

O DESVIO PARA O VERMELHO REVISITADO¹

André Koch Torres Assis
Marcos Cesar Danhoni Neves

INTRODUÇÃO

A origem do desvio para o vermelho das fontes estelares, galáxias e quasares tem sido discutida há muito tempo. A maioria dos trabalhos neste tema interpretou o fenômeno do desvio para o vermelho como sendo um efeito Doppler associado com a recessão das fontes (principalmente galáxias). Esta interpretação leva diretamente à ideia do estrondão (*big bang*),² já que a maioria das galáxias apresenta um desvio para o vermelho, sendo

1 Homenagem: Este artigo é uma homenagem a Fernando Bunchaft (1924-2001), quando se completam dez anos de seu falecimento. Ele sempre foi um pesquisador fascinado pelos fundamentos da física. Agradecemos aos Profs. Saulo Carneiro e Olival Freire pelo convite para participarmos desta homenagem e pela liberdade que nos concederam na escolha do tema deste artigo. O texto é a tradução do artigo *The redshift revisited*, de A. K. T. Assis e M. C. D. Neves, publicado no volume 227 da *Astrophysics and Space Science*, em 1995. Ele também foi publicado em inglês em *Plasma Astrophysics and Cosmology*, editado por A. L. Peratt e publicado pela Kluwer Academic Publishers, de Dordrecht, em 1995.

2 Nesta versão em português deste artigo estamos traduzindo a expressão inglesa *big bang* por *estrondão*, seguindo a sugestão de Soares (2002). O termo *big bang* foi criado por um dos mais ácidos críticos desta teoria, o Prof. Fred Hoyle (1915-2001), ao referir-se jocosamente, durante um programa radiofônico da BBC, à ideia de um universo “explosivo.” A tradução usualmente utilizada, *grande explosão*, é insatisfatória por trair o espírito com que o termo foi cunhado.

que apenas poucas delas localizadas em nossas proximidades apresentam um desvio para o azul.

Neste artigo discutimos ideias apresentadas em alguns trabalhos recentes Reber (1986), Arp (1987) e Assis (1992) que mostram uma interpretação alternativa que também é consistente com os dados observacionais. Apresentamos, além disso, uma análise histórica do tema, citando vozes discordantes em relação a este paradigma do estrondão.

VISÕES DIFERENTES SOBRE A HISTÓRIA DA COSMOLOGIA MODERNA

Stephen G. Brush, no interessante artigo *Como a cosmologia tornou-se uma ciência*, faz uma análise histórica de dois modelos da cosmologia moderna: o estrondão e a teoria do estado estacionário (*steady state theory*), de Hoyle, Narlikar e Gould. (BRUSH, 1992) De acordo com ele, a descoberta da radiação cósmica de fundo, RCF, em 1965, foi o fator decisivo a favor do modelo cosmológico padrão do estrondão contra a teoria do estado estacionário. O espectro da radiação cósmica de fundo foi encontrado como sendo equivalente ao espectro de um corpo negro com uma temperatura característica de 2,7 K. Como a teoria do estado estacionário não previu esta temperatura, enquanto que o estrondão a havia previsto, a descoberta teria resolvido a questão em favor do estrondão, de acordo com Brush.

Os personagens principais na história de Brush são Gamow e seus colaboradores, Alpher e Herman, que haviam previsto o valor correto da temperatura do espaço antes da descoberta de Penzias e Wilson. Ele menciona brevemente o trabalho de A. Eddington, escrito em 1926, no qual ele estimou a temperatura do espaço interestelar como sendo de 3,2 K. (EDDINGTON, 1988b, p. 371) Embora esse trabalho tenha surgido muito antes das estimativas de Gamow feitas no período entre 1949 e 1961, ele tinha um problema, pelo menos de acordo com Brush (1992), a saber: "Eddington não propôs um procedimento específico para testar sua previsão." Mais adiante retornaremos a este ponto.

Além de Eddington e os trabalhos de Gamow e colaboradores, assim como o trabalho de Dicke e Hoyle, Brush só considera o trabalho de Andrew

Mackellar, que utilizou os níveis de excitação da molécula de cianogênio (CN) no espaço intergaláctico para estimar a temperatura do meio intergaláctico. Neste trabalho notável ele obteve o valor de 2,3 K, em 1941, sem a conjectura do estrondão.

