

Galáxias dist

No início do século passado, graças à melhoria dos métodos de determinação de distâncias dos objetos celestes e do desenvolvimento das técnicas observacionais, abriu-se um novo campo na astronomia que, hoje, domina a preocupação dos profissionais da área: a astronomia extragaláctica, através da qual é possível mergulhar no passado do universo, conhecendo-o ainda em sua fase 'adolescente'.

Sueli M. M. Viegas

*Instituto Astronômico e Geofísico,
Universidade de São Paulo*

Imagem obtida pelo
telescópio espacial Hubble
da galáxia M51



5 antes

Em busca de um tempo perdido

O estudo sistemático de galáxias iniciou-se com a identificação, pelo astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), de algumas 'nebulosas' que apresentavam sistemas estelares semelhantes aos observados na Via Láctea, da qual faz parte o Sol.

De suas observações, Hubble concluiu acertadamente que essas formações eram, na verdade, outras galáxias, pois estavam situadas além dos 98 mil anos-luz, tamanho característico da Via Láctea – um ano-luz equivale a cerca de 9,5 trilhões de quilômetros, ou seja, é a distância percorrida em um ano pela luz, cuja velocidade no vácuo é de aproximadamente 300 mil km por segundo.

O valor científico dessa descoberta é, sem dúvida, indiscutível. No entanto, sua abrangência extrapolou o terreno da ciência, invadindo o campo da filosofia, pois reforçou a descoberta do astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) – demonstrada pelas observações do físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) – de que o Sol e, portanto, a Terra não ocupam uma posição privilegiada no universo.

A partir daí, o progresso nessa área tornou-se a base para o desenvolvimento da cosmologia, ou seja, da teoria que permite descrever e entender o universo como um todo, de sua formação à sua ▶

Do som das sirenes à luz das estrelas

Antes de se definir o que é o desvio para o vermelho (ou, em inglês, *redshift*), vale aqui fazer uma analogia com um fenômeno do dia-a-dia que guarda com ele certa semelhança. O chamado efeito Doppler pode ser percebido quando, por exemplo, uma ambulância com a sirene ligada se aproxima ou se afasta de nós. No primeiro caso, podemos notar que o som se torna mais agudo – na verdade, a frequência (número de oscilações que essa onda faz a cada segundo) aumenta. Por outro lado, à medida que o ambulância se afasta, o som vai se tornando mais grave, ou seja, a frequência diminui. Essas alterações são causadas pelo movimento da fonte – no caso, a ambulância.

O efeito Doppler, nome dado em homenagem ao físico austríaco Christian Johann Doppler (1803-1853), também pode ser observado em ondas eletromagnéticas, como a luz. O desvio para o vermelho da luz emitida por uma estrela ou por uma galáxia é devido ao efeito Doppler. Quando a estrela ou a galáxia estão se afastando de um referencial (no caso, a Terra), a frequência de sua luz tende a ficar menor – assim, diz-se que ela tende para o vermelho, que é a cor de menor frequência na faixa visível do espectro eletromagnético. Se a estrela está se aproximando, a frequência de sua luz aumenta – diz-se, então, que há um desvio para o azul (em inglês, *blueshift*).

Em termos mais técnicos, a frequência da onda emitida (f_e) chega ao observador com frequência f_o , que pode ser obtida pela fórmula: $f_o = f_e / (1 + z)$, sendo que o termo z representa o *redshift*.

O *redshift* das galáxias também é devido ao efeito Doppler. Porém, nesse caso, a velocidade de afastamento das galáxias é resultado da expansão do universo, sendo tanto maior quanto maior a distância da galáxia.

evolução, de modo compatível com os fenômenos observados experimentalmente. A cosmologia permitiu responder à questão fundamental de como o universo foi formado e como será seu futuro.

