



CURIOSIDADES DA FÍSICA



José Maria Filardo Bassalo


www.bassalo.com.br

Estamos no Limiar de uma Nova Física?: 2) Dificuldades do Modelo Padrão do Big Bang (MPBB).

Em verbete desta série, tratamos das dificuldades do *Modelo Padrão das Partículas Elementares* (MPPE). Neste, trataremos do **Modelo Padrão do Big Bang** (MPBB) e, para isso, usaremos as seguintes referências: Steven Weinberg, **Os Três Primeiros Minutos** (Guanabara Dois, 1980); Paul Charles William Davies and Julien Russel Brown (Editors), **Superstrings: A Theory of Everything?** (Cambridge University Press, 1989); John D. Barrow, **Teorias de Tudo: A Busca da Explicação Final** (Jorge Zahar, 1994); George Smott III e Keay Davidson, **Dobras no Tempo** (Rocco, 1995); Steven Weinberg, **Sonhos de uma Teoria Final: A Busca das Leis Fundamentais da Natureza** (Rocco, 1996); Alan Harvey Guth, **O Universo Inflacionário** (Campus, 1997); Michio Kaku, **Introduction to Superstrings and M-Theory** (Springer-Verlag, 1999); Michio Kaku, **Hiperespaço: Uma Odisséia Científica Através de Universos Paralelos, Empenamentos do Tempo e a Décima Dimensão** (Rocco, 2000); Brian Greene, **O Universo Elegante: Supercordas, Dimensões Ocultas e a Busca da Teoria Definitiva** (Companhia das Letras, 2001); Stephen William Hawking, **O Universo numa Casca de Noz** (Mandarim, 2001); Lee Smolin, **Três Caminhos para a Gravidade Quântica** (Rocco, 2002); Augusto Damineli, **Hubble: A Expansão do Universo** (Odysseus, 2003); Stephen Hawking e Leonard Mlodinow, **Uma Nova História do Tempo** (Ediouro, 2005); Brian Greene, **O Tecido do Cosmo: O Espaço, o Tempo e a Textura da Realidade** (Companhia das Letras, 2005); Mario Novello, **O que é Cosmologia?** (Jorge Zahar, 2006); Maria Cristina Batoni Abdalla, **O Discreto Charme das Partículas Elementares** (Editora UNESP, 2006); Simon Singh, **Big Bang** (Record, 2006); Frank Close, **The Infinity Puzzle: Quantum Field Theory and the Hunt for an Orderly Universe** (Basic Books, 2011); Rogério Rosenfeld, **O Cerne da Matéria** (Companhia das Letras, 2013); e Ben Best, **The Standard Model of Particle Physics** (www.benbest.com) (acesso em 14/01/2014).

Segundo vimos em verbete desta série, em 1915 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenchaften* **2**, p. 844), o físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) formulou a Teoria da Relatividade Geral (TRG) traduzida pela *Equação de Einstein* (EE): $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$, onde $g_{\mu\nu}$ ($g_{\mu\nu}$) é o *tensor métrico riemanniano*, $R_{\mu\nu}$ é o *tensor geométrico de Ricci*, R é o *tensor de Einstein*, $T_{\mu\nu}$ é o *tensor energia-matéria*, G = G , c é a *constante de gravitação de Einstein*, c é a *constante de gravitação de Newton-Cavendish*, c é a *velocidade da luz no vácuo*, e c . Mais tarde, em 1917 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenchaften* **1**, p. 142), Einstein encontrou uma solução para a sua equação que, no entanto, diferentemente da solução encontrada pelo astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916), em 1916 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenchaften* **2**, p. 189; 424), sua solução era dinâmica. Contudo, por essa época, não havia nenhuma evidência

experimental sobre a dinâmica do Universo, isto é, se o seu raio dependia do tempo. Então, para contornar essa dificuldade, ele formulou a hipótese de que as forças entre as galáxias eram independentes de suas massas e que variavam na razão direta da distância entre elas, isto é, havia uma “repulsão cósmica”, além, é claro, da “atração gravitacional Newtoniana”. Matematicamente, essa hipótese significava acrescentar um termo ao primeiro membro de sua equação – o famoso **termo cosmológico** ou *termo de repulsão cósmica* (). Desse modo, Einstein postulou que o Universo era estático e, usando sua equação, demonstrou ser o mesmo finito e de curvatura riemanniana positiva ou esférica. Em virtude disso, o seu modelo cosmológico ficou conhecido como o *Universo Cilíndrico de Einstein*, em que o espaço é curvo, porém o tempo é retilíneo. Note-se que, em 1922 (*Zeitschrift für Physik* **10**, p. 377), o matemático russo Aleksandr Friedmann (1888-1925) resolveu a EE sem o termo cosmológico () e, ao assumir a hipótese de que a matéria homogênea do Universo se distribuía isotropicamente no espaço, encontrou duas soluções não-estáticas: em uma delas o Universo se expandia com o tempo e, na outra, se contraía.

