O tamanho, idade e conteúdo do Universo: sumário

Unidadese métodos de determinação de distâncias

Tamanhos no Sistema Solar

Tamanho das Estrelas

Tamanho das Galáxias

Tamanho dos Aglomerados de Galáxias

Idade e tamanho do Universo

Paradoxo de Olbers

O Conteúdo do Universo

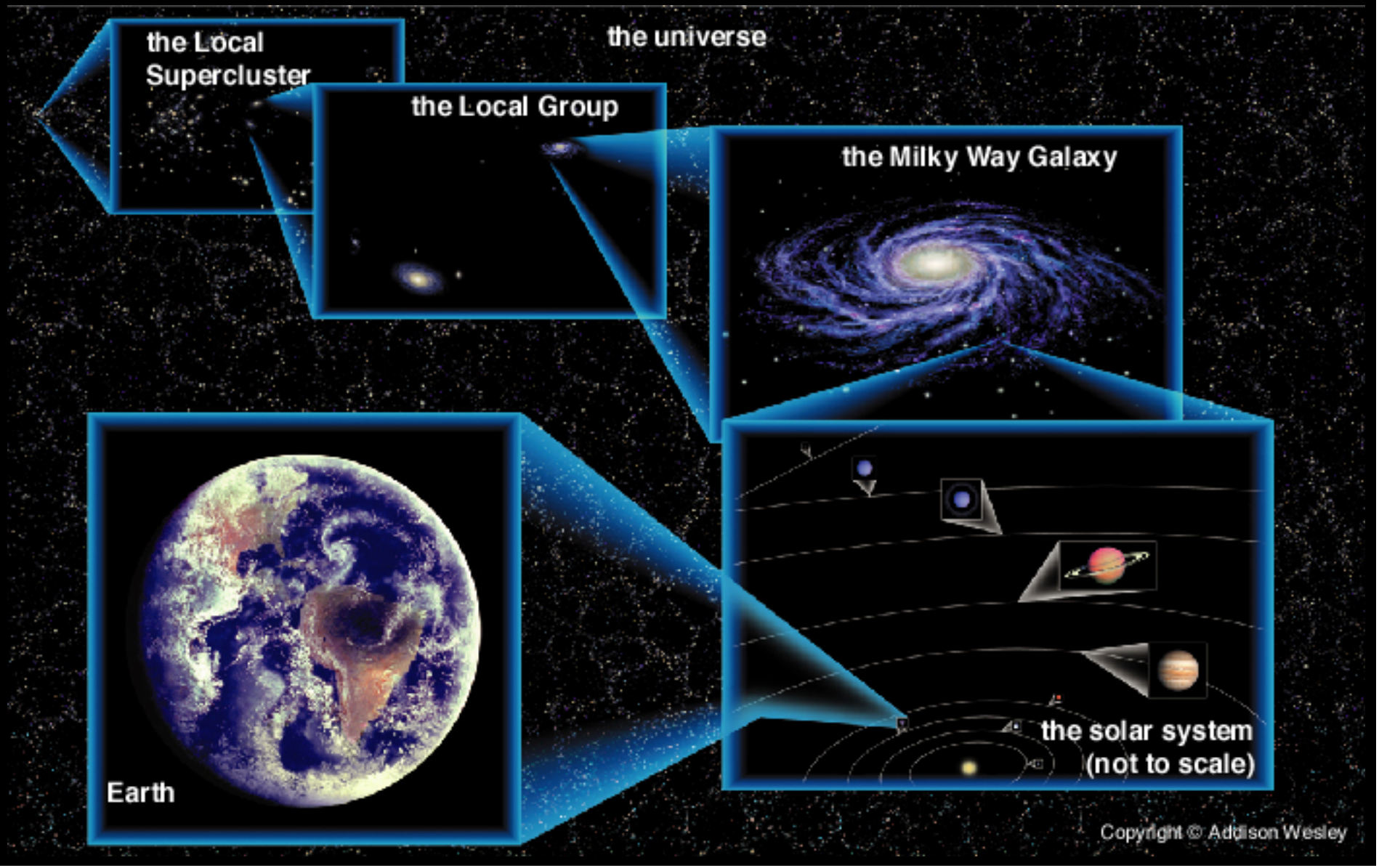
A matéria e energia escuras

Questões

Powers of Ten: Páginas interativas na internet, mostrando estruturas no Universo em sequências de potências de 10, de escalas galácticas (100.000-1.000.000 anos-luz=10^{21}-10^{22}m) até escala de um núcleo atômico (10^{-15}m):

http://powersof10.com
http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/powersof10

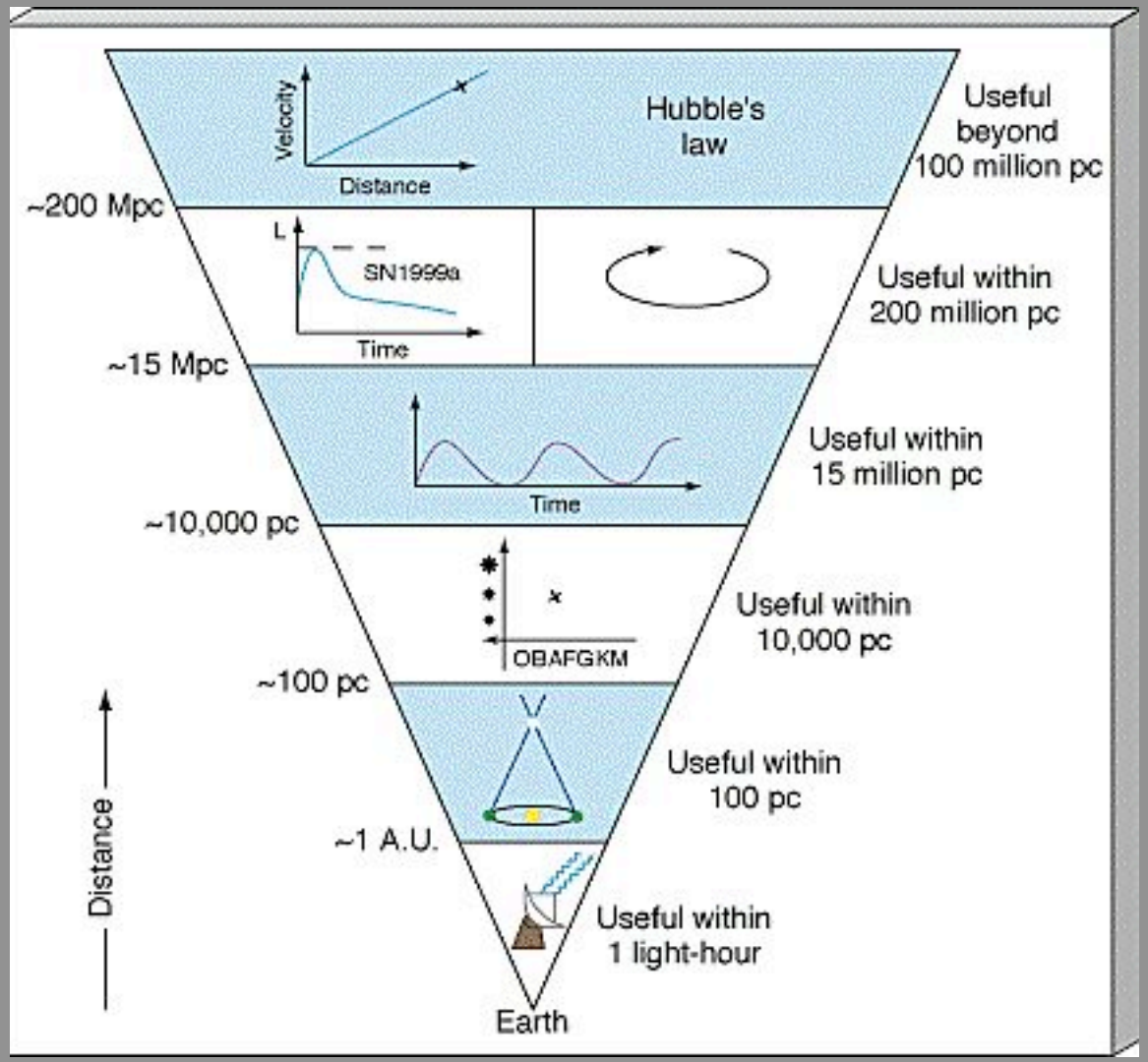
Nosso endereço no Universo:
veja também: www.atlasoftheuniverse.com



Unidades de distância Astronômicas

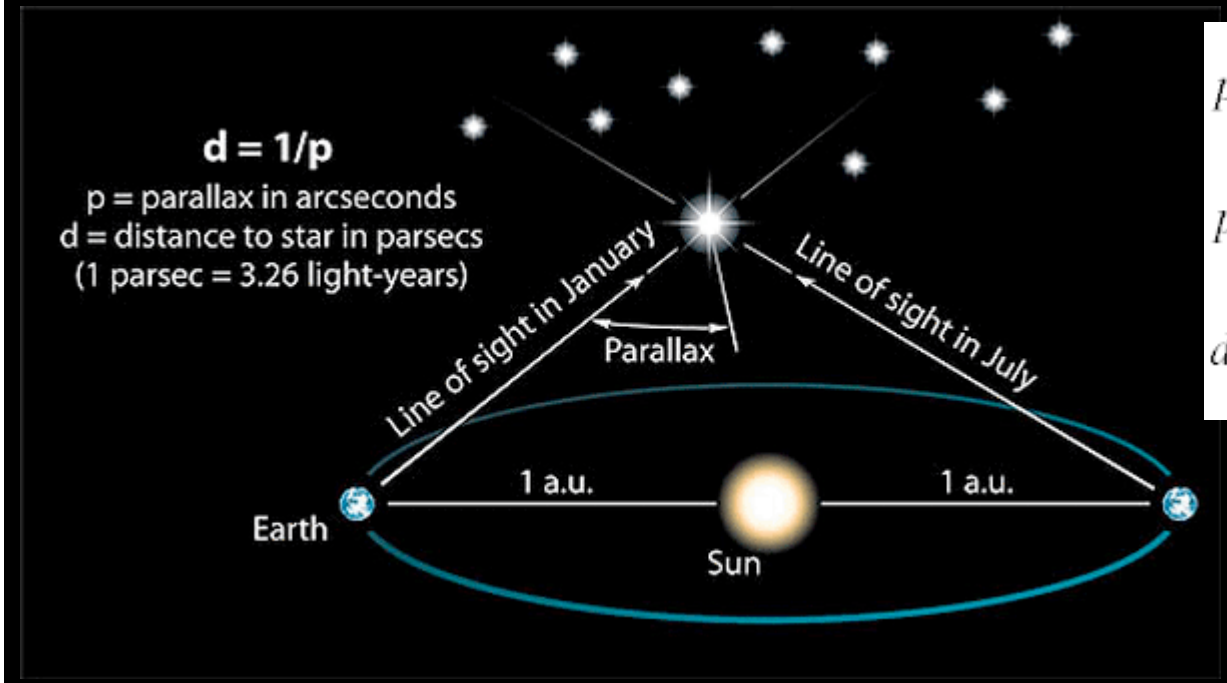
- Unidade Astronômica (U.A.– distância Sol-Terra): $1{,}496 \times 10^{11}$m ~150×10^{6} km
- Ano-Luz (a.l. – distância que a luz viaja em um ano): 365,25 dias/ano x 24 horas/dia x 3600s/hora x 300.000 km/s= $9{,}5 \times 10^{12}$km=9.5×10^{15}m~10^{16}m
- Parsec (pc): 206265 U.A.=3,26a.l.
- Kiloparsec=1.000 pc
- Megaparsec=1.000.000 pc

Indicadores de Distância



Material adicional: Métodos de determinação de distâncias Astronômicas

- Sistema Solar próximo: radar
- Estrelas próximas: paralaxe



$$p(rad) = \frac{1(U.A.)}{d(U.A.)} \times 206265\left(\frac{''}{rad}\right)$$

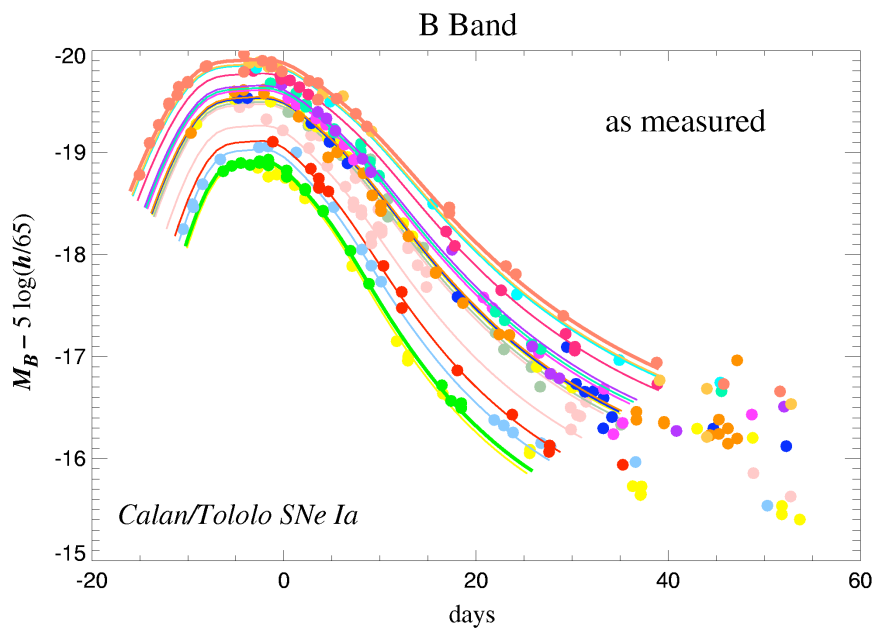
$$p('') = \frac{206265(U.A.)}{d(U.A.)} = \frac{1pc}{d(pc)}$$

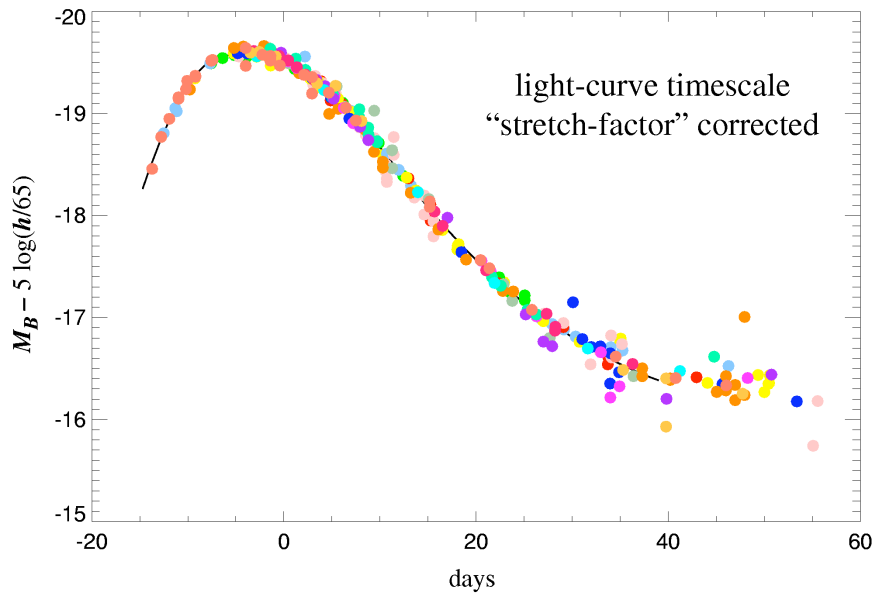
$$d(pc) = \frac{1pc}{p('')}$$

- Estrelas e galáxias: “velas padrão”:

$$F = \frac{L}{4\pi r^2} \rightarrow r = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

