

Capítulo 17

ESTRUTURA DO UNIVERSO

Nós dedicaremos esse capítulo ao estudo dos aglomerados de galáxias. Os tópicos abordados serão os seguintes:

- AGLOMERADOS DE GALÁXIAS
- COLISÕES DE GALÁXIAS
- O PROBLEMA DA MATÉRIA ESCURA
- O UNIVERSO EM EXPANSÃO
- FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DAS GALÁXIAS
- ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA



Bibliografia

- W. Maciel, 1991 "Astronomia & Astrofísica " – IAG/USP
- Zeilik & Smith, 1987 "Introductory Astronomy & Astrophysics"
- Chaisson & McMillan, 1997 "Astronomy Today"

AGLOMERADOS DE GALÁXIAS

Um aglomerado de galáxias pode ser rico ou pobre em galáxias. Por exemplo, a nossa Via Láctea pertence a um “aglomerado pobre”, chamado Grupo Local. O Grupo Local contém cerca de 30 galáxias.

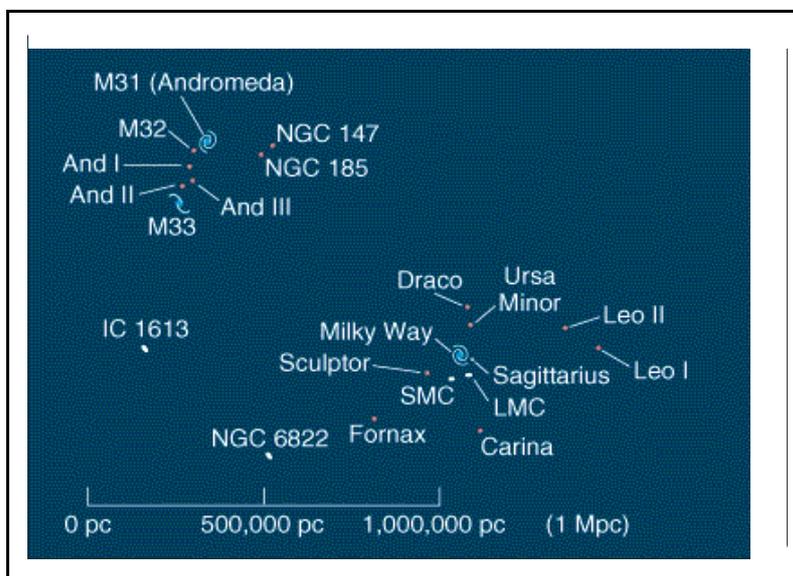


Figura 1 – Superaglomerado local de galáxias.

Em 1998 uma nova galáxia anã satélite da Via Láctea foi encontrada. Ela não tinha sido encontrada antes por estar muito perto do centro da Galáxia, na constelação de Sagittarius, apenas 50000 anos luz do centro da Galáxia. Este novo membro do grupo local foi chamado de “Sagittarius” e é a galáxia mais próxima a nossa, mais próxima que a Nuvem de Magalhães. Esta galáxia parece estar se desintegrando, devido a força gravitacional da nossa Galáxia, que a absorverá dentro dos próximos 100 milhões de anos.

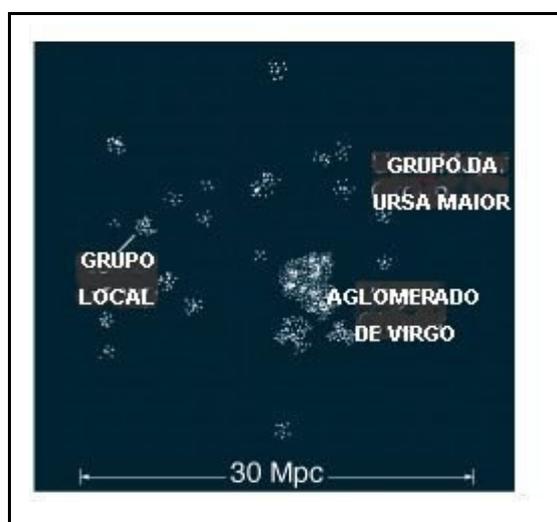


Figura 2 – Esquema contendo algumas galáxias do aglomerado local.

