

Galaxishalmazok



Csoportok (groups)

< 50 galaxies

$R \sim 1.5$ Mpc

$\sigma \sim 150$ km/s

$M \sim 10^{13} M_{\odot}$

$M/L \sim 250 M_{\odot}/L_{\odot}$

Halmazok (clusters)

100 - 1000 galaxies

$R \sim 6$ Mpc

$\sigma \sim 800$ km/s

$M \sim 10^{15} M_{\odot}$

$M/L \sim 400 M_{\odot}/L_{\odot}$

Halmazok csoportosításai:

- gazdag, v. szegény
- reguláris (gömbszimm.), v. irreguláris

Lokális Csoport (Local Group)

kb. 40 galaxis

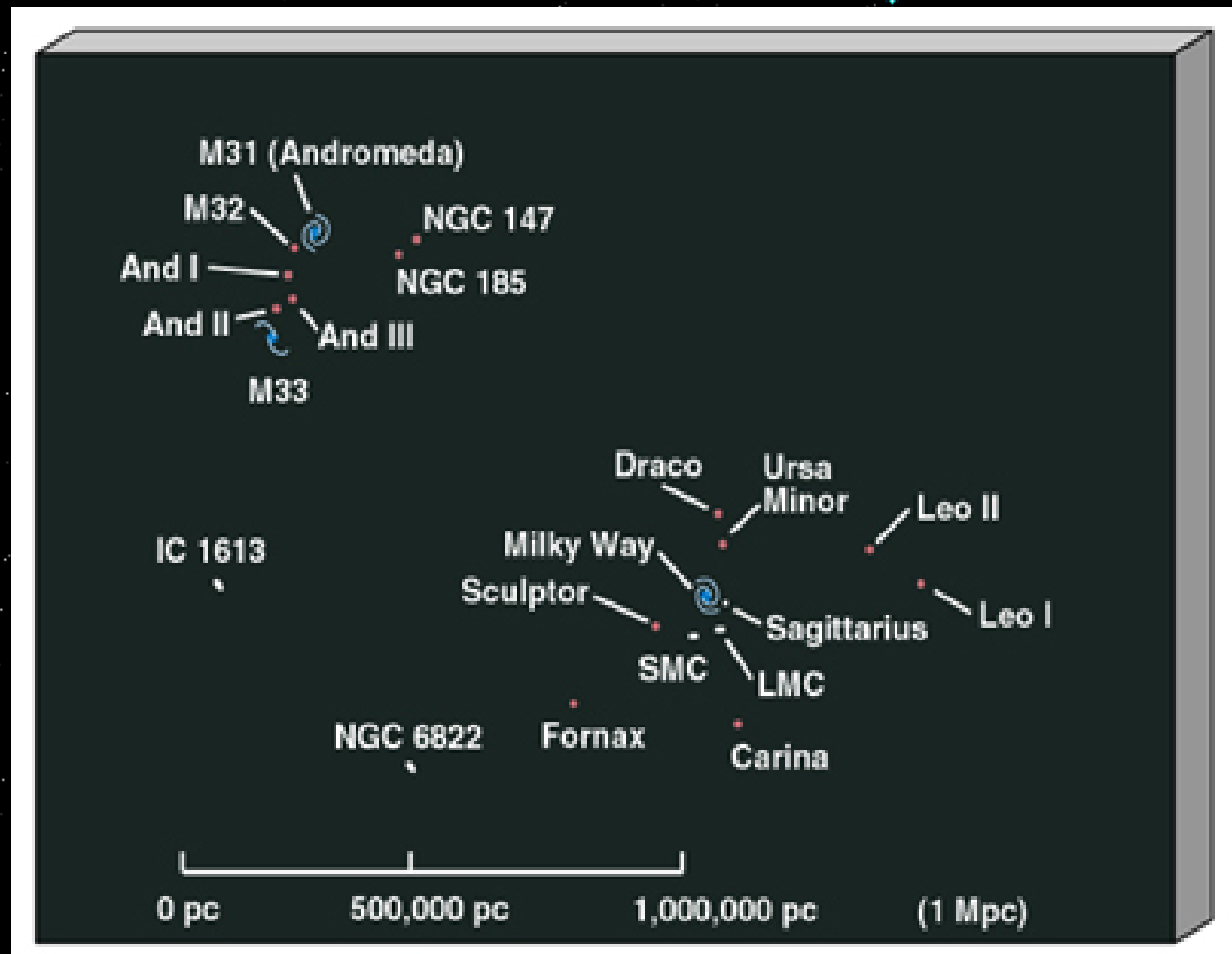
$d < 1 \text{ Mpc}$

3 spirál:

M31, M33, MW

4 elliptikus

a többi dE, Irr



A Tejútrsz. és az Andromeda-köd relatív mozgása

$$v_{M31} = -119 \text{ km/s}$$

$$r_{M31} = 770 \text{ kpc}$$

A Hubble-áramlásból:

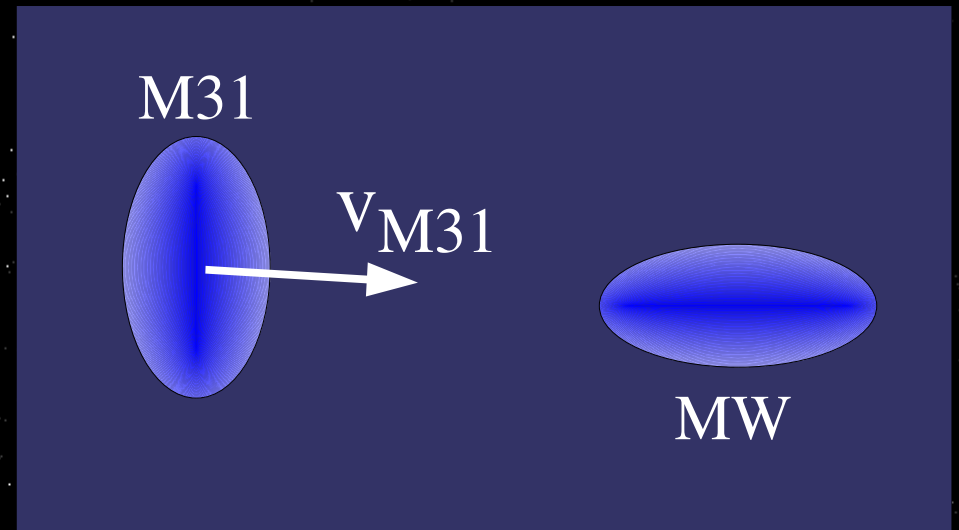
$$v_H = H_0 r_{M31} = 56 \text{ km/s}$$

A Tejútrsz. vonzása miatt:

$$v_{gr} = \sqrt{2G \frac{M}{r_{M31}}} \rightarrow v_{M31} = v_{gr} - v_H$$

Ebből:
$$v_{gr}^2 = (v_{M31} + v_H)^2 = 2G \frac{M}{r}$$

$$M = \frac{2r}{G} (v_{M31} + v_H)^2 = 2.73 \cdot 10^{12} M_\odot$$



Az M31 és a Tejútrsz. együttes luminozitása:

$$L \sim 6 \cdot 10^{10} L_{\odot} \implies M/L \sim 45 M_{\odot}/L_{\odot}$$

Mivel a világító anyagra $M/L \sim 3 M_{\odot}/L_{\odot}$,
ezért a gravitáló tömeg 90 %-a sötét anyag!



