

MAIS CIÊNCIA

A TEORIA DO BIG BANG

Christiano Nogueira
Cezar Cavanha Babichak

Desde a antiguidade a humanidade tem procurado encontrar uma forma de explicar como é o universo e de como deve ter sido sua origem. Um dos primeiros registros que possuímos sobre essa busca remonta da Grécia Antiga. Naquela época, uma visão que certamente influenciou muitos dos que buscavam aquela explicação foi a elaborada pelo filósofo Aristóteles. Para ele, todos os objetos que existiam no universo tinham seu movimento natural, o qual devia ser entendido como o movimento que existe quando não há nenhum movimento forçado do objeto. O movimento natural de objetos que estavam no céu (objetos celestes) era o circular, girando em torno da Terra, enquanto que o movimento natural dos objetos que estão na Terra (objetos terrestres) era o composto por uma trajetória retilínea, indo ou para cima ou para baixo da Terra. Isso porque os círculos eram, naquela época, considerados as figuras geométricas mais perfeitas que existiam. Ao mesmo tempo, considerava-se que o Céu e tudo o que há nele fossem também perfeitos. Parecia ser natural, então, considerar que esses objetos perfeitos descrevessem trajetórias perfeitas. Já com relação à Terra, sabemos (e isso também era reconhecido pelos gregos) que as coisas que existem sobre sua superfície não são perfeitas. Por exemplo, os homens brigam entre si, e também tudo aqui na Terra tem uma origem, uma meia-vida e um desaparecimento, indicando uma mutabilidade para os objetos terrestres. Essa mutabilidade indicava, para muitos pensadores daquela época, uma imperfeição, já que só é necessária uma mudança das coisas que não são perfeitas. Assim, era esperado que os objetos terrestres deveriam ter movimentos naturais diferentes dos celestes.

E havendo distinções quanto à natureza dos movimentos naturais para os objetos celestes e os terrestres, imaginava-se que também houvesse distinções quanto ao próprio material constituinte desses objetos. Foi, então, postulado¹ que os objetos que existiam na Terra eram todos compostos por apenas quatro elementos básicos: o elemento terra, o água, o ar e o fogo. Todos os objetos eram feitos desses quatro elementos e o que variava de um objeto para outro era apenas as proporções que haviam entre eles. E os elementos, acreditava-se, possuíam diferentes pesos. Quanto mais elemento terra tinha um objeto, maior era sua tendência a ir para baixo, pois este elemento tinha como lugar natural o centro da Terra, isto é, quanto mais elemento terra um objeto tivesse, mais este objeto procuraria estar lá embaixo. Quanto mais elemento

fogo um objeto tivesse, maior seria sua tendência a subir, pois o elemento fogo tinha como lugar natural a esfera sobre nossas cabeças. Os elementos água e ar eram considerados intermediários entre os elementos terra e fogo. Com isso explicava-se, por exemplo, por que uma rolha bóia na água enquanto um pedaço de metal afunda. A rolha supostamente deveria possuir mais ar e fogo do que terra, enquanto o pedaço de metal deveria ter mais terra do que os outros elementos.

Os objetos celestes, por sua vez, eram compostos por um quinto elemento, um elemento considerado perfeito e imutável, ao qual deram o nome de éter (da mesma origem da palavra "eterno"). Porém, este éter, é bom enfatizar, não tem nada a ver com o grupo de substâncias químicas que hoje conhecemos como éteres. Apenas os nomes são os mesmo, já que a química de hoje nem fala mais em elementos terra, água, fogo e ar, mas sim em carbono, hidrogênio, oxigênio, etc.

Mas, por que a Terra sempre servia como um bom referencial para analisarmos os movimentos de todos os objetos do universo? Veja que os objetos celestes sempre giram **em torno da Terra**, enquanto os objetos terrestres sempre sobem ou caem **tomando como referência a Terra**. Esperava-se, então, que a Terra fosse um objeto privilegiado para a explicação desses movimentos. E qual seria a causa desse privilégio? A resposta encontrada foi que a **Terra deveria ser o centro do universo** (o chamado sistema geocêntrico: geo = Terra; centrico = relativo ao centro). Que outro motivo seria se não fosse esse?