Balão e panetone

Até a década de 1960, as observações de galáxias restringiram-se àquelas que, para a astronomia, estão localizadas a distâncias relativamente próximas: algumas dezenas de milhões de anos-luz. Porém, foi possível estabelecer as propriedades gerais desses objetos, bem como um dos fenômenos mais fundamentais para a cosmologia: a expansão do universo, demonstrada pela primeira vez por Hubble no final da década de 1920.

Essa expansão se traduz no efeito chamado desvio para o vermelho da radiação emitida pelas galáxias (ver ‘Do som das sirenes à luz das estrelas’).

O *redshift* – termo em inglês pelo qual esse efeito é mais conhecido – é caracterizado pelo parâmetro z , que é tanto maior quanto maior a distância da galáxia.

Essa relação entre a distância e o deslocamento para o vermelho da radiação é conhecida como lei de Hubble, em homenagem ao seu descobridor. Essa lei implica a expansão do universo, ou seja, todas as galáxias estão se afastando umas das outras.

Uma boa analogia para visualizar o que está acontecendo com o universo é imaginar que as galáxias são pontos pintados na superfície de um balão de borracha. À medida que o balão é inflado, os pontos se afastam um dos outros. Outra analogia pode ser feita com um panetone, com pedacinhos de frutas cristalizadas em seu interior, crescendo ao ser assado no forno. À medida que o panetone (universo) cresce, os pedacinhos de frutas (galáxias) se afastam uns dos outros.

Sociais e isoladas

Até recentemente, as galáxias mais distantes observadas pelos astrônomos estavam relativamente próximas, com $z \leq 0,01$, correspondendo a distâncias de cerca de 90 milhões de anos-luz. Como termo de comparação, vale dizer que as chamadas Nuvens de Magalhães, galáxias-satélites da Via Láctea e visíveis a olho nu no hemisfério Sul, estão a cerca de 200 mil anos-luz, enquanto Andrômeda, a galáxia gêmea à nossa, dista 2 milhões de anos-luz.

A exploração de nossa vizinhança, através da observação e do estudo das galáxias próximas, permitiu aperfeiçoar a classificação das galáxias a partir de sua forma (elíptica, espiral, irregular), relacionando-a com outras propriedades gerais das galáxias, como cor, tipos dominantes de estrelas, massa, quantidade de energia emitida por unidade de tempo, por exemplo.

Foi possível também verificar que a distribuição das galáxias não é homogênea, pois há uma tendência das elípticas de se juntarem em regiões e formarem aglomerados. Já as espirais não são tão ‘sociais’, permanecendo isoladas.

Assinatura das galáxias

Ainda na década de 1960, as fronteiras do universo conhecido expandiram-se consideravelmente com a identificação de intensas fontes de emissão de ondas de rádio. Observou-se que esses objetos ópticos pontuais emitiam muita luz na faixa do ultravioleta, porém com intensidade variável. Além disso, apresentavam altos valores de *redshift*, ou

seja, estavam muito distantes da Via Láctea. Por essas características, receberam o nome *quasar*, um acrônimo, em inglês, para *quasi-estelar radio-souce* (radiofonte quasi-estelar).

O primeiro objeto desse tipo a ter seu *redshift* determinado foi o 3C 273, com $z = 0,158$, correspondendo a uma distância de 3 bilhões de anos-luz. De lá para cá, quasares cada vez mais distantes têm sido observados e hoje constituem uma classe maior, denominada QSOs, acrônimo para *quasi-stellar object* (objeto quasi-estelar). Até 1992, o QSO mais distante tinha $z = 4,99$, mas recentemente foram descobertos três deles com z acima de cinco, o mais distante com $z = 5,84$, o que corresponde a uma distância de quase 15 bilhões de anos-luz e o coloca nos limites do universo observável.

