

Evidências do Big Bang

Introdução

O universo segundo a concepção dos gregos, alguns séculos antes de Cristo, tinha a Terra como centro, ao redor da qual giravam as esferas cristalinas, uma para a Lua, outra para o Sol e outras para cada planeta, sendo a mais externa a das estrelas fixas.

O conceito de infinito já existia na concepção de alguns filósofos, como é o caso dos estóicos, que defendiam a idéia de haver, externamente à esfera das estrelas fixas, um vazio, um “buraco” que se estendia infinitamente. Não obstante isso, pode-se dizer que o céu era baixo ou, em outras palavras, que o universo comparado aos padrões atuais era pequeno.

Heráclito (540-475 a.C) acreditava que o Sol teria o tamanho de um escudo, e Anaxágoras (500-428 a.C) foi tido como ímpio ao afirmar que ele poderia ser maior do que o Peloponeso.

Quase dois milênios e meio depois, isto é, no começo do século XX, esse entendimento havia passado por muitas transformações, mas ainda não havia lugar para um universo dinâmico e extenso como o que se conhece atualmente: acreditava-se então num universo eterno, estático – portanto imutável – e do tamanho da Via Láctea.

A localização de certos objetos astronômicos conhecidos como *nebulosas* era um mistério: podiam ser observados pelos telescópios de então, mas as observações se mostravam insuficientes para esclarecer se pertenciam à Via Láctea ou se, como esta, seriam também galáxias. Em 1750, Thomas Wright propôs que as nebulosas seriam outras vias lácteas, a grandes distâncias da nossa, e em 1785 William Herschel num artigo intitulado “Sobre a Construção do Céu” anunciou idéia similar, dizendo que muitas nebulosas seriam sistemas similares à Via Láctea, mas muito distantes. Anos mais tarde mudou de opinião, dizendo que se existiam galáxias além da nossa, seriam distantes demais para serem detectadas.

Em 1920 ocorreu um debate – que ficou conhecido como “**o grande debate**” – entre o astrônomo Harlow Shapley, que defendia o ponto de vista de serem as nebulosas objetos pertencentes à Via Láctea, e Heber Curtis, um cientista mais velho e de reputação consolidada, que acreditava na tese de se tratarem de outras galáxias, distantes da nossa. O debate serviu para chamar atenção sobre o assunto, mas não foi conclusivo e a resposta para tal questão ainda demoraria.

Por outro lado, em 1916, Albert Einstein publicara sua teoria geral da relatividade, e em fevereiro do ano seguinte publicou um artigo intitulado “Considerações cosmológicas da teoria da relatividade geral”, em que se mostrava já preocupado com o cosmo como um todo, e não apenas com a descrição dos fenômenos gravitacionais, como por exemplo a correção dos cálculos para o periélio de Mercúrio ou a deflexão da luz por um corpo de grande massa.

Nesse trabalho Einstein menciona seu “princípio cosmológico”, segundo o qual o universo é *isotrópico*, isto é, parece o mesmo em todas as direções, e *homogêneo*, ou seja, sempre igual, de onde quer que seja observado; em outras palavras: que a Terra não ocupa um lugar privilegiado dentro do todo.

No entanto, ao aplicar a relatividade geral ao universo como um todo teve uma surpresa: o resultado mostrava que os corpos celestes atraíam-se entre si de forma a se apro-

ximarem uns dos outros gradualmente, o que resultaria a longo prazo num colapso universal, com toda a massa concentrada num único ponto. Essa instabilidade não se coadunava com a idéia de Einstein sobre o mundo, e o levou a inserir em suas equações uma constante, que recebeu o nome de “constante cosmológica”, cuja finalidade era prover o universo de uma força antigravitacional (significativa somente a grandes distâncias) e mantê-lo como até então: eterno e estático.

Embora esse novo termo trouxesse uma certa tranquilidade à comunidade científica, o fato é que desagradava até mesmo ao seu autor, pois parecia uma excrescência muito pouco estética à teoria original. Sabe-se que, bem mais tarde, Einstein disse ter sido esse o maior erro de sua vida, isto é, não aceitar aquilo que sua própria teoria mostrava, mas por enquanto não havia alternativa a não ser manter a constante cosmológica.

Universo dinâmico

Por essa época o matemático russo Aleksandr Friedmann enfrentava as dificuldades inerentes à Primeira Guerra Mundial e à revolução que se operava em seu próprio país, mas quando pôde retomar suas pesquisas anos depois, deparou com o problema envol-



Vesto Slipher

vendo a teoria da relatividade e dedicou-se a ele. Em 1922 publicou um trabalho no qual considerava diversos valores para a constante cosmológica, entre os quais o valor zero. Neste caso, o resultado era um universo dinâmico mas colapsante que sucumbiria ao peso de sua massa, e foi nesse momento que teve a grande intuição: enquanto para Einstein e outros cientistas esse universo estava condenado a desmoronar, para Friedmann o dinamismo se associava a um impulso expansivo inicial cujo clímax dependeria da quantidade de matéria do universo e da velocidade com que começara a expandir-se: considerando o valor da densidade média do universo, esse impulso inicial seria suficiente para mantê-lo indefinidamente em expansão se a densidade fosse inferior a esse valor, ou, em caso contrário, se contrairia sob o próprio peso até colapsar. Como meio-termo, se a den-

sidade média fosse igual a esse valor crítico, nem a força da gravidade seria suficiente para fazer o universo colapsar, nem a expansão se daria infinitamente.

Einstein, de início, condenou tais idéias (“Os resultados concernentes a um mundo não estacionário, contidos no trabalho [de Friedmann] me parecem suspeitos. A solução apresentada não satisfaz às equações [da relatividade geral]”), mas os cálculos de Friedmann não continham erros e Einstein viu-se por fim obrigado admitir que se tratava de hipóteses teoricamente corretas. O matemático russo, no entanto, desconhecido no meio acadêmico, veio a falecer prematuramente em 1925; associando-se a isso o fato de ter sido a princípio condenado pelo maior e mais popular cientista do mundo, sua idéia não floresceu e acabou esquecida – para ser ressuscitada dois anos mais tarde, de forma independente, pelo astrônomo e padre belga George Lemaitre.

Nebulosas que se movimentam

Antes, porém, de falar da retomada do universo dinâmico e expansivo por Lemaitre,

é preciso referir a contribuição do astrônomo Vesto Slipher para consubstanciar a teoria cosmológica que se encontrava em seu nascedouro.

Em 1912, após prolongadas exposições da nebulosa de Andrômeda, e medindo o desvio Doppler de seu espectro luminoso para o azul, Slipher concluiu que a nebulosa deslocava-se no espaço a uma velocidade muito alta, 300 km/s, seis vezes mais rápido que qualquer estrela. Duvidando da exatidão de suas medidas (valendo lembrar ainda que, para a maioria dos astrônomos, as nebulosas faziam parte da Via Láctea), Slipher se propôs verificar o deslocamento da nebulosa do Sombrero, encontrando agora um desvio para o vermelho que indicava uma velocidade de afastamento da Terra de 1000 km/s, o que correspondia a 0,3% da velocidade da luz!

Medindo velocidades

A medição da velocidade das galáxias é feita através da verificação de seu espectro luminoso.

O espectro luminoso de um objeto celeste, por exemplo uma estrela, mostra na faixa da luz visível (que vai do vermelho ao violeta) linhas escuras que indicam quais os componentes químicos existentes na estrela: tais componentes absorvem a luz naquelas frequências, criando linhas escuras chamadas raias de absorção. O conjunto dessas linhas é uma espécie de “impressão digital” da estrela. Portanto, se uma estrela de determinado tipo apresenta um determinado conjunto de raias de absorção, sabe-se de que tipo de estrela está se tratando.

A luz, por sua natureza ondulatória, é sujeita ao que se conhece por efeito Doppler: se a fonte de uma onda se movimenta, as ondulações se comprimem na direção do movimento, tornando-se mais curtas, e se dilatam na direção contrária, tornando-se mais longas.

Digamos, portanto, que as raias de absorção características de um tipo de estrela ocupam uma posição na faixa visível do espectro afastada para a extremidade azul (ou para a vermelha): ocorre o que se chama desvio para o azul (ou para o vermelho), sendo que no primeiro caso é indicativo de que a estrela se move em direção radial à Terra, pois as ondas luminosas se comprimem nesse sentido; e no segundo, em direção oposta à da Terra, pois as ondas luminosas provenientes da estrela sofrem uma dilatação ao se deslocarem até o nosso planeta. Quanto maior for o desvio observado no espectro luminoso, maior a velocidade com que a estrela se desloca através do espaço, e foi por observar um desvio muito acentuado para o vermelho que Slipher chegou à velocidade extremamente elevada com que a nebulosa do Sombrero se afasta de nós.

Em 1917 Slipher obteve a velocidade de vinte e cinco nebulosas, das quais vinte e uma indicavam por seu movimento estar afastando-se da Terra, e na década seguinte acrescentaram-se vinte novas nebulosas à lista, todas se afastando da Terra. Esse movimento contradizia tudo o que os astrônomos pensavam sobre as nebulosas até então: acreditava-se que elas flutuavam aleatoriamente no espaço, ou que a distribuição de suas velocidades fosse mais ou menos a mesma, mas com os resultados obtidos nessas medições de velocidade ficou claro que não era isso que acontecia.

O fenômeno permaneceria sem explicação ainda por bastante tempo.

O Modelo Evolutivo Dinâmico

Lemaître não conhecia o trabalho de Friedmann, tendo chegado em 1927 às mesmas idéias de forma independente, sendo que, todavia, avançou numa direção que o matemático russo não logrou vislumbrar (talvez por ter morrido prematuramente): compreendeu que se a relatividade indicava um universo dinâmico, e que, dependendo do modelo esse universo estaria em expansão, pareceu-lhe que retroagindo nessa expansão o que se percebia era um universo menor à medida que recusasse no tempo: um ano antes o universo estivera menor, mil anos antes ainda menor, e assim sucessivamente até um tempo em que toda a matéria estaria concentrada num único ponto, que Lemaître chamou de “átomo primordial”.

O “átomo primordial” em dado momento decaiu, toda a matéria do universo tendo sido criada nesse momento, e, com a energia gerada, teve início um processo de expansão. “A hipótese do átomo primordial é uma hipótese cosmogênica que visualiza o universo atual como o resultado da desintegração radioativa de um átomo”, ele disse.

A teoria de Lemaître presumia um momento de criação, contrapondo-se à noção aceita e não questionada até então de o universo ser eterno, estático e imutável. Tratava-se de uma idéia ousada, mas que recebeu como resposta da comunidade científica o mesmo silêncio, e em 1927, na Conferência de Solvay, tendo abordado Einstein e exposto sua teoria, a acolhida por parte deste foi tão desfavorável que, decepcionado, Lemaître desistiu de promover suas idéias.