Na base destes raciocínios Cláudio Ptolomeu (séc. III d.C.) criou um modelo de universo plausível com a idéia de a Terra estar no centro do universo. Assim a Lua, o Sol, os planetas visíveis a olho nu que eram conhecidos na época, e a esfera celeste (esfera onde estavam presas as estrelas que parecem não movimentarem entre si) giravam em círculos em torno da Terra. Esse modelo de universo, juntamente com a Física que explicava os movimentos dos objetos, apesar de questionado por outros filósofos durante a Idade Média, durou aproximadamente 1300anos.

No século XVI o astrônomo polonês Nicolau Copérnico apresentou um sistema de universo diferente (o chamado sistema heliocêntrico: helio = Sol; centrico = relativo ao centro). Nele, a Terra e os demais planetas giravam em órbitas circulares em torno do Sol e, portanto, o Sol era considerado o centro do universo. Mas esse sistema, apesar de ser

mais simples do que o proposto por Ptolomeu, não foi amplamente aceito naquela época. Era devido ao fato de naquela época, tínhamos os modelos de Ptolomeu e de Copérnico começando a concorrer entre si. O de Ptolomeu era coerente com as explicações físicas que existiam naquela época para a existência dos movimentos naturais dos objetos (tanto os terrestres quanto os celestes). Mas o modelo de Copérnico era incoerente com aquela explicação física: se a Terra não é o centro do universo, então porque os objetos caem em direção ao seu centro? Copérnico não soube responder esta pergunta e nem conseguiu propor qualquer teoria nova que pudesse explicar a queda dos objetos aqui na Terra. Esse problema continuou insolúvel até que algum tempo depois, mesmo com poucas pessoas da academia científica crendo no sistema de Copérnico, o físico e matemático alemão Johannes Kepler conseguiu colocar novos dados nessa discussão: baseado nos dados observacionais das posições dos planetas e das estrelas obtidos pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (estes dados foram recolhidos durante aproximadamente 35 anos) conseguiu mostrar, por meio de muitos cálculos matemáticos, que o modelo que descreve a Terra e os outros planetas girando em torno do Sol podia ser levado mais a sério se fizéssemos uma pequena correção: as órbitas que os planetas descreviam ao girar em torno do Sol não eram círculos, como propunha Copérnico, mas tinham o formato de elipses, com o Sol ocupando um de seus focos e os planetas ficando numa certa época do ano um pouco mais próximos do Sol, e em outras épocas um pouco mais afastados daquele astro.

Mas a polêmica sobre o modelo mais correto para descrever os movimentos dos objetos (celestes ou terrestres) não havia terminado. A questão sobre o porquê de objetos caírem aqui na Terra persistia. Novos elementos para essa discussão foram introduzidas no século XVII, quando o físico italiano Galileu Galilei, usando pela primeira vez uma luneta para observar os astros, verificou, entre outros fatores importantes, que o planeta Júpiter possuía satélites orbitando-o. Este fato dizia que nem tudo que existe no universo tem que necessariamente girar em torno da Terra. Nota-se então que a teoria de que a Terra juntamente com os planetas orbitando o Sol começa a ser fundamentada.

Mas a grande revolução de todos esse progresso científico surgiu no final do século XVII, quando o físico inglês Isaac Newton publicou seu trabalho sobre as leis da mecânica. Neste trabalho Newton apresentou a Teoria da Gravitação Universal, que diz que dois corpos se atraem mutuamente devido ao fato de possuírem massas. Quanto maior o valor das massas de dois corpos, maior é a força de atração gravitacional entre eles. Esta atração gravitacional depende também da distância entre os dois objetos considerados: quanto mais afastados entre si estão, menor é a força entre eles. Com isso Newton dá uma

