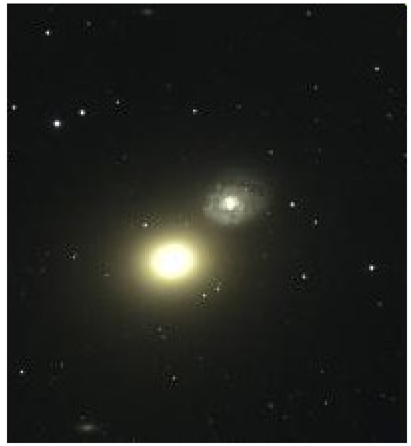
7. Galáxias Elípticas

M49 = NGC4472
(no aglomerado de Virgo)

M49

M60



M32

M59

M84

M86

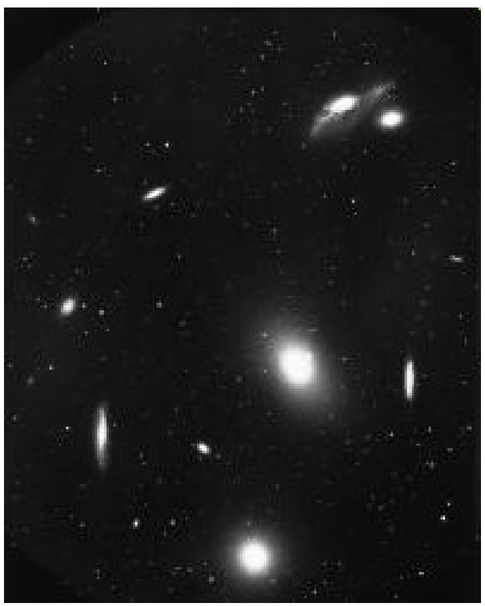
M87

M89

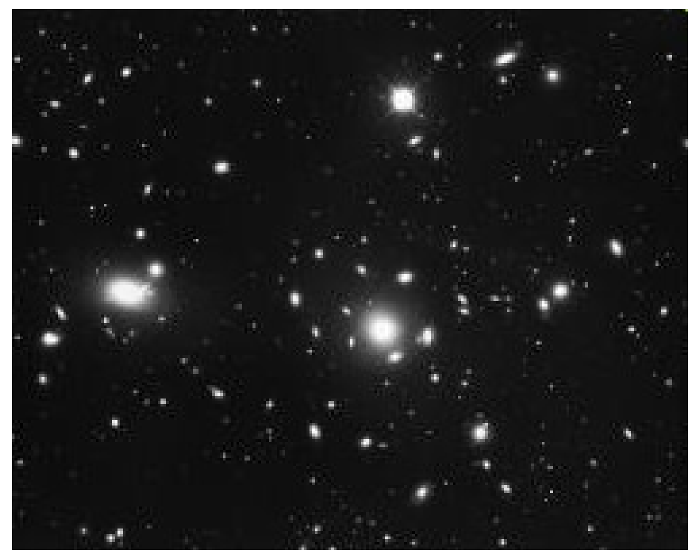
M105

M110 = NGC205

NGC 1132



Virgo



Coma

Generalidades:

- Galáxias Elípticas: E
- Sistemas esferoidais dinâmicamente relaxados
- Pouco gás e poeira
- Dominadas por estrelas velhas
- Sustentadas dinâmicamente pela dispersão de velocidades σ; mas para algumas a rotação é importante
- As menos luminosas tendem a ter mais rotação que as mais luminosas

Perfis de Brilho

- Caracterizam a distribuição de estrelas e podem revelar detalhes estruturais
- Perfis radiais: variação do brilho superficial em função da distância ao centro da galáxia- podem ser medidos ao longo de certas direções ou em isofotas
- Adotam-se algumas expressões empíricas para descrever os perfis

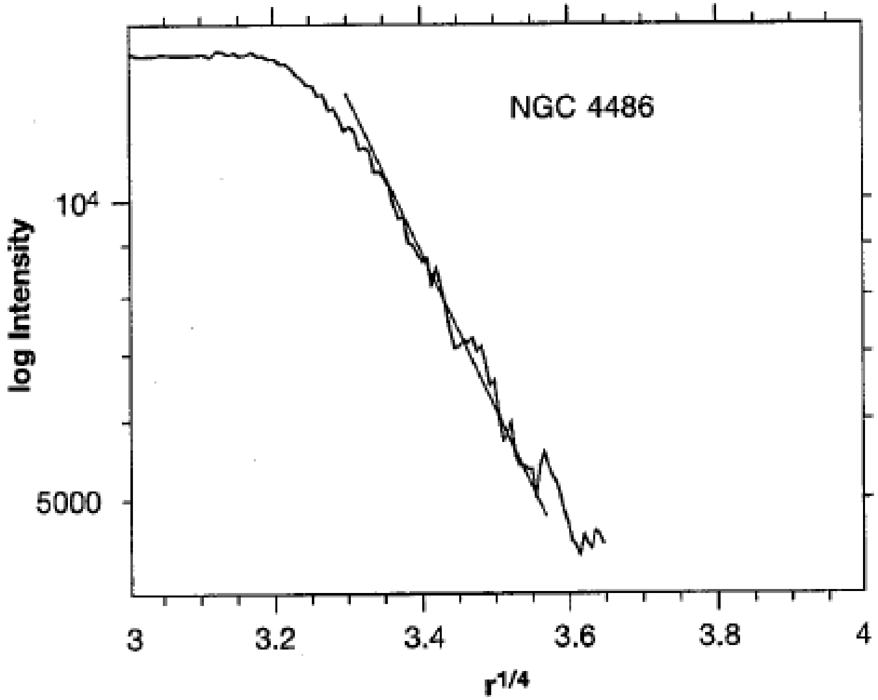
Perfil de de Vaucouleurs (ou lei do $r^{1/4}$)

- Brilho superficial (densidade superficial de luminosidade) no raio r:
  $\Sigma(r) = \Sigma_e \exp\{-7.67 [(r/r_e)^{1/4} - 1] \}$

  r_e: raio efetivo- raio que contém metade da luminosidade da galáxia

  Σ_e: brilho superficial em $r = r_e$

Perfil de brilho de NGC4486 (=M87):
a reta corresponde a um perfil
de de Vaucouleurs



Perfil de de Vaucouleurs (ou lei do $r^{1/4}$)

- Luminosidade total:

  $L_T = 2\pi \int_0^\infty \Sigma(r)\, r\, dr = 8!\, \exp(7.67)\, \pi\, r_e^2\, \Sigma_e / 7.67^8 \approx 7.22\, \pi\, r_e^2\, \Sigma_e$

- Brilho superficial central, $\Sigma(r=0)$:

  $\Sigma_0 = \Sigma_e \exp(7.67) \approx 2143\, \Sigma_e$

  como o brilho superficial (em mag arcsec^{-2}) é $\mu \propto -2.5 \log \Sigma$,

  temos que $\mu_0 \approx \mu_e - 8.33$

- Exemplo: para uma E gigante $\mu_0^B \approx 17$ mag arcsec^{-2}

  logo $\mu_e^B \approx 25.3$ mag arcsec^{-2}

- Note que $2\pi \int_0^{re} \Sigma(r)\, r\, dr = L_T / 2$

Desvios do perfil de de Vaucouleurs

- O perfil de de Vaucouleurs não se aplica às regiões centrais:

  em algumas galáxias o perfil se achata (*core*); em outras apresenta um crescimento forte (*cusp*)

  - esse comportamento depende da luminosidade: *cusps* são encontrados principalmente em E de baixa luminosidade e os *core* nas de alta luminosidade (observações do HST)
- Algumas galáxias apresentam uma concentração de luz no centro: núcleo ativo

- Problema para determinar o perfil na região central: o *seeing*

  - *seeing*: o "borramento" na imagem produzido pela turbulência atmosférica

  - PSF: *point spread function* (função de espalhamento do ponto)-

  perfil observado de uma fonte puntual (como uma estrela)

  - em primeira aproximação a PSF é uma gaussiana

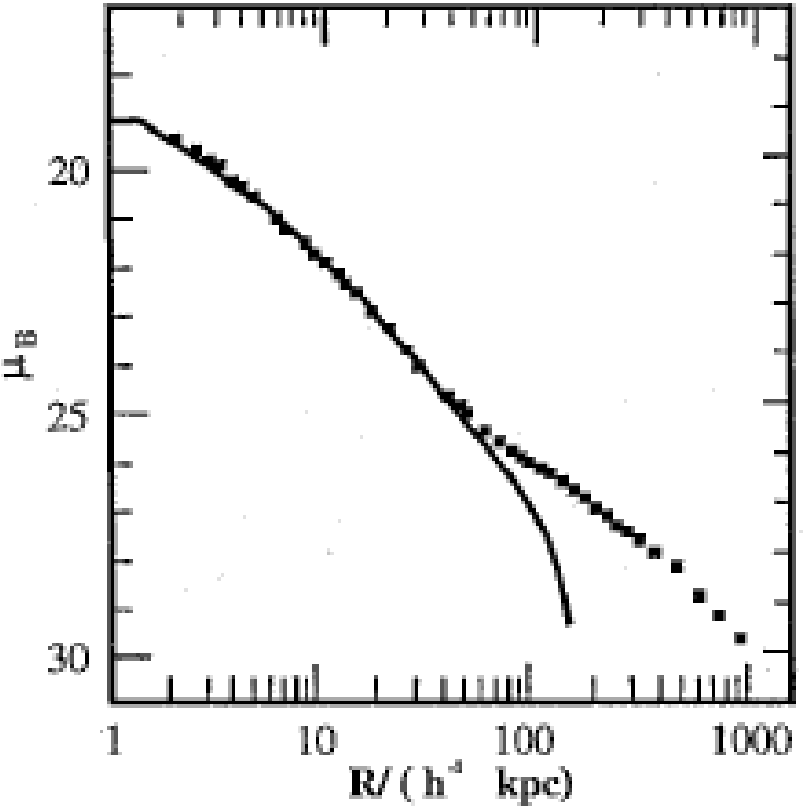
  - o *seeing* é medido pela largura à meia altura da PSF

  (FWHM: *full-width at half maximum*)

  - Imagem observada de uma galáxia: pode ser descrita como uma convolução da imagem acima da atmosfera com a PSF

Desvios do perfil de de Vaucouleurs

- Desvios nas regiões mais externas: truncamentos e extensões
  produzidos por interações?
- Truncamentos: remoção das estrelas da parte externa por interações (forças de maré) com outras galáxias
- Galáxias cD: apresentam um excesso de brilho em relação à lei de de Vaucouleurs
  - são encontradas quase sempre no centro de aglomerados de galáxias
  - o excesso provavelmente é devido a estrelas removidas de outras galáxias de galáxias canibalizadas pela cD