Közele galaxis csoportok

Sculptor-csoport

~ 1.8 Mpc



M81-csoport

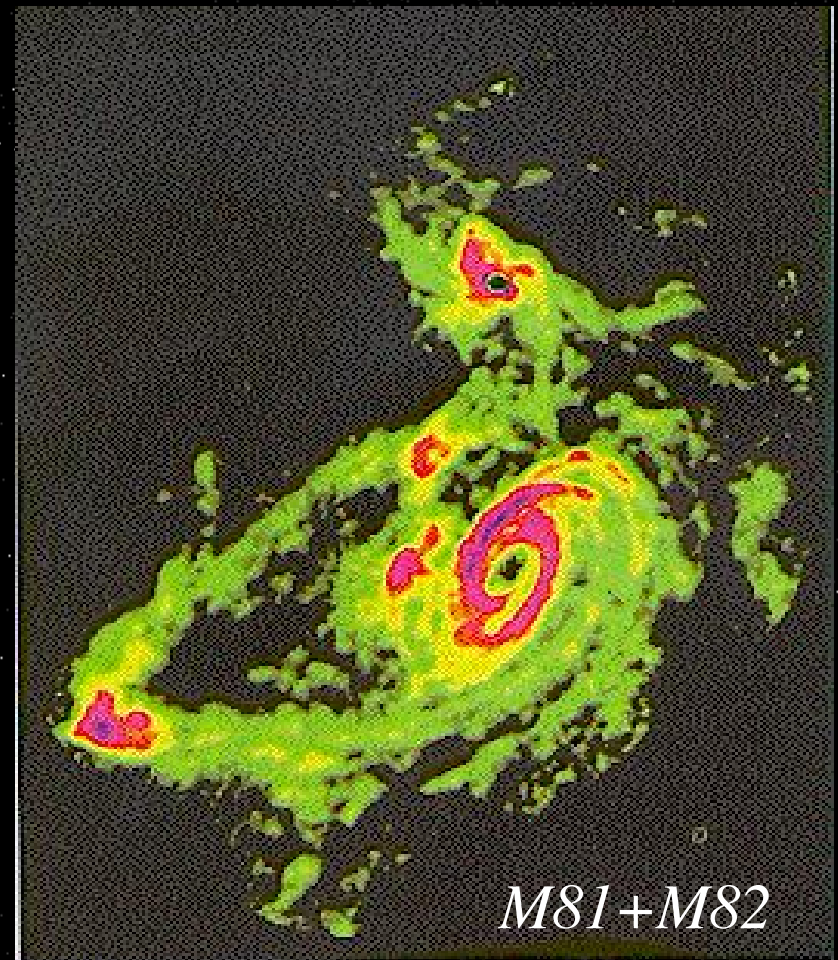
~ 3.1 Mpc

Centaurus-csoport

~ 3.5 Mpc

M101-csoport

~ 7.7 Mpc



Leo I csoport

M95, M96, M105 + sok más galaxis
 $d \sim 12$ Mpc



Virgo-halmaz

kb. 250 nagy, 2000 törpe galaxis

$D \sim 17$ Mpc $R \sim 3$ Mpc

középpont: M87



Röntgen-mérésekből:

az intergalaktikus teret forró röntgensugárzó
plazma tölti ki $M \sim 10^{10} M_{\odot}$, $T \sim 10^7$ K

A röntgenspektrumokból ismert $T(r)$ és $\rho(r)$

Hidrosztatikai egyensúly: $\frac{dP}{dr} = -\frac{GM_r}{r^2} \rho(r)$

Állapotegyenlet: $\frac{dP}{dr} = \frac{R}{\mu} T \frac{d\rho}{dr} + \frac{\rho}{\mu} R \frac{dT}{dr}$

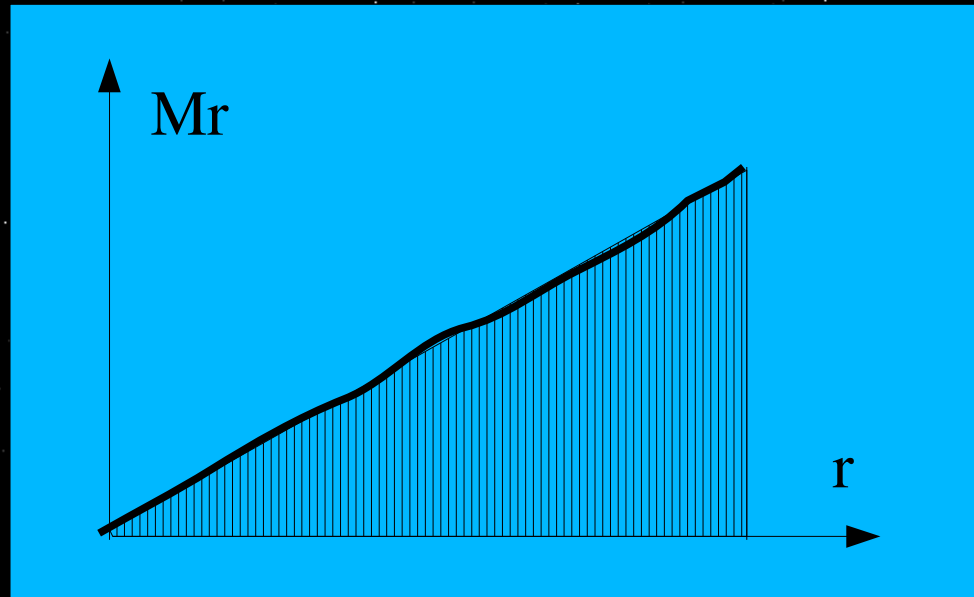
A tömegeloszlásra adódik:

$$M_r = \frac{r^2}{G \rho(r)} \left(\frac{R}{\mu} T \frac{d\rho}{dr} + \frac{\rho}{\mu} R \frac{dT}{dr} \right)$$

Eredmény:

$$M_{\text{tot}} = 3 \cdot 10^{13} M_{\odot}$$

$$M / L = 750 M_{\odot} / L_{\odot}$$



a halmaz tömegének 99 %-a sötét anyag!

