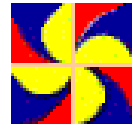




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



O Projeto *Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization* (BICEP) e as Ondas Gravitacionais (Grávitons).

Em 2002, os astrofísicos norte-americanos Andrew E. Lange (1957-2010), James (“Jamie”) J. Bock [*California Institute of Technology (Department of Physics)* (CALTECH-DP) e do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL)], Brian G. Keating [*University of California (Department of Physics)*, em San Diego (UC/SD-DP)] e William L. Holzapfel (n.1965) [*University of California (Department of Physics)*, em Berkeley (UCBe/DP)] começaram a desenvolver um projeto para a construção de um radiotelescópio para medir a polarização da *Cosmic Microwave Background* [“Radiação Cósmica de Fundo de Micro-onda” (RCFM)], projeto esse conhecido como *Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization* (BICEP) (“Imageamento de Fundo da Polarização Cósmica Extragaláctica”). O principal objetivo desse projeto era o de medir os **modos-B** (“componentes torcidos”) de polarização da RCFM.

Por que esses **modos**? Segundo o astrofísico norte-americano Lawrence Maxwell Krauss (n.1954) [**Cicatriz do Big Bang** (*Scientific American Brasil* **150**, p. 46, Novembro de 2014)], logo em seu começo, o Universo 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 *Big Bang* (BB), e emitiu a RCFM. Porém, essa radiação primordial só passou a ser observável quando o Universo começou a esfriar suficientemente pela primeira vez, cerca de 380 mil anos depois do Big Bang (que aconteceu há 13,8 bilhões de anos), dando início a **era inflacionária do Universo**. Por essa ocasião, prótons livres capturaram elétrons livres formando átomos neutros, tornando o Universo transparente para a RCFM, radiação essa que chegou até nós. As primeiras tentativas para estimar o seu valor [em termos de temperatura

absoluta (T)], ocorreram na década de 1940, devido ao trabalho do físico russo-norte-americano George Antonovich Gamow (1904-1968) sobre a formulação de um modelo para explicar a expansão do Universo observada pelo astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), em dezembro de 1924. Desse modo, Gamow e os físicos norte-americanos Ralph Asher Alpher (1921-2007) e Hans Albrecht Bethe (1906-2005; PNF, 1967) (de origem alemã) desenvolveram o famoso **modelo cosmológico $\alpha\beta\gamma$** (α -Alpher, β -Bethe, γ -Gamow), em 1948, que previa o valor (≈ 25 K) para a RCFM. Ainda em 1948, Alpher e físico norte-americano Robert C. Herman (1922-1997), alunos de Gamow, estimaram (≈ 5 K) para aquele valor. Note-se que a RCFM só foi medida em maio de 1964 [$(3,5 \pm 1)$ K], pelos radio-astrônomos norte-americanos Arno Allan Penzias (n.1933; PNF, 1979) (de origem alemã) e Robert Woodrow Wilson n.1936; PNF, 1978) (ver verbete nesta série).

Vejamos como acontece a polarização da RCFM. Ainda segundo Krauss, se na ocasião da **inflação cósmica** já existissem **ondas gravitacionais** (quanta do campo gravitacional-**grávitons**), estas poderiam distorcer o espaço numa direção preferencial e, desse modo, a RCFM poderia ser polarizada. Acontece, no entanto, que a **polarização** dessa radiação primordial pode também ocorrer por outros efeitos, como, por exemplo, por sua **flutuação da temperatura**. Assim, a **polarização** da RCFM pode apresentar dois modos: **modo-B** (causada pelos **grávitons**) e **modo-E** (outras causas, como, p.e.: **flutuação de temperatura** e radiação emitida por **poeira polarizada** de nossa Via-Láctea). É interessante destacar que como a **anisotropia térmica** (oscilações em torno de $30 \mu\text{K}$) da RCFM, foi registrada pelo satélite *Cosmic Background Explorer* (COBE) (“Explorador da Radiação Cósmica de Fundo”) (lançado em 18 de novembro de 1989), em 1992, os astrofísicos apresentavam esses dois **modos** por intermédio de uma relação (tensor/escalar: r) entre um possível sinal de **polarização por gráviton** e a intensidade do sinal da **flutuação de temperatura** medido. Segundo o grupo da *Agência Espacial Européia*, responsável pelo *Satélite Planck* (lançado em 14 de maio de 2009), r é representado pelo intervalo: $[0,00-0,13]$. Note-se que o *Planck Collaboration* (com 264 colaboradores sendo alguns do BICEP), apresentou seus resultados em 20 de março de 2013 [*arXiv:1303.5076*