Perfil de brilho superficial da galáxia cD no centro do aglomerado Abell 1413

Perfil de Sérsic

- O perfil de de Vaucouleurs é um caso particular do perfil de Sérsic:

  $\Sigma(r)=\Sigma_e \exp\{-b[(r/r_e)^{1/n} - 1]\}$

  $b \approx 1.999 \times n - 0.327 \quad (n>1)$

  - *n=4*: lei de de vaucouleurs com *b=7.67*
  - *n=1*: perfil exponencial, com *b=1.67*

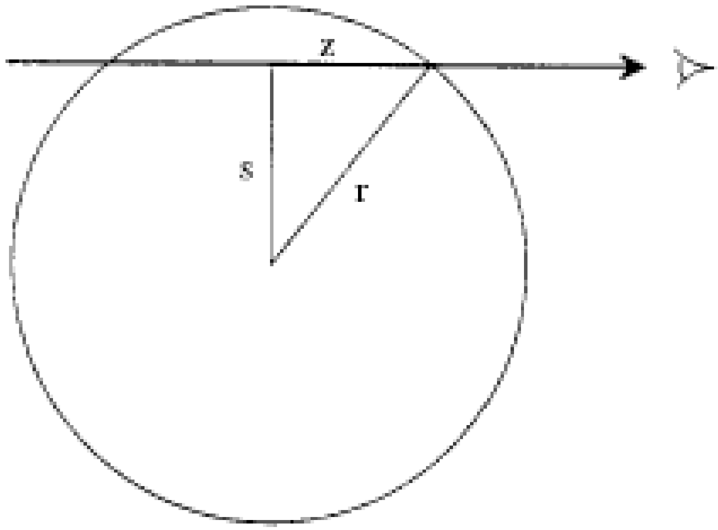
  quanto maior *n,* mais devagar o perfil cai com o raio

- O perfil parece depender da luminosidade:
  E pouco luminosas: *n<4*
  E muito luminosas: *n>4*

- O perfil das galáxias elípticas anãs (dE) é bem diferente do das E luminosas, sendo melhor descrito por uma exponencial

Relação entre a densidade superficial e a volumétrica

- Densidade superficial: Σ(s)
- Densidade volumétrica: ρ(r)



$$\Sigma(s) = 2\int_0^\infty \rho(r)dz$$

onde

$$r^2 = s^2 + z^2$$

é fácil verificar que

$$\Sigma(s) = 2\int_s^\infty \frac{\rho(r)rdr}{\sqrt{r^2 - s^2}}$$

esta é uma integral de Abel, cuja solução é

$$\rho(r) = -\frac{1}{\pi}\int_r^\infty \frac{d}{ds}\left(\Sigma(s)\right)\frac{ds}{\sqrt{s^2 - r^2}}$$

Perfis azimutais de brilho

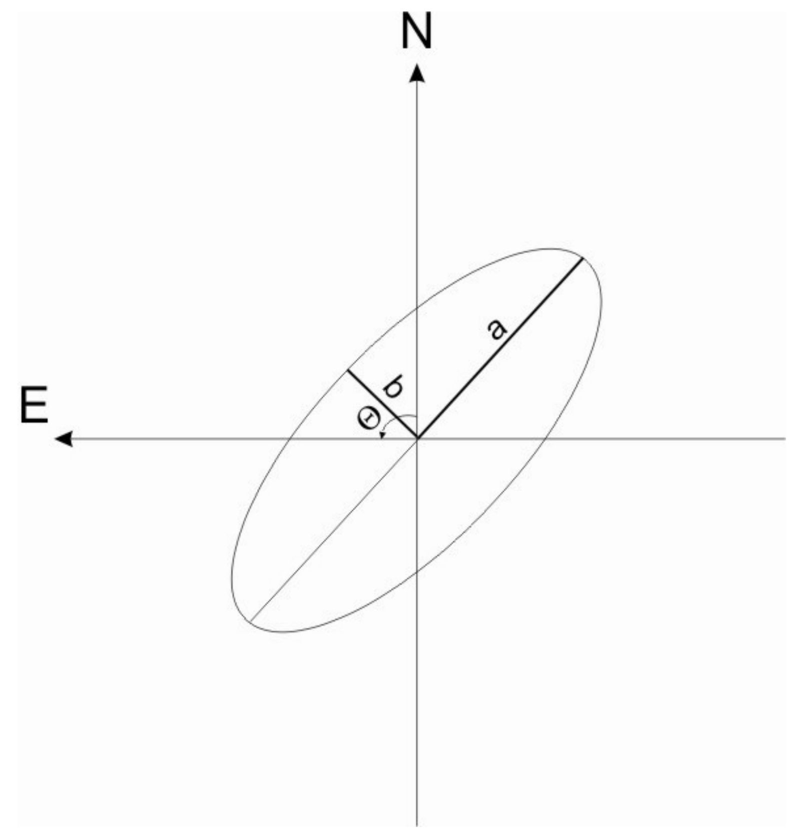
- Em primeira aproximação as isofotas de E são elípticas

  - a, b: semi-eixos maior e menor da elipse

  - elipticidade: $\varepsilon = 1 - b/a$

  - excentricidade: $e = (1-b^2/a^2)^{1/2}$

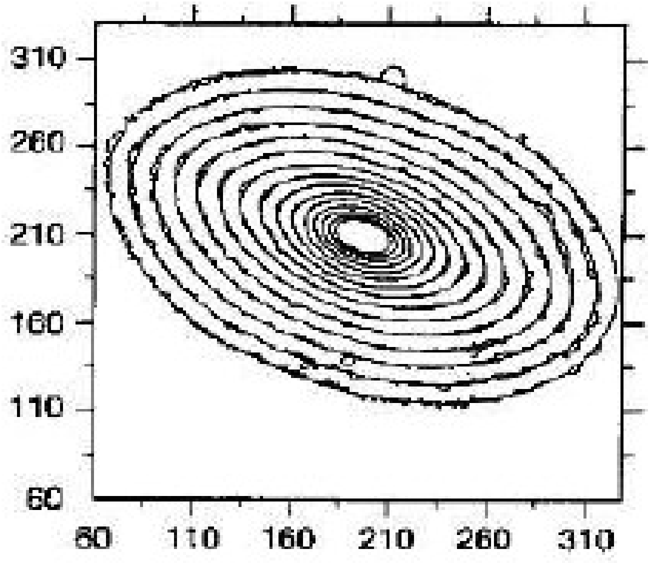
  - ângulo de posição do eixo maior: θ (geralmente medido do Norte para Este)



