

Cosmologia

Julieta Fierro, Beatriz García, Susana Deustua

União Astronômica Internacional, Universidade Nacional Autónoma do México (México DF, México), Universidade Tecnológica Nacional (Mendoza, Argentina), Instituto de Ciências de Telescópios Espaciais (Baltimore, Estados Unidos da América)

Resumo

Compreender a evolução do Universo é um tema fascinante, mesmo que cada objeto celeste possua98 encantos particulares. Pensar que apesar de estarmos ancorados à Terra temos a possibilidade de saber tanto acerca do Universo é animador.

A astronomia do século XIX estava focada na catalogação das propriedades individuais de cada objeto celeste: planetas, estrelas, nebulosas e galáxias. No final do século XX o foco alterou-se para as propriedades das categorias de objetos: aglomerados de estrelas, formação de galáxias e a estrutura do Universo. Sabemos agora a idade e a história do Universo e que a sua expansão é acelerada, mas desconhecemos a natureza da matéria escura. Novas descobertas continuam por ser feitas.

A seguir descreveremos algumas propriedades das galáxias, integrantes das grandes estruturas do Universo. Abordaremos, depois, o modelo padrão do *Big Bang* e as evidências que suportam esse modelo.

Objetivos

- Compreender a evolução do Universo, desde o *Big Bang* até aos nossos dias.
- Conhecer como é que a matéria e a energia estão organizadas no Universo.
- Analisar de que maneira os astrónomos podem conhecer a história do Universo.

As Galáxias

As galáxias são compostas por estrelas, gás, poeira e matéria escura e podem ser muito grandes, com mais de 300 000 a.l. de diâmetro. A galáxia a qual pertence o Sol possui cem mil milhões (100 000 000 000) de estrelas. No Universo existem milhares de milhões destas galáxias.

A nossa galáxia possui uma forma espiral, semelhante à de Andrómeda (fig. 1a). O Sol precisa de 200 milhões de anos para dar uma volta em redor do seu centro, viajando a uma velocidade de 250 quilómetros por segundo. Como o Sistema Solar está submerso no disco da galáxia não podemos observá-la na sua totalidade – é como pretender ver um bosque de longe estando dentro dele. A nossa galáxia tem o nome de Via Láctea. À vista desarmada podemos observar muitas estrelas individuais e uma cintura composta por um enorme número de estrelas e nuvens interestelares de gás e poeira. A estrutura da nossa galáxia foi descoberta através de observações com telescópios, nas zonas do visível e do rádio, e pela observação de outras galáxias. São

usadas ondas de rádio para analisar a nossa galáxia porque estas conseguem atravessar nuvens que são opacas à luz visível, de modo semelhante ao facto de podermos receber uma chamada telefónica num telemóvel quando estamos dentro de um edifício.



Fig. 1a: Galáxia de Andrómeda. Galáxia espiral muito similar à Via Láctea. O Sol encontra-se na borda exterior de um dos braços da nossa galáxia. (Foto: Bill Schering, Vanessa Harvey / REUprogram / NOAO / AURA / NSF).



Fig.1b: Grande Nuvem de Magalhães. Galáxia irregular satélite da Via Láctea, pode ser observada a olho nu a partir do hemisfério sul. (Foto: ESA e Eckhard Slawik).

Podemos classificar as galáxias em três tipos. As irregulares são as menores e abundantes, e costumam ser ricas em gás, isto é, possuem grande capacidade de formar novas estrelas. Muitas delas são satélites de outras. A Via Láctea possui 30 galáxias satélites, tendo sido as Nuvens de Magalhães, que são vistas a olho nu a partir do hemisfério sul, as primeiras a ser descobertas.

As galáxias espirais, como a nossa, possuem em geral dois braços, mais ou menos enroscados, em espiral que emanam da parte central chamada bolbo. Nos núcleos das galáxias como a nossa costuma existir um buraco negro com milhões de vezes a massa do Sol. O nascimento das novas estrelas acontece principalmente nos braços, onde há maior densidade de matéria interestelar cuja contração origina as novas estrelas.