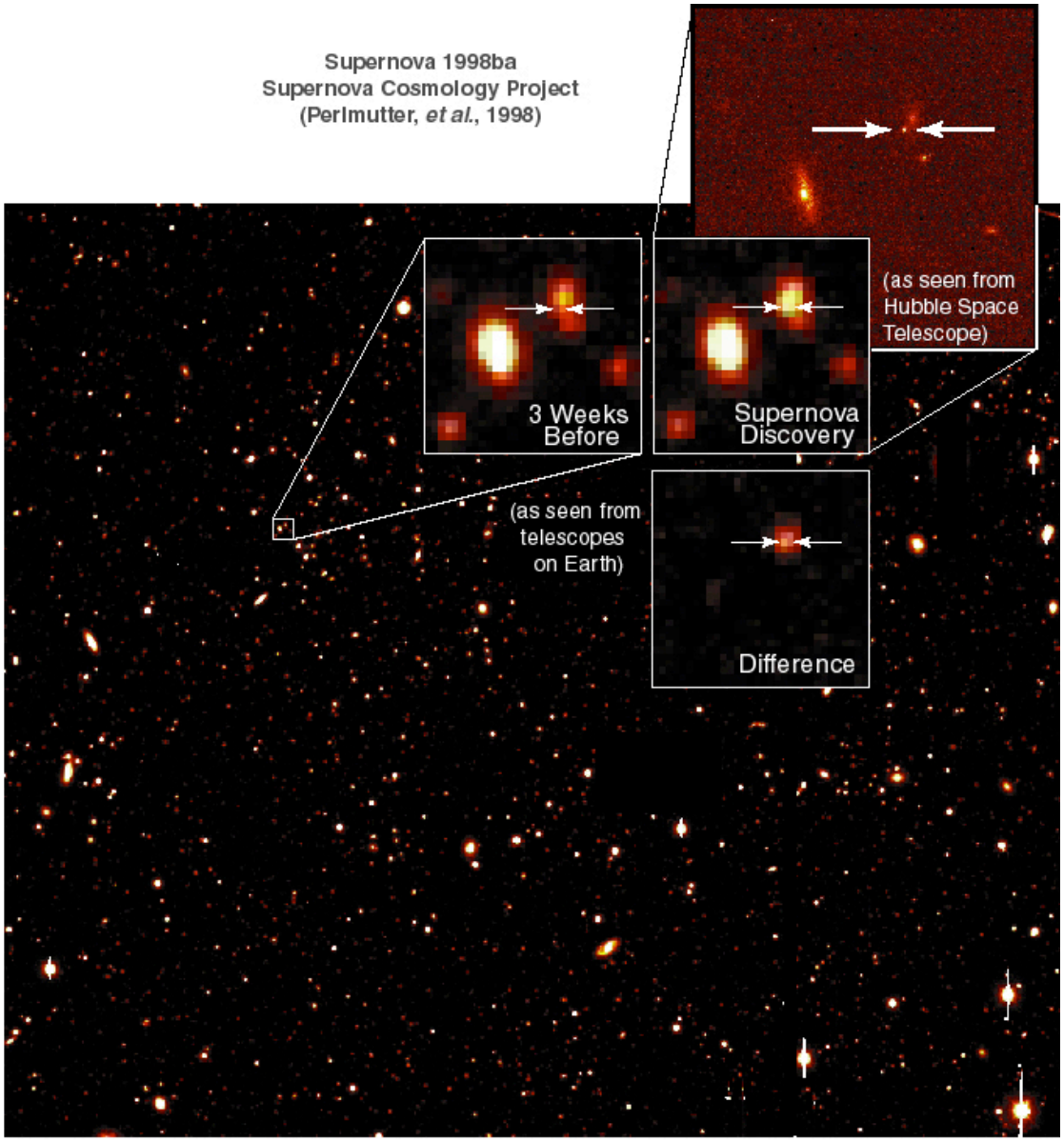
- Exemplo: supernovas tipo I →





Kim, *et al.* (1997)

Como se busca supernovas



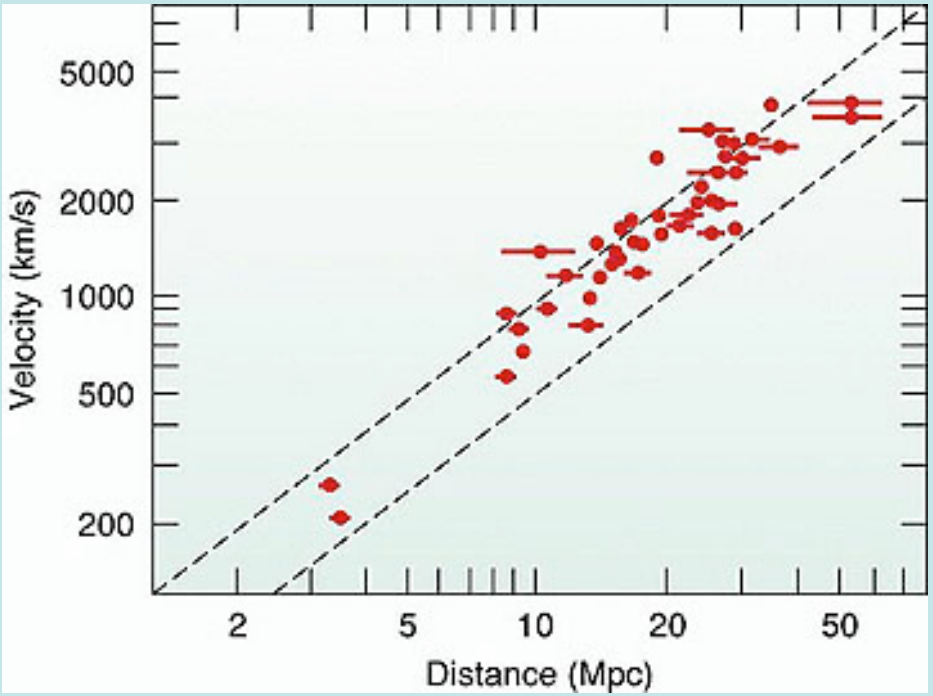
Métodos de determinação de distâncias Astronômicas

- Galáxias distantes: Lei de Hubble

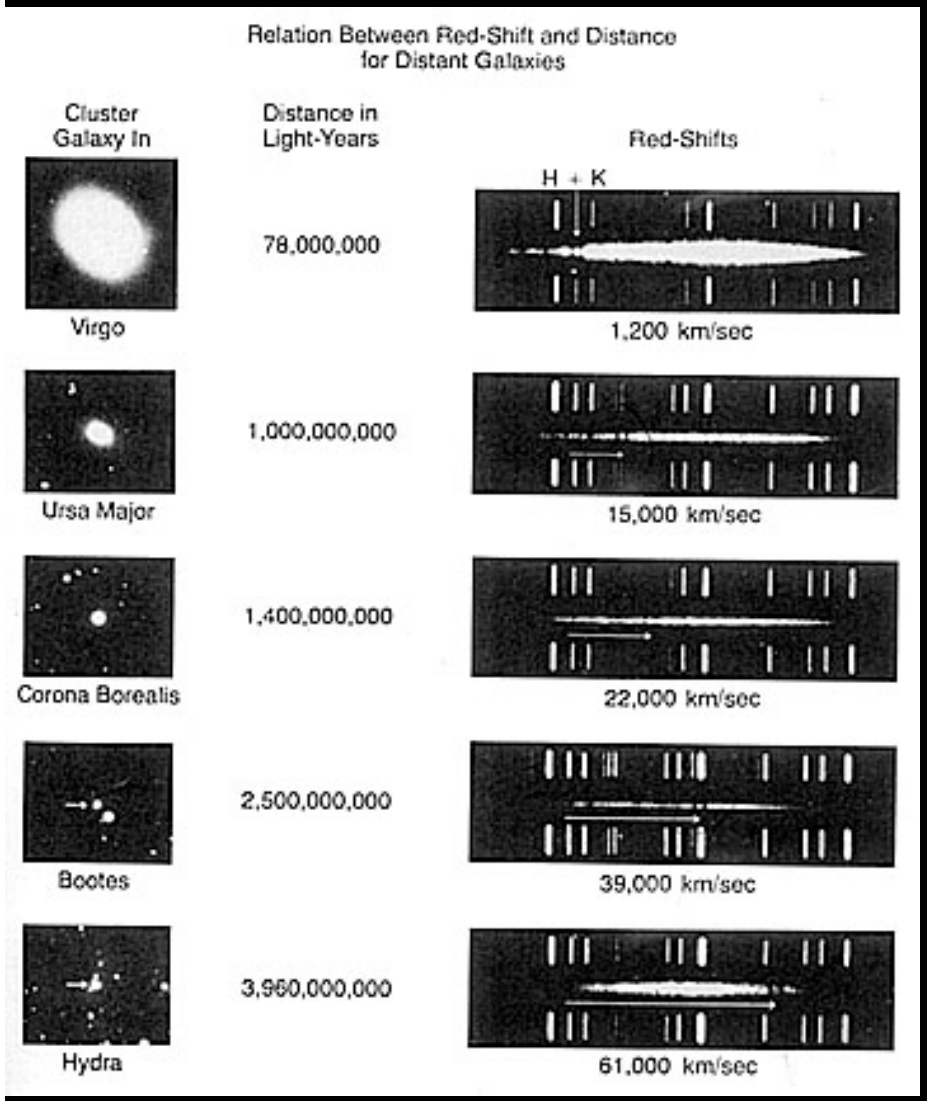
$$v(km/s) = H\left(\frac{km/s}{Mpc}\right) \times d(Mpc)$$

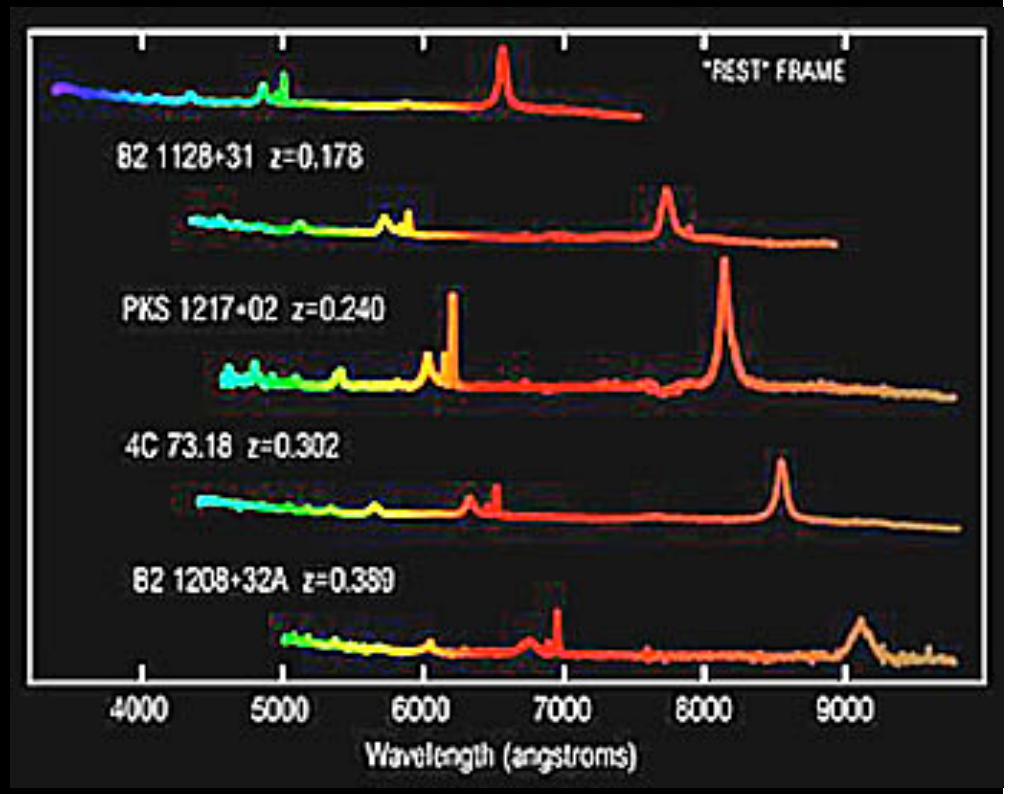
$$d(Mpc) = \frac{v}{H}$$

$$H = \frac{72 \pm 3 km/s}{Mpc}$$



Medindo redshifts: efeito Doppler





Redshift z:

$$z \equiv \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}\cos\theta \left(\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)^{1/2}$$

Tamanho do Sistema Solar

- Raio da Terra: 6370 km=$6{,}4 \times 10^{6}$m
- Raio do Sol: 7×10^{8}m
- Distância Sol-Terra=1 U.A.=$1{,}5 \times 10^{11}$m
- Distância até Plutão d_P=40 U.A.=$5{,}9 \times 10^{12}$m

A Terra como um grão de pimenta

A Terra como um grão de pimenta

Escala 1mm=6000 km	km	m	mm	Representação
diâmetro do Sol	1 400 000		230	bola
distância do Sol a Mercúrio	58 000 000	10		
diâmetro de Mercúrio	5 000		0,8	cabeça de alfinete
distância de Mercúrio a Vênus	50 000 000	8		
diâmetro de Vênus	12 000		2	grão de coentro
distância de Vênus à Terra	41 000 000	7		
diâmetro da Terra	13 000		2	grão de pimenta
distância da Terra a Marte	78 000 000	13		
diâmetro de Marte	7 000		1	grão de gergelim
distância de Marte a Júpiter	550 000 000	92		
diâmetro de Júpiter	143 000		24	noz
distância entre Júpiter e Saturno	649 000 000	108		
diâmetro de Saturno	120 000		20	avelã
distância da órbita de Saturno a Urano	1 443 000 000	240		
diâmetro de Urano	51 000		9	amendoim
distância da órbita de Urano a Netuno	1 627 000 000	271		
diâmetro de Netuno	49 000		8	amendoim
distância da órbita de Netuno a Plutão	1 404 000 000	234		
diâmetro de Plutão	2 300		0,4	semente de papoula
Total das distâncias	**5 900 000 000**	**983**		
distância da Terra à Lua	384 000		64	
diâmetro da Lua	3 500		0,6	semente de papoula
distância da Nuvem de Oort	1 ano-luz	1 600 km		
distância da estrela mais próxima	4,22 anos-luz	6 700 km		

Tamanho do Átomo vs. Sistema Solar

- Raio aprox. do núcleo $r_N = 10^{-15}$m
- Raio aprox. do átomo (raio de Bohr): $r = 5\times10^{-11}$m

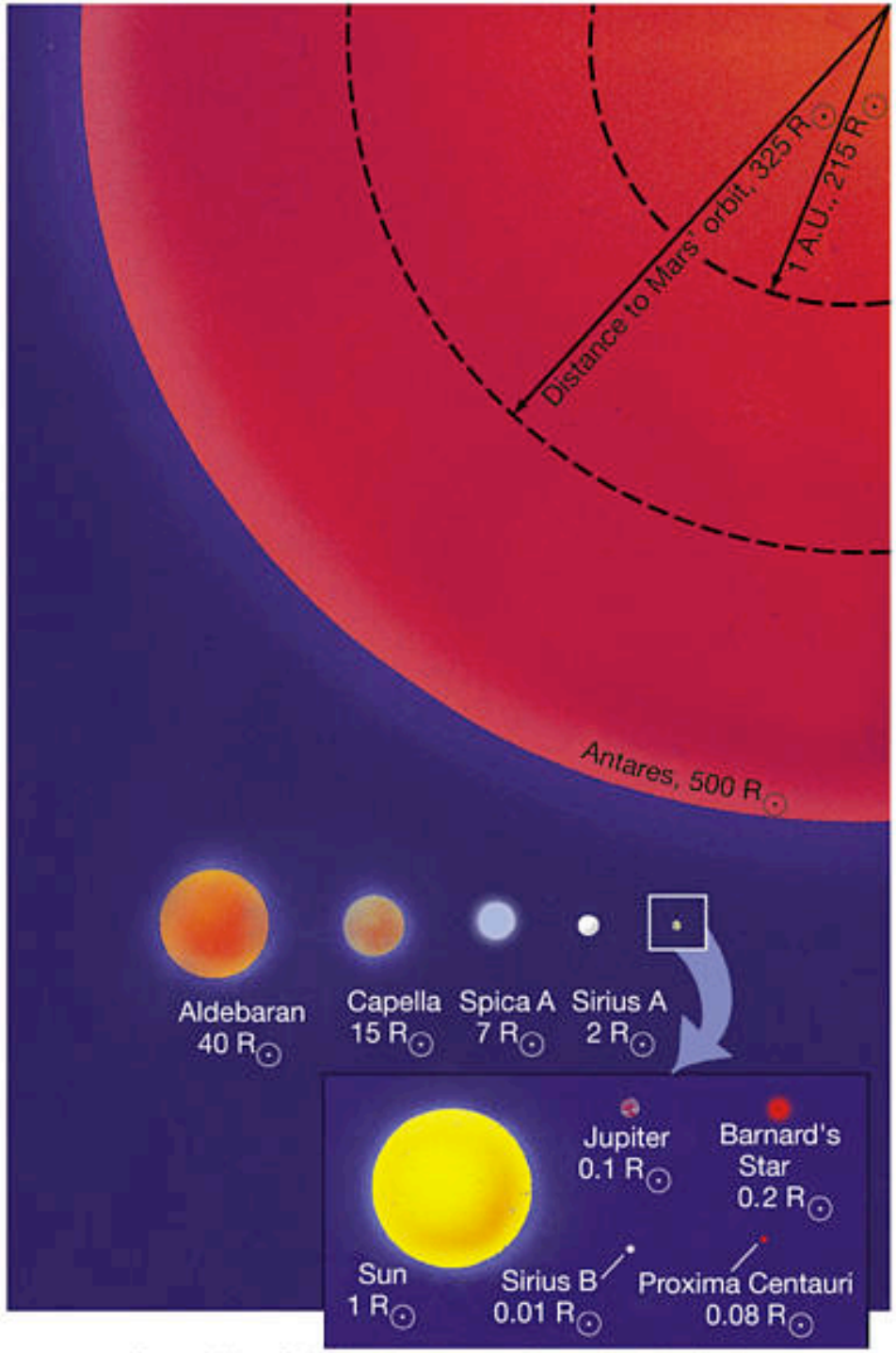
$$\frac{r_A}{r_N} = \frac{5\times10^{-11}}{1\times10^{-15}} = 5\times10^{4} = 50.000$$

- →O átomo é um grande vazio, só $50.000^{-3} = 8\times10^{-15}$ do seu volume está ocupado!

