

Estrutura em Larga Escala

Cap 8 do livro-texto

Como o Universo de parece em larga escala?

- Há duas abordagens pra responder essa pergunta:
 - Observacional: requer alguma medida da posição 3D de galáxias (ascensão reta, declinação, redshift) para uma **grande** quantidade de objetos
 - Teórica: simulações cosmológicas que partem das flutuações de densidade observadas na radiação cósmica de fundo (CMD) e evoluem gravitacionalmente com o Universo
- No aspecto teórico, as simulações cosmológicas estão cada vez mais sofisticadas
- No aspecto observacional, os **surveys** tiveram um papel essencial nesse estudo
 - Mas também há estudos usando **lentes gravitacionais** e **floresta Lyman-alpha**

Estrutura em Larga Escala através de surveys

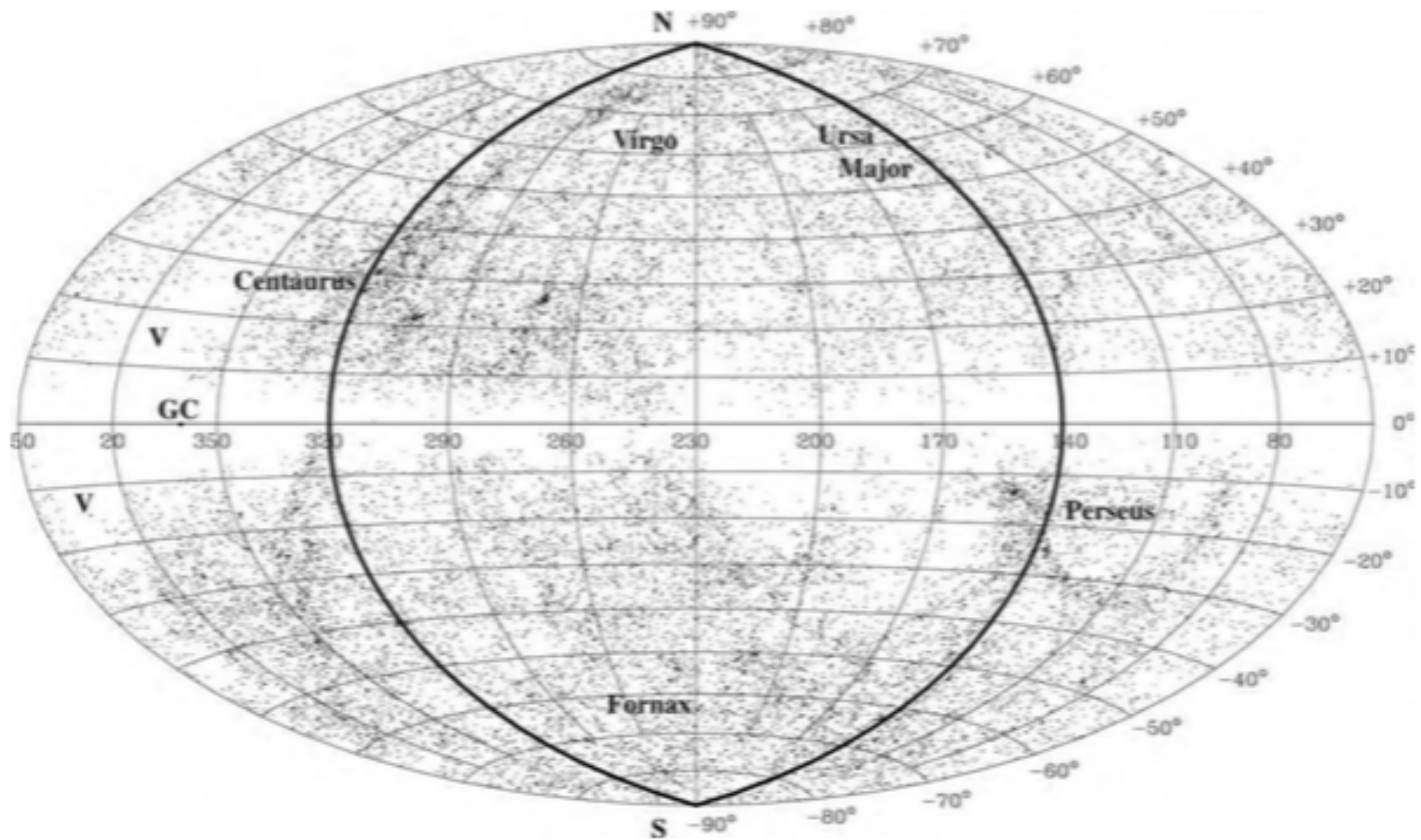
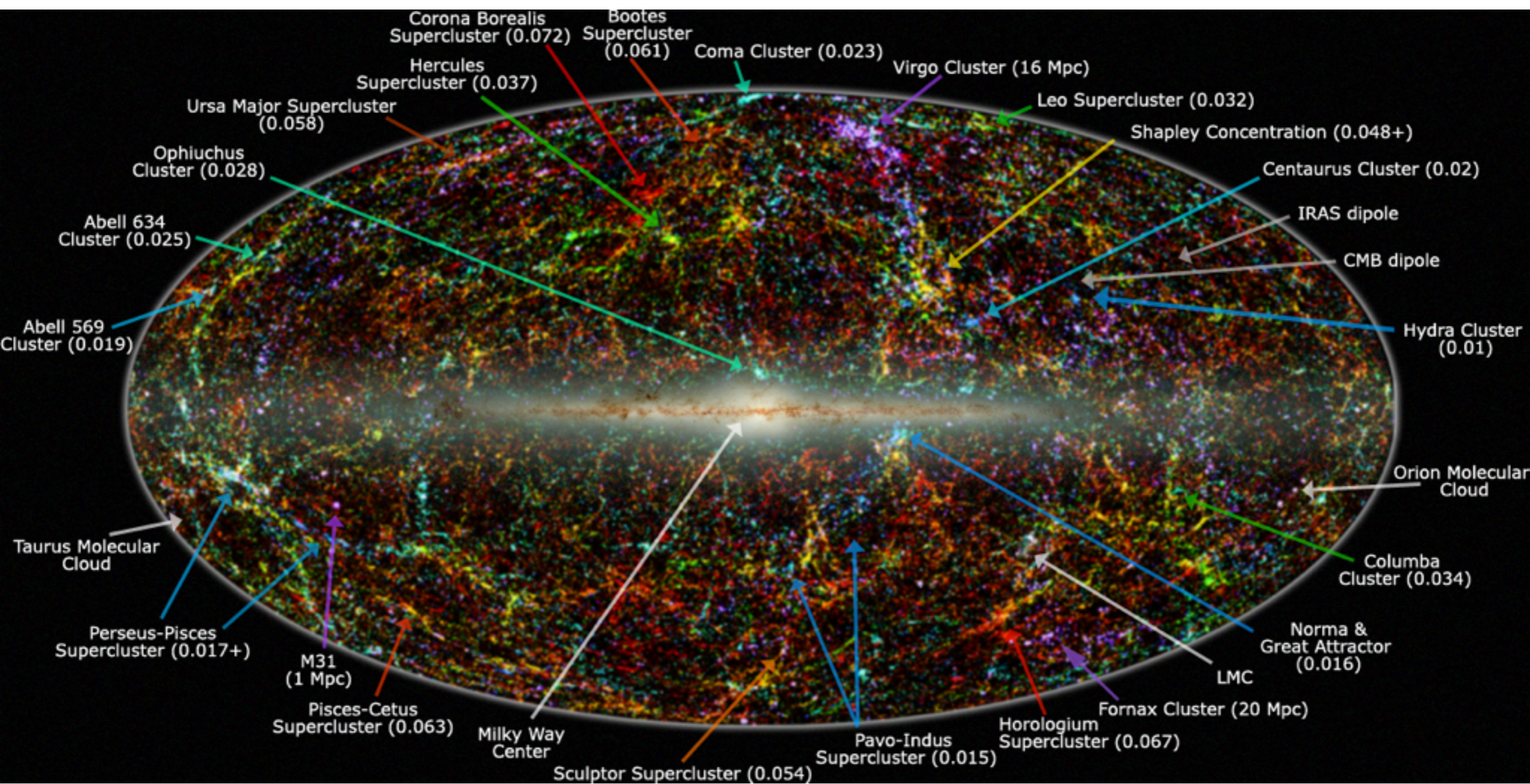
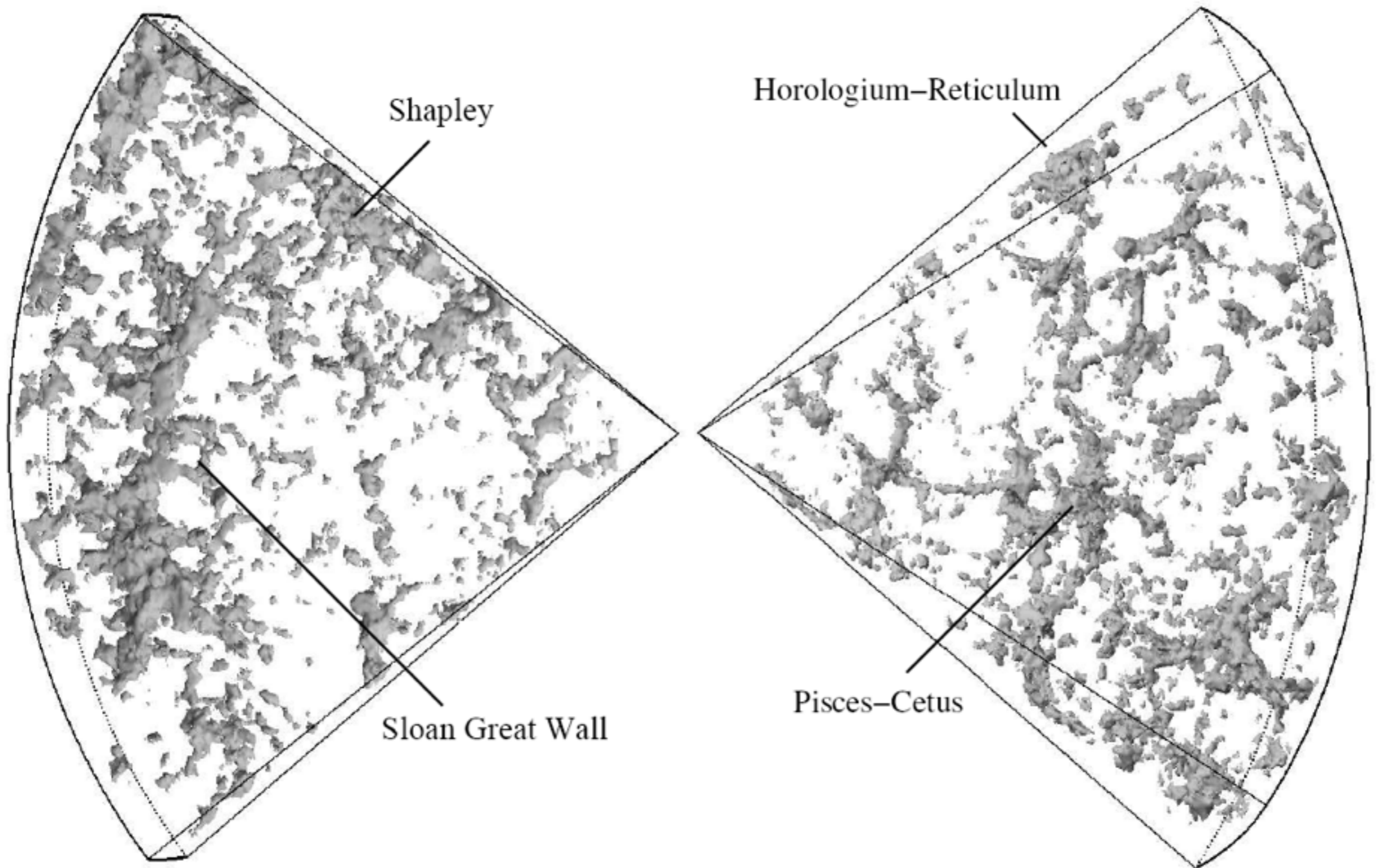


Fig. 8.1. Positions of 14 650 bright galaxies, in Galactic longitude l and latitude b . Many lie near the supergalactic plane, approximately along the Great Circle $l = 140^\circ$ and $l = 320^\circ$ (heavy line); V marks the Local Void. Galaxies near the plane $b = 0$ of the Milky Way's disk are hidden by dust – T. Kolatt and O. Lahav.