O aglomerado rico mais próximo de nós é chamado de aglomerado de Virgo. Ele contém mais de 1000 galáxias cobrindo uma área de 10 x 12 graus no céu. Estrelas Cefeidas na galáxia espiral M100 do aglomerado de Virgo indicam que este está a 50 milhões de anos luz da nossa Galáxia. Três galáxias elípticas gigantes dominam o centro do aglomerado de Virgo; estas galáxias são enormes, cerca de 20 vezes maiores que uma galáxia comum elíptica ou espiral. Muitas galáxias dominantes em aglomerados tem características excepcionais (muito brilhantes e muito grandes).

Nós categorizamos os aglomerados de galáxias como regulares ou irregulares. Um aglomerado regular é esférico, com uma concentração de galáxias em seu centro. Acredita-se que as inúmeras interações gravitacionais entre as galáxias fez com que estas se distribuíssem simetricamente. O aglomerado de Virgo, em contraste, é um aglomerado irregular, porque suas galáxias estão randomicamente espalhadas no céu.

O exemplo mais próximo de uma aglomerado rico e regular é o aglomerado de Coma, localizado a 300 milhões de anos luz, na direção da constelação de Coma Berenices. Embora a distância deste aglomerado seja grande, mais de 1000 galáxias são facilmente vistas em placas fotográficas.

Aglomerados ricos e regulares como o aglomerado de Coma contêm em sua maioria galáxias elípticas e S0's. Apenas 15% das galáxias em Coma são espirais e irregulares. Aglomerados irregulares como Virgo tem uma quantidade de espirais e irregulares muito maior.

COLISÕES DE GALÁXIAS

As galáxias em um aglomerado orbitam ao redor de um centro de massa comum. Ocasionalmente duas galáxias passam próximas uma da outra, e suas estrelas se aproximam. Há, porém, tanto espaço entre as estrelas que a probabilidade destas colidirem é extremamente pequena. No entanto, as enormes nuvens de gás interestelar e poeira são tão grandes que estas sim colidem, batendo umas contra as outras e produzindo ondas de choque. As nuvens interestelares que se colidem podem representar a fusão de duas galáxias ou podem fazer com que estrelas de uma ou das duas galáxias envolvidas sejam empurradas para fora da galáxia.

Uma colisão violenta pode tirar todo material interestelar, gás e poeira, do centro das galáxias e transferir para o meio intra-aglomerado. Colisões violentas podem esquentar o gás tirado das galáxias a temperaturas altas. Este processo pode ser a principal fonte de gás quente observado em aglomerados ricos e regulares.

Em uma colisão menos violenta ou em situações onde duas galáxias se cruzam em proximidade, há normalmente indução de formação estelar.

A característica mais comum de sistemas onde colisões ocorreram (ou quase ocorreram) é a formação de caudas e braços formados de estrelas que são empurradas para fora das galáxias devido à colisão. Este processo pode, em aglomerados, ao invés de formar caudas e braços, povoar o meio intra-aglomerado com estrelas que anteriormente pertenciam às galáxias.

O caso mais extremo de interações entre galáxias ocorre quando há fusão total dos dois corpos. Este caso é chamado de “fusão de galáxias” ou “canibalismo galáctico”. Normalmente fusão se refere a galáxias do mesmo tamanho enquanto canibalismo se refere a uma galáxia grande que engole uma pequena.