Na sua trajetória até nós, a radiação dos QSOs atravessa material que absorve parte de sua energia, deixando assim ‘registros’ dessa interação na luz que chega até os detectores ou telescópios (ver ‘A impressão digital’ da radiação’). Esse material é gasoso, participa da expansão do universo e tem composição química semelhante à de galáxias próximas – isto é, é gás que foi enriquecido com elemen-

A ‘impressão digital’ da radiação

A radiação emitida por um objeto celeste, seja ele uma estrela, um quasar ou até mesmo um buraco negro, funciona como um tipo de ‘impressão digital’ da fonte emissora. A análise dessa luz revela detalhes sobre a massa e a composição química, entre outras, que são característicos do objeto emissor, ajudando a diferenciar mesmo objetos do mesmo tipo, como uma estrela de outra.

No caso dos quasares, a radiação emitida se estende de modo contínuo por uma larga faixa do espectro eletromagnético, que vai das ondas de rádio até os energéticos raios X. Entre esses dois extremos, há ainda a radiação óptica (ou luz visível), que, no caso dos quasares, é muito diferente daquela emitida pelas estrelas.

Sobrepostos ao longo desse espectro contínuo, a radiação dos quasares apresenta ‘picos’ intensos, que, no jargão da astrofísica, são denominados linhas de emissão. Contrastando com esse picos, há ‘vales’ de menor intensidade de energia – nesse caso, essas ‘depressões’ são chamadas linhas em absorção, que são um tipo de registro da matéria gasosa que a radiação do quasar atravessou em seu percurso (figuras 1A e 1B). É através da análise dessas linhas em absorção que os astrofísicos obtêm informações sobre as galáxias que se interpõem entre o quasar e os aparelhos de detecção.

Medindo a frequência de uma linha em emissão presente na radiação de um quasar, bem como identificando-se o elemento químico responsável por ela, é possível se obter o *redshift* de emissão (z_e) desse quasar. O mesmo pode ser feito com linhas em absorção para se chegar ao *redshift* de absorção (z_a).

O interessante desse método é que as linhas em emissão sempre fornecem o mesmo valor de z_e , o que funciona como um tipo de ‘assinatura’ do emissor. No entanto, isso não ocorre com as linhas de absorção, que se apresentam em conjuntos com diferentes valores de *redshift* – esses valores, que são sempre menores do que o do *redshift* de emissão, dependem do número de galáxias e de como elas foram atravessadas pela radiação em sua trajetória até os telescópios e detectores.

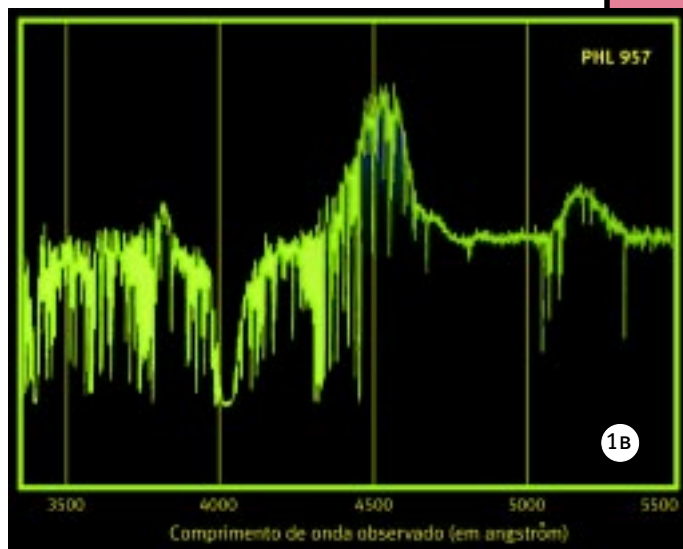
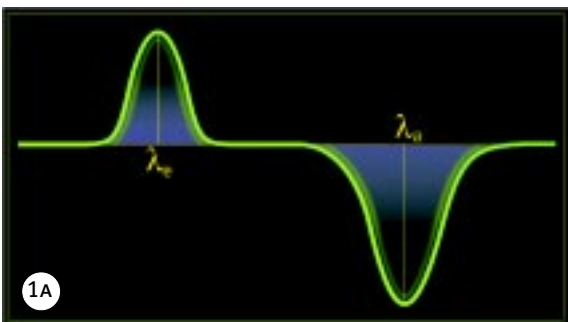