Reconstrução baseada no 2dF Galaxy Redshift Survey



Relação morfologia-densidade

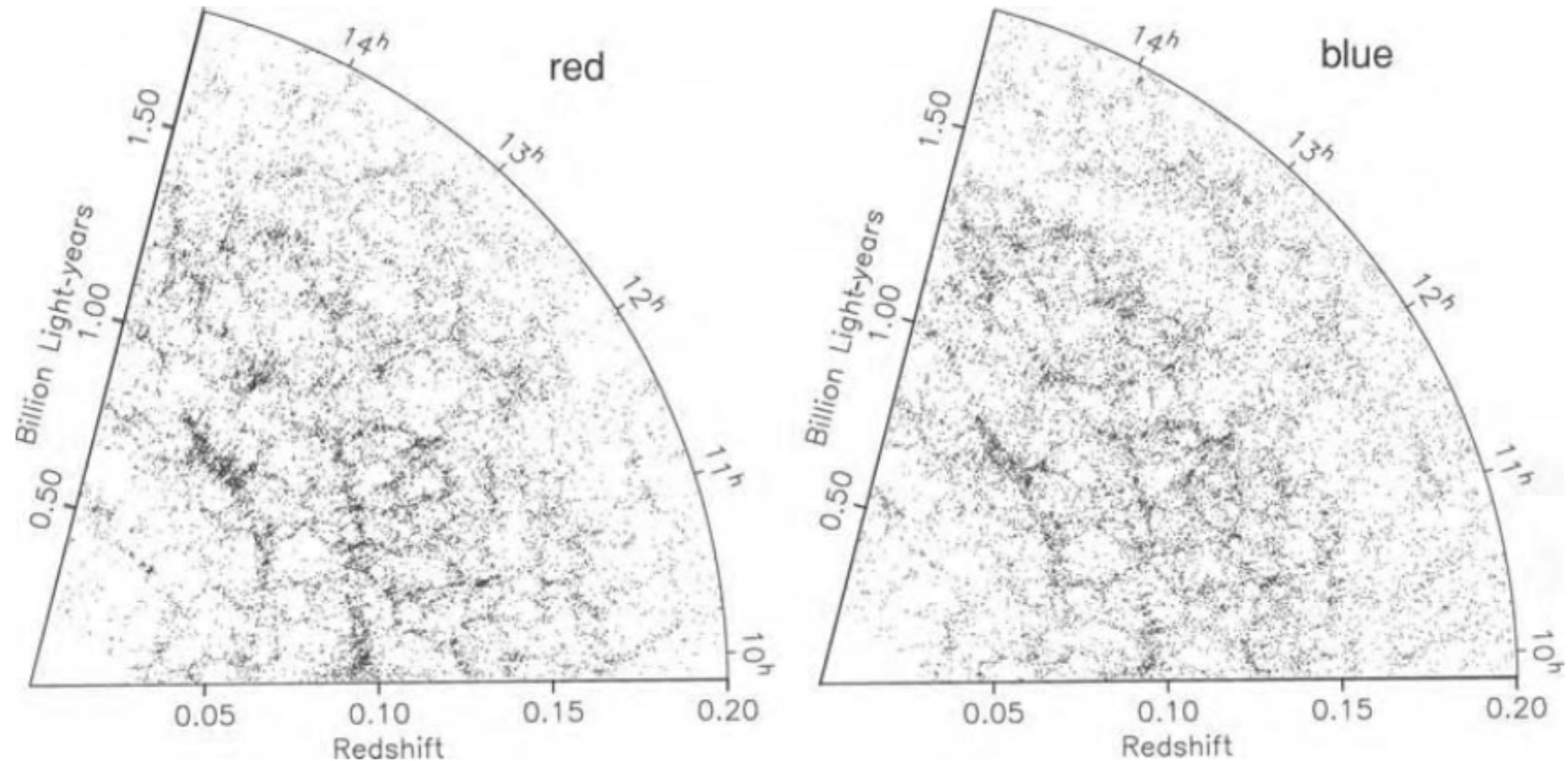


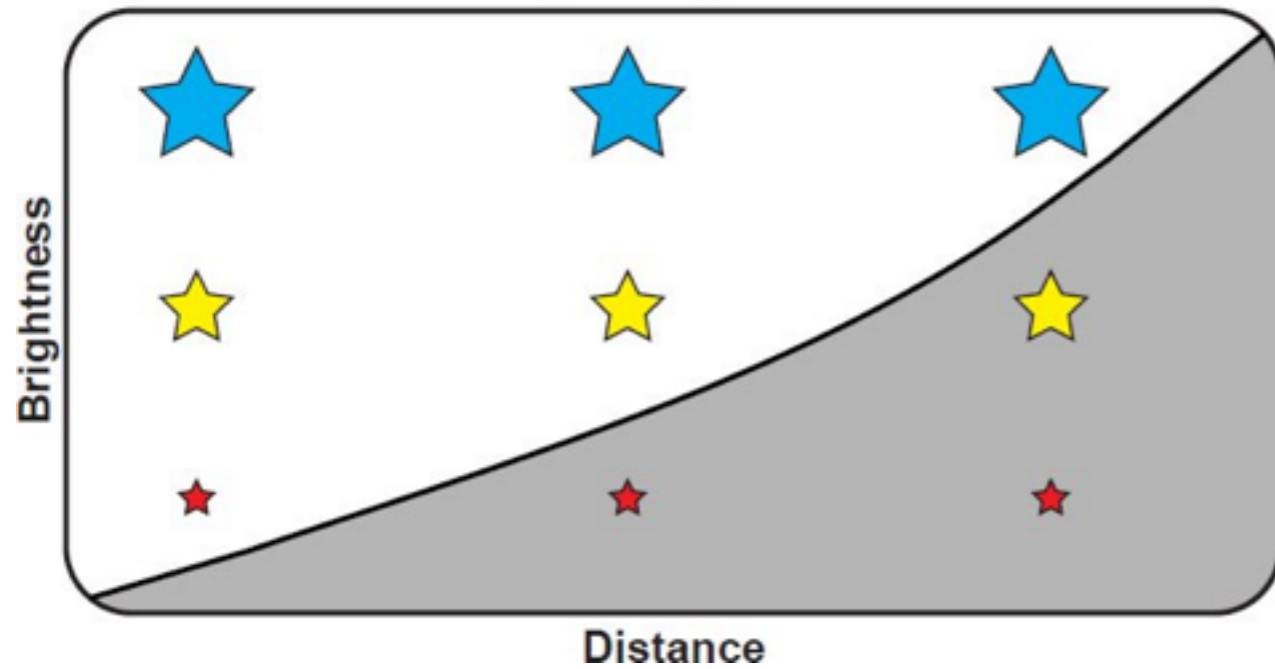
Fig. 8.5. About 27 000 red galaxies (left) with spectra like those of elliptical galaxies, and the same number of star-forming blue galaxies (right), in a slice $-32^\circ < \delta < -28^\circ$ from the 2dF survey. These are luminous galaxies, with $-21 < M(B_J) < -19$. The elliptical and S0 galaxies cluster more strongly than the spiral-like systems.

Distribuição de Galáxias?

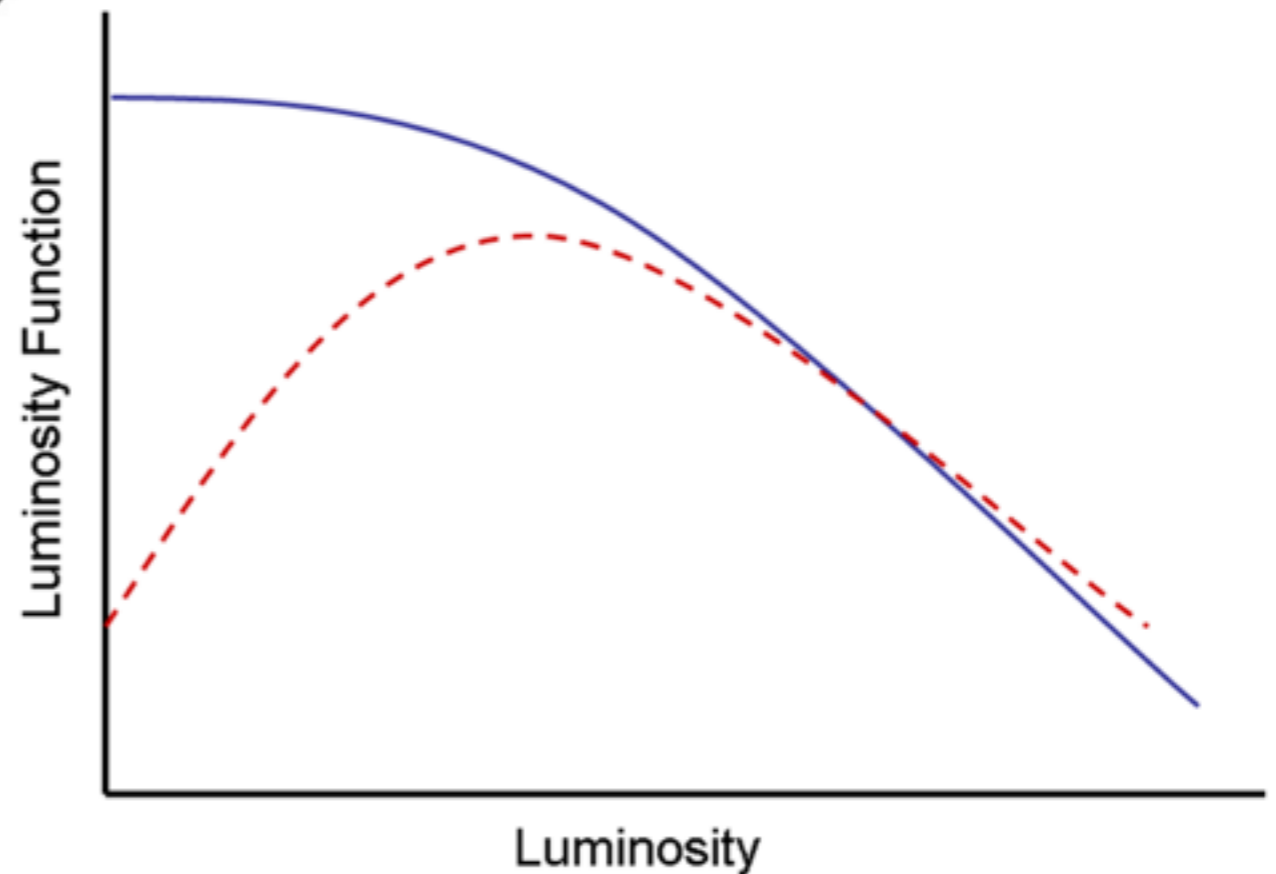
- Na verdade, não devemos falar simplesmente de "distribuição de galáxias", mas devemos ter o cuidado de especificar quais galáxias estamos olhando.
- Nunca vemos todas as galáxias em um determinado volume:
 - se selecionarmos objetos suficientemente grandes no céu que parecem difusos e, portanto, claramente não-estelares, omitiremos as galáxias mais compactas
 - um survey que encontra galáxias através da detecção da emissão de rádio de 21 cm de seu hidrogênio neutro localizará facilmente as galáxias irregulares opticamente espessas, mas perderão elípticas luminosas que geralmente não possuem gás HI.
 - Bias de Malmquist está presente em qualquer amostra selecionada por magnitude aparente.
- Mapear a matéria luminosa do Universo não é uma tarefa fácil.

Malmquist bias (Magnitude limited samples)

The Malmquist bias



<https://answersingenesis.org/astronomy/cosmology/new-method-assess-luminosity-function-galaxies/>



https://en.wikipedia.org/wiki/Malmquist_bias

Astronomia de *Surveys*

- Espectroscopia Longslit
 - CfA Redshift Survey: 2200 galáxias, 1977 - 1982
 - CfA2 redshift survey: 15000 galáxias, completado no início da década de 90
- Espectrógrafos Multi-slit ou de Fibra óptica
 - 2dF Galaxy Redshift Survey (221000 redshifts, completado em 2002)
 - Sloan Digital Sky Survey (aproximadamente 1 milhão de redshifts em 2007)
 - Galaxy And Mass Assembly survey (375000 galáxias)
- Universo de alto redshift (cerca de 50000 redshifts cada)
 - DEEP2 Redshift Survey
 - VIMOS-VLT Deep Survey (VVDS)

Estrutura em Larga Escala

- Organizada hierarquicamente, de grupos para aglomerados, para superaglomerados, para paredes e filamentos que são separados por espaços gigantescos de vazio (voids), criando a chamada "Cosmic Web"
- Mas, e o Princípio Cosmológico?
 - *End of Greatness*: corresponde a uma escala observacional no qual o Universo se torna homogeneizado e isotrópico, $\sim 100\text{Mpc}$

Redshifts Fotométricos

- Futuros surveys fotométricos (J-PAS, LSST) terão um papel importante nas próximas décadas.
- Mas a determinação de redshift vem de fotometria, não espectroscopia...

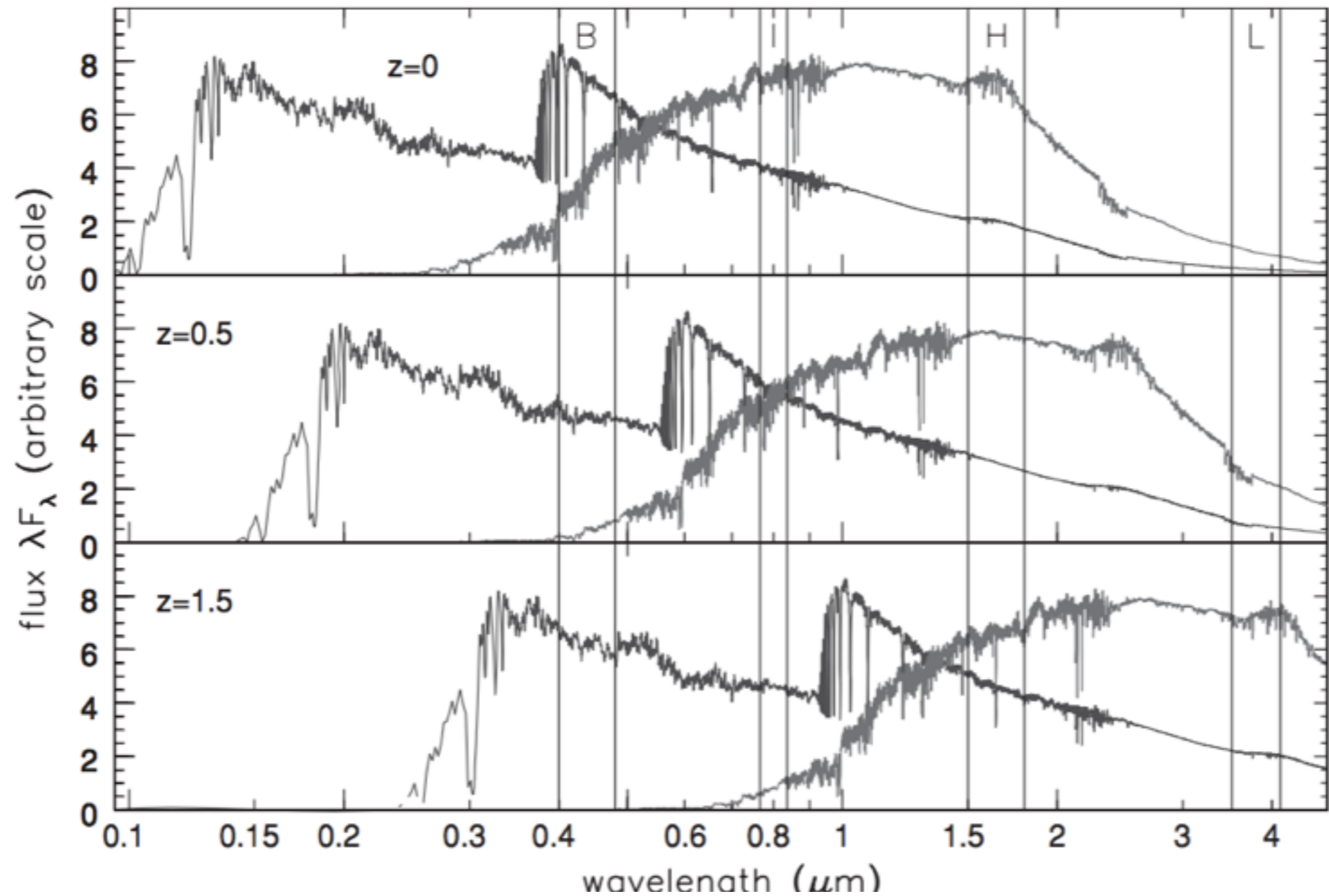


Fig. 8.12. Spectra of two model galaxies: the stars of the bluer system formed in a single burst 100 Myr ago, while those of the redder galaxy are all 4 Gyr old. Vertical lines show *B*, *I*, *H*, and *L* wavelength regions from Figure 1.7. The top panel shows the emitted light of each galaxy, while the lower panels illustrate how the redshift affects the relative brightness in each bandpass. The energy in each wavelength region is proportional to the area under the curve – S. Charlot.

