

A TEORIA DO BIG BANG E A NATUREZA DA CIÊNCIA

Luiz H. M. Arthur¹

Luiz O. Q. Peduzzi²

Resumo: A cosmologia moderna se constituiu, ao longo do século XX até os dias atuais, como um campo bastante produtivo de pesquisa, resultando em grandes descobertas que atestam sua força explicativa. A Teoria do Big Bang, nome genérico e popular do modelo padrão da cosmologia, é provavelmente o programa de pesquisa mais ousado da física e da astronomia, ao tentar recriar a evolução de nosso universo observável. Mas diferentemente do que se poderia pensar, suas hipóteses são de um grau de refinamento e evidências corroborativas que a fazem ser nossa melhor explicação para a história de nosso cosmos. A Teoria do Big Bang se apresenta também como um excelente campo de conhecimento para se discutir questões a respeito da própria atividade científica. Nesse trabalho discutimos os principais elementos dessa teoria com um olhar epistemológico, resultando em um texto bastante útil para ser trabalhado em atividades didáticas com objetivos correlatos.

Palavras-chave: Cosmologia moderna; Teoria do Big Bang; Natureza da ciência; História e filosofia da ciência; Ensino de astronomia; Ensino de física.

LA TEORÍA DEL BIG BANG Y LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

Resumen: La cosmología moderna se constituyó, a lo largo del siglo XX y hasta nuestros días, en un campo muy productivo de investigación, lo cual resultó en importantes descubrimientos que dan fe de su poder explicativo. La Teoría del Big Bang, nombre genérico y popular del modelo estándar de la cosmología, es probablemente el programa de investigación más atrevido de la física y de la astronomía, por tratar de recrear la evolución de nuestro universo observable. Pero a diferencia de lo que se podría pensar, sus hipótesis son de un grado de refinamiento y evidencias corroborantes que hacen que sea nuestra mejor explicación de la historia de nuestro cosmos. La Teoría del Big Bang se presenta también como un excelente campo del conocimiento para discutir temas relacionados a la propia actividad científica. En este trabajo se discuten los principales elementos de esta teoría con una visión epistemológica, lo que resulta en un texto muy útil para trabajar en actividades educativas con objetivos afines.

Palabras clave: Cosmología moderna; Teoría del Big Bang; Naturaleza de la ciencia; Historia y filosofía de la ciencia; Enseñanza de la astronomía; Enseñanza de la física.

THE BIG BANG THEORY AND THE NATURE OF SCIENCE

Abstract: Modern cosmology was constituted, throughout the twentieth century to the present days, as a very productive field of research, resulting in major discoveries that attest to its explanatory power. The Big Bang Theory, the generic and popular name of the standard model of cosmology, is probably the most daring research program of physics and astronomy, trying to recreate the evolution of our observable universe. But contrary to what you might think, its conjectures are of a degree of refinement and corroborative evidence that make it our best explanation for the history of our cosmos. The Big Bang Theory is also an excellent field to discuss issues regarding the scientific activity itself. In this paper we discuss the main elements of this theory with an epistemological look, resulting in a text quite useful to work on educational activities with related goals.

Keywords: Modern cosmology; Big Bang theory; Nature of science; History and philosophy of science; Astronomy education; Physics education.

¹ Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – *campus* Jaraguá do Sul, Jaraguá do Sul, Brasil.

E-mail: <luizarthur@gmail.com>.

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Física, Florianópolis, Brasil.

E-mail: <luiz.peduzzi@ufsc.br>.

1 Introdução

O céu tem um papel especial na história do conhecimento humano. Em épocas remotas servia de palco para todos os deuses, que traziam o Sol, o trovão, a chuva que inundava as terras tão vitais para os povos antigos. Hoje precisamos de menos deuses para explicar as bases da natureza, mas a cosmologia tem sido um campo de disputas científicas e filosóficas. Derivada da palavra grega *kosmos* (universo), a cosmologia, entendida hoje como o estudo da origem, estrutura e evolução do universo, foi precursora de toda nossa filosofia, uma vez que foi olhando para o céu que o homem passou a indagar sobre sua própria existência. Muitos destes questionamentos levaram às religiões e também à nossa ciência.

Mas, ao mesmo tempo em que é fonte prolífica de pesquisas em nossos dias, a cosmologia ainda é pouco discutida, mesmo nos cursos regulares de graduação. Se os pré-requisitos específicos para sua efetiva compreensão são muitos, acreditamos que uma discussão fenomenológica, histórica e filosófica desse tema está ao alcance de todos os que buscam saber mais sobre como chegamos aonde chegamos. E, talvez ainda mais importante, como sabemos que o que sabemos está “correto” ou, melhor, validado pela comunidade de pesquisadores. Esses e outros questionamentos podem ser bastante esclarecedores do nível de incerteza a que estamos sujeitos, e ilustrativos de como a atividade científica, mesmo sem operar com certezas, pode produzir tantos resultados significativos. Para isso, temos que pensar um pouco melhor nas questões epistemológicas, nos processos de obtenção e validação do conhecimento científico.

Mais do que fornecer meras respostas e fatos, queremos contribuir para uma maior reflexão da atividade científica. Trazer elementos que façam concordarmos e também discordarmos sobre o que é ou o que pensamos ser a origem do cosmos.

A teoria do Big Bang faz suas apostas, ao propor um início “explosivo” para o universo a cerca de 13,8 bilhões de anos atrás, mas não é a única. Pelo menos atualmente, é a teoria cosmológica mais citada nos meios científicos, com fortes argumentos ao seu favor, embora frequentemente remeta o estudante a errôneas concepções sobre sua natureza, a começar pela difundida ideia de que se trata de uma explosão que se expande através do espaço.

Ainda, pela falta de elementos históricos sobre a questão, a teoria faz surgir questionamentos do tipo “e como é que você sabe? Você estava lá para ver?”. Isso é ilustrativo do quanto é surreal, para a maioria das pessoas, pretender saber algo como a “origem do universo”. Ainda mais quando dizemos que conhecemos como ele era, e as evidências que ele nos deixou disto. E evidências constatadas ou, como um entusiasta menos informado sobre a natureza da ciência gostaria de dizer, *provadas!* Para entendermos efetivamente como o Big Bang ultrapassa, em muito, a mera conjectura tantas vezes recebida com descrédito, precisamos entender o porquê de nossas concepções a seu respeito. Em suma, conhecer o que nos levou à sua proposição:

Ao nos aproximarmos do final do milênio, a cosmologia vive um maravilhoso período de criatividade, uma idade do ouro em que novas observações e novas teorias estão ampliando espantosamente nosso entendimento – e perplexidade – do universo. *Mas essa idade do ouro*

*atual só pode ser bem entendida à luz do que aconteceu antes*³
(SMOOT, 1995, p. 12).

Por isso é tão importante que abordemos a questão de uma maneira evolutiva⁴, no sentido de compreender como nosso olhar sobre o universo foi se alterando frente às novas teorizações que tinham como objetivo sua explicação. Mas, e isto é muito importante, precisamos compreender que uma teoria só se mostra eficaz quando admite mais consequências passíveis de verificação do que meras explicações de fatos já conhecidos. Daí a importância em acompanhar os fatos com uma lanterna epistemológica, para percebermos que nosso entendimento do Big Bang não é uma tentativa, entre muitas, de apenas interpretar o que observamos. É, muito antes disto, um programa de pesquisa grávido de previsões empiricamente constatadas, e com um grande grau de explicação e coerência interna, sendo uma consequência direta de duas das teorias de maior sucesso explicativo já produzidas pelo homem, diga-se, a Teoria Geral da Relatividade e a Mecânica Quântica. Mas outras possibilidades foram sugeridas para o universo, e ao pensar sobre as possíveis alternativas, acreditamos que o aluno estará mais próximo da rica atividade científica.

Ao discorrermos sobre a natureza da pesquisa científica e a saudável competição entre teorias ou conjunto de ideias rivais, usaremos a filosofia de Imre Lakatos (1922-1974) como aporte teórico. Nascido na Hungria, Lakatos estudou matemática e física, doutorando-se posteriormente em filosofia pela universidade de Cambridge. Debateu a natureza da pesquisa científica com os mais importantes filósofos da ciência de sua época, entre eles Thomas S. Kuhn (1922 - 1996) e Paul Feyerabend (1924 - 1994), ambos doutores em física.

A pesquisa científica ou, no jargão de Lakatos, o *programa de pesquisa científica*, oculta características sutis sobre o desenvolvimento das teorias que merecem uma discussão potencialmente esclarecedora de como opera a ciência. Se é difícil defini-la categoricamente, pelo menos podemos delimitar sua atuação e caracterizar seus intentos. E esta é uma das grandes características da filosofia da ciência que se pretende abordar aqui, diga-se, servir de aporte à construção racional da atividade do cientista, com o constante cuidado de não se perder de vista a historicidade (LAKATOS, 1979).

Além de ser destinado a qualquer pessoa interessada nessas questões, esse texto se apresenta como um interessante e compromissado apoio didático ao professor que pretende trabalhar com os elementos do fazer ciência em sala de aula, enfrentando, por exemplo, aspectos relacionados a uma visão inadequada da atividade científica (ver, por exemplo, Silveira e Ostermann, 2002, Fernández et al., 2002, Silveira e Peduzzi, 2006).

³ Grifo nosso.

⁴ Tratar toda a evolução da cosmologia seria um *tour de force* que foge às possibilidades de um artigo, do qual delimitamos nosso escopo: da transição entre as gravitações, newtoniana e einsteiniana, ao Big Bang.

2 A Metodologia dos Programas de Pesquisa e a Cosmologia

“[...] a construção – bem planejada – de compartimentos há de prosseguir muito mais depressa do que o registro de fatos que devem ser guardados neles”⁵

A epígrafe acima ilustra uma característica da teoria científica que, embora bem conhecida pelos filósofos da ciência, ainda se mostra tímida para o aluno e até mesmo para muitos cientistas. De modo provocativo, Lakatos já tinha sugerido que “a maioria dos cientistas tende a entender um pouco mais de ciência do que os peixes de hidrodinâmica” (1979, p. 182).

A teoria, ou série de teorias, como veremos, deve exceder em conteúdo o que sabemos empiricamente, de tal modo que a experimentação, em princípio, não é o que nos traz novo conhecimento, mas sim o que nos diz qual conhecimento conjectural *pré-existente* deve ser relevado em detrimento de outro. E ao realizar o experimento o cientista deve, ou deveria, tratar a questão com ceticismo. Sintetizando o pensamento de Popper, epistemólogo cujas ideias também serão discutidas adiante, Lakatos coloca: “A honestidade intelectual consiste antes em tentar especificar precisamente as condições em que uma pessoa está disposta a renunciar à sua posição” (LAKATOS, 1979, p. 111).

George Smoot, um dos cientistas diretamente envolvidos com pesquisas contemporâneas sobre a cosmologia, na Conferência Nobel de 2006 resumiu esta postura na pesquisa com o ruído cósmico de fundo, uma das principais evidências da Teoria do Big Bang, como veremos, ao sugerir que o cientista pesquisador deve ter duas atitudes frente à questão:

(1) ser cético e testar cuidadosamente para ver se ela não se trata da radiação relíquia do Big Bang e (2) assumir que é a radiação relíquia e tem as propriedades esperadas e procurar pelos pequenos desvios e a informação que pode revelar sobre o universo⁶ (SMOOT, NOBEL LECTURE, 2006, p. 4).