Figura 1A. Linha em emissão (λ_e) e linha em absorção (λ_a). A primeira ocorre quando o elétron de um átomo que forma a fonte emissora (um quasar, por exemplo) ‘salta’ para um nível de menor energia, emitindo uma partícula de luz (fóton). Na segunda, são os elétrons dos átomos que formam o material interposto entre o quasar e o observador que absorvem fótons da radiação emitida pela fonte

Figura 1B. Espectro do quasar PHL 957, observado em 1987. Nele, vêem-se inúmeras linhas em absorção, sendo que a mais acentuada está em 4.000 angströms — note-se que 1 angström corresponde a 10^{-8} cm e é usado aqui para indicar o comprimento de onda da radiação observada. Pelo menos duas linhas em emissão são vistas. A primeira delas, indicando a presença de hidrogênio no quasar, pode ser observada em 4.500 angströms. A segunda, mostrando que íons de silício também compõem o PHL 957, é observada em 5.200 angströms. O *redshift* de emissão do PHL 957 é 2,690, indicando que a radiação foi emitida quando o universo tinha apenas 1,5 bilhão de anos — ver figura 2 para a relação entre o *redshift* e a idade do universo

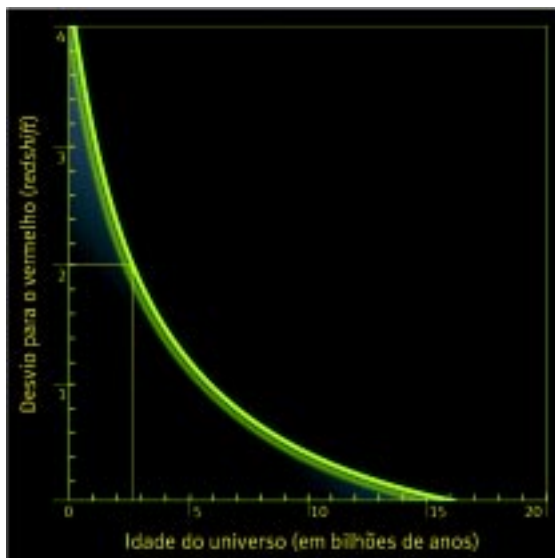
tos mais pesados que o hélio (dois prótons e dois nêutrons no núcleo) por efeito da evolução de estrelas, como acontece em nossa vizinhança. Portanto, é possível concluir que esse material pertence a galáxias que se encontram no percurso da radiação até a Terra.

Porém, há um detalhe importante: essas galáxias não podem ser vistas por serem muito menos brilhantes que os QSOs, bem como por estarem na mesma direção dessas fontes intensas de luz. Mas o efeito do material gasoso de que são compostas sobre a luz dos quasares pode ser detectada. Esse resultado foi mais um gigantesco passo na astronomia: a ‘assinatura’ de galáxias muito distantes, situadas na linha de visada de quasares, podia ser detectada na radiação dos quasares. Uma nova área da astronomia se abria.

Luz e matéria misturadas

A expansão do universo levou o físico russo George Gamow (1904-1968) a propor o chamado modelo *Big Bang*. A idéia era simples: se hoje todas as galáxias se afastam umas das outras, podemos então imaginar o inverso, isto é, um universo em contração, com as galáxias se aproximando. A situação equivale a uma viagem para trás no tempo, com toda a massa e a radiação do universo se fundindo e atingindo um estado em que matéria e luz estariam completamente ‘misturadas’, com densidades e temperaturas extremamente elevadas.

Uma das conseqüências desse modelo era a existência de uma radiação preenchendo os instantes iniciais do universo. Hoje, cerca de 15 bilhões de anos depois do *Big Bang*, essa radiação seria muito fria.



