



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Anisotropia da Radiação Cósmica de Fundo de Microonda (RCFM) e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 2006 – Parte 1: Mather.

O PNF de 2006 foi dividido pelos astrofísicos norte-americanos John Cromwell Mather (n.1946) e George Fitzgerald Smoot III (n.1945) por terem desenvolvido equipamentos para medir e analisar a *Cosmic Microwave Background Radiation* - **Radiação Cósmica de Fundo de Microonda** (RCFM) - cujo resultado revelou uma **anisotropia** da mesma. Neste verbete, vamos tratar dos trabalhos de Mather.

Mather nasceu em 07 de agosto de 1946, em Roanoke, Virginia (EUA). Seu interesse pela ciência, particularmente pela Astronomia, começou bem cedo. Quando tinha a idade de seis anos, seu pai comprou-lhe um pequeno telescópio (assim como o livro **Astronomy Made Simple**), pois Mather interessou-se bastante em ver (sem sucesso, devido à limitação daquele instrumento óptico) os famosos “canais” de Marte, uma vez que, nessa época, esse planeta estaria mais próximo da Terra. Ao concluir o oitavo (8^o) grau do *Wantage Consolidated Elementary School* (New Jersey - NJ), Mather foi para o *Newton High School*, ainda em NJ, havendo concluído o décimo primeiro (11^o) grau (ano em que estudou Física), em 1964. Concluído o *High School*, Mather aprendeu fundamentos de Matemática, no *Assumption College* (AC), e estudou novos aspectos da Física em um Curso de Verão, na *Universidade de Cornell*. Por fim, decidiu realizar sua graduação no *Swarthmore College* (SC) (Pensilvânia), onde obteve o Bacharelado em Física, em 1968. É interessante destacar que, no exame de conclusão no SC, um dos examinadores, o físico norte-americano David Todd Wilkinson (1935-2002) (com quem mais tarde iria trabalhar com a RCFM, segundo veremos mais adiante), da *Princeton University* (PU), perguntou-lhe sobre os efeitos diários da relatividade, e Mather respondeu-lhe algo como: - *O magnetismo era um efeito relativístico do movimento do elétron*.

Para a realização de sua pós-graduação, Mather havia escolhido a PU, contudo, um amigo dele do AC, Ted Chang, que havia ido para a *University of California*, em Berkeley (UC-B), mandou-lhe uma sua foto sentado em uma fonte, em Berkeley. Maravilhado com essa foto e com as possibilidades que a UC-B oferecia na área de Física, principalmente o *Lawrence Berkeley Laboratory* (LBL), Mather decidiu realizar o seu Doutorado em Física nessa Universidade. Assim, começou a trabalhar com o físico norte-americano Henry Frisch que tratava do controle eletrônico da câmara de faísca (*spark*) (ver verbete nesta série) do LBL. Na UC-B, Mather desejava ser um físico de partículas elementares, tendo como imagem seu herói, o físico norte-americano Richard Phillips Feynman (1918-1988; PNF, 1965). Contudo, em virtude da *Guerra do Vietnam* (1955-1975) que, segundo o pensamento das autoridades norte-americanas, ameaçava a democracia dos Estados Unidos por parte dos comunistas vietcongs, Mather pensou em fazer Direito para defender seu país dessa ameaça.

Porém, depois de fazer um curso sobre Física de Plasmas, pensou em trabalhar em fusão nuclear cujo uso de sua potência, presumia, iria ajudar a humanidade. Por fim, em 1970, estava na hora de pensar em sua Tese de Doutorado. Assim, depois de realizar algumas entrevistas com possíveis orientadores, Mather começou com os físicos norte-americanos Paul L. Richards e Michael W. Werner a estudar a recente descoberta da RCFM, ocorrida em 1964, pelos radioastrônomos norte-americanos Arno Allan Penzias (n.1933; PNF, 1978) (de origem alemã) e Robert Woodrow Wilson (n.1936; PNF, 1978) (vide verbete nesta série) que trabalhavam na *Bell Telephone Laboratories*, em Holmdel, NJ. É interessante registrar que, em 1965, Mather leu o famoso livro do físico russo-norte-americano George Antonovich Gamow (1904-1968), intitulado **One, Two, Three ... Infinity** (Viking Press, 1947).