Coma - halmaz

kb. 10 000 galaxis

$D \sim 90 \text{ Mpc}$

$R \sim 6 \text{ Mpc}$



The Coma Cluster of Galaxies

A halmaztagok mozgásából megkapható az össztömeg

Viriáltétel:
$$-2 \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 = -\frac{3}{5} \frac{G M^2}{R}$$

Ha minden csillag m tömegű:
$$-\frac{m}{N} \sum v_i^2 = \frac{U}{N}$$

$$\frac{m}{N} \sum v_i^2 \approx m \cdot 3 \langle v_r^2 \rangle = 3 m \sigma_r^2$$

Adódik:
$$-3 m \sigma_r^2 = -\frac{3}{5} \frac{G M^2}{R N}$$

Ebből:
$$N m = M_{\text{virial}} = 5 \frac{R}{G} \sigma_r^2$$

A Coma-halmazra: $v_r \sim 977 \text{ km/s}$ (Zwicky, 1933)

$$\text{ebből } M_{\text{virial}} = 3 \cdot 10^{15} M_{\odot}$$

$$L \sim 5 \cdot 10^{12} L_{\odot} \implies M/L = 660 M_{\odot}/L_{\odot}$$

Tehát a Coma-halmaz is jó rész sötét anyagból áll!

A Coma-halmazt is röntgensugárzó gáz tölti ki

A sugárzás forrása: forró plazma töltött részecskéi

fékezési sugárzás egységnyi térfogatból:

$$I_\nu \sim n_e n_H \sigma \nu \sim n_e^2 T^{1/2} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)$$

a teljes röntgen-luminozitás:

$$L_x = 4\pi \frac{R^3}{3} \int I_\nu d\nu \sim R^3 n_e^2 T^{1/2}$$

a röntgenspektrumból: $T = 8 \cdot 10^7 \text{ K}$

a mért röntgenluminozitás: $L_x = 5 \cdot 10^{44} \text{ erg/s}$

ezekből $n_e \sim 10^{-4} \text{ 1/cm}^3$ adódik.

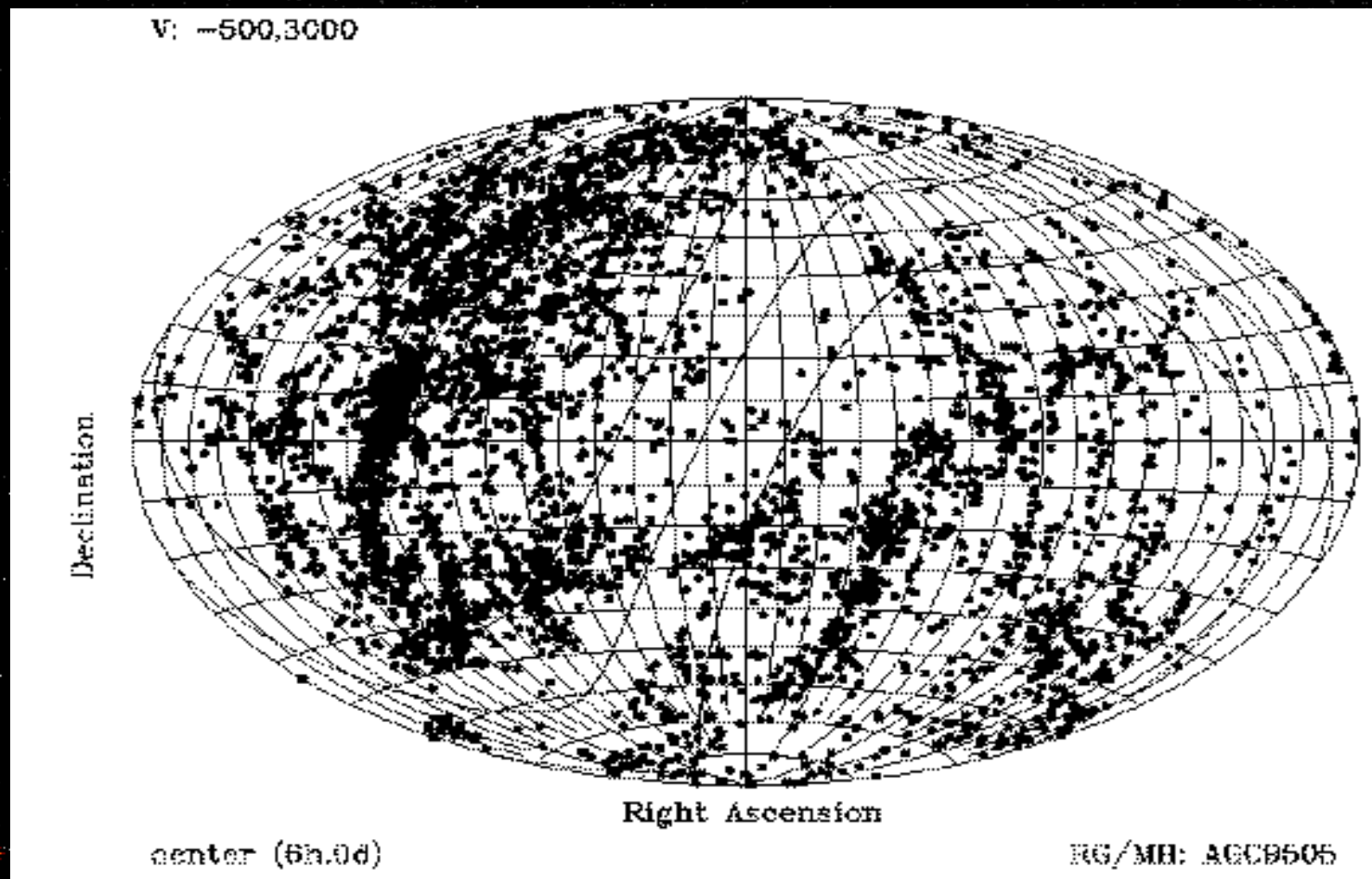
A gáz teljes tömege: $M_H \sim R^3 n_e M_H \sim 3 \cdot 10^{14} \text{ Mo}$

tehát a halmazon belüli intergalaktikus gáz kb.

10 %-a a teljes tömegnek.