Redshifts Fotométricos

- Módulo de distância:

$$m_{\text{BP}} = M_{\text{BP}} + 5 \log_{10} \left(\frac{d_{\text{L}}}{10 \text{ pc}} \right) + k_{\text{BP}}(z) + e_{\text{BP}}(z). \quad (8.45)$$

- Correção k

$$k_{\text{BP}}(z) \equiv 2.5 \log_{10}(1 + z) - 2.5 \log_{10} \left\{ \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}[\lambda/(1 + z), t_0] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda, t_0) d\lambda} \right\}, \quad (8.46)$$

Photometric Redshifts based on standard SED fitting procedures

Micol Bolzonella^{1,2,3}, Joan-Marc Miralles⁴, Roser Pelló³

¹ Istituto di Fisica Cosmica “G. Occhialini”, via Bassini 15, I-20133 Milano, Italy

² Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano, via Celoria 16, I-20133 Milano, Italy

³ Observatoire Midi-Pyrénées, UMR 5572, 14 Avenue E. Belin, F-31400 Toulouse, France

⁴ Astronomical Institute, Tohoku University, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan

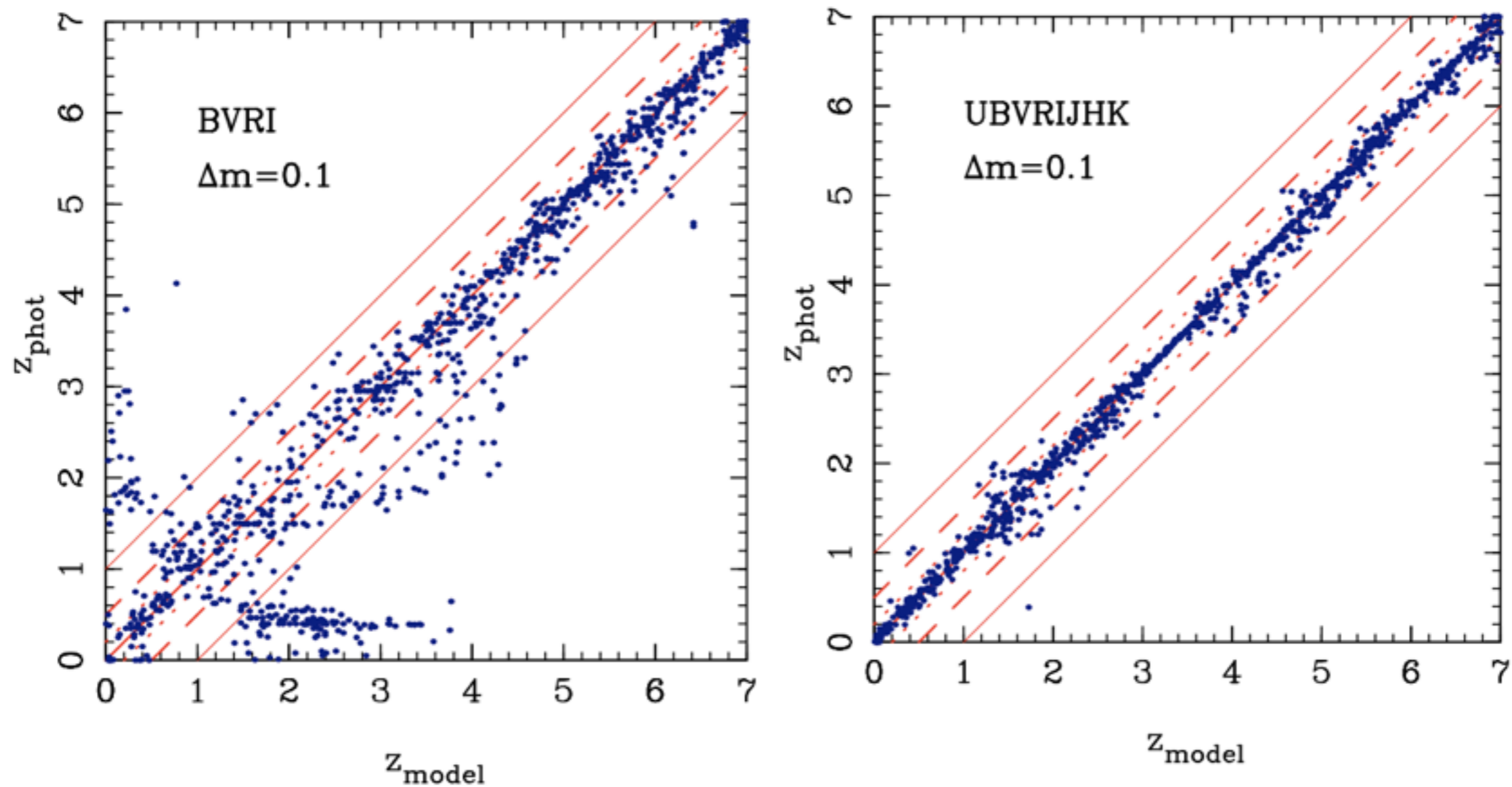


Fig. 2. Comparison between z_{model} and z_{phot} for simulated catalogues with $\Delta m = 0.1$ and filters sets *BVRI*, *UBVRI*, *UBVRIJ*, *UBVRIK*, *BVRIJK*, *UBVRIJHK*. Dotted lines correspond to $\Delta z = 0.2$, dashed lines to $\Delta z = 0.5$ and thin solid lines to $\Delta z = 1$.

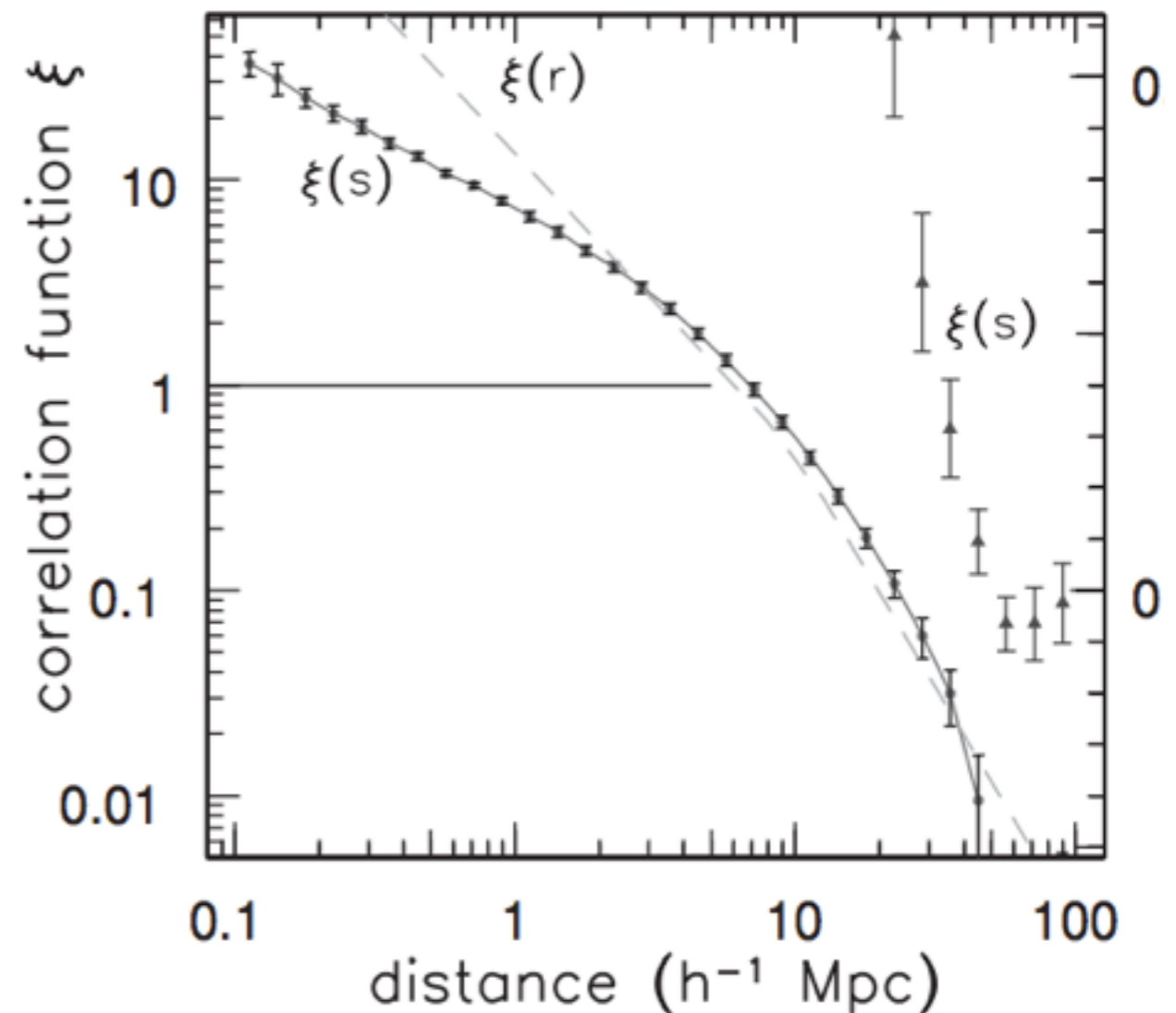
Two-point correlation function

Dados dois pequenos volumes no Universo ΔV e uma densidade média de galáxias n por megaparsec cubo, há uma probabilidade ΔP de haver uma galáxia em ΔV_1 e em ΔV_2 , dada uma separação r_{12}

$$\Delta P = n^2 [1 + \xi(r_{12})] \Delta V_1 \Delta V_2; \quad (8.1)$$

$\xi(r) > 0$ As galáxias estão "aglomeradas"
 $\xi(r) < 0$, As galáxias "se evitam"

Fig. 8.6. The correlation function $\xi(s)$ for the 2dF galaxies, at small (circles, left logarithmic scale) and large (triangles, right linear scale) separations; vertical bars show uncertainties. $\xi(s)$ is calculated assuming that Hubble's law holds exactly: the 'fingers' of Figure 8.5 reduce $\xi(s)$ on scales $r \lesssim 1$ Mpc, but infall to the walls makes clustering look stronger on scales near r_0 . The dashed line shows $\xi(r)$, corrected for these effects.



Função de correlação

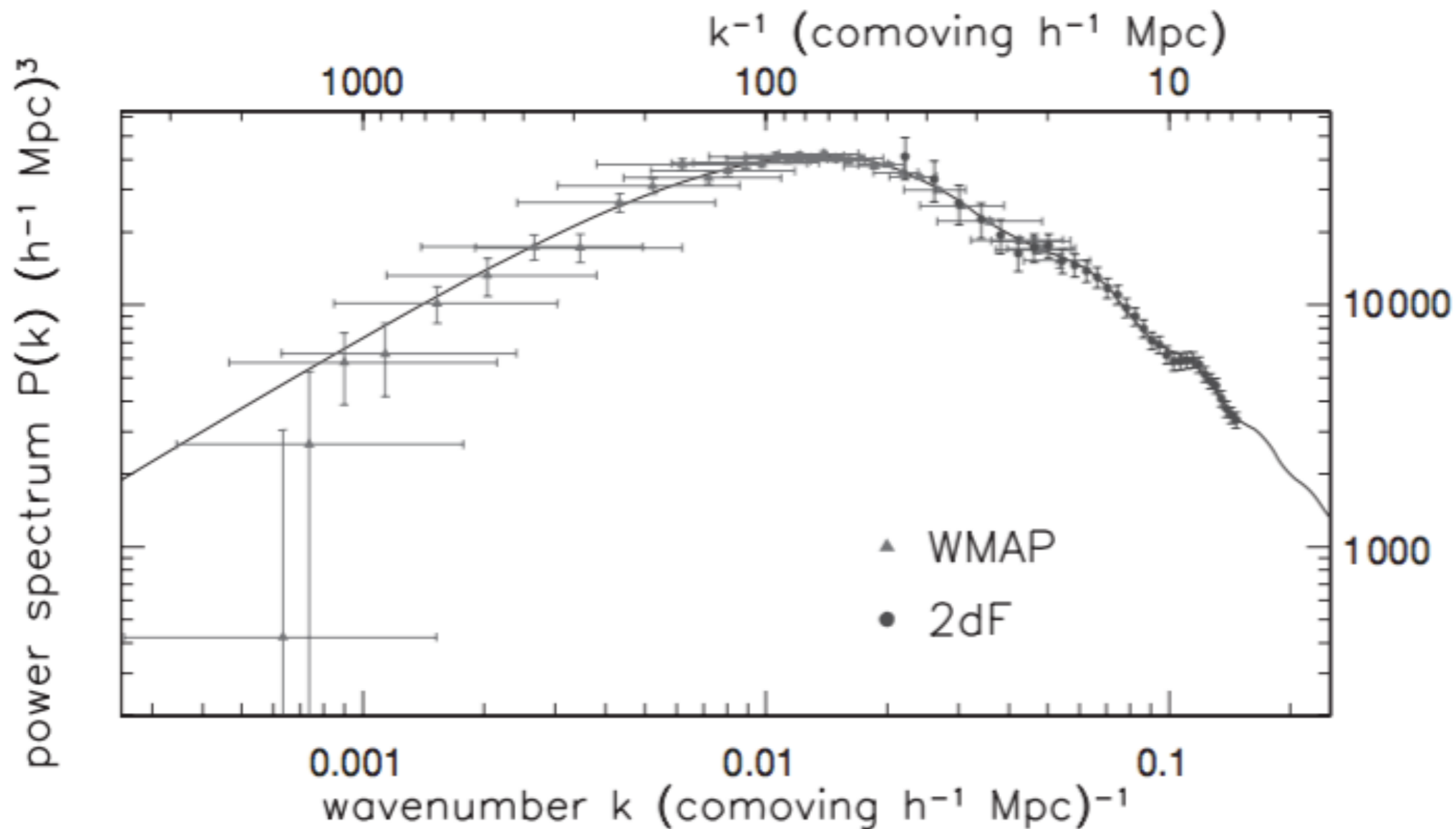
- Infelizmente, a função de correlação não é muito útil para descrever os filamentos unidimensionais ou as paredes bidimensionais.
- Se nosso volume ΔV_1 estiver em um desses, a probabilidade de encontrar uma galáxia em ΔV_2 é alta apenas quando ela também está dentro da estrutura.
- Como $\xi(r)$ é uma média em todas as colocações possíveis de ΔV_2 , não aumentará muito acima de zero uma vez que a separação r exceda a espessura da parede ou do filamento. Podemos tentar superar isso definindo as funções de correlação de três pontos e quatro pontos, que dão a probabilidade conjunta de encontrar esse número de galáxias com separações particulares; Mas isso não é muito satisfatório.
- Ainda não temos um bom método estatístico para descrever a intensidade de paredes e filamentos?