George Smoot obteve seu Ph.D. no MIT (Massachusetts Institute of Technology) em 1970, indo trabalhar em seguida como pesquisador em Berkeley ao lado de Luis Alvarez, Nobel de física de 1968. Lecionando nesta mesma instituição, Smoot, como é atualmente também um dos laureados com o Nobel, brinca que agora, talvez, os alunos prestem mais atenção às suas aulas. Mas os caminhos que levam um cientista ao reconhecimento são tortuosos, como bem lembra o conhecido comentário de Einstein de que sucesso só vem antes de suor no dicionário. E o sucesso de uma teoria não existiria sem seu contraponto, ou seja, sem uma dinâmica em que outras concepções científicas opositoras fossem relevadas em determinado momento. Para compreender isto é interessante perceber que mesmo o termo *teoria*, no singular, talvez não seja adequado sob um olhar mais atento da dinâmica da ciência.

⁵ Lakatos (1979, p. 234).

⁶ Tradução livre da referida leitura Nobel.

Embora geralmente possamos nos referir a uma teoria específica, na prática ela não se apresenta como uma ideia isolada e imutável desde sua proposta inicial. Há, justamente, uma superposição de conceitos que podem preexistir à teoria, encontrando-se então para formar seu corpo central. Mesmo após isto, o que temos é uma série de ajustes, subtrações e acréscimos que, se pode ser chamada no singular de “teoria”, o é em um sentido sintético. A ciência fica mais bem caracterizada por uma série de teorias em sucessão e concorrência, juntamente com hipóteses auxiliares que as complementam e as protegem, e não como teorias fechadas em si mesmas e sem relação umas com as outras.

É uma sucessão de teorias e não uma teoria determinada que se avalia como científica ou pseudocientífica. Mas os elementos dessa série de teorias costumam estar ligados por notável continuidade, que os solda em programas de pesquisa (LAKATOS, 1979, p. 161).

Quando uma nova teoria é proposta, o é baseada em um conjunto de preceitos que são, inicialmente, tomados como não atacáveis. É esta rigidez que propiciará à teoria uma chance de mostrar seu valor, antes que se comece a rever sua estrutura ponto a ponto. De fato, vemos que historicamente grande parte de nossas mais bem-sucedidas teorias não teria sobrevivido se as tivéssemos abandonado assim que surgiu uma anomalia, uma inadequação entre o previsto e o constatado.

As ideias de Galileu referentes ao sistema solar, por exemplo, foram refutadas com sucesso (para os refutadores da época) diante da impropriedade cometida ao se retirar a Terra do centro do sistema, uma vez que as observações diretas davam respaldo ao geocentrismo⁷ (ver, por exemplo, REDONDI, 1989). Não fosse Galileu (e Kepler, e Newton...) sustentar a ideia de uma Terra em movimento mesmo diante das evidências tão prontamente explicitadas pelo sistema geocêntrico, e teríamos certamente esperado mais algum tempo até o surgimento de um sistema heliocêntrico bem fundamentado.

Este conhecimento tomado como certo *a priori*, o que Lakatos chama de *núcleo firme* de um programa de pesquisa (1979), que não é questionado por decisão metodológica, é o que permite ao cientista uma relativa liberdade de pesquisa, sem que precise a todo instante rever as bases do conhecimento que está sendo construído. Aqui temos a característica da ciência mais prontamente associável ao dogma, uma vez que seu *modus operandi* se reveste de uma natureza inquestionável, mas não deveríamos levar esta característica dogmática longe demais. O cientista, embora possa proceder de uma forma dogmática, o faz temporariamente, apenas enquanto sabe não ser preciso uma maior preocupação com as estruturas de base da sua teoria. Mesmo Thomas Kuhn, um dos responsáveis em caracterizar a ciência como um sistema de adesões mais ou menos subjetivas pelo cientista, coloca que:

Embora a investigação susceptível de ter êxito requeira uma adesão profunda ao status quo, a inovação continua a ocupar uma posição central. Os cientistas são treinados para funcionar como

⁷ A referida impropriedade não foi apenas de origem científica. Seus críticos também eram fortemente influenciados por razões religiosas (REDONDI, 1989).

solucionadores de puzzles⁸ dentro de regras estabelecidas, mas são também ensinados a considerar-se eles próprios como exploradores e inventores que não conhecem outras regras além das ditadas pela natureza (KUHN, 1979, p. 78).

O papel do núcleo firme é fundamental no desenvolvimento de um programa de pesquisa, pois permite a investigação dos elementos periféricos e gerais do programa, permitindo um máximo de aproveitamento de suas potencialidades antes de promover um ataque mais sério aos seus fundamentos.

Esse “núcleo” é “irrefutável” por decisão metodológica de seus protagonistas: as anomalias só devem conduzir a mudanças no “cinturão protetor” da hipótese auxiliar, “observacional” e das “condições iniciais” (LAKATOS, 1979, p. 163).

Cinturão protetor, como será melhor explicado mais adiante, refere-se ao conjunto de estratégias que impedem um ataque direto ao núcleo firme. Esta forma de proceder permitiu progressos significativos em nossas teorias, como no caso da mecânica newtoniana aplicada ao sistema solar. Segundo esta teoria, as órbitas dos planetas podiam (e podem) ser determinadas com um excelente grau de precisão, o que foi ratificado pelas observações. Mas Urano apresentava diferenças entre a órbita observada e a prevista pela teoria newtoniana. Pois uma boa maneira de acabar com uma das maiores teorias já produzidas pelo intelecto humano seria justamente acreditar que estivesse terminantemente errada por não concordar com os “fatos”:

[...] quando foi observado pelos newtonianos que a órbita prevista para Urano era discordante com as observações astronômicas, eles não consideraram que a Mecânica Newtoniana estivesse refutada; Adams e Le Verrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido – o planeta Netuno – e, portanto, não levado em consideração na órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno, orientando os astrônomos para a realização de novas observações que, finalmente, confirmaram a existência do novo planeta (SILVEIRA, 1996, p. 221).

Pode parecer estranho em uma primeira leitura, mas seria inclusive leviano descartar de imediato a teoria por sua discordância com o fato observado. O mero dado empírico tem uma importância menor na escolha entre teorias, escolha esta que exige elementos de racionalidade que independam de um único evento, como uma observação. Um conjunto maior de fatores deve estar em questão, que melhor situem a observação, o dado empírico, em relação às teorias concorrentes.

No presente caso, a teoria newtoniana já tinha demonstrado seu valor antes, para o caso de outros planetas anteriores a Urano. Por isso as anomalias devem ser

⁸ “Quebra-cabeças”. O termo não foi traduzido na fonte citada.

estudadas com cautela, para não se abandonar precocemente um programa de pesquisa que pode (como foi o caso) se mostrar muito promissor. A procura dos motivos das anomalias é um processo importante no amadurecimento das teorias, processo este que permite que muitos resultados novos sejam engendrados.

Segundo Lakatos, uma teoria não teria tempo de mostrar seu poder explicativo se fosse descartada logo que surgisse uma anomalia. Esta precisa ser estudada sob o foco norteador do programa de pesquisa vigente, reforçando-o ou contribuindo para o surgimento de outra teoria mais bem estruturada e de maior conteúdo de verdade, preferencialmente ao mesmo tempo em que outras teorias seguem o mesmo caminho de forma concomitante.

O processo de “proteção” à teoria em um programa de pesquisa é o que Lakatos (1979) denominou de “cinturão protetor”, um conjunto de hipóteses e teorias auxiliares que permitem que a teoria sobreviva enquanto for possível, através da “heurística negativa”, que proíbe o ataque direto ao núcleo firme. O esforço para se alterar e refinar o cinturão protetor é associado à “heurística positiva”, que permite ainda identificar quais elementos estão sujeitos a refutações. Nas palavras de Lakatos:

A heurística negativa especifica o “núcleo” do programa, que é “irrefutável” por decisão metodológica dos seus protagonistas; a heurística positiva consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as “variantes refutáveis” do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável” (LAKATOS, 1979, p. 165).

Esta dinâmica pode se dar de modo “progressivo”, quando permite um maior conteúdo explicativo e preditivo, ou de modo “regressivo” à teoria em questão. A explicação para a órbita discordante de Urano por meio da sugestão da existência de outro planeta, Netuno, é um exemplo ilustrativo do alcance e da eficácia do cinturão protetor de um programa de pesquisa que, neste caso, acentuou o caráter progressivo do programa newtoniano.

Mas chega o momento onde o programa não consegue mais se manter progressivo. Por exemplo, ainda sobre a mecânica newtoniana, no final do século dezenove foram constatadas anomalias sutis na órbita do planeta Mercúrio, mas suficientes para colocar a teoria newtoniana novamente em cheque. Da mesma forma que anteriormente, chegou-se a especular a existência de um planeta em suas vizinhanças, mas, infelizmente para os defensores de Newton, este planeta nunca foi encontrado. A referida anomalia, uma pequena diferença entre o periélio previsto para Mercúrio e o periélio realmente observado, só foi resolvida por uma teoria de maior sucesso explicativo, no caso a Teoria Geral da Relatividade.

A progressão ou regressão do programa poderá caracterizar ainda a escolha entre teorias concorrentes e, embora alguns cientistas possam continuar defendendo sua teoria mesmo diante de questões mais bem formuladas e respondidas por outra teoria, a ciência continuará em seu curso inexoravelmente evolutivo. O apego particular do cientista a uma teoria é uma questão humana que certamente ocorrerá algumas vezes, mas:

[...] Lakatos deixa claro que a preferência de uma teoria sobre outra deve se dar em termos racionais. Assim, em uma situação de concorrência deve ficar evidente o caráter progressivo do ‘novo’ programa (através de sua capacidade explicativa e poder preditivo) e a fase regressiva ou degenerativa de seu rival (onde se acentuam as inconsistências e abundam as explicações *ad-hoc*) (PEDUZZI, 2005, p. 547).

Foi o que aconteceu com o caso de Mercúrio, onde explicações *ad-hoc*⁹ fizeram a teoria newtoniana “degenerar”, uma vez que não suportava os novos dados observados, enquanto a teoria einsteiniana da gravitação (Relatividade Geral) apresentou um programa de pesquisa progressivo. É importante lembrar que a teoria einsteiniana não surgiu das observações referentes à citada anomalia, mas sim *posteriormente* foi ratificado por ela, o que está de acordo com os critérios de Lakatos para que um programa de pesquisa supere outro, com a explicação de inconsistências da teoria suplantada.

3 O excedente de conteúdo da Relatividade Geral e o Big Bang

O novo programa proposto pela relatividade gerou uma consequência recusada mesmo por Einstein, seu proponente, que inclui em sua teoria uma das mais famosas hipóteses *ad-hoc* da ciência. Sua teoria, que havia superado a mecânica newtoniana, *exigia* que o universo não fosse estático, o que ia de encontro aos seus anseios. Uma vez que o universo, segundo a sua teoria, estava sob influência da curvatura do espaço (ver Figura 1), deveria então colapsar pela mútua atração gravitacional caso não houvesse uma espécie de força contrária à gravidade.