Na UC-B, Mather, Werner [que trabalhara com o físico norte-americano Charles Hard Townes (n.1915; PNF, 1964) – o inventor do *maser* (1953)] e Richards (com formação em física de baixas temperaturas) começaram a desenvolver um equipamento que pudesse medir a RCFM com comprimento de onda em torno de um milímetro (1 mm). Para isso, eles usaram o **interferômetro de Fabry-Pérot** [inventado pelos físicos franceses Charles Fabry (1867-1945) e Jean Baptiste Gaspard Gustav Alfred Pérot (1863-1925), em 1898 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris* **126**, p. 34) e, com o qual descobriram a camada de ozônio (O₃) na alta atmosfera] associado com hélio (He) líquido resfriado para detectar radiação infravermelha (RIV). Aproveitando as instalações que a UC-B tinha na *White Mountain* no leste da Califórnia para estudar a fisiologia em altas altitudes, Mather, Richards e Werner instalaram lá seu equipamento para medir a RCFM nos comprimentos de onda programados e, em 1971 (*Astrophysical Journal Letters* **170**, L59), publicaram os primeiros resultados. Aproveitando seu ano sabático, Richards foi para a Inglaterra para estudar o **interferômetro de Martin-Puplett** que fora inventado, em 1970 (*Infrared Physics* **10**, p. 105), por E. Puplett e D. H. Martin. Enquanto estava na Inglaterra, Richards teve a ideia de usar esse dispositivo como carga suspensa em balões atmosféricos (*balloon-borne*) em alta altitude e que eram elevados em cerca de 99,5% da atmosfera terrestre.

De volta à UC-B, Richards reuniu-se com dois de seus alunos de doutorado, Mather e David Wood, propondo-lhes desenvolver essa ideia e, para a execução da mesma, deveria ser construído um equipamento (antena) composto de um **interferômetro de Michelson** (vide verbete nesta série) imerso em He líquido para mantê-lo frio; um **bolômetro** para detectar RIV longínqua; um corpo negro frio, servindo como referência; e um coletor cônico metálico de luz, com ângulo de 7⁰ de varredura do céu, dotado de um furo para receber a radiação cósmica. Em 1973, uma equipe de inspeção (*review panel*) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) visitou o *Space Science Laboratory* (SSL), em Berkeley, e o equipamento que havia sido desenvolvido por Mather, Woody e Richards [descrito em um artigo por eles publicado em 1974 (*Institute of Electrical and Electronic Engineers-IEEE: Transactions on Microwave Theory and Technology* **22**, p. 1046)], foi então apresentado ao *panel* que, imediatamente, aceitou-o para ser incluído em uma próxima missão da NASA. Contudo, na primeira tentativa de lançamento, o equipamento caiu por um defeito na solda de ligação da antena ao balão atmosférico. Note que esse projeto foi a base da Tese de Doutorado de Mather, defendida em 1974, na UC-B, sob a orientação de Richards. O defeito foi então corrigido por Woody e a antena foi re-lançada com sucesso, cujos

resultados foram apresentados, em 1975 (*Physical Review Letters* **34**, p. 1036), por Woody, Mather, N. S. Nishioka e Richards.

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, da PU que fora um dos teóricos da explicação da RCFM, junto com os físicos norte-americanos Robert Henry Dicke (1916-1997), Phillip James Edwin Peebles (n.1935) e Peter Guy Roll, em 1965. 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 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. É interessante registrar que essa equipe, sob a liderança de Mather, não conhecia que outros grupos de físicos também estavam trabalhando em um projeto com a mesma finalidade como, por exemplo, o liderado pelo físico norte-americano Luís Walter Alvarez (1911-1988; PNF, 1968) da UC-B, com a participação do físico norte-americano Richard A. Muller (n.1944) e Smoot III, e o do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), em Pasadena, Califórnia, sob a liderança de Samuel Gulkis e Michael A. Janssen. Esses projetos poderiam ser conduzidos por balões atmosféricos ou pelo avião-espião, o *Lockheed-Martin* U-2. Como veremos mais adiante, em 1977, Smoot III, Marc V. Gorenstein e Muller observaram a **anisotropia** da RCFM devido ao movimento da Terra, medida por um detector (construído por Smoot III) que se encontrava a bordo do U-2.

