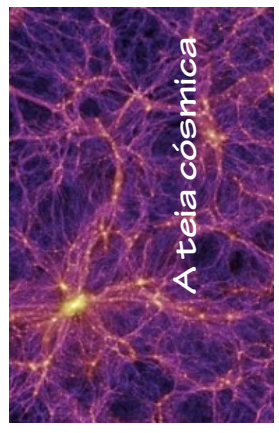
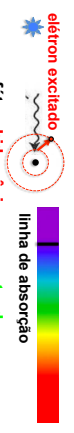


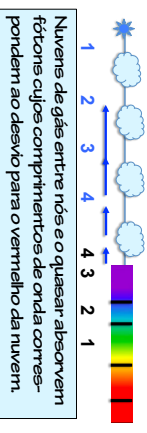
Françoise Combes
Observatório de Paris



O Universo no meu bolso

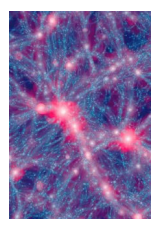


Fótons emitidos por um quasar podem ter energia suficiente para excitar um átomo de hidrogénio. Eles são absorvidos e criam uma linha de absorção no espectro do quasar.



Esquerda: distribuição espacial dos filamentos no aglomerado SGA2. Em azul e magenta: gás. Em vermelho e laranja: as galáxias. Os filamentos têm vários milhões de anos-luz de tamanho. De Umemata et al. (2019)

Respostas no verso



- Qual dessas imagens mostra:
- Galáxias alinhadas?
 - Filamentos cósmicos?
 - Uma teia de aranha?

Desafio



O gás nos filamentos

Até muito recentemente, os filamentos cósmicos eram detectados apenas pelas galáxias que eles contêm. No entanto, eles também possuem matéria escura invisível e gás difuso. Os átomos de hidrogénio neste gás absorvem a luz de quasares distantes. Pode-se, assim, mapear a distribuição dos filamentos (ver p. 8).

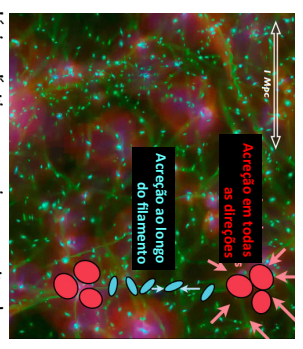
O gás nos filamentos também pode ser detectado por sua emissão, quando excitado por estrelas quentes ou quasares. Os halos de gás foram detectados em torno de 270 galáxias em desvio para o vermelho entre 3 e 6. Essa descoberta foi feita por um grupo de astrónomos europeus, graças à extrema sensibilidade do instrumento MUSE no Very Large Telescope (VLT) do ESO.

13

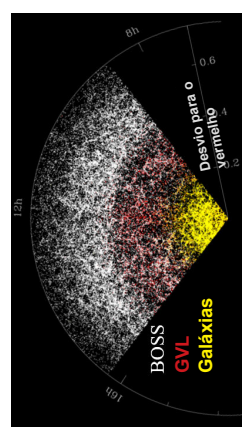
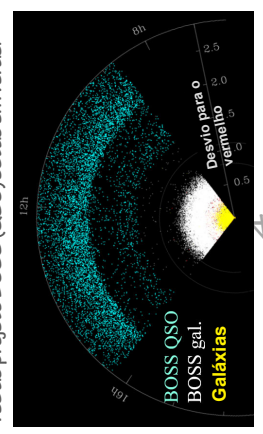
O gás acrecido às galáxias azuis vem das partes externas dos filamentos, e os eixos de rotação dessas galáxias tendem a ser orientados paralelamente ao filamento. O oposto é verdadeiro para as galáxias elípticas vermelhas, que geralmente são o resultado da fusão de duas galáxias espirais. A página 12 mostra essas tendências em simulações numéricas.

Diferentes tipos de galáxias tendem a ser encontrados em lugares diferentes. Em aglomerados nas interseções de filamentos, geralmente encontramos galáxias elípticas massivas. Essas galáxias contêm apenas estrelas antigas (por isso sua cor ser vermelha). Ao longo dos filamentos, normalmente encontramos galáxias espirais. Essas galáxias crescem gás frio e, então, formam estrelas; isso resulta em sua cor azul característica.

A orientação das galáxias



As galáxias espirais têm seus eixos de rotação alinhados com os filamentos. Galáxias elípticas, que resultam da fusão de galáxias espirais, têm seus eixos perpendiculares aos filamentos. Crédito: Sandrine Codis



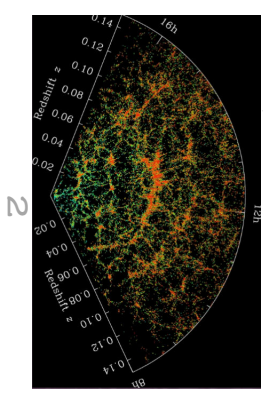
A amostra principal de galáxias do SDSS é mostrada em amarelo. Galáxias vermelhas luminosas (GVL) estão em vermelho, e as galáxias do projeto BOSS estão em branco. Os quasares do projeto BOSS (QSO) estão em verde.

Levantamentos profundos

A amostra principal de galáxias do SDSS tem um desvio para o vermelho médio de $z = 0,1$, o que corresponde a uma distância de 1,5 bilhões de anos-luz. A amostra de galáxias luminosas vermelhas vai até $z = 0,7$. O projeto BOSS vai ainda mais longe, até $z = 1$ (22 bilhões de anos-luz). Com os quasares, que são mais brilhantes que as galáxias, pode-se chegar a $z = 5$ (155 bilhões de anos-luz).

