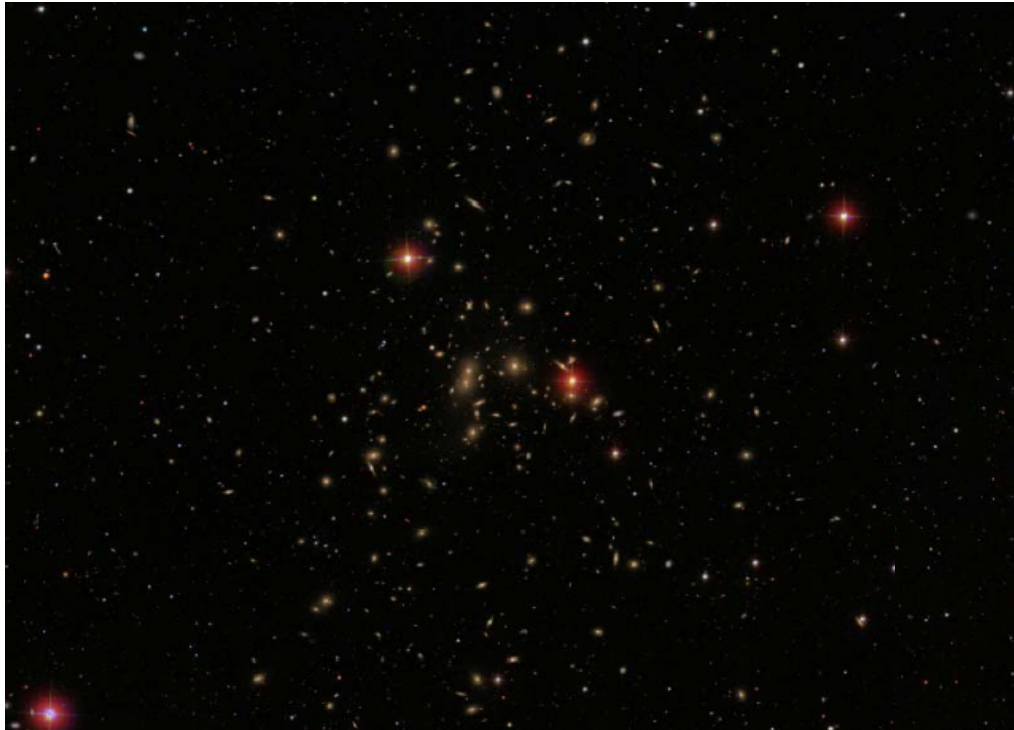


Escalas:  
 $L \sim 1 \text{ Mpc}$   
 $M \sim 10^{13} M_{\odot}$   
 $N_{\text{gal}} \sim 10$