As observações de Edwin Hubble

Edwin Hubble começou a trabalhar no Observatório de Monte Wilson em outubro de 1919, e quatro anos depois com uma observação pôs fim ao “grande debate” havido entre Shapley e Curtis: na noite de 4 de outubro de 1923 conseguiu fotografar uma estrela na nebulosa de Andrômeda que, inicialmente, classificou como “nova”. Verificando em seguida fotografias anteriores da mesma nebulosa descobriu que na verdade tratava-se de uma estrela do tipo “variável Cefeida”, cuja luminosidade passa por variações periódicas, de períodos exatos.

As estrelas do tipo variável Cefeida, devido ao seu período de variação da luminosidade, são utilizadas também para determinar distâncias estelares, e com essa descoberta Hubble mostrou através de seus cálculos que Andrômeda ficava a pelo menos 900.000 anos luz da Terra, o que significava tratar-se não de uma nebulosa pertencente à Via Láctea (cujo diâmetro de 100.000 anos luz era conhecido) mas de um objeto exterior, uma galáxia independente.

Subitamente o universo crescia em tamanho no conhecimento do homem!

A esta observação revolucionária, seguir-se-iam outras em que Hubble contaria com o auxílio de Milton Humason, um jovem de origem humilde que começou trabalhando em Monte Wilson como zelador e acabou se tornando ali o melhor fotógrafo astronômico do mundo.

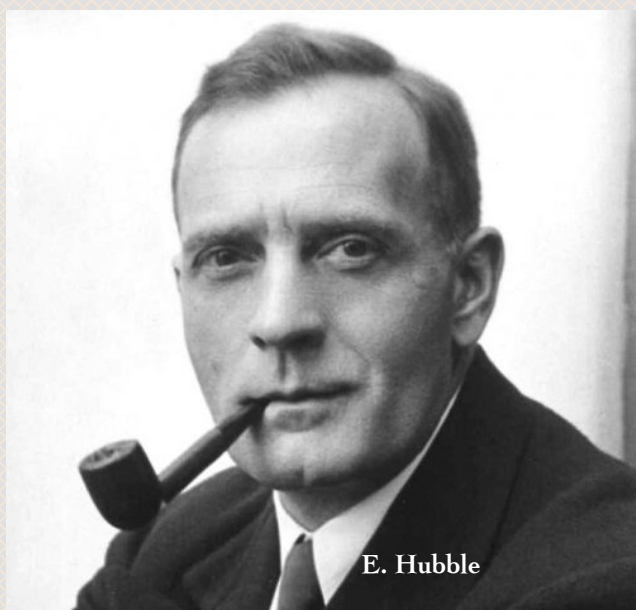
Inicialmente, ambos confirmariam o desvio para o vermelho de várias nebulosas observado por Slipher, mas por volta de 1929 já haviam medido o desvio para o vermelho e as distâncias de 46 galáxias, embora em muitos casos tais medições carecessem de precisão. Hubble, no entanto, portando-se com natural cautela e valendo-se apenas das galáxias em cujas medidas tinha confiança, elaborou um gráfico que relacionava a *distância da galáxia* $\times$ *velocidade de recessão*, e os pontos no gráfico indicavam que a velocidade de uma galáxia dependia de sua distância, ou seja, as mais distantes se afastavam mais rapidamente da Terra.

Hubble publicou suas observações, mas era certo que o gráfico obtido, não muito preciso, não pareceu convincente a muitos astrônomos. Assim, dois anos de muito trabalho, juntamente com Humason, se passaram com medições precisas de galáxias cada vez mais distantes, obtendo por fim um gráfico distância $\times$ velocidade de recessão que não deixava dúvidas: havia uma forte correlação entre a distância observada de uma galáxia e sua velocidade de recessão. Cumpre referir que a chamada Lei de Hubble não é uma lei exata, mas uma regra geral que admite exceções. Por exemplo, a velocidade de algumas galáxias medidas por Slipher indicavam desvio para o azul, ou seja, estavam se aproximando. Tratava-se de galáxias próximas da Via Láctea que podiam ser ignoradas, pois seu movimento anômalo tem outras explicações.

Não obstante, deve-se ressaltar que a correlação distância das galáxias $\times$ velocidade de recessão veio a se confirmar amplamente nas décadas seguintes e até nos anos mais recentes com as observações feitas pelo satélite Hubble. Sabe-se hoje que galáxias a cem milhões de anos-luz afastam-se da nossa a uma velocidade de quase 9 milhões de quilômetros por hora enquanto as que estão a duzentos milhões de anos-luz têm uma velocidade de recessão de aproximadamente 18 milhões km/h e as distantes trezentos milhões de anos-luz, quase 27 milhões km/h, e assim por diante.

Duas perguntas muito pertinentes surgem em face dessa lei: 1) Seria possível existir uma galáxia tão distante cuja velocidade de recessão ultrapassasse a velocidade da luz? 2) Se as galáxias estão, quase todas, se afastando da Terra (ou da Via Láctea), isso não significa que estamos no centro do universo? A resposta para a primeira é **sim**, embora isso não implique numa violação da relatividade especial, pois o que faz com que as galáxias se afastem não é seu movimento normal através do espaço, mas a expansão do próprio espaço. Quanto à segunda pergunta, a resposta é **não**. Não existe um centro no universo. De qualquer galáxia que um observador olhe para as demais, verá todas se afastando (com as raras exceções locais, como foi dito). Embora o universo seja tridimensional, uma analogia bidimensional ajuda a compreender isso: pegue uma bola de borracha, dessas que se usam para enfeitar festas de aniversário, e encha-a com ar; faça em toda a sua superfície pequenas pintas com a ponta de uma caneta e depois encha ainda mais a bola, de modo que ela dobre de tamanho; observe que todas as pintas se distanciam umas das outras com a dilatação do tecido plástico da bola, sem que uma pinta em particular seja o centro desse distanciamento. Porém, ao contrário do que se observa na superfície do balão, que ao se dilatar também provoca uma dilatação no tamanho de cada pinta, a expansão do espaço não ocasiona um afastamento dos objetos no interior de uma galáxia (fazendo-a aumentar de tamanho por isso), pois neste caso estrelas e planetas estão fortemente ligados pela ação gravitacional. A expansão do espaço só se manifesta de forma expressiva em escalas cósmicas.

O resultado das minuciosas observações de Hubble tinha ainda um significado mais



profundo: se as galáxias estavam se afastando entre si, em um momento anterior estariam mais próximas umas das outras, de forma que em algum momento do passado teriam estado todas muito próximas ocupando uma região pequena do espaço. Dispunha-se então do primeiro sinal de ter havido algo como um momento de criação, e o Modelo Evolutivo Dinâmico de Lemaitre, face a um indicativo concreto de que descrevia a realidade, deixava de ser apenas uma teoria.

Medindo distâncias

A medição da distância dos astros é feita através de diversos procedimentos, dependendo de estarem ou mais próximos ou mais longe de nós. Neste artigo, o que interessa é o procedimento aplicado nas medições da distância de galáxias, baseado no brilho de um tipo especial de estrelas variáveis, as chamadas “variáveis cefeidas”, cujo brilho varia com grande precisão ao longo de um período de tempo regular.



Henrietta Leavitt

A astrônoma Henrietta Leavitt começou a trabalhar no Harvard College Observatory em 1894, e recebeu a incumbência de catalogar estrelas variáveis que podiam ser estudadas através de chapas fotográficas. A fotografia era então um novíssimo recurso para estudo astronômico, e Leavitt aproveitou-o ao máximo, catalogando cerca de 2.400 estrelas variáveis, dando especial atenção ao tipo cefeidas.

Tentando compreender os dados obtidos de suas investigações, como período e brilho, e procurando uma relação entre ambos, Leavitt concentrou-se na Pequena Nuvem de Magalhães, onde identificou 25 variáveis cefeidas. Como essas estrelas se concentravam numa mesma região do céu, pôde considerar que se todas estivessem aproximadamente à mesma distância, uma estrela mais brilhante que outra o seria por sua maior luminosidade intrínseca (e não por estar muito mais próxima); traçando

um gráfico dessas 25 estrelas, percebeu uma surpreendente relação entre o brilho e o período de variação de cada uma, resultado que se podia extrapolar para as variáveis cefeidas de qualquer região do céu. Assim, se fossem observadas duas variáveis cefeidas com o mesmo período, mas a segunda apresentando um brilho nove vezes mais fraco que a primeira, aquela estrela estaria três vezes mais distante que esta (pela lei segundo a qual o brilho de uma estrela diminui em proporção ao quadrado da distância).

Tal resultado representava um enorme avanço, porém não era suficiente para determinar-se a distância real de uma estrela: podia-se apenas saber o quanto uma variável cefeida estava mais distante do que outra, mas não sua distância específica da Terra.

O passo decisivo que permitiria obter tais medidas com precisão seria dado por Harlow Shapley, Ejnar Hertzsprung e sua equipe, que obtiveram êxito combinando várias técnicas para estabelecer a distância até uma variável cefeida, a qual poderia ser usada como parâmetro. A partir de então, as variáveis cefeidas se tornaram um marco de medidas para o cosmo.

Revisitando o modelo

A descrição de Friedmann diferia da de Lemaitre quanto à situação da matéria no instante pré-expansão: enquanto Friedmann presumiu que toda a matéria estaria concentrada num ponto, do qual emergiu o universo, Lemaitre falava de um átomo primordial que decaiu.

A velocidade de recessão das galáxias medida através do desvio para o vermelho não era, de fato, a velocidade com que as galáxias estariam se deslocando no espaço, mas sim a velocidade com que o espaço se expandia arrastando consigo as galáxias (assim, se fosse observada uma galáxia extremamente distante cuja velocidade de recessão se mostrasse maior do que a velocidade da luz, a relatividade especial não seria violada). Por outro lado, conquanto a expansão propiciasse o afastamento das galáxias entre si, afetaria minimamente a distância da matéria dentro de cada galáxia, já que aí estrelas, planetas e outros objetos se manteriam ligados pela atração gravitacional.



George Lemaitre

Uma dificuldade

No entanto o Modelo Evolutivo Dinâmico não convenceu a todos, nem mesmo à maioria dos cientistas de então, mormente porque a idéia de um momento de criação parecia implicar a ação de um Criador, o que desagradava àqueles que preferiam manter aspectos teológicos longe da ciência, e logo surgiu uma primeira dificuldade a opor-se ao modelo: as medidas de distância e velocidades feitas por Hubble até então indicavam um universo com dois bilhões de anos de idade, mas a pesquisa geológica já havia apontado rochas terrestres com a idade de 3,5 bilhões de anos, concorrendo para o absurdo de a Terra ser mais velha que o universo!