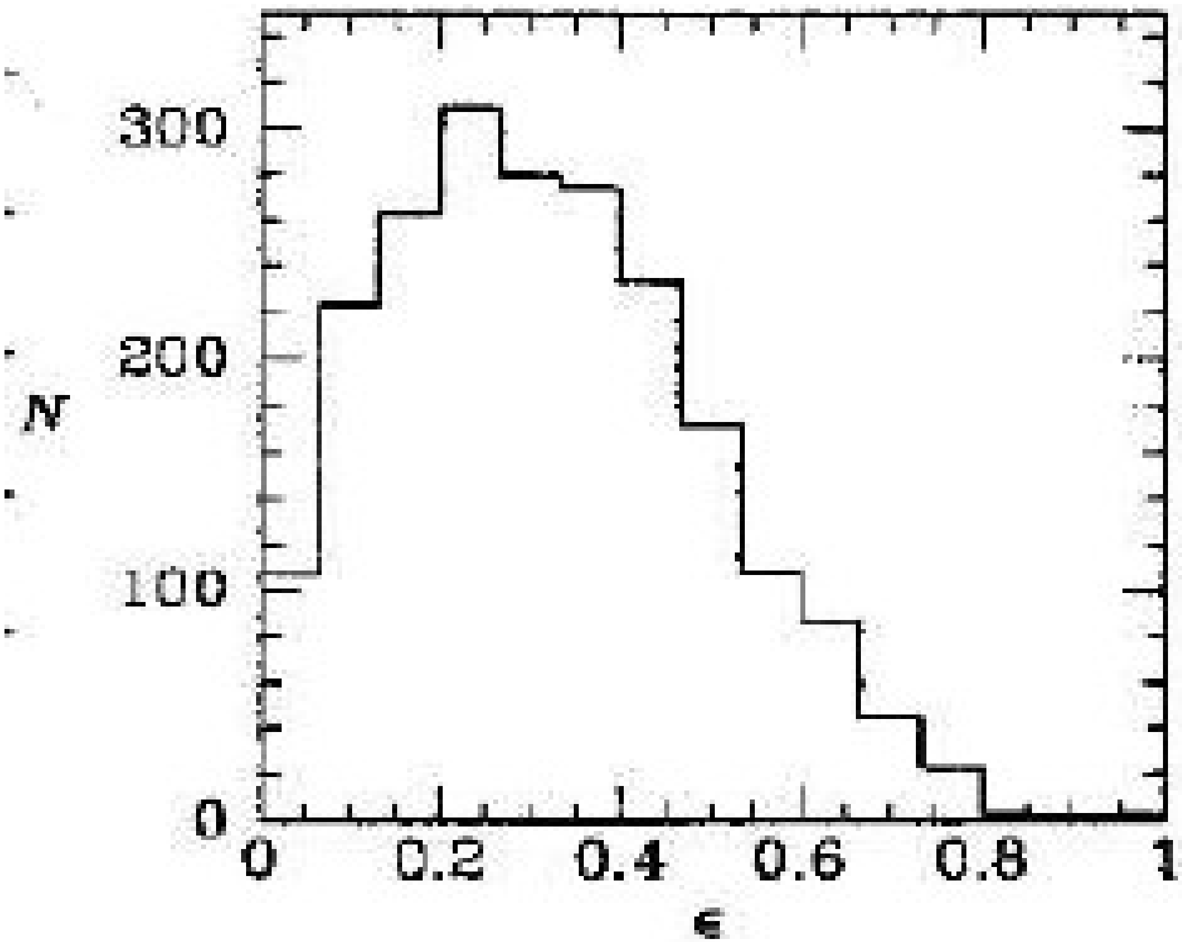
Perfis azimutais de brilho

- Em primeira aproximação as isofotas de E são elípticas

Mapa isofotal de NGC4697



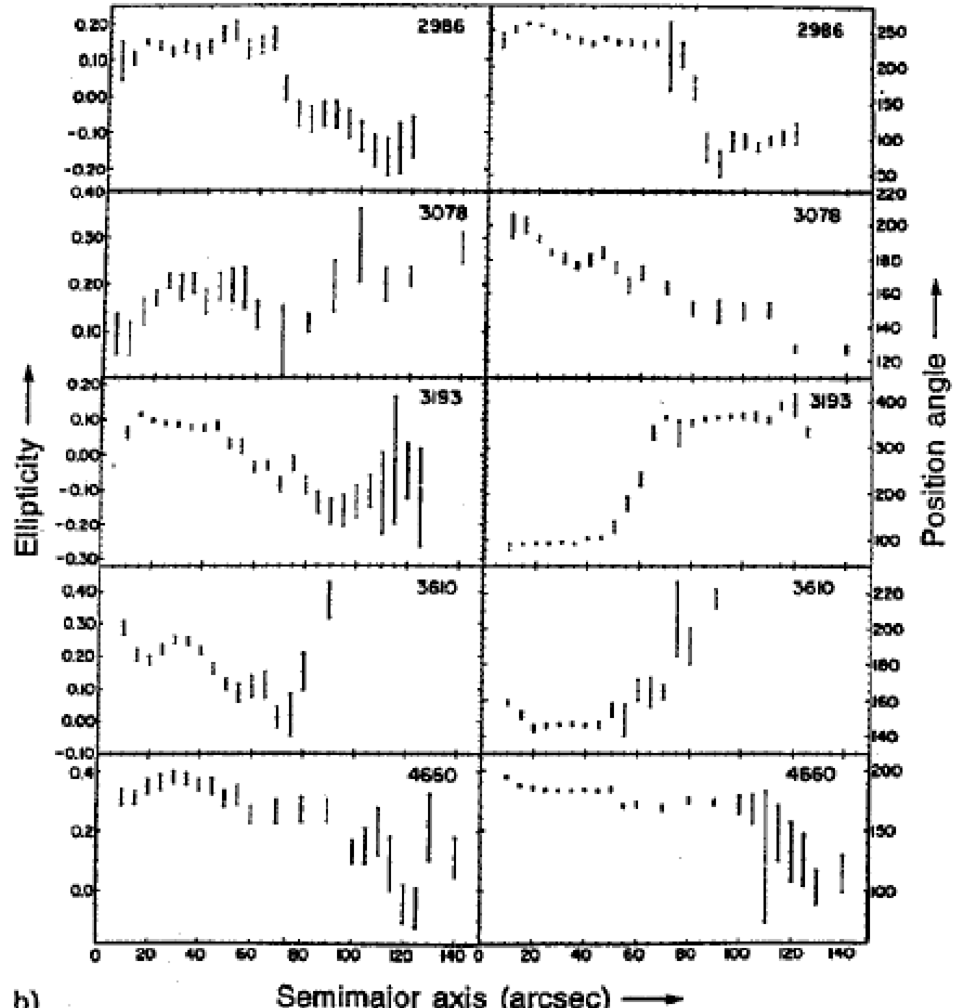
Perfis azimutais de brilho



Distribuição de elipticidades no raio efetivo

Perfis azimutais de brilho

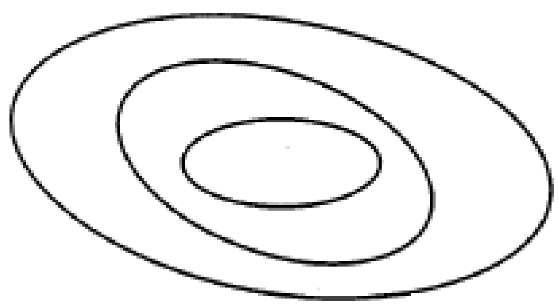
- Em geral ε e θ variam com o raio- *isophotal twisting*



Forma tridimensional

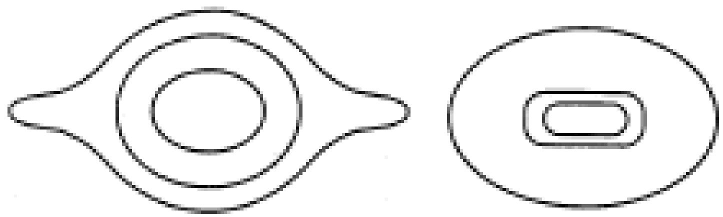
- Vamos supor que as E são elipsóides, com semi-eixos *a, b, c*
  $x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = r^2$
- Elipsóides oblatos: tipo abóbora: $a=b>c$
- Elipsóides prolatos: tipo charuto: $a>b=c$
- Elipsóides triaxiais: *a,b,c* diferentes entre si

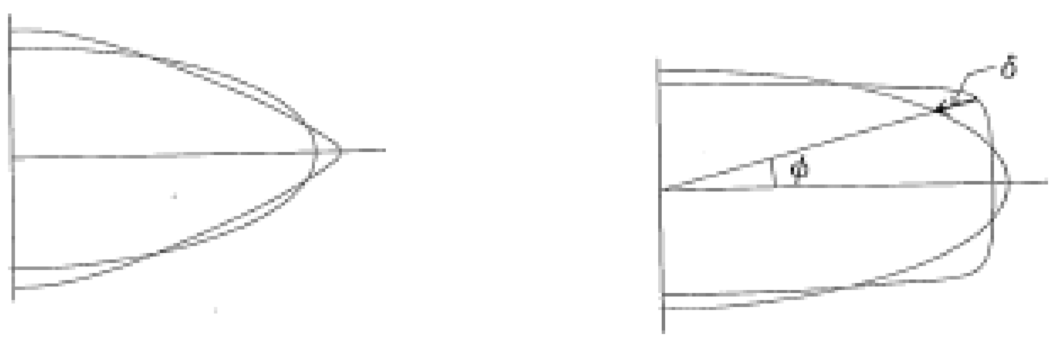
  as variações de elipticidade e ângulo de posição com o raio são evidências de que as E são, na maioria, *triaxiais*



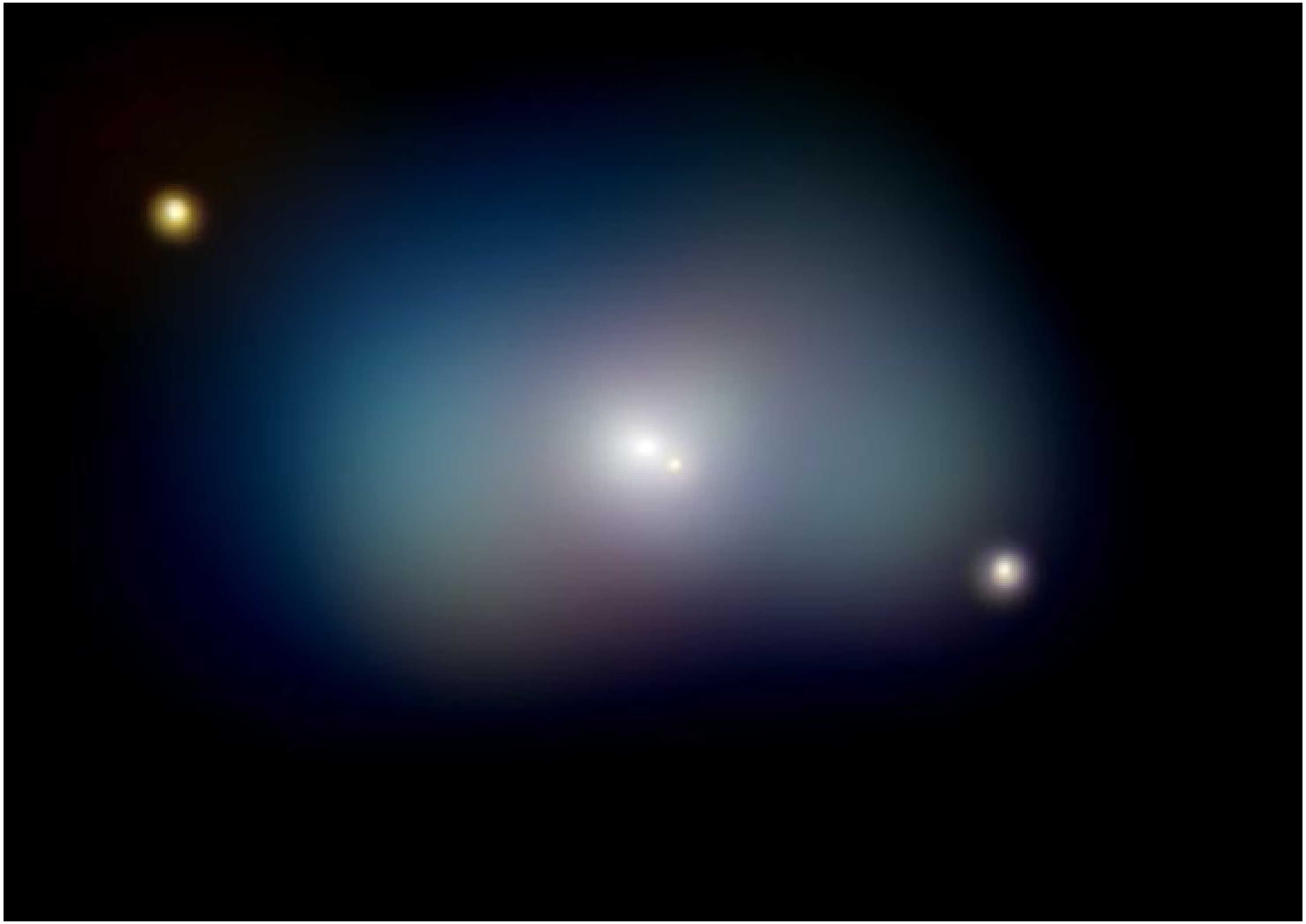
Desvios da elipticidade

- Algumas E têm isofotas “pontudas”: tipo disco
- Algumas E têm isofotas “achatadas”: tipo caixa
- As E tipo disco tendem a ter mais rotação que as tipo caixa





NGC 1700: Elliptical Galaxy and Rotating Disk



Property	Boxy ($a_4 < 0$)	Disky ($a_4 > 0$)
Luminosity	high : $M_B < -22$	low : $M_B > -18$
Rotation Rate	slow/zero : $(V_r / \sigma)^* < 1$	faster : $(V_r / \sigma)^* \sim 1$
Flattening	velocity anisotropy	rotational
Rotation Axis	anywhere	photometric minor axis
Velocity Field	anisotropic	nearly isotropic
Shape	moderately triaxial	almost oblate
Core Profile	cuspy core	steep power law
Core Density	low	high
Radio Luminosity	radio loud and quiet 10^{20} - 10^{25} W/Hz	radio quiet < 10^{21} W/Hz
X-ray Luminosity	high	low