A confirmação observacional do *Big Bang* também ocorreu na década de 1960, quando foi detectada essa tênue radiação prevista por Gamow – no jargão da astronomia, ela é denominada radiação cósmica de microondas ou simplesmente radiação cósmica de fundo. Sua temperatura, medida recentemente com muita precisão pelo satélite Cobe, é extremamente baixa: 2,73 graus absolutos (270 graus celsius negativos).

Álbum de trás para frente

Observar galáxias cada vez mais distantes, ou seja, com *z* cada vez maior, corresponde a um mergulho no passado. De fato, como a velocidade da luz tem um valor máximo de 300 mil quilômetros por segundo, a detecção da luz de uma galáxia distante traz a informação sobre o passado dessa galáxia, revelando a história de uma época em que ela e, portanto, o universo eram muito mais jovens – na figura 2, é possível ver a relação entre o *redshift* e a idade do universo.

Para entender melhor o presente e o passado, é importante conhecermos mais a fundo a juventude do universo. Assim, temos de observar galáxias muito distantes, com *redshifts* cada vez maiores, o que corresponde a olhar o ‘álbum de fotografias’ do universo de trás para a frente, ou seja, começando com o universo de hoje e voltando àquele do tempos primordiais.

Ordinária ou exótica

Entretanto, estudar galáxias distantes não é das tarefas mais fáceis, pois, quanto maior a distância, mais fraca ela se apresenta. Até recentemente, a única maneira de se estudar essas galáxias era através da luz (radiação) emitida pelos quasares.

A análise da radiação emitida por um quasar pode revelar tanto propriedades do próprio quasar quanto do material que a radiação atravessa em sua trajetória até nós. É possível saber, por exemplo, a que distância do centro de uma galá-

Figura 2. Relação entre o valor do desvio para o vermelho (*redshift*) e a idade do universo. Conforme mostram as linhas tracejadas, observar uma galáxia ou quasar que tenham *redshift* igual a 2 significa que a luz que estamos detectando foi emitida quando o universo tinha cerca de 2,7 bilhões de anos, ou seja, estava na sua ‘adolescência’ – hoje, a melhor estimativa para a idade do universo é de 15 bilhões de anos

xia a luz do quasar está passando (ver ‘Do halo à própria galáxia’).

A busca de galáxias distantes tendo como alvo principal os quasares se intensificou na década de 1980. As primeiras observações focaram quasares com *redshift* entre 0,30 e 1,5 – veja a correspondente idade do universo na figura 2. A escolha de quasares a essa distância se justificava pelo poder de definição dos telescópios e detectores – esse era o alcance ideal para que se pudesse obter boa informação sobre as galáxias que se encontravam ao longo do caminho da luz dos quasares.

Através da análise da luz detectada, os astrônomos viram galáxias que não estavam exatamente na linha de visada do quasar, mas sim um pouco deslocadas em relação a essa trajetória. Os pesquisadores concluíram que a radiação estava na verdade sendo absorvida não pelo ‘interior’ das galáxias, mas sim pela ‘periferia’ delas, ou seja, por seu halo, região onde o material gasoso das galáxias é menos denso.

Uma das peculiaridades sobre a matéria que forma o halo das galáxias é que ela não pode ser vista, pois não emite luz visível. Isso fez com que sua natureza fosse identificada com a de um tipo de matéria ‘invisível’, não luminosa, que se suspeita seja responsável por cerca de 90% da massa do universo – por essa característica, ela ganhou o nome de matéria escura.

Atualmente, um dos grandes problemas da astronomia é determinar se a matéria do halo das galáxias é a matéria comum (também chamada bariônica), que forma os objetos do nosso dia-a-dia, ou se é algum tipo de matéria exótica, ainda desconhecida, mas prevista em algumas teorias da física de partículas elementares. Esse problema fornece mais um elo na relação entre a cosmologia e a física de partículas.