Quando os buracos negros nos núcleos das galáxias atraem nuvens de gás ou estrelas, a matéria aquece e, antes de cair ao buraco negro, parte dela emerge em forma de jatos de gás incandescente que avançam pelo espaço e aquecem o meio intergaláctico. Este fenómeno é conhecido como núcleo ativo e uma grande parte das galáxias espirais possuem estes núcleos.

As maiores de todas as galáxias são elípticas (embora também existam as elípticas pequenas). Acredita-se que estas, assim como as espirais gigantes, são formadas à custa da junção de galáxias menores. Uma evidência deste fenómeno é a diversidade de idades e composição química dos diversos grupos estelares que as constituem uma galáxia formada desta forma.

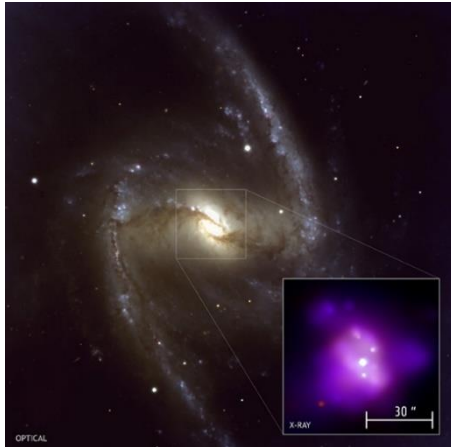


Fig. 2a: Imagem óptica da Galáxia NGC 1365 tirada com o VLT de ESO e a imagem de Chandra de raios X do material próximo do buraco negro central. (Foto: NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI / AURA) - ESA/Hubble Collaboration, e A. Evans).



Fig. 2b: Arp 194 – Um sistema de duas galáxias em interação num processo espetacular. Os núcleos unem-se e uma cauda azul é libertada (crédito: NASE, ESA e a Hubble Heritage Team (STScI)).

As galáxias formam enxames de galáxias, com milhares de componentes. As elípticas gigantes costumam estar nas regiões centrais e algumas possuem dois núcleos em resultado recente da fusão de duas galáxias.



Fig. 3: Enxame de galáxias Abell2218. Podem-se distinguir arcos devido ao efeito de lentes gravitacionais. (Foto: NASA, ESA, Richard Ellis (Caltech) e Jean-Paul Kneib (Observatoire Midi-Pyrenees, França).

Os enxames e superenxames de galáxias estão distribuídos no Universo formando estruturas filamentosas que rodeiam vazios imensos, carentes de galáxias. É como se o Universo, em larga escala, fosse um banho de espuma onde as galáxias estivessem na superfície das bolhas.

Cosmologia

A seguir descreveremos algumas propriedades do Universo em que vivemos. O Universo é formado por matéria, energia e espaço, evoluindo com o tempo. As suas dimensões temporal e espacial são bem maiores do que as utilizadas no nosso dia-a-dia.

A cosmologia tenta oferecer-nos respostas a perguntas fundamentais sobre o Universo: De onde viemos? Qual é o futuro do Universo? Onde estamos? Qual a idade do Universo?

Vale a pena mencionar que a ciência evolui. Quanto mais conhecemos mais temos consciência do muito que ignoramos. Assim como um mapa é útil, ainda que só seja uma representação de um lugar; a ciência permite-nos ter uma representação da natureza, conhecer alguns de seus aspectos e prever acontecimentos, tudo baseado em hipóteses razoáveis que devem necessariamente confrontar-se com medidas e dados.

As dimensões do Universo

As distâncias entre estrelas são imensas. A Terra está a 150 000 000 km do Sol; Plutão está 40 vezes mais longe. A estrela mais próxima está 280 000 vezes mais distante, e a galáxia mais perto está a 10 000 000 000 vezes mais. A estrutura em filamentos de galáxias é 1 000 000 000 000 de vezes maior que a distância da Terra ao Sol.