Lokális Szuperhalmaz

a Virgo-halmaztól kb. 20 Mpc-en belül



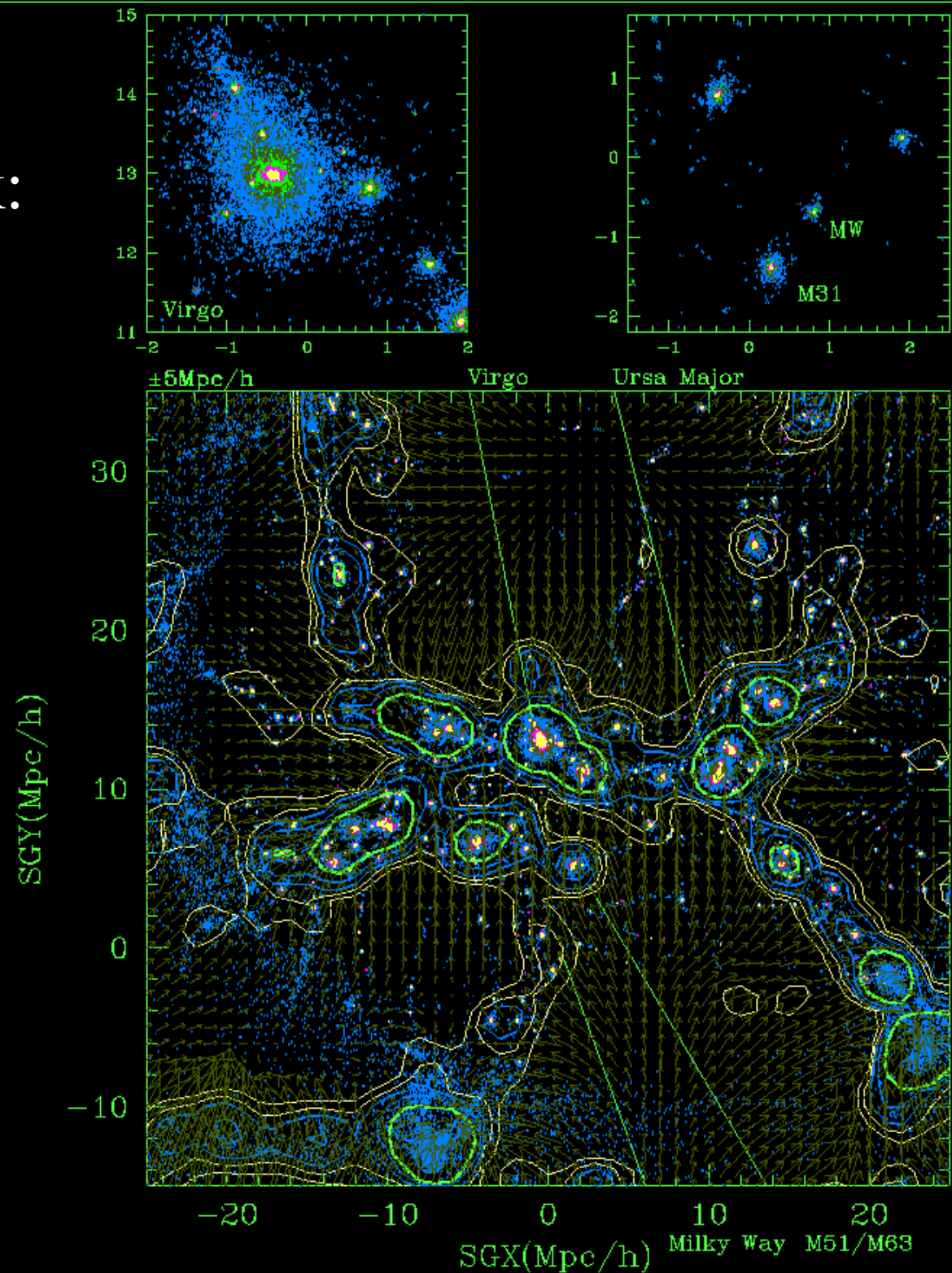
Pekuliáris mozgások:

- Virgo felé:
 168 ± 50 km/s
- Centaurus áramlás:
6000 km/s

ennek oka:

Great Attractor
($5 \cdot 10^{16}$ Mo)

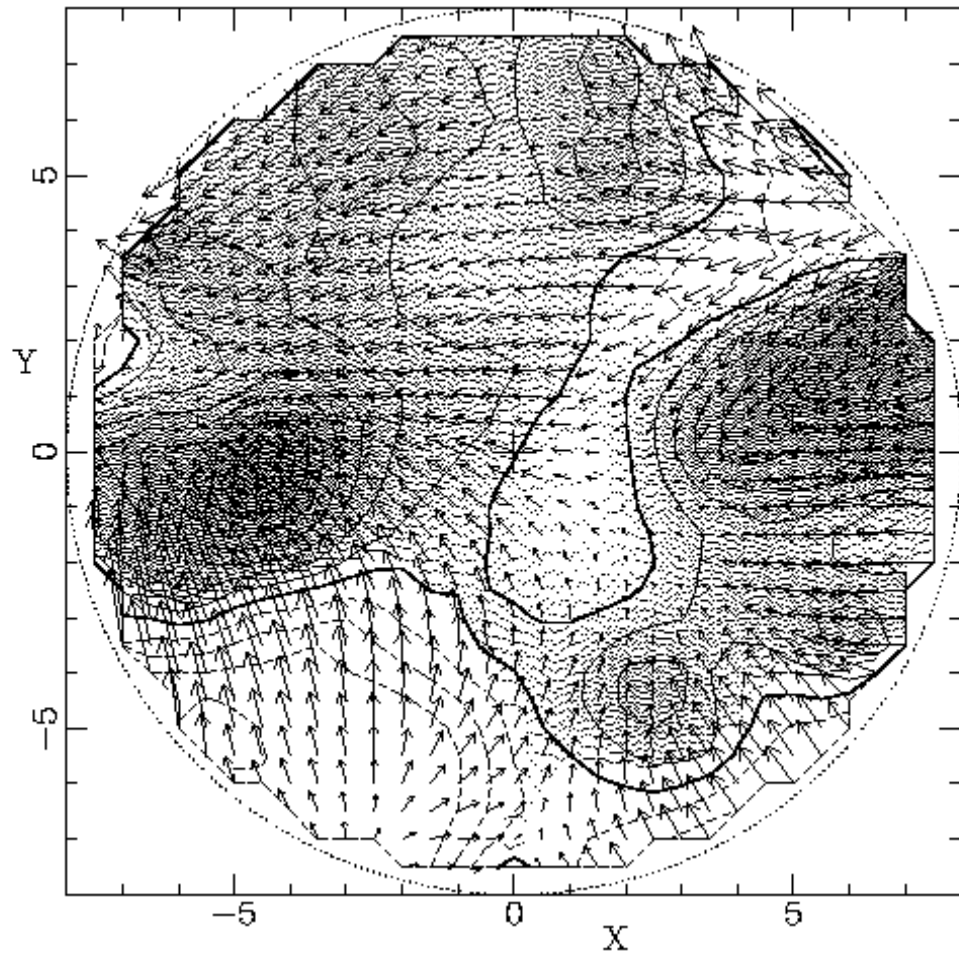
$l = 309^\circ$ $b = 18^\circ$



Great Attractor (Nagy Vonzó)