- Raio do Sol $r_{Sol} = 7\times10^{8}$m
- Raio do Sistema Solar: r_{SS}= 1 ano-luz=1×10^{16}m

$$\frac{r_{SS}}{r_{Sol}} = \frac{1\times10^{16}}{1\times10^{8}} = 1.4\times10^{7} = 14.000.000$$

- →O Sistema Solar é um vazio maior ainda, só $(1{,}4\times10^{7})^{-3} = 3.6\times10^{-22}$ do seu volume está ocupado!
- Densidade de massa=1 $M_{Sol}/(4/3\pi r_{SS}^{3}) = 4.8\times10^{-22}$g/cm^3



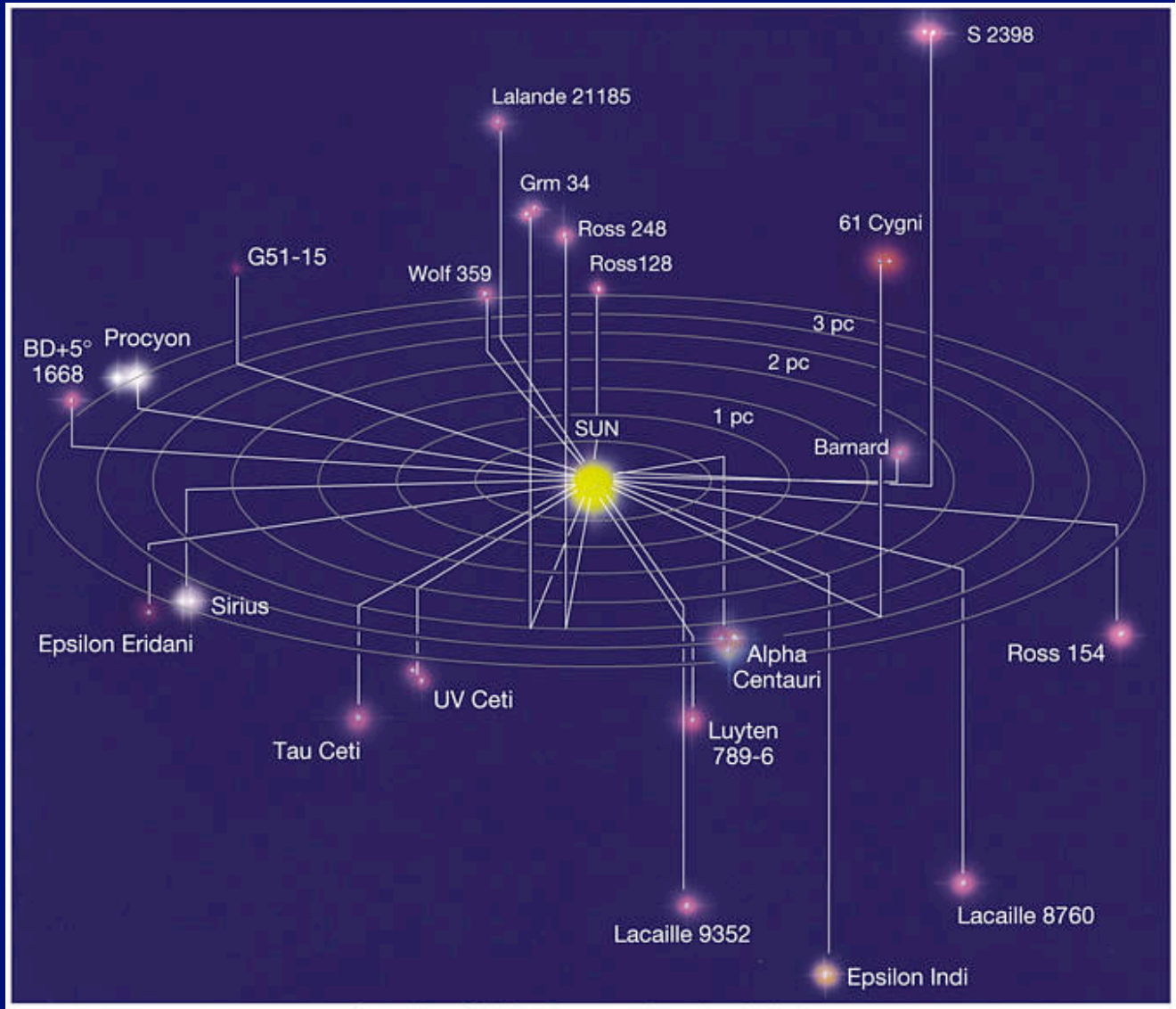
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Tamanho das estrelas

- **Estrela quente (O5):** $R=1{,}25\times10^{7}$km=18 R_{Sol}
- **Estrela fria (M5):** $R=2{,}23\times10^{5}$km=0,32 R_{Sol}
- **Gigante vermelha(Betelgeuse):** $R=5{,}22\times10^{8}$km=745 R_{Sol}= 3,5 U.A.=1,5 órbita de Marte
- **Anã Branca: (Sirius B):** 13919 km=2R_{Terra}
- **Estrela de Nêutrons:** 20 km
- **Buraco Negro:** 3km

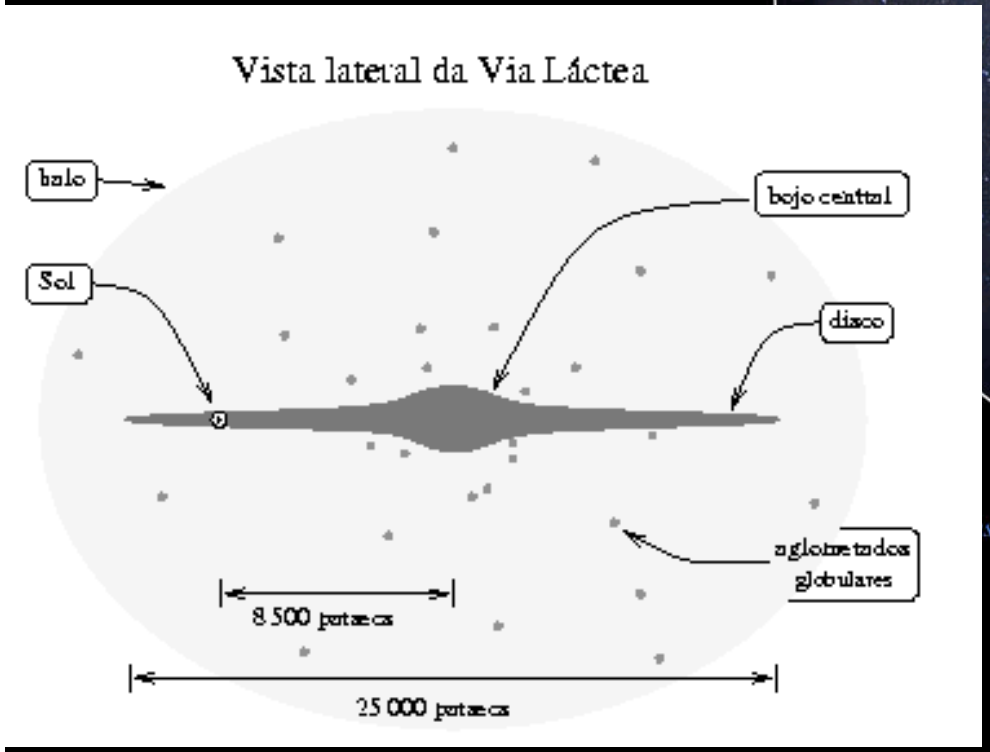
Distância entre as estrelas

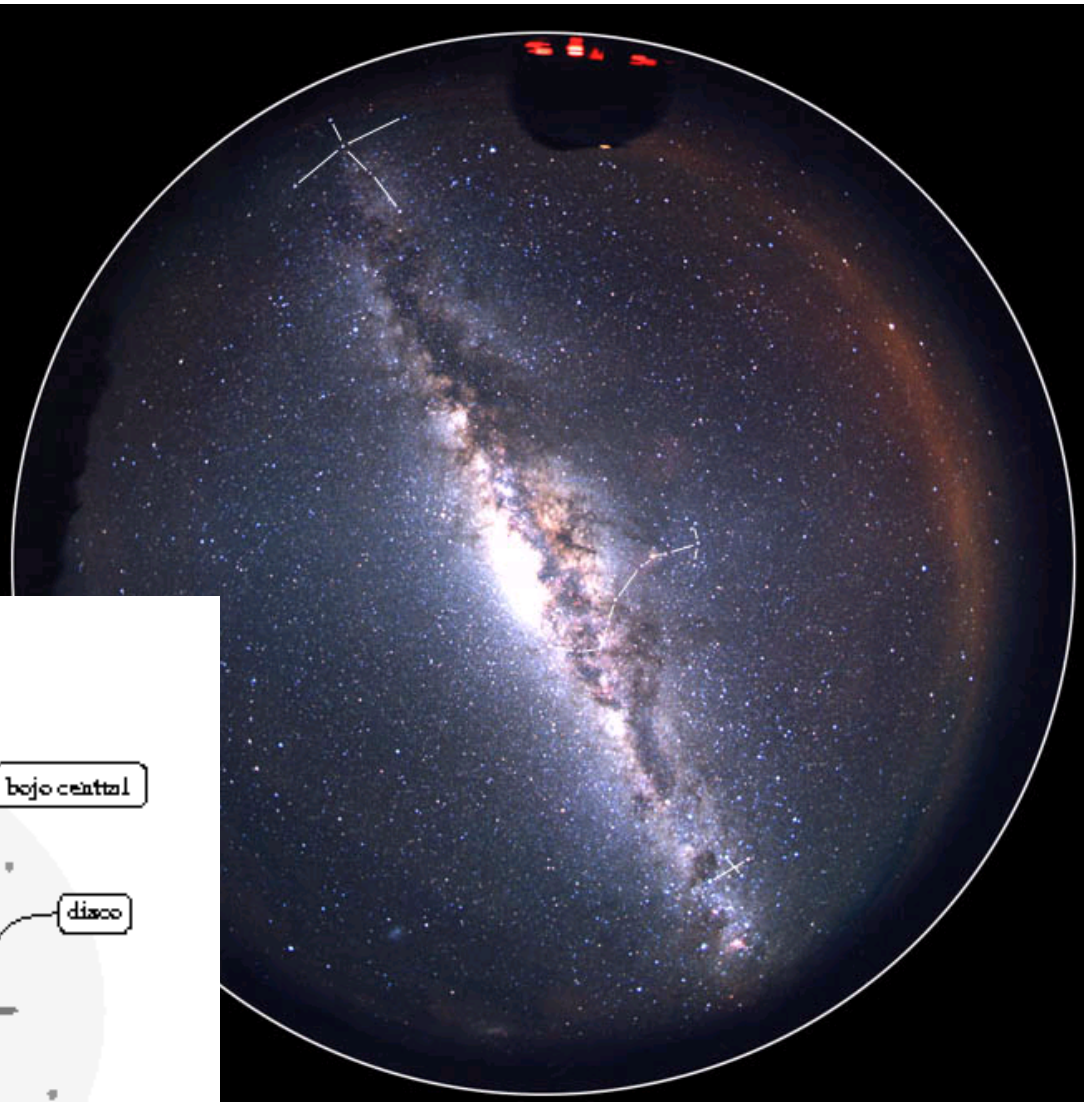
- **Estrela mais próxima:** Próxima Centauri: r=4,22a.l.
- **Densidade:** (1 Sol)/(4/3πr^3)= 0.003 $M_{Sol}/(a.l.)^3$= $7,5x10^{-24}g/cm^3$ (Best laboratory vacuum $10^{-20}g/cm^3$



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

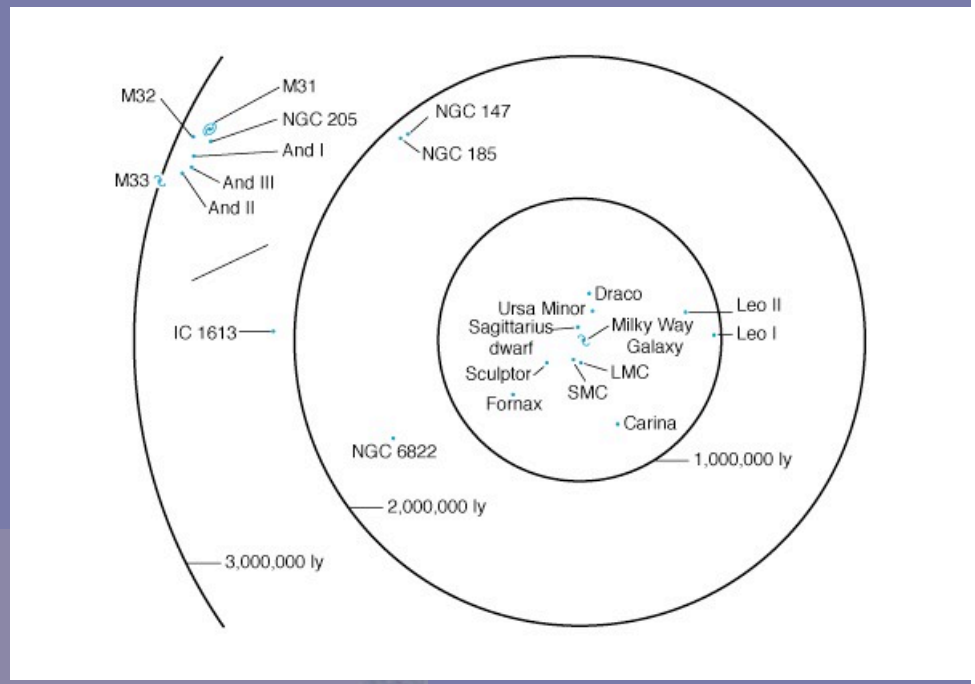
Tamanho da Via Láctea

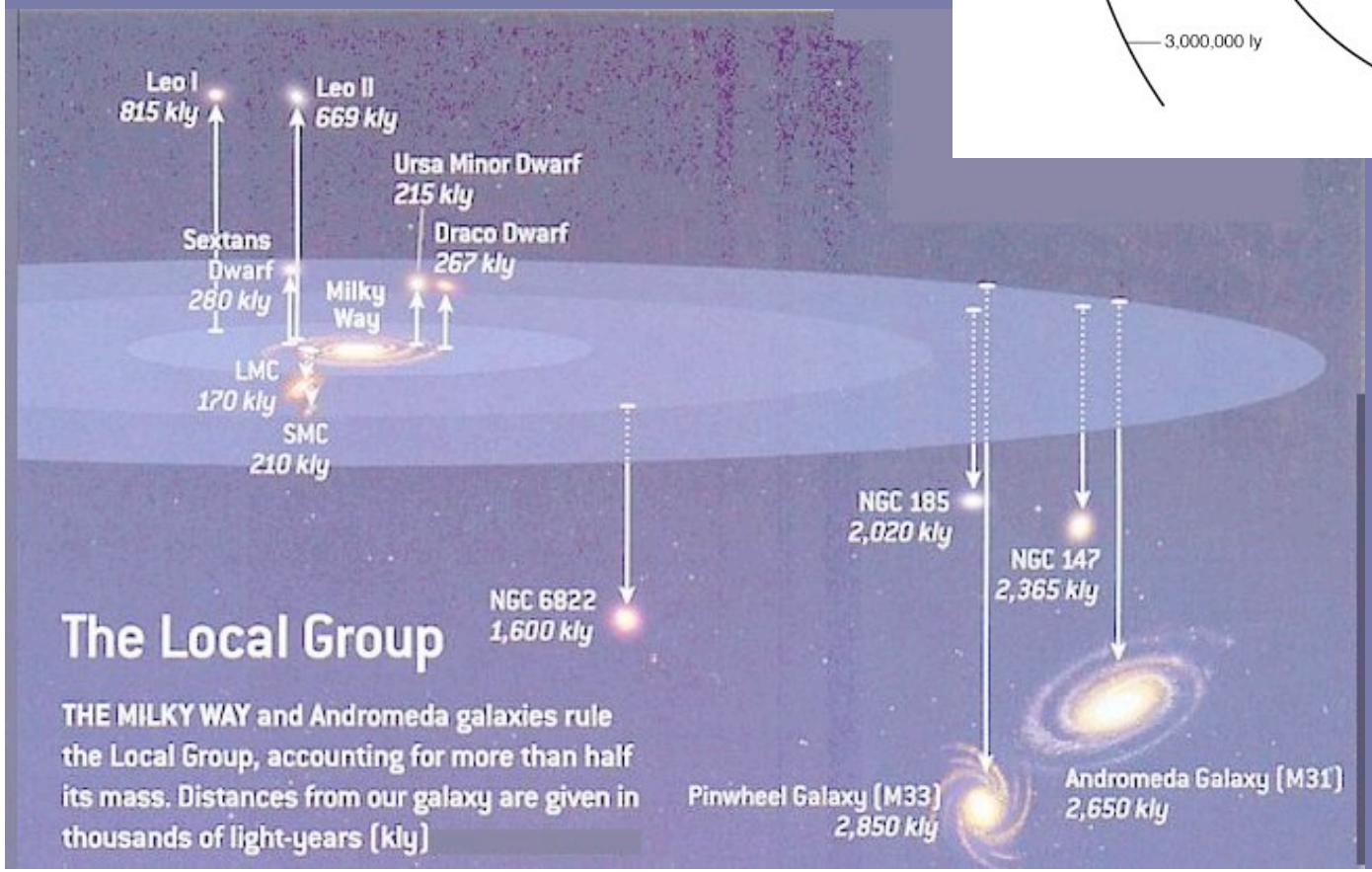




- Diâmetro:100.000 a.l.