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: 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 dado 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.

Em seu trabalho de Tese de Doutorado, referido acima, Mather havia simplesmente juntado ao cone coletor de luz um refletor de aço inoxidável para proteger o cone de luz de radiação errante. Contudo, ele sabia que, em 1962 (*Journal of the Optical Society of America* **52**, p. 116), Joseph Keller havia mostrado que a luz se propaga em linha reta com exceção de fronteiras e de obstáculos e, mais ainda, que a luz se difrata em superfícies curvas atenuando-se exponencialmente. Com essa informação em mente, e considerando que a NASA havia aceitado seu projeto (oficialmente aprovado em 1982), Mather e sua equipe começaram a melhorar cada vez mais os equipamentos (DMR, DIRBE e FIRAS) que fariam parte da missão COBE. Assim, ele começou a desenvolver uma superfície de junção entre o cone coletor e o refletor, que levasse em conta a atenuação acima referida, bem como melhorou seus detectores (*bolômetros*) que, além de detectarem RIV, detectavam, também, raios cósmicos. Esse novo dispositivo foi apresentado por Mather, em 1981 (*Institute of Electrical and Electronic Engineers-IEEE: Transactions on Antennas and Propagation* **29**, p. 967), e em 1984 (*Applied Optics* **23**, p. 584), por H. Hemmati, Mather e W. L. Eichhorn, em 1985 (*Applied Optics* **24**, p. 4489), e por Mather, Marco A. Toral e H. Hemmati, em 1986 (*Applied Optics* **25**, p. 2826).

Depois do sucesso do lançamento do IRAS, em 25 de janeiro de 1983, a NASA se preparava para lançar outros projetos, como o próprio COBE e o *Hubble Space Telescope* (HST). O COBE foi programado para ser lançado no começo de 1988. Contudo, com o desastre ocorrido com o *Space Shuttle Challenger* (SSC – ônibus espacial), em 28 de janeiro de 1986, a NASA começou a receber restrições sobre a prioridade de seus projetos, com a possibilidade, inclusive, de ser lançado por um foguete francês. Mas, considerando que a primazia desse projeto deveria ser apenas norte-americana, a NASA decidiu então lançar o COBE (projeto de \$160 milhões) em 18 de novembro de 1989, de *Vandenberg Air Force Base*, na Califórnia, com um foguete DELTA (controlado pelo GSFC), numa órbita circular a 900 km acima da Terra e com seu plano inclinado de 99° em relação ao equador e quase perpendicular a linha do Sol, e completando sua jornada em torno da Terra a cada seis meses. Em seguida ao lançamento, começou a análise e interpretação de dados enviados pelo COBE. Primeiro, trataremos da análise dos dados enviados pelo COBE/FIRAS, cuja função era de determinar se a RCFM tinha o espectro de um perfeito corpo negro (ver verbete nesta série). Em janeiro de 1990, por ocasião do encontro da *American Astronomical Society*, realizado na cidade de Crystal, subúrbio de Washington, D. C., Mather, em nome da equipe do COBE (Edward S. Cheng, Robert E. Eplee Junior, Richard B. Isaacman, Stephen S. Meyer, Richard Arrick Shafer, Weiss, Edward L. Wright, Charles L. Bennett (n.1956), Boggess, Eliahu Dwek, Gulkis, Hauser, Janssen, Thomas Kelsall, Philip M. Lubin, Samuel H. Moseley Junior, Thomas L. Murdock, Silverberg, Smoot III e Wilkinson) anunciou que a RCFM encontrada pelo FIRAS se ajustava ao espectro do corpo negro: $(2,728 \pm 0,002)$ K, conforme cálculos por eles apresentados, ainda em 1990 (*Astrophysical Journal Letters* **354**, p. L37). Observe-se que,

com esse resultado, a Teoria do Big Bang foi fortalecida. É interessante observar que Herb P. Gush, M. Halpern e E. Wishnow, da *University of British Columbia*, poucas semanas depois do lançamento do COBE lançaram um foguete-sonda com um equipamento parecido com o FIRAS e, também em 1990 (*Physical Review Letters* **65**, p. 537), anunciaram que haviam encontrado um espectro parecido com o espectro de corpo negro do FIRAS. Registre-se que o HST foi lançado no dia 24 de abril de 1990.