Power Spectrum

Transformada de Fourier de $\xi(s)$. Escalas são maiores para k pequenos.

$$P(\mathbf{k}) \equiv \int \xi(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) d^3\mathbf{r} = 4\pi \int_0^\infty \xi(r) \frac{\sin(kr)}{kr} r^2 dr, \quad (8.3)$$

Fig. 8.17. Data from WMAP (triangles) and the 2dF galaxy survey (dots) are combined to trace the power spectrum $P(k)$. The smooth curve shows the prediction from a flat ($k = 0$) model similar to the benchmark cosmology. The wiggle at $k \approx 0.1$ is an acoustic peak on a scale of ~ 10 Mpc, too small to be measured by WMAP – A. Sánchez: model b5 from *MNRAS* **366**, 189 (2006).



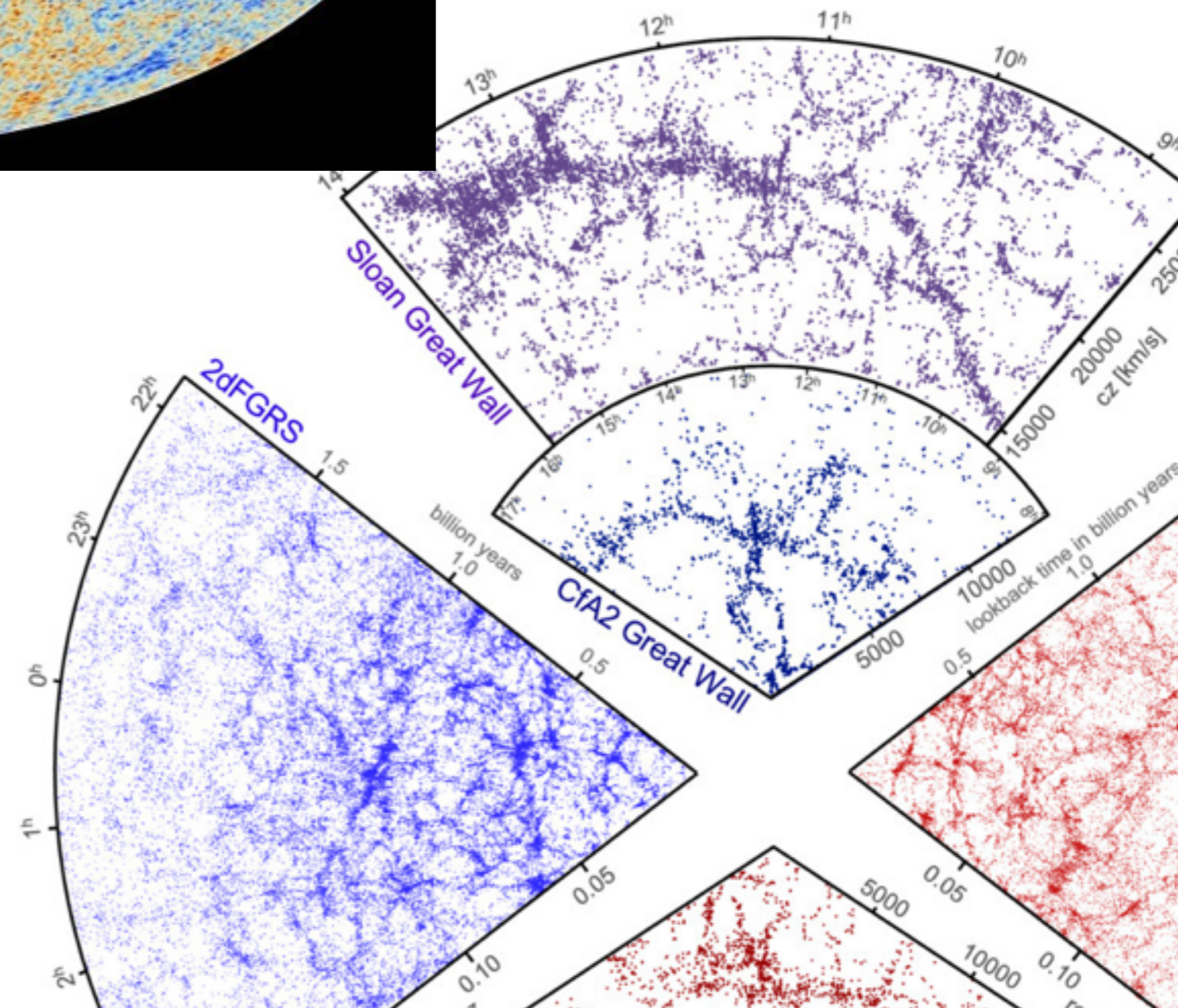
Cobe 1992

WMAP 2003

Planck 2013

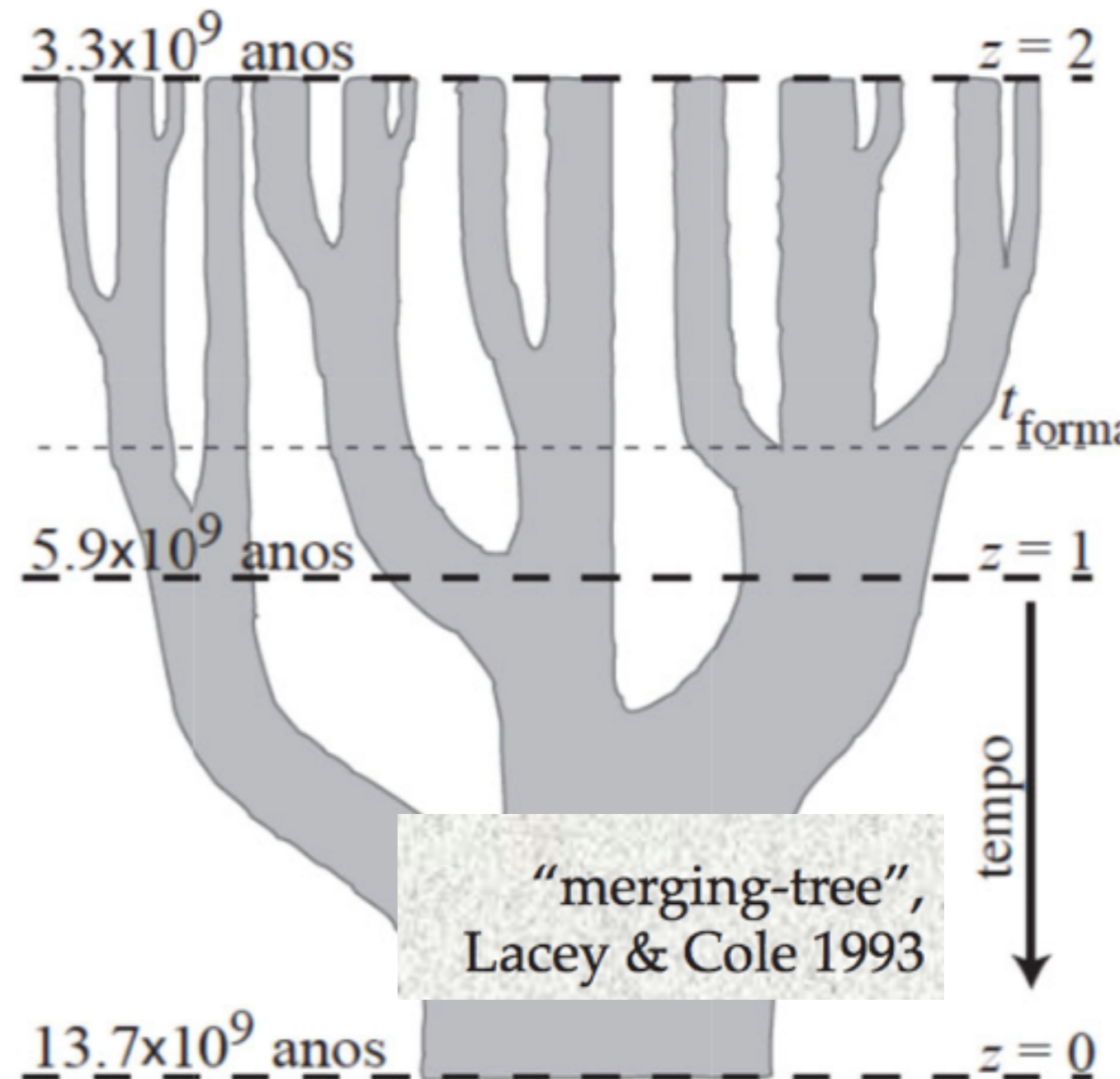
A temperatura é a mesma em todas as partes do céu em 10^{-5} ...