Cores e populações estelares

- E são vermelhas: dominadas por uma população estelar velha (> alguns Ganos)
  a maior parte da luz vem de gigantes vermelhas
  (B-V) ≈ 0.9

- Meio interestelar: as E têm pouco gás comparadas com as espirais

- HI – detectado pela emissão em 21 cm
  - 10-15% das E têm quantidades mensuráveis de gás, normalmente na forma de um anel ou disco
  - $M < 5 \times 10^9 M_S$

- HII – detectado via linhas de emissão (Hα, Hβ, ...)
  - $M \sim 10^3 - 10^6 M_S$, $n \sim 10^3 cm^{-3}$, $T \sim 10^4$ K

- Gás quente (detectado em raios-X): halo com
  - $M \sim 10^8 - 10^{10} M_S$, $T \sim 10^7 - 10^8$ K

- Poeira: disco ou camadas com ~ $10^4 - 10^5 M_S$

- Parte do gás e poeira vem da evolução estelar; parte vem da fusão com galáxias com gás

O teorema do virial

- Vamos modelar um sistema estelar por N massas puntuais m_i ($i=1,..., N$) interagindo gravitacionalmente
- Num instante t a massa m_i tem um vetor posição $\boldsymbol{r}_i$
- Distância entre as massas i e j: $\boldsymbol{r}_{ij} = \boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_j$
- Equação de movimento da partícula i:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = -\sum_{j \neq i} \frac{G m_i m_j \mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}^3}$$

O teorema do virial

- Vamos multiplicar os dois lados da equação de movimento por $\boldsymbol{r}_i$ e somar sobre todas as partículas:

$$\sum_i m_i \mathbf{r}_i . \ddot{\mathbf{r}}_i = -\sum_i \sum_{j \neq i} \frac{G m_i m_j \mathbf{r}_i . \mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}^3}$$

- termo do lado esquerdo:

$$\sum_i m_i \mathbf{r}_i . \ddot{\mathbf{r}}_i = \frac{d}{dt} \sum_i m_i \mathbf{r}_i . \dot{\mathbf{r}}_i - \sum_i m_i \dot{\mathbf{r}}_i^2$$

- por outro lado,

$$\sum_i m_i \mathbf{r}_i . \dot{\mathbf{r}}_i = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \sum_i m_i \mathbf{r}_i^2$$

- energia cinética do sistema:

$$T = \frac{1}{2} \sum_i m_i \dot{\mathbf{r}}_i^2$$

- momento de inércia:

$$I = \sum_i m_i \mathbf{r}_i^2$$

O teorema do virial

- Vamos multiplicar os dois lados da equação de movimento por $\boldsymbol{r}_i$ e somar sobre todas as partículas:

$$\sum_i m_i \mathbf{r}_i.\ddot{\mathbf{r}}_i = -\sum_i \sum_{j\neq i} \frac{G m_i m_j \mathbf{r}_i.\mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}^3}$$

- o termo do lado esquerdo fica:

$$\sum_i m_i \mathbf{r}_i.\ddot{\mathbf{r}}_i = \frac{1}{2}\frac{d^2 I}{dt^2} - 2T$$

- o termo do lado direito é

$$U = -\sum_i \sum_{j\neq i} \frac{G m_i m_j \mathbf{r}_i.\mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}^3}$$

- para qualquer par de partículas esta expressão terá termos do tipo

$$\mathbf{r}_i.\mathbf{r}_{ij} + \mathbf{r}_j.\mathbf{r}_{ji} = \mathbf{r}_i.\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{r}_j.\mathbf{r}_{ij} = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j).\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_{ij}^2$$

- logo, U é a energia potencial do sistema

$$U = -\sum_{\text{pares } i,j} \frac{G m_i m_j}{r_{ij}}$$

O teorema do virial

- Teorema do virial:

$$\frac{1}{2}\frac{d^2I}{dt^2} = 2T + U$$

- sistema em equilíbrio: *I* = constante. Logo,

$$2T + U = 0$$

- energia total do sistema:

$$E = T + U = \frac{1}{2}U$$

  note que, para um sistema estar ligado, $E < 0$

- um sistema gravitacional em equilíbrio satisfaz o teorema do virial: *a energia cinética é metade do módulo da energia potencial*

Teorema do virial em sistemas esféricos

- Consideremos um sistema estelar esférico de massa M e raio R
- Energia cinética:

$$T = \frac{1}{2}\sum_i m_i v_i^2 = \frac{1}{2}M < v^2 >$$

$<v^2>$ é a dispersão de velocidades do sistema (supondo $<v>=0$)

- Sendo M(r) a massa dentro do raio r, a energia potencial é

$$U = -\int_0^R \frac{GM(r)dM(r)}{r} = -\frac{\alpha G M^2}{R}$$

- α é um número da ordem da unidade que depende da distribuição de massa

exemplo: α=3/5 para uma esfera uniforme

- Teorema do virial: 2T+U=0;   logo

$$< v^2 >= \frac{\alpha G M}{R}$$

- **Equilíbrio virializado**: as velocidades sustentam a atração gravitacional

$<v^2>$ é proporcional à “temperatura” do gás de estrelas

- Dispersão de velocidades:

$$< v^2 >=< v_x^2 > + < v_y^2 > + < v_z^2 >= \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2$$

- Se a distribuição de velocidades é isotrópica:

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_z^2 = \sigma^2$$

- Logo,

$$< v^2 >= 3\sigma^2$$

σ: dispersão de velocidades unidimensional- “temperatura” do gás de estrelas

- Em E a dispersão de velocidades é medida a partir da largura das linhas espectrais: o movimento das estrelas alarga as linhas por efeito Doppler (largura da linha = alargamento natural + alargamento Doppler)

- A forma de um sistema estelar depende de sua dispersão de velocidades:
- Sistemas oblatos:

$$\sigma_x = \sigma_y > \sigma_z$$

- Sistema prolatos:

$$\sigma_x = \sigma_y < \sigma_z$$

- Sistemas triaxiais:

$$\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z$$

Massas via o teorema do virial

- Teorema do Virial: $M \alpha R<v^2>$
- Para uma distribuição de massa com um perfil de de Vaucouleurs:

$$M \simeq \frac{<v^2> r_e}{0.33G}$$

- Se a distribuição de velocidades é isotrópica:

$$M = \frac{\sigma^2 r_e}{0.11G}$$

- O teorema do virial mede a **massa total**, tanto a escura como a luminosa
- E mais brilhantes:

  $r_e \sim 15$ - 20 kpc

  $\sigma \sim 300$ km/s

  $M \sim 3x10^{12} M_S$

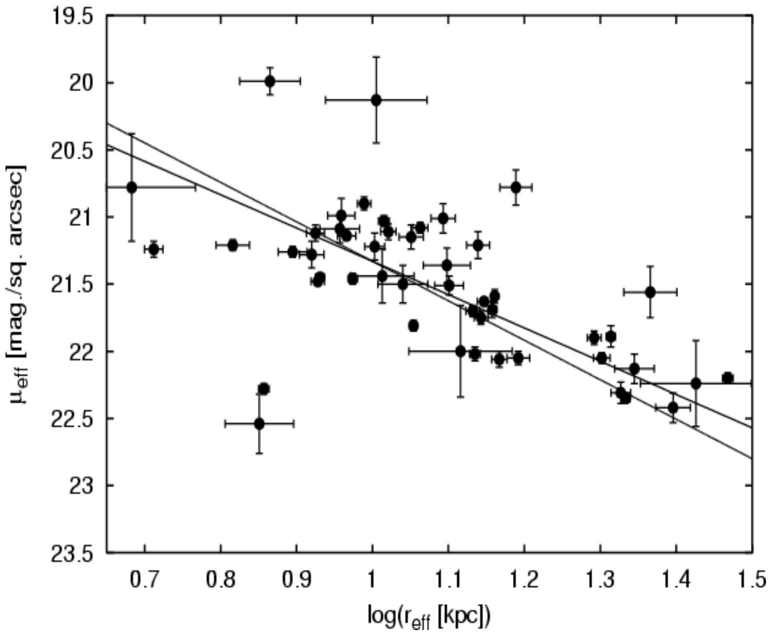
  $M/L_V \sim 5 – 10\ M_S/L_S$

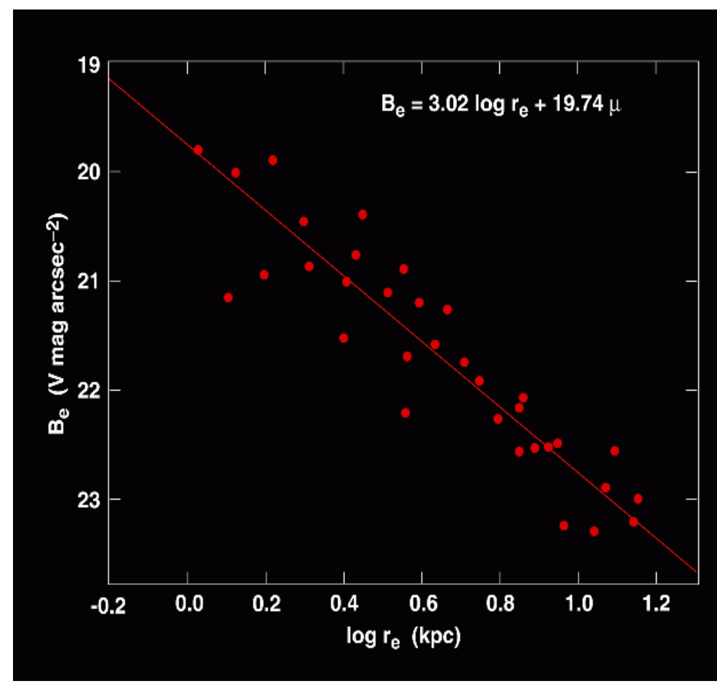
A família das galáxias E: relações estruturais

- As E satisfazem diversas relações estruturais
- **relação de Kormendy**: quanto maior uma galáxia é, menor o seu brilho superficial