A possibilidade teórica de um **Universo em expansão** prevista por Friedmann começou a se tornar realidade devido aos trabalhos realizados pelo astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953). Com efeito, em dezembro de 1924, trabalhando com o novo telescópio *Hooker* do *Observatório de Monte Wilson*, Hubble estava examinando uma fotografia da *nebulosa (galáxia) de Andrômeda* (M31) [M, do catálogo preparado pelo astrônomo francês Charles Messier (1730-1817), em 1771]. Nesse exame, encontrou uma estrela do mesmo tipo existente em nossa nebulosa (galáxia), a *Via Láctea*. Continuando a estudar as nebulosas fora de nossa Galáxia, chegou à seguinte conclusão: - *As galáxias são distribuídas no espaço de modo homogêneo e isotrópico*. Assim, pela primeira vez, a uniformidade do Universo não era colocada **a priori**, ela provinha de uma observação. Essas observações de Hubble foram publicadas em 1925 (*Astrophysical Journal* **62**, p. 409) e em 1926 (*Astrophysical Journal* **63**, p. 236; **64**, p. 321). Logo depois, em 1927 (*Annales de la Societé Scientifique de Bruxelles* **47A**, p. 49), o astrônomo belga, o Abade Georges-Henri Edouard Lemaître (1894-1966) confirmou teoricamente o modelo dinâmico do Universo e, nessa ocasião, afirmou que o Universo teria começado a partir da explosão de um **átomo primordial** ou **ovo cósmico**. É oportuno registrar que, em 1929 (*Proceedings of the National Academy of Ciências* **15**, p. 169), Hubble fez outra grande descoberta ao observar cerca de 18 galáxias próximas de nossa Galáxia e perceber que havia no espectro das mesmas um deslocamento para o vermelho (*red shift*). Interpretado esse deslocamento como devido ao **Efeito Doppler-Fizeau** (vide verbete nesta série), o mesmo significava uma fuga das galáxias, em relação ao observador. Ao calcular a distância entre as várias galáxias, concluiu que (logo conhecida como **Lei de Hubble**): - *As galáxias se afastam uma das outras com uma velocidade (V) proporcional à distância (D) que as separam*. A proporcionalidade (H_0) entre V e H, traduzida pela expressão $V = H_0 D$, foi estimada por Hubble, ainda nessa ocasião, no valor de: , significando dizer que a explosão do “ovo cósmico lemaîtreiano” acontecera há cerca de 10^9 anos. Como, em 1934 (*Astrophysical Journal* **74**, p. 43), Hubble e o astrônomo norte-americano Milton La Salle Humason (1891-1972) fizeram um novo cálculo para H_0 , aquela lei passou então a ser conhecida como **Lei de Humason-Hubble**, usada até hoje para calcular a idade do Universo.

O **Modelo Cosmológico de Friedmann-Lemaître** foi, em 1948 (*Physical Review* **73**, p. 803) estudado pelos físicos estadunidenses Ralph Asher Alpher (n.1921), Hans Albrecht Bethe (1906-2005; PNF, 1967) (de origem alemã) e George Antonovich Gamow (1904-1968) (de origem russa), ocasião em que formularam o famoso **modelo cosmológico $\alpha\beta\gamma$** (Alpher, Bethe, Gamow), no qual o “ovo cósmico lemaîtreiano” formado de nêutrons, no instante do **Big Bang** (BB) [nome cunhado, pejorativamente, pelo astrofísico inglês Sir Fred Hoyle (1915-2001), no último programa de rádio de uma série intitulada **The Nature of Things** que apresentou na *British Broadcasting Corporation* (BBC), em 1950, uma vez que, também em 1948, e em trabalhos independentes, Hoyle (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **108**, p. 372) e os astrofísicos, o austro-inglês Sir Hermann Bondi (1919-2005) e o austro-norte-americano Thomas Gold (1920-2004) (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **108**, p. 252), haviam proposto o então conhecido **modelo cosmológico estacionário de Bondi-Gold-Hoyle** (BGH)], se desintegrou em prótons e elétrons. Ao serem formados esses prótons, alguns colidiram com nêutrons que ainda persistiam e, gradualmente, iam formando núcleos mais pesados da Tabela Periódica, num processo que ficou conhecido como **nucleossíntese** e, a temperatura correspondente a essa explosão, conhecida como **radiação cósmica de fundo de microonda** - RCFM (“Cosmic Microwave Background” – CMB), foi determinada, também em 1948 (*Physical Review* **74**, p. 1198), por Alpher e o físico norte-americano Robert C. Herman (1922-1997), também colaborador de Gamow, que encontraram para a RCFM um valor de aproximadamente 5 K. É interessante destacar que a RCFM foi detectada com o valor de (3.5 ± 1) K, em 1965, em trabalhos independentes dos norte-americanos, os astrofísicos Robert Henry Dicke (1916-1997), Phillip James Edwin Peebles (n.1935), Peter Guy Roll e David Todd Wilkinson (1935-2002) (*Astrophysical Journal* **142**, p. 414) e os radio-astrônomos Arno Allan Penzias (n.1933; PNF, 1978) (de origem alemã) e Woodrow Wilson (n.1936; PNF, 1978).

Muito embora a detecção da RCFM, em 1965, tenha dado bastante crédito ao (MPBB), este começou a ser contestado nas décadas de 1960 e 1970, em virtude de sua dificuldade em explicar quatro grandes problemas (*puzzles*). O primeiro deles, conhecido como **problema do horizonte** (*horizon puzzle*), refere-se à homogeneidade e isotropia do Universo; o segundo, conhecido como **problema da planura** (*flatness puzzle*), diz respeito à densidade Ω de massa do Universo, cujo valor, de acordo com o MPBB, é dado por: $\Omega - 1$ proporcional a $t^{2(1-n)}$, com $n < 1$. Assim, se $\Omega < 1$, a densidade de massa é insuficiente para deter a expansão, e o Universo continuará a expandir-se para sempre; se $\Omega > 1$, a expansão acabará, e o Universo presumivelmente colapsará em outra “bola de fogo” (*big crunch*), significando que ele é **fechado**; por fim, se $\Omega = 1$, então a expansão seguirá para sempre, e sempre diminuindo, mas sem chegar nunca a parar totalmente, indicando que o Universo é **plano**. O terceiro dos problemas enfrentados pelo MPBB relaciona-se com as **inhomogeneidades** (*inhomogeneity puzzle*) do Universo observável, composto de galáxias, aglomerados de galáxias e superaglomerados de galáxias, uma vez que, por aquela teoria, esse espectro de não-uniformidade deve ser considerado *ad hoc* no MPBB, como parte de suas condições iniciais. Por fim, o quarto problema tem a ver com a produção de **monopólos magnéticos** (MM) na ocasião do início do Universo, daí esse problema ser conhecido como o **problema dos monopólos** (*monopole puzzle*). Registre que tais partículas, previstas pelo físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933), em 1931, ainda não foram observadas [Bassalo & Caruso, **Dirac** (Livraria da Física, 2013)].