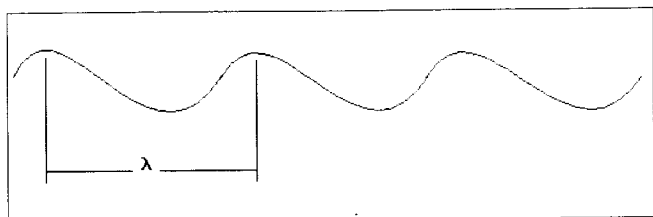
boa fundamentação teórica a respeito dos trabalhos de Brahe e Kepler, fazendo, então, com que a idéia de que a Terra e o planetas giram em torno do Sol em órbitas elípticas fosse amplamente aceita pela comunidade científica. Muitas pesquisas físicas, bem como especulações sobre a origem e a forma do universo, foram influenciadas por estas idéias de Newton.

Foram colocadas, naquele momento, novas questões que deveriam ser levadas em conta nas especulações sobre o universo. Por exemplo: se objetos que possuem massas (e acreditava-se que todos os objetos do universo possuíam essa característica) atraem-se uns os outros, então por que todas as estrelas não se atraíam mutuamente em direção a um único ponto, fazendo com que o universo se encolhesse e ficasse cada vez menor? O próprio Newton explicou que tal fato não deveria ocorrer se imaginássemos que o universo fosse infinito e a distribuição de matéria ao longo dele fosse uniforme, pois teríamos assim um número infinito de estrelas por todos os lados, fazendo com que a força gravitacional de todos os objetos se contrabalançassem, de forma que o universo estaria em equilíbrio estático. A verdade é que esta explicação de Newton ficou em aberto pois não poderia se afirmar que tal explicação era satisfatória ou não. Essa forma de imaginarmos o universo, razoavelmente homogêneo e estático, serviu de explicação por um certo tempo, até que foi divulgado um artigo científico que mostrava que se o universo fosse, de fato, infinito e imutável, então para qualquer ponto do céu que olhássemos à noite deveria vir luz de alguma estrela, fazendo com a noite fosse tão clara quanto o dia, o que de fato não ocorre. Aquele trabalho científico sugeriu, então, que o modelo de universo estático e infinito tem alguma coisa de errado. Mas qual seria o modelo correto?

Em 1915, o físico alemão Albert Einstein apresentou sua Teoria da Relatividade Geral, corrigindo a teoria da gravitação de Newton ao adaptar as leis da mecânica para novos postulados que diziam respeito ao comportamento da luz². Algumas implicações surgiram dessa teoria, entre as quais, a mais revolucionária afirma que o espaço e o tempo são interligados, isto é, que não se pode falar, como considerava Newton no seu trabalho original, em um espaço independente do tempo e vice versa. Porém, num primeiro momento em que Einstein conseguiu obter suas equações, a Teoria da Relatividade Geral implicava que o universo não deveria ser estático, e sim que o universo deveria se expandir. Mas como o próprio Einstein possuía a crença num universo estático, ele introduziu uma constante chamada Constante Cosmológica na sua teoria, fazendo com que sua equações gerassem, agora, um universo estático.

Em meados da década de 20, dois astrônomos americanos, Edwin Hubble e Vesto Slipher, descobriram um novo fenômeno relacionado à luz proveniente

de galáxias distantes. Esse fenômeno mostrava que o espectro da luz dessas galáxias tinham um deslocamento para o vermelho. A este deslocamento chamamos de efeito Doppler-Fizeau. Este efeito existe somente quando há comportamentos ondulatórios para os fenômenos em questão. E a luz, assim como o som se propagando pelo ar ou as ondas se propagando pela superfície de uma piscina, possui tal comportamento. Esse comportamento possui várias características importantes, a partir das quais podemos definir alguns parâmetros para o estudo das ondas. Um desses parâmetros é o chamado comprimento de onda de uma oscilação (λ), que é, na verdade, a distância entre os pontos mais altos de duas elevações da onda. No caso do som, o comprimento de onda está relacionado ao quão agudo ou grave é o som emitido por uma determinada fonte.