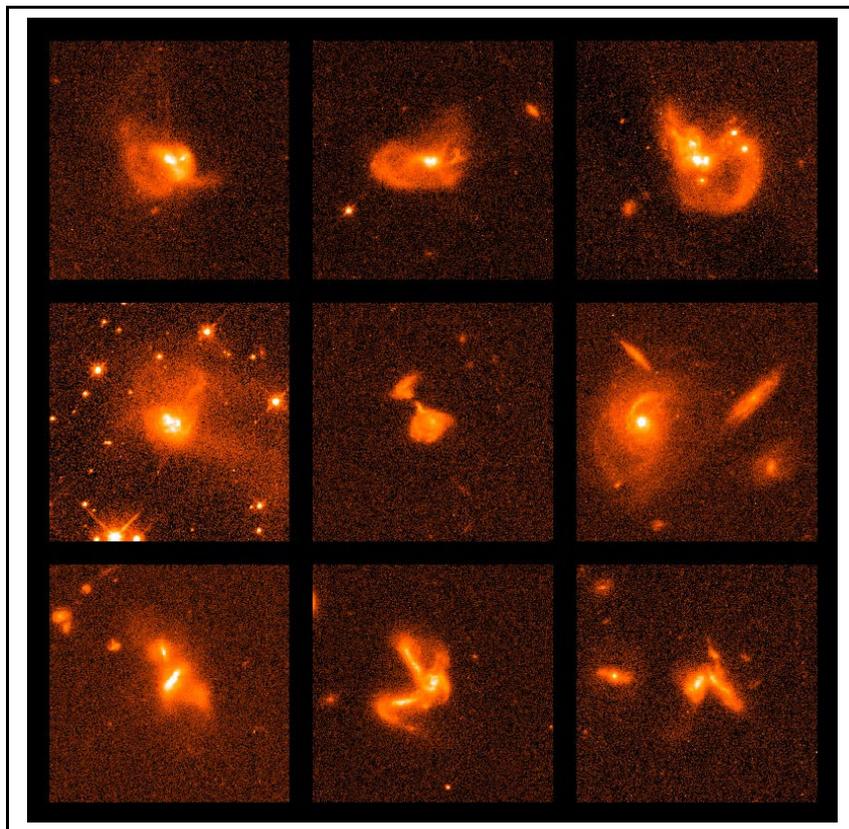


Figura 3 – Sistemas de galáxias em colisão (NASA).

Muitos astrônomos acham que galáxias elípticas são o produto de canibalismo galáctico. Algumas galáxias elípticas enormes ocupam o centro de aglomerados ricos. Provavelmente outras galáxias menores ao passarem próximas ao centro da galáxia foram consumidas pela galáxia maior e passaram a fazer parte dela. Este processo pode ter

acontecido durante a evolução inicial do aglomerado ou mais tarde, em subestruturas do aglomerado.

Simulações de n-corpos por computadores mostram as inúmeras possibilidades de sistemas em colisão.



Figura 4 – Duas galáxias na constelação do Corvus, NGC4038/4039, em processo de canibalismo (*NASA*).

O PROBLEMA DA MATÉRIA ESCURA EM AGLOMERADOS

O que faz com que as galáxias em aglomerados e superaglomerados não se dispersem e sim fiquem orbitando em volta de um centro comum? Deve haver massa suficiente no aglomerado para manter as galáxias gravitacionalmente ligadas. No entanto, não há nenhum aglomerado ou superaglomerado que tenha massa visível suficiente para mantê-lo ligado.

Já estudamos um problema semelhante quando observamos o movimento das estrelas a grandes distâncias da nossa Via Láctea (para um raio maior que dois raios solares). Vimos que a matéria não era o bastante para explicar como a galáxia mantinha estrelas a tal velocidade a uma grande distância do centro.

O problema aqui é similar. Os aglomerados de galáxias devem ter uma grande quantidade de material não luminoso espalhado pelo aglomerado, senão as galáxias já teriam há muito tempo se dispersado do aglomerado. Esta massa não luminosa, que está “faltando”,

é chamada de “matéria escura”. Sabemos que em um típico aglomerado é necessário 10 vezes mais massa do que o material que podemos detectar, para manter o aglomerado ligado.

Astrônomos usando telescópios para detecção de raios-X resolveram uma pequena parte do problema quando descobriram que aglomerados ricos emitem fortemente em raios-X devido ao seu meio interestelar quente. O gás quente em aglomerados tem temperaturas de 10 a 100 milhões de Kelvin. A massa desse gás quente é tipicamente da mesma ordem de grandeza que a massa visível combinada de todas as galáxias em um aglomerado rico.

Nós sabemos que todas as galáxias no Universo tem halos escuros, formados de matéria escura. A evidência maior vem das curvas de rotação, similares à curva de rotação da Via Láctea, que se mantém extremamente constantes até distâncias grandes do centro da galáxia. De acordo com a terceira lei de Kepler, deveríamos ver um declínio na velocidade orbital das partes periféricas da galáxia, mas isto não acontece. Isto quer dizer que uma grande parte de matéria escura deve estar presente nas áreas periféricas da galáxia.

A identificação da natureza da matéria escura é um dos objetivos mais importantes da astronomia moderna.

O UNIVERSO EM EXPANSÃO

Quando um astrônomo acha um objeto no céu e o fotografa, o passo seguinte é investigar sua composição. Para isto é necessário que se obtenha um espectro do objeto recém encontrado. Desde o começo do século, quando espectros das “nebulosas espirais” foram obtidos, se observou que a grande maioria deles apresentava “redshifts” (desvio para o vermelho) e não “blueshifts” (desvio para o azul).