A idade do Universo

O Universo tem 13,7 mil milhões (13 700 000 000) de anos de idade. O Sistema Solar formou-se bem mais tarde: 4,6 mil milhões de anos. A vida na Terra surgiu há 3,8 mil milhões de anos e os dinossauros extinguiram-se há 65 milhões de anos. O homem moderno surgiu há somente 150 000 anos.

Sabemos que o Universo teve uma origem no tempo porque observamos que se encontra em expansão acelerada. Isto é, todos os enxames de galáxias estão a afastar-se uns dos outros e quanto mais distantes estão mais rapidamente o fazem. Se medirmos a velocidade de expansão podemos estimar quando é que todo o espaço esteve compactado. Deste cálculo resulta uma idade de 13,7 mil milhões de anos. Esta idade não contradiz a evolução estelar, já que não são observadas estrelas e galáxias mais velhas que 13,5 mil milhões de anos. O evento do qual surgiu a expansão do Universo é conhecido como *Big Bang*.

Medição da velocidade

É possível medir a velocidade de uma estrela ou de uma galáxia através do efeito Doppler. No quotidiano verificar o efeito Doppler quando notamos a mudança de tom de uma sirene de uma ambulância, ou de um carro da polícia, à medida que este se aproxima e, depois, se afasta. Se alguém colocar um despertador a tocar dentro de uma bolsa e girar a bolsa acima da sua cabeça,

poderemos detetar que o tom do som muda quando o despertador se aproxima ou se afasta de nós. Poderíamos calcular a velocidade do despertador escutando a alteração de tom, que é maior quanto maior for a velocidade.

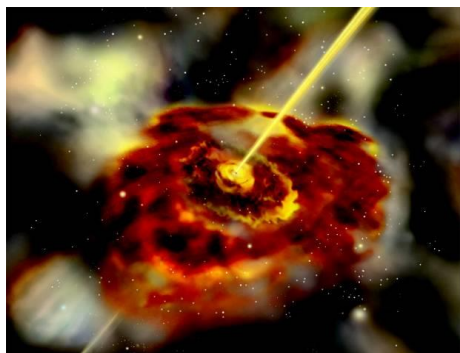


Fig. 4a: Ilustração de artista de um buraco negro no centro de uma galáxia. (Foto: NASA E/PO - Sonoma State University).



Fig. 4b: Galáxia M87, exemplo de galáxia real com um jato que a acompanha. (Foto: NASA e Hubble Heritage Team).

A luz emitida pelos astros também sofre uma mudança de frequência, ou cor, que pode ser medida dependendo da velocidade com que se aproximam ou se afastam. O comprimento de onda da luz fica maior (desvio para o vermelho) caso a fonte de luz se afaste de nós, e menor (desvio para o azul) caso se aproxime.

Quando o Universo estava mais compactado, as ondas sonoras que o atravessaram produziram regiões de maior e menor densidade. Os superenxame de galáxias formaram-se nas regiões de maior densidade. À medida que o Universo se expandiu, o espaço entre as regiões de maior densidade aumentou de tamanho e volume. As estruturas filamentosas do Universo são o resultado da expansão do Universo.

Ondas sonoras

O som desloca-se através de um meio, como o ar, a água ou a madeira. Quando produzimos um som, este gera uma onda que comprime a matéria em seu redor. Esta compressão viaja através da matéria até chegar a nosso ouvido onde comprime o tímpano, conduzindo o som até às nossas células nervosas sensíveis. Não escutamos as explosões do Sol, nem as tempestades de Júpiter, porque o espaço entre os astros está quase vazio e por isso não há meio de propagação das compressões do som.

Convém mencionar que não existe nenhum centro da expansão do Universo. Fazendo uma analogia bidimensional, imaginemos que estávamos em Paris, na sede da UNESCO, e que a Terra estava em expansão. Observaríamos que todas as cidades se afastariam umas das outras, mas não teríamos elementos para dizer que estávamos no centro da expansão, pois todos os habitantes das outras cidades observariam a mesma expansão.