(astro-ph.CO)] e revisado em 20 de março de 2014 [arXiv:1303.5076v3 (astro-ph.CO) e submetido à publicação na revista *Cosmology and Nongalactic Astrophysics*], com o artigo intitulado: **Planck 2013 Results. XVI. Cosmological Parameters.**

Voltemos ao BICEP. O BICEP1, basicamente desenvolvido na UC/SD-DP, foi instalado no *Observatório Astronômico Americano*, na *Amundsen-Scott South Pole Station (A-SSPS)*, localizada no Polo Sul, começou a funcionar em janeiro de 2006 e ficou ativo até dezembro de 2008. Durante esse período de funcionamento, o BICEP1 observou o céu nas frequências de: a) 100 GHz (1 GHz = 10^9 Hz; 1 Hz = 1 ciclo/segundo), com a resolução de 0.93° e constituído de um par de 25 sensores (*pixels*) cada; b) 150 GHz, com a resolução de 0.60° e composto de um par de 24 sensores (*pixels*) cada. Esses sensores foram projetados para detectarem os **modos-B** da polarização da RCFM. Registre-se que o BICEP 1 contou com a colaboração de pesquisadores das seguintes instituições: além da UC-SD e do JPL: *University of British Columbia [Department of Physics and Astronomy (UBC-DPA)]; University of California (Berkeley) [Department of Physics (UCBe-DP)]; University of Chicago (UCh); University of KwaZulu-Natal (Durban, South Africa) [Astrophysics and Cosmology Research Unit (UKZ-N/ACRU)]; University of Minnesota [Department of Physics and Astronomy (UM-DPA)], University of Minnesota [Minnesota Institute for Astrophysics (UM-MIA)]; Université Paris-Sud (Orsay, France) [Institut d'Astrophysique Spatiale (UP-S/IAS)]; Princeton University [Department of Physics (PU-DP)]; Stanford University [Department of Physics (SU-DP)]; Princeton University (PU); Stanford University [Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, SLAC National Accelerator Laboratory (SU-KIPAC/SLAC)]; University of Toronto [Department of Physics (UT-DP)]; University of Wales [Department of Physics and Astronomy (UW-DPA)]; CALTECH [Department of Physics (CALTECH-DP)]; Canadian Institute for Advanced Research (Toronto, Canadá) (CIAR); Harvard-Smithsonian Centre for Astrophysics (H-SCA); High Energy Accelerator Research Organization (Ibaraki, Japan) (HEARO/KEK); Institut d'Astrophysique de Paris (IAP); Joint Atacama Large Millimeter Array (ALMA) Observatory (Santiago, Chile) [J(ALMA)O]; Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology (Menlo Park, California (KIPAC); Center for Astrophysics and Space*

Research Massachusetts Institute of Technology [Department of Physics (MIT-DP)]; Massachusetts Institute of Technology [Kavli Center for Astrophysics and Space Research (MIT-KCASR)]; National Institute of Standards and Technology (NIST), e Service des Basses Températures, Commissariat à l’Energie Atomique (Grenoble, France) (SBTCEA).