  $\mu_{e,V} \approx 2.9 \log [r_e(kpc)] + 19.5$

Em outras bandas fotométricas os coeficientes dessas expressões são diferentes





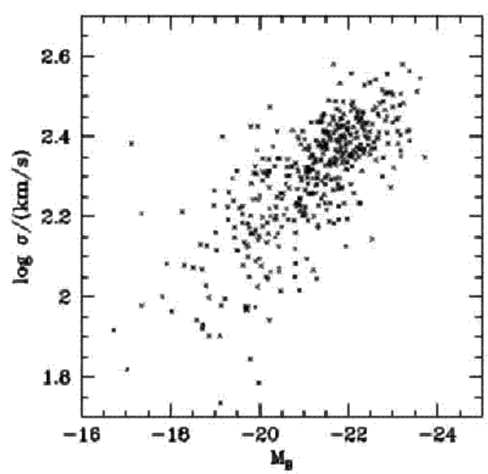
A família das galáxias E: relações estruturais

- As E satisfazem diversas relações estruturais
- **relação de Faber-Jackson**: $\sigma \; \alpha \; L^{1/4}$

$\sigma \approx 220 \, (L_B/L_{0B})^{0.25}$ km/s

$L_{0B} = 1.0 \times 10^{10} \, h^{-2} \, L_S$

(Em outras bandas fotométricas os coeficientes dessas expressões são diferentes)



Faber-Jackson relation between central velocity dispersion and total magnitude of elliptical galaxies

$\boxed{L_B \propto \sigma^4}$

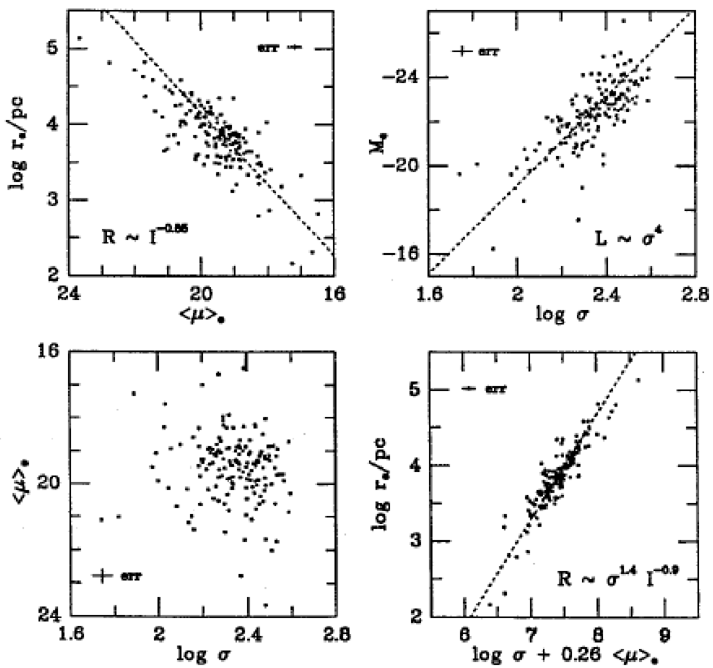
A família das galáxias E: o *plano fundamental*

- Na banda r_G (Djorgovsky & Davies, 1987):

  $\log [\, r_e \,(kpc)] \approx 1.39 \log [\sigma \,(km/s)] + 0.36 <\mu_e> - 6.71$

  - inclui tanto a relação de Kormendy quanto a de Faber-Jackson

  - num espaço (r_e, σ, $<\mu_e>$) essa relação define um *plano*



$<\mu_e>$: brilho superficial médio dentro de r_e

Figura 5.7: Relações satisfeitas por galáxias E. Alto à esquerda: relação de Kormendy; alto à direita: relação de Faber-Jackson; em baixo à esquerda: relação entre brilho superficial e dispersão de velocidades (plano fundamental quase visto de face); em baixo à direita: plano fundamental visto de perfil.

A família das galáxias E: implicações do *plano fundamental*

- O plano fundamental pode ser escrito como
  $log\ r_e = a\ log\ [\sigma\ (km/s)] + 2.5\ b\ log\ \Sigma_e + c \quad (r_e\ \alpha\ \sigma^a\ \Sigma_e^{2.5\ b})$
  onde *a,b,c* são constantes que dependem da banda fotométrica

- Vamos supor que as galáxias estão virializadas:
  $\sigma^2\ \alpha\ M/r_e$
  ou, supondo que $\Sigma_e\ \alpha\ L/\ r_e^2$, temos que
  $\sigma^2\ \alpha\ M/r_e\ \alpha\ (M/L)\ r_e\ (L/r_e^2)\ \alpha\ (M/L)\ r_e\ \Sigma_e$
  portanto,
  $M/L\ \alpha\ \sigma^2/(r_e\ \Sigma_e)$
  e, usando a equação do plano fundamental para eliminar Σ_e, temos
  $M/L\ \alpha\ \sigma^{2+0.4a/b}\ r_e^{-(1+0.4/b)}$

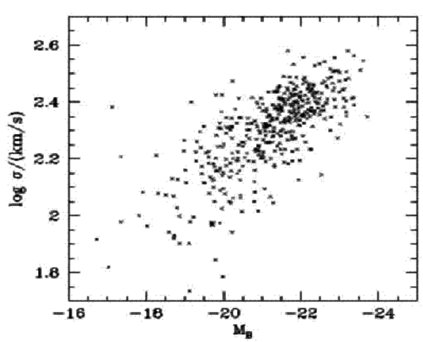
- Essa relação mostra que há uma conexão entre as populações estelares (*M/L*) com os parâmetros estruturais σ e r_e

- *M/L* cresce ligeiramente com a massa: um fator 3 ao longo de 5 magnitudes
- $M/L \sim 10 – 20\ M_S/L_S\ (h=1)$ dentro de r_e (pouca matéria escura)

A família das galáxias E: indicadores de distância

- tanto a relação de Kormendy quanto a de Faber-Jackson quanto o "plano fundamental" servem como *indicadores de distância* das E
- exemplo: relação de Faber-Jackson

  $\sigma \approx 220\ (L_B/L_{0B})^{0.25}$ *km/s*
- Como σ não depende da distância, medindo σ determino L_B, e conhecendo o fluxo posso então determinar a distância



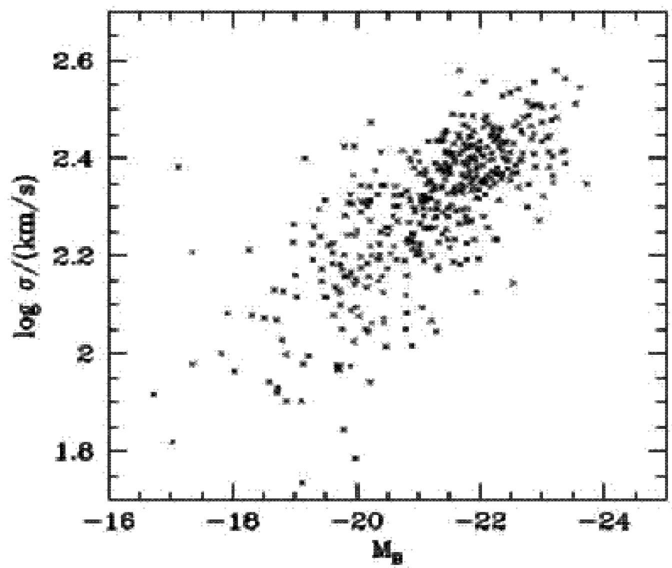
Faber-Jackson relation between central velocity dispersion and total magnitude of elliptical galaxies

$\boxed{L_B \propto \sigma^4}$

Relação de Faber-Jackson

- Tipicamente:

  $\log \sigma_v$ (km/s) $\approx 0.1\ M_B + 0.2$



Faber-Jackson relation between central velocity dispersion and total magnitude of elliptical galaxies

$$\boxed{L_B \propto \sigma^4}$$

A família das galáxias E: a relação D_n-σ

(Dressler et al. 1987, os 7 samurais: + Burstein, Davies, Lynden-Bell, Faber, Terlevich, Wegner)

- Antes do plano fundamental ser descoberto, a relação de Faber-Jackson era o principal indicador de distância das E
- Os 7 samurais introduzem um novo método

- D_n: diâmetro da abertura circular (em kpc) onde $<\mu_B>=20.75$ *mag arcsec*$^{-2}$ (o valor em si não é importante)
- Essa escolha de parâmetros corresponde ao plano fundamental visto de perfil

- Para um perfil de de Vaucouleurs, $D_n \propto r_e <\Sigma_e>^{0.8}$

(onde $<\Sigma_e>$ é o brilho superficial médio dentro de r_e)

ou, $\log D_n = \log r_e + 0.8 \log <\Sigma_e> = \log r_e - 0.32 <\mu_e>$

A família das galáxias E: a relação D_n-σ

(Dressler et al. 1987, os 7 samurais: + Burstein, Davies, Lynden-Bell, Faber, Terlevich, Wegner)

- $\log D_n = \log r_e + 0.8 \log \langle\Sigma_e\rangle = \log r_e - 0.32 \langle\mu_e\rangle$

Os 7 samurais escrevem o plano fundamental como:
$\log r_e = 0.36 \langle\mu_e\rangle + 1.4 \log \sigma + cte$

Logo, $\log D_n = 1.4 \log \sigma - 0.04 \langle\mu_e\rangle + cte, \approx 1.4 \log \sigma + cte'$
(a dependência com μ é muito fraca), ou,