Enfatizamos aqui o artigo de Brush, não apenas devido à sua importância no campo da história da cosmologia moderna, mas também devido ao seu impacto nas percepções populares; por exemplo, seus artigos publicados na *Scientific American*. Mas seu trabalho é similar às declarações encontradas em quase todos os livros didáticos sobre este assunto. Nosso artigo, ao contrário, discute uma linha de desenvolvimento da história da radiação cósmica de fundo que é usualmente desprezada pela maioria dos autores.

UMA TEORIA DO ESTADO ESTACIONÁRIO SEM EXPANSÃO E SEM CRIAÇÃO CONTÍNUA DE MATÉRIA

O artigo de Brush e o trabalho da maioria dos cosmólogos compara usualmente apenas dois modelos do universo: o modelo do estrondão e a teoria do estado estacionário de Hoyle, Bondi e Gold. Estes dois modelos possuem um aspecto importante em comum: ambos aceitam a interpretação do desvio para o vermelho cosmológico como sendo devido a um efeito Doppler. Logo, estas duas teorias aceitam a expansão do universo sem questionamentos adicionais. Contudo, existe um terceiro modelo do universo, desenvolvido no século XX por cientistas tais como Regener, Nernst (o pai da terceira lei da termodinâmica), Finlay-Freundlich e os Prêmios Nobel Max Born e Louis de Broglie. Infelizmente, este terceiro modelo é sempre desprezado nos livros didáticos e é virtualmente desconhecido dos físicos e astrofísicos da atualidade. É o trabalho destes cientistas notáveis que queremos resgatar.

O modelo desenvolvido por estes autores tem em comum uma interpretação do desvio para o vermelho cosmológico como sendo devido a algum tipo de interação do fóton em sua jornada desde uma galáxia distante até a Terra. Estas explicações são chamadas usualmente de teorias da “luz cansada”. Porém, em geral é pouco conhecido que estes autores previram o valor correto das características de temperatura da radiação cósmica de fundo

antes do trabalho de Gamow e de seus colaboradores. Isto significa que a descoberta de Penzias e Wilson não pode ser considerada decisiva em favor do estrondão, já que existia um modelo alternativo que também previu o valor correto da temperatura.

Em primeiro lugar, vamos analisar o livro de 1926 de Eddington, (1988b). O aspecto notável da temperatura do espaço interestelar como 3,2 K é que ela é devida, de acordo com ele, ao campo de radiação total emitida pelas fontes estelares sendo contrabalançada pela radiação incidente sobre elas e sendo absorvida por elas. Isto é típico de uma situação de equilíbrio. Além do mais, ele utilizou a lei de Stephan-Boltzmann, de acordo com a qual o fluxo total F emitido por um corpo negro é dado por

$$F = \sigma T^4, (1)$$

na qual σ é a constante de Stephan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

Mais tarde, Eddington (1988a) mudou seus pontos de vista cosmológicos e aceitou a ideia de um universo em expansão (ele escreveu até mesmo o livro *O Universo em Expansão*, em 1933). Mas pelo menos sua previsão de 1926, de uma temperatura de 3,2 K, não foi baseada em um universo em expansão.

A utilização da lei de Stephan-Boltzmann, característica de um espectro de corpo negro, é um elemento extremamente importante nos trabalhos de Regener (1933), Nernst (1937) e Finlay-Freundlich (1954).

Em 1933, Regener, (1933) – com tradução para a língua inglesa em 1995), analisando a energia dos raios cósmicos chegando à Terra, escreveu:³

Um corpo celeste que possui as dimensões apropriadas para absorver a radiação cósmica [...] é aquecido por meio desta radiação cósmica. O aquecimento resulta ser

3 Ein Himmelskörper, der die zur Absorption der Ultrastrahlung notwendige Dimension hat [...] wird sich durch die Ultrastrahlung erwärmen. Die Erwärmung wird proportional der zugestrahnten Ultrastrahlungsenergie S_U und der Oberfläche O sein. Er wird so lange erwärmen, bis die emittierte Wärmestrahlung, bei schwarzer Strahlung also σT^4 , ebensogross geworden ist. Es ergibt sich die Endtemperatur $T = \sqrt[4]{S_U/O}$. Das gibt nach Einsetzung der Zahlenwerte 2.8 K.

proporcional à energia S_{ν} da radiação cósmica e à superfície O [do corpo]. Ele é aquecido até o ponto em que emite a mesma quantidade de radiação térmica, que é igual a σT^4 para uma radiação de corpo negro. A temperatura final é determinada por $T = \sqrt[4]{S_{\nu}/U}$. Isto fornece 2,8 K após inserir os valores numéricos.