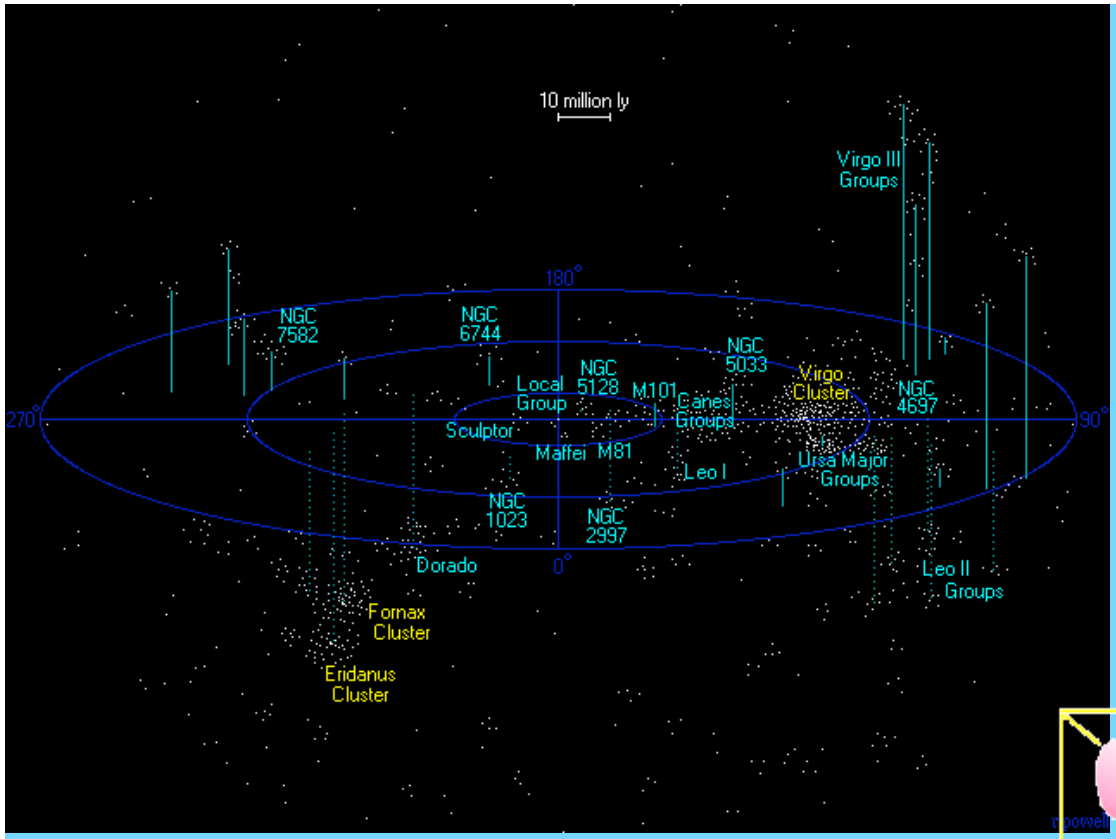
Distância entre galáxias: o Grupo Local



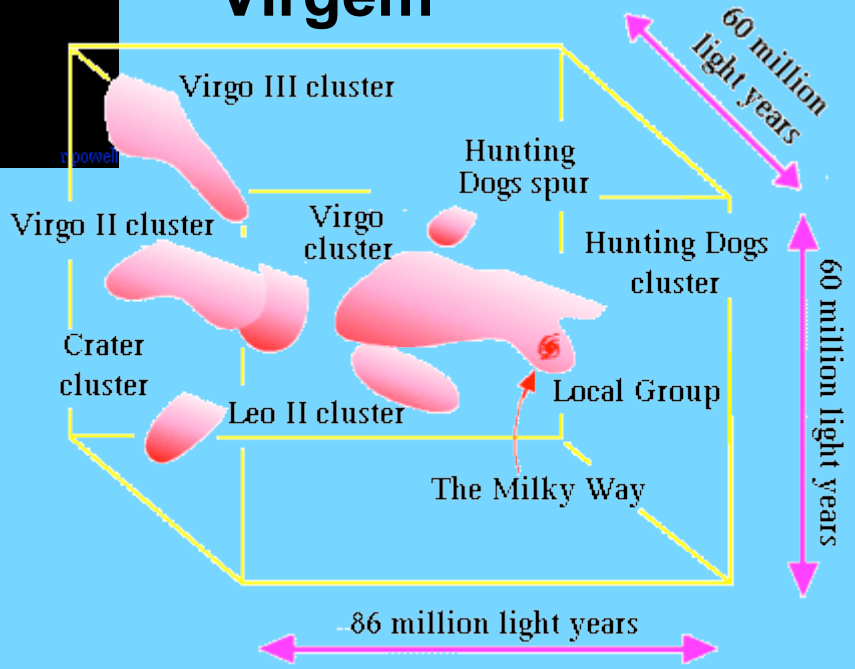


- Cerca de 50 galáxias
- Raio=$3x10^6$a.l.

Super-Aglomerado Local:



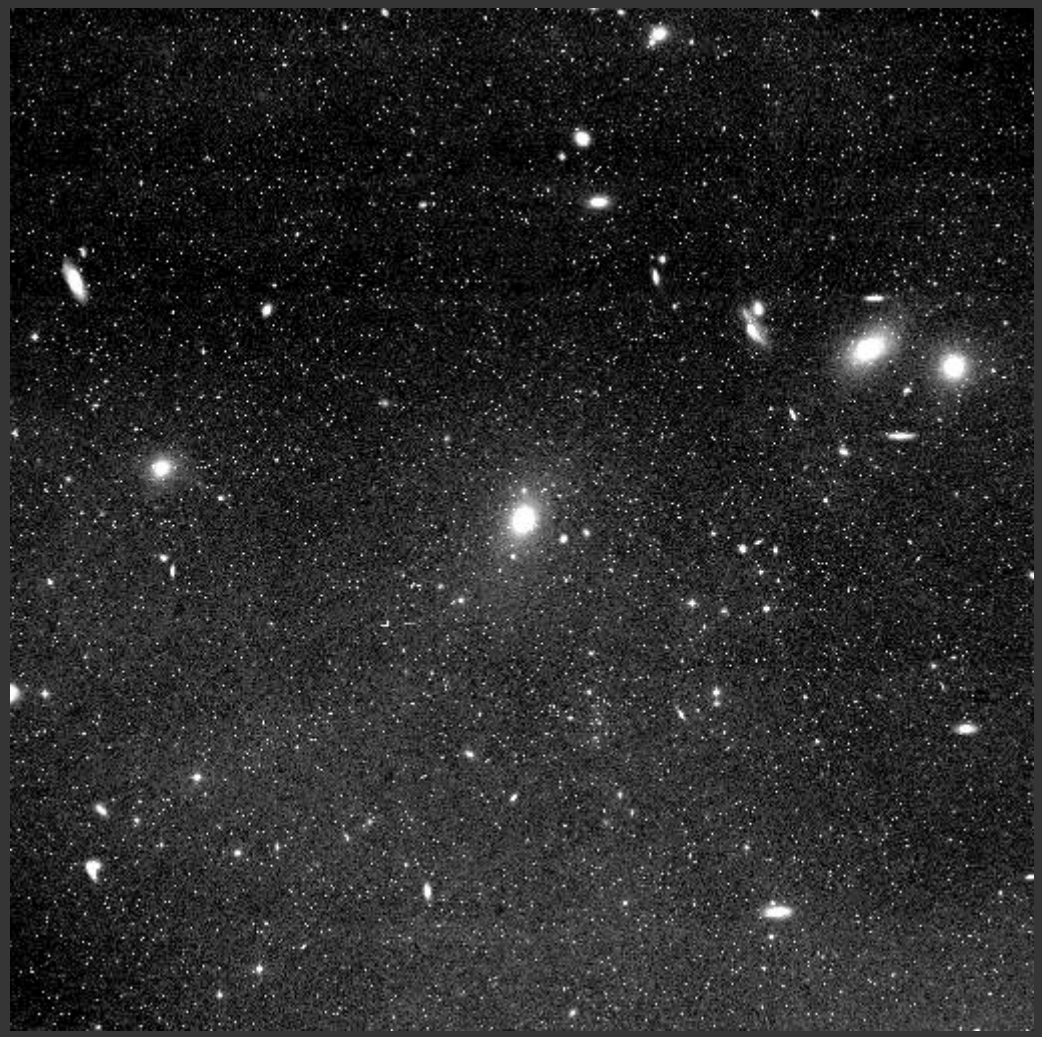
10^{15} M_{Sol}, centro no Aglomerado de Virgem

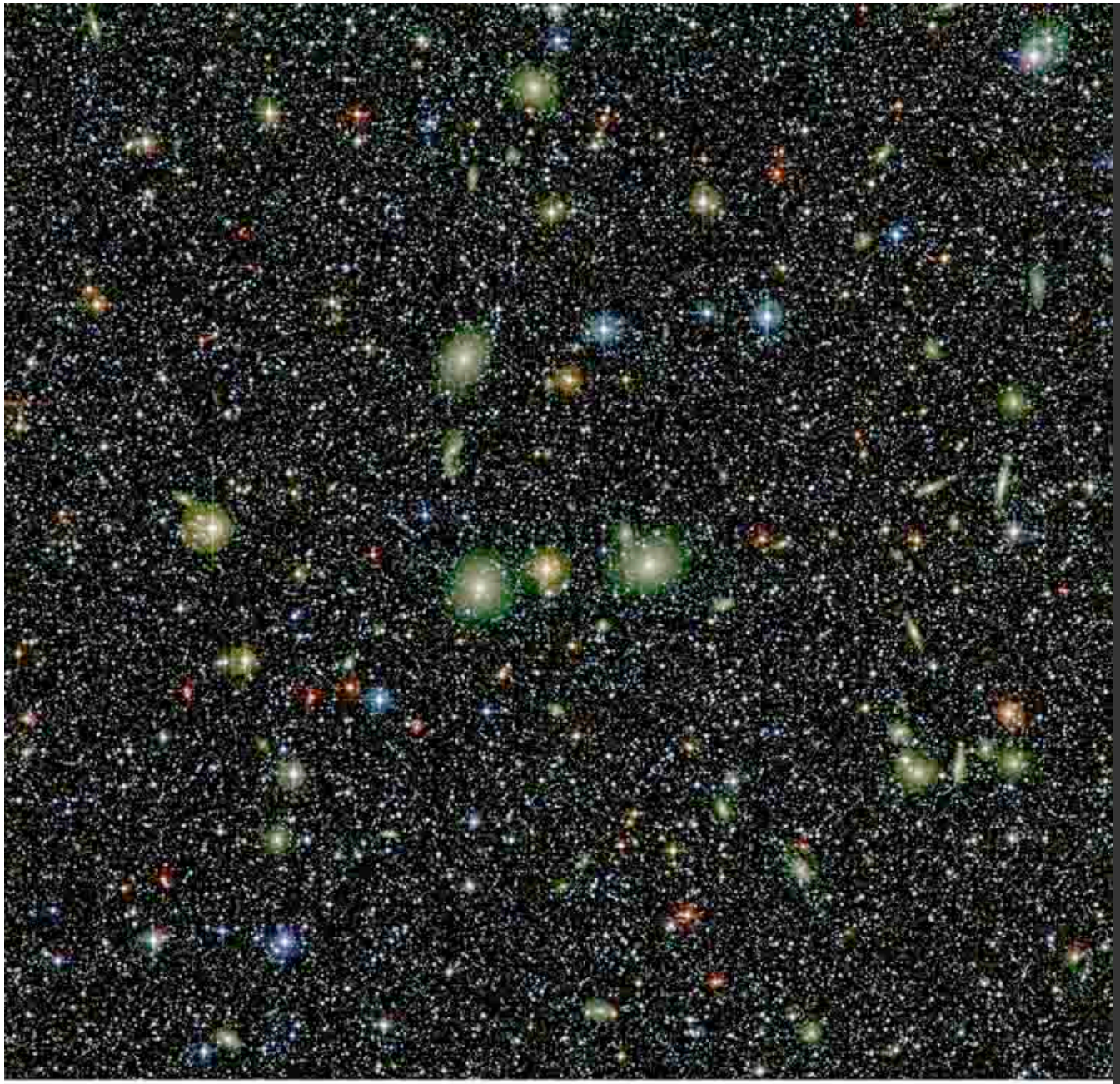


Aglomerado de Virgem atrai o Aglomerado Local, que se move a 400 km/s em direção a Virgem

Viagem até o Aglomerado de Virgem

- O Aglomerado de Virgem, a cerca de 60 milhões de anos-luz é a maior concentração de massa do Universo Local.
- Contem mais de 2000 galáxias e é o centro do superaglomerado local que contém o Grupo Local (~50 galáxias, incluindo Via Láctea e Andrômeda) que está sendo atraído por ele. No seu centro está a galáxia ativa M87, uma gigante elíptica.