Alguns físicos descontentes com a nova teoria, elaboraram particularmente outros modelos cosmológicos, mas nenhum de expressão suficiente para sobreviver por muito tempo. Como se verá adiante, o físico Fred Hoyle nunca (até seu falecimento em 2001) se deixou convencer pelo Modelo Evolutivo Dinâmico, e elaborou seu próprio modelo, o Universo do Estado Estacionário, o de mais longa duração, que passou no entanto por algumas necessárias alterações para adaptar-se às novas realidades observadas.

O Modelo Evolutivo Dinâmico avança e pára

Ao se observar a Terra, constata-se que há em nosso planeta grande quantidade de elementos químicos, ou seja, seu núcleo se compõe de ferro, na crosta predominam oxigênio, silício, alumínio e ferro, nos oceanos hidrogênio e oxigênio; no entanto, no universo como um todo as análises espectroscópicas da luz das estrelas revelava que tal distribuição

não ocorria, sendo o hidrogênio o elemento mais abundante e o hélio o segundo mais abundante, que são também os dois elementos menores e mais leves.

Na tabela 1 abaixo,¹ pode-se observar a distribuição observada:

Elemento	Abundância relativa
Hidrogênio	10.000
Hélio	1.000
Oxigênio	6
Carbono	1
Todos os demais	menos de 1

O hidrogênio e o hélio respondem por 99 % do total de átomos do universo.

Aqueles que defendiam um universo eterno, conquanto não pudessem explicar essa diferença, acreditavam que tais proporções sempre deviam ter ocorrido. Para os defensores do Modelo Evolutivo Dinâmico, no entanto, a dificuldade se tornava maior: o universo, desde o momento da criação, parecia ter evoluído para gerar muito mais átomos leves do que pesados. Por quê? Qual teria sido o mecanismo que levaria à geração dos átomos pesados?

Nucleossíntese

Em 1934, George Gamow mudou-se para os Estados Unidos com sua esposa, após fugir do regime soviético, aproveitando para isso sua participação na Conferência Solvay em 1933.

Durante os vinte anos seguintes se esforçaria para defender a hipótese do Modelo Evolutivo Dinâmico, preocupado principalmente com a *nucleossíntese*, a formação dos núcleos atômicos.

A fusão nuclear (que envolve átomos leves) ocorre quando dois núcleos de elementos mais leves se chocam e se fundem, formando um elemento mais pesado. A energia para que isso ocorra deve ser muito alta em face da repulsão natural que há entre dois núcleos: como ambos são positivos, repelem-se naturalmente, e só se fundem através de colisões ocorridas envolvendo energias extremamente altas, capazes de vencer a repulsão nuclear; situação em que a força nuclear forte passa a atuar mantendo unidos os núcleos antes separados.

Gamow questionava: 1) se os momentos iniciais da expansão poderiam ser responsáveis pelo fato de o universo ser dominado pelo hidrogênio e pelo hélio; e 2) se o momento expansivo inicial, similar a uma explosão, poderia explicar as várias proporções de átomos pesados, raros sim, mas indispensáveis à vida.

Para Gamow havia um erro crucial no modelo de Lemaitre: segundo este, um átomo maciço decaiu gerando os átomos menores; seriam necessárias 260 fragmentações para se alcançar o atual estado pulverizado da matéria, resultando em átomos pequenos que não se fragmentariam mais. Isso levaria a que os elementos fossem altamente estáveis, ou seja, os elementos que constituiriam o universo seriam em sua maioria aqueles do meio da tabela periódica, como o ferro, totalmente diferente do que era observado.

Mas, e se tivesse sido o contrário? Se o universo inicial se compusesse de um caldo

¹ Conforme Simon Singh, 2006.

de átomos de hidrogênio expandindo-se, haveria aí condições para que o hidrogênio se fundisse formando o hélio e assim sucessivamente em outros átomos mais pesados?

Em suas investigações, Gamow percebeu, perplexo, duas limitações para a idéia da fusão ocorrida nas estrelas: a primeira, que a taxa de produção de hélio estelar era muito baixa (por exemplo, o Sol produz $5,8 \times 10^8$ toneladas de hélio por segundo através da fusão nuclear, o que parece muito, mas como ele possui 5×10^{26} toneladas de hélio, teria levado 27 bilhões de anos para produzi-lo!, o que o fez supor que a maioria do hélio já estava presente quando o Sol foi formado). A segunda limitação era que a fusão estelar parecia incapaz de criar átomos mais pesados que o hélio: não se havia encontrado até então nenhum mecanismo que levasse à formação de elementos pesados como o ferro e o ouro pelas estrelas.

Gamow entendeu que tais limitações forneciam oportunidade para demonstrar a validade do Modelo Evolutivo Dinâmico, que supriria as incapacidades das estrelas: se pudesse ligar a síntese nuclear à “erupção” que deu origem à expansão do universo, obteria forte evidência em favor dessa teoria.

Gamow começou a trabalhar no caso no início dos anos 40.

Sua estratégia foi considerar o universo como era então e “fazer o relógio retroceder”, como se o universo estivesse se contraindo, de forma que as galáxias se aproximassem gradualmente umas das outras. A progressiva compressão da matéria geraria calor, e assim, no estado altamente denso da matéria no início, o calor seria extremo, de forma que os átomos deixariam de existir como eram conhecidos para se transformarem numa “sopa” de elétrons, prótons e nêutrons. A partir dessa “sopa”, então, fazer o relógio avançar e mostrar como as partículas se ligariam e formariam os elementos como conhecidos hoje.

Tal tarefa, contudo, não era simples, os cálculos extremamente complicados, de forma que seu progresso foi pequeno, até 1945, quando passou a contar com a colaboração de Ralph Alpher, matemático brilhante, que era seu aluno de doutorado.

Gamow mostrou a Alpher o que já havia conseguido com seus cálculos, e o incumbiu de trabalhar no problema da nucleossíntese no universo primordial, chamando-lhe a



George Gamow



Ralph ALpher

atenção para alguns aspectos importantes: a síntese procurada deveria ter ocorrido num momento em que o universo nem era tão quente que impedisse as partículas de se unirem, nem tão frio que impedisse as reações nucleares; dever-se-ia também levar em conta a meia-vida do nêutron, que é de dez minutos, o que significa que ao final de apenas uma hora restaria no universo primordial somente 2% de todos os nêutrons originais, a menos que já tivessem formado com prótons núcleos estáveis; além do mais, existe uma reação nuclear dependente da temperatura que pode criar nêutrons, e como estes constituem um ingrediente essencial na nucleossíntese, a meia-vida e a taxa de criação de nêutrons eram fatores críticos para determinar o tempo disponível para ocorrer a síntese de núcleos após a “explosão”. Concentrando-se na questão do tempo, ainda era preciso avaliar as possibilidades de ocorrerem colisões entre nêutrons e prótons de forma a propiciarem a formação de núcleos.

Essas explicações por certo são resumidas, mas parecem-me suficientes para nos dar, a nós, leigos, uma idéia da dimensão da tarefa que os dois cientistas tinham pela frente.

Nos três anos seguintes trabalharam ambos no problema, culminando com a conclusão de Alpher de que, ao fim da fase de síntese nuclear, haveria aproximadamente um núcleo de hélio para dez de hidrogênio, e que o Modelo Evolutivo Dinâmico poderia explicar a proporção observada entre esses elementos. Tal resultado, conquanto não explicasse ainda a existência de núcleos mais pesados que o do hélio, significava o primeiro grande triunfo da teoria desde que Hubble observara e medira o desvio das galáxias para o vermelho.

A dificuldade dos núcleos pesados e uma previsão extraordinária

Os críticos da teoria atacaram, no entanto, o ponto fraco que era a impossibilidade (logo percebida por Gamow e Alpher) de explicar a síntese dos núcleos mais pesados que o do hélio.

A maior dificuldade era a chamada “fenda dos cinco núcleons”. Observe a tabela 2, a seguir²:

hidrogênio comum	1 próton + 0 nêutron	= 1 núcleon
hidrogênio deutério	1 próton + 1 nêutron	= 2 núcleons
hidrogênio trítio	1 próton + 2 nêutrons	= 3 núcleons
hélio comum	2 prótons + 2 nêutrons	= 4 núcleons

O núcleo seguinte mais pesado deveria conter 5 núcleons, porém a existência de tal núcleo não ocorre por sua inevitável instabilidade. Núcleos com 6 ou mais núcleons existem e são estáveis, mas o de 5 simplesmente não existe – o que era desastroso para a abordagem de Gamow e Alpher, como uma espécie de fosso intransponível no caminho da nucleossíntese que levava a núcleos mais pesados. Isto se dá porque a transformação consiste de um ou mais passos intermediários, e se um deles for bloqueado o processo é interrompido: ora, o processo para a formação de um núcleo mais pesado seria o acréscimo de um próton ou um nêutron ao hélio comum, formando um novo núcleo com 5 núcleons, mas como este núcleo não existe, o caminho nessa direção para a obtenção de núcleos mais pesados estava bloqueado.

² Conforme Simon Singh, 2006.

Havia opções: o hélio absorver ao mesmo tempo um próton e um nêutron, formando um núcleo estável de lítio (seis núcleons), mas as chances de essas duas partículas agirem ao mesmo tempo num núcleo de hélio eram remotas; ou então dois núcleos de hélio se fundirem, criando um núcleo com 8 núcleons, mas este seria também um núcleo instável!

Paralelamente a essa aparentemente intratável dificuldade, Alpher começou a trabalhar noutro aspecto do Modelo Evolutivo Dinâmico juntamente com um colega chamado Robert Herman: a evolução do universo após o período da nucleossíntese.

Além da sopa de plasma (elétrons e núcleos livres devido ao calor), o universo era preenchido por luz (fótons), que interagiu com o plasma. Mas à medida que o universo expandia-se, ambos se perguntaram, o que aconteceria com essa luz?, e perceberam que com a expansão essa luz tornar-se-ia dispersa. Em dado momento a temperatura seria bastante baixa (abaixo de 3000°K) para o plasma continuar existindo, então os elétrons se ligariam aos núcleos formando átomos (um fenômeno conhecido como recombinação), com os quais a luz não mais reagiria, ficando livre para atravessar sem impedimento o espaço. Esse momento, segundo calcularam, ocorreria cerca de 300.000 anos após o começo da expansão, e a conclusão a que chegaram foi que, como o espaço expandia e a luz o atravessava livremente, ainda hoje essa luz liberada à época da recombinação estaria preenchendo o espaço!

Ralph e Herman faziam uma previsão (como veremos, correta) que decorria necessariamente dos cálculos! Se os críticos podiam argumentar que a nucleossíntese descrita no trabalho de Gamow e Alpher mostrava algo que os dois cientistas já procuravam, com a sugestão implícita de que eles poderiam ter ajustado os cálculos para obter o que pretendiam (sugestão de qualquer forma injusta), esta nova previsão não sofria do mesmo problema.