Ao seguir este trabalho, Nernst apresentou um artigo notável em 1937 (com tradução para a língua inglesa em 1995). Nernst acreditava em um universo estacionário. Fazendo referência ao trabalho de Regener, comentou:⁴ “No trabalho importante de Regener citado acima encontra-se o fato de que, no universo, um corpo celeste que absorve radiação cósmica tem de ser aquecido até a temperatura de 2,8 K.”

Nernst, utilizando o trabalho de Regener, defendeu um modelo de um universo espacialmente infinito, homogêneo em larga escala e sem expansão. Ele sugeriu uma equação para explicar a absorção da luz pela poeira cósmica ou por algo similar, devido a uma diminuição da energia luminosa de cada quantum de luz, a qual resultaria em um avermelhamento do fóton:

$$-d(h\nu) = H(h\nu)dt \quad (2)$$

na qual h é a constante de Planck ($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{Js}$), ν é a frequência da luz e H é a constante de Hubble. Uma de suas conclusões neste artigo é a de que o desvio para o vermelho cosmológico não é devido a um efeito Doppler.

Em 1954, Finlay-Freundlich discutiu o desvio para o vermelho das linhas espectrais das estrelas B e O pertencentes ao grupo da Nebulosa de Orion. Ele analisou a influência do potencial gravitacional sobre os resultados dos desvios para o vermelho observados. Resumiu seus resultados para as estrelas B afirmando: “As estrelas B na nebulosa de Orion mostram um desvio para o vermelho sistemático em relação às linhas na nebulosa que chegam a pelo menos + 10 km/s. Este valor é maior, por um fator da ordem de dez, do que o desvio para o vermelho previsto pela teoria da relatividade.”

⁴ In der soeben erwähnten wichtigen Arbeit von Regener findet sich die Angabe, dass im Universum ein die Kosmische Strahlung absorbierender Körper sich bis auf 2.8° abs. erwärmen müsste.

Freundlich encontrou, para as estrelas O, que os desvios para o vermelho eram de aproximadamente + 18 km/s. Analisando sistemas de estrelas binárias, encontrou desvios para o vermelho maiores, por um fator de 10 ou 20, do que os valores previstos pela relatividade geral (desvio para o vermelho gravitacional). Disse o seguinte sobre este fato:

É muito improvável que eles sejam produzidos por um movimento sistemático das estrelas na nebulosa de Orion em relação à própria nebulosa, ou por um movimento sistemático das estrelas O em relação às estrelas B no mesmo aglomerado. [...] Vemos assim que os grandes valores dos desvios para o vermelho revelam um efeito físico que não pode ser interpretado como um deslocamento gravitacional nem como um efeito de recessão real.

Ao tentar interpretar os desvios para o vermelho observados, Freundlich (1954) sugeriu uma hipótese interessante:

Proponho introduzir como uma hipótese adicional que a luz, ao atravessar camadas espessas de um intenso campo de radiação, perde energia – talvez devido a uma interação fóton-fóton – e que a energia perdida é proporcional tanto à densidade do campo de radiação quanto ao comprimento da trajetória da luz através do campo de radiação.

Desta forma, Freundlich apresenta uma fórmula para explicar estes desvios para o vermelho:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = -AT^4\ell, \quad (3)$$

na qual $\Delta\nu$ é a mudança na frequência da linha espectral, ν é a frequência original, A é uma constante, T é a temperatura do campo de radiação e ℓ é o comprimento percorrido pela luz através do campo de radiação. A constante A é obtida quando temos $\ell=10^7$ cm, $\frac{\Delta\nu}{\nu}=-3,3 \times 10^{-5}$ K e $T=20.000$ K para a temperatura de uma estrela B. Portanto, o valor de A é $2 \times 10^{-29} \text{K}^{-4} \text{cm}^{-1}$.

Freundlich aplica sua fórmula para a explicação do desvio para o vermelho do Sol, das estrelas *A*, das estrelas *M* supergigantes, para as estrelas Wolf-Rayet, e para as anãs brancas, com grande sucesso.

Com estes resultados, Freundlich comparou o desvio para o vermelho cosmológico e os desvios para o vermelho estelares (por exemplo, das estrelas *B*). Aplicou então sua fórmula para o desvio para o vermelho cosmológico. Em sua análise, Freundlich deduziu um temperatura de corpo negro para o espaço intergaláctico. Os dois valores extremos obtidos pela fórmula de Freundlich para a temperatura média do espaço intergaláctico foram $T = 1,9K$ e $T = 6,0K$.