... e hoje as galáxias são fortemente aglomeradas

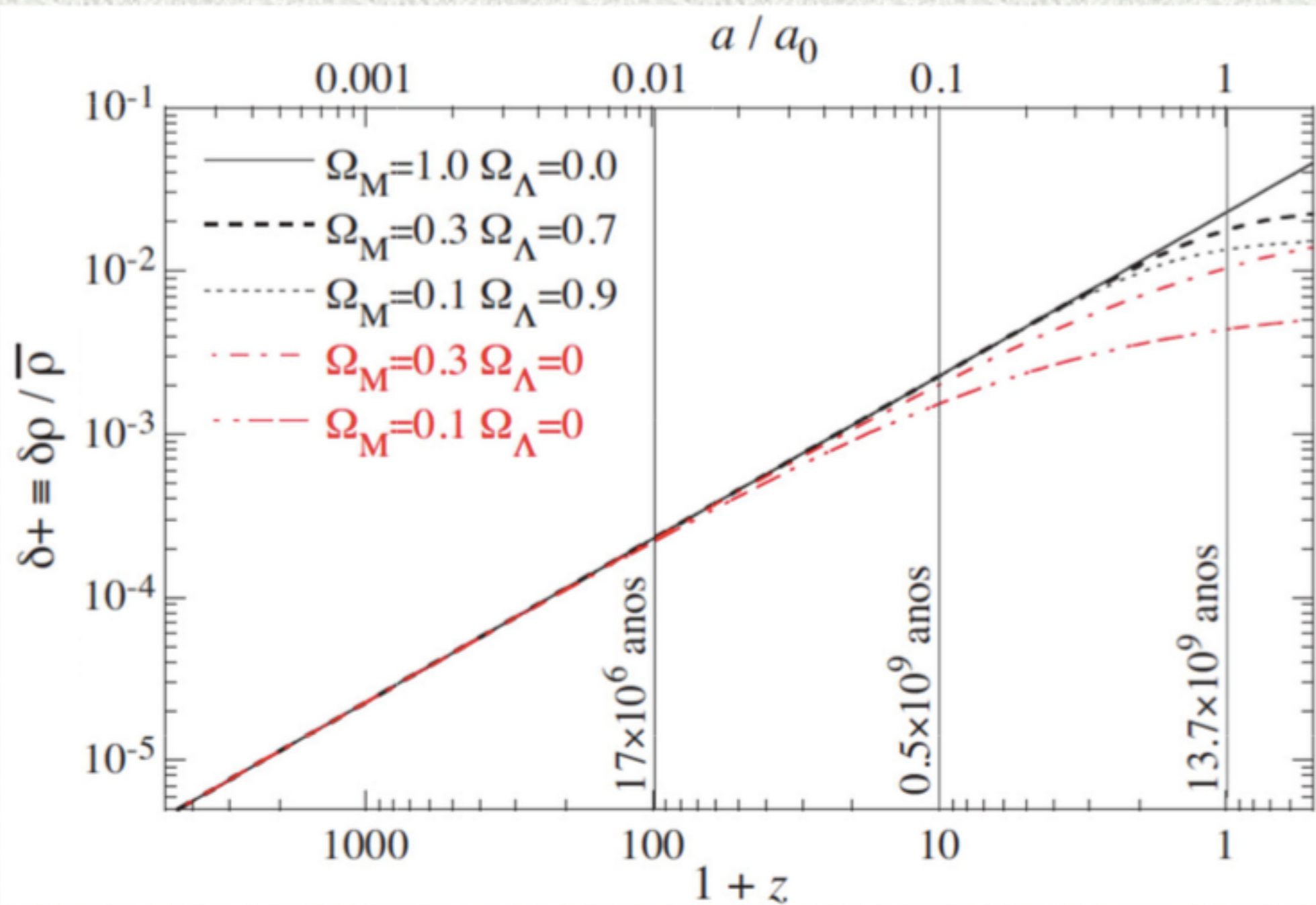


Evolução das perturbações

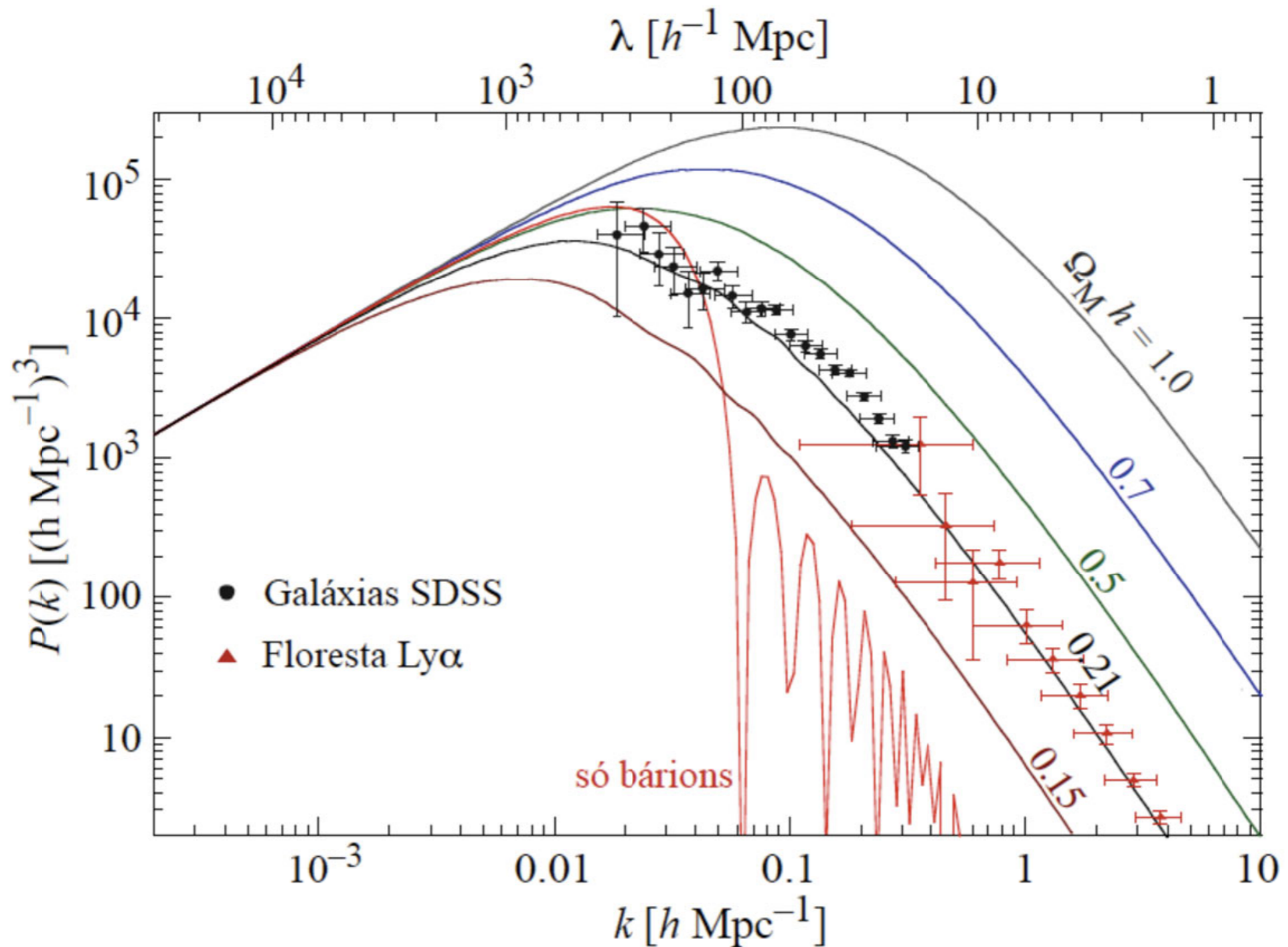
- Todas as componentes do Universo - fótons, bárions e matéria escura - tem que ser consideradas
- Perturbações bariônicas só podem crescer depois da recombinação $z \sim 1100$
 - a estrutura em larga escala observada hoje é ainda outra evidência para a matéria escura
 - matéria escura quente forma estrutura top-down
 - matéria escura fria forma estrutura hierárquica



Evolução de uma perturbação linear



Dependência com parâmetros cosmológicos



Simulações Cosmológicas

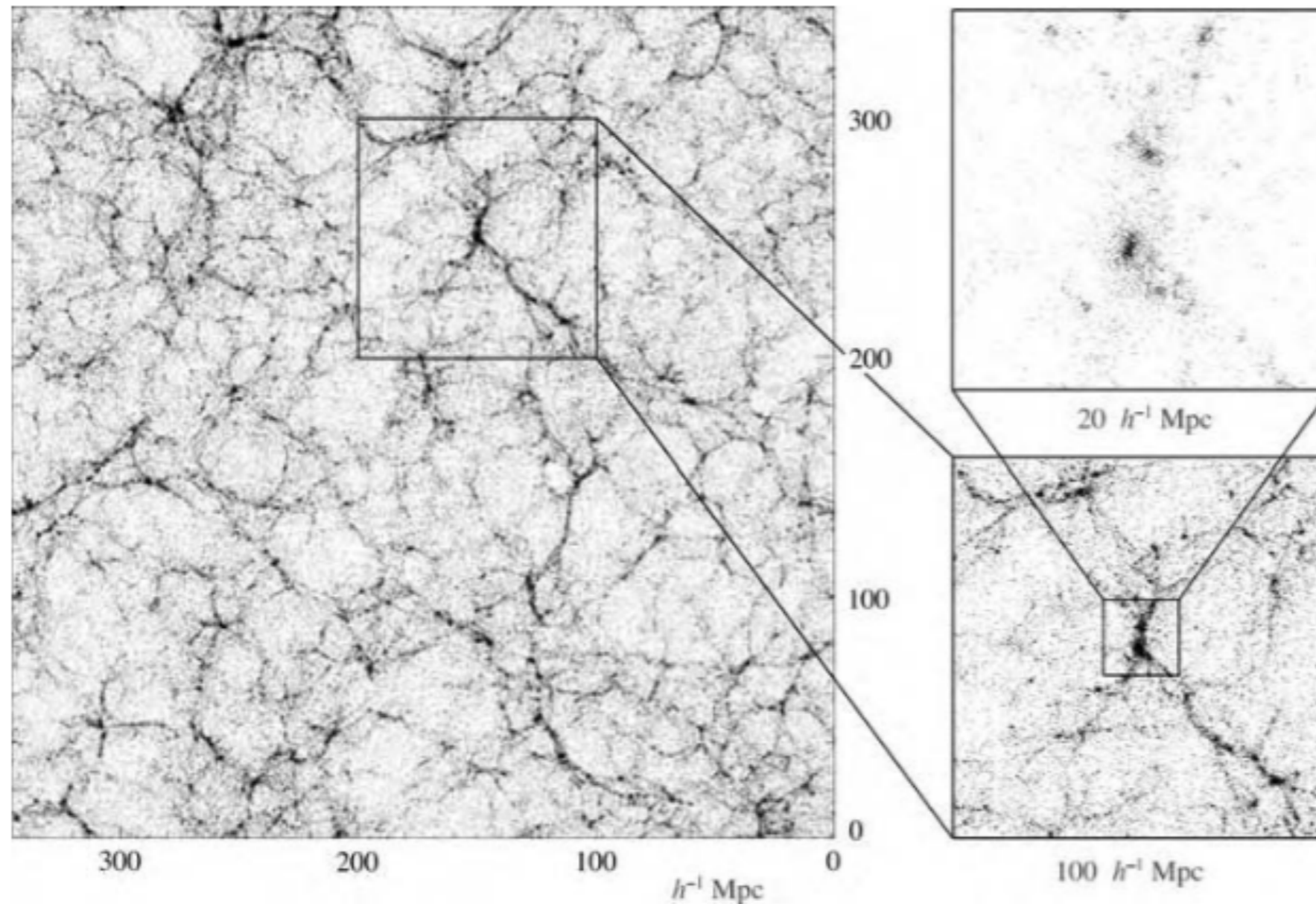


Fig. 8.16. A slice $20h^{-1}$ Mpc thick, through a gravitational N -body simulation with cold dark matter, viewed at the present day. Side frames show magnified views of dense clumps; galaxy groups would form in these ‘dark halos’ – D. Weinberg.

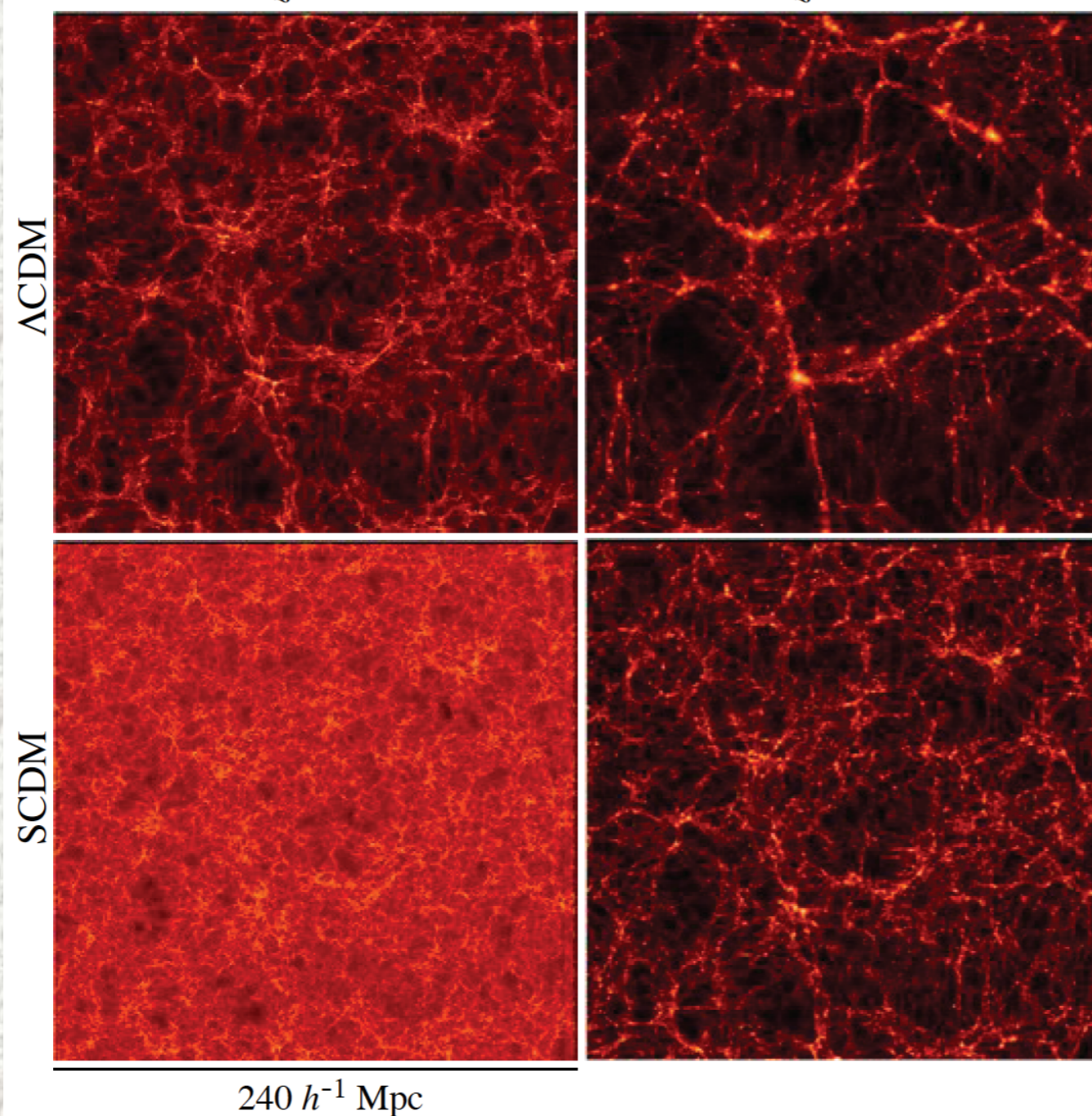
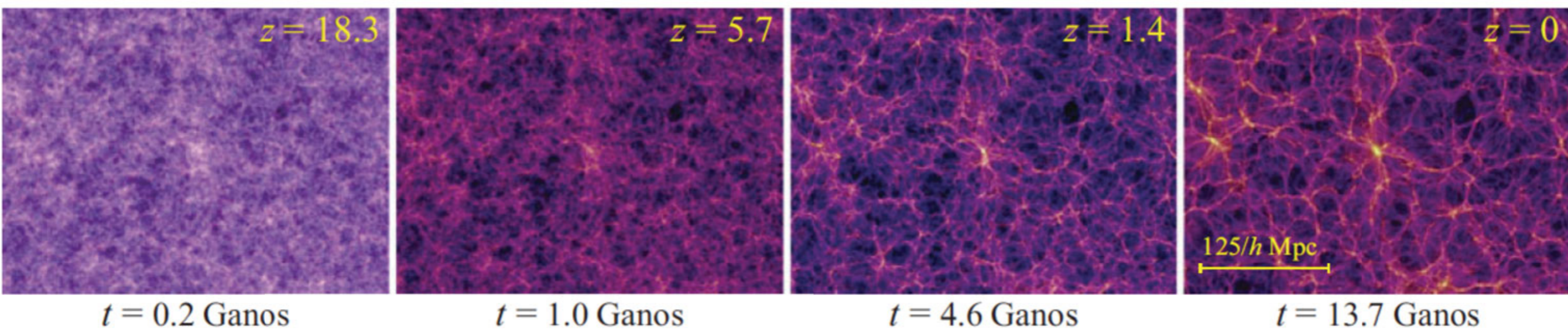
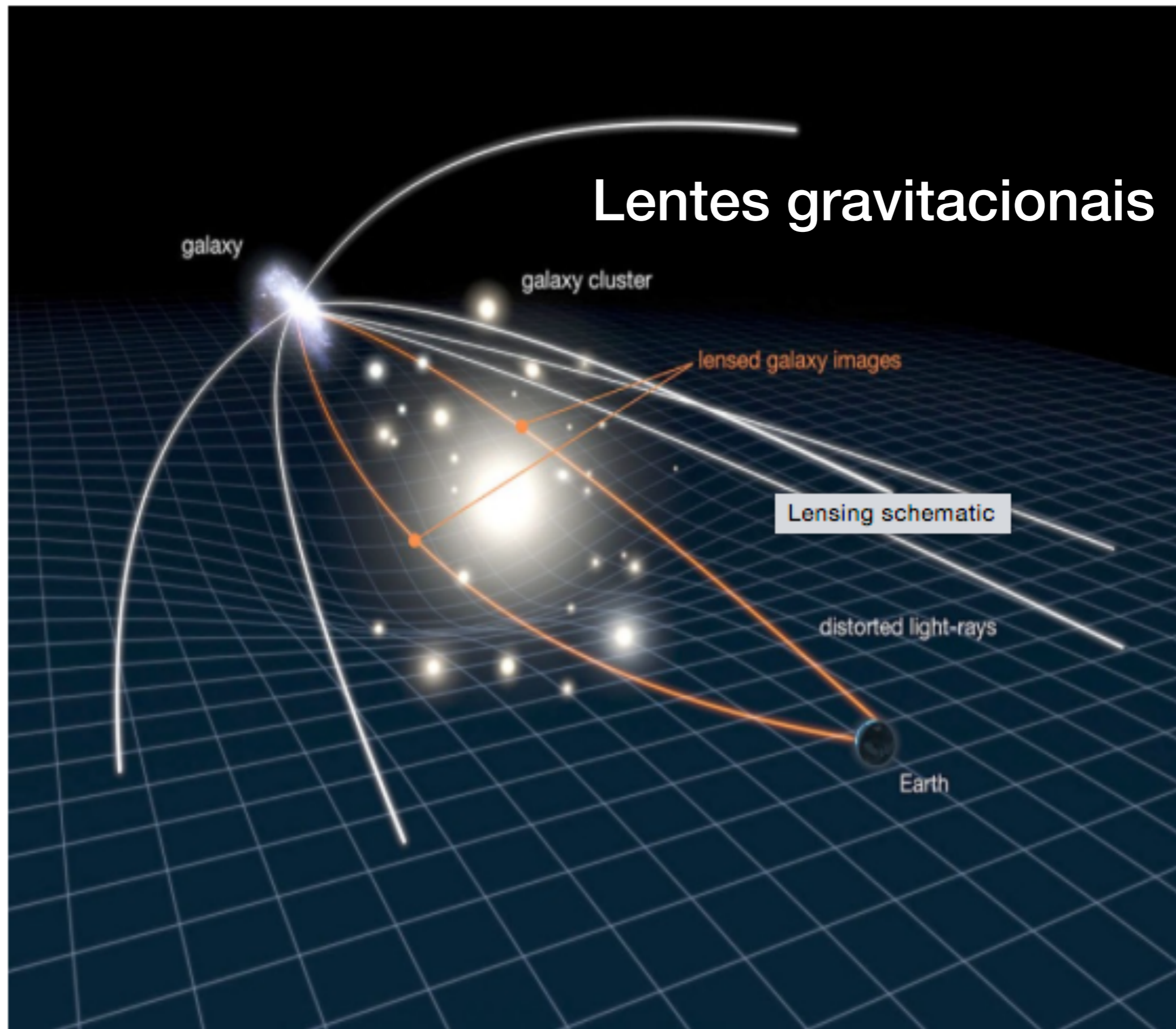


Figura 59: Simulação de dois cenários cosmológicos, Λ CDM ($\Omega_\Lambda = 0,7$, $\Omega_M = 0,3$, $h = 0,7$) e SCDM ($\Omega_M = 1$, $h = 0,5$), mostrados na época atual ($z = 0$) e em $z = 3$. A fatia do Universo nos painéis tem um décimo da largura. Cada simulação tem 256^3 partículas. Figura tirada de (Jenkins et al., 1998, *Virgo Consortium*).