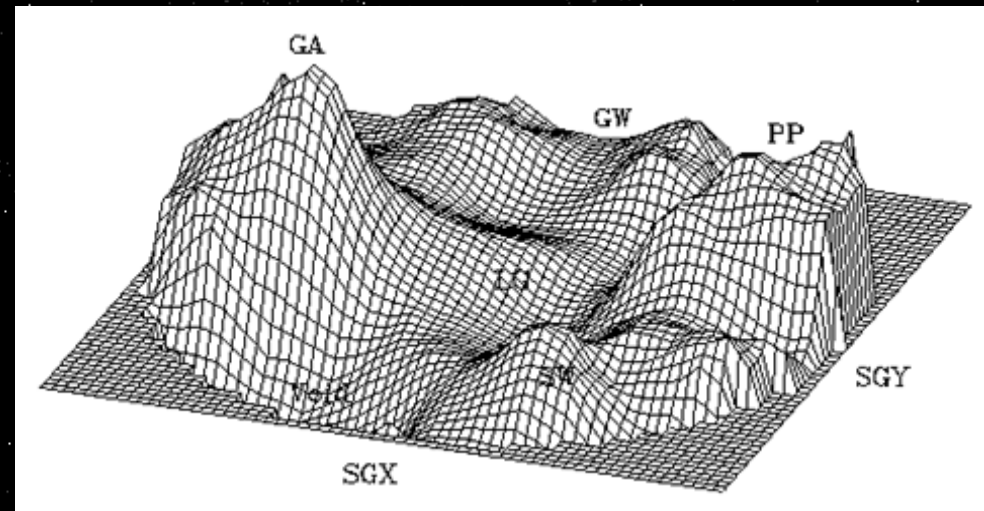


Galaxiskinematika



sebességek eloszlása

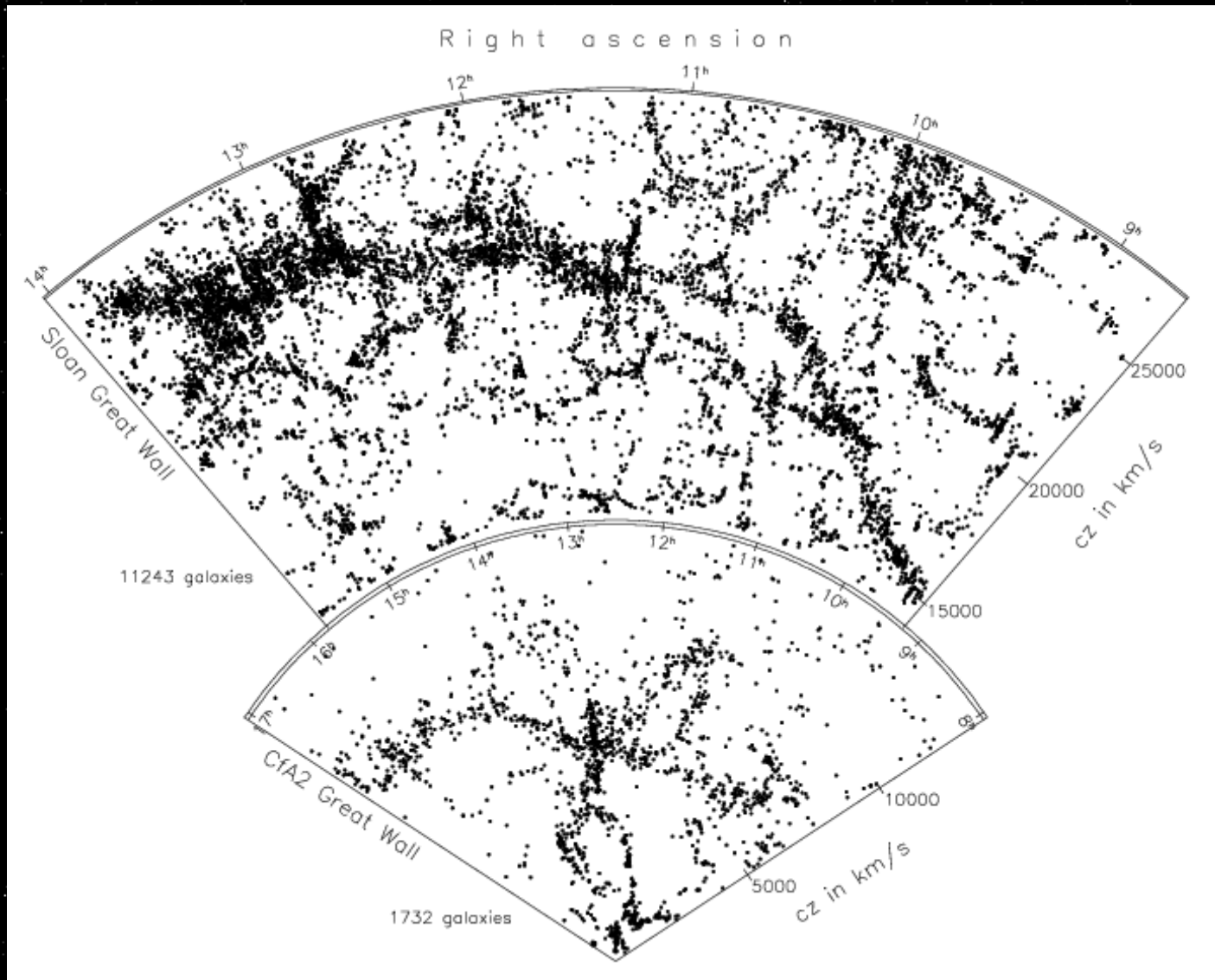
Great Attractor



számított tömegeloszlás

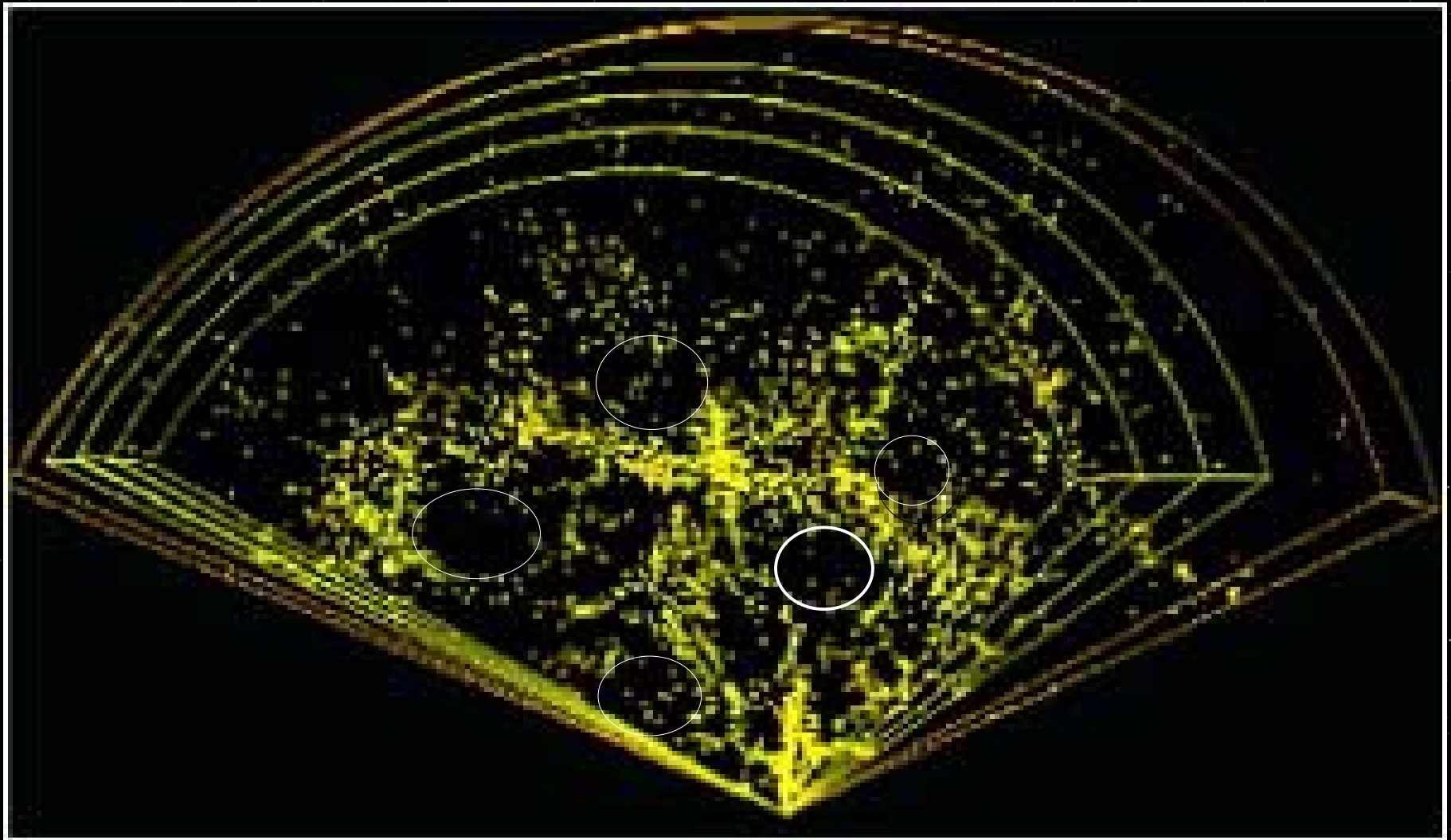
Nagyléptékű struktúrák

- Nagy Fal (Great Wall)

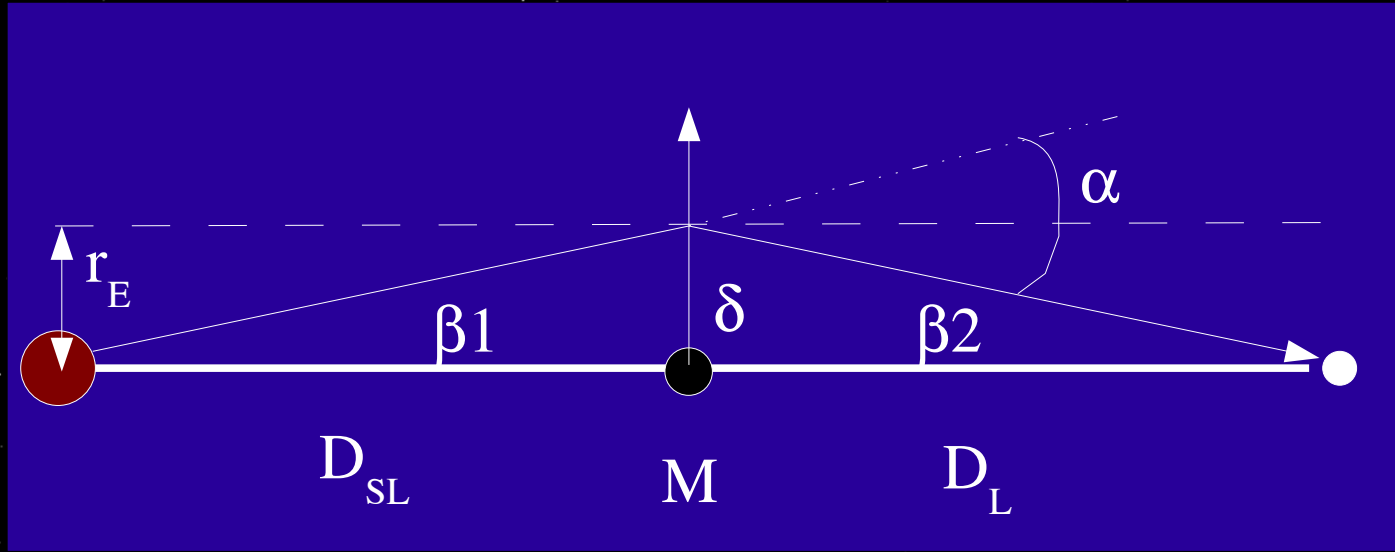


Nagyléptékű struktúrák

- űrök (voids) ~ 100 Mpc átmérő



Gravitációs lencsék



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

$$\alpha = \beta_1 + \beta_2 = \frac{\delta}{D_{SL}} + \frac{\delta}{D_L}$$

$$\delta = r_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \frac{D_{SL} D_L}{D_{SL} + D_L}}$$