Tamanhos fora de escala



# Aglomerados de Galáxias

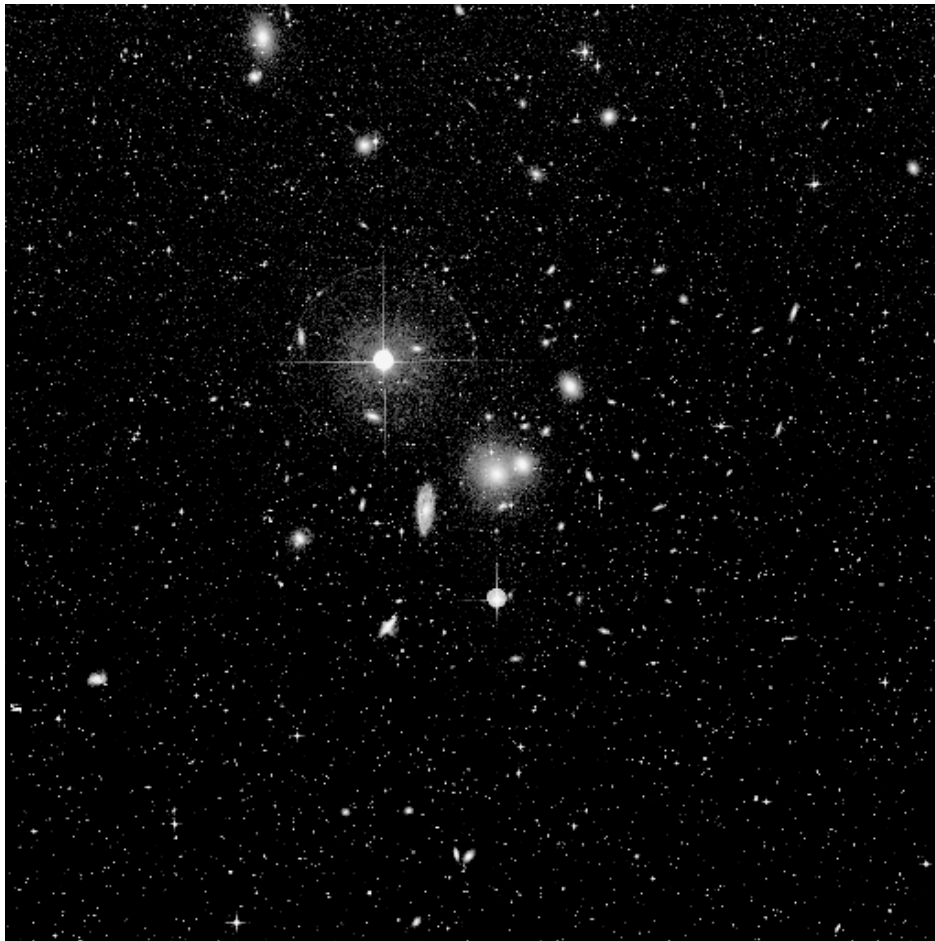


Aglomerado no SDSS

Região qualquer do céu



# Aglomerados de Galáxias



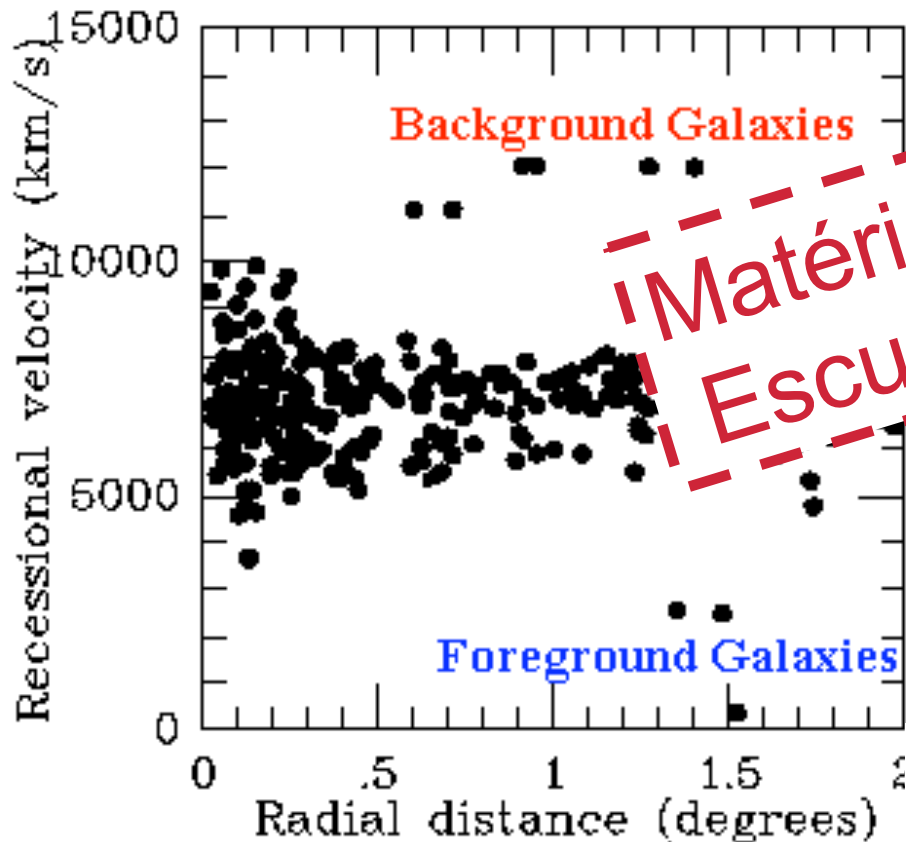
Aglomerado de Hydra



Aglomerado de Coma

# Matéria escura

- Dispersão de velocidades em aglomerados (Zwicky 1934)