A previsão dizia ainda que tal radiação teria um comprimento de onda aproximado de 1 mm, faixa das microondas, devido ao desvio para o vermelho proporcionado pelo “esticamento” do espaço desde a recombinação. Se alguém conseguisse localizar e medir essa radiação, traria ao Modelo Evolutivo Dinâmico uma prova inquestionável. No entan-



Herman Bondi



Thomas Gold

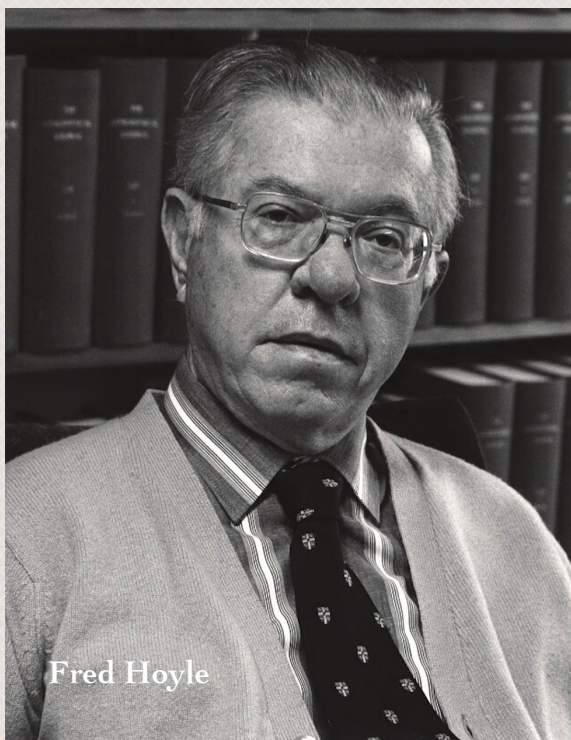
to poucos astrônomos o levavam a sério, a radioastronomia ainda era incipiente e não havia pessoas qualificadas para uma pesquisa deste porte. Até 1953, isto é, cinco anos após a previsão, Gamow, Alpher e Herman tentaram chamar atenção para o resultado de suas investigações, mas foi inútil: ninguém lhes deu atenção.

A essa altura os três cientistas abandonaram também as pesquisas e passaram a dedicar-se a outras atividades científicas. Nesse momento, o Modelo Evolutivo Dinâmico passava por uma tremenda crise enquanto um outro modelo de universo começava a emergir...

A teoria do universo estacionário

A idéia surgiu quase como uma brincadeira entre o chamado trio de Cambridge, Herman Bondi, Thomas Gold e Fred Hoyle, certa noite do ano de 1946, em que os três se reuniram na casa de Gold e este propôs a idéia.

Fred Hoyle pensou que poderia demolir a nova idéia em pouco tempo, mas o fato é que a teoria de Gold era sólida e compatível com diversas observações, e o resultado foi que Hoyle não só não demoliu a idéia como passou a aceitá-la como uma descrição cosmológica plausível, opinião que manteve por toda a vida.



O Modelo do Estado Estacionário fundamentava-se no *princípio cosmológico perfeito*, postulado por Gold. O chamado *princípio cosmológico* afirma que nossa região do espaço, a Via Láctea e seus entornos, não é um lugar especial no universo mas essencialmente igual a todos os outros. O *princípio cosmológico perfeito*, porém, diz que não apenas a nossa região do espaço é igual a todas as outras, mas também a *nossa era* no universo é igual a todas as outras: nem habitamos um lugar especial no universo, nem uma época especial, e o Modelo do Estado Estacionário surgia como uma decorrência desse princípio.

O novo modelo descrevia um universo em expansão para adequar-se às observações, mas que era essencialmente imutável. Ao expandir-se, o universo manteria sua aparência (ou seja, não pareceria cada vez mais diluído) criando matéria constantemente para preencher os vazios gerados pelo afastamento das galáxias, ou seja, pareceria estar se desenvolvendo e expandindo, mas seria em grande parte imutável, constante e eterno. Para explicar de onde provinha essa matéria que era criada constantemente, Fred Hoyle imaginou um *campo de criação*, a que chamou campo-C, o qual permearia todo o espaço, gerando “um átomo a cada século em um volume igual ao do prédio do Empire State”. Embora não tivesse a menor idéia da física subjacente ao hipotético campo-C, para Hoyle a criação contínua de matéria parecia mais plausível do que a criação em uma violenta explosão.

A fim de provar o Modelo do Estado Estacionário, Hoyle imaginou que um universo assim seria povoado em todas as direções por um grande número de galáxias-bebês, já

que com o surgimento contínuo de matéria elas poderiam estar se formando a todo momento, ao passo que no Modelo Evolutivo Dinâmico presumivelmente o número de galáxias-bebês seria bem reduzido, por pressupor um limite de tempo (desde o início da expansão) para criação e evolução das galáxias. Tal previsão, contudo, não podia ser verificada pois ainda não se dispunha de telescópios suficientemente poderosos para vasculhar o céu à procura das tais galáxias-bebês.

Fred Hoyle, contudo, para promover e popularizar o novo modelo cosmológico, escreveu artigos, livros e fez palestras, e foi durante uma de uma série de cinco palestras para a rede de rádio Third Programme que, sem querer, acabou batizando o modelo rival. Ao referir-se aos modelos cosmológicos em discussão no momento, disse:

Um deles se distingue pela suposição de que o universo começou há um tempo finito em uma única e imensa explosão. Nessa suposição, a expansão atual é uma relíquia da violência daquela explosão. Agora, esta idéia de um Big Bang me parece insatisfatória. (...) Em bases científicas, esta suposição do Big Bang é a menos saborosa das duas. (...) Em bases filosóficas eu também não vejo nenhuma boa razão para preferir a idéia do Big Bang.

Ao usar o termo Big Bang, Hoyle conferia à sua voz um tom de desdém. No entanto o nome pegou: gradualmente adotado tanto pelos críticos quanto pelos apreciadores do Modelo Evolutivo Dinâmico, acabou batizando o modelo cosmológico que viria a impor-se como a descrição mais bela e convincente da origem do universo.

Pausa para fazer perguntas

Neste momento faço uma pausa para fazer algumas considerações sobre o Modelo do Estado Estacionário que me parecem pertinentes, pelo menos como reflexão – e dentro das limitações do meu conhecimento, portanto, relevem os entendidos se minhas indagações carecerem de sentido.

O novo modelo foi ao encontro daqueles que imaginavam o universo eterno, infinito e imutável.

No entanto, os termos “infinito” e “eterno”, este último uma outra forma de infinito, incomodam-me bastante, e é por isso que não entendo como puderam ser aceitos e persistir mesmo depois de ter surgido a idéia de um momento de criação do cosmo.

Vimos que, para os gregos cinco séculos a.C., o universo era de dimensões bastantes modestas e o quanto essas dimensões se ampliaram com as observações, até Edwin Hubble estendê-las a escalas de distância nunca cogitadas.

Hoje em dia essas escalas se ampliaram ainda mais com as observações, entre outras, do telescópio espacial Hubble, que vislumbrou galáxias a doze bilhões de anos-luz – o que é difícil de imaginar: considere que um ano-luz equivale a aproximadamente 9.460.800.000.000 km; nem mesmo a distância de um ano-luz pode ser plenamente avaliada pela maioria dos seres humanos, já que nós, em nosso dia-a-dia, não estamos habituados a números dessa magnitude nem dispomos de parâmetros para comparações. O que dizer de doze bilhões de vezes isso!

Contudo, uma distância assim é finita!

O que é o infinito? E o eterno? (Faço tais perguntas no contexto do que vem sendo exposto neste artigo, sem pretender entrar em considerações religiosas.)

Uma idéia que me desagrade no Modelo do Estado Estacionário é a criação permanente de matéria associada ao infinito. Mesmo à taxa proposta por Fred Hoyle (um átomo de hidrogênio num volume igual ao do Empire State a cada cem anos), se o universo é

eterno e infinito, a cada instante estaria sendo criada uma quantidade *infinita* de matéria, o que não me parece nada plausível.

Se nesse universo fizermos o relógio retroceder, poderemos observar uma quantidade de infinita de matéria desaparecendo a cada instante, e se a criação permanente de matéria é responsável por sua expansão, chegar-se-ia a um tempo em que o universo estaria vazio – lembre-se de que a cada momento que voltássemos no tempo quantidades infinitas de matéria estariam “saindo de cena”, o que é um contra-senso.



Walter Baade

Outra idéia pouco agradável é a noção de que um universo infinito possa expandir-se. Como imaginar que algo infinito possa “aumentar” de tamanho?

Um argumento que imagino a esta pergunta é: o universo não aumenta de tamanho, mas quando vemos as galáxias se afastando, implicando numa expansão, essa expansão é local e relativa à nossa posição. Imaginemos, porém, o contrário e façamos de novo voltar o tempo: estaríamos contemplando uma contração, que não seria infinita mas local, até um momento em que, localmente, o universo estaria vazio (abstraída a incerteza quântica, que decerto não cabe nessa discussão), e novamente nos deparamos com um contra-senso.

Por fim, a noção de eternidade também é algo que não consigo aceitar. Poderia até aceitar um tempo sem fim a partir de um certo momento, que pode ser tido como de criação, mas eternidade “em duas direções” (para o passado e para o futuro) é algo no mínimo incompreensível.

Apesar de extemporâneas, pois com o falecimento de Fred Hoyle em 2001 perdeu-se um dos raros grandes defensores do Modelo do Estado Estacionário, com tais considerações pretendo ressaltar os aspectos que me parecem pouco plausíveis do modelo. Ignoro se há alguma formulação matemática que mude esse cenário e fica a dúvida, à espera de que algum físico talvez se disponha a esclarecê-la.

Os dois modelos comparados

A tabela 3, a seguir,³ mostra os dois modelos cosmológicos e os vários critérios pelos quais poderiam ser avaliados em meados do século XX.

Os pontos de exclamação referem o sucesso de cada modelo quanto ao critério considerado; os X, as questões nas quais fracassavam e os pontos de interrogação aqueles para os quais ocorria uma ausência de dados (nos itens 4 e 5, falta de dados observacionais).

Conquanto não explicasse vários pontos naquele momento, o Modelo do Estado Estacionário apresentava-se com menos dificuldades que o Big Bang.

³ Conforme Simon Singh, 2006.