É oportuno destacar que esses *puzzles* foram resolvidos por **Modelos Cosmológicos Inflacionários** (MCI), desenvolvidos no final da década de 1970 e no começo da década de 1980. Com efeito, em 1979 (*Zhurnal Eksperimental'noi i Teoretiskoi Fiziki Pis'ma* **30**, p. 719), o físico russo Aleksandr A. Starobinsky (n.1950) apresentou a ideia de ter havido um **período inflacionário** na criação do Universo; em 1981 (*Physical Review* **D23**, p. 347), o físico norte-americano Alan Harvey Guth (n.1947) apresentou seu **Modelo Inflacionário** (MI), segundo o qual o Universo teria também começado com um BB, ocorrido entre 15 e 20 bilhões de anos atrás, porém, logo em seu começo sofreu um período de expansão muito acelerada, isto é, uma **inflação**, durante o qual o Universo passou do tamanho de um próton para o tamanho de uma uva (aumentou cerca de 10^{50} vezes), durante o período de 10^{-35} segundos contado a partir do BB. No entanto, esse **Modelo Cosmológico Inflacionário de Starobinsky-Guth** (MCIS-G) apresentava um problema: se a fase de transição entre o Universo “super-resfriado” e o estado de expansão linear atual ocorresse subitamente, haveria a formação de “bolhas” (como ocorre no surgimento de cristais de gelo em qualquer água superfria) que se expandiriam gradualmente e se juntariam umas às outras, até a situação de expansão linear do Universo que perdura até hoje. Porém, mesmo que as “bolhas” crescessem à velocidade da luz, estariam se afastando umas das outras e, portanto, nunca se juntariam. Essa dificuldade foi resolvida, em 1982, em trabalhos independentes realizados pelos físicos, o russo Andrei Dimitrievich Linde (n.1948), e os norte-americanos Andréas Albrecht (*Physics Letters* **B129**, p. 177) e Paul Joseph Steinhardt (n.1952), ao formularem o **Novo Modelo Cosmológico Inflacionário** (NMCI), segundo o qual o fato de as “bolhas” não se juntarem poderia ser evitado se fossem tão grandes que nossa região do Universo estivesse toda contida numa única bolha que, no entanto, deveria ser maior do que o Universo à época, conforme foi mostrado pelo astrofísico inglês Stephen William Hawking (n.1942) e seus colaboradores Ian G. Moss e John M. Stewart, em 1983 (*Physical Review* **D26**, 2681), e que as flutuações quânticas iniciais deveriam crescer mais do que o esperado. O próprio Linde, em 1983 (*Physics Letters* **B129**, p. 177), apresentou o **Modelo Cosmológico Inflacionário Caótico** (MCIC), no qual não há transição de fase ou super-resfriamento.

Ainda como tema importante para a análise do MPBB, é interessante tratar, rapidamente, do **buraco negro** (BN). Segundo vimos em verbete desta série, em 27 de novembro de 1783, o filósofo natural e geólogo inglês John Michell (1724-1793) discutiu na *Royal Society of London* a possibilidade de estrelas suficientemente compactas parecerem totalmente escuras. Em 1795, o matemático e astrônomo francês Pierre Simon, Marquês de Laplace (1749-1827), em seu célebre trabalho intitulado **Exposition du Système du Monde** (“Exposição do Sistema do Mundo”), voltou a mencionar essa mesma possibilidade usando a Mecânica Celeste Newtoniana. Com o desenvolvimento da TGR, a observação de Hubble sobre a **expansão do Universo**, e o estudo sobre a evolução estelar [a partir do famoso **diagrama de Hertzsprung-Russel** (1911/1914) (ver verbete nesta série)], entre 1938 e 1939, o físico norte-americano Julius Robert Oppenheimer (1904-1964), com a colaboração dos também físicos norte-americanos Robert Serber (1909-1997) [*Physical Review* **54**, p. 540 (1938)], George Michael Volkoff (1914-2000) (de origem russa) [*Physical Review* **55**, p. 374 (1939)] e Hartland Snyder (1913-1962) [*Physical Review* **56**, p. 455 (1939)], mostraram que quando todas as fontes termonucleares de energia são exauridas de uma estrela