Teorema do Virial

$$2\langle E_K \rangle = -\langle E_G \rangle$$



$$\frac{1}{2} \sum_i m_i v_i^2 \sim -\frac{1}{2} \left( -\frac{1}{2} \frac{GM^2}{R} \right)$$

$$M \sim \frac{2Rv^2}{G}$$

Aglomerados precisam de mais massa para “segurar” as galáxias

# Gás quente em aglomerados

## Gás intra-aglomerado

$T \sim 10.000.000 \text{ } ^\circ\text{C}$

→ emissão de raios-x

## Equilíbrio hidrostático

$$\nabla\phi = -\frac{1}{\rho}\nabla p$$

→ temperatura depende da massa

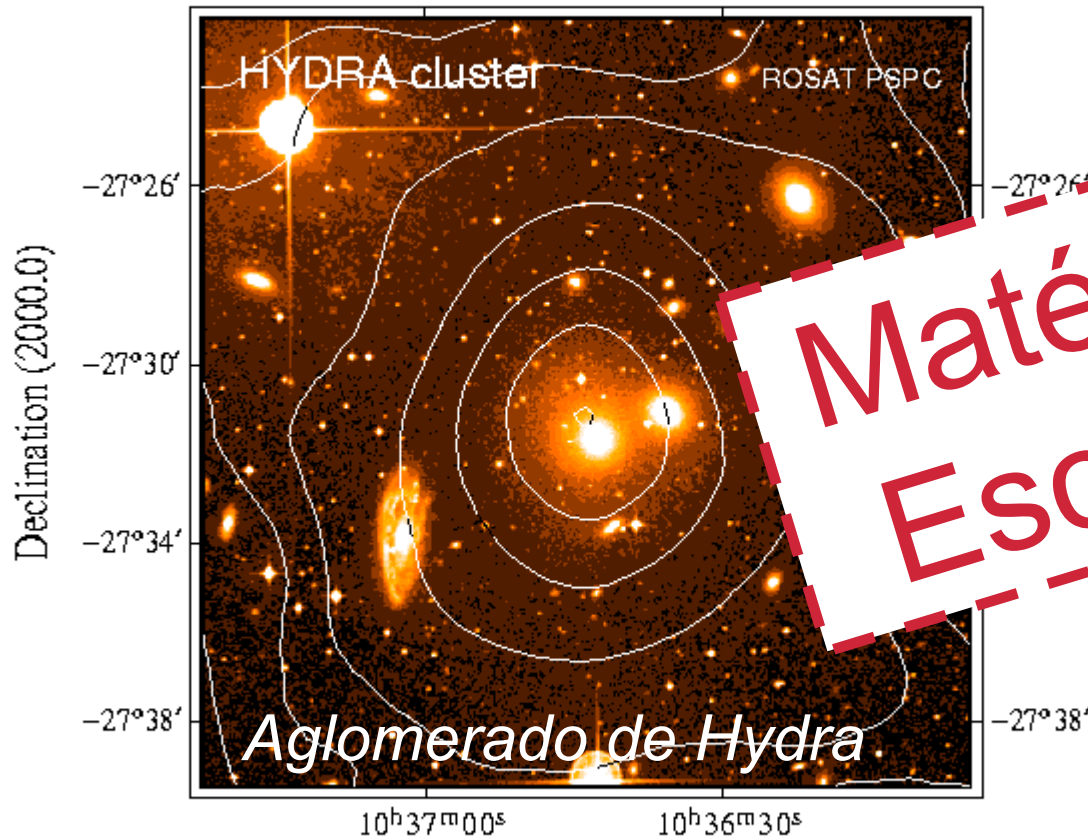
Exemplo  $\rho(r) = \frac{kT_e}{2\pi Gm_e r^2}$