Finlay-Freundlich (1954) concluiu seu artigo escrevendo:

Portanto, podemos ter de encarar que o desvio para o vermelho cosmológico não é devido a um universo em expansão, mas sim devido a uma perda da energia sofrida pela luz nas distâncias imensas de espaço que ela tem de percorrer ao vir até nós a partir dos sistemas estelares mais distantes. O fato de que o espaço intergaláctico não é completamente vazio é indicado pela descoberta de Stebbins e Whitford (1948) de que o desvio para o vermelho é acompanhado de um simultâneo avermelhamento adicional inexplicável. Assim, a luz tem de estar exposta a algum tipo de interação com a matéria e com a radiação presentes no espaço intergaláctico.

PREVISÕES DIFERENTES DE GAMOW PARA A TEMPERATURA DA RADIAÇÃO CÓSMICA DE FUNDO

Em seu artigo, Finlay-Freundlich cita o artigo de 1953 de Gamow com uma temperatura de 7 K, um valor obtido a partir de considerações termodinâmicas, para a temperatura média do espaço intergaláctico. Freundlich não mencionou o artigo de Alpher e Herman de 1949. Estes autores, colaboradores de Gamow, escreveram:

[...] (a densidade atual da radiação, $\rho_r=10^{-32}\text{g/cm}^3$) corresponde a uma temperatura hoje em dia da ordem de 5 K. Esta temperatura média para o universo é para ser interpretada como a temperatura de fundo que resultaria apenas da expansão. Contudo, a energia térmica resultante da produção de energia nuclear nas estrelas aumentaria este valor. (ALPHER; HERMAN, 1949)

Assim, de acordo com estes autores, a temperatura característica desta radiação deve ser de **pelo menos 5 K**.

Em 1961 Gamow publicou uma edição revisada de seu livro popular, *A Criação do Universo*. Este é o último trabalho de Gamow conhecido por nós no qual discutiu a temperatura do espaço interestelar antes da descoberta da radiação cósmica de fundo por Penzias e Wilson, em 1965. Ele menciona a temperatura da radiação cósmica de fundo em apenas um local neste livro. Vamos citar estes parágrafos importantes em sua totalidade (GAMOW, 1961, p. 42-43, grifo nosso):

A relação estabelecida anteriormente entre o valor da constante de Hubble e a densidade média do universo nos permite derivar uma expressão simples que nos fornece a temperatura durante os estágios iniciais da expansão como função do tempo decorrido a partir do momento da compressão máxima. Expressando este tempo em segundos e a temperatura em graus (ver o Apêndice, páginas 142-43), temos:

$$\text{temperatura} = 1,5 \times 10^{10}/[\text{tempo}]^{1/2}$$

Assim, quando o universo tinha a idade de 1 segundo, 1 ano, e 1 milhão de anos, sua temperatura era de 15 bilhões, 3 milhões, e 3 mil graus absolutos [K], respectivamente. Inserindo a idade atual do universo ($T=10^{17}$ segundos) nesta fórmula, obtemos:

$$T_{\text{atual}} = 50K$$

a qual está razoavelmente de acordo com a temperatura atual do espaço interestelar. Sim, nosso universo levou algum tempo para esfriar desde o calor borbulhante dos dias iniciais até o frio congelante de hoje em dia!

Enquanto que a teoria fornece uma expressão exata para a temperatura no universo em expansão, ela fornece apenas uma expressão com um fator desconhecido para a densidade de matéria, de fato, pode-se provar que (ver o Apêndice):

$$[\text{densidade de matéria}] = \text{constante}/[\text{tempo}]^{3/2}$$

Vemos no Capítulo III que o valor desta constante pode ser obtido a partir da teoria da origem das espécies atômicas.

Este valor de 50 K é, obviamente, muito diferente do valor obtido por Penzias e Wilson em 1965, a saber, $T = (3,5 \pm 1,0)K$. Uma curva mostrando as estimativas da temperatura do espaço cósmico ano por ano, feitas por Gamow e colaboradores, diverge do valor finalmente medido em 1965. Na Figura 1 apresentamos um gráfico, em ordem cronológica, das previsões baseadas em um universo que não está se expandindo, de acordo com Eddington (1926), Regener (1933), Nernst (1937) e Finlay-Freundlich (1954).