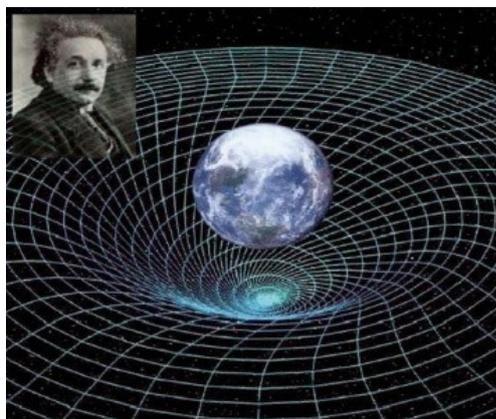


Figura 1 - O espaço curvo. Segundo a teoria einsteiniana da gravitação, a gravidade é o resultado da curvatura do espaço gerada pela presença de massa.

Fonte: <science.nasa.gov>.

⁹ Embora possa ser empregado com mais de um significado, o termo *ad-hoc* é utilizado, neste texto, em seu sentido mais comum que se refere à atitude recorrente, na ciência, de se acrescentar um argumento que reforça o que se quer mostrar, mas *a posteriori* e sem nenhum motivo maior que a simples adequação da teoria com o que se pretende.

Assim, uma vez que o universo existe (esperamos), claramente deveria haver um termo adicional nas equações da relatividade, que veio a ser conhecido como “constante cosmológica”. Esta constante consistia em uma espécie de “anti-gravidade” que contrabalançava o colapso previsto pela ação da curvatura do espaço, fazendo com que a estrutura do universo ficasse estática.

Aqui temos uma ilustração de como opera o cinturão protetor, que evita ataques diretos à teoria. A introdução desta constante satisfaz a heurística negativa do programa ao manter as coisas como se deseja, impedindo que a teoria seja descartada prontamente. De uma maneira ou de outra, ainda que tenha sido uma hipótese *ad-hoc* com o intuito de salvar uma ideologia, acabou sendo algo positivo à relatividade ao permitir a sobrevivência da teoria mesmo diante de elementos contraditórios.

A ideologia em questão, a necessidade de um universo estático e imutável, não era algo novo. Newton já manifestava o mesmo desejo ao propor um espaço absoluto e eterno. E agora uma criação sua, de Einstein, obtida de forma tão sofrida ao longo de uma década, tão bonita e promissora, dava indícios de um universo em expansão.

Na verdade, as equações também informavam que o Universo poderia estar encolhendo com uma contração uniforme do espaço, mas a única coisa que as equações não permitiam era a possibilidade de um Universo estático, imutável e eterno (GRIBBIN, 1995, p. 10).

Pobre Einstein ao perceber que sua teoria, tão bem fundamentada, levava necessariamente a um universo dinâmico¹⁰! Este era um excesso de conteúdo indesejável, mas fundamental para a teoria no seu futuro.

A ciência não tem problemas com hipóteses *ad-hoc* quando mantêm a teoria progressiva, desde que mais cedo ou mais tarde elas sejam justificadas e explicadas. Mas este não foi o caso aqui. Com o referido excesso de conteúdo (a previsão de um universo dinâmico) oculto na teoria de Einstein, não haveria como promover futuras pesquisas para manter sua progressão.

De fato, foi necessário que observações paralelas mostrassem que a referida hipótese *ad-hoc* era degenerativa à teoria, o que aconteceu em 1929, quando Edwin Hubble constatou que as galáxias se afastavam umas das outras por meio de seu *redshift* (desvio para o vermelho). Quando as galáxias se afastam do observador, sua luz é deslocada para o lado vermelho do espectro eletromagnético (Figura 2). Este desvio, conhecido apropriadamente como *redshift*, é dado pela razão:

$$z = \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e}$$

¹⁰ Assim como a possibilidade de um universo que se encolhe, outras possibilidades, resultado de diferentes soluções das equações de Einstein, foram propostas pelos cientistas. O modelo padrão da cosmologia, hegemônico na atual comunidade científica, é uma das soluções possíveis (a que metodologicamente tem se adotado como a mais progressiva). Outros exemplos de soluções são o modelo inhomogêneo de Lemaitre-Tolman-Bondi e os modelos anisotrópicos de Bianchi (ver, por exemplo, KRAGH, 1999).

onde λ_o é o comprimento de onda observado e λ_e é o comprimento de onda emitido (LONGAIR, 1984, p. 321).

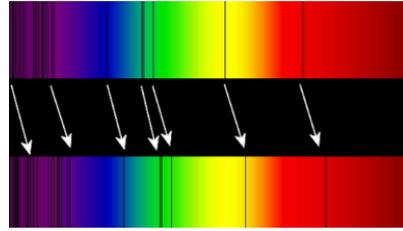


Figura 2 – Desvio para o vermelho - As linhas de emissão (ou absorção) do espectro das galáxias observadas tendem a ser desviadas para o vermelho, ou seja, têm um aumento em seu comprimento de onda.
Fonte: Las Cumbres Observatory, LCOGT.net.

Hubble propôs então uma relação entre as distâncias das galáxias (obtidas por meio da já conhecida relação entre o período e a luminosidade de estrelas especiais denominadas de variáveis cefeidas) e seus respectivos *redshifts*, o que ficou conhecido como Lei de Hubble.

Como, a partir do *redshift* pode-se inferir a velocidade da galáxia, posteriormente foi possível estabelecer uma relação matemática entre distância e velocidade das galáxias pesquisadas por Hubble (Figura 3). A constante de proporcionalidade entre a distância e a velocidade é chamada de constante de Hubble (H_0), dada pela função linear $v = H_0 \cdot r$.

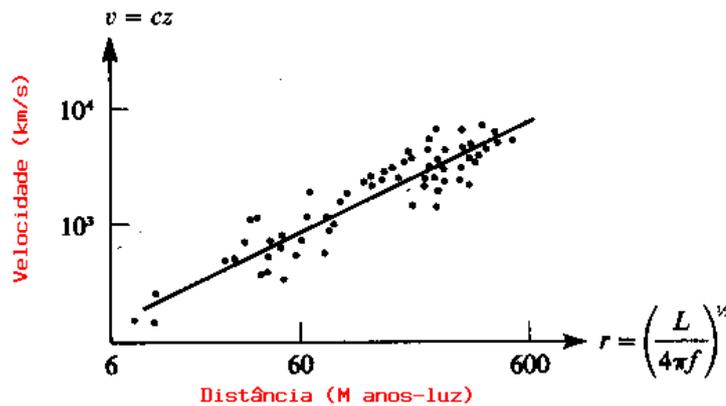


Figura 3 – A consequência da Lei de Hubble - Segundo suas observações, as galáxias se afastam mutuamente com uma velocidade proporcional à distância entre elas.
Fonte: Instituto de Física, UFRGS.

Como a grande maioria de galáxias observadas apresentava um desvio para o vermelho, Hubble deu à comunidade científica uma evidência de um universo em expansão, que fez Einstein voltar atrás em sua ideologia de um universo estático.

Einstein ficou muito desapontado consigo mesmo quando soube das evidências empíricas de um universo em expansão, por não permitir que isto fosse o resultado de uma previsão de sua teoria, e sim uma conclusão vinda de fora dela. Ele mesmo se referiu à sua constante cosmológica como a maior asneira de sua vida, mas, para sua

satisfação, como sua teoria da relatividade *sem* a referida constante estava perfeitamente de acordo com as observações de Hubble, acabou se mostrando um programa de pesquisa de sucesso. Era como se a teoria estivesse sempre correta, não fosse a infeliz intromissão de seu criador.

4 O Big Bang e seu principal rival

Assim que foi constatada a recessão das galáxias, naturalmente foi sugerido que elas estavam, então, mais próximas umas das outras no passado, mas os detalhes teóricos de um universo em expansão vieram antes disto. Em 1922, Alexander Friedmann estava na direção correta ao obter soluções das equações da relatividade geral para um universo dinâmico, que foram inclusive criticadas por Einstein que, como vimos, não gostava da ideia. No mesmo ano, Einstein chegou a publicar uma nota onde afirmava que o trabalho de Friedmann estava incorreto. “Contudo, um ano depois admitiu seu erro e reconheceu a existência de soluções variáveis no tempo, como defendido no trabalho de Friedmann” (WAGA, 2005, p. 159). Mas o trabalho de Friedmann era essencialmente matemático e com propriedades físicas pouco discutidas. “Friedmann descobriu a possibilidade de um universo em expansão, mas não a *expansão do universo*” (WAGA, 2005, p. 159).

Mas a ideia de um universo finito no tempo não demorou a surgir, e seu precursor foi o padre e astrônomo Georges Lemaître. Estudante de astronomia em Cambridge e em Harvard, Lemaître estava bem atualizado em relação às implicações da teoria da relatividade de Einstein, e em 1925 obteve, de modo independente¹¹, equações equivalentes às de Friedmann (WAGA, 2005). Mas, ao contrário deste, desenvolveu uma teoria física consistente denominada, por ele, de “átomo primordial”, nome provavelmente influenciado pelos recentes estudos da mecânica quântica, teoria que estava na ordem do dia (SMOOT, 1995). A partir da aceitação de um universo em expansão, a teoria do átomo primordial sustentava que todo o atual universo adveio de um único átomo em um instante no passado.

Mas foi George Gamow¹² quem levou a teoria do Big Bang ao status de um programa de pesquisa, como veremos na sequência, ao promover, ao lado de seu colaborador Ralph Alpher, um consistente quadro para a teoria, com minuciosos cálculos que mostravam as características de um suposto universo primevo surgido em um instante definido.

Gamow e Alpher publicaram¹³ seus resultados no final da década de 1940 e, em um artigo subsequente, Alpher e seu colaborador Robert Herman mostraram que a energia existente nos instantes iniciais do universo deixá-lo-ia com uma temperatura de muitos bilhões de graus, sendo gradualmente resfriado com a expansão do espaço.

¹¹ Só em 1927, em uma conversa com Einstein, Lemaître tomou conhecimento do trabalho de Friedmann (WAGA, 2005).

¹² Gamow planejara ter Friedmann como seu orientador, o que acabou não ocorrendo devido à inesperada morte de Friedmann em setembro de 1925 (WAGA, 2005).

¹³ Gamow, de grande senso de humor, acrescentou o físico Hans Bethe como coautor do artigo, conseguindo assim que o trabalho fosse conhecido como “Alpher, Bethe, Gamow”, alusão à alfa, beta e gama” (SMOOT, 1995).

A partir dos estudos de Friedmann com as equações de Einstein, que previam um universo que se expande *não* através de um espaço pré-existente, mas o “esticando” à medida em que se expande conforme a estrutura geométrica do espaço-tempo (ver figura 4), Alpher e Herman calcularam que a radiação oriunda do processo inicial da formação dos primeiros núcleos atômicos deveria permear todo o atual universo, com uma temperatura de 5K.