Hydra no ótico

# Aglomerados em Raios-X

O gás é distribuído de forma mais uniforme



Hydra em raios x

**Matéria Escura**

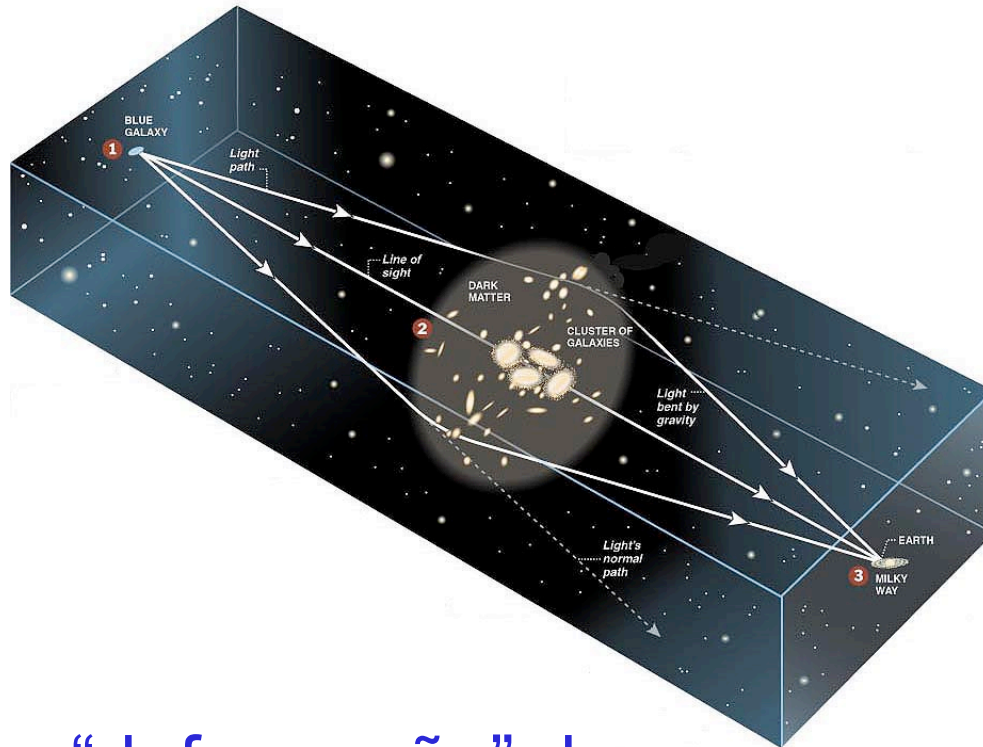


$$M_{\text{gás}} \sim 20 \times M_{\text{estrelas}}$$

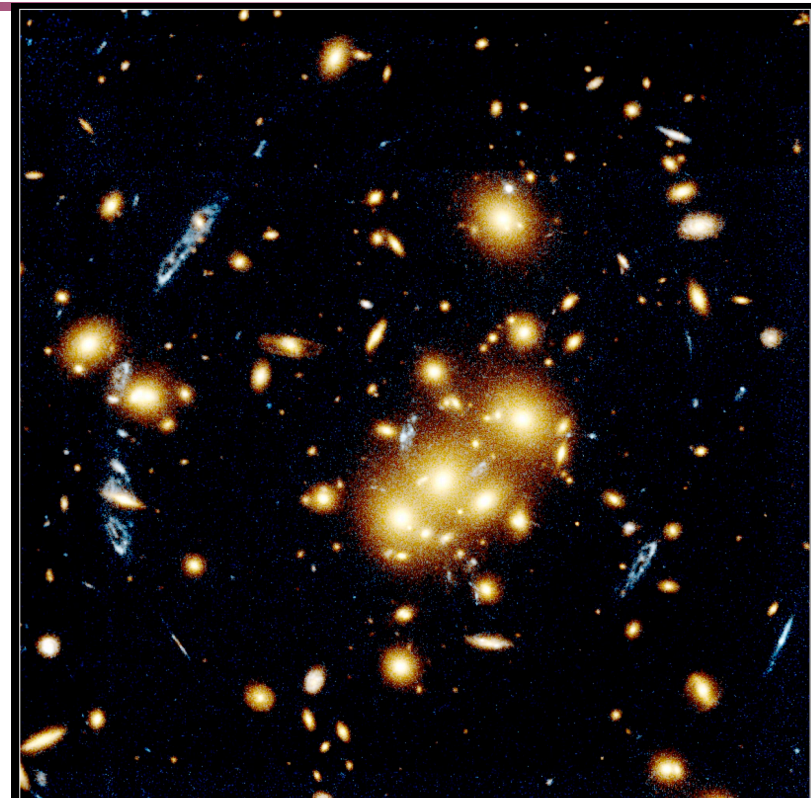
Ainda assim matéria escura é 80%



# Lentes Gravitacionais



“deformação” da trajetória da luz pelo espaço-tempo curvo



**Gravitational Lens**  
**Galaxy Cluster 0024+1654**  
Hubble Space Telescope • WFPC2