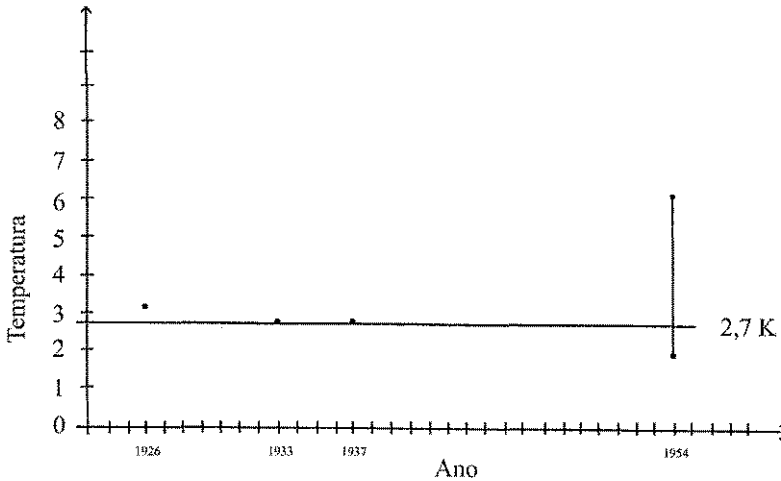


Figura 1 – Previsões da temperatura da radiação cósmica de fundo baseadas em um universo em equilíbrio dinâmico sem expansão (para resumir, chamado aqui de universo estacionário): Eddington, 1933 [ver [Edd88b]] ($T = 3,2 K$); Regener, 1933 ($T = 2,8 K$); Nernst, 1937 ($T = 2,8 K$); e Finlay-Freundlich, 1954 ($1,9K \leq T \leq 6,0K$). Também é mostrado o conhecido resultado observacional de 2,7 K.

Na Figura 2 apresentamos, em ordem cronológica, as previsões da temperatura da radiação cósmica de fundo de acordo com Gamow e colaboradores.

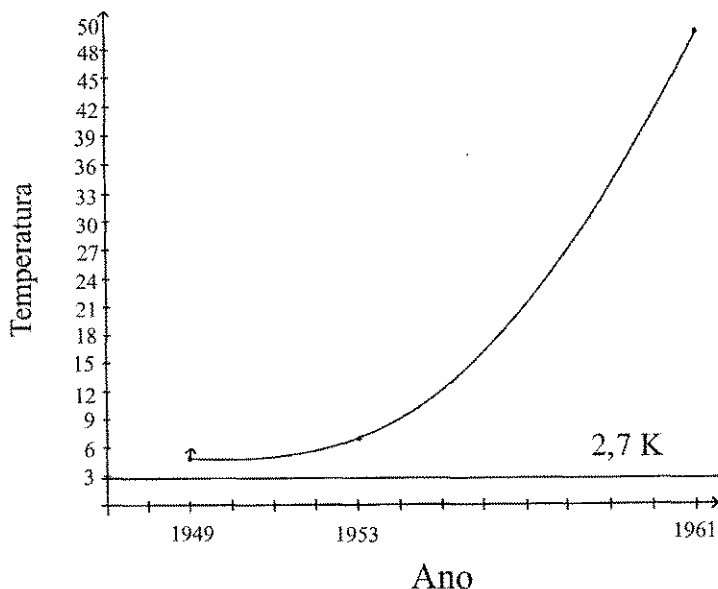


Figura 2 – Previsões do valor atual da temperatura da radiação cósmica de fundo de acordo com Gamow e colaboradores (1949: $T \geq 5$ K, 1953: $T = 7$ K, 1961: $T = 50$ K). Também é apresentado o valor observacional de 2,7 K.

Estes dados estão reunidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Previsões da temperatura da radiação cósmica de fundo de acordo com modelos diferentes do universo e de acordo com diferentes autores

Ano	Universo estacionário	Estrondão	Temperatura
1926	Eddington		3,2 K
1933	Regener		2,8 K
1937	Nersnt		2,8 K
1949		Alpher e Herman	$T \geq 5$ K
1953		Gamow	7 K
1954	Finlay-Freundlich		$1,9 \text{ K} \leq T \leq 6,0 \text{ K}$
1961		Gamow	50 K

É relevante lembrar aqui uma carta enviada por Gamow para Arno Penzias, em 1965 (que curiosamente foi datada de 1963). Esta carta está reproduzida no artigo de Penzias (1972), intitulado *Cosmologia e astronomia de microondas*. Reproduzimos esta carta aqui:

“29 de setembro de 1963

Prezado Dr. Penzias,

Obrigado por me enviar seu artigo sobre a radiação de 3 K. Ele está muito bem escrito, exceto pela “história inicial” que não está “bem completa.” A teoria daquilo que é conhecido hoje em dia como a “bola de fogo original” (*primeval fireball*) foi inicialmente desenvolvida por mim em 1946 (Phys. Rev. 70, 572, 1946; 74, 505, 1948; Nature 162, 680, 1948). A previsão do valor numérico da temperatura atual (residual) pode ser encontrada no artigo de Alpher & Herman (Phys. Rev. 75, 1093, 1949) que a estimaram como 5 K, e no meu artigo (KongDansk. Ved. Sels 27 n° 10, 1953) com a estimativa de 7 K. Mesmo no meu livro popular *Criação do Universo* (*Creation of the Universe*) (Viking 1952) você pode achar (na página 42) a fórmula $T = 1,5 \times 10^{10} / t^{1/2}$ K, e o limite superior de 50 K. Assim, você vê que o mundo não começou com o onipotente Dicke.

Sinceramente,

G. Gamow”

Esta carta, como vimos, não corresponde aos fatos verdadeiros. Gamow, na edição revisada de seu livro de 1952, publicado em 1961, calculou uma temperatura **igual a 50 K**. Assim, Gamow não estimou em seu trabalho um **limite superior** de 50 K.

A cronologia das previsões da temperatura da radiação cósmica de fundo sugere uma história diferente do que aquela apresentada nos livros didáticos de cosmologia e nos artigos escritos sobre cosmologia.

Com respeito a isto, citamos uma outra parte do artigo de Penzias (1972):

Está além do escopo desta contribuição comparar as várias explicações teóricas da [temperatura] de 3 K. Apesar disto, a reivindicação única da teoria do universo em

expansão quente (*hot evolving universe theory*) é que ela previu a radiação de fundo antes do fato [isto é, antes de sua confirmação observacional]. No 4º Simpósio 'Texas' de Astrofísica Relativística, George Gamow era o presidente da sessão sobre Radiação de Fundo de Microondas. Ele terminou suas observações com um comentário que, pelo melhor de minhas lembranças, foi assim: 'Se eu perco um níquel [moeda de cinco centavos de dólar], e alguém encontra um níquel, não posso provar que é o meu níquel. Contudo, perdi um níquel exatamente onde encontraram um níquel.' O aplauso foi alto e longo.

Contudo, Gamow não perdeu uma única moeda, mas muitas delas. Além do mais, estas moedas tinham valores diferentes, em uma série divergente em relação ao valor correto que foi encontrado em uma data posterior. É ainda mais notável que outras pessoas perderam níqueis muito mais próximos de onde eles foram encontrados posteriormente, e em uma data anterior àquela de Gamow!

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Dois outros autores importantes no assunto de um universo sem expansão são Max Born (1954) e Louis de Broglie (1966). Max Born mostrou que a teoria de Finlay-Freundlich (colisões de fóton-fóton como sendo a causa do desvio para o vermelho) era cientificamente razoável. Ao discutir o desvio para o vermelho cosmológico em seu artigo, Max Born fez uma previsão notável: "Assim, o desvio para o vermelho está ligado com a radioastronomia." Isto foi escrito onze anos antes da descoberta da radiação cósmica de fundo por Penzias e Wilson (1965), utilizando uma antena refletora no formato de chifre (*horn reflector antenna*) construída para estudar a radioastronomia.

Apesar deste fato, Max Born nunca afirmou, pelo melhor que conhecemos, que ele não acreditava em um universo em expansão. Mas ele não se sentia confortável com a teoria do estrondão, como indicado pelas seguintes citações de seu livro *Teoria da Relatividade de Einstein* (1962, p. 369):

O leitor pode ficar com a impressão que a cosmologia moderna afastou-se da sensata trajetória empírica para uma região selvagem na qual podem ser feitas afirmações sem ter medo da confirmação observacional. Na verdade, isto pode ser dito das teorias que acabamos de resumir, particularmente pelo fato de que a sensação misturada de admiração e de ligeiro desgosto que elas produzem é ampliada pela segurança quase fanática com a qual elas são apresentadas por seus autores. Infelizmente, mas bem naturalmente, esta situação tem sido utilizada por ideologias diferentes para apresentar uma destas teorias como uma confirmação de seus dogmas e para anatematizar [amaldiçoar] as outras teorias.