A partir de 2008, o programa BICEP começou a elaborar o BICEP 2 [com a participação de novos colaboradores, como os cosmólogos norte-americanos John M. Kovac (n.1970), do H-SCA, e Chao Lin Kuo, da SU/KIPAC, usando o mesmo telescópio-polarímetro, agora com outros detectores instalados usando uma tecnologia inteiramente nova, ou seja, um arranjo (bolômetro) contendo um sensor de transição de borda [*Transition Edge Sensor (TES)*] colocado no plano focal da lente de 26 cm de abertura, contendo um par de 256 sensores (*pixels*) cada, operando em 150 GHz e com uma resolução de 0.92° . Ele foi instalado em 2009, no SA-S, e funcionou entre 2010 e 2012. A partir de 2013, o grupo do BICEP começou a publicar seus resultados, com destaque para dois deles:

a) O BICEP1 apresentou seus resultados em 04 de outubro de 2013 [*arXiv:1310.1422v2 (astro-ph.CO)*], com o título: **Degree-Scale CMB Polarization Measurements from Three Years of BICEP1 Data**. Esse grupo é composto dos seguintes cosmólogos e astrofísicos: Denis Barkats [J(ALMA)O], R. W. Aikin (CALTECH-DP), C. A. Bischoff (H-SCA), I. Buder (H-SCA), J. P. Kaufman (UC/SD-DP), Keating, Kovac, M. Su (MIT-DP/MIT-KCASR), P. A. R. Ade (UW-DPA), J. O. Batle (JPL), E. M. Bierman (UC/SD-DP), Bock, Hsin Cynthia Chiang (UKZ-N/ACRU), C. D. Dowell (JPL), L. Duband (SBTCEA), J. Filippini (CALTECH-DP), E. F. Hivon (IAP), Holzappel, V. V. Hristov (CALTECH-DP), W. C. Jones (PU-DP), Kuo, E. M. Leitch (UCh), P. V. Mason (CALTECH-DP), T. Matsumura (HEARO/KEK), H. T. Nguyen (JPL), N. Ponthieu (IAS), Clem Pryke (UM-DP), S. Richter (CALTECH-DP), G. Rocha (CALTECH-DP/JPL), C. D. Sheehy (UCh), S. S. Kernasovskiy (SU/KIPAC), Yuki David Takahashi (UCBe/DP), James E. Tolan (SU/KIPAC) e Ki Won Yoon (SU/KIPAC). Seu resultado foi: $r = 0,03$ ($\uparrow +0,27$ $\downarrow -0,23$) ou $r < 0,70$ com 95% de nível de confiança. Contudo o espectro do **modo-B** é consistente com 0, ou seja: ausência de **grávitons**. Note-se que esse artigo foi publicado em 14 de fevereiro de 2014 (*Astrophysical Journal* **783**, p. 67).

b) O BICEP2 apresentou-os, inicialmente, em 14 de março de 2014 [*arXiv:1403.3885v1 (astro-ph.CO)*], com o título: **Detection of B-mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2**. Note-se que esse grupo é composto dos seguintes cosmólogos e astrofísicos: Ade, Aikin, Barkats, S. J. Benton (UT-DP), Bischoff, Bock, J. A. Brevik (CALTECH-DP), Buder, E. Bullock (JPL), Dowell, Duband, Filippini, S. Fliescher (UM-DP), S. R. Golwala (CALTECH-DP), M. Halpern (UBC-DPA), M. Hasselfield (UBC-DPA), S. R. Hildebrandt (CALTECH-DP/JPL), G. C. Hilton (NIST), Hristov, K. D. Irwin (NIST/SU-DP/SU-KIPAC/SLAC), K. S. Karkare (H-SCA), Kaufman, Keating, S. A. Kernasovskiy (SU-DP), Kovac, Kuo, Leitch, M. Lueker (CALTECH-DP), Mason, C. B. Netterfield (UT-DP/CIAR), Nguyen, R. O'Brient (JPL), R. W. Ogburn IV (SU-DP/SU-KIPAC/SLAC), A. Orlando (UC-SD), Pryke (UM-DPA/UM-DP), C. D. Reintsema (NIST), Richter (H-SCA), R. Schwarz (UM-DP), Sheehy (UM-DP/UCh), Z. K. Staniszewski (CALTECH-DP/JPL), R. V. Sudiwala (UC-SPA), G. P. Teply (CALTECH-DP), Tolan, A. D. Turner (JPL), A. G. Vieregg (H-SCA/UCh), C. L. Wong (H-SCA) e Yoon (SU-DP/SU-KIPAC/SLAC). Seu resultado foi o seguinte: $r = 0,20$ ($\uparrow +0,07$ $\downarrow -0,05$), acima do limite máximo para r (que é: $r = 0,13$, como vimos acima). Como esse resultado indicava que o valor $r = 0$ era desfavorável no nível de 7σ [$5,9\sigma$, subtraído o fundo (*foreground*)], com 5σ representando menos do que um em um milhão de chances de erro], portanto, tal resultado sugeria a existência de **grávitons**. Esse trabalho do BICEP2 foi publicado em 19 de junho de 2014 (*Physical Review Letters* **112**, a.n. 241101).