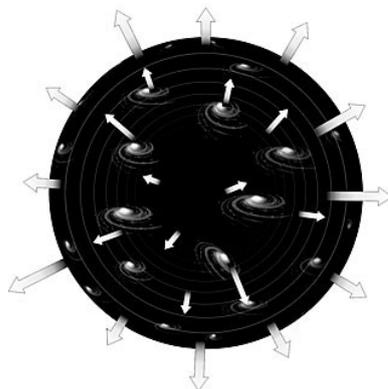


Figura 4 – Espaço em expansão. Segundo a relatividade geral, o universo não se expande em um espaço pré-existente, mas o “estica” na medida em que se expande.

Fonte: Astroex.org.

Ao preverem uma característica em princípio mensurável para o universo atual, Gamow, Alpher e Herman tinham produzido então um excesso de conteúdo que faria da teoria do Big Bang um importante programa de pesquisa para os próximos pesquisadores. Mas, como o esperado na ciência, a teoria¹⁴ do Big Bang não estava só.

Ainda por esta época de 1940, Fred Hoyle propôs sua Teoria do Universo Estacionário, que não admitia um universo finito no tempo, surgido de uma “grande explosão”¹⁵, mas sim um universo infinito no tempo que mantém globalmente sua estrutura. O interesse de Hoyle em cosmologia, segundo Smoot, provavelmente foi estimulado pelos escritos de divulgação científica de Arthur Eddington, que podem ter influenciado sua conjectura:

É bem possível que tenha prestado atenção no tolo e arrogante comentário de Eddington de que “a noção de um começo para a atual

¹⁴ Embora estejamos caracterizando a teoria do Big Bang como um *programa de pesquisa*, continuamos a usar o termo “*teoria*”, por sua popularidade. Tecnicamente o Big Bang é associado a um modelo para o universo, resultado da Teoria da Relatividade de Einstein. Mas Bunge, por exemplo (1973, p. 53 e 56) usa o termo *objeto modelo* para se referir à imagem do sistema real estudado, e *modelo teórico* para se referir à *teoria especial* ou *específica* que busca explicar o objeto modelo. “[...] um modelo teórico [é] uma teoria especial que cobre uma espécie limitada em vez de um gênero extenso de sistemas físicos” (BUNGE, 1973, p. 53). Deste modo, o modelo do Big Bang pode ser associado a uma teoria específica dentro da Teoria da Relatividade (e também da Mecânica Quântica, quando se trata dos instantes iniciais do universo), cuja dinâmica pode ser ilustrada por meio de um programa de pesquisa segundo os elementos da epistemologia de Lakatos.

¹⁵ A expressão Big Bang foi criada por Hoyle, inicialmente como uma forma irônica de se referir à teoria de um universo criado em um instante determinado, de Lemaître e Gamow.

ordem da natureza me é repugnante”¹⁶; talvez essas palavras tenham inspirado Hoyle, inconscientemente, a dedicar sua vida a combater a concepção de que o cosmos começou num certo ponto do tempo, com um big-bang. Ele preferia a visão de Aristóteles, mil anos antes: o universo sempre existiu e sempre existirá (SMOOT, 1995, p. 78).

Hoyle atribuía à teoria do Big Bang a ideia de um surgimento ao acaso para o universo, e definitivamente não gostava disto: “[...] tenho de dizer que quando olho para ele, não parece acaso para mim” (Fred Hoyle, em Meyers, 2004). O que também o motivou a se opor à teoria do Big Bang foi o fato de que a constante de Hubble, quando foi proposta inicialmente, tinha um alto valor que fazia com que a idade do universo fosse de apenas dois bilhões de anos (Longair, 1984, p. 327), o que contradizia a idade já então conhecida para a Terra, de cerca de quatro bilhões e meio de anos. Esta incoerência o levou, juntamente com dois pesquisadores, Bondi e Gold, a postular um certo *princípio cosmológico perfeito*, onde o universo se apresentaria com as mesmas características para todos os observadores em todas as épocas (LONGAIR, 1984, p. 327).

Ao longo dos questionamentos a respeito do cosmos, encontramos diferentes princípios metafísicos que nortearam a maneira pelo qual as teorias foram sendo propostas e defendidas.

O princípio copernicano, que sugere que não existem observadores privilegiados no universo (RIBEIRO, 2013, p. 6), que já tinha sido a base metafísica de um dos postulados da relatividade restrita de Einstein, passa a ser um dos princípios que possibilitam pensarmos em uma cosmologia, pois do contrário nossas perscrutações não seriam universalmente representativas ao limitar o universo segundo um viés privilegiado.

O princípio cosmológico, segundo o qual o universo é essencialmente homogêneo e, portanto, qualquer observador poderia ter acesso às mesmas estruturas do cosmos, soma-se ao copernicano como aporte à nossa cosmologia moderna.

Já o princípio cosmológico perfeito traz uma ênfase à constância temporal da homogeneidade do universo, sendo então a base metafísica para o universo estacionário de Hoyle e colaboradores¹⁷.

Para fazer concordar esta sua conjectura com as observações já então muito bem conhecidas de um universo em expansão, Hoyle sugeriu que, ao se expandir, novas galáxias eram criadas para ocupar o lugar deixado pela expansão, mantendo assim uma estrutura constante para o universo. Para isto, é claro, novos átomos de hidrogênio deveriam ser constantemente criados para formar as estrelas.

¹⁶ Ironicamente, Eddington foi um grande responsável pela aceitação da teoria do Big Bang, ajudando na divulgação dos escritos de Lemaître. Inicialmente não gostou do que lera, mas Eddington se retratou ao acompanhar a evolução da teoria, mandando o manuscrito de Lemaître para a tradução do francês para o inglês, publicando-o em seguida nos anais da Royal Astronomical Society (SMOOT, 1995).

¹⁷ Deste modo, percebemos que os princípios copernicano e cosmológico são também uma base metafísica para os proponentes do universo estacionário, mas o princípio cosmológico perfeito é antagonico à proposição de um universo dinâmico em expansão.

Em princípio isto poderia ser visto como algo muito subjetivo e conjectural e, portanto, sem valor para a ciência, mas seu valor heurístico não deveria ser subestimado uma vez que também trazia uma boa explicação do que era observado. O próprio Hoyle argumentou que a suave e constante criação de matéria era menos absurda que *toda* a matéria do universo criada em um determinado instante. Ainda, do seu lado havia o fato de que seu modelo era “matematicamente muito mais elegante que o modelo do big bang” (LONGAIR, 1984, p. 328).

Como as duas teorias, Big Bang e Universo Estacionário, explicavam o universo cada uma a sua maneira, a opção por uma delas não seria feita de forma rápida e definitiva.

Na década de 1950, a escolha de uma dessas teorias era uma questão que dependia do preconceito de cada um. Filosoficamente, é mais difícil aceitar que a matéria é criada continuamente em pequenas porções no Universo ou que toda a matéria de todas as estrelas e galáxias tenha sido criada em um único momento? (GRIBBIN, 1995, p. x¹⁸).

Mas na ciência não se pode manter as coisas como uma mera escolha. Já vimos que, segundo Lakatos, isto tem que acontecer de forma racional, com a preferência pelo programa de pesquisa progressivo em detrimento do programa com características regressivas. Já vimos também que devemos ter em conta que o simples embate com os dados observacionais não garante a refutação de uma teoria, sendo necessária a existência de outra para ocupar o seu lugar. “Não se trata de propormos uma teoria e a Natureza poder gritar NÃO; trata-se de propormos um emaranhado de teorias, e a Natureza poder gritar INCOMPATÍVEIS” (LAKATOS, 1979, p. 159).

Essa pluralidade é mesmo desejada na ciência. Se o nosso conhecimento científico progride através dos programas de pesquisa, é a partir da pluralidade que surgem as oportunidades para escolhermos os caminhos mais adequados para prosseguirmos, rejeitando com mais segurança as teorias degeneradas. De fato, Lakatos coloca que

Seria um erro supor que precisamos conservar um programa de pesquisa até que se tenha esgotado toda a sua força heurística, que não devemos apresentar um programa rival antes de haverem todos concordado em que foi provavelmente atingido o ponto de degeneração (LAKATOS, 1979, p. 190).

E como então escolhemos entre as duas teorias? De maneira simples, podemos dizer que se pode rejeitar um programa com uma razão objetiva, “proporcionada por um programa de pesquisa rival que explica o êxito anterior de seu rival e o suplanta por uma demonstração adicional de *força heurística*” (LAKATOS, 1979, p. 191).

¹⁸ Página “10” de uma seção do livro numerada em romanos.

Força heurística refere-se à força de um programa de pesquisa em antecipar fatos novos em seu crescimento, seja em aspectos empíricos (fenômenos não conhecidos) ou aspectos estruturais da teoria em si, como coesão, coerência e novas relações entre os conceitos da teoria¹⁹.

E aqui os seguidores de Hoyle parecem ficar para trás. Além do alto preço a pagar por sua elegância matemática, “a introdução de uma física totalmente nova – a contínua criação de matéria” (LONGAIR, 1984, p. 328), que se apresentou como uma hipótese *ad-hoc* degenerativa, a teoria do universo estacionário não conseguiu lidar com a evolução dos objetos astronômicos, bem conhecida na época por meio da evolução galáctica. Mas provavelmente o principal motivo de seu abandono foi justamente a sua falta de acordo com a previsão de uma radiação residual permeando todo o universo. “As cosmologias que não incluem o Big Bang não apresentaram qualquer interpretação alternativa plausível para o *fundo de radiação*²⁰” (SILK, 1988, p. 321).

O golpe realmente fatal para a teoria [do estado estacionário] foi a radiação de fundo em microondas. Não há origem natural para esta radiação no panorama do universo estacionário e nele não existe fontes que poderiam produzir o espectro de Planck da radiação e sua grande densidade de energia. De outro lado, estas propriedades encontram uma explicação natural no cenário do big bang como o vemos no momento (LONGAIR, 1984, p. 328).

Portanto, o ruído cósmico de fundo, sob o quadro teórico da cosmologia do Big Bang, seria o principal elemento decisório na escolha entre as duas teorias²¹. Como veremos, as pesquisas que seriam realizadas a partir da década de 1960 mostrariam que o programa de pesquisa do Big Bang é progressivo a ponto de prever pequenas variações no ruído cósmico de fundo, só verificadas com modernos equipamentos radioscópicos instalados em satélites.

5 O ruído

Embora fosse prevista pela Teoria do Big Bang, desde a década de 1940, uma radiação permeando todo o universo observável, esta só seria realmente captada em 1965. Quando os trabalhos de Gamow, Alpher e Herman propuseram um valor de cerca de 5K para sua temperatura, eles acharam que não seria possível medi-la na época. Já na década de 1960, físicos da Universidade de Princeton, liderados por Robert Dicke, estavam montando uma antena para realizar efetivamente as medições do esperado

¹⁹ A epistemologia de Lakatos é, em alguns pontos, precedida por outros autores. Particularmente interessante é o pensamento de Ludwig Boltzmann a esse respeito. O conceito de força heurística de Lakatos, por exemplo, pode ser antevisto em algumas de suas ideias. “Seu ponto de vista essencial estava na utilidade dos modelos em produzir novas ideias e novos conceitos” (CERCIGNANI, 2006, p. 186).