Pontos de vista deste tipo, apresentados como dogmas, são alheios ao espírito da ciência, e cada um deles pode ser refutado mostrando que ele não leva em conta todos os aspectos. Aqueles que acham bem vinda a idéia de um ‘início’ se esquecem de que tudo o que pode ser dito com segurança é que este [início] é um estado de alta densidade da matéria bem diferente da distribuição de estrelas isoladas conhecida por nós; pode-se duvidar que sejam aplicáveis neste estado as noções de espaço e tempo, já que estas noções estão intimamente relacionadas ao sistema de estrelas espalhadas. O ‘início’ refere-se apenas à nossa habilidade em descrever o estado das coisas em termos de conceitos com os quais já estamos acostumados. Não é uma questão científica saber se houve uma criação a partir do nada, mas um assunto de crença e que está além da experiência, como sabiam os antigos filósofos e teólogos como Tomás de Aquino.

Louis de Broglie defendeu um “envelhecimento do fóton” devido a uma perda contínua de energia pelo fóton. Uma discussão mais detalhada sobre estes dois autores pode ser encontrada em Assis (1992, 1993).

Neste artigo, apresentamos uma outra visão da história da cosmologia; uma visão que é muito diferente daquela apresentada por Brush. Enfatizamos o fato de que existe uma quantidade muito grande de pesquisa, realizada por vários físicos notáveis, que é crítica em relação à explicação dos desvios para o vermelho cosmológicos como sendo devidos a um efeito Doppler. Também deve ser enfatizado que existem vários artigos sobre o tópico das observa-

ções de desvios para o vermelho anômalos (ver, por exemplo, Reber (1981), com uma lista de 772 desvios para o vermelho não triviais). Os desvios para o vermelho anômalos não podem ser explicados facilmente com o modelo Doppler. Mas se o desvio para o vermelho cosmológico não é devido a um efeito Doppler, qual é sua origem?

Finlay-Freundlich acreditava em uma interação fóton-fóton ocorrendo nos intensos campos de radiação das estrelas. Marmet acredita em um desvio para o vermelho produzido por colisões inelásticas de fótons com átomos e moléculas. Reber e Kierein sugeriram o efeito Compton (interação fóton-elétron). Vigier e Monti propuseram a resistividade do meio intergaláctico. Arp acredita em um efeito devido à idade dos corpos celestes. Para uma discussão adicional destes modelos, com referências, ver Assis (1992, 1993).

Com respeito ao efeito Compton (espalhamento de fótons por elétrons livres), é conhecida a variação do comprimento de onda do fóton dada por:

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta),$$

na qual λ é o comprimento de onda do fóton espalhado, λ_0 é o comprimento de onda do fóton incidente, h é a constante de Planck, m é a massa do elétron, c é a velocidade da luz e θ é o ângulo entre o fóton incidente e o fóton espalhado.

Portanto, se o desvio para o vermelho cosmológico é devido a um efeito Compton, teríamos para cada interação a seguinte contribuição do desvio para o vermelho:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta).$$

As constantes h , m e c não dependem de λ . Portanto, concluímos que o desvio para o vermelho cosmológico deveria ser proporcional a $1/\lambda$, mas isto não é observado. De fato, a constante de Hubble parece ser independente do comprimento de onda. Logo, parece improvável que o desvio para o vermelho cosmológico seja devido a um efeito Compton.⁵

5 Uma discussão mais detalhada deste ponto encontra-se em Neves e Assis (1995).

Qual é o mecanismo real que produz os valores observados para o desvio para o vermelho cosmológico? Esta questão continua a ser um grande mistério. Uma possível resposta pode surgir no futuro a partir de um modelo de universo estacionário sem expansão.

Concluimos este artigo com três citações feitas por Hubble, como dadas por Reber (1986):⁶

A luz *pode* perder energia durante a sua jornada através do espaço, mas, se assim for, ainda não sabemos como a perda pode ser explicada.

As características perturbadoras são introduzidas pelos fatores de recessão, pela suposição de que os desvios para o vermelho são desvios de velocidade. A divergência de uma relação linear dos desvios para o vermelho, a divergência de uma distribuição uniforme, a curvatura necessária para restaurar a homogeneidade, a matéria excessiva requerida pela curvatura, cada um destes é meramente o fator de recessão em outra forma. Estes elementos identificam um único modelo entre o rol de mundos em expansão, e, neste modelo, as restrições na escala de tempo, a limitação das dimensões espaciais, a quantidade de matéria não observada, é, cada um, equivalente ao fator de recessão.

Por outro lado, se o fator de recessão é eliminado, se os desvios para o vermelho não são primariamente desvios de velocidades, o quadro é simples e plausível. Não existe evidência da expansão e não existe restrição da escala de tempo, nenhum traço de curvatura espacial, e nenhuma limitação das dimensões espaciais.

