



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br

A Lei de Hubble-Humason e a Idade do Universo.

Conforme vimos em verbetes desta série, em 1915, o físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921) formulou a Teoria da Relatividade Geral (TRG) traduzida pela **Equação de Einstein**: $R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R \equiv G_{\mu\nu} = K T_{\mu\nu}$, onde $g_{\mu\nu}$ ($g^{\mu\nu}$) é o **tensor métrico Riemanniano**, $R_{\mu\nu}$ é o **tensor geométrico de Ricci**, $G_{\mu\nu}$ é o **tensor de Einstein**, $T_{\mu\nu}$ é o **tensor energia-matéria**, $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$, $K = 8 \pi G/c^4$ é a **constante de gravitação de Einstein**, G é a **constante de gravitação de Newton-Cavendish**, c é a **velocidade da luz no vácuo**, e $\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$. Observe-se que, segundo essa equação, quando um corpo “cai” na Terra, por exemplo, ele não é puxado pela atração gravitacional Newtoniana de nosso planeta e sim, ele se desloca na **curvatura do espaço-tempo** produzida pela presença da massa da Terra, isto é, ele se movimenta na **geodésica** da Geometria Riemanniana ($g_{\mu\nu}$) induzida pela massa terrestre.

Em 1917, Einstein encontrou uma solução dinâmica para a sua equação. 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** ($\Lambda g_{\mu\nu}$). Desse modo, Einstein postulou que o Universo era estático e, usando essa nova equação [$R_{\mu\nu} + (\Lambda - 1/2) g_{\mu\nu} = G_{\mu\nu} = K T_{\mu\nu}$], 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.

Ainda em 1917, o astrônomo holandês Willem de Sitter (1872-1934) encontrou uma outra solução estática da equação einsteniana com o **termo cosmológico** $\Lambda g_{\mu\nu}$, ao considerar o Universo homogêneo e uniforme, porém vazio, ou seja: $T_{\mu\nu} = 0$. No entanto, essa solução apresentava duas consequências notáveis: o espaço geométrico possuía uma estrutura que era *independente da matéria contida nele*; e o tempo era relativo, isto é, dependia do lugar, ao contrário do que acontecia com o Universo Einsteniano em que o **tempo cósmico** t independe do lugar. Por essa razão, esse modelo cosmológico ficou conhecido como o **Universo Esférico de de Sitter**, uma vez que nele o espaço-tempo é curvo. É interessante observar que, em 1925, o astrônomo belga, o Abade Georges-Henri Edouard Lemaître (1894-1966), demonstrou que o Universo de Sitter era “pseudo-estático”.

A primeira solução não-estática da **Equação de Einstein** foi obtida pelo matemático russo Aleksandr Friedmann (1888-1925) ao perceber que a consideração do termo cosmológico (caracterizado por Λ) por parte de Einstein introduzia infinitos em sua

equação, uma vez que, em certas situações, esse termo poderia ser nulo e Einstein havia dividido sua equação por esse mesmo termo. Em vista disso, Friedmann resolveu a equação einsteniana sem o termo cosmológico ($\Lambda = 0$) 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. Esse resultado foi apresentado por ele em 1922

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 a 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; *Publications of the American Astronomical Society* **5**, p. 261) e em 1926 (*Astrophysical Journal* **63**; **64**, p. 236; 321). Observe-se que foi nesses trabalhos que Hubble apresentou sua famosa classificação das nebulosas: **elípticas** e **espirais** (normais, barradas e irregulares).