²⁰ Grifo nosso. “Fundo de radiação”, aqui, parece ser um termo mal traduzido de “radiação de fundo”.

²¹ Naturalmente, não foi o dado empírico em si, e sim o dado à luz da teoria, de acordo com os preceitos de Lakatos.

ruído que, com os cálculos atualizados, deveria se apresentar como uma radiação na faixa de microondas com temperatura em torno de 3K.

Foi quando dois radioastrônomos, Arno Penzias e Robert Wilson, trabalhando em uma antena para comunicações via satélite, desenvolvida nos laboratórios Bell, perceberam um excesso de ruído em seus equipamentos. Todos os sinais captados, em todas as direções, estavam inexplicadamente acrescidos de um ruído de cerca de 3K, o que os levou a realizar várias manutenções no equipamento até se convencerem de que o ruído era real, e não um defeito da antena. De início, os referidos radioastrônomos não sabiam do que se tratava, até que outro pesquisador, Bernard Burke, sugeriu que o sinal podia ser de origem cosmológica, pois se lembrara de um colega que tinha dito alguma coisa sobre uma “radiação de fundo” ao ir a uma palestra de James Peebles, cientista que trabalhava com Dicke (WEINBERG, 1987). Burke então os aconselhou a contatarem a equipe de Robert Dicke.

É possível imaginar a reação de Dicke ao atender ao telefone e ouvir que a radiação que ele mesmo estava buscando fora captada de forma acidental.

O resultado foi uma reportagem de primeira página no *New York Times* de 21 de maio de 1965, anunciando que finalmente haviam sido encontradas evidências poderosas a favor do big-bang²². Wilson comentou que não avaliara a importância da descoberta até ler a notícia na primeira página do *Times* (SMOOT, 1995, p. 94).²³

Sem saberem, Penzias e Wilson já tinham entrado para a história da cosmologia por terem tropeçado no ruído. E haviam desferido, assim, um duro golpe na teoria do universo estacionário, pois a radiação captada tinha as mesmas características previstas pela teoria do Big Bang.

Percebemos então que a teoria do universo estacionário não foi colocada em cheque por sua (falta de) previsão. E sim porque sua rival apresentou uma força heurística maior, prevendo características que foram constatadas posteriormente, reforçando a teoria do Big Bang. Mas seu caráter progressivo não pararia por aí.

O ruído captado por Penzias e Wilson era aparentemente uniforme em todas as direções do espaço, o que era compatível com um sinal genuinamente cosmológico, de origem extragaláctica. Mas esta uniformidade era também um problema para a teoria do Big Bang. Pois se o ruído fosse realmente uniforme, a teoria previa que não seria possível o surgimento das galáxias como as conhecemos, com a abundância constatada de hidrogênio e hélio prevista e explicada por ela. Como existem galáxias, temos então uma anomalia a ser resolvida. Como vimos, seria ingênuo refutar prematuramente a teoria pela sua inadequação com os (supostos) fatos. Mas a anomalia seria resolvida sem recursos a elementos *ad-hoc*, o que tornou a teoria ainda mais forte, ao se admitir que o ruído efetivamente não era uniforme.

²² Mantivemos a expressão do texto original citado, “big bang”, embora preferimos “Big Bang”, em letras maiúsculas, ao longo do texto.

²³ Esta referência ao *Times* é apenas uma curiosidade jocosa a respeito da importância da captação da radiação de fundo. Evidentemente, não é por meio de jornais que ocorre a massiva troca de informações entre os cientistas.

De fato, desde a constatação empírica da radiação cósmica de fundo, cientistas passaram a se concentrar em equipamentos cada vez mais precisos e sensíveis com o intuito de verificar as pequenas variações previstas para a radiação, resultado de diminutas dobras na estrutura do espaço-tempo do universo primevo.

A teoria do Big Bang estava em cheque, uma vez que só admitia o surgimento das galáxias caso existissem as referidas dobras. “As dobras eram *sementes* onde a matéria foi se depositando gradualmente até formar as estruturas atuais” (SMOOT, 1995, p. 178). E, após alguns primeiros experimentos ainda mais sensíveis que os propiciados pela antena de Penzias e Wilson, nenhum sinal das variações foi encontrado.

A radiação cósmica de fundo, até onde nós ou outros fomos capazes de determinar, era completamente suave em todas as direções. Isto pode significar ou que as teorias dos cosmólogos estavam totalmente erradas, ou que ninguém se esforçou o bastante para encontrar as sementes (Smoot, 1995, p. 168).

Felizmente para a teoria, George Smoot estava disposto a “se esforçar o bastante” para encontrar as dobras, que seriam identificadas por variações da ordem de uma parte em 100 mil na radiação cósmica de fundo. Não seria fácil. Mas a confiança do cientista no núcleo firme do programa o compele a continuar, enquanto isto representar um programa de pesquisa progressivo. E não seriam os primeiros resultados negativos que afetariam esta confiança.

Como bem lembra Lakatos, “[...] a teoria *específica* poderá sempre ser mantida, digam o que disserem os testes” (1979, p. 123). A menos, é claro, que existisse outra teoria que suportasse um universo em expansão, ao mesmo tempo em que admitisse uma radiação cósmica de fundo com as características já constadas, juntamente com a *ausência* de dobras, ou seja, uma radiação perfeitamente uniforme. Não havia. Era compreensível então que se buscassem as diminutas variações, não obstante as dificuldades intrínsecas à empreitada:

Estávamos procurando por variações mínimas nas temperaturas suaves do fundo, algo inferior a uma parte em 100 mil – algo como localizar um cisco de poeira numa superfície lisa como um ringue de patinação. E, exatamente como um ringue de patinação, haveria muitas irregularidades na superfície que nada teriam a ver com aquelas que procurávamos (SMOOT, 1995, p. 264).

Depois de quase duas décadas de extensas pesquisas para captar as perseguidas variações, com equipamentos supersensíveis transportados em balões atmosféricos, missões com o avião espião U2, exaustivos projetos de engenharia para seu transporte ao espaço via foguetes e, finalmente, o uso de um satélite subsidiado pela NASA

lançado em 1989 (o satélite COBE²⁴), em 1992 obtiveram-se os primeiros relances das dobras.

Não antes de uma pequena passada de Smoot e sua equipe pela Antártida, sob um frio insuportável, doenças e imprevistos de sobra, para se obterem mapas mais atualizados das fontes de radiação da galáxia. Estes mapas eram essenciais para se discernir o ruído real de outras fontes, uma vez que a radiação captada estava sob um grande espectro de emissões naturais advindas de toda a galáxia, o que poderia confundir a análise dos dados. O espaço seria o lugar ideal para se realizar este mapeamento, mas por estas alturas ninguém aprovaria uma nova missão com o objetivo de realizar medidas de radiação com o único intuito de atualizar dados já existentes.

Por suas condições de altitude, clima e extensas regiões planas, somadas ao fato de haverem precárias medições da radiação galáctica no extremo sul do planeta, a Antártida era a melhor alternativa para se realizar estas medidas, o que foi feito com expectativas que faziam ferver o sangue dos pesquisadores.

6 O reforço da teoria

Depois de exaustivas análises para certificar a real constatação das variações procuradas na radiação cósmica de fundo, em abril de 1992 foram apresentados seis artigos no encontro da American Physical Society que relatavam as conclusões da pesquisa de Smoot. Os dados obtidos tinham grande concordância com o previsto (ver Figura 5).

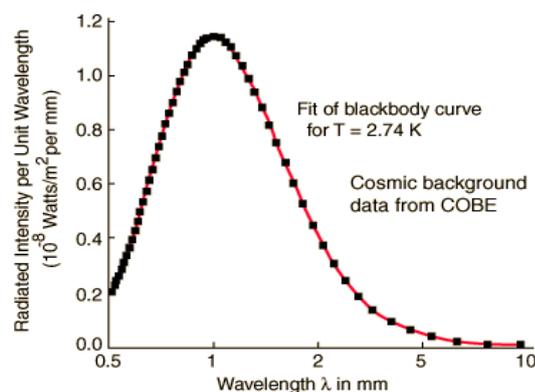


Figura 5 – Dados do COBE. A figura mostra os pontos empíricos sobrepostos à curva teórica para o espectro do ruído cósmico de fundo.
Fonte: HyperPhysics, George State University.

Além da impecável concordância entre os valores previstos e medidos para o espectro do ruído cósmico de fundo, os dados do COBE corroboravam as variações previstas pelo programa de pesquisa do Big Bang. Assim, a teoria tinha recebido um grande reforço.

²⁴ Sigla que dá nome ao equipamento de detecção das dobras: **CO**smic **B**ackground **E**xplorer (explorador do ruído cósmico de fundo).

[...] a mensagem dos nossos resultados – mensagem que proporcionou tanto alívio aos cosmólogos naquela manhã de abril – era clara. Fred Hoyle afirmou certa vez que a teoria do big-bang era falha porque não podia explicar a formação primordial das galáxias. *Os resultados do COBE provam que ele estava errado*²⁵. A existência das dobras no tempo, como as vemos, nos mostra que a teoria do big-bang, incorporando o efeito da gravidade, pode explicar não só a formação primitiva das galáxias, mas também a agregação, nesses 15 bilhões de anos, de estruturas massivas que sabemos estar presentes no universo de hoje, o que é um triunfo para a teoria e a observação (SMOOT, 1995, p. 310).

Assim como Smoot, muitos cientistas chegaram a falar em *prova*, mas desde Popper sabemos que as coisas não são assim tão simples. Karl Popper (1902-1994), talvez o filósofo da ciência de maior influência no século XX, chamou a atenção para uma das características mais importantes da ciência, chegando mesmo a servir como critério de demarcação entre ciência e pseudociência: a falseabilidade. Segundo este critério, uma teoria científica deve ser potencialmente falseável, com procedimentos de refutação passíveis de serem repetidos por qualquer cientista. Coloca Popper:

[...] não exigirei que um sistema científico seja suscetível de ser dado como válido, de uma vez por todas, em sentido positivo; exigirei, porém, que sua forma lógica seja tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em sentido negativo: *deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema científico empírico* (POPPER, 1993, p. 42).

Se a teoria não é falseada, por uma predição que é confirmada, por exemplo, a teoria não estará *provada*, mas apenas *corroborada*. Ou seja, embora possa haver elementos para refutar metodologicamente uma teoria, nunca há elementos o bastante para prová-la. Popper usa, efetivamente, a noção de *prova*, mas simplesmente como procedimento de teste e não, como habitualmente é feito, como algo terminantemente decidido. Lakatos, por sua vez, vai adiante ao propor a necessidade metodológica de se manter um programa de pesquisa pelo maior tempo possível, evitando a sua refutação prematura e inconsequente. Claro, uma teoria (e seu programa) estará tão corroborada quanto maior for o fracasso das tentativas de refutá-la:

Na medida em que a teoria resista a provas pormenorizadas e severas, e não seja suplantada por outra, no curso do progresso científico, poderemos dizer que ela “comprovou sua qualidade” ou foi “*corroborada*” pela experiência passada (POPPER, 1993, p. 34).