Lentes gravitacionais



Lentes gravitacionais

- Previstas por A. Einstein (1912), comprovada no eclipse solar de 1919

$$\alpha \approx \frac{4GM}{bc^2} = \frac{2R_s}{b}$$

R_s is the Schwarzschild radius $2GM/c^2$

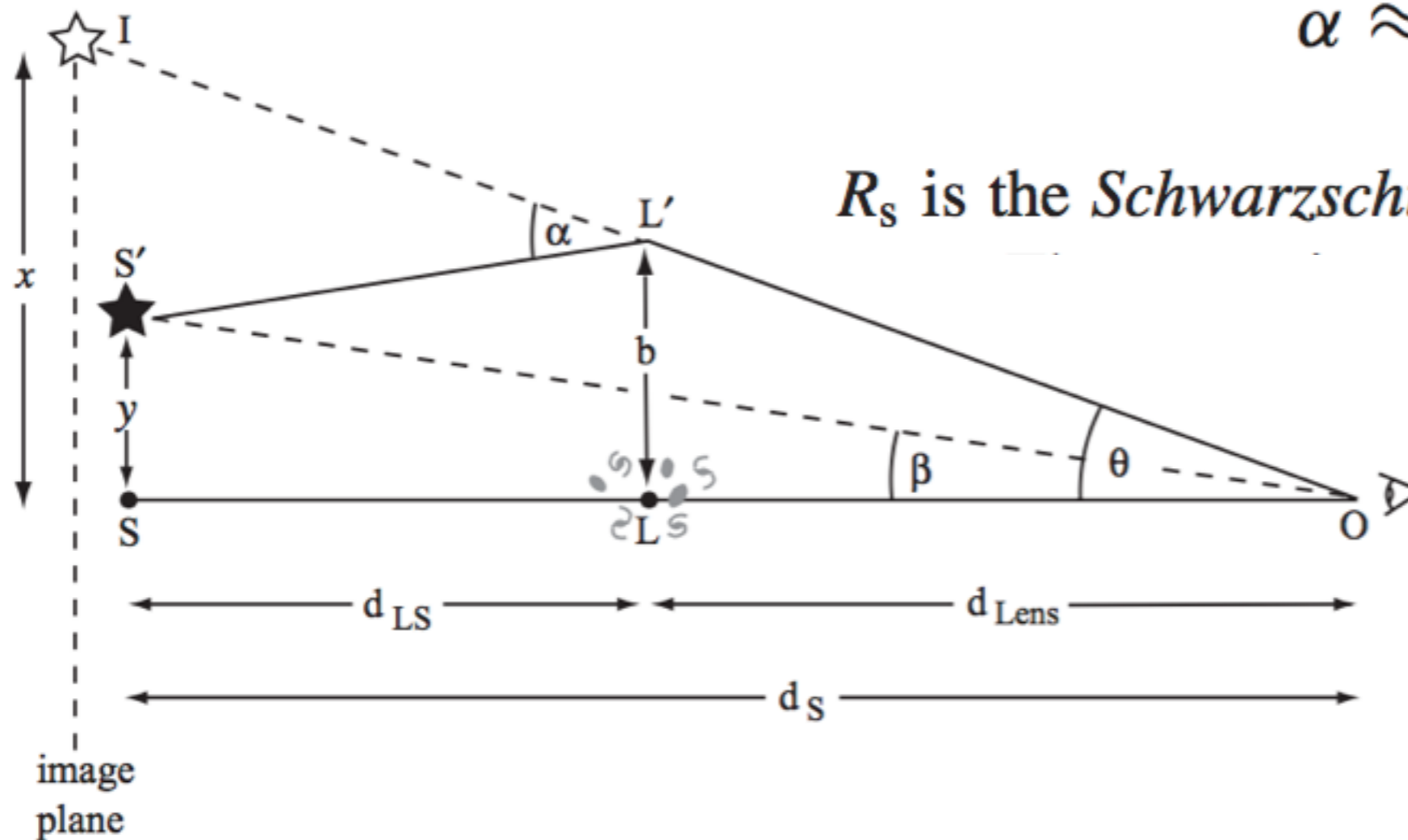
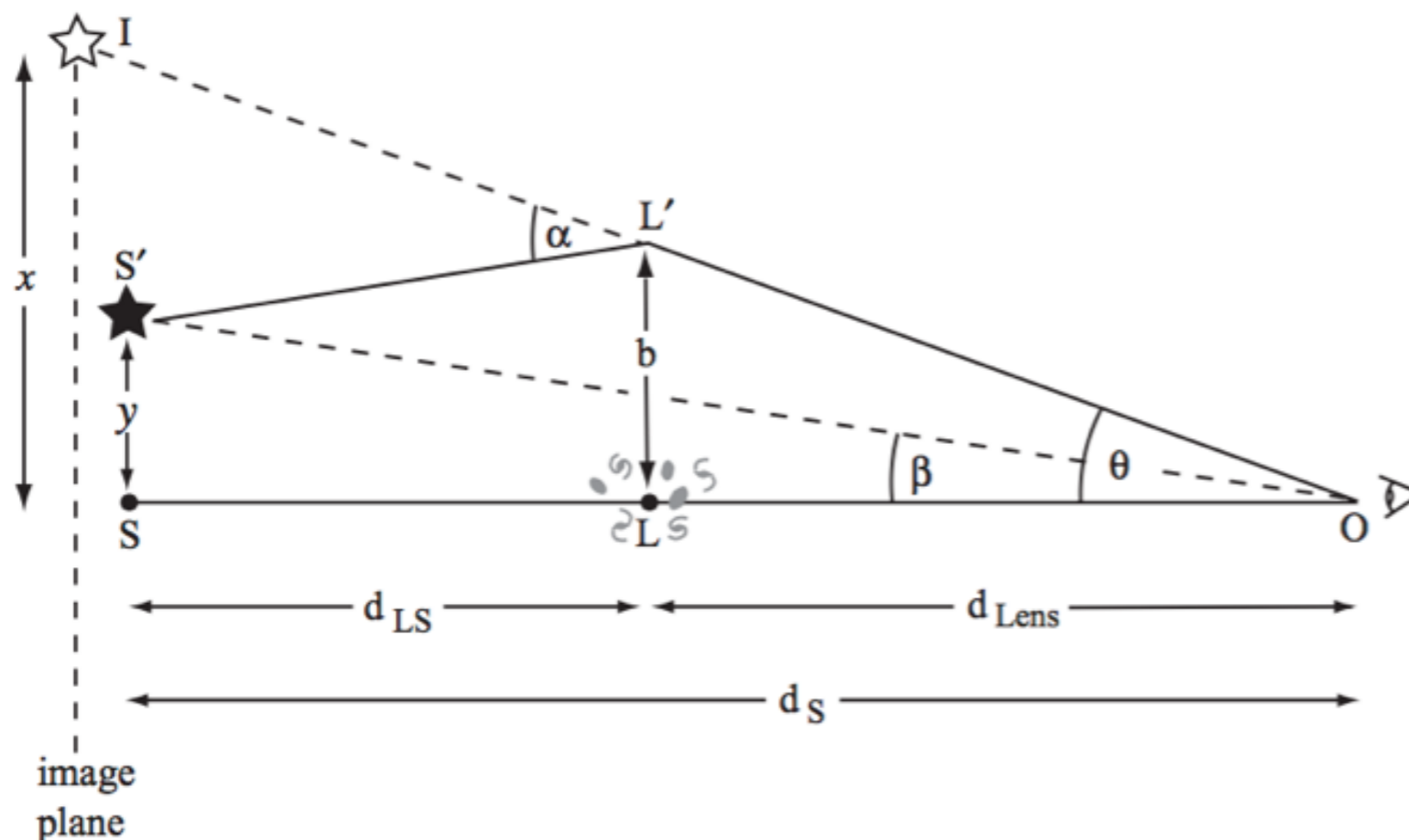


Fig. 7.14. The gravity of the mass \mathcal{M} at L bends light from a distant source at S' toward the observer at O ; the source appears instead at position I .

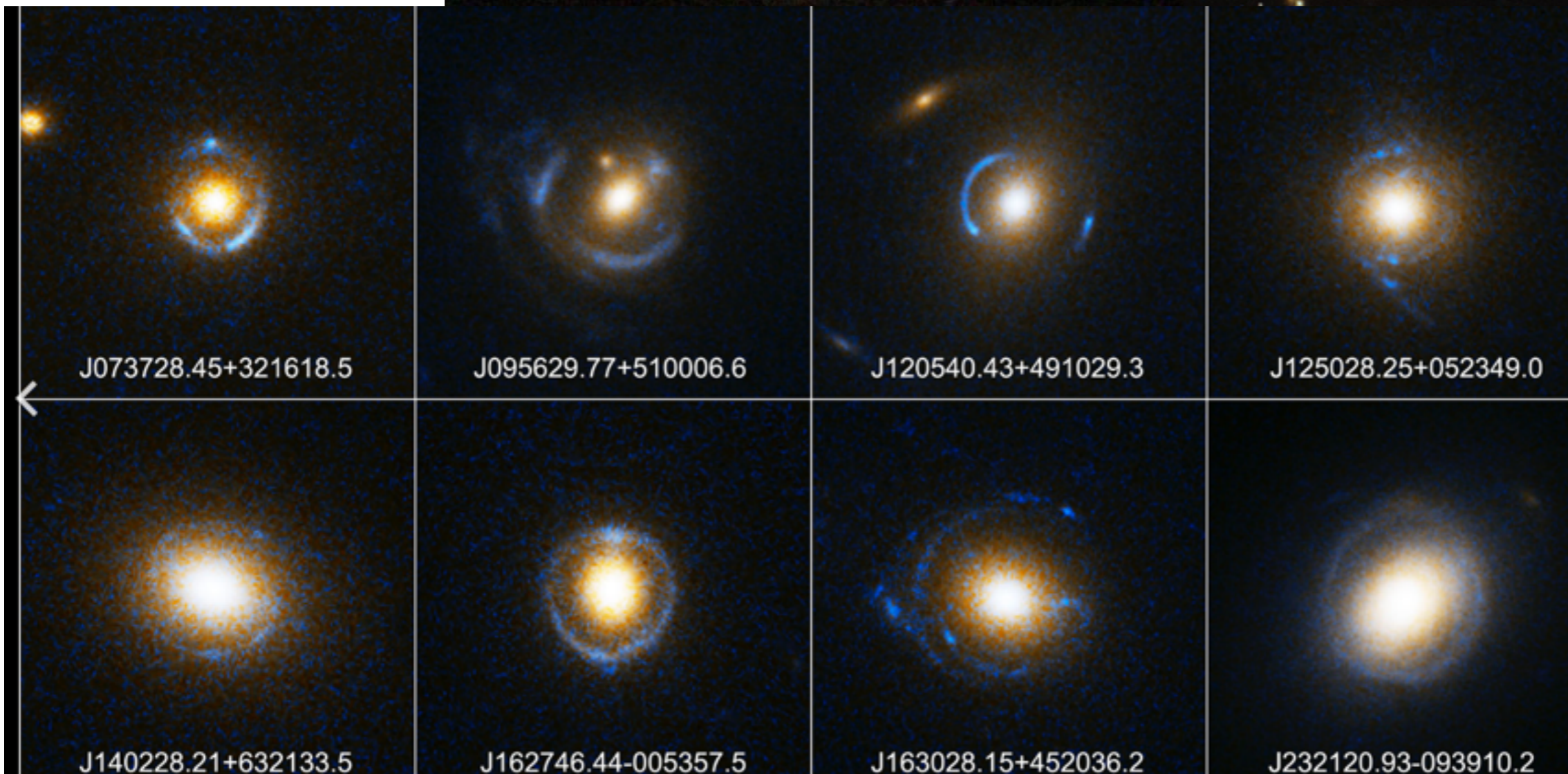
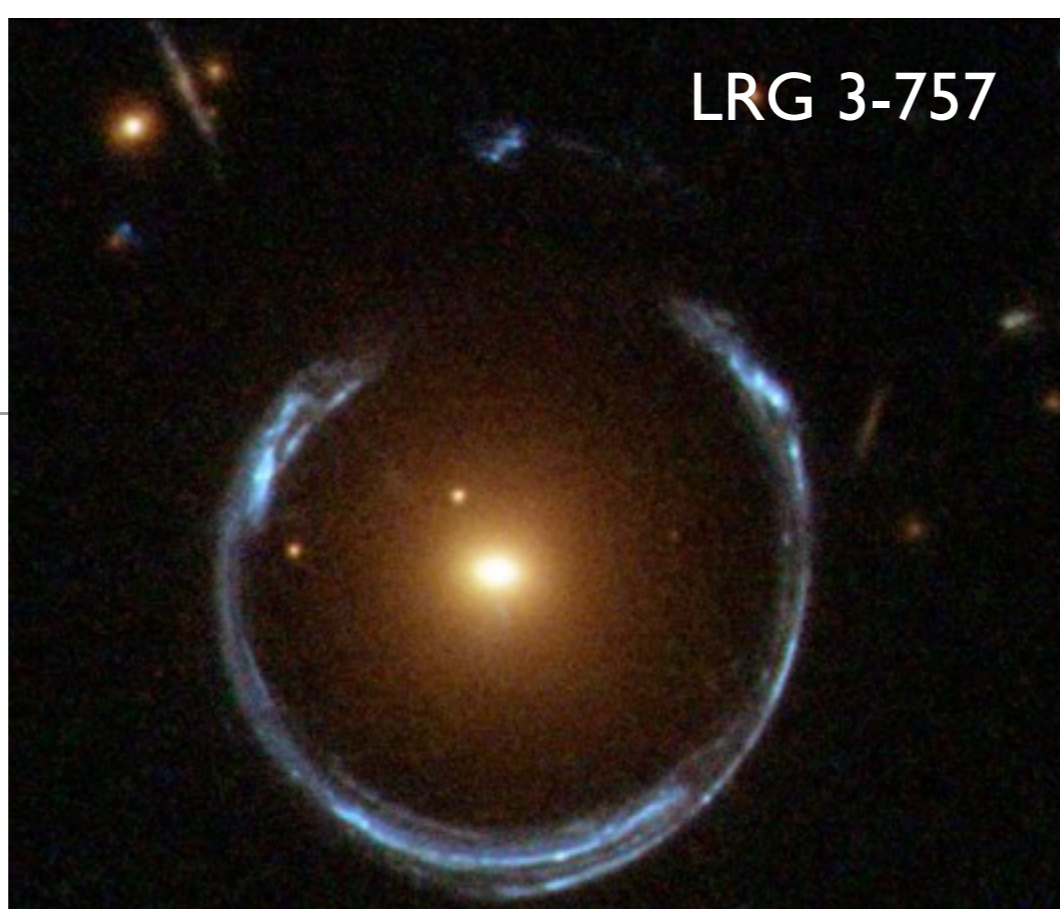
Lentes gravitacionais