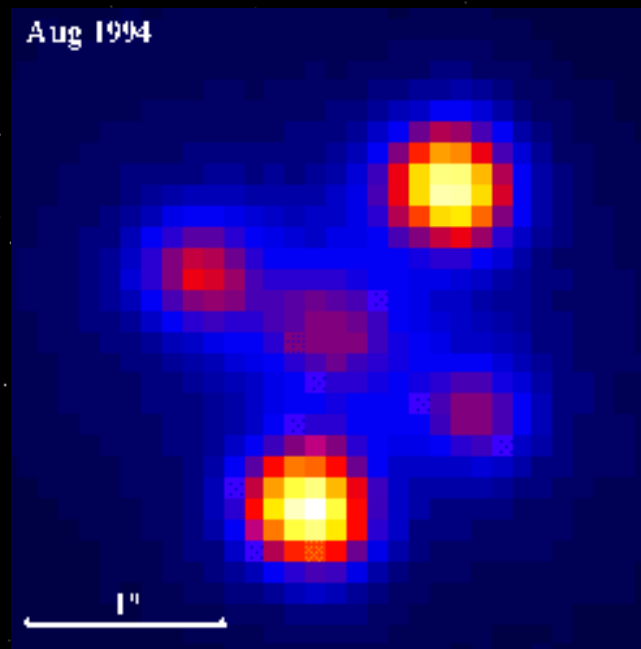
Einstein-sugár

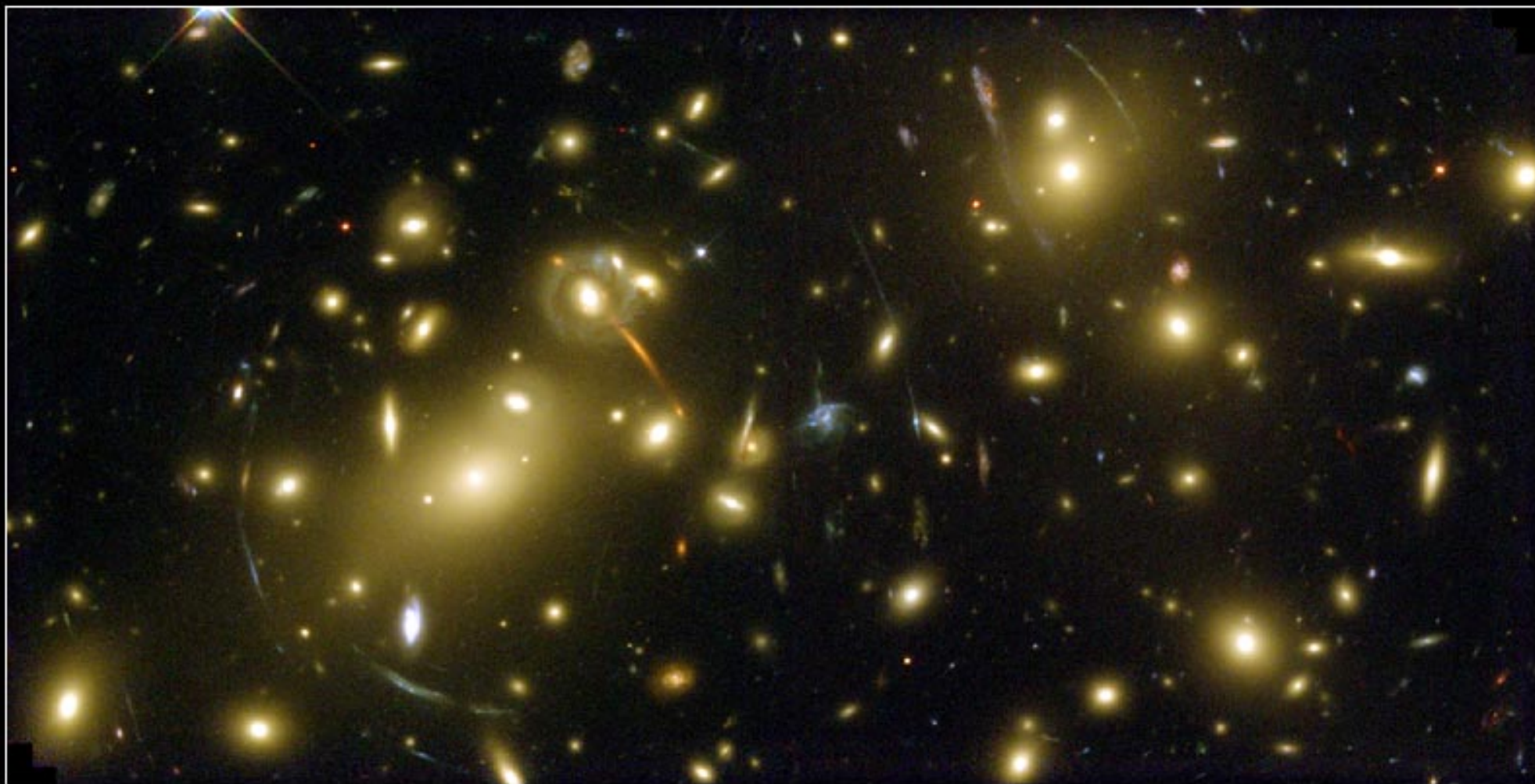
Einstein-szög: $\theta_E = \frac{r_E}{D_L}$

Ha az objektum távolságra van a lencsétől:

$\theta < \theta_E$ ---> erős lencsézés (strong lensing)

$\theta > \theta_E$ ---> gyenge lencsézés (weak lensing)