suficientemente pesada, então a contração gravitacional continuará indefinidamente até seu colapso total, colapso esse denominado pelo físico norte-americano John Archibald Wheeler (1911-2008), em 1968 (*American Scholar* **37**, p. 248; *American Scientist* **56**, p. 1), de **black hole** (“buraco negro”). Em 1969 [*Nuovo Cimento (Numero Speciale)* **1**, p. 252], o físico inglês Roger Penrose (n.1931) mostrou que existe uma superfície no espaço-tempo em torno de um BN, conhecida como **ergosfera** ou **horizonte de eventos** (HE), na qual qualquer objeto que nela adentre poderá sofrer dois efeitos: ou desaparecerá em seu interior, ou será devolvido para fora dele com energia maior que tinha antes. Essa superfície apresenta a propriedade de não deixar escapar nada de seu interior. Mais tarde, em 1974 (*Nature* **248**, p. 30) e em 1975 (*Communications in Mathematical Physics* **43**, p. 199), Hawking conjecturou a hoje famosa **Radiação de Hawking** (RH). Vejamos como. Segundo a Mecânica Quântica (Teoria Quântica de Campos), pares de partículas-antipartículas virtuais são constantemente criados e imediatamente aniquilados no vácuo quântico. Contudo, perto do HE de um BN, devido à atração gravitacional, uma das partículas do par pode ser capturada pelo BN enquanto a outra escapa constituindo a RH. Ainda para Hawking, essa radiação ocorria aleatoriamente [devido ao **Princípio da Incerteza de Heisenberg** (1927)], ou seja, ela seria incapaz de carregar **informação**.

Em resumo, o MPBB nos diz que o Universo começou com uma grande explosão no vácuo quântico e que aconteceu há $13,7 \cdot 10^9$ anos. Até 10^{-43} s (**tempo de Planck**) as quatro forças (interações) da Natureza (**gravitacional, eletromagnética, fraca e forte**) eram unificadas. A era da **inflação** começa em 10^{-38} s, ocasião em que o Universo cresce 10^{30} vezes em 10^{-36} s. Então, a **gravitacional** e logo depois a **forte**, se separaram das outras duas forças. Em 10^{-10} s, a **eletromagnética** se separou da **fraca**, ficando o Universo cheio de um plasma quente de **quark-glúon**, além de **léptons** e **antipartículas**. Por sua vez, os **hádrons/antihádrons** [p.e.: próton (p) e antipróton ()] só começaram a se formar em 10^{-7} s. Estes, então, começaram a se aniquilarem (eles desaparecem e aparecem apenas **fótons**) deixando apenas um pequeno resíduo de **hádrons** (prótons), como veremos mais adiante. Quando o Universo tinha 10^{-1} s de vida, formaram-se os **léptons/antiléptons** [p.e.: elétron (e^-) e pósitron (e^+)] até que a aniquilação entre eles deixou apenas um pequeno punhado de **léptons** (elétrons). Entre 3 e 20 minutos depois do BB, começou a formação dos elementos químicos, a chamada **nucleossíntese** (prótons e nêutrons começam a formar o núcleo atômico), cuja teoria foi formulada em 1948, segundo analisamos antes. O **plasma** de elétrons e núcleos existiu por cerca de 300.000 anos até que a temperatura do Universo atingisse 5.000^0C quando então átomos de hidrogênio (${}_1\text{H}^2$) e hélio (${}_2\text{He}^4$) foram formados.

Ainda com relação ao MPBB, é interessante destacar que, em 1967 [*Pis'ma Zhurnal Eksperimental'noi I Theoreticheskoi Fiziki* **5**, p. 32 (*JEPT Letters* **5**, p. 24)], o físico russo Andrey Dmitriyevich Sakharov (1921-1989; PNPaz, 1975) propôs que foi a violação da **simetria carga-paridade** (SCP) (ver verbete nesta série) logo após o BB, a responsável pela RCFM. Com efeito, segundo o MPBB, se a SCP fosse preservada, essa explosão deveria produzir quantidades iguais de matéria e antimatéria [p.e.: próton (p) e antipróton (); elétron (e^-) e pósitron (e^+)] e que se cancelariam, segundo o mecanismo do **aniquilamento**, produzindo um mar de **fótons**. A quebra da SCP, segundo Sakharov, foi a responsável da existência hoje de apenas matéria hadrônica (bárions e mésons) no Universo. Hoje se sabe

que, por ocasião do BB, para cada bilhão (10^9) de aniquilamento ($p - \bar{p}$) sobrou um p e que 99% dos fótons do Universo (RCFM) resultaram desse aniquilamento. O restante (1%) decorre da luz vinda das estrelas.

Trataremos, agora, das dificuldades do MPBB e as tentativas de contorná-las.

1. **Anisotropia da RCFM.** Depois da descoberta “acidental” da RCFM, em 1965, como destacamos acima, vários astrofísicos e radioastrônomos começaram a desenvolver novos equipamentos para medir a RCFM. Segundo vimos em verbetes desta série, o Prêmio Nobel de Física de 2006 (PNF/2006) foi atribuído aos astrofísicos norte-americanos John Cromwell Mather (n.1946) e George Fitzgerald Smoot III (n.1945) por haverem desenvolvido tais equipamentos. Vejamos como isso aconteceu e quais as consequências. No final de janeiro de 1974, Mather aceitou o convite do físico norte-americano Patrick Thaddeus (n.1932) para realizar um pós-doutoramento no *Goddard Institute for Space Studies* (GISS), situado em New York, com seu *Goddard Space Flight Center* (GSFC), em Greenbelt, Maryland. No verão de 1974, a NASA anunciou o envio de novas missões (estas iniciadas em 1959) dos foguetes espaciais, *Solid Controlled Orbital Utility* (Scout) e Delta e estava recebendo propostas para novas pesquisas espaciais. Thaddeus [que já havia, em 1972 (*Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* **10**, p. 305), medido a temperatura da RCFM usando a espectroscopia de moléculas interestelares de cianogênio (C_2N_2)], perguntou aos seus colaboradores se tinham alguma ideia para apresentar à NASA. Mather disse-lhe que seu projeto de Tese poderia ser aproveitado, uma vez que a principal dificuldade com o dispositivo que trabalhou na Tese, qual seja, a influência da atmosfera na propagação da radiação cósmica, poderia ser contornada, pois o equipamento atingiria alturas bem maiores do que às dos balões atmosféricos. Em vista disso, Thaddeus pediu que Mather formasse uma equipe para trabalhar nesse projeto e sugeriu os nomes dos físicos norte-americanos Rainer Weiss (n.1932) (de origem alemã), do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e Wilkinson (um dos teóricos da explicação da RCFM, como vimos acima). Aos físicos Thaddeus, Mather, Weiss e Wilkinson, juntou-se o norte-americano Michael Hauser, que acabara de chegar ao GISS/GSFC, com seus colegas também norte-americanos Dirk Muehlner e Robert F. Silverberg e, então, começaram a desenvolver um equipamento composto de quatro instrumentos: um interferômetro de radiação infravermelha (RIV) longínqua para medir o espectro da RCFM; dois instrumentos para medir a **anisotropia** (variação do brilho em diferentes direções) dessa radiação de fundo; e um instrumento para procurar a RIV de fundo das primeiras galáxias.

