



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

As Leis da Física Valem para o Universo Inteiro?

Em setembro de 2010, os físicos John K. Webb, Julian A. King, Michael T. Murphy, Victor V. Flambaum, R. F. Carswell e M. B. Bainbridge submeteram à conceituada revista *Physical Review Letters* um artigo ([arXiv.org/abs/1008.3907v1\[astro-ph.CO\]](http://arXiv.org/abs/1008.3907v1[astro-ph.CO])) no qual afirmaram que haviam encontrado indícios experimentais de que **as Leis da Física** são diferentes em diversas partes do Universo. Para chegar a essa conclusão, eles compararam a medida da **constante alfa** ou **constante de estrutura fina** ($\alpha \approx 1/137$) realizada pelos telescópios: o VLT (*Very Large Telescope*), localizado no Chile (hemisfério sul), e os do *Observatório Keck*, no Havaí (hemisfério norte). Esses telescópios olharam para cerca de 300 galáxias em lugares distantes e diferentes ao longo do Universo. Assim, quando o *Keck* observou galáxias distantes encontrou, em média, um α ligeiramente menor do que a mesma observação feita pelo VLT. Essa variação é pequena, em torno de 1/100.000. É interessante registrar que a variação de α com o tempo também é objeto de estudo desde a década de 1930 até o presente momento. Por exemplo, em 1999, Webb e Flambaum desenvolveram um método para determinar a posição absoluta das linhas de absorção, com o objetivo de encontrar um valor de α com maior precisão. Contudo, ainda em 1999 (*Physical Review Letters* **82**, p. 884), ao aplicarem esse método (com a colaboração de Christopher W. Churchill, Michael J. Drinkwater e John D. Barrow) a um total de 128 linhas de absorção de quasares, eles, surpreendentemente, encontraram um aumento médio de α de cerca de 6 partes em 1 milhão, ao longo dos últimos 6 bilhões a 12 bilhões de anos. Se essa variação espaço-temporal de α for confirmada, ela indicará que o pilar básico da Física - α é uma constante que não varia no tempo e no espaço – está dando sinais de ruptura [www.inovacaotecnologica.com.br (acesso em 11/09/2010); John D. Barrow e John K. Webb, **Constantes Inconstantes** (*Scientific American Brasil* **38**, p. 28, julho de 2005)].

Para entender o significado dessa previsão catastrófica, vamos examinar o papel de α nas **Leis da Física** e especular uma possível alteração nessas leis. Conforme vimos em verbetes desta série, a **dispersão da luz solar [raias (linhas) espectrais]** pelo vidro foi registrada pelo estadista e filósofo romano Sêneca (4 a.C.-65 d.C.), no primeiro Século da Era Cristã (d.C.). Um estudo detalhado desse fenômeno foi realizado pelo físico inglês Sir Isaac Newton (1642-1727), em 1666. Contudo, somente no Século 18, é que começou um trabalho sistemático de localização dessas raias. Com efeito, em 1808, o químico e físico inglês William Hyde Wollaston (1766-1828) denominou cerca de sete **linhas espectrais solares** com as letras do alfabeto árabe (A, B, C, ...). Mais tarde, em 1814, o físico alemão Joseph von Fraunhofer (1787-1826) encontrou oito dessas linhas. Para observar melhor essas raias, Fraunhofer construiu, em 1819, uma **rede de difração** e com ela chegou a medir o comprimento de onda (λ) de cerca de 600 delas, conforme registrou em artigo publicado em 1822. Em 1885, 1896 e 1897, em trabalhos independentes realizados, respectivamente, pelos físicos, o suíço Johan Jakob Balmer (1825-1898), o sueco Johannes Robert Rydberg (1854-1919) e o germano-inglês Sir Arthur Schuster (1851-1934) apresentaram uma fórmula empírica para determinar o λ das linhas espectrais do hidrogênio (H): $v = c/\lambda = R_H (1/m^2 - 1/n^2)$, sendo m e n ($n = m + 1, m+2, \dots$) inteiros, R_H é a **constante de Rydberg** (R_H), e c a velocidade da luz no vácuo. Registre-se que, em 1887, o físico germano norte-americano Albert Abraham Michelson (1852-1931; PNF, 1907) e o químico e físico norte-americano Edward Williams Morley (1838-1923), observaram que as **raias espectrais** do H apresentavam raias intermediárias (**estrutura fina**) quando observadas com um **espectroscópio** de maior poder de resolução.

A **fórmula de Balmer-Rydberg-Schuster** foi deduzida pelo físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922), em 1913, com seu famoso **modelo atômico**, no qual mostrou que as energias (E) dos elétrons, em órbitas circulares em torno do núcleo atômico, eram quantizadas: $E \approx -13,6 \text{ eV}/n^2$ com n (número quântico **principal** ou de **energia**) inteiro. Mais tarde, em 1915, o físico alemão Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868-1951), considerando os elétrons bohrianos descrevendo órbitas elípticas e com velocidade relativística, demonstrou que: $E = - (R_H h/n^2)[1 + \alpha^2/n(1/4 + n_\phi/n_r) + \dots]$, onde $n = n_r + n_\phi$, sendo n_r e n_ϕ , respectivamente, os números quânticos **radial** e **azimutal**, $n_r/n = b/a$, com a e b, respectivamente, os eixos maior e menor da órbita elíptica do elétron (de carga e), h é a **constante de Planck**, e $\alpha = 2 \pi e^2/(hc) \approx 1/137$, conhecida desde então como **constante de estrutura fina** porque a expressão acima permitia explicar alguns resultados experimentais relacionados com a **estrutura fina** das linhas espectrais do H, observada por Michelson e Morley, em 1887, conforme registramos acima.