Comprimento de onda (λ) numa determinada oscilação

O efeito Doppler-Fizeau pode ser facilmente reconhecido, para o caso de ondas sonoras, quando presenciamos o movimento de uma ambulância com a sirene ligada. Quando a ambulância se aproxima de nós, o som de sua sirene parece mais agudo, e quando a ambulância se afasta de nós, seu som é mais grave. Em outras palavras, o comprimento de onda aparente do som (aquilo que nós ouvimos) é menor do que seu comprimento real (aquilo que está efetivamente saindo da sirene) quando há aproximação da fonte geradora de som. E, também, o comprimento de onda aparente do som é maior do que o real quando há o afastamento da fonte geradora de som.

No caso das ondas eletromagnéticas, o comprimento de onda nos dá um espectro que vai, a partir dos menores comprimentos de onda, dos raios gama, raios x, ultravioleta, a faixa de luz visível pelo olho humano, o infravermelho, as microondas até as ondas de rádio, com maiores comprimentos de onda. No caso da luz visível, que é somente uma faixa de todo o espectro eletromagnético, entendemos que os comprimentos de onda devam ser interpretados como a sua cor. O menor comprimento de onda visível é da cor violeta, passando para o azul, verde, amarelo, laranja e finalmente o vermelho. A luz branca existe sempre que um objeto projeta todas as cores visíveis juntas. Se em laboratório decomposmos a luz branca emitida por um gás como hidrogênio, hélio, cálcio, e outros elementos químicos observa-se que no espectro há faixas escuras, chamadas de linhas de absorção. A posição destas

ocupada pelas linhas de absorção no espectro é característico de cada elemento químico³. Ao decompor a luz das galáxias Hubble e Slipher observaram que tinham o mesmo padrão de alguns elementos químicos como observado em laboratório, mas com as linhas de absorção deslocando para o vermelho. E a explicação que propuseram para tal fato foi feita usando os conceitos do efeito Doppler-Fizeau. Como o vermelho possui maior comprimento de onda, pelo efeito Doppler-Fizeau, sugeriram que as galáxias estão se afastando da Terra. E Hubble verificou, ainda, que quanto mais afastada uma galáxia estivesse de nós, maior era o desvio para o vermelho observado, propondo, então, que quanto mais afastada de nós está uma galáxia, mais rápido ela está se afastando.

Estas explicações para aqueles dados experimentais sugeriram que o universo não era estático, e sim que estava em expansão, como se as galáxias tivessem todas partindo de um ponto em comum. Assim, a Teoria da Relatividade Geral (a original, sem a Constante Cosmológica) se encaixava perfeitamente a estas explicações.

Em 1922, o físico russo Alexandre Friedmann propôs o primeiro modelo de um universo em expansão que era tanto compatível com a Relatividade Geral quanto com as propostas de Hubble. Neste modelo Friedmann tinha como hipótese que o universo era semelhante em qualquer ponto do espaço e em qualquer direção, com as galáxias espalhando-se da mesma maneira em qualquer direção, como se tivesse partindo de um ponto em comum.

Em 1965, os engenheiros americanos Arno Penzias e Robert Wilson descobriram a radiação de fundo na faixa das microondas da radiação eletromagnética. Esta radiação de fundo vinha de todas as direções do espaço interestelar com praticamente as mesmas intensidades. Uma lei da Termodinâmica, a chamada lei de Wien da radiação de um corpo negro, diz que toda a radiação emitida por um corpo devido exclusivamente à sua temperatura tem um comprimento de onda da radiação eletromagnética na qual este corpo emite a maior parte da energia, e conhecendo-se este comprimento de onda para um certo objeto é possível determinar sua temperatura. O Sol, por exemplo, emite a maior parte de sua radiação no comprimento de onda correspondente à cor amarela. Então, pela lei de Wien, sua temperatura na superfície é em torno de 6.000°C. Uma chama de fogo amarela também tem aproximadamente este valor de temperatura, enquanto uma chama de fogo azulada tem uma temperatura em torno de 9.000°C. A radiação de fundo, encontrada por Penzias e Wilson, na faixa das microondas representa a temperatura do universo na atualidade, que é justamente o valor medido de 270,3°C negativos. E já que essa radiação vem de todas as direções do espaço com praticamente a mesma intensidade, sugere-se que o universo deve

ser homogêneo em grande escala, como no modelo proposto por Friedmann.