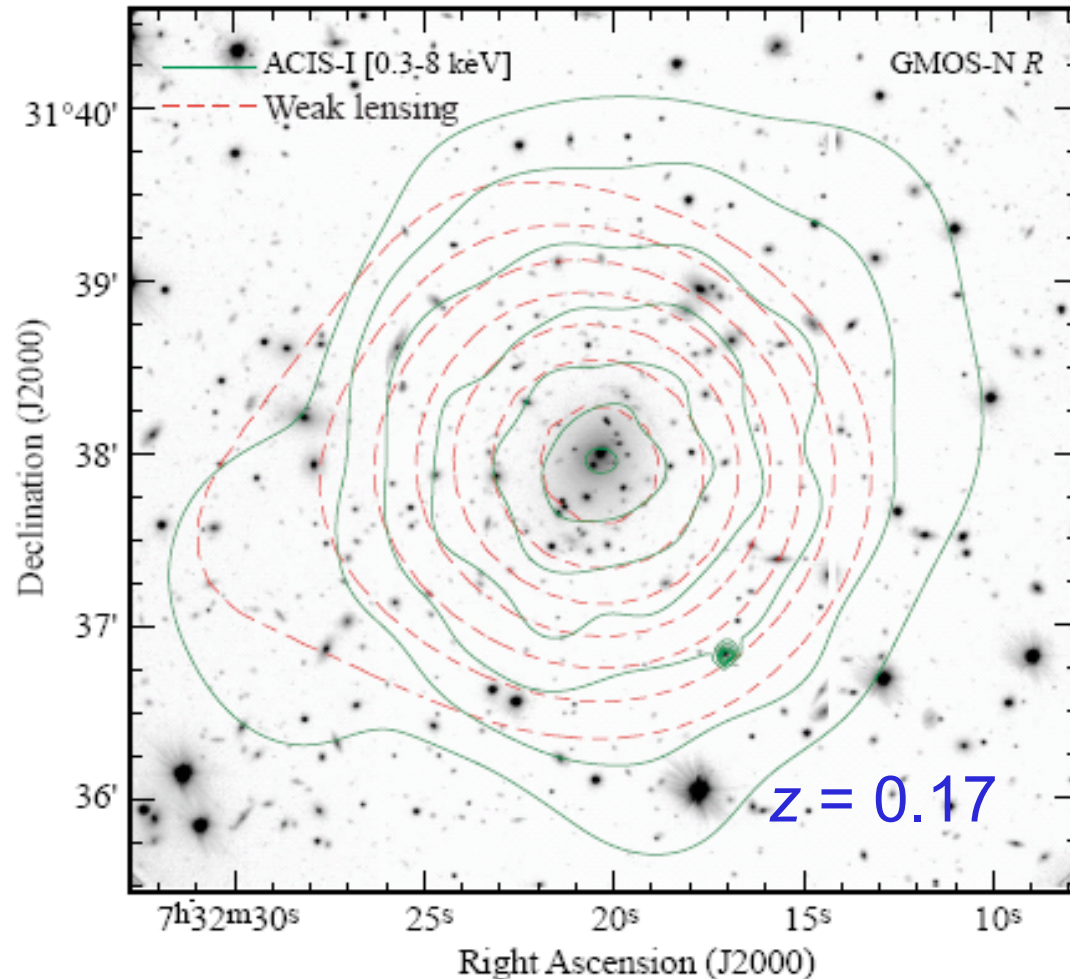
# Lentes Gravitacionais

- ⊙ Deformação (e magnificação) das imagens de galáxias de fundo
- ⊙ Orientações na direção tangencial
- ⊙ Efeito estatístico
- ⊙ A matéria escura é menos concentrada



Matéria  
Escura

# Comparação entre medidas da matéria escura em aglomerados



E. S. Cypriano, et al., astro-ph/0504036

## Distribuição de massa

- efeito fraco de lente gravitacional
- emissão de raios-x
- dispersão de velocidades