O **modelo atômico de Bohr** foi confirmado pelo físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961; PNF, 1933), em 1926, como decorrência da famosa **equação não-relativista de Schrödinger** (ES): $H \psi = E \psi$, sendo H o operador hamiltoniano [igual à soma da energia cinética (T) com energia potencial (V)], ψ é a **função de onda de Schrödinger** (considerada por Schrödinger como um **número**), e E é a energia dos elétrons orbitais e com o mesmo valor encontrado por Bohr. Ainda em 1926, o físico germano-inglês Max Born (1882-1970; PNF, 1954) interpretou ψ como uma **onda de probabilidade** e, em 1927, o físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933) interpretou-a como um **operador**, ocasião em que quantizou o campo eletromagnético – a conhecida **segunda quantização** –, ou seja, mostrou que a força eletromagnética coulombiana entre o elétron e o próton no átomo H, é mediada pelo **fóton** (γ), cuja energia vale o **lichtquantum** ($h\nu$) proposto pelo físico germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), em 1905. Logo depois, em 1928, Dirac formulou a Teoria Relativística do Elétron, conhecida como **equação relativista de Dirac** (ED) - $(i \hbar \gamma^\mu \partial_\mu - m c) \Phi = 0$ -, onde $\hbar = h/2 \pi$, γ^μ é a **matriz de Dirac** (matriz 4×4), $\partial_\mu = \partial/\partial x^\mu$ ($\mu = 1, 2, 3, 4$) é o **4-gradiente**, Φ é o **spinor de Dirac** (matriz coluna), e m é a massa do elétron (vide verbetes nesta série).

O acoplamento da **segunda quantização diraciana** com a **equação de Dirac**, tornou possível estudar o espalhamento da radiação eletromagnética pela matéria, bem como o espalhamento entre elétrons (e^-) e entre elétrons e pósitrons (e^+). Contudo, esse acoplamento apresentava uma série de dificuldades. Por exemplo, quando era estudada a interação de elétrons com o campo eletromagnético, usava-se o método perturbativo, uma vez que esse tipo de interação envolve α . Desse modo, os primeiros cálculos eram realizados em primeira ordem segundo aquele método, pois se acreditava que os termos de ordem mais alta deveriam ser desprezíveis, em virtude do pequeno valor de α , que é da ordem de 10^{-2} . No entanto, quando mais termos eram considerados na série perturbativa, apareciam certas integrais divergentes, isto é, infinitas. Essas dificuldades foram contornadas, conforme vimos em verbete desta série, pela Eletrodinâmica Quântica Renormalizável – a hoje QED (*Quantum Electrodynamics*) - desenvolvida pelos físicos, o japonês Sin-Itiro Tomonaga (1906-1979; PNF, 1965), em 1943, independentemente, pelos norte-americanos Richard Phillips Feynman (1918-1978; PNF, 1965) e Julian Seymour Schwinger (1918-1994; PNF, 1965), em 1948, e pelo inglês Freeman John Dyson (n.1923), em 1949.

A QED – que tem a carga do elétron (e) como **constante de acoplamento** (a_{em}) e que, conforme vimos acima, está ligada a α -, alcançou um tremendo sucesso quando os físicos norte-americanos Henry Michael Foley (1917-1982) e Polykarp Kusch (1911-1993; PNF, 1955) (de origem alemã) encontraram, experimentalmente, em 1948 (*Physical Review* **73**, p. 412), para o **momento magnético do elétron** (μ_e) o seguinte valor: $\mu_e = (1,001146 \pm 0,000012) \mu_0$, onde μ_0 é o **magnéton de Bohr** (vide verbete nesta série), valor esse confirmado teoricamente por Schwinger, ainda em 1948 (*Physical Review* **73**, p. 416). O desenvolvimento posterior da aplicação da teoria quântica – hoje conhecida como Teoria Quântica de Campos - para explicar as outras duas interações físicas [fraca (1934): $a_{fraca} \approx 1/40$ e forte (1973): $a_{forte} \approx 1$] entre partículas elementares, constitui hoje o conhecido

Modelo Padrão, composto da QED, Teorias da Interação Fraca e Eletrofraca (1967/1968) e a QCD (*Quantum Chromodynamics*), que trata da Interação Forte (vide verbete nesta série). Registre-se que, até 2003 [Martinus Veltman, **Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics** (World Scientific)], o uso da QED mostrava que o valor teórico de μ_e/μ_0 era de 0,001159652201, enquanto as experiências indicavam o valor de 0,001159652188.