Em 1975, através das equações da Relatividade Geral, foi concebida a provável existência dos chamados buracos negros. Estes corpos seriam um possível estágio final de vida de estrelas gigantes que, após terem acabado seu combustível nuclear, a gravidade faria com que ela se contraísse de forma extrema, atingindo um volume inimaginavelmente pequeno, porém com uma massa que poderia atingir valores equivalentes a milhares de estrelas como o nosso Sol. Ora, com uma massa tão grande em um volume tão pequeno, um buraco negro teria uma densidade extremamente alta. A este local chamamos de singularidade, já que as leis atuais da Física não conseguem descrever o que acontece numa situação dessa⁴. A gravidade destes corpos seria tão grande que para escapar deles seria necessária uma velocidade de escape superior a velocidade da luz. Como pela Relatividade Geral nada pode superar a velocidade da luz, podemos concluir que a luz, e nem qualquer objeto existente no universo, poderia escapar de um buraco negro, daí o nome buraco negro.

A idéia de buraco negro seria o caminho inverso do que se propõem com a idéia de um universo em expansão. No buraco negro, toda a massa da estrela se contrai em um ponto em comum. Este ponto em comum seria o centro da estrela. No caso do universo, as equações, as observações e as interpretações dos fenômenos descritos acima sugerem que toda a matéria existente está se expandindo como se tivesse saído de um ponto em comum, como numa grande explosão, como num Big Bang. Assim no futuro, dependendo da quantidade de massa do universo (de certa maneira ainda acreditamos, como Newton, que quanto maior a massa de um corpo, maior será sua atração gravitacional), ele poderia seguir três caminhos diferentes. Poderia se expandir para sempre devido à explosão do Big Bang. Poderia se expandir até certo limite e ficar estacionário, para o caso de a força gravitacional se contrabalançar com a expansão do Big Bang. Ou, finalmente, o universo poderia se contrair, no caso de a força gravitacional entre seus corpos vencer a expansão do Big Bang, fazendo com que, no futuro, o universo todo se transforme num gigantesco buraco negro.

Com uma teoria de certa forma bem fundamentada (o que equivale dizer "bem aceita por grande parte da comunidade acadêmica") que é a Relatividade Geral de Einstein, e constatações experimentais como a deslocamento para o vermelho e a radiação de fundo, o modelo de um universo em expansão como proposta por Friedmann tem sido também amplamente aceito pela comunidade científica. Assim, o universo poderia ter se originado em um único ponto chamado de singularidade, como nos buracos negros, onde a densidade e a temperatura seriam altíssimas, os conceitos de espaço e tempo que conhecemos deixariam de

existir, conseqüentemente as leis da física existentes hoje falhariam, pois elas são definidas a partir do espaço e do tempo. O chamado de Big Bang, termo criado pelo físico inglês Fred Hoyle, seria uma grande explosão inicial do universo a partir de um ponto onde toda sua matéria e energia do universo estariam concentradas e depois se expandiria no decorrer do tempo (o que poderia explicar o afastamento das galáxias). A radiação de fundo seria um resquício da temperatura inicial, da ordem de 10^{12} °C, do universo e indica que à medida que o universo foi se expandindo nestes 10 a 20 bilhões de anos, ele foi se resfriando até a atual temperatura de 270,3°C negativos. Outro dado experimental é do satélite americano COBE, que significa Explorador de Fundo Cósmico, lançado em 1989, feito para detectar a radiação de fundo do Big Bang, e confirmou mais precisamente o comportamento do universo no passado.