Poluição química

Uma das informações mais importantes que provêm desse tipo de análise da radiação diz respeito à composição química da galáxia e de seu halo – é possível até mesmo conhecer a quantidade de elementos químicos presentes nessas regiões. De observações da Via Láctea e de galáxias próximas, sabe-se que a quantidade de elementos mais pesados que o hélio – ou seja, carbono, nitrogênio, oxigênio, magnésio, silício, enxofre e ferro – é menor em galáxias mais distantes.

A ‘poluição’ das galáxias por elementos químicos – o que os astrônomos chamam enriquecimento da galáxia em elementos pesados – depende da quantidade de estrelas que são formadas e que

Do halo à própria galáxia

As linhas em absorção dos quasares podem ser divididas segundo a quantidade de hidrogênio que a radiação emitida atravessa ao longo de sua trajetória. Ao ‘roubar’ energia da radiação, os átomos desse elemento químico deixam ‘registros’ desse fenômeno na radiação detectada.

Os diferentes tipos de linha de absorção correspondem a trajetórias que passam a diferentes distâncias do centro da galáxia interposta entre o quasar e o observador (figura 3). As trajetórias nas quais a energia da radiação é pouco absorvida pelos átomos de hidrogênio indicam a passagem por partes mais externas do halo da galáxia. Já aquelas em que a radiação é mais absorvida pelo hidrogênio devem corresponder a um percurso por meio de uma região mais densa, ou seja, a do gás interestelar da própria galáxia.

Assim, analisar os diferentes tipos de linha de absorção fornece aos pesquisadores informações importantes tanto sobre o halo quanto sobre a própria galáxia.

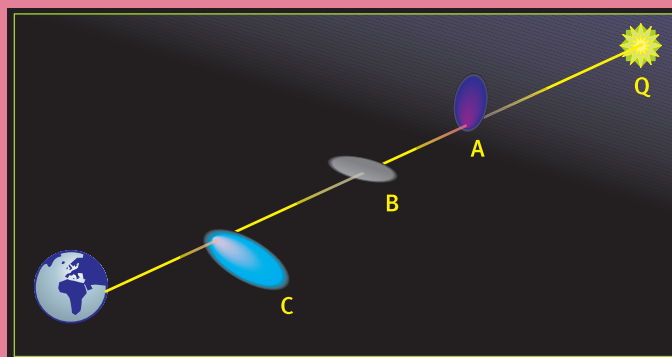


Figura 3. Ilustração da luz de um quasar (Q) passando através de galáxias interpostas (A, B e C) antes de atingir o observador. Essa interação entre a radiação emitida pelo quasar e a matéria gasosa que compõe as galáxias origina linhas em absorção do tipo das apresentadas na figura 1B. No caso esquematizado, o espectro do quasar deve apresentar três conjuntos de linhas em absorção, com seus respectivos *redshifts* (z_A , z_B e z_C)

evoluem nelas. Conhecendo-se a composição química atual das galáxias, através do estudo daquelas que estão próximas, e a composição química do passado, observando-se as mais distantes, pode-se determinar como as galáxias evoluem (ver ‘Idade mínima das galáxias distantes’).

Essa evolução pode ser simulada em computadores e fornecer, por exemplo, a quantidade e o tipo de luz emitida pela galáxia, bem como a taxa de explosões de estrelas supernovas. Essas explosões são importantes, pois podem tanto produzir ventos que levam gás enriquecido para o halo quanto provocar perda de matéria pelas galáxias. ▶

Aberto, fechado ou plano

A poluição química, o tipo e a quantidade de luz emitida, a taxa de explosão de supernovas e a própria evolução das galáxias são fenômenos que dependem da quantidade de massa presente nelas, o que inclui a quantidade de matéria escura presente.

Quanto menor a massa de uma galáxia, menor será a força gravitacional exercida sobre o gás que forma seu halo. Assim, galáxias anãs, cujo campo gravitacional é mais fraco, são mais fortemente afetadas pela perda de matéria, ao passo que galáxias de maior massa, com campo gravitacional intenso, podem manter um halo extenso e enriquecido com elementos pesados.