Vemos então que, para Popper, uma teoria se fortalece com a experiência ratificadora, embora possa ser falsificada, uma vez que se aceite metodologicamente sua

²⁵ Grifo nosso.

refutação. Por meio da caracterização do cinturão protetor, Lakatos estende o falseacionismo de Popper para que uma refutação não seja imputada prematuramente, ainda que não tenha o mesmo tipo de preocupação deste último, uma vez que sua análise se aporta no embate entre programas rivais, e não nas idiossincrasias de uma teoria, como faz Popper.

Assim, embora não seja provada, a cada novo reforço da teoria, resultado claro de um programa progressivo de pesquisa na terminologia de Lakatos, esta vai se distanciando de possíveis outras teorias que não conseguem o mesmo feito, degenerando-se em relação a ela.

A teoria do Big Bang ainda está em progressão e, em 2003, outro satélite, o WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)²⁶, obteve novas e ainda mais precisas medidas da radiação de fundo (ver Figura 6), em busca de polarizações previstas para a radiação (Smoot, 2006). Em uma bateria de dados obtidos neste ano de 2003 e outra realizada em 2006, foi constatado que “os resultados suportam fortemente o modelo do Big Bang”²⁷.

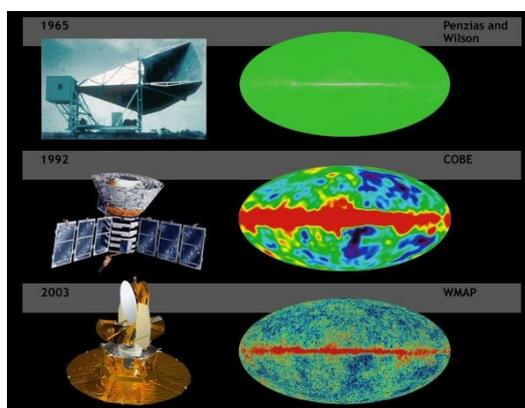


Figura 6 – Quadro comparativo do espectro de potência – padrão obtido a partir do ruído cósmico de fundo. Percebe-se o grau crescente de resolução desde a medida acidental de Penzias e Wilson, passando pelo COBE até o WMAP. O espectro de potência relaciona o valor das variações de temperatura do ruído com o tamanho das manchas quentes e frias do céu observável (HU & WHITE, 2004). O padrão obtido com o espectro de potência do ruído cósmico de fundo é a principal ligação entre nosso universo atual e sua estrutura primordial.

Fonte: NASA.gov

Muitos poderiam se dar por satisfeitos, mas a ciência é uma eterna busca por precisões e certezas que, se não existem filosoficamente, ao menos existem enquanto um eixo da verdade eternamente perseguido pela assíntota da perscrutação científica.

Em 2009 foi lançado o satélite Planck, assim batizado em homenagem ao físico alemão Max Planck, precursor da Teoria Quântica que suporta o Big Bang, ao lado da Relatividade Geral. Nesta missão foram realizadas medidas ainda mais precisas da anisotropia do ruído cósmico de fundo, entre outras medições que mostram, por

²⁶ Sonda de anisotropia de microondas Wilkinson. Anisotropia se refere às flutuações de densidade do ruído cósmico de fundo, as dobras no espaço-tempo identificadas pelas variações na radiação.

²⁷ “[...] the results strongly support the inflationary Big Bang models” (SMOOT, 2006, p. 45).

exemplo, que a idade de nosso universo observável é um pouco maior do que se achava anteriormente, cerca de 13,8 bilhões de anos (ESA, 2015).

Os esforços atuais com as pesquisas em cosmologia, entre estes o satélite Planck e o LHC (Large Hadron Collider), buscam ainda elucidar alguns aspectos mais excêntricos a respeito da constituição do universo, conhecidos atualmente como matéria escura e energia escura, hipóteses *ad-hoc* que precisam de uma explicação.

A matéria escura é exigida, entre outros, para possibilitar, por sua gravidade, que as galáxias tenham a dinâmica observada sem serem destroçadas por sua própria rotação (SMOOT, 1995), ou seja, aparentemente existe mais matéria no universo do que aquela diretamente percebida. E a fantástica constatação de que o universo está atualmente em expansão acelerada torna necessária a existência de uma energia estranha, de origem desconhecida, a *energia escura* (ver Figura 7). “Simulações mostram que tanto a matéria quanto a energia escura são necessárias para obter as estruturas de larga escala observadas no Universo real” (CONSELICE, 2007, p. 36).

Inclusive, o modelo padrão da cosmologia atual, que denominamos comumente por Big Bang, é conhecido entre os pesquisadores por “modelo inflacionário lambda de matéria escura fria”. Particularmente interessante é este termo “lambda”, que se refere à energia escura ou, pasmem, à constante cosmológica²⁸. Esta denominação do que conhecemos mais popularmente por teoria do Big Bang é derivada “de suas três componentes mais importantes: o processo de inflação²⁹, a quantidade denominada constante cosmológica, simbolizada pela letra grega lambda, e partículas invisíveis chamadas de matéria escura fria” (STARKMAN & SCHWARZ, 2005, p. 32).

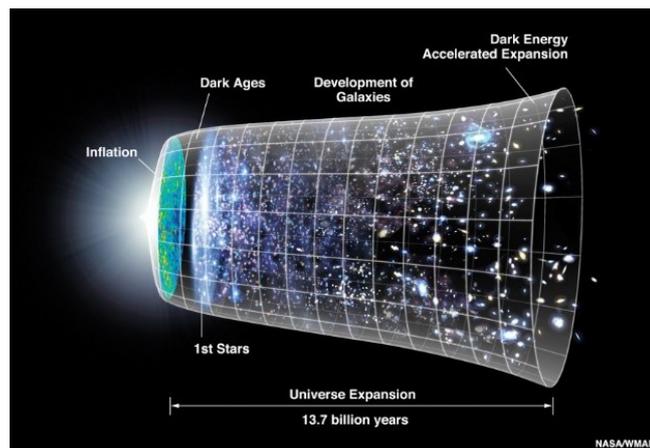


Figura 7 – Evolução do universo. O gráfico mostra os principais momentos da evolução do universo, segundo a teoria do Big Bang. Percebe-se, à direita, um aumento em sua taxa de expansão, que os teóricos do Big Bang associam a uma energia de origem ainda desconhecida, a *energia escura*.

Fonte: NASA.gov.

²⁸ Como já comentado, existem outras soluções das equações de Einstein, sendo que existem atualmente pesquisas que procuram outras possibilidades com uma singularidade inicial (o Big Bang), sem que uma constante cosmológica seja necessária.

²⁹ Inflação se refere ao estágio da expansão espaço-temporal do universo primordial, onde a taxa de aceleração se elevou consideravelmente a partir de um campo denominado *inflaton* (BENNETT *et al*, 2002, HU & WHITE, 2004).

Se isto não nos habilita dizer que a teoria é provada, ao menos nos regozija em saber o quão perto podemos chegar, com nossas teorias, de um efetivo entendimento do universo, a ponto de prevermos oscilações tão ínfimas da ordem de uma parte em centenas de milhares. E, quando estas oscilações são efetivamente constatadas, fica difícil não acharmos que tocamos a verdade. George Smoot³⁰ resume esta ideia:

A simplicidade e a simetria crescentes do universo, à medida que nos aproximamos do momento da criação, me dão esperanças de que possamos entender o universo utilizando os poderes da razão e da filosofia. O universo seria então compreensível, como Einstein um dia sonhou (1995, p. 315).

Einstein não foi o único. A constatação de que o universo existe e nossos anseios de que pode ser compreensível formam, talvez, o mais importante esteio de nossa ciência.

7 Epílogo

Sendo o Big Bang caracterizado como um programa de pesquisa, precisamos recapitular alguns elementos chaves deste programa: qual seu núcleo firme? O que pode ser caracterizado como cinturão protetor? Embora já tenhamos discutido alguma coisa a este respeito ao longo do texto, é conveniente fazermos aqui uma associação mais explícita.

O Big Bang parte da premissa de que as galáxias estão em um mútuo afastamento, segundo as previsões da Relatividade Geral, sendo as assertivas subsequentes dependentes desta primeira. Logo, podemos identificar aqui o núcleo firme: *o universo está em expansão*. Como consequência, o movimento de recessão das galáxias é que produz o desvio para o vermelho observado, aonde o comprimento de onda da luz que nos chega é desviado para a extremidade vermelha do espectro eletromagnético.

Como vimos anteriormente, foi analisando o espectro de estrelas e galáxias que Hubble chegou à sua relação entre distância x velocidade de recessão, informando-nos de que a maioria das galáxias está se afastando de nós. Ou seja, quanto mais afastada a galáxia, maior sua velocidade e, conseqüentemente, maior o desvio para o vermelho constatado.

Assim, qualquer tentativa de se interpretar este desvio por outros meios certamente será contornada pelos adeptos do programa, como aconteceu quando Arp sugeriu outras possibilidades para o observado. A sugestão de uma mera sobreposição

³⁰ George Smoot recebeu, por suas pesquisas com a radiação cósmica de fundo, o Nobel de Física de 2006, ao lado de John Mather, seu colaborador. Arno Penzias e Robert Wilson também receberam o Nobel por pesquisas com a radiação, o que contribuiu para que a teoria do Big Bang se tornasse o modelo padrão da cosmologia atual. Em 2011 outros três prêmios foram concedidos aos pesquisadores do WMAP, Saul Perlmutter, Adam Riess e Brian Schmidt, pela descoberta da expansão acelerada no universo.

de imagens, como os cosmólogos fizeram do Big Bang para contornar as dificuldades de se explicar os diferentes desvios para o vermelho de galáxias e quasares supostamente vizinhos, é claramente um recurso que protege a suposição básica de que o desvio para o vermelho é devido à expansão do espaço.

Como hipótese auxiliar mais bem formulada, segundo a caracterização do cinturão protetor, tem as “entidades escuras”, com o claro papel de proteger o núcleo firme. Sua necessidade se torna patente frente às observações que, em princípio, violam preceitos tidos como não atacáveis, como a Relatividade Geral (expansão espaço-temporal), base da teoria do Big Bang.

Isto leva à necessidade de hipóteses *ad-hoc* para garantir que o programa sobreviva frente às anomalias, o que pode também ser caracterizado como uma heurística positiva ao permitir que a teoria possa ser testada, a partir da pesquisa para se validar as hipóteses. No caso, a efetiva detecção da energia e da matéria escura.

Em relação aos elementos que denotam o excesso de conteúdo, exigido para um programa progressivo de pesquisa, podemos certamente nos reportar ao ruído cósmico de fundo, ainda que existam alternativas de interpretação que sugerem ser simplesmente a temperatura média do meio intergaláctico (ARP, 2001; ASSIS e NEVES, 1995).

Mas, lembrando, as dobras pesquisadas por Smoot levam este excesso de conteúdo a um novo patamar de precisão que, como constatado pelos satélites COBE, WMAP e Planck, reforçam o programa de pesquisa do Big Bang. Programas concorrentes, como o de Fred Hoyle, foram metodologicamente colocados em uma posição regressiva ao não conseguirem produzir o mesmo feito.