Na conclusão deste verbete, vamos examinar a validade (ou não) universal das **Leis da Física**. O **Modelo Padrão** (MP) foi desenvolvido tendo como base o espetacular sucesso da previsão teórica de μ_e , por intermédio da QED, e de sua confirmação experimental, pelo menos até a nona casa decimal, segundo foi descrito acima. Esse MP, no entanto, tem como base a lei da força eletrostática que depende do inverso do quadrado da distância segundo foi formulada pelo físico francês Charles August Coulomb (1736-1806), em 1785, apoiando-se na também lei do quadrado do inverso da distância da força gravitacional apresentada por Newton, em 1687. Esta lei, quando foi aplicada ao sistema planetário – a famosa Mecânica Celeste - desenvolvida pelos astrônomos e matemáticos franceses Joseph Louis, Conde de Lagrange (1736-1813) (de origem italiana), em 1772, e Pierre Simon, Marquês de Laplace (1749-1827), em 1782, apresentava uma grande dificuldade, qual seja, não se conseguia descrever com exatidão, a órbita de um planeta em torno do Sol, levando em consideração a ação gravitacional dos demais planetas solares. Essa dificuldade, conhecida como o **problema de muitos corpos**, foi contornada usando métodos perturbativos, ou seja, considerando termos de ordem mais elevada na solução em série da equação diferencial característica do movimento solar do planeta. Por sua vez, segundo registramos acima, também métodos perturbativos são usados para resolver a interação eletromagnética com a matéria, por intermédio da QED.

De acordo com Webb, King, Murphy, Flambaum, Carswell e Bainbridge, no trabalho citado no início deste verbete, se a variação espacial de α for confirmada, significa dizer que existem lugares “especiais” no Universo, como nosso planeta Terra, em que foi possível surgir a **vida** como a conhecemos e, portanto, a civilização terrestre e sua evolução, uma vez que o valor de $\alpha \approx 10^{-2}$ é o que explica a formação do carbono (C) pelas estrelas, que é a base da **química da vida terrestre**. Por outro lado, em meu entendimento, esse valor de α que possibilita vivermos, decorre da estrutura cognoscível do **ser terrestre** que é influenciada, atavicamente, pela presença de uma única estrela (Sol) e, portanto, o inverso do quadrado da distância (IQD) (base do valor de α como vimos no decorrer deste verbete) é um **meme dawkinsiano** (MD) [Richard Dawkins, **A Grande História da Evolução** (Companhia das Letras, 2009)]. Desse modo, o **ser terrestre** só consegue usar α de maneira perturbativa. Se α variar espacialmente no Universo, conforme indica o trabalho de Webb e colaboradores, poderá existir um planeta habitável [entre alguns dos mais de 501 **exoplanetas** ou **planetas extra-solares** (vide verbete nesta série) já descobertos (*The Extrasolar Planets Encyclopaedia*)] girando, por exemplo, em torno do centro de massa de dois ou mais sóis, no qual o MD seja outro diferente do IQD. Com isso, esse **ser extraterrestre** dará uma interpretação diferente para α . e, portanto, explicará a sua “**vida**” como nós, **terrestres**, explicamos a nossa. Além disso, tais seres **extraterrestres** poderiam explicar (!?) a possível crise que a Física (*Big Bang*) e a Biologia (DNA) enfrentam nessa primeira década do Século 21. [José Maria Filardo Bassalo, **Crise na Física e na Biologia?**, *Scientific American Brasil* **102**, p. 82 (Novembro de 2010)]. É interessante destacar que, em 2003 (*Science* **301**, p. 193), Steinn Sigurdsson, Harvey B. Richer, Brad M. Hansen, Ingrid H. Stairs e Stephen E. Thorsett anunciaram a descoberta de um planeta solitário, o *Methuselah*, girando em torno do pulsar binário PSR B1620-26. Este planeta é, até o momento (novembro de 2010), o único planeta conhecido que orbita ao redor de duas estrelas. Concluindo este verbete, não seria despropósito afirmar que, caso o *Methuselah* pertença à chamada zona habitável do Universo [www.inovacaotecnologica.com.br (acesso em 01/10/2010)], o seu “Newton” tenha formulado uma **lei de gravitação extra-solar** para esse planeta que, no mínimo, o problema de três corpos já estaria embutido nela, e o α não seria mais considerado como uma perturbação no tratamento da **QED extra-solar**, desenvolvida pelo quarteto *matusalêmico* - “Tomonaga-Feynman-Schwinger-Dyson” - desse planeta. Por fim, creio que, se esse planeta (ou outro qualquer) for realmente habitável, deverá ser chamado de *Giordano Bruno*, que foi o primeiro filósofo italiano a defender, ardorosamente, a pluralidade dos mundos habitáveis em seu famoso livro **De I**

‘**Infinito Universo i Mondi** (“Acerca do Universo Infinito e de seus Mundos”), publicado em 1584, quando tinha 36 anos de idade (ele nasceu em 1548) e, por causa dele, foi queimado vivo pela *Santa Inquisição*, em 17 de fevereiro de 1600.



ANTERIOR

SEGUINTE