No começo de 1976, Hauser convidou Mather e sua equipe para trabalhar no projeto que estes haviam concebido e que tinha como base um criostato de hélio líquido, que seria construído pela *Ball Aerospace Division*, em Boulder, Colorado. Por fim, de posse de cerca de 150 propostas, no outono de 1976, a NASA escolheu uma equipe de físicos que pertenciam aos principais projetos daquelas propostas: Samuel Gulkis, Hauser, Mather, Smoot III, Weiss e Wilkinson. Assim, essa equipe, juntamente com a física norte-americana Nancy W. Boggess [responsável pela astronomia de RIV do projeto *Infrared Astronomical Satellite* (IRAS) (“Satélite Astronômico Infravermelho”) da NASA] e uma equipe de engenheiros do GSFC começaram a desenvolver o *Cosmic Background Explorer* (COBE) (“Explorador de Radiação Cósmica de Fundo”). Para cada físico dessa equipe foi dada uma tarefa diferente. Com efeito, Smoot III seria responsável pelo *Differential Microwave*

Radiometer (DMR) (“Radiômetro Diferencial de Microondas”); Hauser, pelo *Diffuse Infrared Background Experiment* (DIRBE) (“Experimento de Fundo Infravermelho Difuso”); e Mather, pelo *Far Infrared Absolute Spectrophotometer* (FIRAS) (“Espectrofotômetro Absoluto de Infravermelho Distante”). Além disso, Weiss foi designado chefe (*chairman*) do *Science Working Group* (SWG), da NASA, e Mather escolhido para coordenar o trabalho entre físicos e engenheiros.

Agora, tratemos das observações e análises dos resultados obtidos pelo COBE/DMR/DIRBE/FIRAS (ver os componentes dessa equipe no verbete sobre o PNF/2006) sobre a **anisotropia** da RCFM. Em 1992 (*Astrophysical Journal Letters* **396**, p. L1; L7; L13), essa equipe anunciou que a RCFM apresentava pequenas oscilações ($\approx 30 \mu\text{K}$) e variação em sua temperatura ($\Delta T/T \approx 10^{-5}$). Observe-se que, usando um *bolômetro* levado por um balão para detectar pequenos comprimentos de onda da RCFM, Ken Ganga, Edward S. Cheng, Stephen S. Meyer e Lyman Page, em 1993 (*Astrophysical Journal Letters* **410**, p. L57), confirmaram aquela **anisotropia** da RCFM. Registre-se que o COBE foi lançado em 18 de novembro de 1989 pela NASA e encerrou sua missão científica no dia 23 de dezembro de 1993. É interessante destacar que a **anisotropia** da RCFM referida acima indicava que a *Via Láctea* estava sendo atraída por um objeto de enorme tamanho e durante bilhões de anos. Note-se que, em 1988 (*Astrophysical Journal* **327**, p. 19), os astrofísicos Donald Lynden-Bell (n.1935) (inglês), Sandra M. Faber, David Bernstein, Roger L. Davies, Alan Dressler, R. J. Terlevich e Gary Werner – conhecidos como os *Sete Samurais* – postularam a existência de um *Grande Atrator*, representado por uma enorme região difusa do espaço, em torno de 250 milhões de anos-luz distante da *Via Láctea* e na direção das constelações de *Hydra* e de *Centaurus*, e que é a responsável pelo movimento de nossa galáxia.

Depois de encerrada a missão do COBE seus dados passaram a ser examinados. Enquanto isso, a NASA começou a desenvolver um novo projeto para realizar medidas mais apuradas da RCFM numa resolução 35 vezes melhor do que a do COBE. Assim, em 30 de junho de 2001, a NASA lançou o satélite *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) (sem a participação de Mather), cuja missão foi encerrada em setembro de 2003, e seus dados foram examinados por um período de três anos, e apresentados, em 2007 (*Astrophysical Journal Supplement* **170**, p. 288), por G. Hinshaw, M. R. Nolta, Charles L. Bennett (n.1956), R. Bean, O. Doré, M. R. Greason, J. Halpern, R. S. Hill, N. Jarosik, A. Kogut, E. Komatsu, P. Limon, N. P. Odegard, Meyer, Page, H. V. Peiris, David N. Spergel (n.1961), G. S. Tucker, L. Verde, J. L. Weiland, E. Wollack e Edward L. Wright. Neste trabalho, foi anunciado que o nosso Universo tem a idade de $(13,73 \pm 0,15)$ bilhões (10^9) de anos, que é composto de 23% de **matéria escura**, 73% de **energia escura** e 4% de matéria comum (hadrônica). Além do mais, sua velocidade de expansão é de 21,8 km/s/milhão de anos-luz e sua densidade de massa crítica apresentando o seguinte valor: $\Omega = 1,024 \pm 0,015$, o que significa dizer que o nosso Universo possui uma **geometria praticamente euclidiana** e que se expandirá para sempre. Observe-se que a **geometria do espaço-tempo** é determinada pela observação das ondas sonoras do plasma (fótons + bárions) primordial [Smoot III, *Nobel Lecture* (08 de Dezembro de 2006; *Nobel e- Museum*)].