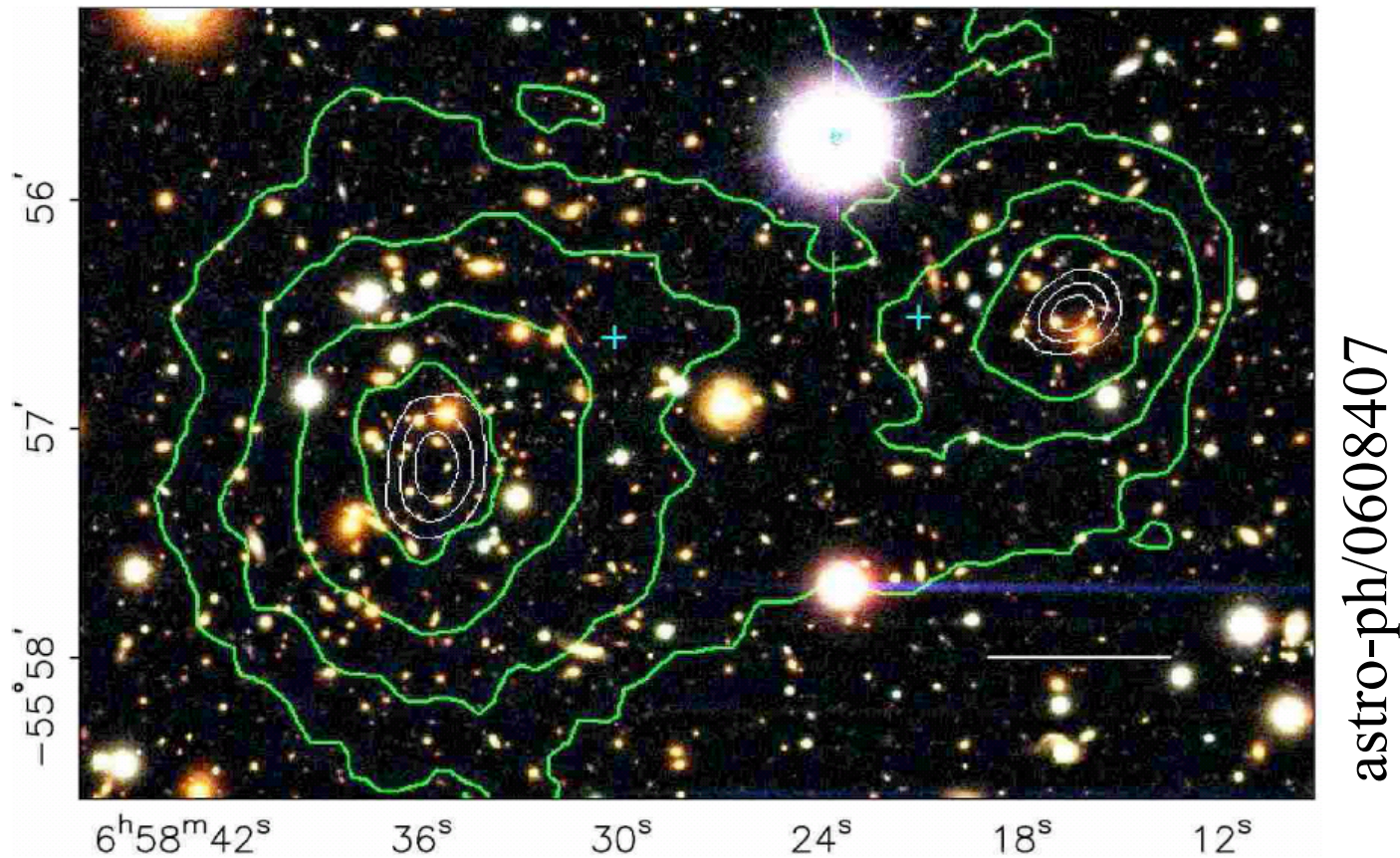
→ concordam em  $\sim 20\%$   
(para aglomerados relaxados)