View towards the Great Attractor
(MPG/ESO 2.2-m + WFI)

ESO PR Photo 46c/99 (21 December 1999)

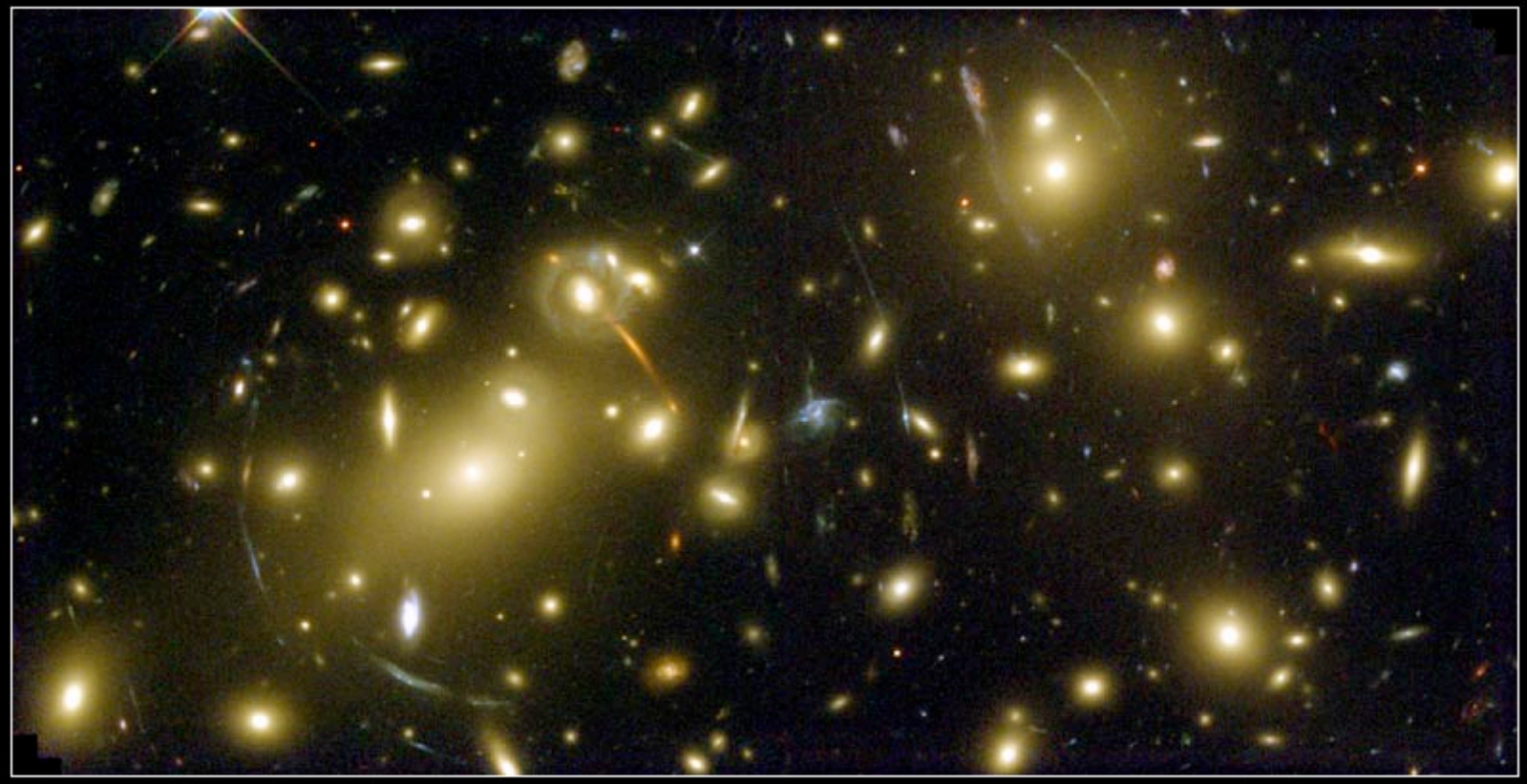
© European Southern Observatory

O Grande Atrator

Concentração de massa na direção do Aglomerado de Norma que atrai o Super-Aglomerado Local

Distância:
250 x10^6 a.l.

Aglomerados de Galáxias

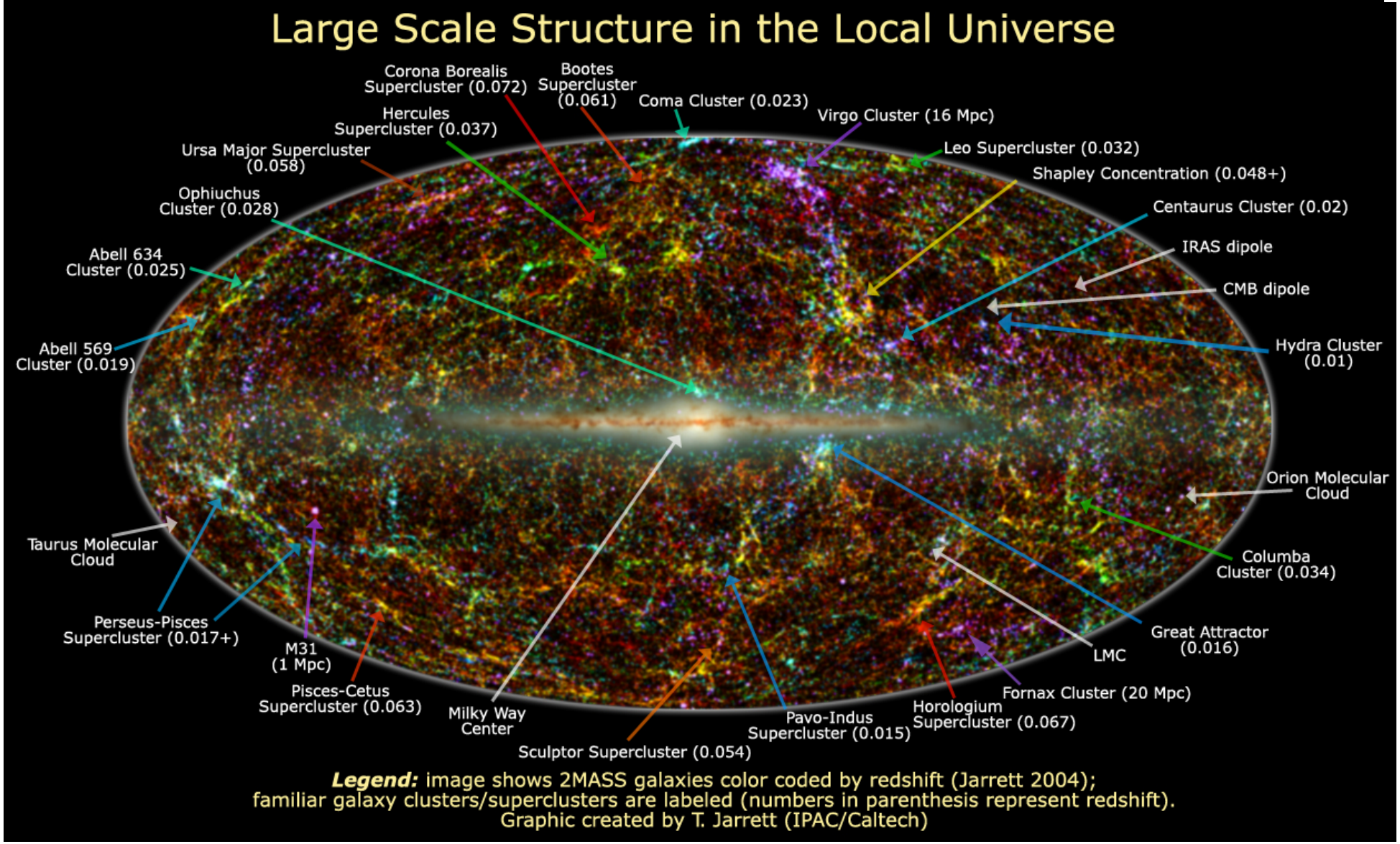


Galaxy Cluster Abell 2218 **HST • WFPC2**

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

- Distância:$3x10^9$a.l. (1000 x distância de Andrômeda); 250 membros
- Lente gravitacional de galáxias a altos z (redshifts), até z=7 -- idade de $0,75x10^9$ anos (idade do Universo=$13.5x10^9$ anos)

Estrutura em grande escala do Universo: 2MASS, near-IR



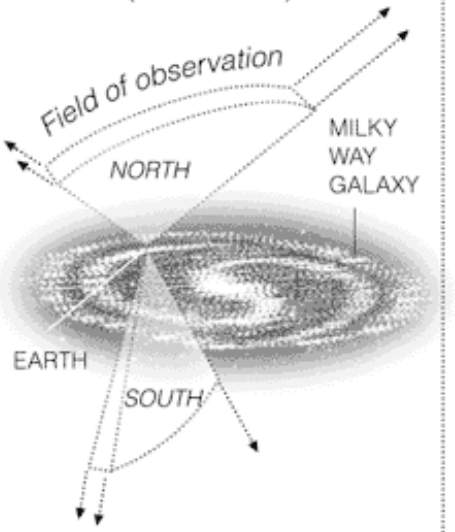
Estrutura em Grande Escala: 2DF, Austrália: 100.000 redshifts

The Geography of the Universe on the Grandest Scale

An international team of astronomers has measured the distances to more than 100,000 galaxies, allowing them to construct the largest, most detailed map of a large section of the universe near our galaxy.

THE OBSERVATIONS

The directions of the two survey regions are shown below (schematic).

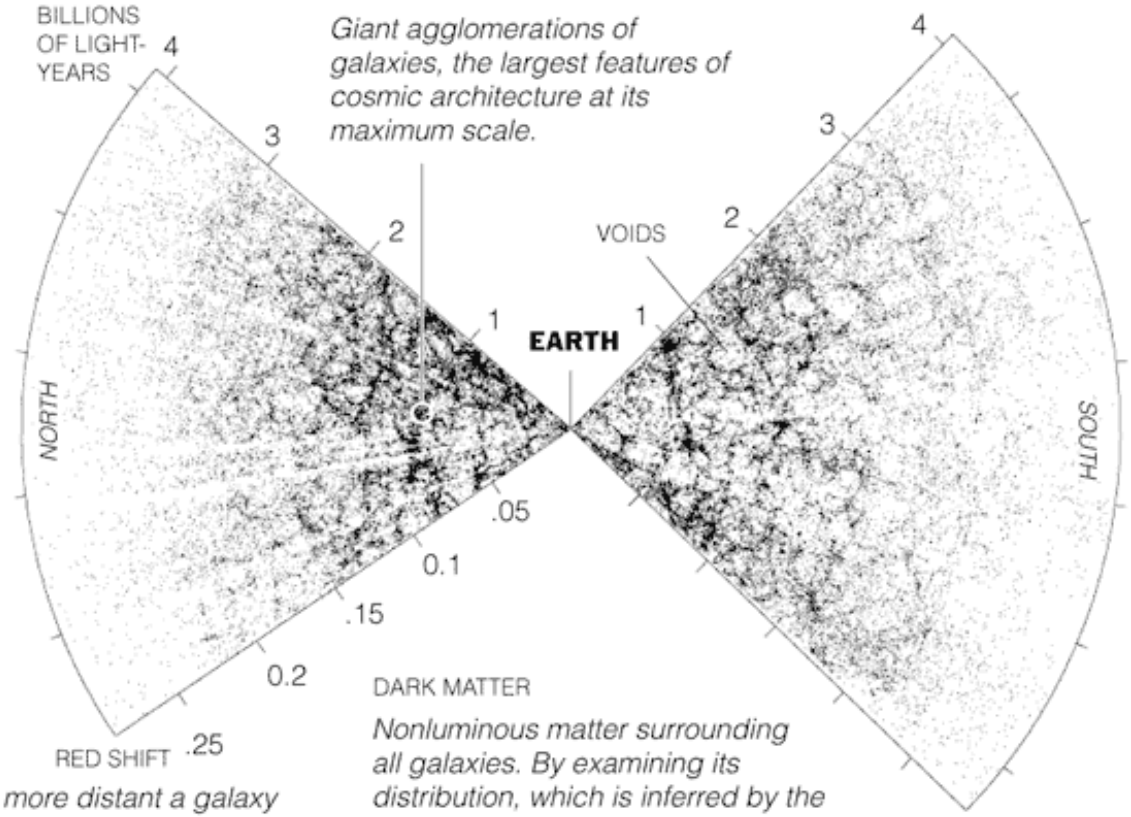


Survey regions extend outward for billions of light-years.

Sources: Dr. Robert Smith, The Australian National University; 2-Degree Field Galaxy Redshift Survey.

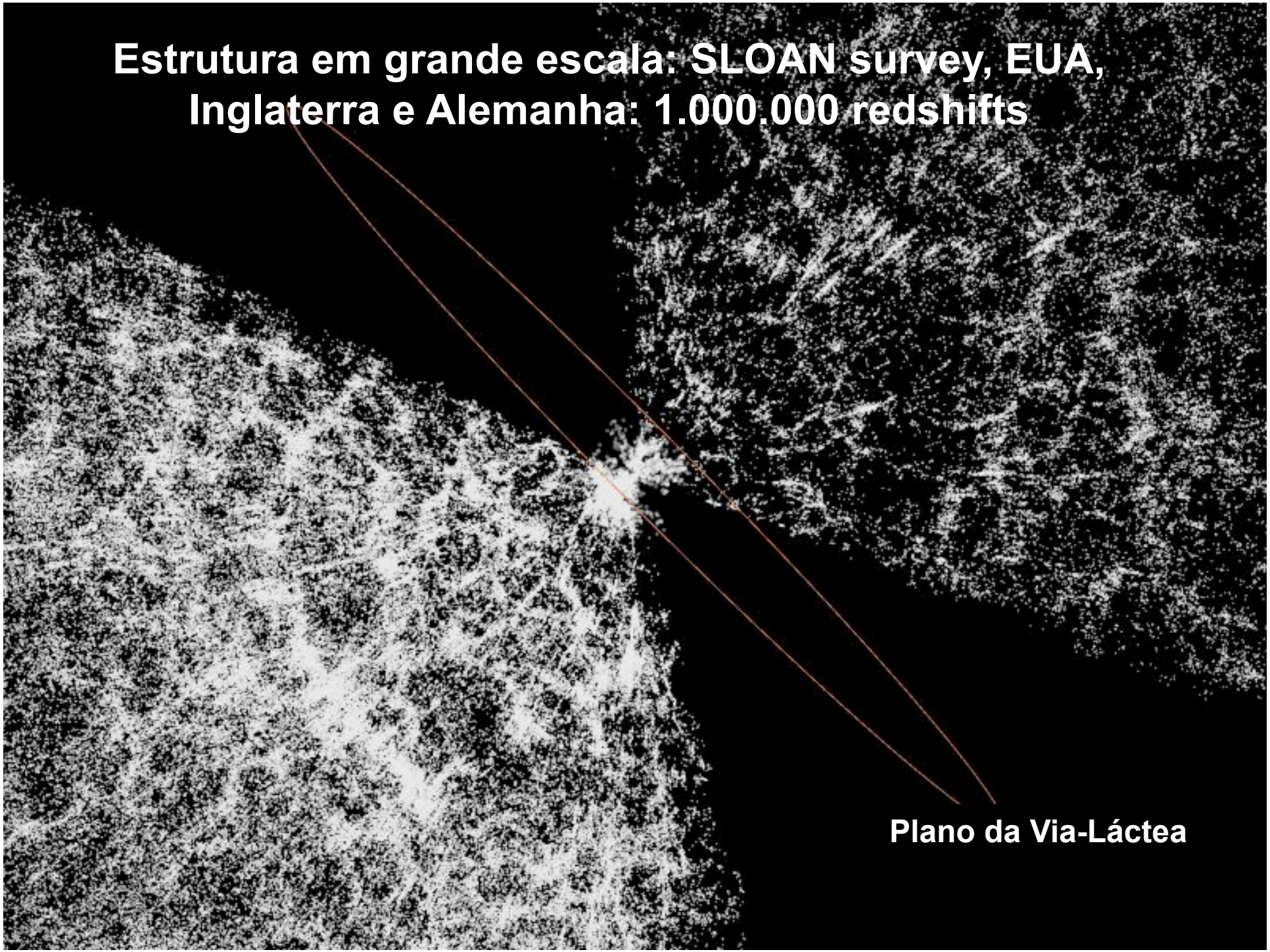
THE MAP

Each dot below is a galaxy, and the team eventually plans to locate 250,000.