Critério	Big Bang			Estado Estacionário
1.Desvio para o vermelho e universo em expansão	Esperado num universo criado a partir de um estado denso que então se expande.	!	!	Esperado num universo eterno que se expande, com matéria sendo criada nos espaços vazios.
2.Abundância de átomos	O modelo provê as proporções observadas de hidrogênio e hélio, mas não explica outras abundâncias atômicas.	?	?	Matéria é criada entre as galáxias que se afastam. De algum modo esse material pode ser transformado nas abundâncias atômicas observadas.
3.Formação de galáxias	A expansão teria talvez desfeito as galáxias bebês antes que pudessem crescer. Não obstante, as galáxias evoluíram sem que se pudesse explicar como.	X	!	Com mais tempo e nenhuma expansão inicial violenta, as galáxias se desenvolvem e morrem, sendo substituídas por novas galáxias formadas da matéria criada.
4.Distribuição de galáxias	Galáxias jovens existiram no universo primordial, por isso deveriam ser observadas somente a grandes distâncias, o que fornece uma janela para o universo primordial.	?	?	Galáxias jovens devem aparecer com distribuição uniforme, pois podem nascer em quaisquer parte e tempo da matéria criada entre as galáxias velhas.
5.Radiação cósmica de fundo	O eco do Big Bang deveria ser detectável com equipamento suficientemente sensível.	?	?	Não houve Big Bang, portanto não há nenhum eco detectável.
6.Idade do universo	O universo é aparentemente mais jovem do que as estrelas que contém.	X	!	O universo é eterno, assim a idade das estrelas não é problema.
7.Criação	Não há explicação para o que causou a criação do universo.	X	?	Não há explicação para a criação contínua de matéria no universo.

A dificuldade com a escala de tempo

Caberia ao astrônomo Walter Baade dar um grande passo para resolver essa deficiência do Big Bang, de longe a mais grave, segundo a qual o universo seria mais jovem do que suas próprias estrelas!

Baade entrara para a equipe do observatório de Monte Wilson em 1931, e como fosse alemão naturalizado americano não era tido como pessoa de confiança para participar de projetos militares (p. ex., o Projeto Manhattan) durante o período da guerra; assim, durante esse período teve todo para si o telescópio de cem polegadas de Monte Wilson e pôde dedicar-se intensamente às observações.

Seu interesse se direcionava para um tipo de estrelas variáveis conhecidas como RR Lyrae, similares às cefeidas. Como eram variáveis, estimou que poderia utilizá-las para medir distâncias galácticas, mas as RR Lyrae são menos luminosas que as cefeidas, decepcionando-se quando não conseguiu localizá-las na galáxia de Andrômeda com o teles-

cópio de cem polegadas; assim, durante os anos da guerra estudou-as apenas no interior da Via Láctea.

Contudo, em 1948 foi inaugurado o imenso telescópio de Monte Palomar, com duzentas polegadas e um espelho polido com uma precisão de cinquenta milionésimos de milímetros, e logo Baade o apontou na direção de Andrômeda à procura das variáveis RR Lyrae – para de novo decepcionar-se: após um mês de pesquisas ainda não as havia encontrado. Como estivesse certo quanto ao brilho desse tipo de estrela e também quanto ao poder do novo telescópio, a única explicação que encontrou foi que a distância da galáxia de Andrômeda devia ser maior do que se pensava.

A medição original da distância dessa galáxia fora feita com base nas variáveis cefeidas. No entanto, na década de 40 já se sabia que a maioria das estrelas se agrupavam em dois tipos de *populações*: população II, de estrelas mais velhas, que explodiam e cujos resíduos dariam origem às estrelas de população I, mais jovens e além disso mais brilhantes e mais azuladas. Baade argumentou que o erro na estimativa da distância de Andrômeda se devia, primeiro, a que as cefeidas de população I são mais brilhantes que as de população II mas possuem o mesmo período de variação; e segundo, que a escala para medições fora elaborada inadvertidamente a partir de cefeidas de população II, existentes na Via Láctea.

Refazendo os cálculos, Baade verificou que Andrômeda estava na verdade a aproximadamente dois milhões de anos-luz de distância, e não a 900.000 anos-luz, como se acreditava até então, e isto implicava também em que as distâncias das outras galáxias deviam ser dobradas – e as dimensões do universo mais uma vez se ampliavam.

A consequência disso para o modelo do Big Bang é imediata: se as distâncias dobram mas a velocidade de recessão permanece a mesma, o universo era mais velho do que se acreditava, e de fato, a nova idade estimada para o universo passava a ser de 3,6 bilhões de anos.

Os críticos do Big Bang ainda não se mostraram satisfeitos, pois ainda havia no universo objetos aparentemente mais antigos que isso; essa nova estimativa, porém, traduzia-se na perspectiva de que, se um erro de medição fora encontrado, dobrando a idade do universo, outros erros também poderiam ser encontrados...

Baade divulgou o resultado de suas pesquisas em 1952, no encontro da União Astronômica Internacional, em Roma.

Problema resolvido

O passo decisivo para resolver a dificuldade com a escala de tempo foi dado por um aluno de Baade, Allan Sandage.

Baade pediu a Sandage para verificar se as estimativas de distância das galáxias mais distantes estavam corretas, e logo foi descoberto outro erro de medição.

Para as galáxias mais distantes, os astrônomos não podiam utilizar a técnica das variáveis cefeidas pois, dada a distância, estas estrelas não seriam distinguidas. Assim, adotaram uma técnica razoável: supor que a estrela mais brilhante de uma galáxia remota tivesse um brilho aproximadamente equivalente à mais brilhante de Andrômeda, e com a diferença de luminosidade observada calcular a distância.

Esse método, contudo, conforme seria mostrado por Sandage, tinha uma falha: como a técnica da fotografia astronômica se houvesse aperfeiçoado bastante, Sandage percebeu que o que fora tomado nas galáxias mais remotas como uma estrela brilhante não

era propriamente uma estrela, mas o que no meio científico se conhece como Regiões HII. Uma região HII é uma extensa nuvem de hidrogênio capaz de absorver energia das estrelas ao seu redor; então se aquece a uma temperatura de 10.000 graus, adquirindo um brilho superior ao de qualquer estrela.

Os astrônomos haviam tomado Regiões HII como estrelas nas galáxias distantes, o que os levou a um erro de avaliação de suas distâncias: o universo era ainda muito maior e mais velho.

Em dois anos de pesquisas, Sandage elevou para 5,5 bilhões de anos a idade do universo, e continuando com suas medições por toda aquela década estimou – fazendo aumentar as distâncias e a idade do universo – que este, ao fim, estaria entre 10 bilhões e 20 bilhões de anos.

O sexto item da tabela 3 agora poderia receber um (!) no lugar do (X).

Ironia: Hoyle resolve um problema do Big Bang

Uma dificuldade que persistia para o Big Bang era a questão da nucleossíntese, pois como vimos, por mais que se esforçassem, Gamow, Alpher e Herman – apesar de terem explicado a abundância de hidrogênio e hélio no universo – não conseguiram explicar como a partir do núcleo de hélio formaram-se núcleos mais pesados.

O problema da nucleossíntese, contudo, não era apenas do Big Bang, mas também do Modelo do Estado Estacionário, que precisava explicar a abundância desses elementos. Foi por isso que Fred Hoyle se dedicou a tal empreitada, e conquanto essa preocupação já fosse antiga, só no final da década de 40 deu seus primeiros passos no rumo de uma solução.

Hoyle procurou entender o que sucederia a uma estrela quando seu combustível de hidrogênio começasse a esgotar-se.

Sabia-se que uma estrela se mantém em equilíbrio porque, à imensa pressão exercida para o centro pela força gravitacional, contrapõe-se à pressão para fora exercida pelas altas temperaturas do núcleo. O que aconteceria se tal equilíbrio fosse rompido?

Quando o combustível nuclear escasseasse, a estrela esfriaria, a pressão para fora diminuiria e então a gravidade passaria a dominar, ocasionando uma compressão para o centro. Nessa compressão seria gerado mais calor, que impediria o colapso da massa da estrela sobre si mesma, reequilibrando o sistema, até que novamente diminuísse o combustível e outra vez a gravidade dominasse, ameaçando a estrela de implodir. Mais uma vez, porém, a compressão gravitacional faria com que novas reações nucleares ocorressem no centro da estrela, mais calor seria gerado e o sistema se reequilibraria. Esse processo poderia ocorrer várias vezes, mas em algum momento o calor gerado no centro pela compressão gravitacional seria insuficiente para reequilibrar o sistema e o colapso seria inevitável.

Estudando os vários tipos de estrelas, depois de anos de pesquisa Hoyle tinha calculado todas as mudanças de temperatura e pressão ocorridas nesses diferentes tipos à medida que suas vidas chegavam ao fim; e pôde mostrar ainda que, nesses espasmos estelares, as várias combinações de temperaturas e pressões extremas alcançadas explicavam a criação de todos os elementos da tabela de núcleos atômicos de pesos médio e grande. Assim, cada tipo de estrela funcionaria como um cadinho para criar vários elementos diferentes, sendo que seus cálculos explicavam a abundância exata de quase todos os elementos, mostrando por que alguns são mais comuns e outros mais raros.

Em casos extremos, a fase final de colapso de uma estrela, que a levaria a extinguir-se, resultaria numa explosão de altíssima intensidade: é a fase em que a estrela se converte numa supernova e libera energia suficiente para brilhar mais que dez bilhões de estrelas comuns durante um breve período de tempo.

A pesquisa de Hoyle levou a um outro resultado importantíssimo: a morte da estrela não é o fim do processo de nucleossíntese! Ao explodir, a supernova ejeta para o espaço grandes quantidades de átomos de elementos pesados que foram fabricados em seu núcleo; esses átomos poderão misturar-se a nuvens de matéria que virão a colapsar em uma estrela de segunda geração, a qual, ao se formar, já conterá elementos pesados e, quando por sua vez, implodirem e morrerem, poderão fabricar átomos ainda mais pesados.

Tais resultados, acerca de um dos maiores enigmas do cosmo – a abundância dos diversos tipos de elementos no universo –, apesar de seu brilhantismo, por si só não seriam suficientes para resolver o problema que se apresentara desde o início, pois o cerne da questão ainda não fora resolvido.

Todos os átomos pesados dependiam da formação do carbono-12 (núcleo composto por seis prótons e seis nêutrons), mas, como foi dito, para a síntese do hélio em núcleos mais pesados havia dois caminhos: um, a formação de um núcleo de lítio 5 com a fusão de um núcleo de hélio e um de hidrogênio; e o outro, a fusão de dois núcleos de hélio para formar um de berílio 8, mas ambos os caminhos pareciam fechados devido à instabilidade desses núcleos, que mal se formavam, por sua própria natureza se decompunham em núcleos mais leves.

Hoyle, contudo, não desistiria de encontrar uma solução, e tal solução deveria responder a pergunta: existiria um mecanismo viável para transformar três núcleos de hélio (dois prótons e dois nêutrons cada um) em um de carbono-12?

Sim, havia uma possibilidade: que os três núcleos se encontrassem no mesmo ponto, no mesmo instante e os três na velocidade certa. Tratava-se de uma possibilidade tão remota, porém, que não seria produtivo cogitar sobre ela.