Nos anos 20, Edwin Hubble e Nilton Humason obtiveram espectros de muitas galáxias com o telescópio de 100 polegadas de “Mount Wilson” e através do “desvio Doppler”, calcularam a velocidade com que estas galáxias estavam se movendo. Eles encontraram que a maioria delas estava se distanciando de nós, ou seja, apresentaram “redshifts” e não “blueshifts”. Usando a técnica do diagrama período-luminosidade das Cefeidas, Hubble obteve distâncias para as galáxias. Ao colocar em um gráfico a distância versus a velocidade de cada galáxia, Hubble descobriu que estas duas variáveis se correlacionam linearmente. Galáxias que estão próximas a nós se movem (se distanciam de nós) mais lentamente do que galáxias distantes. Este movimento é comum a todo o Universo. Em grande escala, as galáxias estão sempre se afastando umas das outras. Este movimento não vale para o Grupo Local e outras galáxias em nossa vizinhança uma vez que neste caso temos os movimentos peculiares devido ao fato destes objetos estarem gravitacionalmente ligados ao sistema local.

A relação entre as distâncias das galáxias e suas velocidades é uma das descobertas mais importantes do nosso século. Ela nos mostra que nós estamos vivendo em um universo em expansão. A Lei de Hubble, que dá a velocidade com que o Universo se expande, pode ser escrita da seguinte forma:

$$\text{VELOCIDADE DE RECESSÃO} = H_0 \times \text{DISTÂNCIA},$$

onde H_0 é a constante de Hubble. Esta constante é a inclinação da reta do diagrama de Hubble. A distância das galáxias é normalmente medida em Mpc e a velocidade em km/s.

Diferentes técnicas de estimar distâncias nos dão diferentes valores de H_0 , variando de 50 km/s/Mpc (quilômetros por segundo por megaparsec) a 90 km/s/Mpc. O maior problema na determinação da constante de Hubble está no fato de que à medida que olhamos para objetos mais distantes, fica cada vez mais difícil de determinar sua distância por meios independentes da relação de Hubble. A determinação exata da constante de Hubble é um dos desafios da Astronomia Moderna.

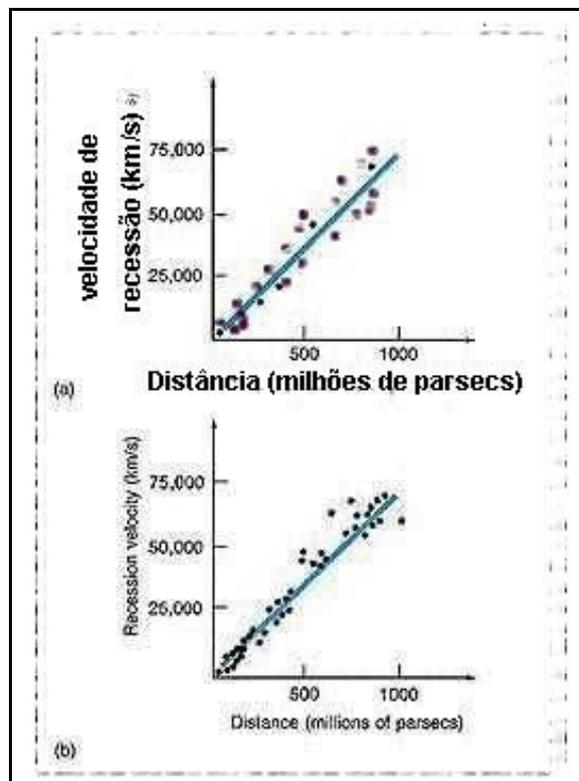


Figura 5 - Gráficos representativos da Lei de Hubble

Suponhamos que a constante de Hubble seja 75 km/s/Mpc. Então uma galáxia que está a 1 Mpc de nós está se afastando de nós, devido à expansão do Universo, com uma velocidade de:

$$v = 75 \text{ km/s/Mpc} \times 1 \text{ Mpc} = 75 \text{ km/s.}$$

Uma galáxia a 2 Mpc está se distanciando com uma velocidade de 150 km/s e assim por diante. Uma galáxia localizada a 100 milhões de parsecs da Terra deve estar se distanciando com uma velocidade de 7500 km/s. A incerteza no valor de H_0 introduz uma grande incerteza nas distâncias e movimentos de galáxias distantes.