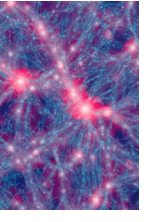
Como esperado, o Universo é menos estruturado em altos desvios para o vermelho, ou seja, quando era mais jovem*. Aglomerados de galáxias se formam em $z = 2$ (3,3 bilhões de anos após o Big Bang). A estrutura de filamentos e queijo suíço já estava presente naquela época, mas era menos pronunciada do que é hoje.

*Veja TUMIKP 12



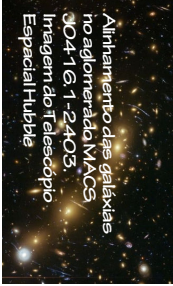
Fatada do Universo, mapeada pelo CfA2. Cada ponto é uma galáxia. É possível ver uma grande "murralha" de galáxias. Crédito: Richard Gott

Simulação da teia cósmica



Teia de aranha

Respostas



TUJMP Creative Commons



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos deste livrinho, visite <http://www.tujmp.org>



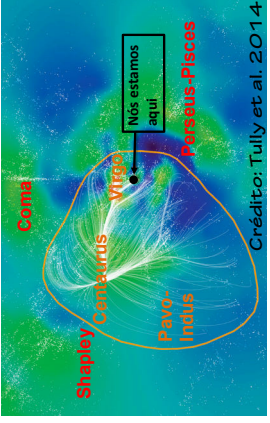
*Veja TUJMPs 2 e 12.3

6

O Universo próximo é estruturado

Em 1925, houve um grande debate, e concluiu-se que existem galáxias fora da Via Láctea. Levantamentos dessas galáxias foram logo feitos. Foi descoberto que o Universo "próximo" não é homogêneo, mas consiste em aglomerados mais ou menos achatados de galáxias e com uma estrutura semelhante à de um queijo suíço, contendo grandes vazios. Isso é chamado de teia cósmica.

O primeiro levantamento fornecendo as posições das galáxias e suas distâncias (medidas pelo desvio das linhas espectrais para o vermelho*) foi o CfA2, no final do século XX. Foram necessários dez anos para observar 18.000 galáxias. Os espectrógrafos do século XXI tornaram possível observar centenas de galáxias simultaneamente e catalogar milhões de galáxias. Tais levantamentos incluem o 2df, feito na Austrália, e o SDSS, dos EUA.

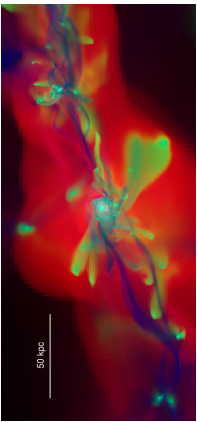


Uma representação do super-aglomerado local Laniakea, que significa "céu pequeno" em havaiano. Foi nomeado em homenagem aos navegadores da Polinésia que usaram seu conhecimento do céu para navegar no Oceano Pacífico.

Nossa galáxia está perto do grande ponto preto central. As galáxias são mostradas como pontos brancos. As linhas brancas indicam a direção do movimento das galáxias. As áreas azuis são vazios cósmicos. A linha laranja marca o super-aglomerado de Laniakea. Os aglomerados Coma e Perseus-Peixes não fazem parte de Laniakea.

Bárions nos filamentos

Ao contrário do que se pensa, a maior parte da matéria comum (bárions) não está nas galáxias. O Universo é composto por 5% de bárions, 25% de matéria escura e 70% de energia escura. A fração de bárions na componente da matéria é, portanto, $5 / (25 + 5) = 17\%$. Nas galáxias, foi medido que a fração de bárions não excede 3%. Mais de 80% dos bárions estão, portanto, fora das galáxias. Acredita-se que esses bárions foram ejetados por supernovas em galáxias de baixa massa e por núcleos ativos* em galáxias mais massivas. Essa ejeção de matéria enriquece o meio intergaláctico com elementos pesados produzidos por estrelas, como carbono, oxigênio e ferro.



Resultado de uma simulação numérica* feita por Agertz et al. (2009) mostrando a acreção de gás frio nas galáxias ao longo de filamentos cósmicos e a ejeção de gás enriquecido em elementos pesados produzidos em estrelas. Em azul, gás frio. Em vermelho, um halo de gás aquecido a uma temperatura muito alta. Em verde, o gás enriquecido ejetado pelas galáxias.

* Uma simulação numérica são cálculos realizados em um computador e que busca representar um sistema real, levando em consideração as leis da física. Por exemplo, pode-se simular o fluxo de um rio, a formação de uma galáxia, etc. Os cálculos de simulações podem levar meses para serem feitos, mesmo nos computadores mais rápidos.

O super-aglomerado Laniakea

Nossa galáxia está à beira de um super-aglomerado de galáxias, descoberto em 2014 e chamado Laniakea. É uma estrutura que está lentamente se separando. Mede 500 milhões de anos-luz de diâmetro e contém mais de cem mil galáxias. Para detectar Laniakea, foi necessário medir as distâncias das galáxias por métodos que não usam velocidades radiais ou pela lei Hubble-Lemaître*. De fato, as velocidades radiais das galáxias, além da componente de expansão cósmica, são afetadas por perturbações devido à atração gravitacional que elas exercem mutuamente. Isso possibilita saber se uma galáxia tem um vínculo dinâmico com outras e, portanto, se pertence ao mesmo grupo.

*Veja TUJMP 12

*Veja TUJMP 6

9

10