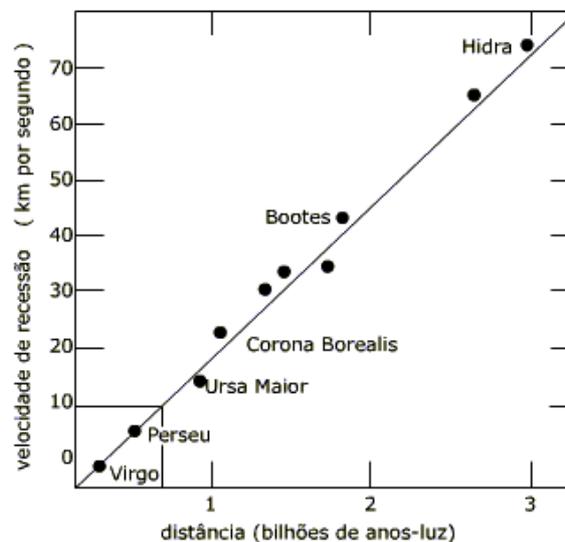
Na continuação de suas observações, Hubble fez, em 1929 (*Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.* **15**, p. 169), outra grande descoberta. Com efeito, ao observar cerca de 18 galáxias próximas de nossa Galáxia (*Via Láctea*), percebeu que havia no espectro das mesmas um deslocamento para o vermelho (*red shift*). Interpretado esse deslocamento como devido ao **efeito Doppler** (1842)-**Fizeau** (1848) (vide verbete nesta série) [variação da frequência (ν) de uma onda com o deslocamento da fonte dessa onda], 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: $H_0 \approx 500 \text{ km/s (Mpc)}^{-1} \approx 0,5 \times 10^{-9} \text{ anos}^{-1}$. Como o inverso de H_0 determina a **idade do Universo**, esse valor obtido por Hubble indicava ser de aproximadamente dois (2) bilhões de anos a idade do mundo. É oportuno destacar que, em suas observações, Hubble foi auxiliado pelo astrônomo norte-americano Milton La Salle Humason (1891-1972) que, antes de se tornar astrônomo, era mensageiro do *Hotel Monte Wilson*, que fornecia hospedagem para os astrônomos que visitavam o *Observatório de Monte Wilson* e, depois foi nomeado condutor de mulas desse Observatório. [Simon Singh, **Big Bang** (Record, 2006); Augusto Damineli, **Hubble: A Expansão do Universo** (Odysseus, 2003)]. Como Hubble e Humason determinaram, em 1931 (*Astrophysical Journal* **74**, p. 43), um novo valor para H_0 , ou seja, $H_0 \approx 550 \text{ km/s (Mpc)}^{-1}$, a **Lei de Hubble** passou a ser também conhecida como a **Lei de Hubble-Humason** e H_0 como a **constante de Hubble-Humason**. Note-se que 1 pc (1 parsec) = $3.0857 \times 10^{16} \text{ m}$ e que 1 Mpc = 10^6 pc .

Sobre as observações de Hubble, é interessante registrar que o Papa Pio XII [Eugenio Maria Giuseppe Giovanni Pacelli (1876-1958)], no discurso intitulado **As Provas da Existência**

de **DEUS à luz da Moderna Ciência Natural**, proferido na *Academia Pontífice de Ciências*, em 22 de novembro de 1951, chegou a afirmar que Hubble havia provado que o Universo não era eterno, e sim criado por **DEUS** (vide verbete nesta série).

Por sua vez, em 1952 (*Transactions of the International Astronomical Union* **8**, p. 397), o astrônomo alemão Walter Baade (1893-1960) examinou o brilho das estrelas **cefeidas** (vide verbete nesta série) e mostrou que as distâncias entre as galáxias eram duas vezes maiores das medidas por Hubble e Humason, reduzindo, portanto, à metade o valor de H_0 calculado por eles e, portanto, dobrando a **idade do Universo**. Por outro lado, em 1954 (*Astronomical Journal* **59**, p. 180), o astrônomo norte-americano Allan Rex Sandage (1926-2010) (aluno de Baade) aumentou aquela idade para 5,5 bilhões de anos. Note-se que, em 1994, Sandage e colaboradores (A. Saha, L. Labhardt, H. Schwengeler, F. D. Macchetto, N. Panagia e G. A. Tammann) encontraram que $H_0 \approx 50 \text{ km/s (Mpc)}^{-1}$ usando observações do *Telescópio Espacial Hubble*, lançado em 24 de abril de 1990 (vide verbete nesta série). Por fim, em 30 de junho de 2001, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) lançou o satélite chamado *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) (“Sonda Anisotrópica de Microondas Wilkinson”), e o exame dos dados enviados por ele, concluído em março de 2006, indicava uma idade para o Universo de $(13,73 \pm 0,15)$ bilhões de anos e, portanto, um novo valor para a **constante de Hubble-Humason** (H_0), já que, como vimos antes, ela representa o inverso da **idade do Universo**.

Segue abaixo, um exemplo da **Lei de Hubble-Humason: $V = H_0 D$** (Google Imagens):



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)