Esta dinâmica entre programas rivais é essencial para o saudável crescimento de nossa ciência, ratificando as intenções de Lakatos para a estrutura da pesquisa científica. Mostramos a seguir como formulações mais recentes da noção de um universo estacionário constituem-se como uma oposição à teoria do Big Bang, explicitando a natureza competitiva entre teorias concorrentes.

Vimos que, para Lakatos, o embate entre teorias rivais à luz de seus respectivos programas se dá racionalmente no campo da heurística positiva, onde a teoria com características degenerativas é metodologicamente suplantada pela de características progressivas. Encontramos, em Popper, um reforço destas ideias:

Com efeito, uma teoria que mereceu ampla corroboração só pode ceder passo a uma teoria de maior alto grau de universalidade, ou seja, a uma teoria passível de submeter-se a melhores testes e que, além disso, *abranja* a teoria anterior e bem corroborada – ou, pelo menos, algo que se lhe aproxime muito (POPPER, 1993, p. 303).

Mas se Lakatos admite uma reconstrução racional para a história da ciência, Popper é mais reticente a este respeito, colocando esta reconstrução como algo *a posteriori*, algo que não é intrínseco à atividade científica.

Na medida em que o cientista aprecie criticamente, altere ou rejeite sua própria inspiração, poderemos, se o desejarmos, encarar a análise metodológica levada a efeito como um tipo de “reconstrução racional” dos correspondentes processos mentais. Sem embargo, essa reconstrução não apresentaria tais processos como realmente ocorrem – ela pode apenas dar um esqueleto lógico do processo de prova. Contudo, talvez seja isso o que pretendem dizer aqueles que falam de uma “reconstrução racional” das maneiras pelas quais adquirimos conhecimento (POPPER, 1993, p. 32).

Concordamos, aqui, que o processo de gênese das ideias científicas é um terreno arenoso, ao qual talvez nunca tenhamos acesso direto. Mas se é difícil conhecer as maneiras de pensar do cientista, e suas idiossincrasias são singulares e diversas, ao menos podemos construir um sentido lógico e racional, como queria Lakatos, para um panorama elucidativo do que venha a ser ciência.

Popper parecia estar ciente destas complicações, abstendo-se de maiores discussões sobre o “contexto da descoberta”. Inclusive, coloca que: “Minha maneira de ver pode ser expressa na afirmativa de que toda descoberta encerra um “elemento irracional” ou “uma intuição criadora” [...]” (POPPER, 1993, p. 32).

Isto não o impediu de traçar as características já comentadas que, segundo ele, independem inteiramente desses problemas (POPPER, 1993). Diferenças à parte, Popper e Lakatos são bastante categóricos em relação à dinâmica inconclusiva da ciência. De fato, Popper coloca que “O jogo da ciência é, em princípio, interminável. Quem decida, um dia, que os enunciados científicos não mais exigem prova, e podem ser vistos como definitivamente verificados, retira-se do jogo” (POPPER, 1993, p. 56).

Assim, temos que o embate entre ideias concorrentes é, não só importante característica da evolução de nosso conhecimento, segundo a dinâmica descrita por Lakatos, como processo vital para o “jogo”, nos termos de Popper. Ainda, os dois filósofos “consideram o avanço da ciência, apesar de parcial e provisório, um dado inquestionável, no sentido de que as teorias mais recentes são objetivamente melhores do que as mais antigas” (VILLANI, 2001, p. 176).

Por estas razões deveríamos ficar atentos às tentativas de elevar o Big Bang a uma categoria factual, no sentido de ser a resposta única e definitiva para o que observamos. Pois se é, efetivamente, uma boa explicação para o universo, precisa responder e lidar com questões colocadas por cientistas trabalhando em linhas de pesquisa heterodoxas. Por exemplo, apesar do que já foi discutido sobre a degeneração da teoria do universo estacionário, esta ainda é defendida em épocas recentes por alguns cientistas, como Halton Arp, falecido recentemente (1927 – 2013).

Cientista do Instituto Max Planck, na Alemanha, Arp pesquisou galáxias por pelo menos três décadas, o que lhe permitiu produzir o Atlas de Galáxias Peculiares (ARP, 1966), importante fonte de consulta mesmo pelos teóricos de outras linhas de pesquisa. Arp sugeria que existem algumas estruturas no universo que parecem contrariar um universo em expansão.

Após estudar exaustivamente um grande número de galáxias, ele descobriu que muitas delas aparentemente têm uma ligação física direta com objetos como quasares,

objetos de observação pontual com alto desvio para o vermelho e intensa emissão de raios-X³¹.

Ora, se um quasar tem um alto desvio para o vermelho, pelas constatações de Hubble isto significa que ele também está muito longe. E aí estaria o disparate: as observações de Arp mostram que os quasares parecem estar muito próximos e conectados fisicamente, através de uma fraca nebulosidade (ver Figura 8), com galáxias de desvio para o vermelho muito menor, o que sugere que eles estão em um plano de observação (ver Figuras 9 e 10) que, segundo a lei de Hubble, é impossível. Objetos de diferentes desvios para o vermelho, de acordo com a cosmologia tradicional, *devem* estar a diferentes distâncias do observador.

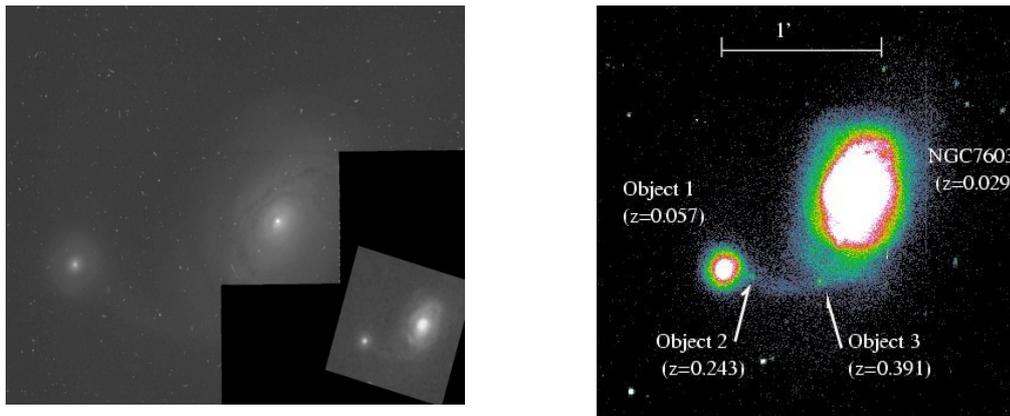


Figura 8 – Galáxia NGC 7603. Na foto à esquerda, vemos o sistema com dois tratamentos de imagem, e na direita a imagem tratada por computador, mostrando uma suposta ligação entre a galáxia e os quasares em suas proximidades.

Fonte: The Quasars.org catalogue.

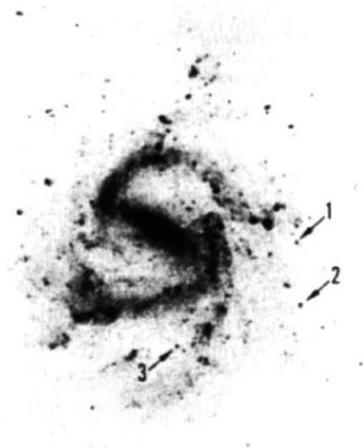


Figura 9 – Galáxia NGC 1073. Os pontos 1, 2 e 3 são quasares com alto desvio para o vermelho, nas vizinhanças de uma galáxia com baixo desvio para o vermelho.

Fonte: (ARP, 1966).

³¹ Arp vai ainda mais longe, sugerindo que estes quasares foram ejetados da galáxia companheira, sendo eles mesmos uma espécie de protogaláxia (ARP, 2001).

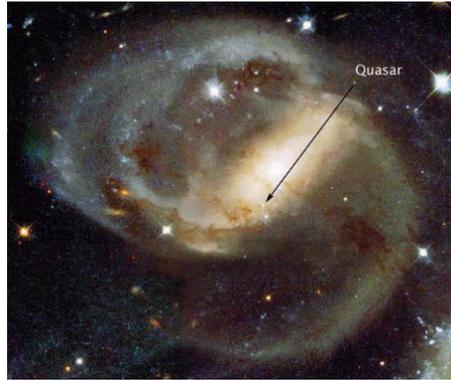


Figura 10 - Galáxia NGC 7319. Indicação de um quasar em uma galáxia com desvio para o vermelho menor.
Fonte: Electric-Cosmos.org.

Evidentemente, um contra-argumento que imediatamente surge está relacionado com a simples sobreposição de imagens, dando a impressão de estarem no mesmo plano, quando realmente estão muito distantes entre si.

Exames rápidos de fotografias de galáxias remotas frequentemente revelam estrelas muito brilhantes em nossa própria Via Láctea que são vistas em projeção contra uma galáxia de fundo. Mesmo se vissemos tal estrela na ponta de um braço espiral da galáxia distante, jamais suporíamos que essa estrela tivesse sido recentemente ejetada da galáxia distante (SILK, 1988, p. 320).

Joseph Silk, professor de astronomia em Berkeley, na década de 1980 sugeriu que “se uma escala contínua em avermelhamento puder ser medida ao longo de um jato de gás ligando uma galáxia de pequeno avermelhamento a um quasar de alto avermelhamento, então Arp terá sido redimido” (SILK, 1988, p. 320). Longair, professor de física teórica em Cambridge, também foi comedido ao dizer que, apesar de não haver maiores corroborações à conjectura de Arp, “não devemos excluir a possibilidade de que observações cosmológicas possam nos dizer algo profundamente original e inesperado sobre a física fundamental” (LONGAIR, 1984, p. 330). Mas o fato é que não houve nenhuma corroboração para uma ligação física entre uma galáxia e um quasar³², o que, mais uma vez, torna a teoria do Big Bang uma melhor explicação para nosso universo.

Mas é prudente não colocar possíveis explicações iconoclastas no limbo acadêmico. Lakatos, Popper e outros³³ deixaram claro que sempre é possível resgatar uma teoria (programa de pesquisa, no caso de Lakatos) de suas derrotas, embora

³² E, mesmo com uma ligação direta, outras possibilidades poderiam ocorrer sem que se viole um universo em expansão, como o efeito produzido por um buraco negro: “as raias características de cada elemento que se encontrar nas proximidades de um campo gravitacional forte serão encontradas deslocadas das suas frequências originais, na direção de menores frequências ou maiores comprimentos de onda” (BERGMANN et. al, 2009).

³³ Para maiores reflexões sobre como uma ideia pode ser mantida haja o que houver o livro *Contra o Método* pode ser interessante (FEYERABEND, 1977).

segundo Lakatos não antes de a teoria vigente perder sua força heurística, o que não é o caso da teoria do Big Bang.