- Enquanto o brilho superficial é conservado, uma lente provoca um aumento do ângulo sólido da imagem, portanto aumentando o brilho total da imagem

- O fator de magnificação é dado por:
$$\mu = \frac{\theta}{\beta} \frac{d\theta}{d\beta}$$



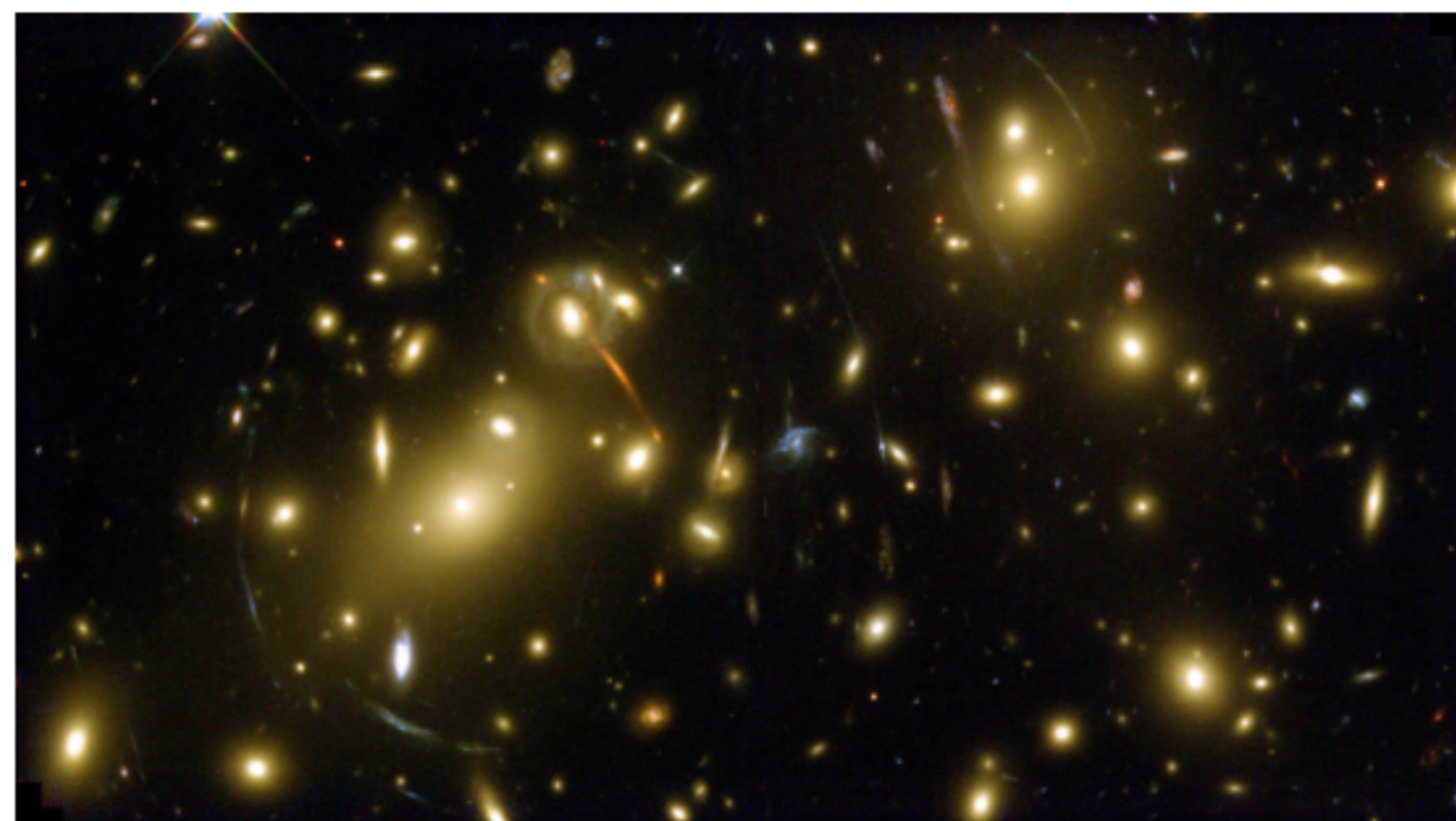
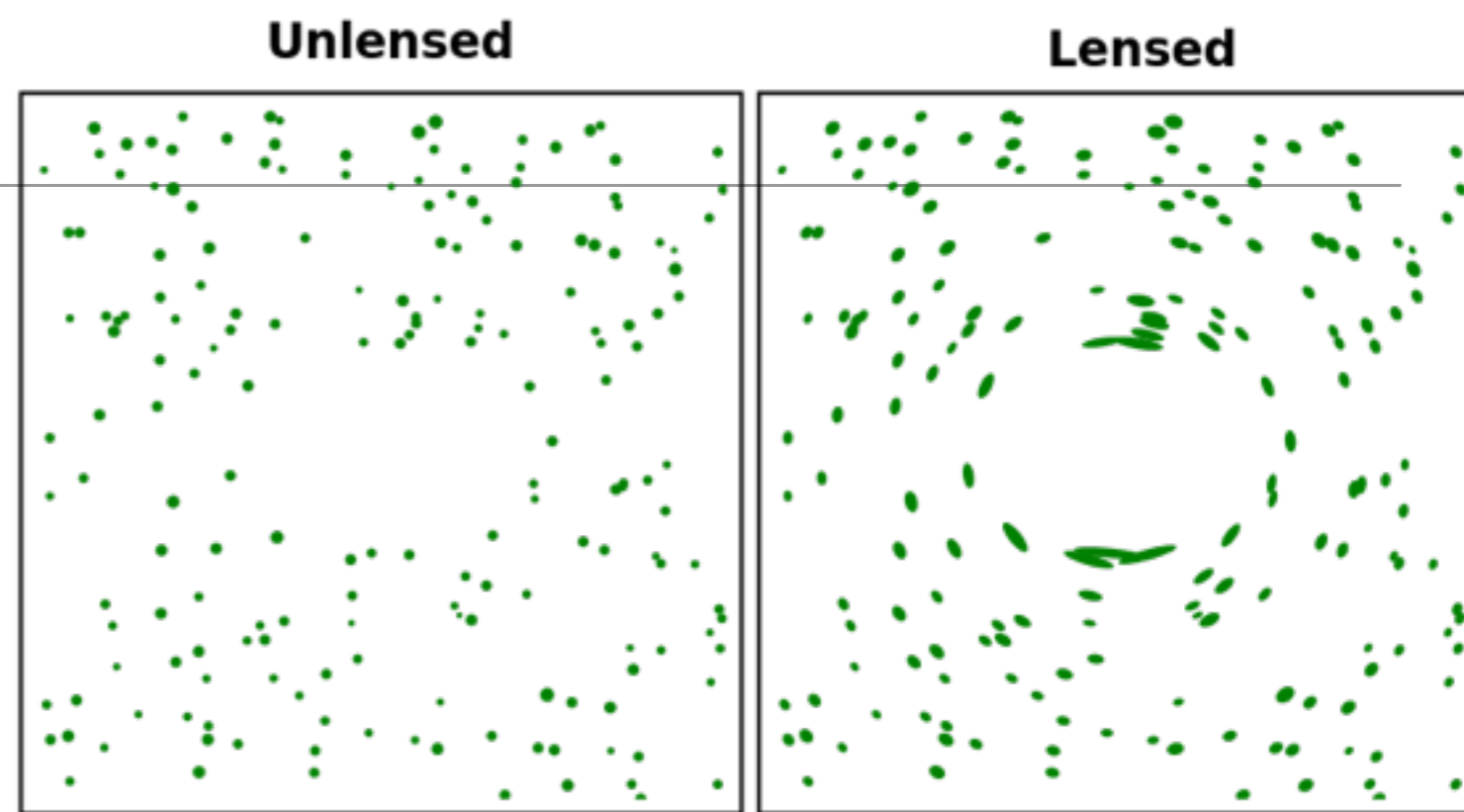
Anéis de Einstein



Wiki,
crédito
NASA

Regimes de lentes

- Lentes fortes: produz múltiplas imagens e anéis de Einstein
- Micro-lentes: a massa da "lente" é pequena (estrela ou planeta) e o deslocamento de imagem não é observável, mas o aumento de luminosidade é mensurável
- Lentes fracas: medida intrinsecamente estatística, as distorções de imagens não são "óbvias" como nas lentes fortes