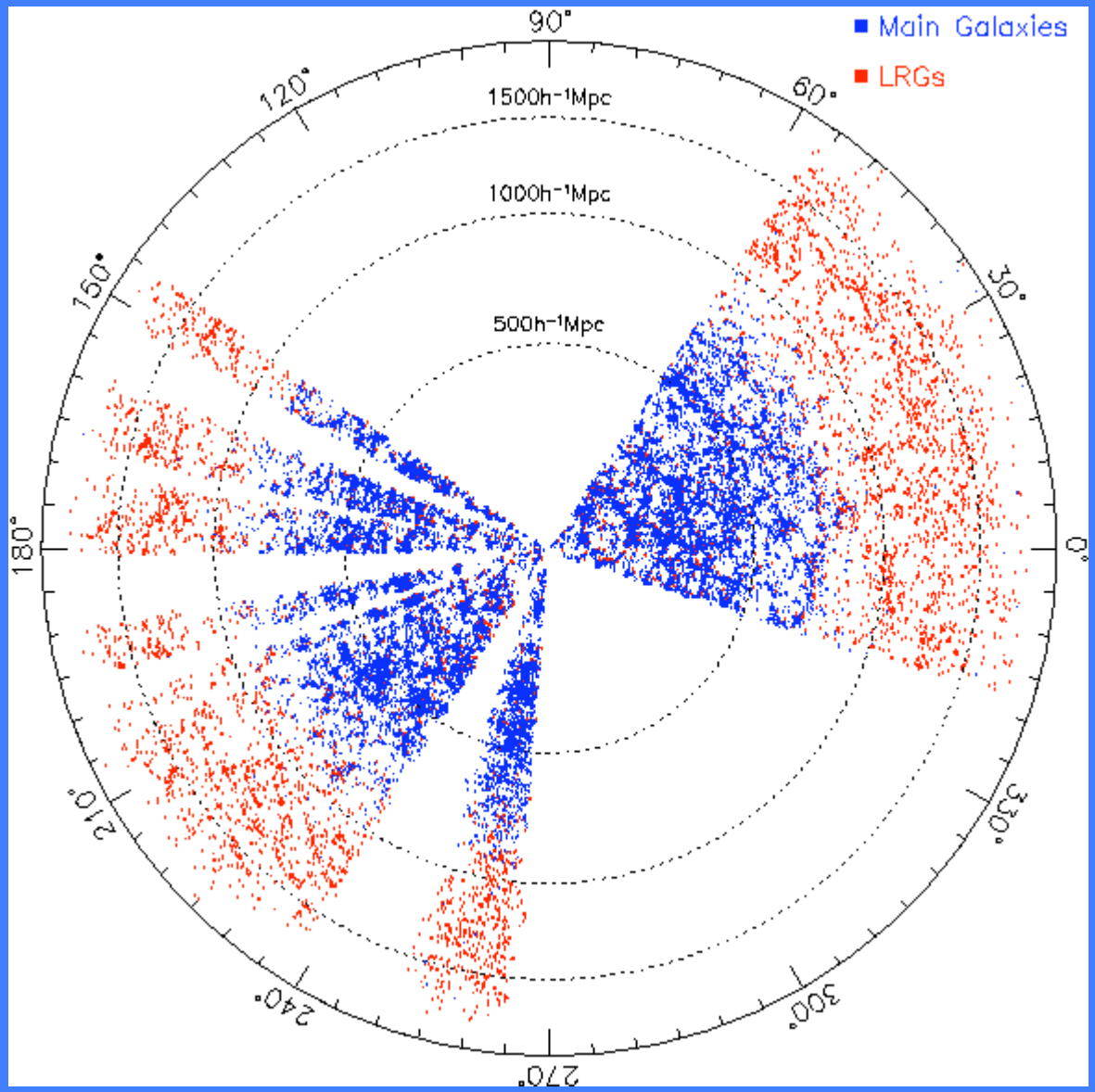


The more distant a galaxy the more its light shifts to the red end of the spectrum.

The New York Times/Map courtesy of Peder Norberg, Dr. Shaun Cole, University of Durham


Estrutura em grande escala: SLOAN survey, EUA, Inglaterra e Alemanha: 1.000.000 redshifts
Plano da Via-Láctea

Distâncias e direções das galáxias do SLOAN (1st. Release)



Estrutura comum: "esponja"– galáxias se distribuem como na superfície de bolhas; vazios de 50 Mpc = 150×10^6a.l.

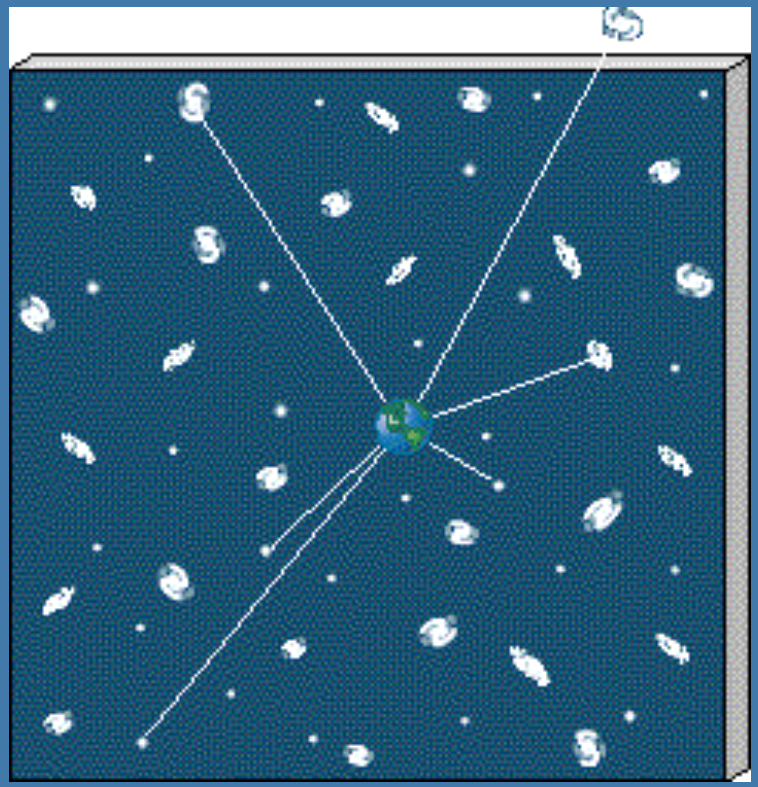
Distância média entre galáxias: $r=3 \times 10^6$a.l.

Densidade de matéria: $10^{12} M_{Sol} / (4/3 \pi r^3) =$ 2×10^{-30} g/cm^3

Estrutura em grande escala: Millenium simulation – maior simulação cosmológica já realizada, com 10^{10} partículas

Tamanho do Universo: O Paradoxo de Olbers

- Olbers (e outros antes dele): se o Universo é infinito, o céu deveria estar coberto por estrelas (analogia com floresta), mas ele é escuro (à noite).



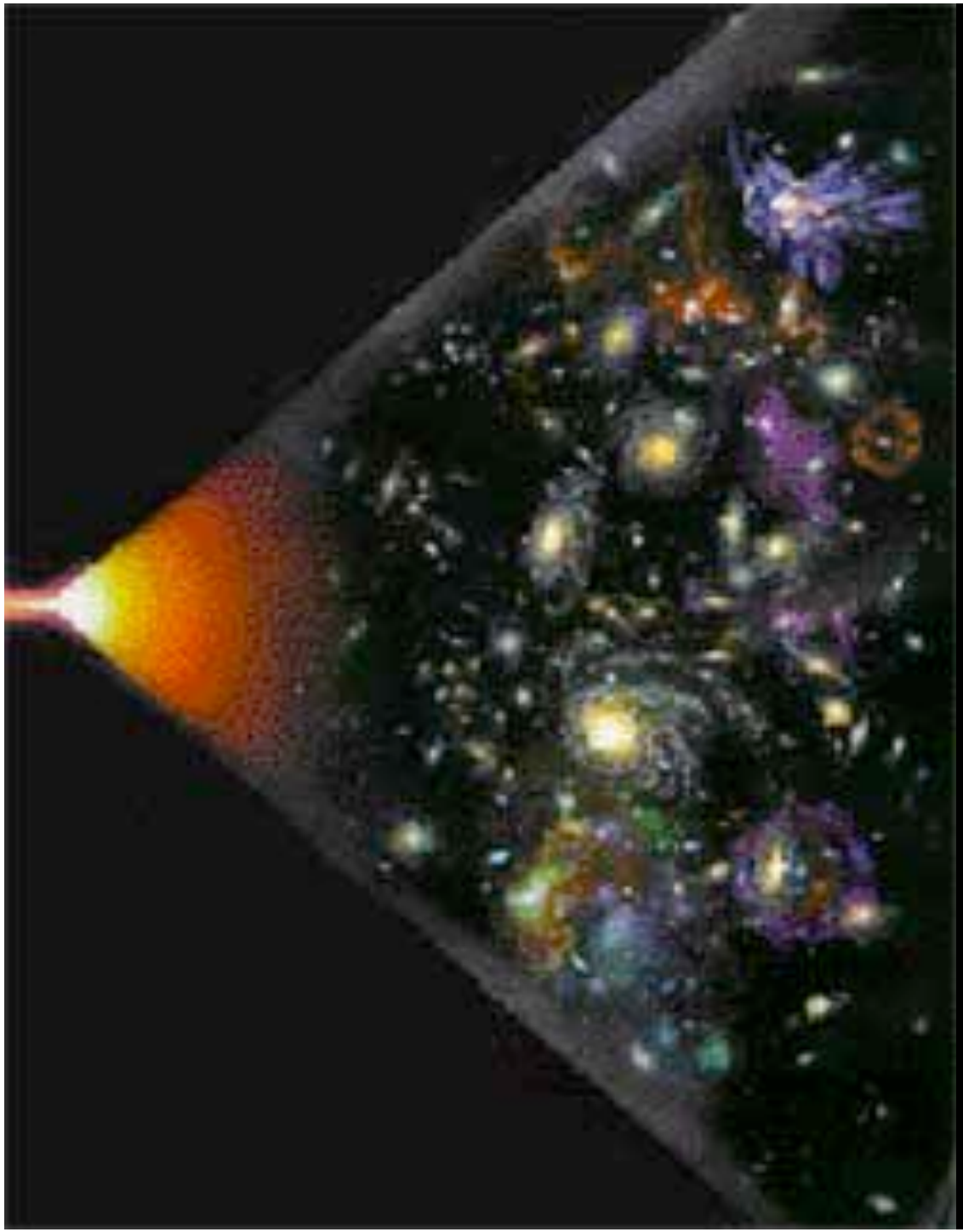
Solução do Paradoxo

- Se estrelas têm raio médio de $R=7x10^5$km → seção reta **$\sigma=\pi R^2$**
- Se a separação média entre as estrelas é de r=4a.l. → seção reta **$\Sigma=\pi r^2$**
- A razão entre as áreas dá o no. mínimo de estrelas necessárias para tapar todo o céu (na hipótese de que uma nào se alinhe atrás da outra): **$N= (\pi r^2)/(\pi R^2) =3x10^{15}$estrelas**
- Se a densidade média das estrelas é $n=1/(4\ a.l.)^3$,pode-se obter a distância *d* mínima necessária para acumular o no. acima de estrelas:

$$N = nV = n\Sigma d = n\pi r^2 d$$

$$d = \frac{N}{n\pi r^2} = \frac{3\times 10^{15}}{\frac{1}{(4a.l.)^3}\pi(4a.l.)^2} = 4\times 10^{15} a.l.$$

- A distância **$4x10^{15}$ a.l.** é **$3x10^5$** vezes maior do que o raio observável do Universo **($13,7x10^9$a.l.)!**
- **Conclusão: o Universo é escuro à noite porque seu raio observável é menor do que o necessário para acumular no. de estrelas suficientes para tornar todo o céu brilhante!**



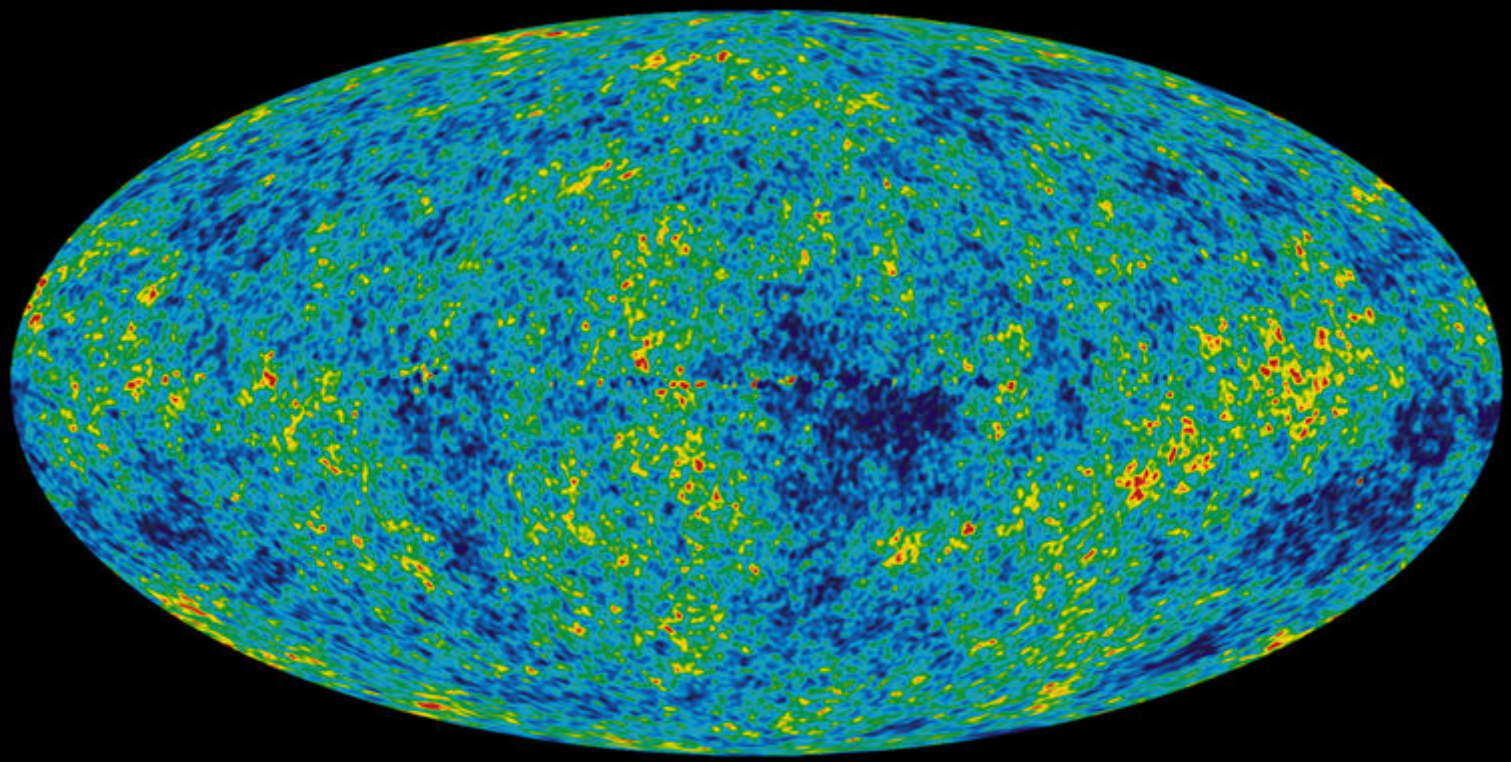
Raio e idade do Universo

- **Lei de Hubble →** Universo em expansão, analogia bolo de passas → **v=HD:** maior distância ↔ maior velocidade; limite → **c= velocidade da luz**

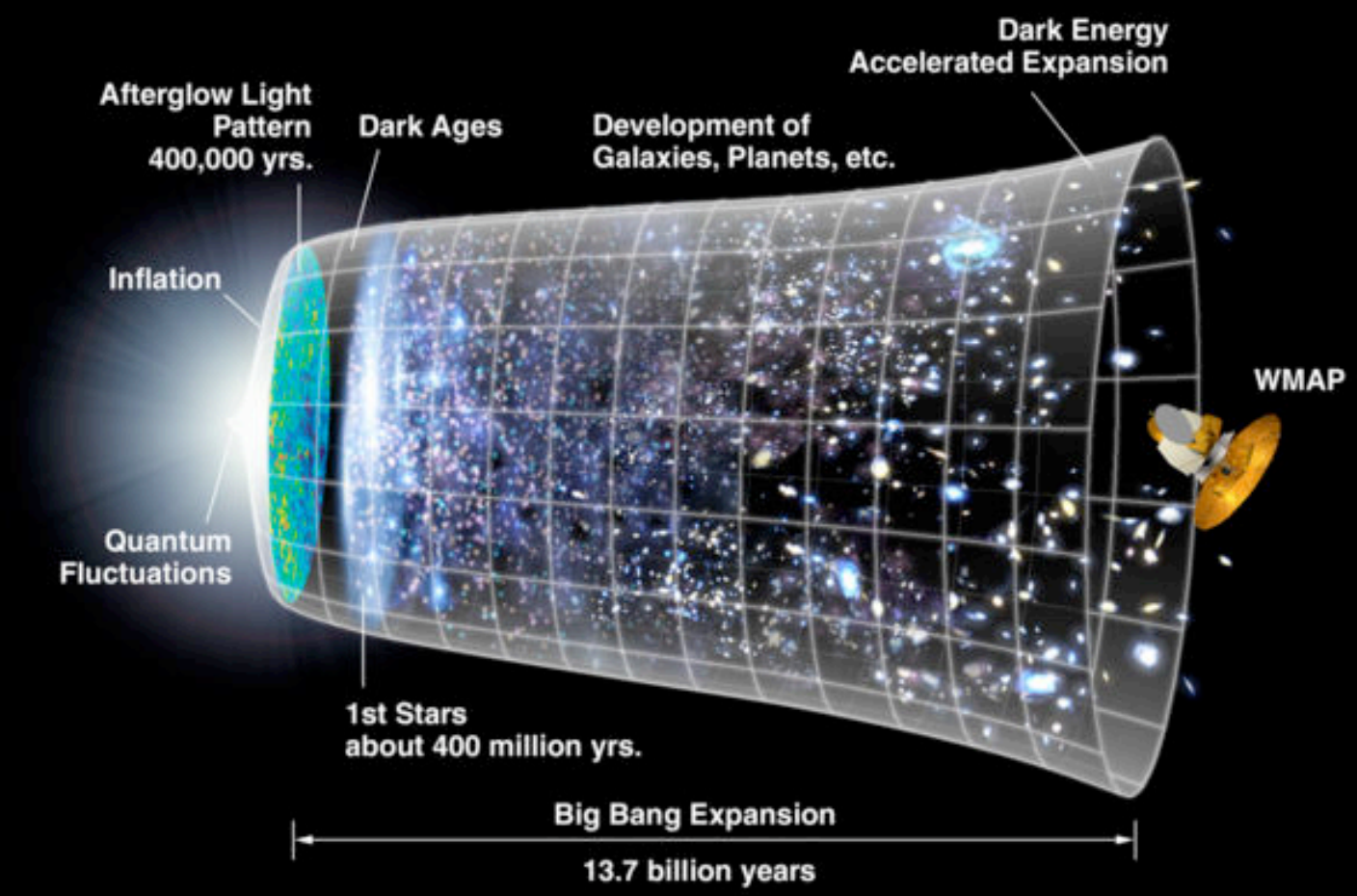
- **Distância de Hubble:** limite observável do Universo, se taxa de expansão fosse constante (=H) **D_H=c/H=13,7x10^9 a.l.**