Mas há, aqui, um ponto interessante. O modelo padrão da cosmologia é uma explicação hegemônica do que supostamente é observado pelos telescópios mundo afora, com inúmeras publicações a respeito. Mas, se é que a história pode nos ensinar algo, é que as certezas residem em terreno pouco firme. De fato, Lakatos e Popper insistiram na eterna disputa entre teorias:

[...] a *continuidade* na ciência, a *tenacidade* de algumas teorias, a racionalidade de certa dose de dogmatismo só poderão ser explicados se interpretarmos a ciência como um campo de batalha onde pelem programas de pesquisa muito mais do que teorias isoladas (LAKATOS, 1979, p. 216).

De forma interessante, o influente cientista Ludwig Boltzmann tinha algumas concepções correlatas e complementares:

Boltzmann acreditava que os mesmos fenômenos naturais podem ser descritos e explicados de maneiras diferentes a partir da adoção de perspectivas não só distintas e complementares, mas até mesmo excludentes (RIBEIRO, 2013, p. 17).

Segundo o próprio:

[...] não pode ser a nossa tarefa encontrar uma teoria absolutamente correta, mas sim uma imagem que é tão simples quanto possível e que representa os fenômenos da forma mais acurada possível. [...] A afirmação de que uma dada teoria é a única correta só pode expressar nossa convicção subjetiva de que não poderia haver outra teoria igualmente simples e de igual concordância (BOLTZMANN apud CERCIGNANI, 2006, p. 190).

Com o estabelecimento de uma interpretação hegemônica em relação ao que é observado, há a possibilidade de estarmos evitando outras conjecturas possíveis que podem vir a ser, inclusive, fonte de teorias com características mais progressivas que a atual. Como saberemos sem este embate? Lakatos resume esta ideia:

Nunca devemos permitir que um programa de pesquisa se converta [...] numa espécie de *rigor científico*, arvorando-se em árbitro entre a explicação e a não-explicação, como o rigor matemático se arvora em árbitro entre a prova e a não-prova (LAKATOS, 1979, p. 190).

Ainda:

O conhecimento científico é melhor caracterizado por uma busca incessante e sem fim por melhores, mas nunca definitivas, representações dos fenômenos naturais. A substituição de uma teoria científica por outra, característica principal da ciência moderna, obra permanentemente em aberto, só pode acontecer se for assegurado que nenhuma teoria científica pode alcançar o estágio de definitivamente verdadeira (RIBEIRO e VIDEIRA, 2004, p.533).

Apesar da tendência empirista, Halton Arp parecia, consciente ou inconscientemente, ter ideias semelhantes, quando apontava que é justamente isto o que estaria acontecendo em relação à posição dos cosmólogos sobre o desvio para o vermelho:

Não interessa como os cientistas pensem o que fazem, eles começam com uma teoria – na verdade ainda pior – com uma suposição simplista e contra-indicada de que os desvios para o vermelho só significam velocidade. Daí para frente só aceitam observações que podem ser interpretadas nos termos desta suposição. É por isso que penso ser muito importante ir tão longe quanto possível com as relações e conclusões empíricas. É por isso que é tão importante descartar qualquer hipótese de trabalho se ela é desmentida pelas observações – mesmo se não há uma hipótese alternativa para substituí-la. Tão desagradável quanto isto possa ser, temos de ser capazes de viver com a incerteza. Ou, como dizem muitas pessoas, mas sem convicção: “Nunca é possível provar uma teoria, apenas refutá-la” (ARP, 2001, p. 251).

Com a referência direta ao falseacionismo, Arp procurava alertar quanto às fragilidades da certeza. Mas, sabemos, é claro que não serão apenas os “fatos” que irão decidir alguma coisa: “[...] nenhuma lei pode ser “seriamente contestada” só por experiências” (LAKATOS, 1979, p. 214).

Arp sugeria que os diferentes desvios para o vermelho observados entre galáxias e quasares vizinhos seriam devidos não às suas diferentes velocidades e distâncias, conforme a lei de Hubble, mas a uma diferença entre a energia dos fótons emitidos por estas estruturas que, por sua vez, seria explicado pela criação de matéria “nova”, surgida recentemente. As partículas novas seriam menos massivas que as mais velhas, ficando mais massivas conforme envelhecem, de acordo com soluções obtidas por Jayant Narlikar em 1977 para as equações da relatividade geral (ARP, 2001). Segundo estas ideias, matéria recente emite fótons de baixa energia, portanto com maior desvio para o vermelho, o que seria então a causa dos desvios observados.

Fomos forçados pelas observações a considerar o que faria com que o desvio para o vermelho do material da galáxia diminuísse à medida

que ela envelhecia. A única possibilidade simples parecia ser a de que as massas das partículas elementares aumentassem com o tempo. Vimos que isto satisfaz os limites fundamentais da física como atualmente entendemos o assunto, *i.e.*, é uma solução válida das equações de campo de Einstein generalizadas (ARP, 2001, p. 174).

Assim, o desvio para o vermelho passa a ser considerado um indicativo da idade de uma galáxia e não de sua velocidade e distância ao observador.

Mas o que Arp talvez não soubesse, ou não deixava claro, é que “não se elaboram hipóteses *científicas* só para preencher lacunas entre os dados e a teoria, senão para prever fatos novos” (LAKATOS, 1979, p. 214). E a teoria do Big Bang, como vimos, predisse algo de novo, gerando um excesso de conteúdo corroborado que é, resumidamente, o que a mantém como um programa de pesquisa largamente empregado pela cosmologia atual.

Como podemos perceber nos momentos finais do presente texto, a teoria do Big Bang se encontra em um estágio bastante ativo de pesquisa. Assim, é importante ficarmos atentos aos novos passos, teóricos e experimentais, no desenvolvimento desse tema.

Embora o modelo cosmológico padrão funcione razoavelmente bem ao descrever os aspectos fenomenológicos do Universo, para ter um conhecimento mais profundo de seus mistérios é preciso aguardar as descobertas que os novos experimentos trarão. Tudo indica que a sinfonia cósmica vai continuar a encantar seus ouvintes ainda por muito tempo (HU & WHITE, 2004, p. 57).

Podemos apenas vislumbrar onde isto pode levar nossa ciência, devido aos problemas de se estudar um sistema de dentro dele mesmo, ou seja, é sempre complicado idealizar precisamente o que acontecerá apenas com nosso conhecimento atual. Muito mais fácil é analisar os eventos passados, onde um todo toma forma diante do observador da evolução dos conceitos. Quando se está vivendo esta evolução, as interpretações podem ser traiçoeiras, como podemos constatar em diversos momentos da história do conhecimento científico, onde revoluções tomaram forma em contextos onde os pesquisadores achavam ter a resposta final nas mãos.

Por hora, basta concluirmos que a eterna busca por melhores explicações percorre um caminho que será tanto mais prolífico quanto maior for o número de opções de programas de pesquisa comprometidos com a natureza objetiva dos fenômenos observados.

Se não podemos, e talvez nunca poderemos, dizer que temos a verdade nas mãos, ao menos podemos ter a certeza de que nossas incertezas são, hoje, de natureza mais abrangente e de resultados mais efetivos que as que tínhamos no passado. E isto porque no passado enfrentamos o que era fato consumado, porque questionamos o que

parecia inquestionável. Esta irreverência frente ao conhecimento nos trouxe até aqui e, se soubermos mantê-la, certamente nos levará ainda mais longe³⁴.

Referências

ARP, H. **O Universo Vermelho**. São Paulo: Perspectiva, 2001.

ARP, H. **Atlas of Peculiar Galaxies**. Pasadena: Caltech, 1966.

ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D. **History of 2.7 K Temperature Prior to Penzias and Wilson**. *Apeiron*, v.2, n3, p.79-84, 1995.

BERGMANN, T. S.; BARBOSA, F. K. B.; NEMMEN, R. S. **Buracos Negros**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/bn/index.htm#indice>>. Acesso em 09 de nov. 2009.

BUNGE, M. **Filosofia da Física**. Lisboa: Edições 70, 1973.

CERCIGNANI, C. **Ludwig Boltzmann: The Man Who Trusted Atoms**. Oxford: Oxford University, 2006.

CONSELICE, C. J. A mão invisível do Universo. **Scientific American**, n.58, p.35-41. 2007.

ESA, European Space Agency. **Planck**. Página oficial da missão Planck. Disponível em: <<http://www.esa.int/SPECIALS/Planck/index.html>>. Acesso em 12 mai. 2015.

FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, v.20, n.3, p.477-488, 2002.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Rio de Janeiro: F. Alves, 1977.

GRIBBIN, J. R. **No início: antes e depois do Big Bang**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

HU, W.; WHITE, M. Sinfonia cósmica. **Scientific American**, n.22, p.46-57, 2004.

KRAGH, H. **Cosmology and Controversy**. Princeton: Princeton University, 1999.

KUHN, T. S. A função do dogma na investigação científica. In: KUHN, T. S. **A Crítica da Ciência**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

LAKATOS, I. O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Org.). **A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: Cultrix, EDUSP, 1979, p. 109-243.

³⁴ Para um aprofundamento em relação à competição entre o Big Bang e o Universo Estacionário, recomendamos o livro *Cosmology and Controversy* (KRAGH, 1999).

- LONGAIR, M. S. **Theoretical concepts in physics**. New York: Cambridge University, 1984.
- MEYERS, R. **Universe: the cosmology quest**. [Filme-vídeo]. Floating World Films, 2004.
- PEDUZZI, L. O. Q; BASSO, A. Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.27, n.4, p.545-557, 2005.
- POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.
- REDONDI, P. **Galileu Herético**. São Paulo: Companhia das Letras, 1989.
- RIBEIRO, M. B. **Cosmologia e Representação**. Cornell University Library, arXiv:1308.2929, 2013.
- RIBEIRO, M. B.; VIDEIRA, A. A. P. Cosmologia e pluralismo teórico. **Revista Scientiae Studia**, v.2, n.4, p.519-35, 2004.
- NASA. **Headline news**. [S.l.]. Disponível em: <<http://science.nasa.gov>>. Acesso em: 08 mai. 2008.
- SILK, J. **O Big Bang: a origem do universo**. Brasília: Universidade de Brasília, 1988.
- SILVEIRA, F. L. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, n.3, p.219-230, 1996.
- SILVEIRA, F. L; PEDUZZI, L. O. Q.; Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.23, n.1: p.26-52, 2006.
- SILVEIRA, F.; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p.7-27, 2002.
- SIMON, S. A adequação das teorias matemáticas às teorias físicas: a Teoria da Relatividade. In: PIETROCOLA, M.; FREIRE JR., O. (Org.). **Filosofia, Ciência e História: uma homenagem aos 40 anos de colaboração de Michael Paty com o Brasil**. São Paulo: Fapesp, p.137-154, 2005.
- SMOOT, G. F. **Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropies: Their Discovery and Utilization**. Nobel Lecture, december 8, 2006.
- SMOOT, G. F.; DAVIDSON, K. **Dobras no tempo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.
- STARKMAN, G. D.; SCHWARZ, D. J. **Universo em desarmonia**. Scientific American, n.40, p.31-37, 2005.
- VILLANI, A. Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia. **Ciência e educação**, v.7, n.2, p.169-181, 2001.

WAGA, I. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.27, n.1, p.157-173, 2005.

WEINBERG, S. **Os três primeiros minutos**. Lisboa: Gradiva, 1987.