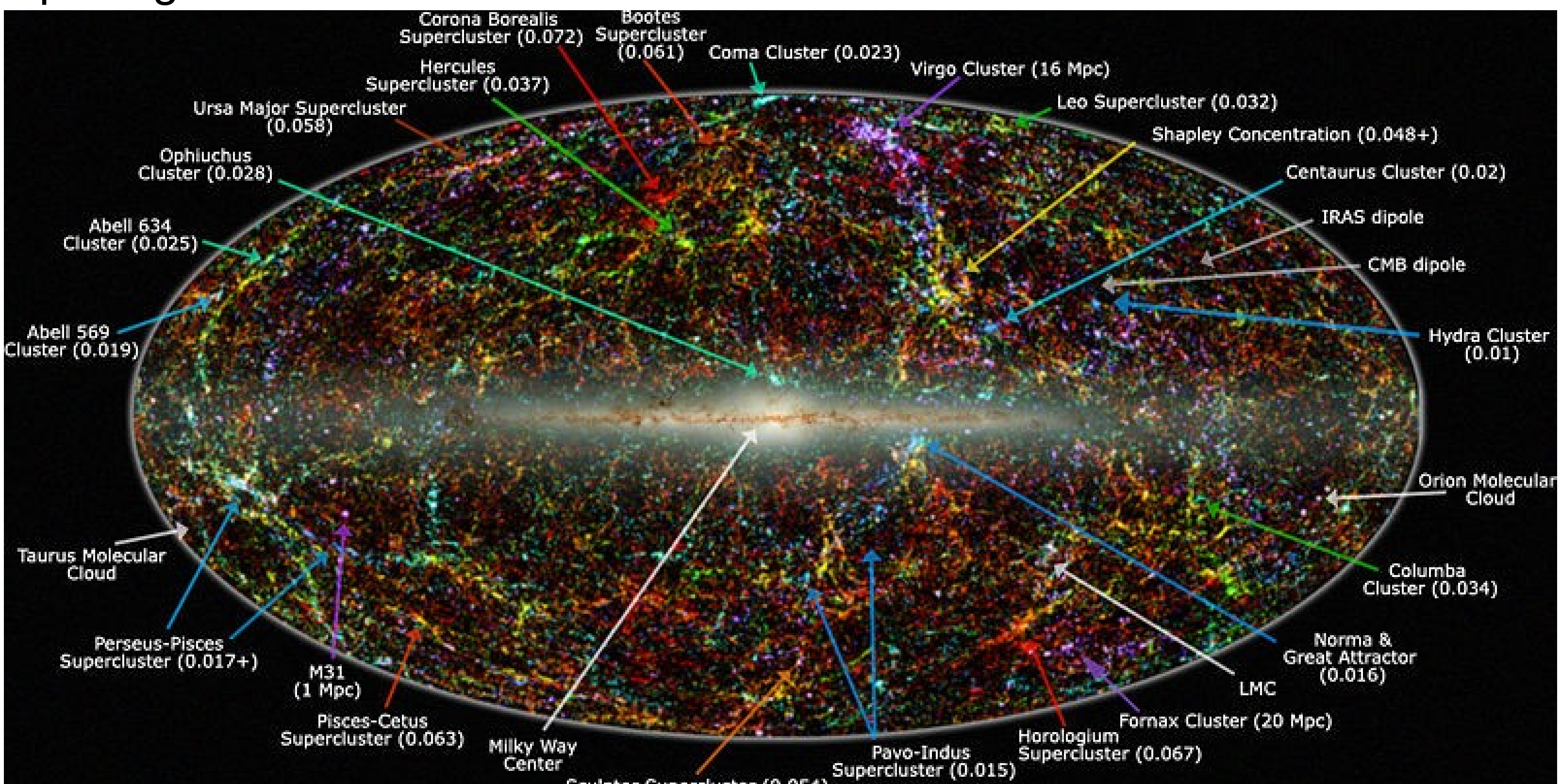
$D_n \;\alpha\; \sigma^{1.4}$

- Indicador de distância: mede-se σ, calcula-se D_n, mede-se o diâmetro aparente θ_n, correspondente a $\langle\mu_B\rangle = 20.75$ *mag arcsec*$^{-2}$ e calcula-se a distância: $d = D_n / \theta_n$

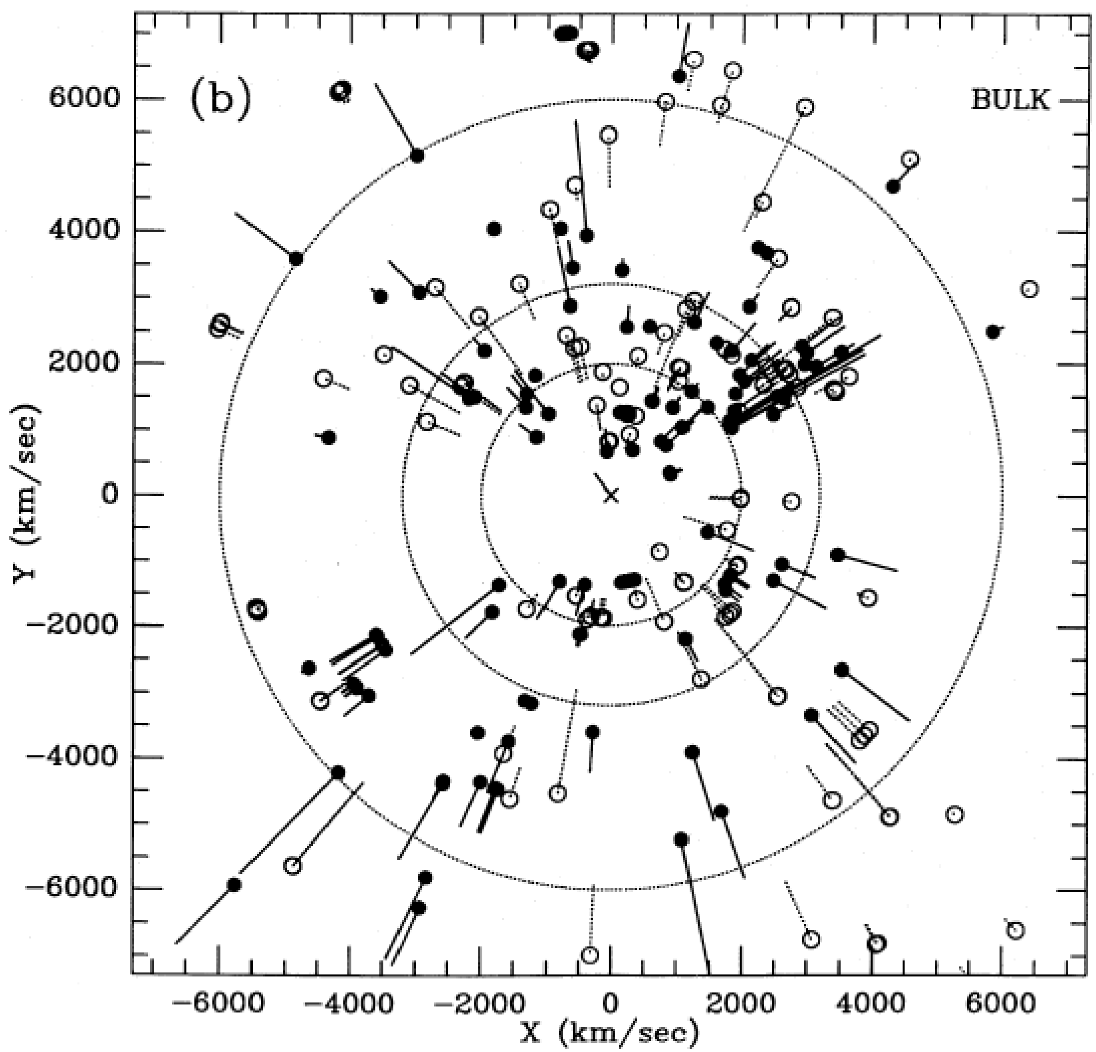
A relação D_n-σ e o Grande Atrator

- Dressler et al. 1987 (os 7 samurais): determinando as distâncias e estudando o campo de velocidades peculiares de galáxias E próximas concluiram que havia uma grande concentração de massa- *o Grande Atrator*- atraindo essas galáxias

- O Grande Atrator é hoje associado a um conjunto de aglomerados de galáxias: o Super-Aglomerado de Centauro



Campo de velocidades peculiares das E mostrando o fluxo em direção ao Grande Atrator



A família das galáxias E: relações entre as populações estelares

- Relação cor-magnitude: as E mais luminosas são mais vermelhas (porque são mais velhas e têm mais metais)
- “mais velhas” refere-se à idade média das estrelas

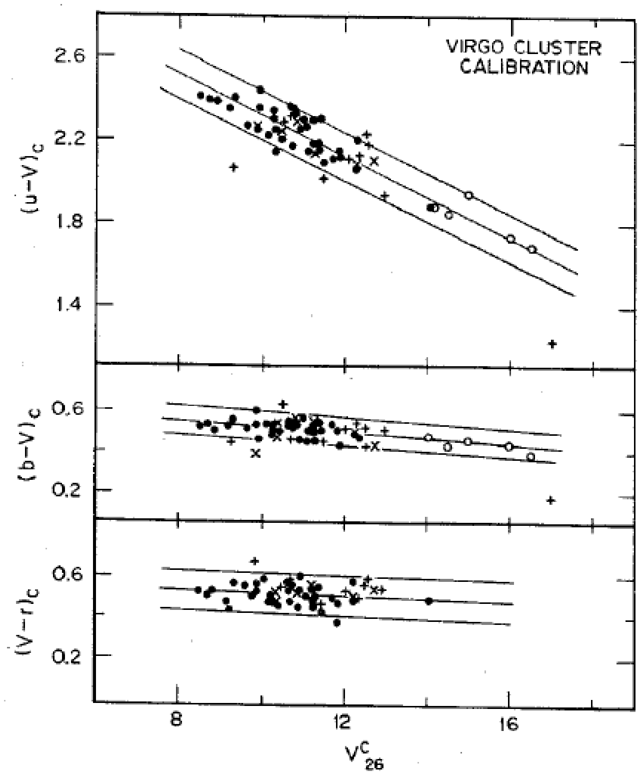


Figura 5.8: Relação cor-magnitude para galáxias do Aglomerado de Virgo.

A família das galáxias E: relações entre as populações estelares

- Relação metalicidade – dispersão de velocidades: as galáxias com maior σ (poço de potencial mais profundo) são mais vermelhas e mais metálicas

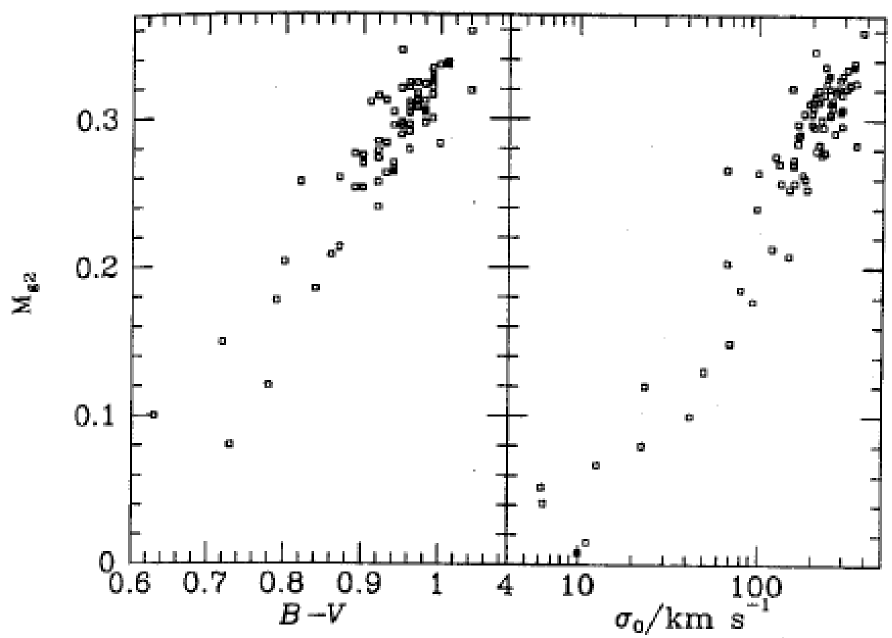


Figura 5.9: Relação entre cor (B-V) e dispersão central de velocidades com o índice da linha Mg2, que depende da metalicidade da galáxia.