- **Tempo de Hubble:** tempo para galáxia chegar a uma distância **D**, com velocidade v: t_H=D/v=1/H=Tempo de Hubble: idade to Universo se taxa de expansão fosse constante (=H) t_H=13,7x10^9 anos

Raio do Universo: Na prática, só podemos observar a superfície do último espalhamento, quando Universo se tornou transparente ao formar o primeiros átomos (era da recombinação), 300.000 anos após o Big Bang → radiação cósmica de fundo em microondas, mapeada pelo WMAP (antes disso, poder-se- ia obter informação através de ondas gravitacionais)



Interpretação dos dados do WMAP



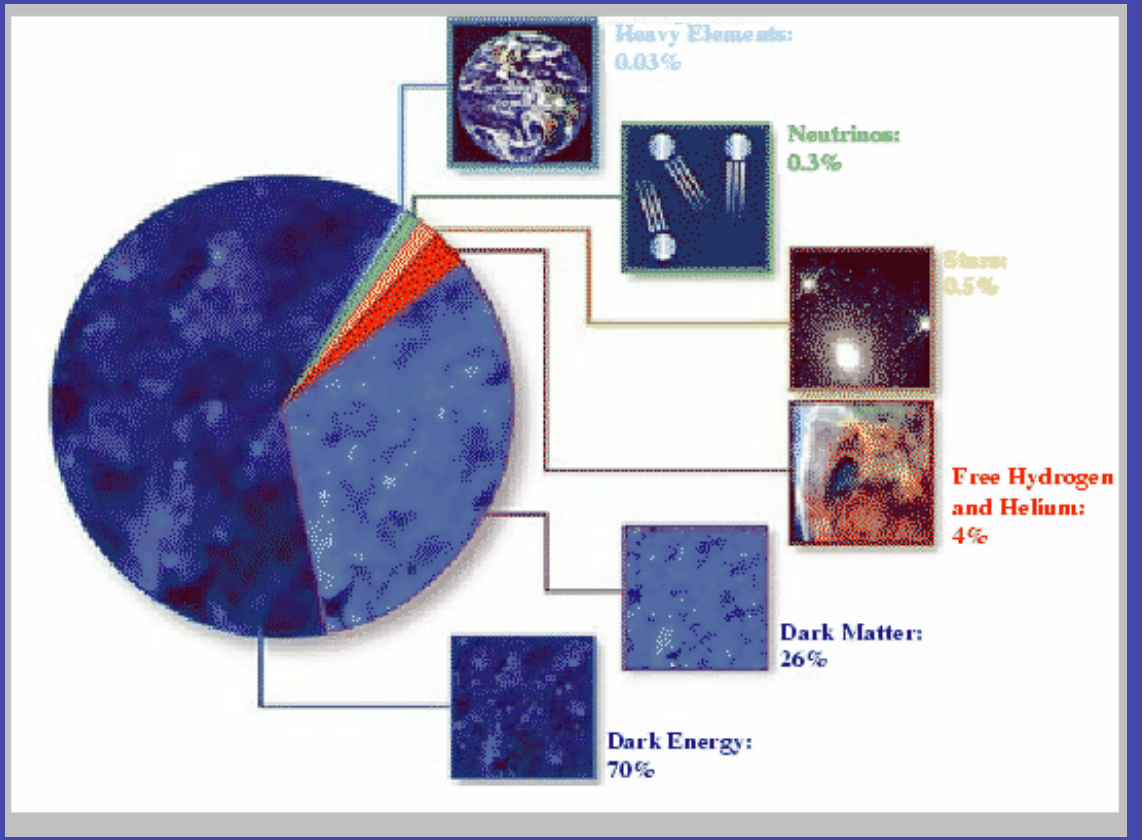
NASA/WMAP Science Team

“Raio, idade e conteúdo do Universo”

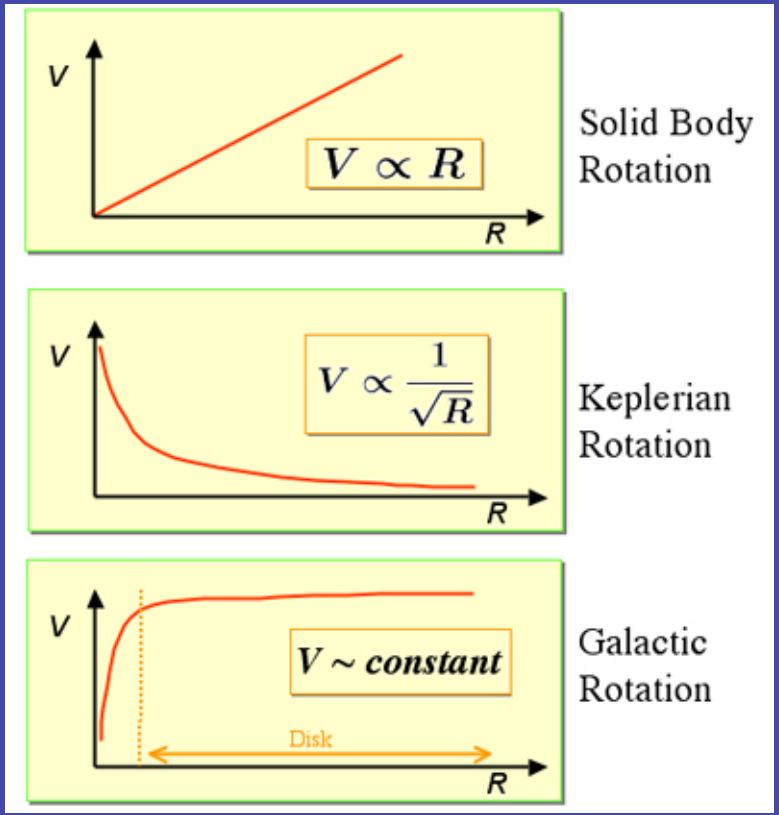
- Universo tem um raio observável de **13,7 bilhões de anos-luz** porque ele tem uma idade de **13,7 bilhões de anos**. Este é o tempo que a luz demorou para chegar até nós. Entretanto, a expansão do Universo coloca esta distância atualmente a cerca de 50 bilhões de a.l., que seria o raio atual do Universo conhecido. Além disso, na época conhecida como da “inflação cósmicoa” (10^{-34} s de idade do Universo), o horizonte se expandiu mais rápido do que a luz e assim o Universo pode ser maior ainda.

- Conteúdo de estrelas no Universo observável: **10^{11} galáxias com $5x10^{11}$ estrelas cada=$5x10^{22}$ estrelas x $2x10^{33}$g=$1x10^{56}$g**

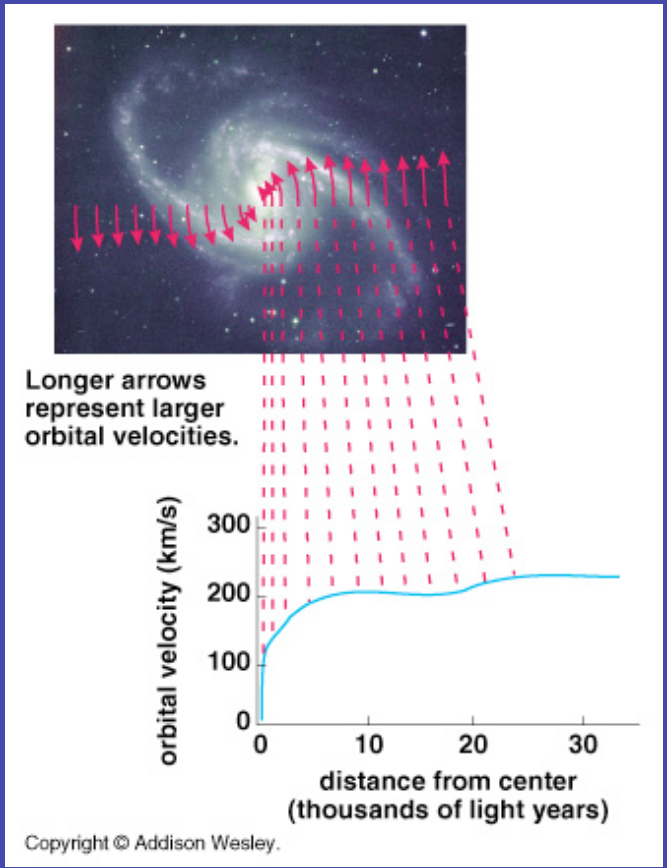
- Entretanto, as estrelas são só **0.5%** do Universo, dominam a matéria escura **(26%)** e energia escura **(70%)** → não sabemos a natureza do que constitui **96%** do Universo! →



Matéria Escura: evidências observacionais



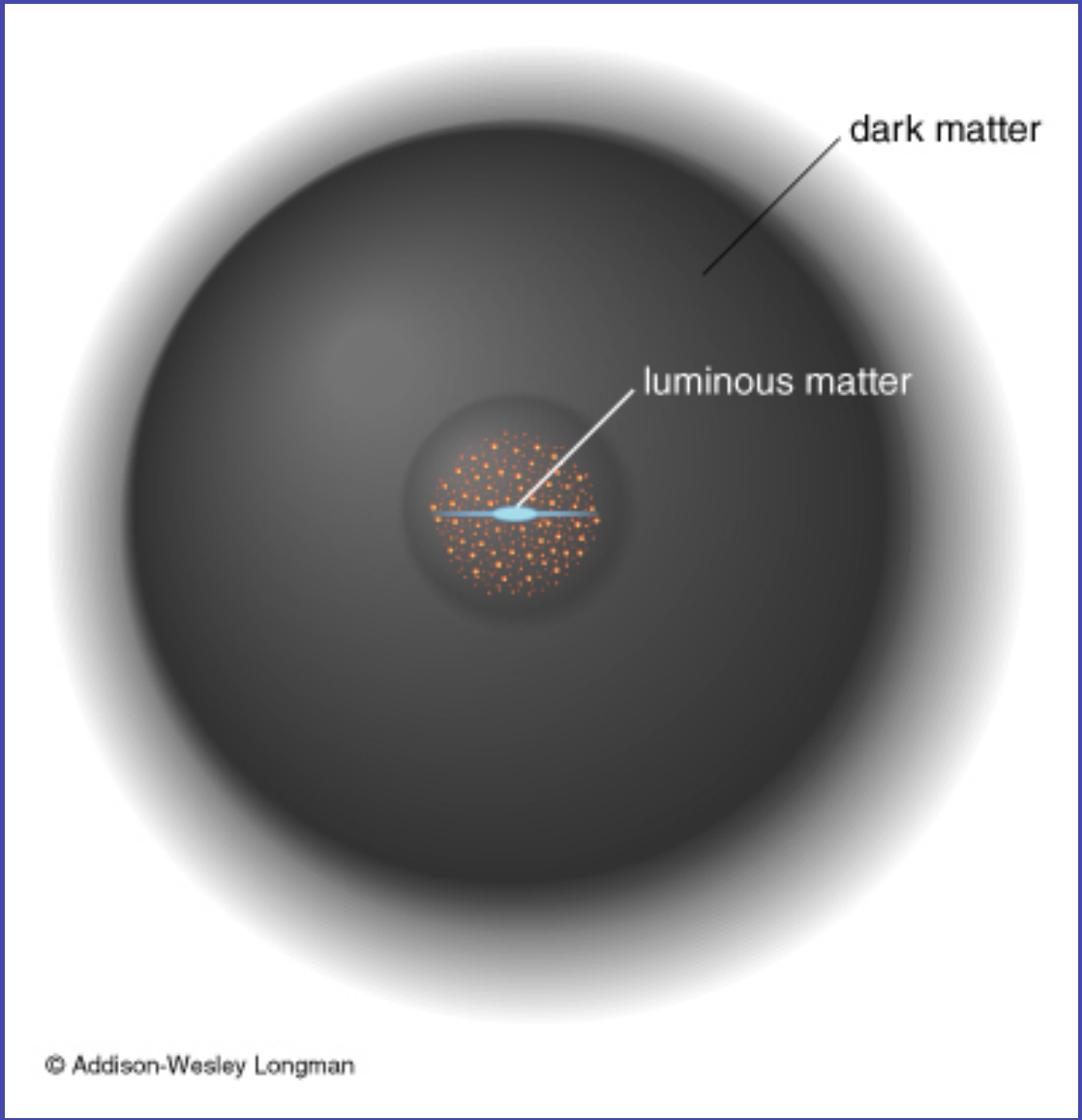
Fonte: Cosmos, SAO



Estrelas nas bordas externas das galáxias têm velocidades orbitais maiores do que pode ser explicado pela massa interna da galáxia: $V^2=GM/R$ (rotação Kepleriana)

Matéria Escura

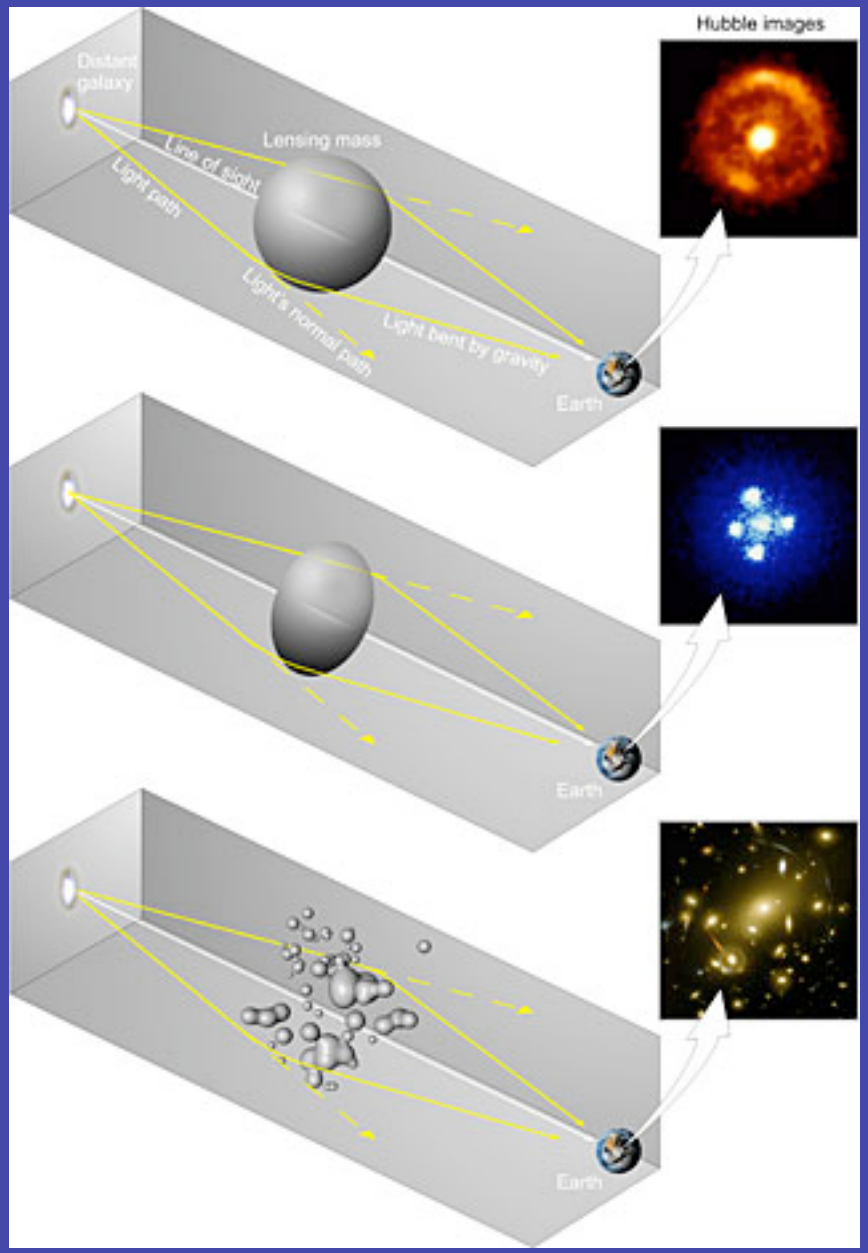
Para explicar o movimento rápido das estrelas longe do centro das galáxias, deve existir um halo estendido de matéria escura, que teria massa 5 vezes maior do que a da matéria bariônica.