2. Expansão do Universo. Segundo vimos em verbete desta série no qual tratamos do PNF/2011, atribuídos aos astrofísicos norte-americanos Saul Perlmutter (n.1959), Brian P. Schmidt (n.1970) e Adam Guy Riess (n.1967), a **expansão do Universo** foi

descoberta em 1998 (*Astronomical Journal* **116**, p. 1009) (ver relação dos autores no verbete referido acima) pelo projeto *High-Z Supernova Search Team* (H-ZSST). Note-se que esse projeto foi criado, em 1994, por Schmidt e o astrofísico norte-americano Nicholas B. Suntzeff (n.1952) para detectar uma possível desaceleração do Universo observando **Supernovas do Tipo Ia** (SN Ia). Em 1995, Schmidt levou o H-ZSST para o *Mount Stromlo Observatory* da *Australian National University*. Observe-se que, em 1995 (*Astrophysical Journal Letters* **438**, p. L17), Riess, W. H. Press e o astrofísico norte-americano Robert P. Kirshner (n.1949) estudaram o movimento de um grupo de estrelas, o chamado **grupo local**, usando as formas das curvas de luz das SN Ia. Note-se que essas curvas de luz foram medidas usando câmaras criogênicas com sensor CCD (o sensor “Charge-Coupled Device”, foi inventado em 1970, conforme vimos em verbete desta série) que foram construídas para observar as SN 1986G e SN 1987A, e cujos resultados foram publicados, respectivamente, em 1987 (*Publications of the Astronomical Society of Pacific* **99**, p. 592), por um grupo de astrônomos liderados pelo astrônomo norte-americano Mark M. Phillips (n.1951) e por Suntzeff, e em 1988 (*Astronomical Journal* **95**, p. 1087), por M. M. Phillips, S. R. Heathcote, Mario Hamuy e M. Navarrete.


A descoberta da **expansão do Universo**, em 1998 (registrada acima), foi confirmada, em 1999, em trabalhos independentes, realizados pelo H-ZSST (*Astronomical Journal* **117**, p. 707) e pelo *Supernova Cosmology Project* (SCPj), liderado por Perlmutter (*Astrophysical Journal* **517**, p. 565) (ver relação dos autores desses artigos no verbete sobre o PNF/2011). Hoje, sabe-se que a velocidade de expansão é de 21,8 km/s/milhão de anos-luz, segundo registramos antes.

Em conclusão, vejamos como os astrofísicos estão contornando essas dificuldades, conforme já registramos em verbetes desta série e, agora, são devidamente atualizados.

1) Em 1979, apareceram as primeiras propostas de **Universos Sacolejantes** (*Bouncing Universes*) que não consideram o Universo como tendo um começo (caso do BB), e sim, propõem um Universo **sacolejante** (*bouncing*) que passou por um ponto de volume mínimo. Os dois primeiros desses modelos foram apresentados pelos cosmólogos, os russos Vitaly N. Melnikov e S. V. Orlov (*Physics Letters* **A70**, p. 263), tendo campos escalares, com quebra espontânea de simetria, como fontes, e os brasileiros Mário Novello (n.1942) e José Martins Salim (n.1951) (*Physical Review* **D20**, p. 377), tendo fótons não lineares como fontes. Esse tipo de **Universo Eterno** se caracteriza por apresentar um volume mínimo, mas não nulo e, portanto, uma energia (E) máxima, mas não infinita ($E = \infty$) como prevê o MPBB, pois, segundo este modelo, no começo do Universo, o volume era nulo e o tempo também nulo ($\Delta t=0$), acarretando, pelo **Princípio da Incerteza de Heisenberg** (postulado em 1927, como já registramos em verbete desta série) – $\Delta E \Delta t \approx h$ – que $\Delta E = \infty$.

2) Em 1983 (*Astrophysical Journal* **270**, p. 365), o físico israelense Mordehai Milgrom (n.1946) propôs a MOND (*Modified Newtonian Dynamics*), uma modificação da gravitação newtoniana, ou seja, esta só vale até um determinado limite da aceleração: $a_0 \sim 10^{-8} \text{ cm/s}^2$. Assim, quando $g \ll a_0$, a força de Newton passa a ser proporcional ao quadrado da aceleração (). Observe-se que, em 2004 (*arXiv:astro-ph/0403694v1*, 30 March), o físico israelense Jacob David Bekenstein (n.1947) (de origem mexicana) desenvolveu a versão

relativística da MOND, introduzindo três diferentes campos no espaço-tempo para substituir o campo gravitacional.