Vejam os novos dados do FIRAS, sob o comando de Mather. Em 1994 (*Astrophysical Journal* **420**, p. 439; 445; 450), a equipe do COBE/FIRAS [Mather, David A. Cottingham, Cheng, Eplee Junior, Dale J. Fixsen, Tilak Hewagama, Isaacman, Kenneth A. Jensen, Meyer, Peter D. Noerdlinger, Shirley M. Read, Lawrence P. Rosen, Shafer, Wright, Bennett, Boggess, Hauser, Kelsall, Moseley Junior, Silverberg, Smoot III, Weiss e Wilkinson (primeiro artigo); esta mesma equipe, porém sem a participação de Hewagama, Read, Rosen, Jensen e Hauser (segundo artigo); e esta última equipe sem a participação de Eplee Junior, Cottingham, Isaacman, Meyer, Noerdlinger, Kelsall, Moseley Junior e Wilkinson, porém com a inclusão de Alan Kogut (terceiro artigo)], apresentou a análise completa do primeiro espectro da RCFM medido em 1990. O resultado dessa análise, na qual foi também considerado o espectro de dipolo da RCFM (devido ao movimento da Terra através do cosmos, conhecido como **dipolo cósmico**), indicou que a temperatura de corpo negro da RCFM era dada por: $(2,726 \pm 0,001)$ K. Ainda em 1994 (*Astrophysical Journal* **434**, p. 587), Bennett, Fixsen, Gary Hinshaw, Mather, Moseley Junior, Wright, Eplee Junior, J. M. Gales, Hewagama, Isaacman, Shafer e R. Turpie investigaram a morfologia de linhas espectrais frias interestelares. Novas confirmações (com exames dos limites de variação espacial da RCFM) do resultado de 1990 foram publicadas em 1996 (*Astrophysical Journal* **473**, p. 576), por Fixsen, Cheng, Gales, Mather, Shafer e Wright; em 1997, por Fixsen, Hinshaw, Bennett e Mather (*Physical Review D* **55**, p. 1901) e Kogut, Hinshaw e A. J. Banday (*Physical Review D* **55**, p. 1901); em 1998 (*Astrophysical Journal* **512**, p. 511), por Mather, Fixsen, Shafer, C. Mosier e Wilkinson; e, em 2002 (*Astrophysical Journal* **581**, p. 817), por Fixsen e Mather.

Por outro lado, Kogut, Fixsen, S. Levin, M. Limon, Lubin, P. Mirel, M. Seiffert e E. Wollack desenvolveram um **radiômetro**, conduzido por um balão, para medir a temperatura do RCFM em comprimentos de onda da ordem de centímetros, instrumento esse conhecido como *Absolute Radiometer for Cosmology, Astrophysics, and Diffuse Emission* (ARCADE). Tal equipamento teve dois lançamentos: em 02 de novembro de 2001, de *Fort Summer*, Novo México; e em 15 de junho de 2003, de Palestine, Texas. Os resultados do voo de 2003 foram apresentados, em 2004 (*Astrophysical Journal Supplement* **S154**, p. 493; *Astrophysical Journal* **612**, p. 86), apresentando os seguintes valores: $(2,721 \pm 0,010)$ K, na frequência de 10 GHz e $(2,694 \pm 0,032)$ K, em 30 GHz, consistentes, portanto, com os do FIRAS.