Parecemos encarar, como uma vez nos dias de Copérnico, a escolha entre um universo pequeno e finito, e um universo indefinidamente grande, mais um novo princípio da natureza.

6 Traduções tiradas de Assis, Neves e Soares (2008).

AGRADECIMENTO

A. K. T. A. deseja agradecer à FAPESP, FAEP (Unicamp) e CNPq (Brasil) pelo auxílio financeiro nos últimos anos. M. C. D. N. deseja agradecer ao DFI, PPG (Universidade Estadual de Maringá) e ao Comitê Organizador do Segundo Workshop Internacional IEEE em Astrofísica e Cosmologia pelo auxílio financeiro. Os autores agradecem ao Prof. Emil Wolf por sugestões importantes relacionadas à primeira versão deste artigo.

REFERÊNCIAS

- ALPHER, R. A.; HERMAN, R. C. Remarks on the evolution of the expanding universe. *Physical Review*, n. 75, p. 1089-1095, 1949.
- ARP, H. *Quasars, Redshifts and Controversies*. Berkeley: Interstellar Media, 1987.
- ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D. The redshift revisited. *Astrophysics and Space Science*. n. 227, p. 13-24, 1995. Este artigo também foi publicado em PERALT, A. L. (Ed.). *Plasma Astrophysics and Cosmology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p. 13-24.
- ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D.; SOARES, D. S. L. A cosmologia de Hubble: De um universo finito em expansão a um universo infinito no espaço e no tempo. In: NEVES, M. C. D.; SILVA, J. A. P. (Ed.). *Evoluções e revoluções: o mundo em transição*. Maringá: Editora Massoni: LCV Edições, 2008. p. 199-221.
- ASSIS, A. K. T. On Hubble's law of redshift, Olbers' paradox and the cosmic background radiation. *Apeiron*, n. 12, p. 10-16, 1992.
- _____. A steady-state cosmology. In: ARP, H. C.; KEYS, C. R.; RUDNICKI, K. (Ed.). *Progress in New Cosmologies: Beyond the Big Bang*. New York: Plenum Press, 1993. p. 153-167.
- BORN, M. On the interpretation of Freundlich's red-shift formula. *Proceedings of the Physical Society A*, n. 67, p. 193-194, 1954.
- _____. *Einstein's Theory of Relativity*. New York: Dover, 1962.
- BRUSH, S. G. How cosmology became a science. *Scientific American*, n. 267, p. 62-70, 1992.
- BROGLIE, L. de Sur le déplacement des raies émises par un objet astronomique lointain. *Comptes Rendues de l'Academie des Sciences de Paris*, n. 263, p. 589-592, 1966.

EDDINGTON, A. S. *The Expanding Universe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988a. Reimpressão da edição de 1933.

_____. *The Internal Constitution of the Stars*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988b. Reimpressão da edição de 1926.

FINLAY-FREUNDLICH, E. Red-shifts in the spectra of celestial bodies. *Proceedings of the Physical Society A*, n. 67, p. 192-193, 1954.

GAMOW, G. *The Creation of the Universe*. New York: Viking Press, [Revised edition], 1961.

NEVES, M. C. D.; ASSIS, A. K. T. The Compton effect as an explanation for the cosmological redshift. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, n. 36, p. 279-280, 1995.

NERNST, W. Weitere Prüfung der Annahme eines stationären Zustandes im Weltall. *Zeitschrift für Physik*, n. 106, p. 633-661, 1937.

_____. Further investigation of the stationary universe hypothesis. *Apeiron*, n. 2, p. 58-71, 1995.

PENZIAS, A. A. Cosmology and microwave astronomy. In: REINES, F. (Ed.). *Cosmology, Fusion & Other Matters*. Boulder: Colorado Associated University Press, 1972. p. 29-47.

PENZIAS, A. A.; WILSON, R. W. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysical Journal*, n. 142, p. 419-421, 1965.

REBOUL, K. J. Untrivial red shifts: A bibliographical catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, n. 45, p. 129-144, 1981.

REBER, G. Intergalactic plasma. *IEEE Transactions on Plasma Science*, PS-14, p. 678-682, 1986.

REGENER, E. Der Energiestrom der Ultrastrahlung. *Zeitschrift für Physik*, n. 80, p. 666-669, 1933.

_____. The energy flux of cosmic rays. *Apeiron*, n. 2, p. 85-86, 1995.

SOARES, D. S. L. A tradução de *Big Bang*. 2002. Disponível em: <<http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/>>. Acesso em: 04 mar. 2013.