**Matéria escura  
domina!**

**Matéria escura é  
menos concentrada**

# O Aglomerado da bala

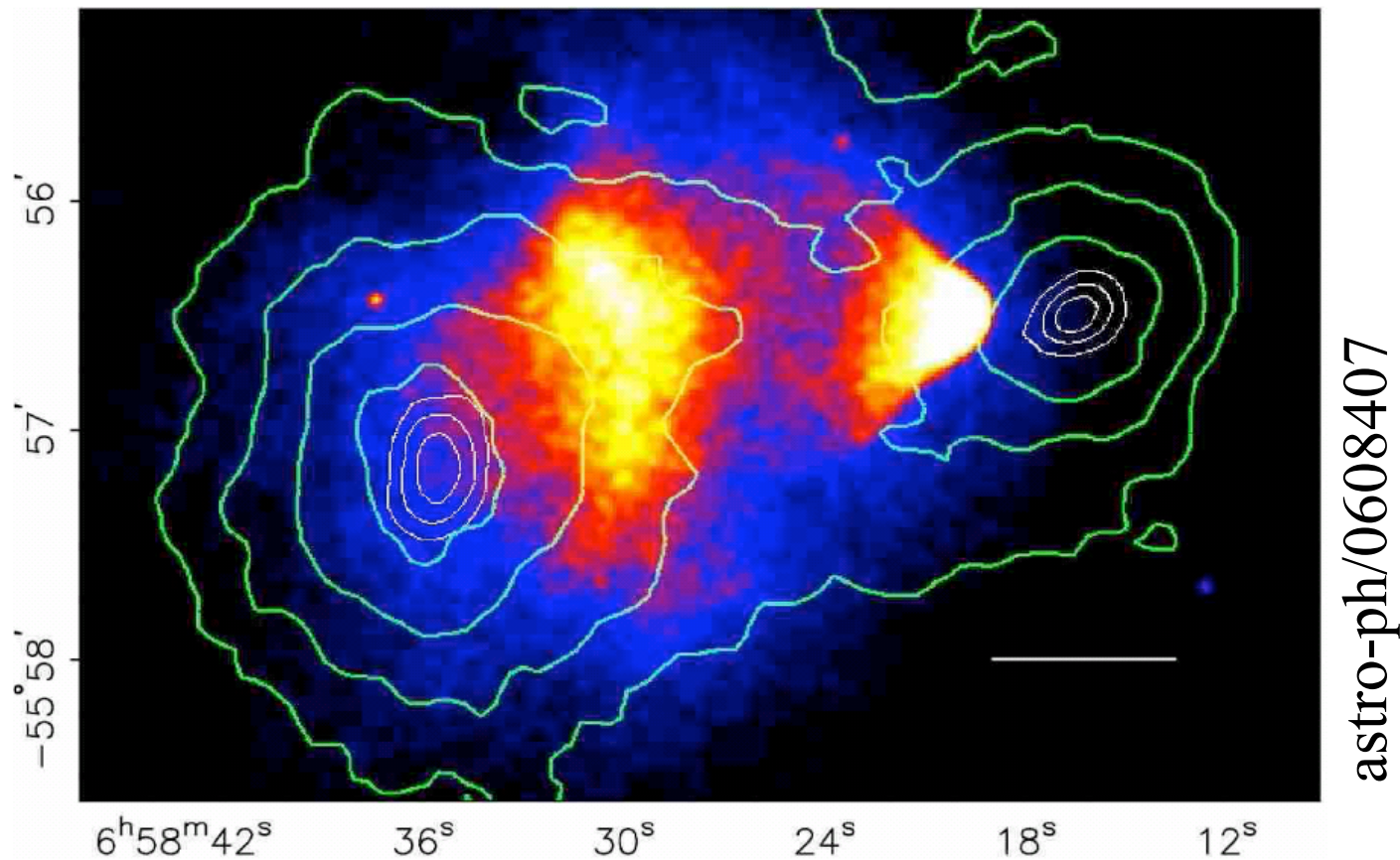
- Imagem ótica + sinal de lentes



Reconstrução da massa com lenteamento gravitacional

# Evidência para a matéria escura

- Distribuição do gás (maior parte da matéria bariônica)



Desvio de  $8\sigma$  nos centros das distribuições

# Anel de matéria escura

- Óticos  
(HST)  
+ lenteamento  
fraco





# Matéria Escura no Universo

## Evidências:

- Curvas de rotação de galáxias
- Movimentos de galáxias e aglomerados (virial e grande escala)
- Fluxos de raios-X em aglomerados
- Lentes gravitacionais
- Efeito Sunyaev-Zel'dovich

Há ~5x mais *matéria escura* que matéria usual!

**Não Bariônica:** Não interage com a matéria bariônica  
(não dissipa nem emite luz, sem reações nucleares)

■ estruturas, *bullet*, nucleossíntese...

## Onde está a matéria “ordinária”?

- Matéria visível (estrelas): 10%
- A maior parte da matéria bariônica é “escura” (gás, planetas, BN)



# Matéria Escura no Universo

## Evidências:

- Curvas de rotação de galáxias
- Movimentos de galáxias (em escala)
- Fluxos de galáxias

● Há

● Não

● Onde

● Mat

● A maior

**A matéria escura é a componente -  
que se aglomera - dominante da  
densidade de massa do Universo**

**O universo é mais homogêneo do que  
parece olhando apenas as galáxias  
(estrelas): 10%**

**“matéria”?**

**A maior parte da matéria bariônica é “escura” (gás, planetas, BN)**



---

# Obrigado!