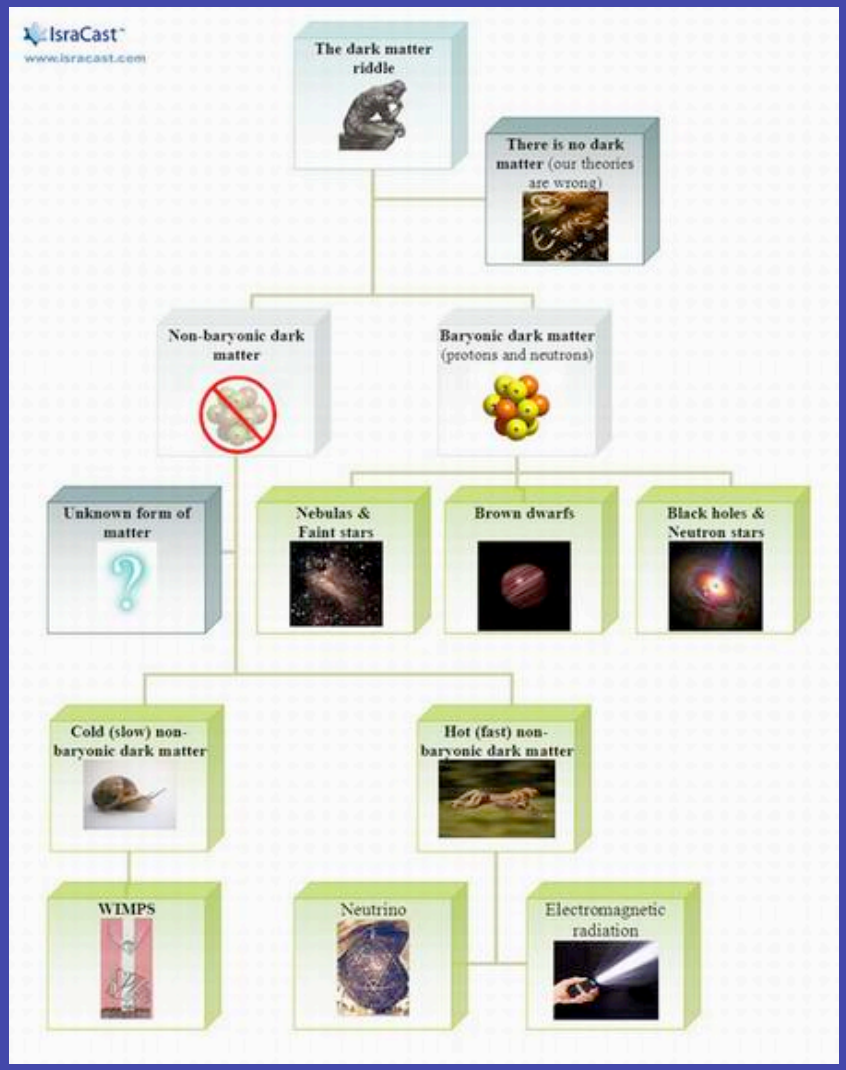
Matéria Escura: evidências observacionais

- Galáxias em aglomerados têm velocidades maiores do que estimadas através da massa do aglomerado
- Massa de aglomerados de galáxias obtidas a partir de lentes gravitacionais dão valores ~ 5 vezes maiores do que o estimado a partir da radiação proveniente das galáxias.

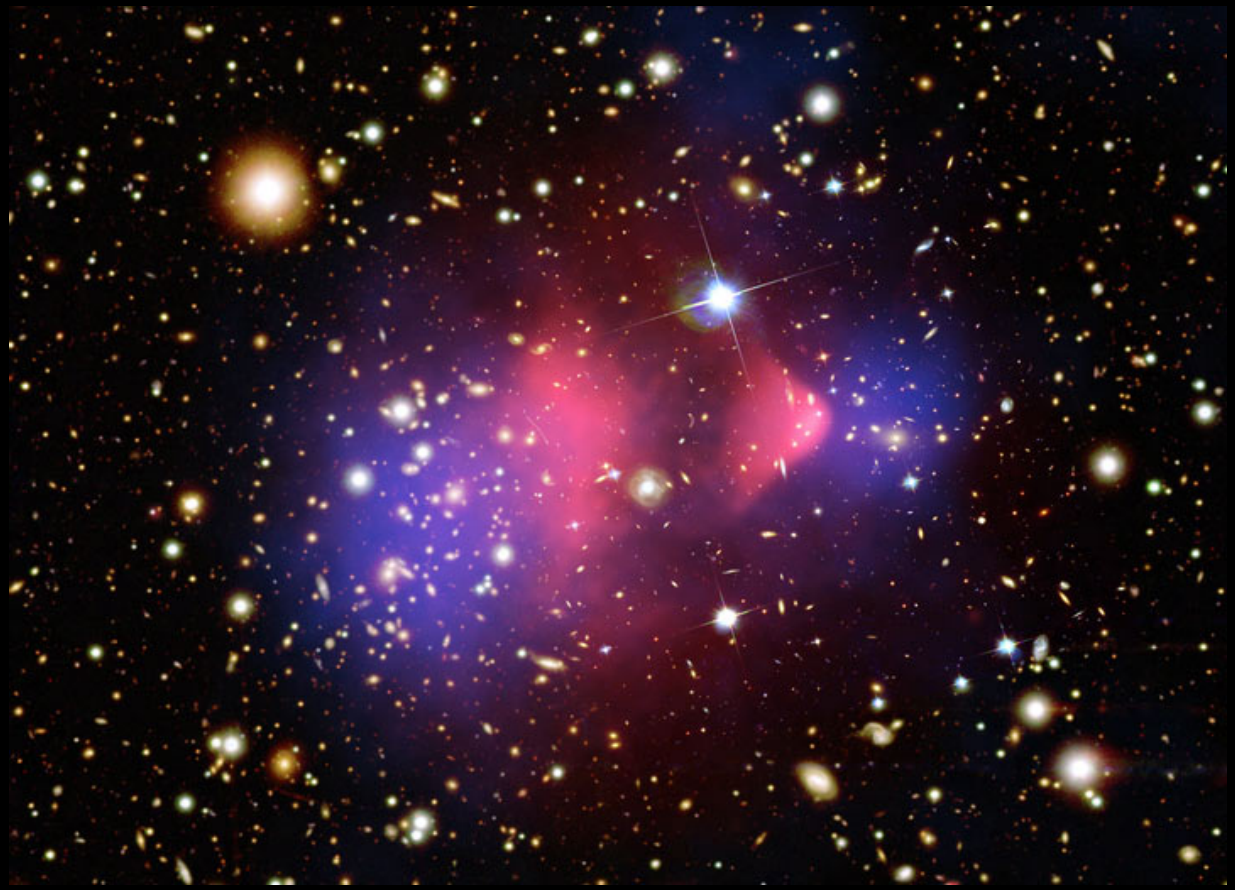
Figura: lentes gravitacionais (fonte: The internet Encyclopedia of Science)



Matéria Escura: natureza

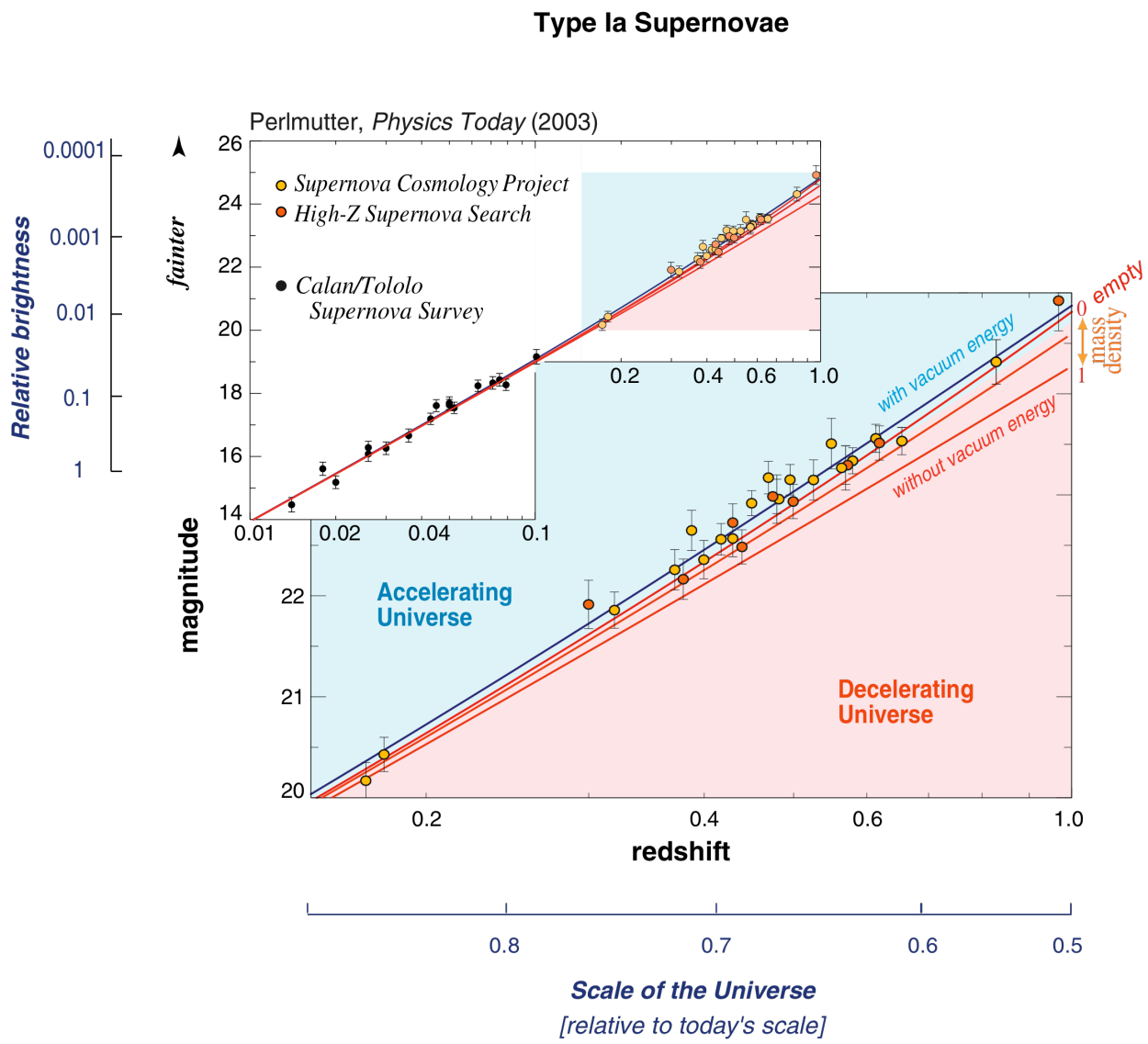


Matéria Escura: natureza

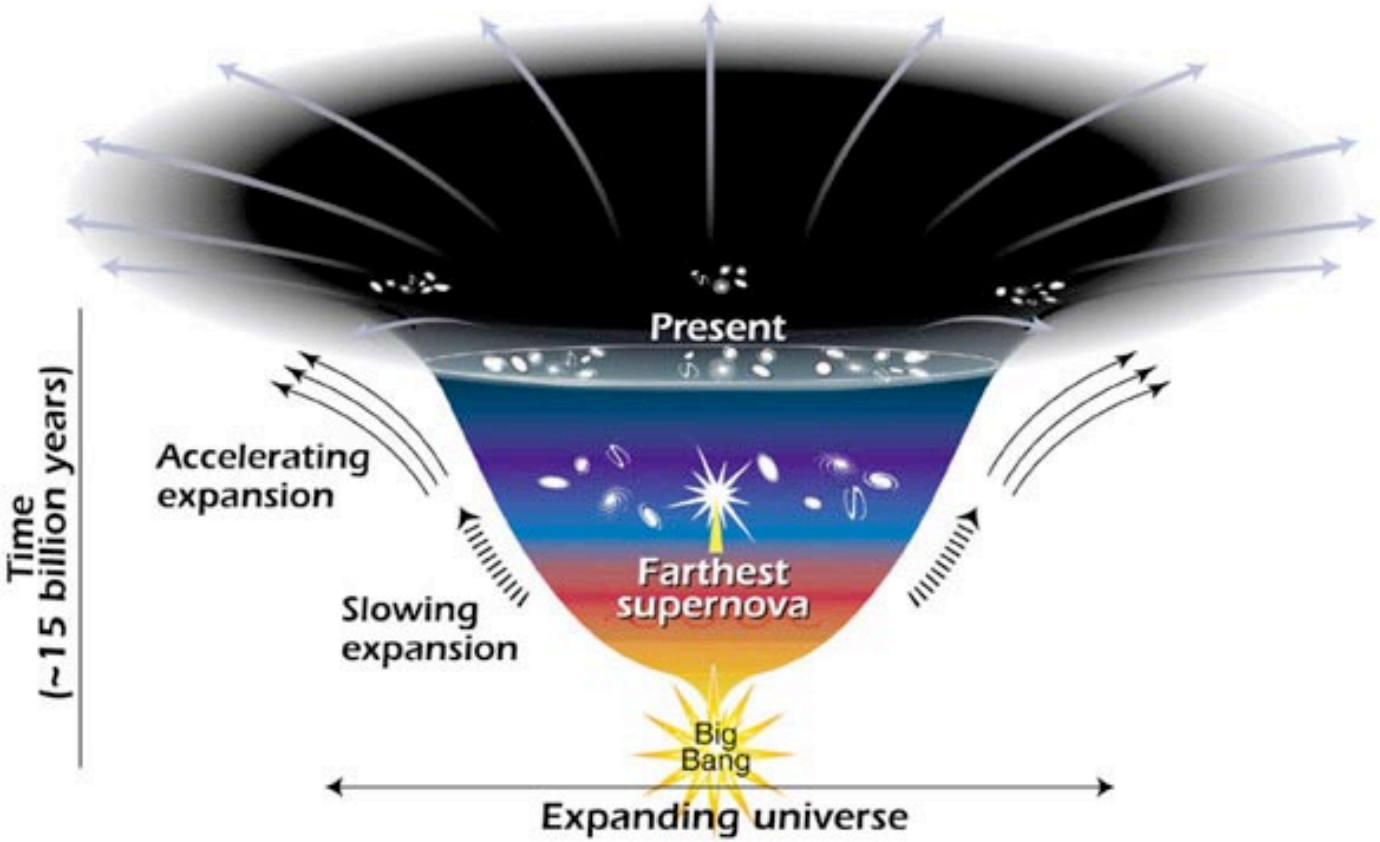


‘Bullet cluster”, resultado da colisão de dois aglomerados de galáxias (passando um através do outro). A luz vermelha revela a distribuição do gás (que emite raios-X – detectado pelo satélite Chandra) enquanto que a luz azul revela a distribuição de matéria escura obtida pelo método de lentes gravitacionais. Enquanto que a matéria luminosa se retarda pela interação, a matéria escura parece não sofrer nenhum distúrbio, revelando que sua natureza é mesmo diferente da natureza da matéria bariônica.

Energia Escura: observações de supernovas distantes de tipo Ia revelam aceleração da expansão do Universo



Expansão acelerada: é preciso uma energia que aja contra a gravidade para acelerar a expansão: a Energia Escura



Questões

- Qual o raio da Terra, do Sistema Solar, da Galáxia, do Aglomerado Local, do Super-aglomerado Local e do Universo?
- Quais os métodos usados para determinação das distâncias acima?
- Como se determina a estrutura em grande escala do Universo?
- O que é a radiação de fundo de micro-ondas?
- Qual é o limite observável do Universo?
- Quais são os constituintes do Universo?
- Qual é a idade do Universo?