Uma outra seria a formação de um núcleo de berílio 8 (quatro prótons e quatro nêutrons), o qual, em seguida, colidiria com um núcleo de hélio formando o carbono-12. Havia porém dois empecilhos sérios: o primeiro, como já foi dito, a instabilidade do berílio 8, que faz com que dure menos de um milionésimo de bilionésimo de segundo; se, contudo, mesmo nesse período ínfimo de existência o núcleo de berílio 8 tivesse tempo de colidir com um de hélio, surgia o segundo empecilho: a massa resultante da combinação hélio-berílio era ligeiramente superior à do carbono-12, e assim era preciso, no processo, livrar-se da massa excedente; a reação nuclear ($E = mc^2$) era capaz de fazê-lo mas demandaria um certo tempo, e o berílio 8 com sua duração curtíssima não dispunha de tempo.

É então que Hoyle chega a uma conclusão que denota sua genialidade: o núcleo do carbono comum possui uma determinada conformação (o que era sabido), mas podia ser que houvesse uma conformação diferente, um dito *estado excitado*, o qual para ser atingido requereria uma injeção de energia. Tal energia extra deveria corresponder ao excesso de massa decorrente da união do berílio 8 com o hélio, portanto deveria existir um estado excitado do carbono-12, o que permitiria, apesar da instabilidade do berílio 8, a formação de quantidades significativas daquele elemento!

Simon Singh chama atenção para o fato de Hoyle fundamentar seu raciocínio na-

quilo que viria a ser conhecido como “princípio antrópico”: ele (Hoyle) existia, e para isso o carbono precisava existir; o carbono existia, portanto havia necessariamente um meio que permitisse a fusão de núcleos de hélio em carbono.

Hoyle previu que o estado excitado do carbono teria 7,65 MeV (megaeletronvolt) a mais de energia que o núcleo básico, mas era preciso comprová-lo.

Foi em 1953 que teve oportunidade de falar de sua previsão com Willy Fowler, um dos maiores físicos experimentais do mundo, procurando-o em seu escritório. A princípio Fowler sentiu-se incomodado, pois tinha muito trabalho e ali estava aquele sujeito falando-lhe de uma previsão acerca do carbono 12, elemento que já havia sido estudado e medido em detalhes e nunca dera sinais de possuir um estado excitado. Diante da insistência de Hoyle, contudo, Fowler determinou a sua equipe que gastasse alguns dias para procurar esse estado, e dez dias depois confirmou-se a existência do estado excitado do carbono, exatamente 7,65 MeV acima do estado básico, e com isso a espinhosa questão da nucleossíntese estava resolvida!

O Modelo do Estado Estacionário podia explicar agora a existência de elementos pesados no universo, mas o resultado obtido por Fred Hoyle faria, no entanto, que o Big Bang fosse o grande beneficiado e se mostrasse o mais forte dos dois modelos: se a nucleossíntese dos elementos pesados poderia agora ser explicada igualmente nos dois modelos, somente o Big Bang explicava satisfatoriamente a quantidade de elementos mais leves como o hélio (este o segundo mais abundante no universo); além disso, novos cálculos explicavam ainda a formação de núcleos mais pesados que o hélio e mais leves que o carbono, com o lítio e o boro, os quais não podiam ser formados dentro das estrelas mas puderam aparecer por ação do calor altíssimo gerado no Big Bang. As estimativas para a quantidade de lítio e boro que teria sido criada no Big Bang correspondia ao que era observado no universo.

No item 2 da tabela 3 pode-se substituir o sinal de (?) por (!) para ambos os modelos, mas o Big Bang mostrava-se mais consistente.

Antagonismo e progresso

Uma rivalidade entre o astrônomo Martin Ryle e o defensor do Modelo do Estado Estacionário Thomas Gold veio a proporcionar novo avanço na consolidação do Big Bang.

Por volta de 1948, Ryle iniciara pesquisa em busca de fontes de ondas de rádio que, no entanto, emitissem pouca luz. Com baixa luminosidade, tais fontes não seriam visíveis em telescópios comuns, mas poderiam ser estudadas através de radiotelescópios. Conseguindo mapear cerca de cinquenta fontes distintas de rádio, invisíveis aos telescópios óticos, logo se questionou sobre a interpretação de tais objetos.

Ryle acreditava tratar-se de um novo tipo de estrela dentro da Via Láctea, mas alguns, como Thomas Gold, argumentaram que seriam galáxias distintas.

A animosidade entre Gold e Ryle começara quando este obtivera o lugar de líder do grupo de radioastronomia de Cambridge, ambicionado por Gold. Agora, Ryle desprezava a opinião de Gold (e de Hoyle, que pensava como Gold) porque este era apenas um teórico e não um astrônomo observacional, e a descartou publicamente em 1951, num encontro do University College de Londres: “Acho que os teóricos não entenderam os dados observacionais”.

Finalmente, observações precisas feitas por Walter Baade mostraram que uma fonte de rádio de Ryle encontrava-se exatamente no ponto de uma galáxia invisível aos telescópios óticos, provando que Hoyle e Gold estavam certos. Foi um abalo para Ryle, que chorou – e decidiu, como vingança contra os defensores do Modelo do Estado Estacionário, encontrar novas evidências a favor do Big Bang, optando por mapear a distribuição de galáxias jovens (veja a importância disso revendo o 4º item da tabela 3, Big Bang x Estado Estacionário).

Segundo os astrônomos, as radiogaláxias seriam mais jovens do que as galáxias comuns; assim, se o Big Bang estivesse correto, as radiogaláxias existiriam muito distantes da Via Láctea.

Nos anos seguintes à sua decepção, Ryle conseguira transformar Cambridge num centro mundial de radioastronomia, e até 1961 havia mapeado meticulosamente cinco mil radiogaláxias, e a distribuição destas mostrava-se claramente favorável ao Big Bang: tais objetos tendiam a estar mais longe, em outras palavras, eram mais comuns a grandes distâncias, o que foi confirmado confrontando-se com os resultados obtidos por outro grupo de radioastrônomos em Sydney, Austrália, que haviam feito pesquisa similar no hemisfério sul.

O anúncio de sua descoberta foi através de uma coletiva com a imprensa de Londres, para a qual convidou Hoyle, que compareceu sem saber o que seria dito. Para Hoyle teria sido constrangedor ver que os resultados fortaleciam o modelo cosmológico rival e que Ryle obtinha sua desforra.

Hoyle, Bondi e Gold não aceitavam a conclusão de seu rival, e ensaiaram algumas objeções ao resultado de Ryle, sugerindo que a radioastronomia era uma ciência relativamente jovem e não se podia confiar muito nela; que talvez houvesse erros nas medições; que dever-se-ia fazer uma nova pesquisa, etc. mas o fato é que o Big Bang estava em ascensão e novas medições de radiogaláxias feitas por Ryle reforçavam o que já havia sido exposto.

Não obstante, em 1963, o astrônomo Maarten Schmidt estudava uma fonte de rádio conhecida como 3C 273, da pesquisa de Ryle, que era muito brilhante na faixa de ondas de rádio e podia ser vista por telescópios óticos como um ponto luminoso (e não uma mancha, como seria de esperar se fosse uma galáxia). A idéia, por isso, era que se tratava de uma estrela pertencente à Via Láctea; porém, quando Schmidt mediu os comprimentos de ondas de luz emitidas pela 3C 273 verificou que não pareciam corresponder ao de nenhum átomo conhecido; a princípio não entendeu o que via, e só depois percebeu do que se tratava: eram comprimentos de onda associados ao hidrogênio, mas com um desvio para o vermelho tal que indicava uma extraordinária distância da Via Láctea: mais de um bilhão de anos-luz!

O 3C 273 ficou conhecido como *objeto de rádio quase estelar*, ou *quasar*. Não tardou para que outras fontes de rádio fossem identificadas como quasares, reforçando ainda mais o modelo do Big Bang, pois também os quasares se distribuíam nas regiões mais remotas do universo, o que significava que deviam ter-se formado há bilhões de anos (ou seja, eram vistos agora com a aparência que tinham bilhões de anos atrás), numa era inicial do universo, quando as condições mais quentes e densas de então propiciassem a criação de tais objetos.

Novas desculpas, sempre fracas, foram aduzidas como objeção a tais conclusões como favoráveis ao Big Bang, mas o fato é que o Modelo do Estado Estacionário começava

a perder credibilidade, de forma que Dennis Sciama, um de seus defensores, ainda que aborrecido, mudou de lado: “Para mim, a perda do estado estacionário foi motivo de grande tristeza”, declarou.

Na tabela 3, pode-se substituir no quarto item o (?) por um (!).

A RCFM e o COBE

A radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM) é seguramente a evidência mais conhecida do Big Bang. Os avanços descritos até aqui são desconhecidos de grande parte do público leigo (eu, p. ex, antes de ler o livro de S. Singh, ignorava muitos dos episódios referidos), mas a RCFM tornou-se muito popular.

Existem, porém, alguns aspectos da história da RCFM que não são tão conhecidos, e que serão descritos nesta seção.

Arno Penzias, tendo-se doutorado em 1961, foi trabalhar como pesquisador nos Laboratórios Bell, e dois anos mais tarde Robert Wilson juntou-se a ele.

Os Laboratórios Bell dispunham de uma antena de seis metros, situada em Crawford Hill, que a essa altura se encontrava inteiramente disponível, de forma que os dois pesquisadores receberam licença para usá-la em suas pesquisas, e a usariam para procurar fontes de rádio no céu.

Com a finalidade de obter resultados o mais exatos possíveis, procuraram certificar-se de que nenhuma interferência significativa ocorreria, e nos testes iniciais detectaram um ruído não muito alto captado pela antena; tal ruído não seria prejudicial na maioria dos casos, mas os dois cientistas desejavam fazer as melhores medições, e isso os levou a tentar identificar a origem do ruído para eliminá-lo.



De início julgaram que se tratasse de interferência oriunda de alguma fonte externa, e procuraram por uma, como equipamentos elétricos nas imediações ou mesmo grandes cidades, chegando a apontar a antena na direção de Nova York, porém não houve alteração no ruído observado.

Em seguida imaginaram que podia tratar-se de algum defeito da própria antena, mas ao fim de meticolosa checagem do equipamento não foi detectado defeito algum. Até

mesmo alguns pombos que faziam ninhos na antena foram afastados e a antena limpa dos dejetos, tendo toda sua fiação substituída.

Ao final de um ano de checagens, conseguiram obter uma redução do sinal, mas no fim de tanto tempo perdido, recursos gastos e esforços despendidos, o sinal remanescente ainda não podia ser explicado: era incessante e provinha com regularidade de todas as direções do espaço.



George Smoot

No final de 1964, em uma conferência sobre radioastronomia em Montreal, Penzias mencionou o episódio a Bernard Burke, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Algum tempo depois Burke teve contato com um trabalho elaborado pelos cosmólogos James Peebles e Robert Dicke, segundo os quais, ao estudarem o modelo do Big Bang, concluíram que deveria existir uma radiação de fundo na faixa das microondas (1 mm), que figuraria como uma espécie de “eco” do Big Bang. Assim, dois meses após o encontro com Penzias em Montreal, Burke por telefone lhe referiu a novidade.

