



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br



Os Primeiros Estudos Científicos de Einstein.

Em verbetes desta série, já descrevemos os vários trabalhos científicos realizados pelo físico germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), a partir de seus cinco célebres trabalhos de 1905. Neste verbete, vamos falar de seus primeiros estudos científicos. Em suas Notas Autobiográficas, *IN*: Paul Arthur Schilpp (Editor), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (Cambridge University Press, 1970; Nova Fronteira, 1982), Einstein conta que sempre foi um apaixonado pela ciência, paixão essa que começou quando, por volta de cinco anos de idade, ganhou uma bússola de presente de seu pai Hermann Einstein (1847-1902), causando-lhe uma impressão profunda e duradora o fato de sua agulha comportar-se de certa forma, sem ser preciso tocá-la. Mais tarde, aos 12 anos de idade, teve contato com o livro *Geometria*, do matemático grego Euclides de Alexandria (c.323-c.285) e, de posse dele, conseguiu demonstrar o Teorema de Pitágoras, do qual seu tio Jakob Einstein (1850-1912) já lhe falara antes dele, Einstein, ler esse livro euclidiano. Dos 12 aos 15 anos ele estudou os princípios do cálculo diferencial e integral nos livros (6 volumes) *Popular Books on Physical Science* (“Livros Populares sobre a Ciência Física”) do matemático alemão Aaron Bernstein (1812-1884). Um estudo mais profundo de Matemática e de Física foi empreendido por Einstein quando era aluno da *Polytechnikum* [depois, *Eidgenössische Technische Hochschule* (ETH – *Escola Politécnica Federal*)], onde entrou em 1896 e formou-se em 1900.

Seus primeiros trabalhos científicos foram realizados entre 1901-1904, nos quais estudou os fundamentos da Termodinâmica e da Mecânica Estatística. Em 1901 (*Annalen der Physik* 4, p. 513) e 1902 (*Annalen der Physik* 8, p. 798), Einstein analisou, respectivamente, os efeitos termodinâmicos da capilaridade (energia superficial dos fluidos) e da eletrólise. Nesses dois trabalhos, ele procurou explicar as forças moleculares, fazendo uma analogia com a gravitação. Desse modo, conjecturou que o potencial entre duas moléculas de espécies i e j é da forma $c_i c_j \varphi(r)$, onde os c são características (!?) das espécies e $\varphi(r)$ é uma função universal que depende da distância. Note que essa hipótese de Einstein estava incompleta, pois ele não havia considerado que as forças moleculares dependem, também, de seus tamanhos e de choques entre si, como havia sido proposto pelo físico holandês Johannes Diderick van der Waals (1837-1932; PNF, 1910), em 1881 (vide verbete nesta série). Hoje, a *força de van der Waals* é traduzida por: $F(r) = \lambda/r^5 - \mu/r^t$. É interessante destacar que, em 1924 (*Proceedings of the Royal Society of London* A106, p. 738), o matemático e físico inglês Sir John Edward Lennard-Jones (1894-1954) propôs que o potencial de interação entre as moléculas (átomos) é dado por: $\varphi(r) = 4\epsilon [(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6]$ – o célebre *potencial de Lennard-Jones* -, onde ϵ é a profundidade do poço de potencial, σ é uma distância finita para a qual $\varphi(r) = 0$, e r é a distância entre as moléculas (átomos). Por sua vez, o termo (r^{-12}) descreve a *repulsão de Pauli* (1925)

entre os elétrons que se entrelaçam em pequenas distâncias, e o termo (r^{-6}) é a *atração de van der Waals* para longas distâncias eletrônicas (en.wikipedia.org/wiki/Lennard-Jones/Van_der_Waals).

Voltemos aos primeiros trabalhos de Einstein. Em 1902 (*Annalen der Physik* 9, p. 417), 1903 (*Annalen der Physik* 11, p. 170) e 1904 (*Annalen der Physik* 14, p. 354), Einstein tratou dos fundamentos da Mecânica Estatística. No primeiro deles, analisou as definições de temperatura e entropia nas condições de equilíbrio térmico e no teorema de equipartição clausiusiana da energia (1857); no segundo, investigou a irreversibilidade e, por fim, no terceiro, trabalhou com as flutuações da radiação eletromagnética próximo do equilíbrio térmico. Registre que é nesse trabalho que o nome *constante de Planck* (k) é mencionado pela primeira, pois, nesse artigo, Einstein descreve algumas maneiras para determiná-la. Em 1911 (*Annalen der Physik* 34, p. 591), Einstein apresentou um breve comentário sobre esses três trabalhos e aproveitou a oportunidade para corrigir alguns erros numéricos que havia cometido em sua Tese de Doutorado [Eine Neue Bestimmung der Moleküldimensionen (“Uma Nova Determinação das Dimensões Moleculares”)], apresentada em 30 de abril de 1905, à *Universidade de Zurique*. É interessante registrar que, em junho de 1905 (*Annalen der Physik* 17, p. 591), Einstein obteve a densidade de radiação do corpo negro (vide verbete nesta série) de frequência ν e temperatura T , por intermédio da expressão: $\rho(\nu, T) = (8 \pi \nu^2/c^3) (R/N) T$, onde c é a velocidade da luz no vácuo, R é a *constante dos gases perfeitos* e N o *número de Avogadro*, expressão essa que foi reobtida (usando $k = R/N$), em julho de 1905 (*Philosophical Magazine* 10, p. 91), pelo físico e matemático inglês Sir James Hopwood Jeans (1877-1946). Como essa expressão corrigiu um erro na expressão obtida, em maio de 1905 (*Nature* 72, p. 54), pelo físico inglês Lord John William Strutt Rayleigh (1842-1919; PNF, 1904), o físico e historiador da ciência holandês Abraham Pais (1918-2000) [‘Subtle is the Lord...’: The Science and the Life of Albert Einstein (Oxford University Press, 1983)] a denominou de *fórmula de Rayleigh-Einstein-Jeans*.



ANTERIOR

SEGUINTE