A família das galáxias E: relações entre as populações estelares

- Relação metalicidade – dispersão de velocidades: as galáxias com maior σ (poço de potencial mais profundo) são mais vermelhas e mais metálicas
- Explicação: o poço de potencial das galáxia mais luminosas faz com que os metais produzidos na galáxia não escapem

Cenários de formação das galáxias E

- Modelo clássico (cenário monolítico ou ELS: Eggen, Lynden-Bell & Sandage, 1962)

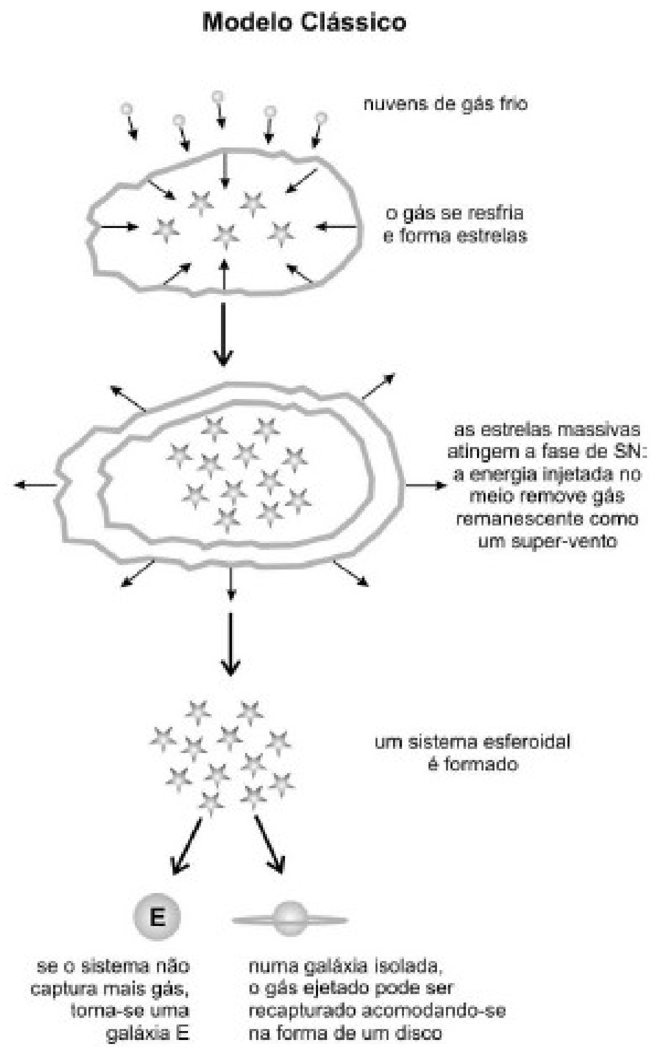
  - as E têm população estelar velha

  - as estrelas nas E têm órbitas caóticas

  - então, as E se formaram rapidamente, há muito tempo, pelo colapso em queda livre de uma grande nuvem de gás

  - as estrelas se formam e o sistema estelar se virializa

Cenários de formação das galáxias E



Cenários de formação das galáxias E

- Cenário hierárquico: as galáxias se formam e evoluem por fusões de galáxias, que podem ocorrer continuamente
- Galáxias são formadas pelo colapso e fusão de halos de matéria escura: os bárions acompanham o campo gravitacional da matéria escura

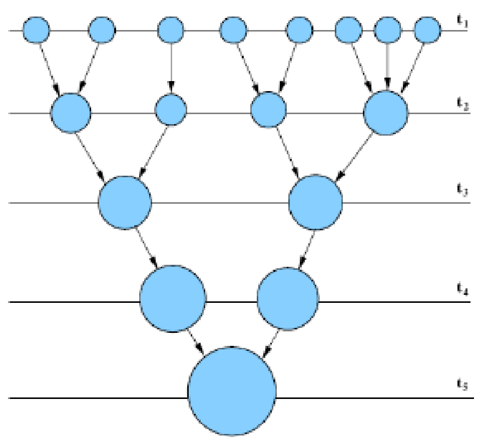
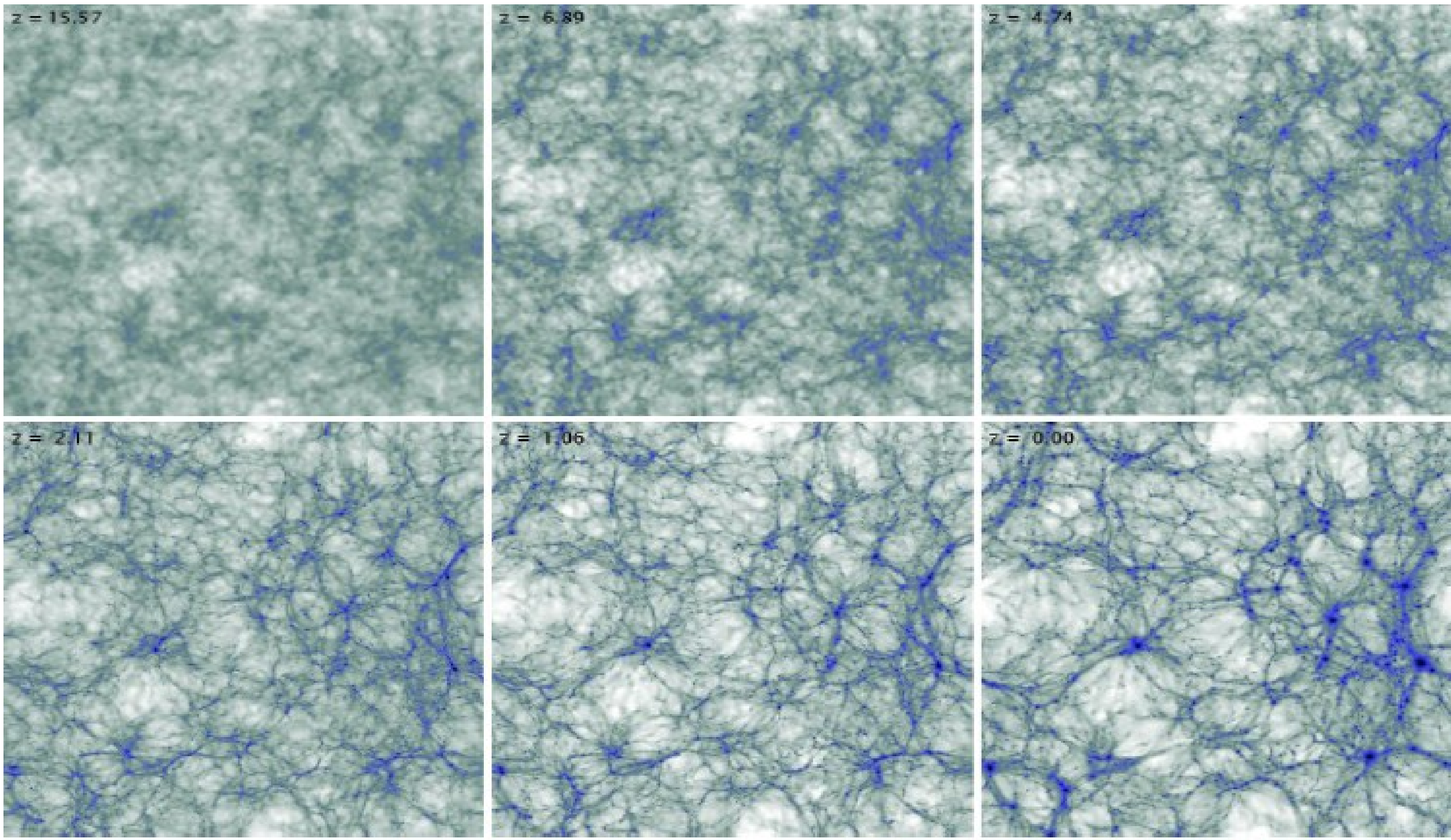


Figure 4 Ilustração de uma árvore de fusões. Conforme o tempo passa (de cima para baixo) os halos vão se fundindo formando a galáxia.

Cenários de formação das galáxias E

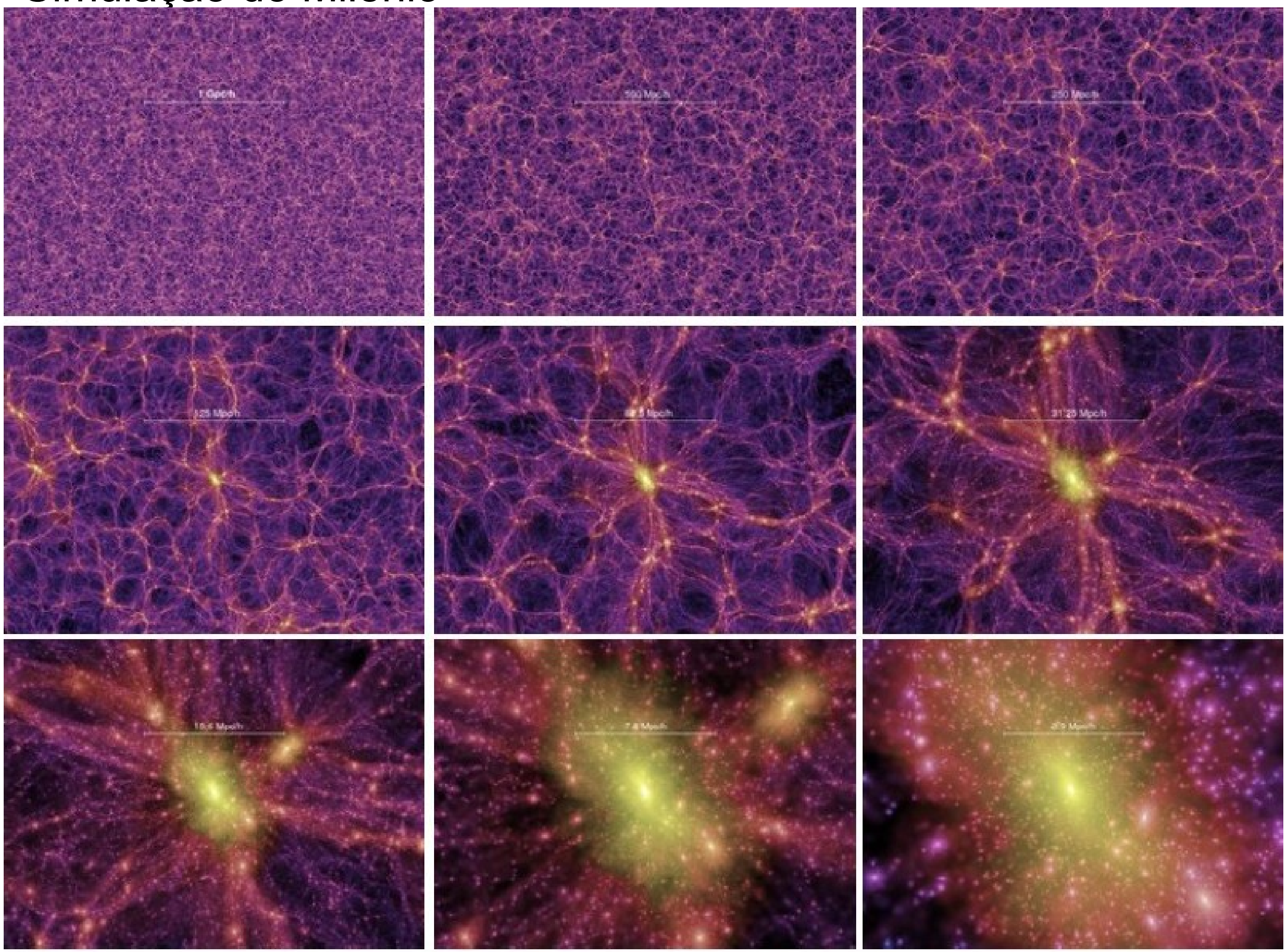
Simulaçao numérica da evolução de halos de matéria escura