Lembremo-nos, porém, que a previsão da existência de uma radiação de fundo em microondas fora feita, inicialmente, por Ralph e Hermann, em 1948, mas depois acabou caindo no esquecimento, razão pela qual Penzias e Wilson não puderam reconhecer como resíduo do Big Bang o incômodo ruído de fundo detectado. Por fim, James Peebles, Robert Dicke e equipe chegavam independentemente à mesma conclusão que Ralph e Hermann, e é neste ponto que se deve fazer uma pausa para refletir nesta importante particularidade: a previsão da existência de uma RCFM fora feita primeiro 16 anos antes, e em 1964 obtida independentemente por outra equipe de cientistas! Isso consolida ainda mais a interpretação dada para o fenômeno, qual seja, tratar-se de uma radiação remanescente do período da recombinação.

Somente ao tomarem conhecimento da novidade foi que Arno Penzias e Roberto Wilson se deram conta da importância de sua descoberta, a qual lhes valeu o Prêmio Nobel de física de 1978.

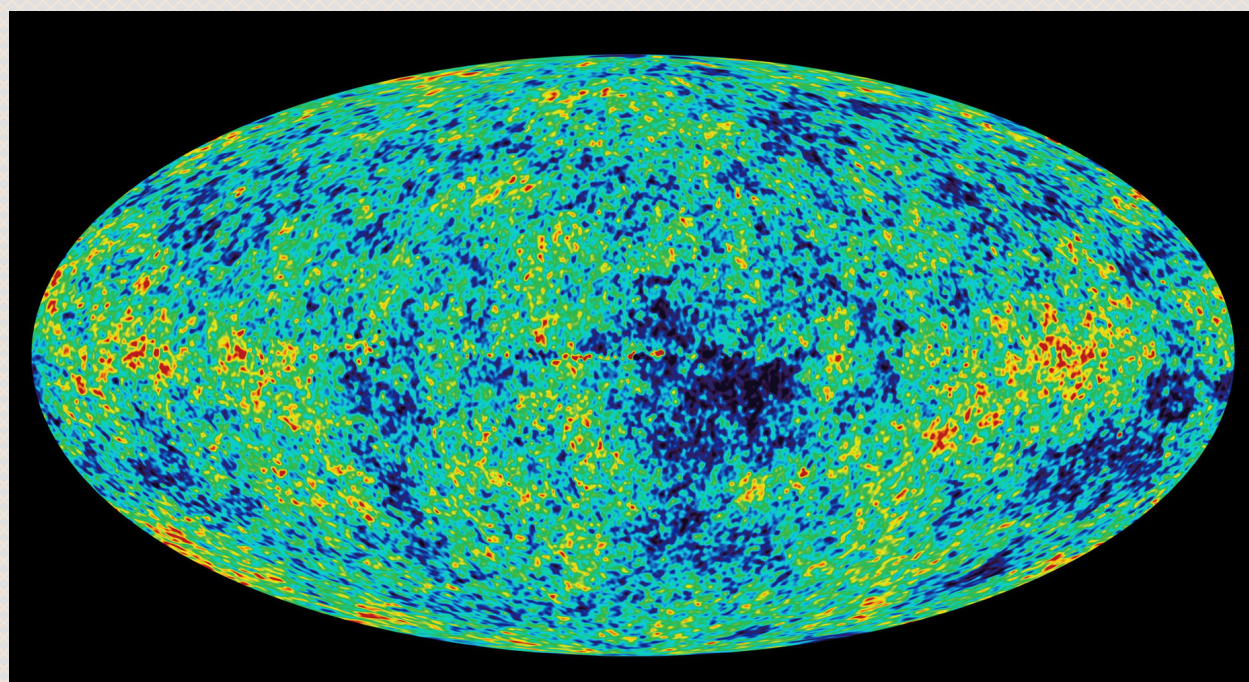
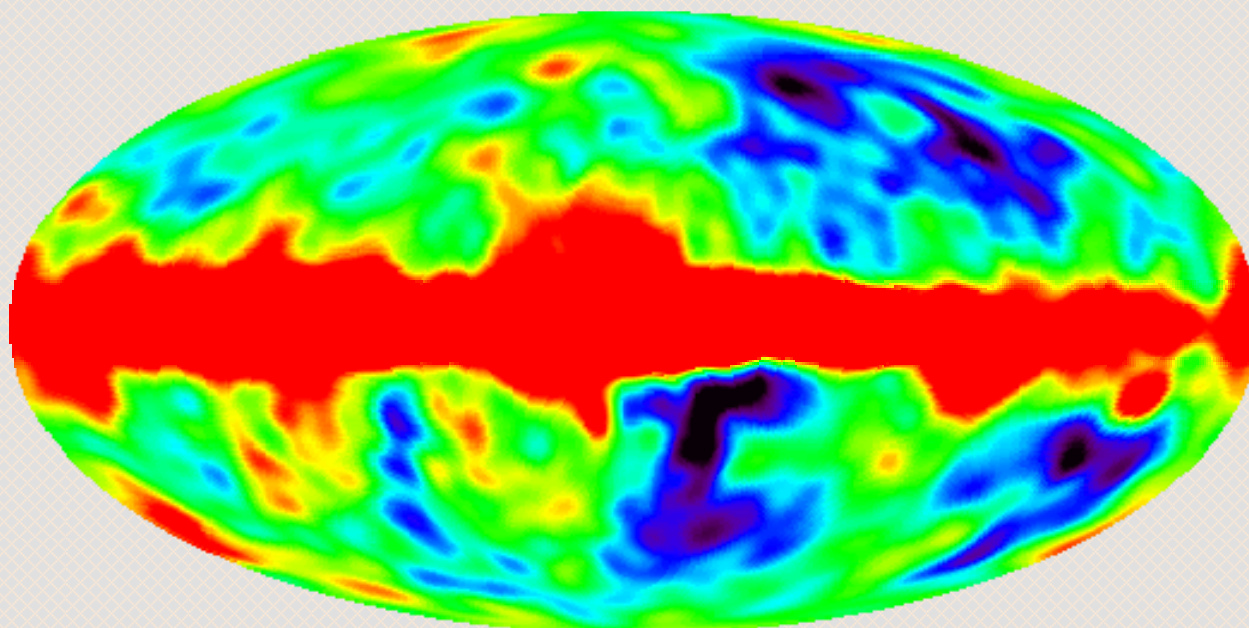
Podemos voltar agora à tabela 3 e substituir, no quinto item, o (?) por (!). Porém a história da RCFM ainda não acabou, pois o terceiro item da tabela 3 permanece em aberto: era preciso explicar a formação das galáxias.

Tal tarefa coube a George Smoot e sua equipe, numa aventura que durou vinte anos e que ele descreve detalhadamente em seu livro “Dobras no Tempo”.

A idéia do Big Bang traduzia-se por uma grande regularidade na distribuição inicial de matéria, e essa uniformidade apresentava-se como um problema, quando se tratava de explicar como puderam formar-se as galáxias a partir de tal uniformidade, de forma que o universo atual, bilhões de anos depois, apresentassem regiões de altíssima densidade e outras de densidade quase zero.

Para explicar a formação das galáxias (ou, em outras palavras, a concentração de matéria em algumas regiões do espaço e o vazio de outras), essa “sopa primordial” altamente simétrica deveria, não obstante, apresentar minúsculas variações, de forma que a matéria pudesse concentrar-se um pouco mais em alguns pontos e menos em outros e assim evoluir para a formação de galáxias.

A RCFM era um resíduo da era da recombinação (300.000 anos após o Big Bang), como foi dito, e analisá-la era como olhar para aquela época. Se tivessem ocorrido minúsculas variações na distribuição inicial de matéria, a RCFM deveria ter um registro detectável do fenômeno.



Mapeamento feito pelo COBE (acima) e pelo WMAP

Foi no início dos anos 70 que George Smoot, da Universidade da Califórnia, iniciou suas pesquisas visando encontrar essas variações na RCFM, que ele chamava de “dobras

no tempo”. Suas pesquisas iniciaram-se com balões, chegou a usar aviões, veio ao Brasil à procura de melhores condições de observação, indo também ao Pólo Sul, mas todas essas empresas resultaram em vão: as variações que deveriam aparecer na RCFM simplesmente não apareciam.

É curioso notar que, não obstante, à bordo de aviões U-2, Smoot encontrou uma variação na RCFM que se devia ao próprio movimento da Terra e ao efeito Doppler. Estando o detector apontado para frente, a RCFM era percebida com um comprimento de onda ligeiramente mais curto, e se apontado para trás, a radiação chegava com um comprimento de onda um pouco mais longo. A diferença entre esses comprimentos de onda permitiu que se medisse a velocidade do movimento da Terra no cosmo, e o resultado foi publicado na primeira página do *New York Times*: **DESCOBRIU-SE QUE A VELOCIDADE DA GALÁXIA ATRAVÉS DO UNIVERSO EXCEDE UM MILHÃO DE MILHAS POR HORA.**

O projeto COBE (Cosmic Background Explorer), liderado por Smoot, fora proposto em 1975, mas somente após uma série de contratempos desde então até sua construção e finalização, foi ao espaço em 18 de novembro de 1989 – estando presentes na Base Aérea de Vandenberg no dia do lançamento ninguém menos que Ralph e Hermann, como convidados.

O COBE entrou em órbita a novecentos quilômetros de altura e circunavegava a Terra 14 vezes por dia, tendo o detector terminado sua primeira varredura bruta do céu em abril de 1990. Nenhum indício de variação da RCFM foi percebido em nível de uma parte por três mil, e numa segunda análise, em nível de uma parte por dez mil ainda nenhum indício apareceu.

Os dados continuaram chegando durante os anos de 1990 e 1991, quando, no mês de dezembro, completou seu primeiro mapeamento completo do céu, com setenta milhões de medições ao longo do percurso, e por fim uma variação da RCFM apareceu – no nível de **uma parte por cem mil**, ou seja, o pico do comprimento de onda variava em cerca de 0,001% dependendo da direção para onde apontasse o detector do satélite: tratava-se de uma variação minúscula, mas existia, estava lá e pôde ser medida.

Após três meses de minuciosas revisões, à procura de quaisquer falhas na interpretação dos dados, a equipe do COBE decidiu publicar seus resultados, e o fizeram em 23 de abril de 1992, numa conferência organizada pela American Physical Society, em Washington. Coube a George Smoot (que viria a receber o Nobel de física em 2006 pela descoberta) anunciar os resultados obtidos, deslumbrando a platéia com os mapas mostrando as variações da RCFM através do universo.

Agora o Big Bang podia explicar a formação das galáxias, e no terceiro item da tabela 3 podemos substituir o (X) por um (!).