3) Em 1984 (*General Relativity and Gravitation* **16**, p. 535), Novello e Hans Heitzmann (n.1940) propuseram um novo modelo para explicar o Universo - o **Dynamical Eternal Universe Scenario** (DEUS) – que descreve um Universo **aberto**, tipo-Friedmann, eterno e sem singularidade, criado espontaneamente a partir da **instabilidade de um estado de vácuo**, instabilidade essa induzida pela interação deste vácuo com estruturas geométricas especiais, como o **wist** {estrutura da **geometria de Weyl** [Hermann Weyl, **Space-Time-Matter** (Dover,1952)] na qual as variações de comprimento são integráveis ao longo dos caminhos fechados}, no começo da fase expansiva do Universo. Ainda segundo esse modelo, cujas primeiras ideias foram apresentadas por Novello, em 1982 (*CBPF-CS-001/82*), a matéria continua sendo criada no Universo, por intermédio da flutuação de imensos vazios no espaço-tempo, os chamados **núcleos atrasados de matéria** ou **buracos brancos** [conceito introduzido pelo astrofísico Roger Penrose (n.1931), que apresenta uma estrutura semelhante ao **buraco negro**, e possui um **horizonte de eventos** que permite a passagem no sentido oposto, isto é, de dentro para fora] e que, em vista disso, o Universo pode expandir-se e contrair-se entre o infinito passado e o infinito futuro sem, contudo, passar pela singularidade do início da criação. Nesse **Universo Viscoso de Novello-Heintzmann**, os problemas (*puzzles*) do MPBB não existem e, portanto, o raio do Universo evolui estritamente de acordo com as leis da Física, e sua equação é dada por.  $H_0 \rightarrow R(t) = \exp(H_0 t)$.

4) Em 1993 (*Astrophysical Journal* **410**, p. 437) e em 1994 (*Astronomy and Astrophysics* **289**, p. 729; *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **267**, p. 1007), os astrofísicos, os ingleses Hoyle, Geoffrey Roland Burbidge (1925-2010) e o indiano Jayant Vishu Narlikar (1938-2010) desenvolveram o **Universo Cosmológico Quase Estacionário** partindo de um Princípio de Mínima Ação, explicando então como a matéria e a radiação apareceram no Universo. Esse princípio inclui a possibilidade de uma linha-mundo (equivalente quadridimensional da trajetória tridimensional) típica de uma partícula ter um começo. Por intermédio de um **campo escalar de criação**, que atua negativamente no processo de mini-criação da matéria, ele contrabalança a energia positiva de criação. A mini-criação causa uma **expansão no Universo**, que reduz o valor médio daquele campo, tornando difícil uma nova mini-criação. A gravidade então atua superando a expansão e o Universo se contrai, aumentando aquele campo até que nova mini-criação ocorra. Segundo esse modelo, o Universo é eterno e infinito, alternando expansões que duram cerca de 40 bilhões de anos, com contrações. A massa é eternamente criada em **buracos brancos** e com o valor da **massa de Planck**, dada por: $M_p = 10^{-5} \text{ g}$.




5) Em 1995 (*Physical Review* **D52**, p. 1837), Bharat Ratra e Peebles formularam o **Universo Cosmológico Inflacionário Aberto** para explicar a origem do Universo. Nesse modelo, ao contrário de outras teorias de inflação que pressupõem uma quantidade grande de inflação, o novo tipo de inflação proposto - a **inflação aberta** - pode produzir um Universo em que a relação entre a densidade real e a densidade crítica do Universo (Ω_0) é menor do que um ($\Omega_0 < 1$). É interessante registrar que Peebles é autor da seguinte frase: - *Se a inflação está errada, então DEUS desperdiçou um bom truque! A inflação é uma linda teoria. Contudo, existem muitas ideias lindas que a Natureza decidiu não usar, assim como não devemos nos queixar muito se estiver errada.*

6) Em 1996 (*Physical Review Letters* **76**, p. 2617), o astrofísico português João Carlos Rosa Magueijo (n.1967), Albrecht, David Coulson e Pedro Ferreira apresentaram um modelo para explicar, sem usar modelos inflacionários, a **anisotropia** da RCFM registrada pelo COBE. Note-se que, em 1999 (*Physical Review* **D59**, p. 043516), Albrecht e Magueijo apresentaram o **Universo VSL** (*Varying Speed of Light*) para explicar os problemas (*puzzles*) cosmológicos referidos neste verbete. [João Magueijo, **Faster Than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation** (Perseus Publishers, 2003)].

7) Em 1998 (*Physical Review* **D58**, a.n. 023501), os físicos, o norte-americano John Richard Gott III (n.1947) e o chinês Li-Xin Li investigaram a possibilidade de o Universo se autocriar. Registre-se que, antes, em 1994 (*Physical Review* **D50**, a.n. R6037), Li havia mostrado que a explosão do **vácuo quântico** poderia ser impedida colocando uma esfera reflexiva entre as “bocas” de um **buraco de minhoca** (*worm hole*) (vide verbete nesta série). Em 1999 (*Physical Review* **D59**, a.n. 123513), P. F. González-Díaz investigou a estabilidade do **Universo Autocriador de Gott III-Li**.

8) Em 1999 (*Physical Review* **D60**, p. 081301), Dragan Huterer e Michael S. Turner (n.1949) usaram, pela primeira vez, o termo **energia escura** (EnE ou DE: *dark energy*) para explicar a expansão inesperada do Universo, observada em 1998 e confirmada em 1999, segundo vimos antes.

9) Em 1999 (*The Astrophysical Journal* **523**, p. L99), o astrônomo norte-americano Stacy Sutton McGaugh (n.1964) usou a MOND para explicar a RCFM.