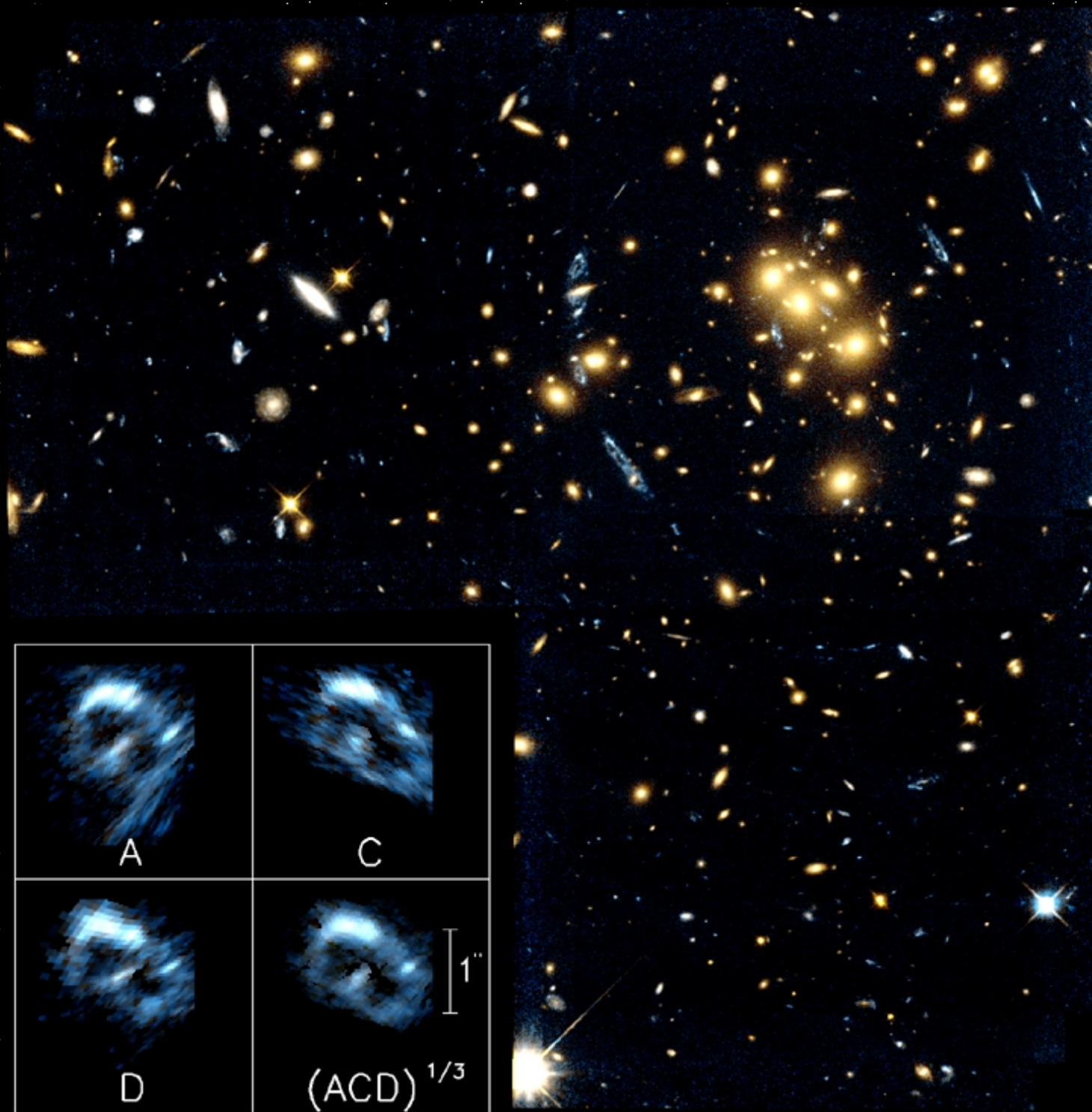




Galaxy Cluster Abell 2218

HST • WFPC2

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-08

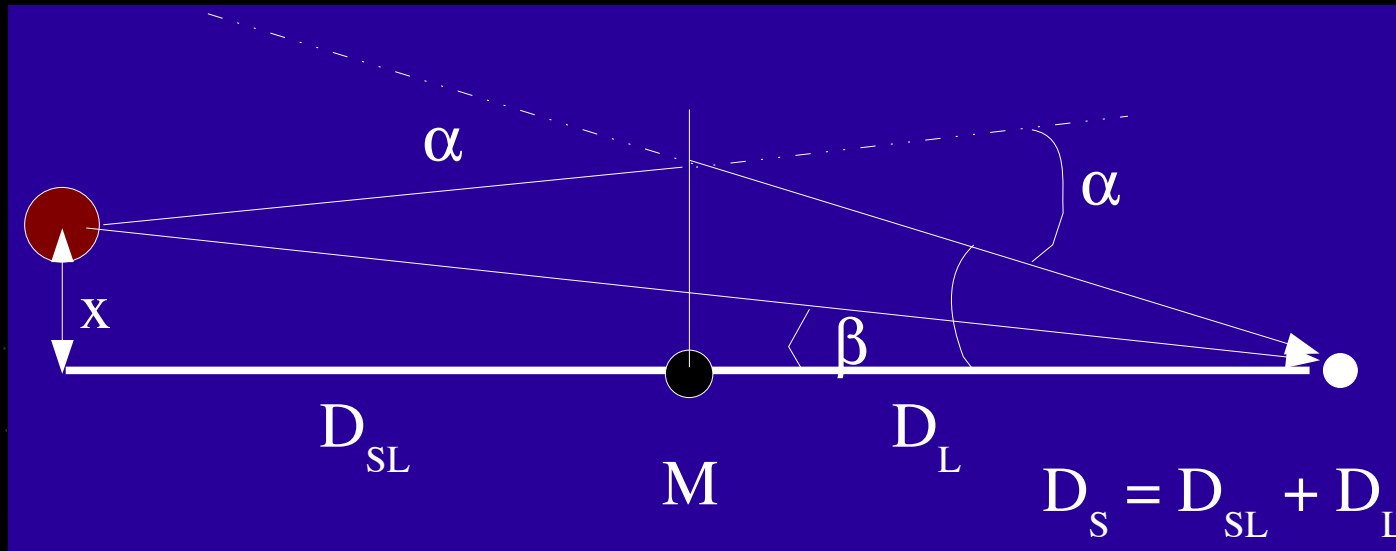


Abell 2218
HST WFPC2 ACS

200,000 light-years
70,000 parsecs 21"
At the distance of Abell 2218
2 billion light-years or
600 million parsecs



A lencse hatása az objektum fényességére



$$x = D_S \beta = D_S \theta - D_{SL} \alpha$$

$$\beta = \theta - \frac{D_{SL}}{D_S} \alpha = \theta - \frac{D_{SL}}{D_S} \frac{4GM}{c^2} \frac{1}{D_L \theta}$$

Az Einstein-sugár képletéből: $\beta = \theta - \frac{\theta_E^2}{\theta}$

Ennek megoldása: $\theta_{1,2} = \frac{1}{2} \left(\beta \pm \sqrt{\beta^2 + 4 \theta_E^2} \right)$

Az intenzitás-növekedés a látszó felület növekedésével lesz arányos!

A forrás látszó területe: $A_s = \sin \beta \, d\beta \approx \beta \, d\beta$

A képek területe: $A_{1,2} = \theta_{1,2} \, d\theta_{1,2}$

A relatív területnövekedés:

$$\frac{A_{1,2}}{A_s} = \frac{\theta_{1,2} \, d\theta_{1,2}}{\beta \, d\beta} = \frac{\theta_{1,2}}{2\beta} \left(1 \pm \frac{\beta}{\sqrt{\beta^2 + 4\theta_E^2}} \right)$$

A teljes intenzitásnövekedés a két tag összege:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{A_1}{A_s} + \frac{A_2}{A_s} = \frac{u^2 + 2}{u \sqrt{u^2 + 4}} \quad u = \frac{\beta}{\theta_E}$$