Tratemos, agora, da análise dos dados enviados pelo DMR, sob o comando de Smoot III, cujo objetivo era medir a **anisotropia** (variação do brilho através do céu) da RCFM, segundo afirmamos acima. No entanto, antes dessa análise, é necessário registrar a **anisotropia** da RCFM já havia sido observada (na faixa de comprimento de onda de centímetros e milímetros) e sua polarização estudada experimentalmente e teoricamente em vários trabalhos, dentre os quais destacamos os de: R. K. Sachs e A. M. Wolfe, em 1967 (*Astrophysical Journal* **147**, p. 73); K. Shivanandan, J. R. Houck e M. O. Harwit, em 1968 (*Physical Review Letters* **21**, p. 1460); os físicos russos Yakov Borisovich Zel'dovich (1914-1987) e Rashid Alievich Sunyaev (n.1943), em 1969 e 1970 (*Astrophysics and Space Science*

4; 7, p.301; 3); Peebles e J. T. Yu, em 1970 (*Astrophysical Journal* **162**, p. 815); E. R. Harrison, em 1970 (*Physical Review* **D1**, p. 2627); Zel'dovich, em 1972 (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **160**, p. 1); Zel'dovich, A. F. Illarionov e Sunyaev, e Zel'dovich e Sunyaev, em 1972 [*Soviet Physics-Journal of Experimental and Theoretical Physics (JETP)* **28**, p. 1287; *Comments on Astrophysical Space Physics* **4**, p. 173]; Smoot III, Gorenstein e Muller, em 1977 (*Physical Review Letters* **39**, p. 898); Gorenstein, Muller, Smoot III e Anthony Tyson, em 1978 (*Review of Scientific Instruments* **49**, número 4); Lubin e Smoot III, em 1979 (*Physical Review Letters* **42**, p. 129; *Astrophysical Journal* **234**, p. L83); Janssen, S. M. Bednarczyk, Gulkis, H. W. Marlin e Smoot III, em 1979 (*IEEE: Transactions on Antennas and Propagation* **27**, p. 551); George P. Nanos Jr., em 1979 (*Astrophysical Journal* **232**, p. 341); Smoot III, em 1980 (*Final Report-UC/LBL* **1**); Gorenstein e Smoot III, em 1981 (*Astrophysical Journal* **244**, p. 361); Lubin, Philip Melese e Smoot III, em 1983 (*Astrophysical Journal Letters* **273**, p. L51), Lubin, Epstein e Smoot III, em 1983 (*Physical Review Letters* **50**, p. 616; *Science News* **123**, p. 126); Fixsen, Cheng e Wilkinson, em 1983 (*Physical Review Letters* **50**, p. 620); Smoot III, Amici, S. D. Friedman, Chris Witebsky, N. Mandolesi, R. Bruce Partridge, Giorgio Sironi, Luigi Danese e Gianfranco de Zotti, em 1983 (*Physical Review Letters* **51**, p. 1099); Lubin, o astrofísico brasileiro Thyrso Villela Neto (n.1958), Epstein e Smoot III, em 1985 (*Astrophysical Journal Letters* **298**, p. L1); D. G. Johnson e Wilkenson, em 1987 (*Astrophysical Journal Letters* **313**, p. L1); Smoot III, M. Bensadoun, M. Bersanelli, Amici, Kogut, Levin e Witebsky, em 1987 (*Astrophysical Journal Letters* **317**, p. L45); Smoot III, Levin, Witebsky, Amici e Y. Rephaeli, em 1988 (*Astrophysical Journal Letters* **331**, p. L1); e Toral, Roger B. Ratliff, Maria C. Leche, John G. Maruschak e Bennett, em 1989 (*IEEE: Transactions on Antennas and Propagation* **37**, p. 171).