Porém, deve-se deixar bastante claro que o Big Bang não é o único modelo de universo que existe atualmente. Ele é apenas o mais aceito pelos motivos apresentados anteriormente. Novos dados e teorias que vêm sendo descritos em artigos divulgados pela comunidade científica andam questionando as interpretações dadas para fenômenos descritos acima. Por exemplo, há algumas pesquisas que mostram que o desvio para o vermelho da luz proveniente de galáxias extremamente distantes da Terra indicam, segundo nossa interpretação atual, que essas galáxias deveriam estar se distanciando da Terra com uma velocidade muito próxima da luz. Mas quando calculamos a energia necessária para que estas galáxias tenham essa velocidade, os resultados são absurdos, mostrando que algo pode estar errado com os fundamentos da Teoria do Big Bang.

Existem, também, cientistas que defendem que o efeito do deslocamento para o vermelho pode ser devido a luz destas galáxias ficarem sujeitas à atração gravitacional, colocando em xeque a interpretação do desvio para o vermelho como causado pelo efeito Doppler-Fizeau.

E, ainda, há cálculos para a previsão teórica da temperatura do universo, feitos antes da descoberta de Penzias e Wilson, que variavam de valores de 269°C negativos a 253°C negativos. Este cálculos baseavam-se numa perspectiva de universo estático e homogêneo, mostrando que a descoberta dos autores talvez não seja realmente uma evidência do Big Bang.

Enfim, existem hoje em dia teorias, também muito bem fundamentadas, que indicam outras possibilidades para a origem e o desenvolvimento do universo. As idéias mostradas neste texto são apenas um exemplo de que na verdade ainda não sabemos muito sobre a origem e a evolução do universo. Mas, com certeza, já caminhamos bastante na tentativa de elucidar este problema. Se é que um dia realmente estaremos satisfeitos com nossas respostas à questão de onde viemos e para onde vamos.

Bibliografia

- WEINBERG, Steven (1980) - **Os três primeiros minutos**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara Dois.
- HAWKING, Stephen (1994) - **O fim da física**. Lisboa: Editora Gradiva.
- MARTINS, Roberto de A. (1994) - **O Universo: teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo, SP: Editora Moderna.
- CHASSOT, Attico (1994) - **A ciência através dos tempos**. São Paulo, SP: Editora Moderna.
- MOURÃO, Ronaldo R. F. (1995) - **Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Nova Fronteira.

Notas

1. Um postulado é uma proposta apresentada sem demonstração, admitindo-se sua plausibilidade e sem se conseguir demonstrar que a negativa desta proposta seja verdadeira.
2. Estes postulados afirmam que a luz tem velocidade de cerca de 300.000km/s no vácuo, independentemente do referencial adotado, e que nenhum objeto no mundo pode ter uma velocidade superior à velocidade da luz.
3. Este fato é um dos fundamentos da Astrofísica, a qual, entre outras coisas, procura analisar do que é feita uma estrela analisando-se a luz que delas sai e chega até a Terra.
4. Como as leis da física não descrevem o que acontece nesta região, nem mesmo a idéia de elemento químico faz sentido, somente energia.

Christiano Nogueira é Professor do Observatório Astronômico e Planetário do Colégio Estadual do Paraná, Curitiba, PR. E-mail: cnogueir@pr.gov.br

Cezar Cavanha Babichak é mestre em Educação pela FE-Unicamp, professor da Uniandrade, Curitiba, PR. E-mail: babichak@hotmail.com

✂ -----
Ficha de inscrição para o 13º COLE (preencher com letra legível)

:		
eço:		
e:	UF:	CEP:
()	cel.: ()	e-mail:
ição:		
da comunicação:		
sos necessários para a comunicação *:		
ário do 13º COLE de que deseja participar (indicação obrigatória):		
oria: () Sócio da ALB () Profissional () Estudante de graduação		
da inscrição: R\$		

* solicitação será atendida dependendo da disponibilidade.