A obtenção da massa contida nos halos das galáxias fornece informação sobre os limites para a densidade de matéria que determina a geometria do universo, isto é, se ele é aberto (baixa densidade), fechado (alta densidade) ou plano (densidade intermediária) – mais adiante, veremos as conseqüências dessas três geometrias.

Atualmente, grande parte do tempo dos maiores telescópios é dedicada a observações que permitam conhecer cada vez melhor as galáxias distantes, dada a grande quantidade de informação fundamental para a cosmologia que pode ser extraída dessas observações.

Resultados sensacionais

No final da década de 1980, foi lançado o telescópio espacial Hubble. Sua grande vantagem sobre os telescópios terrestres é o fato de ele poder observar os objetos celestes sem o 'véu' da atmosfera terrestre. Ele obtém, portanto, imagens mais definidas e de objetos bem mais distantes.

Idade mínima das galáxias distantes

A autora deste artigo, que é também coordenadora do Núcleo de Excelência 'Galáxias: Formação, Evolução e Atividade', tem trabalhado nos últimos anos na determinação da composição química das galáxias distantes, tendo mostrado que a quantidade de elementos pesados no halo dessas galáxias deve ser cerca de 10% do valor encontrado em galáxias próximas – e não 1% como sugerido por outros pesquisadores. Esse resultado indica que a evolução estelar está ocorrendo há pelo menos 1 bilhão de anos nas galáxias distantes, ou seja, essa seria sua idade mínima quando emitiram a luz observada.

Com o Hubble, foi obtida a imagem de uma pequena região do céu onde foram detectados objetos muito longínquos (figura 4). Na verdade, o telescópio foi apontado para duas regiões distintas: uma no hemisfério Norte e outra no Sul. E resultados sensacionais foram obtidos. Um grande número de galáxias foi descoberto, e a surpresa ocorreu quando se obteve o *redshift* delas: várias têm desvio para o vermelho acima de 4, e algumas acima de 5, igualando-se aos valores dos quasares mais distantes.

As observações também permitiram deduzir quando a maior parte da formação estelar ocorreu nas galáxias, o que leva à determinação da época de formação da maior parte das galáxias e serve de teste para os modelos de formação de estruturas no universo. Além disso, a análise do campo do hemisfério Sul indicou que a densidade de galáxias pode ser maior do que a adotada anteriormente.

E como tudo isso se relaciona com a evolução do universo?

Contração ou expansão?

O mergulho no passado através de observações de galáxias muito distantes, que estão em suas fases iniciais de evolução, é duplamente importante. De um lado, permite estudar o período de formação de estruturas no universo, assim como sua evolução e seu enriquecimento com elementos químicos. Por outro, a análise da radiação dos quasares – e como ela interage com a matéria gasosa em sua trajetória até nós – permite chegar a uma melhor determinação da massa do universo.

Além de revelar um maior número de galáxias, as imagens precisas e de grande alcance do telescópio Hubble contribuem para a melhor determinação da massa do universo. É, afinal, a massa do universo que vai determinar o seu destino final.

Desde a década de 1920, sabe-se que o universo está em expansão. É preciso, então, saber se essa expansão será para sempre ou não. O que determina o futuro do universo é sua massa, pois determina o modo como o campo gravitacional deve atuar sobre ele. Assim como em uma massa de gás, cujas partículas sofrem a ação de duas forças, no universo a força gravitacional tende a aproximar as galáxias enquanto a força de pressão tende a afastá-las. Se a força de pressão domina a força gravitacional, a massa de gás expande. Com a expansão, a pressão diminui, e a força gravitacional pode passar a dominar, e assim a massa de gás voltaria a se contrair.