Para medir a constante de Hubble os astrônomos tem que obter as distâncias para muitas galáxias. As distâncias podem ser obtidas por meio, por exemplo, das Cefeidas. Outros métodos incluem: a função de luminosidade de aglomerados globulares, a função de luminosidade de nebulosas planetárias, o brilho de supernovas, o brilho de supergigantes vermelhas e azuis, etc. Em geral os métodos consistem em determinar a magnitude aparente destes objetos na galáxia e comparar com os valores de magnitude absoluta.

Outro método de determinação de distância muito usado para galáxias espirais foi desenvolvido nos anos 70 por dois astrônomos Tully e Fisher. Eles descobriram que a largura da linha de 21 cm do hidrogênio está relacionada com a magnitude absoluta das galáxias. Esta correlação foi chamada desde então de relação Tully-Fisher. Uma vez que a largura da linha de 21 cm pode ser medida com exatidão, distâncias de galáxias espirais próximas podem ser facilmente determinadas com esta técnica.

FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DE GALÁXIAS

Como se formaram as galáxias? Infelizmente a teoria de formação de galáxias ainda não está muito desenvolvida. Há muitas incógnitas nos possíveis cenários de formação de galáxias. Nós não entendemos a formação de galáxias tão bem quanto entendemos a formação de estrelas. Nós nem mesmo sabemos, ao certo, porque existem galáxias elípticas e espirais, por exemplo.

Há bons motivos para a nossa falta de conhecimento sobre a formação de galáxias. Galáxias são muito mais complexas que estrelas, são muito mais difíceis de se observar e as observações são mais difíceis de se interpretar.

Nós não temos observações, por exemplo, das condições do Universo antes da formação de galáxias (diferente da situação para estrelas). Outra diferença é que as estrelas quase nunca colidem e portanto estrelas ou binárias evoluem quase em isolamento enquanto galáxias podem colidir e mesmo fundir com outras galáxias. É, portanto, difícil decifrar o começo da vida de uma galáxia.

As “sementes” das galáxias formaram-se no começo do Universo, quando pequenas flutuações de densidade de matéria primordial começaram a crescer. Vamos iniciar nossa discussão aceitando que pequenos fragmentos pré-galácticos foram formados. A massa destes fragmentos era muito pequena, talvez apenas alguns milhões de massas solares, comparáveis às massas das menores galáxias anãs no Universo atual. Onde nasceram então as galáxias gigantes observadas no Universo próximo? Talvez estas tenham se formado por repetidas fusões de objetos menores. Este processo é muito diferente do processo de formação estelar onde a formação se dá através da fragmentação de grandes nuvens em pequenas partes que mais tarde se tornam estrelas.

Uma evidência teórica para este cenário de formação de galáxias (através de fusões) é dada por simulações feitas no computador. Simulações das condições do começo do Universo mostram que fusão de objetos ocorre freqüentemente. Outra evidência de que este cenário pode estar certo é a observação feita recentemente de que galáxias a grandes distâncias (observadas em uma época quando o Universo ainda era jovem) parecem ser menores (fisicamente) e tem formas mais irregulares do que as galáxias encontradas em nossa proximidade.

Se as galáxias se formaram por repetidas fusões de galáxias menores, como podemos explicar a existência de galáxias de tipos morfológicos diferentes, por exemplo, galáxias elípticas e espirais? Nós ainda não temos uma resposta definitiva para esta pergunta. Acredita-se que fatores importantes sejam quando e onde as estrelas apareceram pela primeira vez, se nos fragmentos iniciais, durante a fusão ou mais tarde, e também quanto gás foi usado ou ejetado da galáxia jovem durante o processo é um dado importante. Se muitas estrelas se formaram logo no início e sobrou pouco gás, provavelmente uma galáxia elíptica foi formada, com muitas estrelas velhas em órbitas randômicas e sem gás para formar o disco central. Do contrário, se existia muito gás e este se concentrou no centro da galáxia e formou um disco em rotação, uma galáxia espiral foi formada. Porém não sabemos o que determina o tempo, o lugar e a taxa de formação estelar.