Floresta Lyman- α

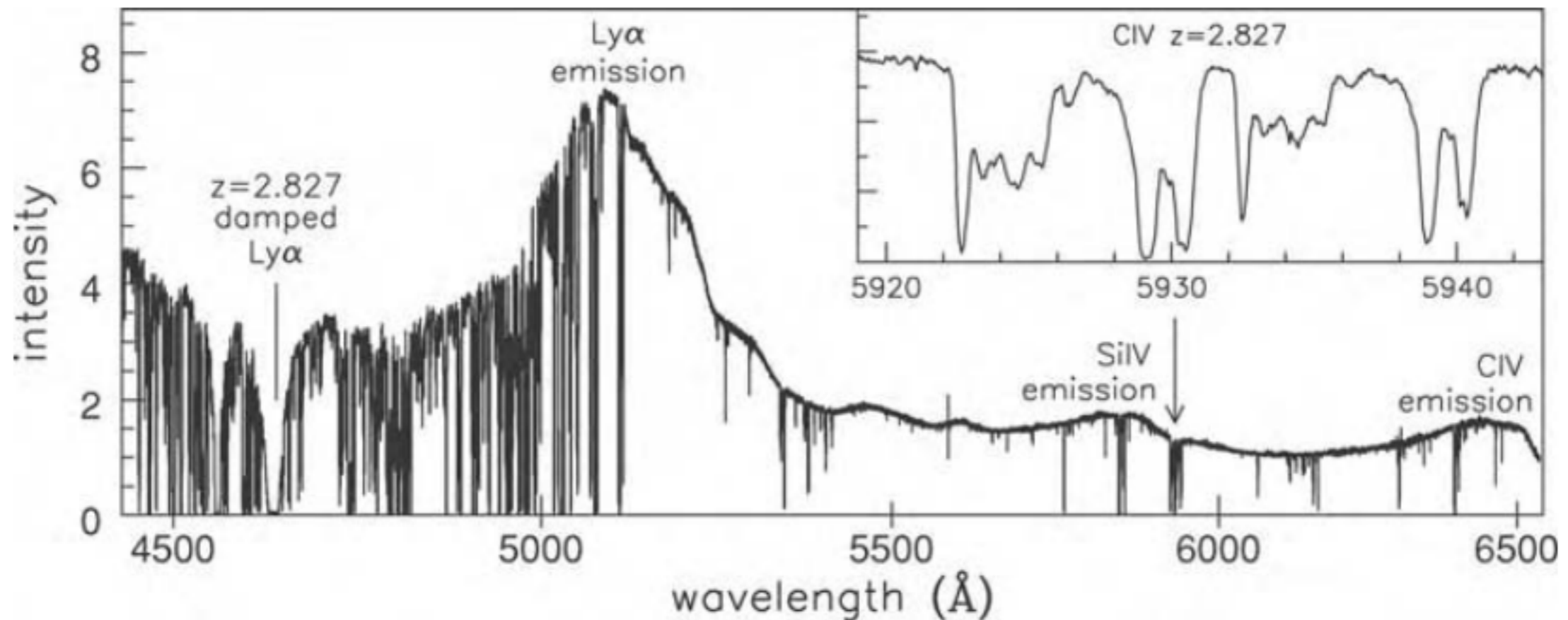
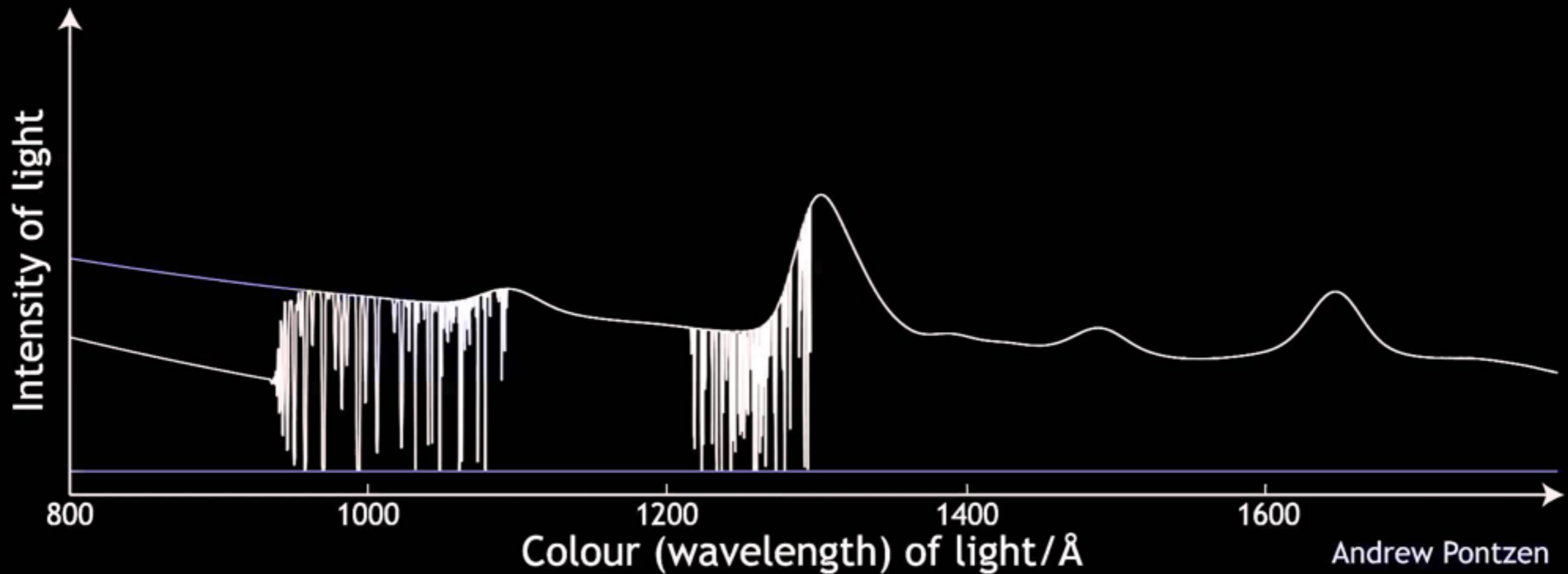
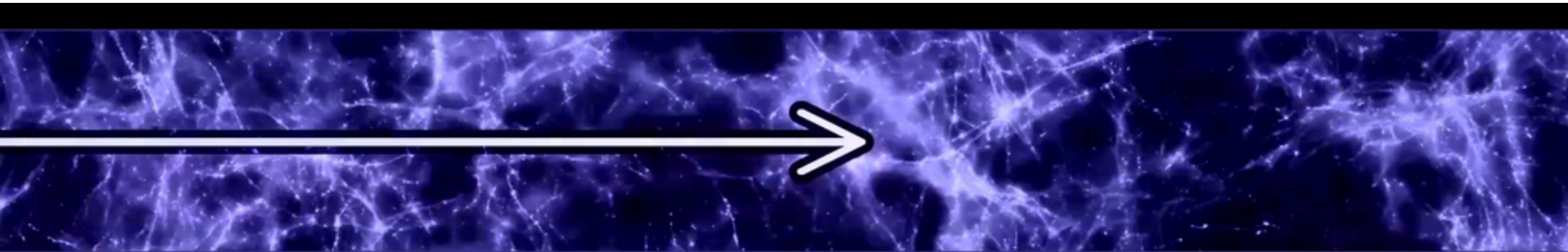
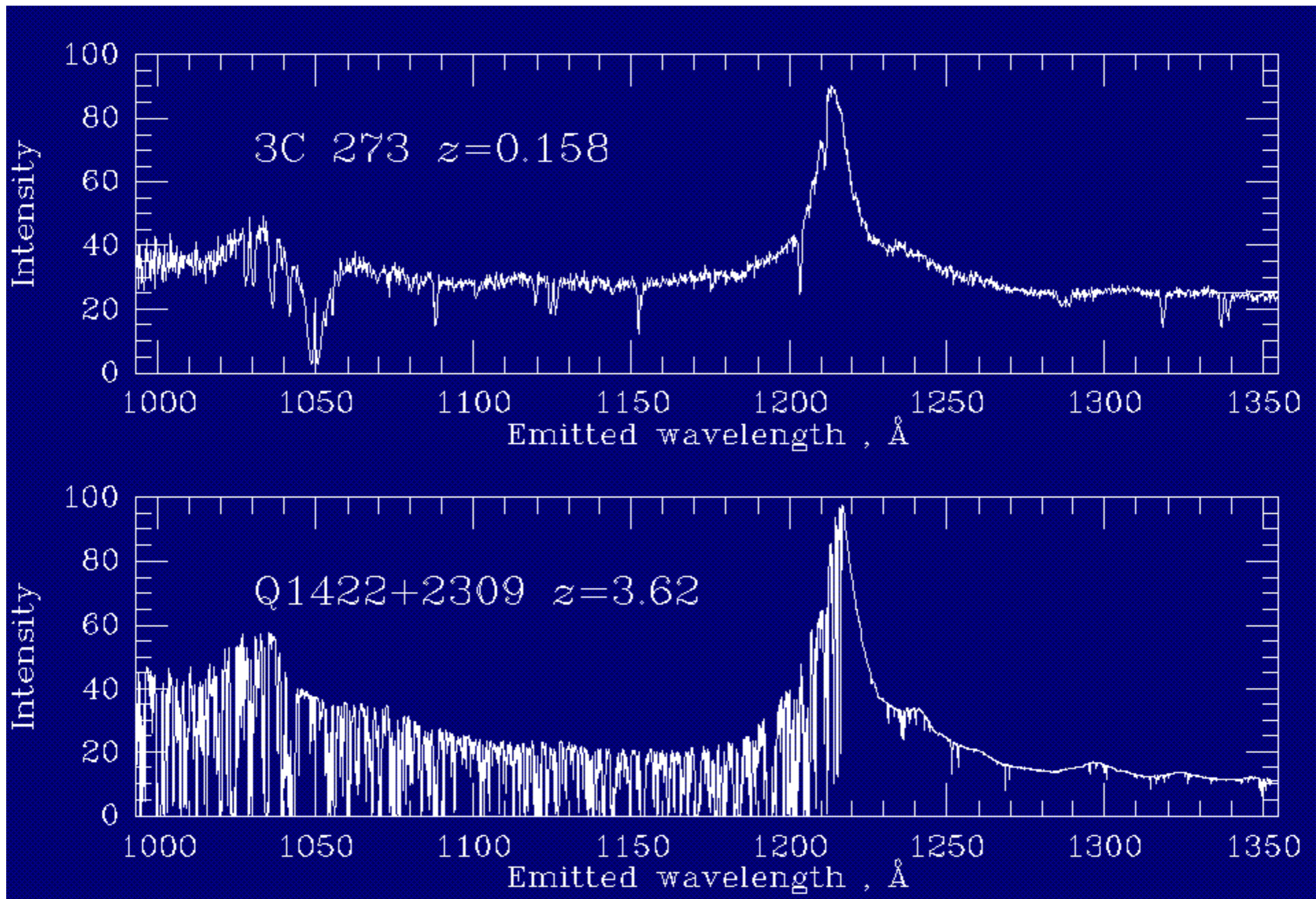


Fig. 9.12. The spectrum of quasar 1425 + 6039 with $z_{\text{em}} = 3.173$: broad Ly α emission at 1216 Å is redshifted to the visible region. At shorter wavelengths, narrow absorption lines of the Ly α forest are dense. The squarish profile at 4650 Å is a damped line of Ly α , at $z_{\text{abs}} = 2.827$. The arrow shows absorption at the same redshift in the CIV doublet with rest wavelength near 1550 Å: the inset reveals distinct absorption components from multiple gas clouds – L. Lu and M. Rauch.

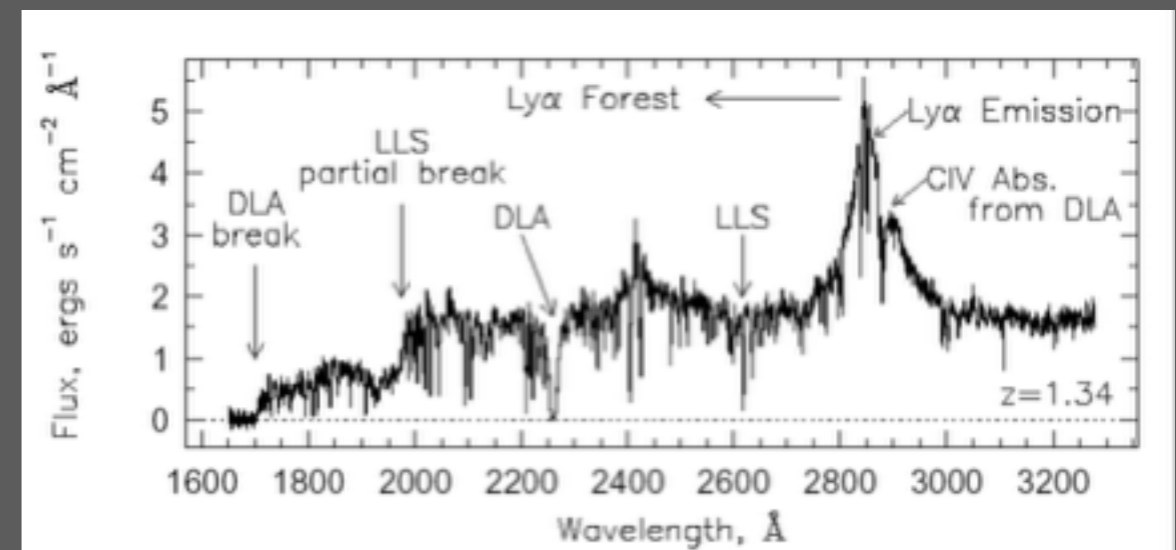
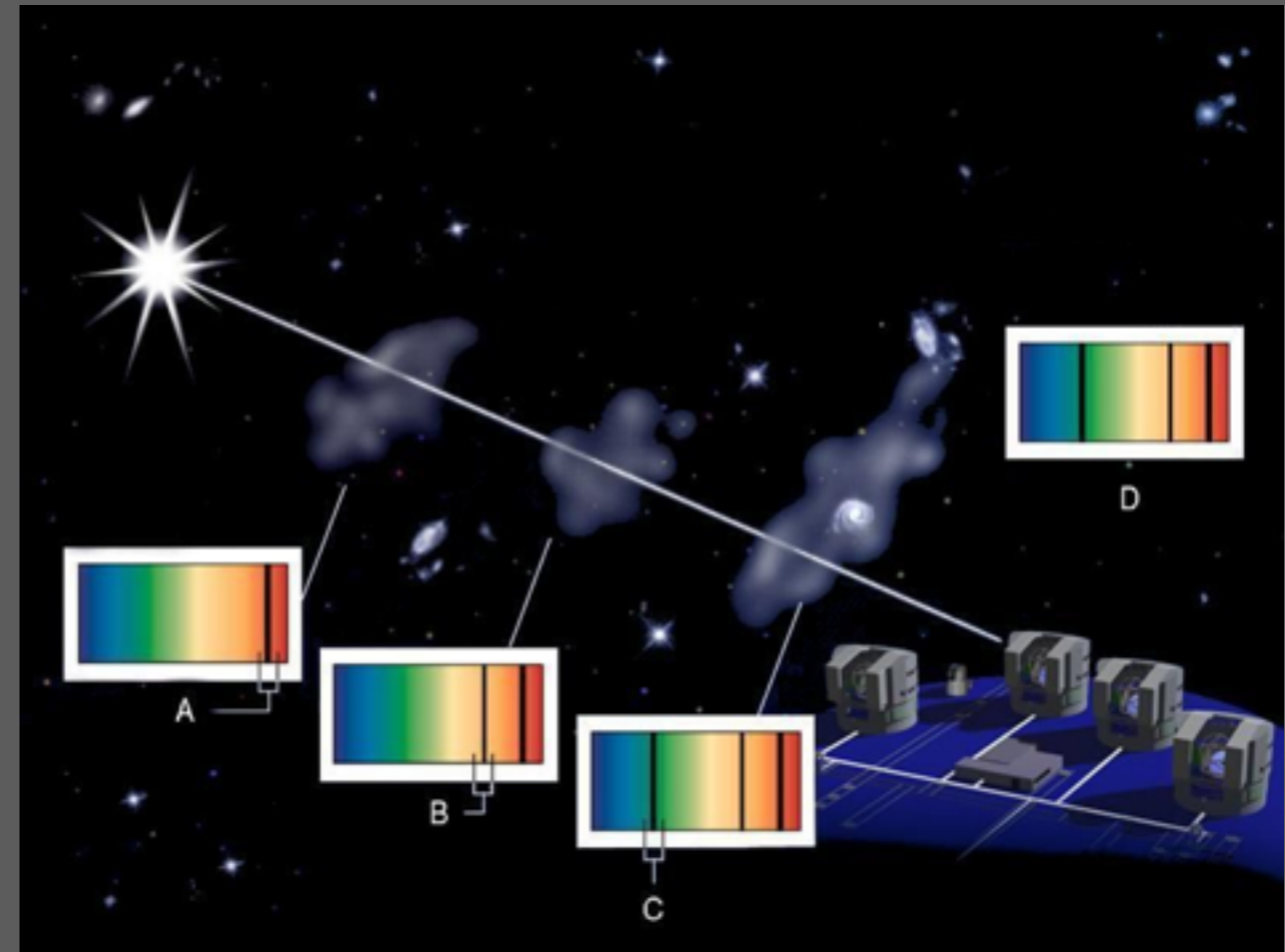
Floresta Lyman α





Meio intergaláctico

- IGM é o material bariônico que reside entre galáxias
- é o componente bariônico dominante do Universo, e de onde as galáxias são formadas
- pode nos indicar as propriedades do material "pré-galáctico"
- mas também interage com a evolução das galáxias através de inflows e outflows
- é observado principalmente através do espectro de absorção de quasares
- além de H e He, foram detectados Mg, Zn, Cr, C, Si, O...



PILED HIGHER & DEEPER

TRUE TALES

DARK MATTERS

A CONVERSATION WITH DANIEL
WHITESON AND JONATHAN FENG

BY JORGE CHAM

PILED HIGHER & DEEPER
TRUE TALES

DARK MATTERS

A CONVERSATION WITH DANIEL
WHITESON AND JONATHAN FENG

BY JORGE CHAM