Note-se que o resultado do BICEP2 foi analisado em uma reunião da *American Astronomical Society*, realizada em 05 de junho de 2014, ocasião em que o astrofísico norte-americano David Nathaniel Spergel (n.1961), professor da PU [*Department of Astrophysical Sciences (PU-DAS)*], arguiu que o **modo-B** detectado pelo BICEP2 poderia ser resultado da emissão térmica polarizada (**modo-E**) pela poeira (*dust*) das estrelas de nossa Galáxia. Em 22 de setembro de 2014, o *Planck Collaboration* (com 400 colaboradores, sendo alguns do BICEP) confirmou a conjectura de Spergel [*arXiv:1409.5738v1 (astro-ph.CO)*], submetido à publicação na revista *Cosmology and Nongalactic Astrophysics*, com o artigo intitulado: **Planck Intermediate Results. XXX. The Angular Power**

Spectrum of Polarized Dust Emission at Intermediate and High Galactic Latitudes.

Concluindo este verbete, registre-se que logo que o BICEP2 terminou sua missão, em 2012, o BICEP Collaboration começou o BICEP3, usando um telescópio-polarímetro (do tipo do Keck Array, mas com uma abertura de 55 cm), contendo um par de 1280 sensores (pixels) cada, operando em 95 GHz e com uma resolução de 0.370. O BICEP3 foi proposto em 22 de julho de 2014 [arXiv:1407.5928v1 (astro-ph.CO)], submetido à publicação nas revistas *Instrumentation and Methods for Astrophysics e Cosmology and Nongalactic Astrophysics* e, segundo seus autores (Z. Ahmed, M. Amiri, R. Bowers-Rubin, Buder, Bullock, J. Connors, Filippini, J. A. Grayson, Halpern, Hilton, Hristov, H. Hui, Irwin, J. Kang, Karkare, E. Karpel, Kovac, Kuo, Netterfield, Nguyen, O'Brien, Ogburn, Pryke, Richter, K. L. Thompson, Turner, Vieregg, W. L. K. Wu e Yoon). W. L. K. Wu e Yoon. Note-se que, em fevereiro de 2015, a colaboração BICEP2/Keck/Planck confirmou mais uma vez a conjectura de Spergel, isto é: a ausência de ondas gravitacionais [arXiv:1502.00612v1 (astro-ph.CO)]. É interessante registrar que o Keck Array (consiste de cinco polarímetros similares ao BICEP2), foi projetado inicialmente por Lange e pertence ao A-SSPS. Quando esta Estação Astronômica Norte-Americana foi inaugurada, em 1995, nas Montanhas Usarp, na Antártica, o observatório contendo o Keck Array recebeu o nome de Martin A. Pomerantz Observatory (MAPO), para homenagear o físico norte-americano Martin Arthur Pomerantz (1916-2008), então Diretor do Bartol Research Institute, da University of Delaware, e o líder no desenvolvimento da Astronomia Norte-Americana na Antártica. O Keck Array funcionou entre 2011 e 2013. Para maiores informações sobre esses telescópios, ver: wikipedia.org/BICEP_KickArray.

Para maiores informações sobre esses telescópios, ver: wikipedia.org/BICEP_KickArray.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)