10) Em 2001 (*arXiv:astro-ph/0108103v1*, August), Turner propôs um novo **Modelo Cosmológico** (MC) tendo a **Equação de Einstein** (EE) como base, porém com Λ com outro significado físico, qual seja: , sendo  a **densidade de energia do vácuo quântico**, acrescentou-se ao segundo membro da EE e esta ficou com o seguinte aspecto: . Para Turner, seu MC tem as seguintes características: 1) - O Universo está acelerando e sua geometria é plana; 2) - Houve uma **inflação** no início da formação do Universo; 3) - As inhomogeneidades da densidade do Universo decorrem das flutuações quânticas durante a inflação; 4) - A composição do Universo é de $\approx 2/3$ de EnE, $\approx 1/3$ de **matéria escura** [esta foi pela primeira vez observada pelo astrônomo búlgaro-suíço-norte-americano Fritz Zwicky (1898-1974), em 1937 (*Astrophysical Journal* **86**, p. 217)] e $1/200$ de estrelas brilhantes; 5) - O conteúdo de matéria do Universo é de: (29 4)% de matéria escura fria; (4 1)% de matéria hadrônica conhecida (elétrons, prótons, nêutrons etc.); $\sim 0,3\%$ de neutrinos. Ainda nesse artigo, Turner afirma que a EnE, por ser de natureza difusa e se tratar de um fenômeno de baixa energia, não pode ser produzida em aceleradores de partículas e, portanto, o laboratório natural - e talvez único - para observá-la é o próprio Universo.

11) Em 30 de junho de 2001, a NASA lançou o WMAP, cujos resultados analisados foram apresentados acima e assim resumidos: o Universo tem a idade de (13,73 0,15) bilhões (10^9) de anos; ele é composto de 23% de **matéria escura**, 73% de **energia escura** e 4% de matéria comum (hadrônica); e apresenta uma **geometria praticamente euclidiana** (observada desde 2000) e que se expandirá para sempre, sem a possibilidade de haver um **big crunch**.

12) Em 2004 (*The Astrophysical Journal* **611**, p. 26), McGaugh apresentou uma comparação entre os resultados experimentais do WMAP e as previsões do MOND.

13) Em 2006 (*The Astrophysical Journal* **648**, p. L109), os astrônomos Douglas Clowe, Marusa Bradac, Anthony H. Gonzalez, Maxim Markevitch, Scott W. Randall, Christine Jones e Dennis Zaritsky estudaram o resultado da colisão entre dois aglomerados de galáxias, ocorrida há cerca de 100 milhões de anos. O resultado final dessa colisão deu origem ao aglomerado conhecido como **Projétil (bullet)** – 1E0657-556, considerado como uma **prova empírica direta da existência da matéria escura**. Para maiores detalhes dessa descoberta, ver: SPACE.com (23 de agosto de 2006) e *Ciência Hoje* **39 (231)** (outubro de 2006).

14) Em abril de 2009, foi lançado o satélite *Planck Surveyor* pela *European Spacial Agence* (ESA) (“Agência Espacial Européia”) cujas novas observações espaciais mostrarão se há ou não necessidade de modificar a **cosmologia newtoniana/einsteiniana**.

15) Em 10 de julho de 2010 (*arXiv: 1007.1750v1 [physics.gen-ph]*), o físico chinês Wun-Yi Shu propôs **Universos Cosmológicos Sem Big Bang**, que são caracterizados por quatro aspectos: I) a velocidade da luz (c) e a constante gravitacional (G) não são constantes e variam com a evolução do Universo; II) o tempo não tem começo e nem fim; III) a secção espacial do Universo é uma 3-esfera; IV) o Universo experimenta fases de aceleração e de desaceleração.

16) Em 2011 (*Journal of High Energy Physics* **4**, p.29), o físico alemão Erik Peter Verlinde (n.1962) propôs uma origem entrópica para a **cosmologia newtoniana/einsteiniana**.

17) Em 2011 (*Physical Review Letters* **106**, a.n. 121303), McGaugh apresentou um novo teste do MOND com galáxias ricas em gases.

18) Em julho de 2012 (*arXiv.org.abs/1207.3123*), os físicos norte-americanos Ahmed Almheiri, Donald Marolf, Joseph Polchinski (n.1954) e James Sully propuseram o **Paradoxo Parede de Fogo (PPF)** (*firewall paradox*) sobre a possibilidade de uma **informação** sair ou não de um **buraco negro (BN)**. Assim, segundo esses físicos, se a **informação** pode sair de um BN, segundo a **Radiação de Hawking** (ver acima), então isso pode produzir grandes quantidades de energia criando uma “parede de fogo” no **horizonte de eventos** (ver acima) do BN e, portanto, irá consumir imediatamente qualquer objeto que cruze a PPF e se dirija para o interior do BN. Contudo, segundo a TGR, a passagem de um corpo por aquele horizonte é quase imperceptível. Daí o PPF. (*Inovação Tecnológica*, 01/02/2014; *New Scientist* e *Nature*, 29/01/2014).

19) Em 2013 (*The Astrophysical Journal* **766**, p. 22; **775**, p. 139), McGaugh e Milgrom usaram o MOND para explicar as estrelas anãs da *Galáxia de Andrômeda*.

20) Em janeiro de 2014 (*arXiv.org/abs/1401.5313*), o físico alemão Christof Wetterich (n.1952) propôs um modelo de Universo sem expansão [iniciado por ele em 1988 (*Nuclear Physics* **B302**, p. 645; 668)], um **universo de gravidade variável** cuja característica principal é uma forte variação temporal da **massa de Planck** ($M_p = 10^{-5} \text{ g}$), com a massa das partículas proporcionais a M_p e crescendo exponencialmente. Esse modelo pode substituir a **expansão do Universo** e criar um **modelo cosmológico** no qual há inflação, há também domínio da RCFM, e da existência da **matéria e energia escuras**, sem a necessidade da singularidade do BB.

21) Em janeiro de 2014 (*arXiv.org.abs/1401.5761*), Hawking propôs a não existência do **buraco negro** para resolver o PPF.

22) Em fevereiro de 2014 (*arXiv.org/abs/1402.5031*), Wetterich voltou a tratar de seu **universo de gravidade variável**.



ANTERIOR

SEGUINTE