Agora, tratemos das observações do COBE/DMR sobre a **anisotropia** da RCFM. O primeiro registro foi apresentado por Wright, em outubro de 1991, em um encontro do SWG, decorrente da análise computacional que ele próprio fez dos dados do DMR. Porém, o anúncio oficial dessa descoberta só aconteceu em 23 de abril de 1992, por ocasião de uma Reunião da *Sociedade Americana de Física*, em Washington, D.C. Ainda em 1992 (*Astrophysical Journal Letters* **396**, p. L1; L7; L13), essa descoberta foi publicada pela equipe do COBE/DMR [Smoot III, Bennett, Kogut, Wright, Jon Aymon, Boggess, Cheng, G. de Amici, Gulkis, Hauser, Hinshaw, P. D. Jackson, Janssen, E. Kaita, Kelsall, P. Keegstra, Charley Lineweaver, Karen Loewenstein, Lubin, Mather, Moseley Junior, Murdock, L. Rokke, Silverberg, L. Tenorio, Weiss e Wilkinson (primeiro artigo); por esta mesma equipe, sem a participação de Aymon, Kaita, Jackson, Lubin, Keegstra, Lineweaver, Loewenstein, Rokke e Tenorio, mas com a participação de Meyer (segundo artigo); e esta última equipe sem a participação de Amici, porém com a inclusão de Lineweaver, Lubin e Shafer (terceiro artigo)]. O principal resultado nesses três trabalhos foi o de que a RCFM apresentava pequenas oscilações ($\sim 30 \mu\text{K}$) e variação em sua temperatura ($\Delta T/T \sim 10^{-5}$). Observe-se que, usando um **bolômetro** levado por um balão para detectar pequenos comprimentos de onda da RCFM, Ken Ganga, Cheng, Meyer e Lyman Page, em 1993 (*Astrophysical Journal Letters* **410**, p. L57), confirmaram a **anisotropia** da RCFM. Registre-se que o COBE encerrou sua missão científica no dia 23 de dezembro de 1993.

Por fim, analisemos os resultados do COBE/DIRBE que objetivava medir a parte infravermelha (*Cosmic Infrared Background* - CIB) e os limites da RCFM, bem como observar a estrutura das galáxias; a poeira interplanetária; possíveis planetas estelares e, com isso,

apresentar modelos para explicar essas observações. Seus resultados foram apresentados em 1998, por S. Odenwald, J. Newmark e Smoot III (*Astrophysical Journal* **500**, p. 554); Hauser, R. G. Arendt, Kelsall, Dwek, N. P. Odegard, J. L. Weiland, H. T. Freudenreich, W. T. Reach, Silverberg, Moseley Junior, Y. C. Pei, Lubin, Mather, Shafer, Smoot III, Weiss, Wilkinson e Wright (*Astrophysical Journal* **508**, p. 25); Kelsall, Weiland, B. A. Franz, Reach, Arendt, Dwek, Freudenreich, Hauser, Moseley Junior, Odegard, Silverberg e Wright (*Astrophysical Journal* **508**, p. 44K); Arendt, Odegard, Weiland, T. J. Sodroski, Hauser, Dwek, Kelsall, Moseley Junior, Silverberg, David Leisawitz, K. Mitchell, Reach e Wright (*Astrophysical Journal* **508**, p. 74); Dwek, Arendt, Hauser, Fixsen, Kelsall, Leisawitz, Pei, Wright, Mather, Moseley Junior, Odegard, Shafer, Silverberg e Weiland (*Astrophysical Journal* **508**, p. 106); Fixsen, Dwek, Mather, Bennett e Shafer (*Astrophysical Journal* **508**, p. 123). Em 2001 (*Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* **39**, p. 249), Hauser e Dwek examinaram a possibilidade do CIB ser produzido por uma população desconhecida de poeiras galáticas muito brilhantes com z [deslocamento para o vermelho – *red shift* (ver verbete nesta série)] entre 2 e 3. Em 2005 (*Nature* **435**, p. 1067), P. Kallas, J. Graham e M. Clampin observaram poeira estelar organizando-se em um anel para a formação de um possível planeta.

Conforme vimos acima, a missão científica do COBE foi concluída em 23 de dezembro de 1993. Enquanto os dados enviados por esse satélite estavam sendo examinados, 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 Hinshaw, M. R.olta, Bennett, R. Bean, O. Doré, M. R. Greason, Halpern, R. S. Hill, N. Jarosik, Kogut, E. Komatsu, Limon, Odegard, Meyer, Page, H. V. Peiris, David N. Spergel (n.1961), G. S. Tucker, L. Verde, Weiland, Wollack e Wright. Neste trabalho, foi anunciado que o nosso Universo tem a idade de $(13,73 \pm 0,15)$ bilhões 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 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*)].