Fig. 5: Até a data foram localizadas mais de 300 nuvens escuras e densas de pó e gás onde estão a ocorrer processos de formação estelar. Superenxame Abell 90/902. (Foto: Hubble Space Telescope, NASA, ESA, C. Heymans (University of British Columbia) e M. Gray (University of Nottingham).

Ainda que, do nosso ponto de vista, 300 mil quilômetros por segundo seja uma velocidade extremamente rápida, não é infinitamente rápida. A luz das estrelas demora centenas de anos para chegar à Terra e a das galáxias milhões de anos. Toda a informação do cosmos demora tanto tempo para chegar que sempre observamos os astros vemos como foram no passado e não como são agora.

Existem corpos tão distantes que a sua luz ainda não teve tempo de chegar até nós e por isso não os podemos ver. Não é que não estejam lá, simplesmente nasceram após a radiação dessa região do céu ter tempo de nos alcançar.

A velocidade finita da luz apresenta várias consequências para a astronomia. As distorções do espaço afetam as trajetórias da luz, de modo que se virmos uma galáxia num determinado lugar, ela poderá não estar lá, porque a curvatura do espaço modifica a sua posição. Além disso, ao observar uma estrela, ela já não está onde a vemos porque as estrelas estão em movimento. Também não são como as observamos. Vemos sempre os objetos celestes como foram, e quanto mais distantes estiverem mais no passado as observamos. Assim, analisando objetos semelhantes a diferentes distâncias equivale a ver um mesmo astro em tempos diferentes da sua evolução. Por outras palavras, podemos observar a história das estrelas se analisarmos aquelas que julgamos semelhantes, mas a distâncias distintas.

Não podemos ver o limite do Universo porque a sua luz ainda não teve tempo de chegar até à Terra. O Universo é infinito e por isso só vemos uma seção, 13,7 mil milhões de anos-luz de raio, ou seja, de onde a luz teve tempo para viajar desde o *Big Bang*. Uma fonte de luz emite luz em todas as direções de modo que diferentes lugares do Universo são observados em diferentes tempos. Nós vemos os astros como eles eram no tempo em que emitiram a luz que

agora observamos, porque a luz demora um tempo finito a chegar até nós. Isto não significa que estejamos numa posição privilegiada do universo, qualquer observador noutra galáxia observaria algo equivalente ao que nós detetamos.

Como em qualquer ciência, na astronomia e na astrofísica, quanto mais sabemos acerca do nosso Universo, mais questões colocamos. Discutiremos agora a matéria e a energia escura para ter uma ideia do muito que desconhecemos.

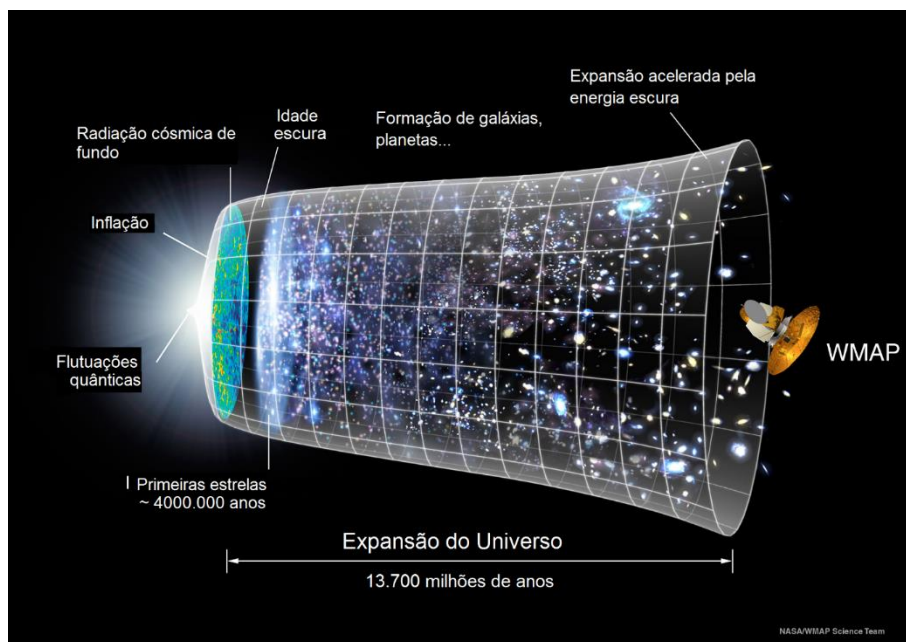


Fig. 6: Expansão do Universo. (Foto: NASA).