A expansão do universo, que se iniciou no *Big Bang*, pode ser revertida se a massa do universo for grande o suficiente. Na verdade, a condição de

expansão ou contração é expressa a cada instante pela razão entre a densidade do universo e a chamada densidade crítica. Essa relação determina três cenários possíveis para o universo:

- a)** se a densidade for menor que a densidade crítica, a massa do universo não será suficiente para reverter a expansão, e o universo terá uma geometria aberta, ou seja, irá se expandir indefinidamente;
- b)** se a densidade for igual à crítica, o universo terá então uma geometria plana e se expandirá para sempre, embora com uma taxa de expansão menor que a do item anterior;
- c)** se a densidade for maior que a densidade crítica, o universo será então fechado, ou seja, deverá se contrair até que toda sua massa volte a se reunir em torno de um ponto – esse fenômeno, um tipo de *Big Bang* às avessas, passou a ser recentemente denominado *Big Crunch*, que, em inglês, significa ‘grande esmagamento’.

Ainda menor que a crítica

E como se determina a densidade do universo? É necessário calcular a massa contida em um grande volume. Uma maneira é contar as galáxias em um dado volume, multiplicar pela massa média de uma galáxia e dividir pelo volume observado.

Mas esse método só calcula a chamada massa luminosa, isto é, aquela que emite radiação detectada pelos telescópios e é devida principalmente a estrelas. Esse método mostra que a densidade da matéria luminosa é muito menor que a densidade crítica, indicando que vivemos em um universo aberto – tanto melhor para os claustrofóbicos.

Entretanto, o modelo de *Big Bang* enfrenta problemas que poderiam ser resolvidos se a densidade fosse próxima ao valor crítico. Nesse caso, a única solução seria procurar pela matéria não luminosa, isto é, a matéria escura. Essa matéria poderia ser matéria comum (bariônica) – formada por objetos compactos que poderiam ser estrelas marrons no halo das galáxias e por gás muito quente que emite raios X e é encontrado em aglomerados de galáxias – ou ser matéria exótica (não-bariônica), que, embora nunca tenha sido detectada, é sugerida por teorias da física de partículas.

As estimativas indicam que, mesmo levando em conta esse tipo de matéria escura, a densidade do universo ainda é menor que a crítica. Resta, então, a matéria não-bariônica, que passa a ser o candidato mais forte ao posto de constituinte do universo. No entanto, esse tipo de matéria escura ainda corresponde a conjecturas na física de partículas elementares, mas tem sido objeto de estudo de muitos físicos atualmente.



R. WILLIAMS (STSCI) E NASA - 15/01/96

Figura 4. Imagem feita pelo telescópio Hubble, com a câmara de campo profundo apontada para uma pequena região do céu do hemisfério Norte na qual se vê uma enorme quantidade de galáxias localizadas a diferentes distâncias e que apresentam diferentes morfologias

Para a próxima década

O estudo das galáxias jovens, seja através da observação direta pelos grandes telescópios, seja através da análise da radiação emitida pelos quasares, contribui para aprimorar os fatores que levam à determinação da densidade do universo, seja fornecendo uma melhor contagem do número de galáxias, seja restringindo as condições para os modelos de formação de estruturas, seja permitindo um melhor conhecimento da evolução química das galáxias.

Esses são os problemas que vão dominar os esforços dos astrônomos na próxima década, pois estamos diante de uma nova ‘revolução copernicana’: a astronomia já mostrou que não estamos no centro do universo, mas a astrofísica está indicando que a matéria, na forma como nós a conhecemos, é um percentual mínimo do total de massa que forma o universo.

Por enquanto, só nos resta confirmar que não somos constituídos pelo tipo de matéria que é a mais abundante no universo. ■

Sugestões para leitura

- FRIAÇA, A. C. S., DAL PINO, E., SODRÉ JR., L. e JATENCO-PEREIRA, V. (eds.). *Astronomia: Uma Visão Geral do Universo*, São Paulo, EDUSP, 2000.
- LONGAIR, M. S. *Our Evolving Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- REES, M. *Before the Beginning*, Perseus Books, Cambridge (USA), 1997.