É interessante ressaltar que, conforme vimos em verbete desta série, um aumento (não previsto pela Teoria do Big-Bang) na aceleração do Universo já havia sido observada, em 1998 (*Astronomical Journal* **116**, p. 1009), por Adam G. Riess (n. 1970; PNF, 2011), Alexei V. Filippenko, Peter Challis, Alejandro Clocchiatti, Alan Diercks, Peter M. Garnavich, Ron L. Gilliland, Craig J. Hogan, Saurabh Jha, Robert P. Kirshner, B. Leibundgut, Mark M. Phillips, David Reiss, Brian P. Schmidt (n.1967; PNF, 2011), Robert A. Schommer, R. Chris Smith, J. Spyromilio, Christopher Stubbs, Nicholas B. Suntzeff e John L. Tonry, componentes do projeto *High-z Supernova Search Team* (H-zSST) (“Equipe de Procura de Supernova de Alto-z”), ao observarem uma supernova do tipo Ia (SN-Ia), deduziram estar o Universo em expansão acelerada e, portanto, havia a necessidade de usar a **constante cosmológica einsteniana** (Λ) para explicar essa aceleração (sobre Λ , ver verbete nesta série). Em 1998/1999 [*arXiv:astro-*

ph/0108103v1, August (1988); *Physical Review* **D60**, p. 081301 (1999)], Dragan Huterer e Michael S. Turner (n.1949) usaram, pela primeira vez, o termo **energia escura** (EE ou DE: *dark energy*) [e ratificado por Turner, em 1999 (*The Galactic Halo* **165**, p. 431)] para explicar essa aceleração inesperada do Universo, confirmada logo depois, em 1999, pelo projeto H-zSST (*Astronomical Journal* **117**, p. 707) e, independentemente, pelo *Supernova Cosmology Project* (SCP) (“Projeto de Cosmologia de Supernovas”) composto por Saul Perlmutter (n.1959; PNF, 2011), G. Aldering, G. Goldhaber, R. A. Knop, P. Nugent, P. G. Castro, S. Deustua, S. Fabbro, A. Goodbar, D. E. Groom, I. M. Hook, A. G. Kim, M. Y. Kim, J. C. Lee, N. J. Nunes, R. Pain, C. R. Pennypacker, R. Quimby, C. Lidman, R. S. Ellis, M. Irwin, R. G. McMahon, P. Ruiz-Lapuente, N. Walton, B. Schaefer, B. J. Boyle, Filippenko, T. Matheson, A. S. Fruchter, N. Panagia, H. J. M. Newberg e W. J. Couch (*Astrophysical Journal* **517**, p. 565).

Com o êxito do COBE, no outono de 1995, Mather foi convocado pela NASA para novas tarefas relacionadas com a construção de uma nova geração de telescópios espaciais além do HST, principalmente os relacionados com a RIV. Assim, em 1996, a NASA iniciou o *Next Generation Space Telescope* (NGSP) (“Nova Geração de Telescópios Espaciais”), com a colaboração da *European Space Agency* (ESA) (“Agência Espacial Européia”) e da *Canadian Space Agency* (CSA) (“Agência Espacial Canadense”), denominado a partir de 2002 de *James Webb Space Telescope* (JWST), em homenagem ao segundo administrador da NASA, o norte-americano James Edwin Webb (1906-1992). Inicialmente seu lançamento foi previsto para 2013, porém, dificuldades financeiras com o projeto prorrogaram seu lançamento para 2017 ou 2018. A partir de 2007, Mather tornou-se o *Cientista Chefe* da *Science Mission Directorate* (SMD). (pt.wikipedia.org/wiki/James_Webb_Space_Telescope).

Para maiores detalhes da vida e dos trabalhos de Mather que o levaram ao Nobelato, ver seu livro intitulado **The Very First Light: The True Inside Story of the Scientific Journey Back to the Dawn of the Universe** (Basic Books, 1996), escrito em parceria com o jornalista norte-americano John Irvan Boslough (1942-2010), e sua *Autobiography e Nobel Lecture: From the Big Bang to the Nobel Prize and Beyond* (08 de Dezembro de 2006; *Nobel e- Museum*).



ANTERIOR

SEGUINTE