Para finalizar esta seção, não é demais referir que os dados obtidos pelo COBE foram amplamente confirmados pelo satélite WMAP (Sonda Anisotrópica de Microondas Wilkinson), no início do novo milênio, com medições extremamente mais detalhadas e a elaboração de mapas de alta resolução das variações da RCFM.⁴

⁴ (Neste ponto, finalizo o resumo do livro de Simon Singh. O que se segue é um apanhado dos capítulos 8 a 11 de “O Tecido do Cosmo”, de Brian Greene, onde o autor descreve os avanços propiciados pela teoria inflacionária nas explicações de vários problemas inerentes ao big bang.)

O que foi que explodiu?

Uma pergunta surge naturalmente quando se fala em Big Bang: o que foi que explodiu?

Brian Greene chama atenção para o fato de que a teoria do Big Bang não é uma teoria da origem do universo propriamente dita, e que nem mesmo houve uma explosão. Quanto a isso, é fácil compreender: explosão é um fenômeno que pode ser definido como uma combustão violenta que ocorre no espaço e no tempo. O Big Bang não foi uma combustão (o que havia, então, para comburir?), não ocorreu num lugar do espaço, mas deu origem ao próprio espaço; e não se situou num momento do tempo: criou o próprio tempo. Assim, quando alguém, tentando desmerecer a teoria, argumenta que uma explosão não poderia dar origem a tanta ordem observada hoje no universo, saiba que a pessoa está se valendo de uma falácia lógica e dizendo tolice. A idéia de explosão é utilizada como uma metáfora, válida pela noção de que a partir do centro de uma explosão os materiais são projetados de forma expansiva, mas não simétrica – e simetria (ainda conforme Greene) era o que havia nas primeiras frações de segundo do universo. O melhor nome para a teoria, que no entanto não se popularizou, ainda me parece “Modelo Evolutivo Dinâmico”.

No século XIX James Clerk Maxwell unificou o magnetismo e a eletricidade, dando origem à noção de força eletromagnética, uma das quatro forças fundamentais, sendo as outras três atualmente conhecidas a força nuclear forte, a força nuclear fraca e a gravidade.

Em 1966, Sheldon Glashow, Steven Weinberg e Abdus Salam unificaram em teoria (comprovada posteriormente) o eletromagnetismo e a força fraca, originando a força eletrofraca. Isto significa que essas duas forças eram uma só em certa época, quando o universo apresentava condições de temperatura propícias para tanto, ou seja, até 10^{-10} seg de idade, após o que sua temperatura caiu e as duas forças se dissociaram. Antes de 10^{-35} s, acreditam os cientistas que a força forte se combinava com a força fraca e o eletromagnetismo, em condições ainda mais extremas de temperatura, sendo que após esse instante dissociou-se de ambas. Parece haver avanços na formulação teórica para unificar essas três forças, porém ainda sem comprovação.

Mas então chegamos ao tempo de Planck (isto é, 10^{-43} seg após o big bang), em que as condições do universo eram tais que a relatividade geral deixa de aplicar-se e entra em conflito com a teoria quântica. Tornou-se comum dizer que o Santo Graal da física moderna é a unificação das quatro forças, somente com o que seria possível descrever o universo antes do tempo de Planck, mas até hoje, apesar dos esforços dos cientistas, tal unificação parece ainda distante de obter-se.⁵

A cosmologia inflacionária

Proposta por Alan Guth e melhorada por outros cosmólogos (Andrei Linde, A. Albrecht e A. Steinhardt) em fins de 1979 e começo de 1980, a teoria inflacionária diz que numa fração de tempo extremamente curta o universo teria inflado dobrando de tamanho

⁵ Conquanto haja algumas teorias promissoras, como a teoria das cordas e a teoria de laços quânticos – cuja abordagem não pode ser feita neste resumo, mesmo porque exigiria um conhecimento técnico que não tenho. Não obstante, os interessados podem encontrar boas descrições dessas teorias nas obras “O Universo Elegante”, de Brian Greene, e “Três Caminhos para a Gravidade Quântica”, de Lee Smolin.

a uma taxa aproximada de 2^{100} vezes a cada 10^{-37} seg; recebe o nome de *inflaton* o campo responsável pela inflação e, grosso modo, pode ser explicado como uma pressão negativa que gerou gravidade repulsiva, uma maneira de a gravidade repelir em vez de atrair.⁶

A inflação ocorrida nas primeiras frações de segundo do universo pode ser encarada, conforme Brian Greene, como o *bang* que faltava, após a qual o universo evoluiu conforme previsto pelo modelo padrão do Big Bang, mas proporcionando-lhe avanços na descrição da evolução do cosmo.

Duas questões que apresentavam dificuldades ao modelo do Big Bang antes da teoria inflacionária são conhecidas como o **problema do horizonte** e o **problema da planura**. Antes de abordá-los brevemente, deve-se ressaltar que o fato de o Big Bang não apresentar resposta para ambas não significa que a teoria esteja errada: significa apenas que sua formulação teórica não é suficiente para explicar tais questões (talvez por estar ainda incompleta).



Alan Guth

O problema do horizonte refere o fato de que a energia de fundo cósmico é extremamente regular em todas as direções para as quais se olhe (como vimos, o COBE registrava um nível de variação de uma parte por cem mil). Segundo os teóricos, não havia uma explicação para essa regularidade, pois embora no começo todos os pontos do universo estivessem muito juntos (o que poderia constituir uma explicação), não havia tempo para que umas partes se comunicassem com as outras a fim de se equilibrarem energeticamente. No cerne da teoria inflacionária, contudo, encontra-se a resposta

para o problema, pois segundo suas previsões a inflação foi bem mais lenta no início e muito mais rápida no final, o que proporcionaria tempo suficiente para que os pontos mais distantes do universo mantivessem contato a fim de ocorrer esse equilíbrio hoje observado na radiação de fundo.

O problema da planura diz respeito à geometria do universo, que pode ser fechado, ou de curvatura positiva, como a superfície de uma esfera; aberto, ou de curvatura negativa, como o formato de uma sela; ou ser plano, possuindo curvatura zero, dependendo de a densidade do universo ser (respectivamente) maior ou menor que uma certa densidade crítica, ou mesmo possuir essa densidade crítica, que é igual à massa de cinco átomos de hidrogênio por metro cúbico (caso de curvatura zero).

De um modo geral, a teoria inflacionária prevê que o universo é plano, mas a dificuldade que surge é que a quantidade de matéria visível no universo equivale a apenas

⁶ Esses números são referidos em Big Bang, de Simon Singh; Brian Greene fala em 10^{30} , 10^{50} ou mais. Como se trata de uma teoria em desenvolvimento, esses valores não são definitivos.

5 % (cinco por cento!) do total requerido para o universo plano. Onde estaria o restante da matéria?

A resposta para essa pergunta encontra-se nas formulações teóricas acerca da matéria escura e da energia escura.

Indícios da existência de uma matéria escura já vêm sendo observados desde 1930, quando o astrônomo Fritz Zwicky percebeu que um conjunto de milhares de galáxias no aglomerado de Coma, a 370 milhões de anos-luz, movia-se tão rapidamente que a matéria visível de que era formado não teria força gravitacional suficiente para manter as galáxias coesas no aglomerado, sugerindo a existência de uma quantidade maior de matéria responsável por essa coesão, matéria contudo não identificada. Diversas outras observações nos mais de trinta anos seguintes, por diversos outros astrônomos, indicavam o mesmo, mas a pouca precisão das observações da época respondia pela descrença inicial em tais resultados. Por fim, o avanço nas pesquisas e no grau de precisão das medições mostrou que a matéria escura, conquanto ainda não se possa dizer o que seja, interage gravitacionalmente com a matéria visível, e responde por cerca de 25 % da matéria do universo. Totalizavam-se então 30 % de matéria, mas faltavam ainda 70 % do total requerido pela teoria inflacionária. Onde estariam esses 70 % ?

Entra em cena o conceito de energia escura, e de forma espetacular: com a descoberta de que o universo, nos últimos sete bilhões de anos, em vez de mostrar-se desacelerando em sua expansão, como seria de esperar com o transcurso do tempo, está na verdade acelerando!

Quando Einstein inseriu a constante cosmológica em suas equações da relatividade geral, ele o fez porque sua teoria previa um universo em contração (as mesmas equações na interpretação de Friedmann e, depois, na de Lemaitre, previam um universo em expansão). A constante cosmológica tinha o poder de equilibrar o universo e torná-lo estático, e quando se provou que ele estava em expansão Einstein se deu conta de que havia errado.

Porém, oitenta anos depois compreendeu-se que Einstein talvez não estivesse errado: uma constante cosmológica com um valor adequado (muito diferente, porém, do atribuído por Einstein) explica não só o universo em expansão acelerada, mas também os 70 % que faltam: as observações têm mostrado que a força de repulsão da constante cosmológica responsável pela aceleração observada corresponde aos 70 % da densidade crítica na forma de uma “energia escura”!

Nas palavras de Brian Greene: “Este é um número notável. Se ele estiver correto, então não só a matéria comum – prótons, nêutrons, elétrons – constitui a ínfima porcentagem de 5 % de massa/energia do universo, e não só uma forma ainda não identificada de matéria escura constitui um total pelo menos cinco vezes maior, mas além disso a maior parte da massa/energia total do universo é constituída por uma forma totalmente diferente e misteriosa de energia escura, distribuída por todo o espaço”.

A teoria inflacionária acrescenta ao big bang ainda outras previsões, tais como o mecanismo que deflagrou o surgimento das galáxias, a origem da massa e energia de que o universo é feito, o sentido da seta do tempo (conforme descrição minuciosa feita por B. Greene, ob. cit.), cujos detalhes porém não são relevantes para este resumo, bastando apenas saber que ela aborda com sucesso esses tópicos.

Tendo em mente que muito do que foi dito se sustenta pela observação, enquanto outros aspectos, embora sustentados apenas pela teoria, mostram-se grandemente coerentes

com o todo que se veio construindo ao longo de quase um século de investigações; chegamos à conclusão de que o Big Bang é uma teoria não apenas engenhosa, bela e rica, mas uma descrição mais do que plausível – eu diria mesmo a única plausível – para o surgimento do cosmo.

É claro que não se responderam todas as perguntas, pois quando todas as perguntas forem respondidas a ciência como a conhecemos deixará de existir; porém atingiu-se um patamar de conhecimento que responde a muitas delas e permite avançar para níveis mais elevados, sempre com o fim de aprender mais sobre o mundo.

Bibliografia

O Big Bang, Simon Singh – Record, 2006.

A escuridão da Noite, Edward Harrison – Jorge Zahar Editor, 1995.

O despertar na Via-Láctea, T. Ferris – Editora Campus, 1990.

O tecido do cosmo, Brian Greene – Companhia das Letras, 2005.

Dobras no Tempo, George Smooth – Rocco, 1995.

Astronomia, obra em dois volumes editada pela Rio Gráfica, 1986.