Springel, Hernquist & White (2000)

Cenários de formação das galáxias E

Simulaçao numérica da evolução de halos de matéria escura
Simulação do Milênio



Cenários de formação das galáxias E

- Cenário hierárquico: as galáxias se formam e evoluem por fusões de galáxias, que podem ocorrer continuamente
- Em fusões entre galáxias de mesma massa o gás pode ser consumido num *starburst* e expelido pela ação de supernovas, formando uma E
- Em fusões menores o disco pode se preservar

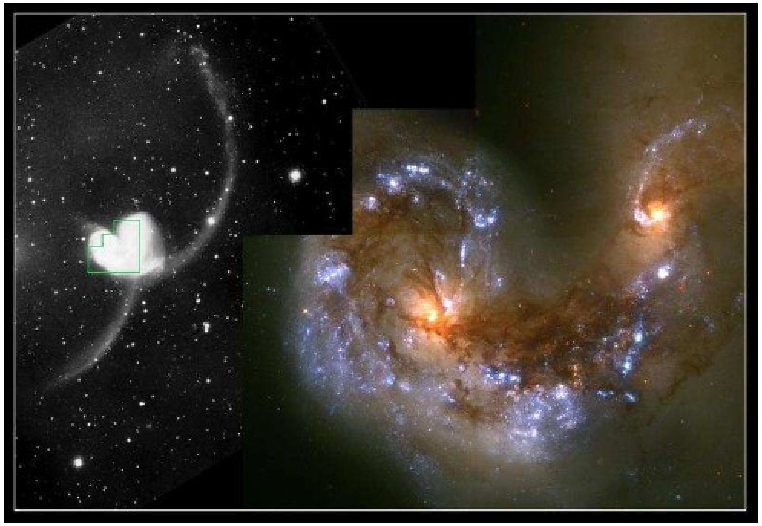
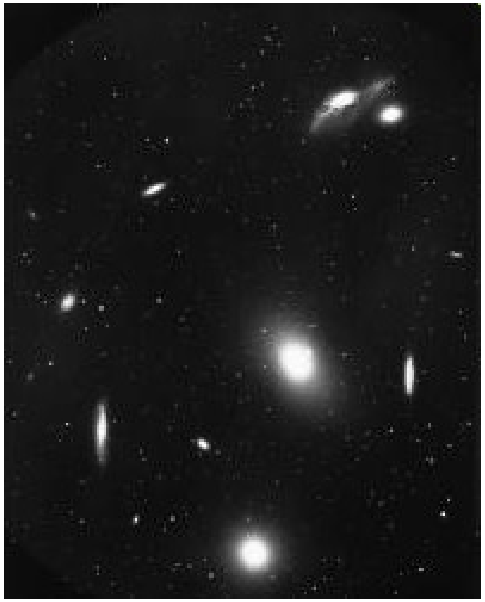


Figure 3 Fusão de galáxias. A Antennae é um par de galáxias em colisão. A imagem da direita (do HST) mostra a região central do sistema, onde há um starburst vigoroso.

Cenários de formação das galáxias E
a rota ambiental

- Galáxias espirais caem em aglomerados, perdem o gás por vários efeitos ambientais e param de formar estrelas
- Depois de ~1 Ganos, as gigantes vermelhas começam a dominar a luz e elas ficarão suficientemente vermelhas para serem classificadas como S0
- Por interações de maré e colisões com outras galáxias do aglomerado, elas vão perdendo o disco, e o que sobra é a componente esferoidal, identificada como uma E



Exercícios

(1) Uma galáxia tem magnitude total m. Qual é a magnitude dentro de seu raio efetivo?

(2) Uma galáxia tem $\mu_B \sim 17$ mag arcsec^{-2}. Quanto vale isso em L_S Mpc^{-2}? Supondo que sua luminosidade é dominada por gigantes vermelhas com M_B=+2.5, qual é a densidade superficial de gigantes?

(3) Interprete a relação de Kormendy em termos da concentração da luz das galáxias.

(4) Qual é o tipo En mais comum?

(5) Veja a figura com o mapa isofotal de NGC4697. Para 3 isofotas mais ou menos igualmente espaçadas, meça a elipticidade e o ângulo de posição do eixo maior (use régua e transferidor). Comente o comportamento destas grandezas.

(6) Uma galáxia esférica tem uma densidade superficial de luminosidade $\Sigma \propto R^{-1}$, onde R é o raio projetado no céu. Supondo que a razão M/L não depende do raio, como depende do raio a densidade de massa?

(7) Mostre que, para uma esfera uniforme, α=3/5 no termo da energia potencial. Utilize o teorema do virial para obter uma expressão para a massa desse sistema.

(8) Uma galáxia elíptica no aglomerado de Virgo (cuja distância é 15 Mpc) tem r_e = 100 arcsec e dispersão central de velocidades σ = 200 km/s. Estime a massa da galáxia.

(9) Uma E tem dispersão central de velocidades de 150 km/s e magnitude aparente m_B=17. Determine sua distância.

(10) Como o plano fundamental das E pode ser usado como um indicador de distância?

11. Use a relação D_n-σ (abaixo) para estimar a distância relativa entre os aglomerados de Coma e de Virgo.

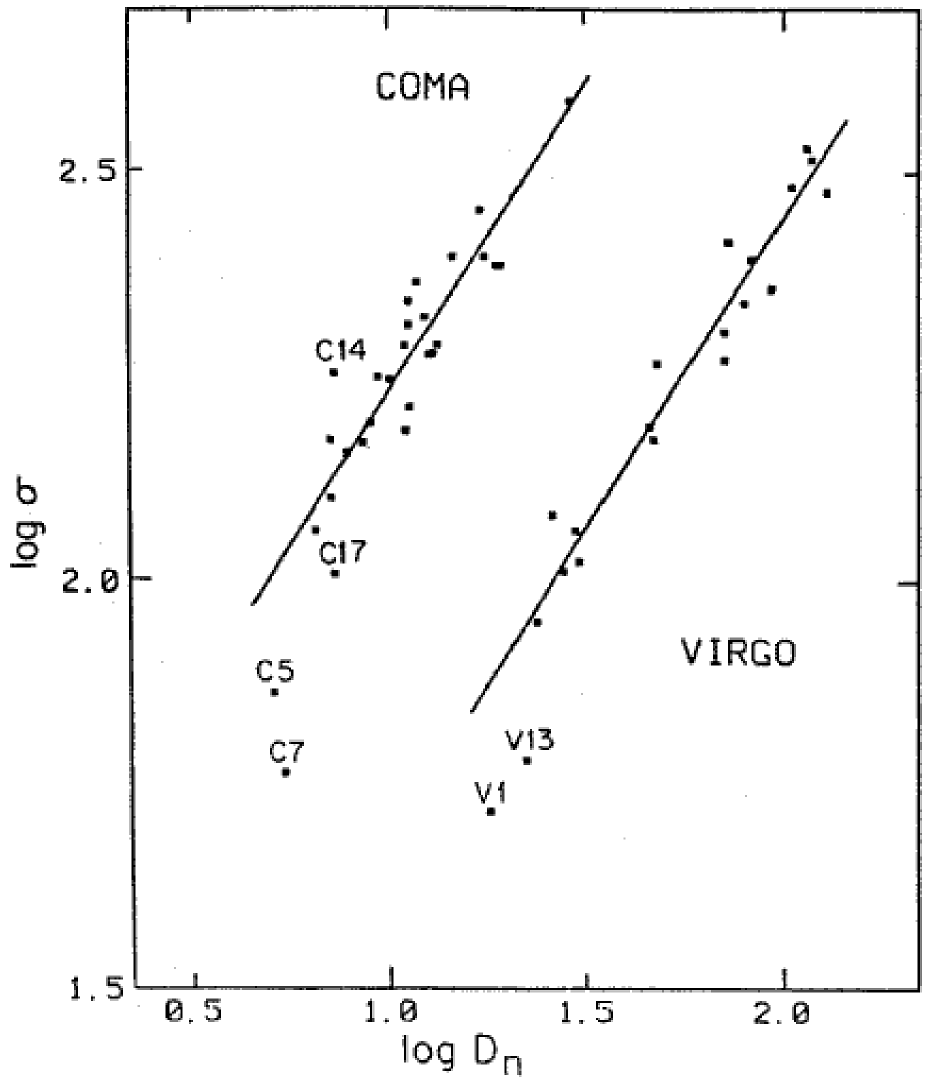


Figura 9.4: Log da dispersão de velocidades σ (km/s), versus o log do diâmetro isofotal aparente D_n, para galáxias nos aglomerados de Virgo e Coma (Dressler et al. 1987).