Nós sabemos que as galáxias espirais são relativamente raras em regiões de densidade alta de galáxias, como no centro de aglomerados ricos. Será que isto é simplesmente porque estas não se formaram nestes meio-ambientes ou será que estas foram destruídas devido às

colisões? Simulações por computador mostram que colisões entre galáxias espirais podem destruir os discos espirais e ejetar a maior parte do gás no meio intergaláctico (criando o gás quente na região intra-aglomerado), transformando a galáxia em uma elíptica. A observação das regiões centrais de galáxias em fusão mostra que esta hipótese pode ser correta. Outra evidência de que galáxias espirais em fusão podem formar elípticas (principalmente em aglomerados) é a observação de que aglomerados a “redshifts” altos tem uma quantidade de espirais muito maior que os aglomerados próximos (onde o Universo teve tempo de gerar mais fusões e conseqüentemente transformar mais espirais em elípticas).

Mas nada está decidido neste campo da Astronomia ainda. Por exemplo, temos vários casos de galáxias elípticas que são completamente isoladas, para as quais a hipótese de formação por fusão pode ser mais difícil de se explicar. Aparentemente algumas, mas não todas as galáxias elípticas, foram formadas pela fusão de galáxias espirais.

ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA

Usando a Lei de Hubble podemos estudar a distribuição espacial de galáxias no Universo. Uma amostra grande de galáxias foi estudada nos últimos anos com o objetivo de mapear o Universo “cartograficamente”. Um grande número de “redshifts” e medidas de distância de galáxias dentro de um raio de 200 Mpc da nossa Galáxia foram feitas por um grupo de astrônomos da Universidade de Harvard. A primeira “área” que eles estudaram foi a que continha o aglomerado de Coma, no hemisfério norte. Os primeiros resultados deste estudo já deixaram claro que a distribuição de galáxias em grandes escalas não é randômica. As galáxias estão distribuídas em planos e filamentos que circundam grandes vazios. Alguns “vazios” chegam a medir 100 Mpc. A explicação mais plausível para a existência destes filamentos e vazios é que o Universo seja formado de várias “bolhas” na superfícies das quais estão distribuídas as galáxias.

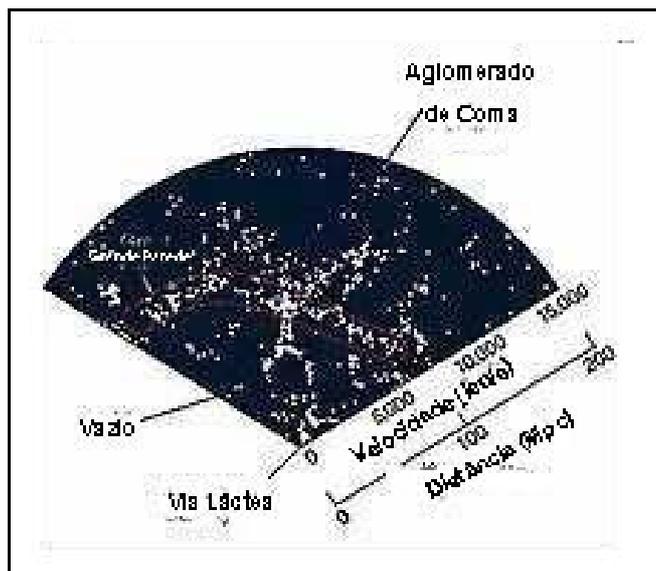


Figura 6 – A estrutura do Universo em grande escala.

Os aglomerados mais densos e os superaglomerados seriam formados nas superfícies de contato de duas ou mais "bolhas".

A hipótese de que os filamentos de galáxias são simples interseções do campo observado com estruturas muito maiores (as superfícies das bolhas) foi confirmada quando outras três áreas próximas a primeira foram estudadas. Descobriu-se que as estruturas vistas no primeiro campo continuavam nos demais, mostrando uma profundidade de pelo menos 36 graus no céu. Uma das estruturas em grande escala mais bem conhecidas atualmente foi então descoberta: uma "muralha" de galáxias formada de vários aglomerados de galáxias que se estendia pelos quatro primeiros campos estudados. Esta estrutura foi chamada de "A Grande Muralha". Ela tem 70 Mpc por 200 Mpc. Esta é uma das maiores estruturas de galáxias já encontradas.

Existem outras estruturas maiores? Não sabemos. A formação de estruturas em grandes escalas está diretamente ligada às condições encontradas nos primeiros estágios de formação do Universo. Por isso este estudo é tão importante.