A matéria escura não interage com a radiação eletromagnética, por isso não absorve nem emite luz. A matéria comum, tal como a que existe numa estrela, pode produzir ou absorver luz, assim como uma nuvem de pó interestelar. A matéria escura é insensível a qualquer tipo de radiação, tem massa, pelo que tem atração gravitacional. Descobriu-se porque afeta o movimento da matéria visível. Por exemplo, se uma galáxia possui um movimento de translação em torno de um espaço aparentemente vazio, temos a certeza de que algo a está a atrair. Assim como o Sistema Solar se mantém unido porque o Sol, devido a sua força gravitacional, obriga os planetas a permanecer em órbita, a galáxia em questão tem um movimento de rotação porque algo a atrai. Sabemos agora que a matéria escura está presente nas galáxias, individualmente, e nos enxames de galáxias, e que aparenta ser o alicerce da estrutura filamentosa do Universo. A matéria escura é a matéria mais comum do Universo.

Também sabemos que a expansão do Universo está a acelerar. Isto quer dizer que há uma força que contraria o efeito da gravidade. A energia escura é o nome dado pelos astrónomos a este fenómeno recentemente descoberto. Na ausência da energia escura, a expansão do Universo deveria desacelerar.

O nosso conhecimento atual acerca da matéria-energia contida no Universo é que 74% é energia escura, 22% é matéria escura e apenas 4% é a normal, luminosa, matéria (todas as galáxias,

estrelas, planetas, gás, poeira). Basicamente, a natureza e as propriedades de 96% do Universo ainda estão por descobrir.

O futuro do nosso Universo depende da quantidade de matéria visível, matéria escura e energia escura. Antes da descoberta da matéria escura e da energia escura, pensava-se que a expansão acabaria, e que a gravidade reverteria a expansão resultando num *Big Crunch*, onde tudo retornaria a um ponto único. Mas desde que a matéria escura foi descoberta a teoria foi modificada. Agora, a expansão atingirá um valor constante num tempo futuro infinito. Mas agora que conhecemos a existência da energia escura, é esperada uma aceleração da expansão assim como do volume do Universo. O fim do Universo será bastante frio e escuro, num tempo infinito.

Bibliografia

- Greene, B., *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality* (2006)/*El tejido del cosmos* (2010).
- Fierro, J., *La Astronomía de México*, Lectorum, México, 2001.
- Fierro, J, Montoya, L., *La esfera celeste en una pecera*, El Correo del Maestro, México, 2000.
- Fierro J, Domínguez, H, *Albert Einstein: un científico de nuestro tiempo*, Lectorum, México, 2005.
- Fierro J, Domínguez, H, *La luz de las estrellas*, Lectorum, El Correo del Maestro, México, 2006.
- Fierro J, Sánchez Valenzuela, A, *Cartas Astrales, Un romance científico del tercer tipo*, Alfaguara, 2006.
- Thuan, Trinh Xuan, *El destino del universo: Despues del big bang* (Biblioteca ilustrada) (2012) / *The Changing Universe: Big Bang and After* (New Horizons) (1993).
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. Weinberg, Steven y Nestor Miguez, *Los tres primeros minutos del universo* (2009).

Fontes da Internet

- The Universe Adventure, <http://www.universeadventure.org/> ou <http://www.cpepweb.org>
- Ned Wright's Cosmology Tutorial (em Inglês, Francês e Italiano) <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>